SZENT ISTVÁN EGYETEM

Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása és a szár szöveti szerkezete közötti összefüggés-vizsgálatok és hatásuk a szárszilárdságra

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:

Szőke Csaba

Martonvásár
2011

Doktori iskola: Növénytudományi Doktori Iskola

Vezetője: Dr. Heszky László, az MTA rendes tagja
akadémikus, egyetemi tanár
SZIE, Genetika és Biotechnológiai Intézet

Tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

Témavezetők: Dr. Marton L. Csaba, MTA doktora
tudományos igazgatóhelyettes
MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet

Dr. Szécsi Árpád, MTA doktora
tudományos tanácsadó
MTA Növényvédelmi Kutatóintézet

....

Dr. Marton L. Csaba
témavezető

Dr. Szécsi Árpád
témavezető

.....
Dr. Heszky László
programvezető, iskolavezető

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK **3**

ALKALMAZOTT RÖVIDÍTÉSEK **5**

1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS **7**

1.1 A téma aktualitása, célkitűzés 8

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS **11**

2.1 A *Fusarium*-fajok gazdasági jelentősége a kukoricatermesztésben 11

2.2 A kukorica szárkorhadását okozó gombák 13

2.3 A kukorica fuzáriumos szárkorhadás gazda – parazita jellemzői 14
2.3.1 Fogékony gazdanövény 15
2.3.2 Fertőzőképes kórokozó 16
2.3.3 A kórokozó számára kedvező környezeti feltételek 20
2.3.3.1 Időjárási tényezők 20
2.3.3.2 Agrotechnika 21
2.3.3.3 Biotikus tényezők 23

2.4 A kukorica szárszilárdságát befolyásoló tényezők 24
2.4.1 A kukoricaszár felépítése és kémiai összetétele 24
2.4.1.1 Cellulóz 24
2.4.1.2 A cellulózbontó enzimek 25
2.4.1.3 A cellulózbontó enzimek szerepe a növényi betegségekben 26

2.5. Képelemző szoftverek alkalmazása a növénykórtanban 29

2.6 A kukoricaszár mechanikai jellemzői 30
2.6.1 Héjkéreg-ellenállás 31
2.6.2 A kukoricaszár átmérője és a szárdőlés 33

3. ANYAG ÉS MÓDSZER **35**

3.1 Vizsgált genotípusok 35

3.2 A szabadföldi kísérletek termőhelyi jellemzői 36
3.2.1 Talajadottságok 36
3.2.2 Meteorológiai adatok 36
3.2.3 Alkalmazott agrotechnika 38

3.3 Szántóföldi vizsgálatok 38
3.3.1 Tenyészkerti elrendezés 38
3.3.2 A mesterséges fertőzéshez használt oltóanyag elkészítése 39
3.3.3 Alkalmazott fertőzési eljárás bemutatása 40
3.3.4 Szövetkorhadás mértékének meghatározása 40

3.3.5 A szár mechanikai szerkezetének értékelése 42

3.4 Laboratóriumi vizsgálatok 43
3.4.1 Szárszövetminták előkészítése 43
3.4.2 A szárszövetkivonatok cellulázaktivitás meghatározása 43

3.5 Az adatok statisztikai feldolgozása 44

4. EREDMÉNYEK 45

4.1 Szántóföldi vizsgálatok 45
4.1.1 Szárkorhadás vizsgálati eredmények 45
4.1.2 A szár mechanikai szerkezetét befolyásoló és jellemző tulajdonságok 57
4.1.2.1 Héjkéreg-ellenállás 58
4.1.2.2 Szárátmérő 62
4.1.2.3 Szárdőlési százalék 63

4.2 Laboratóriumi vizsgálatok 66
4.2.1 A genotípusok szárszövet-kivonatainak cellulázenzim-aktivitása 66

4.3. A szárszilárdságot befolyásoló tulajdonságok közötti összefüggések vizsgálata 68
4.3.1 A tulajdonságok közötti összefüggés vizsgálatok 68
4.3.2 A szár szilárdságát befolyásoló tulajdonságok örökölhetőségi vizsgálata 73

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 77

5. 1 A szántóföldi vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések 77
5.1.1 A szárkorhadási vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések 77
5.1.2 A szár mechanikai szerkezetét jellemző eredményekből levont következtetések 82

5. 2. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések 86
5. 3 Az összefüggés-elemzések eredményei alapján tett következtetések 88

5. 4 Új tudományos eredmények 91

ÖSSZEFOGLALÁS 93

6. SUMMARY 95

7. MELLÉKLETEK 97

M1 Irodalomjegyzék 97

M2 Varianciaanalízis MQ-táblázatok 113

M3 Az értekezés témájában megjelent első- és társszerzős közlemények 113

M4 Konferencia-részvétel az értekezés témájában 118

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 119

ALKALMAZOTT RÖVIDÍTÉSEK

Rövidítések	**Angol elnevezés**	**Magyar elnevezés**
AZCL-HE-Cellulose	azurine crosslinked hydroxyethyl cellulose	azúrin térhálós hidroxietil cellulóz
FG36	*F. graminearum* 36 strain	*F. graminearum* 36 jelű izolátum
FGH4	*F. graminearum* H4 strain	*F. graminearum* H4 jelű izolátum
GCA	general combining ability	általános kombinálódó-képesség
Iod	Iodent heterotic group	Iodent heterózis csoport
ISSS	Iowa Stiff Stalk Syntetic heterotic group	Iowa Siff Stalk Syntetic heterózis csoport
KONT	control treatment	kontroll kezelés
K_2HPO_4	dipotassium phosphate	dikálium-hidrogén foszfát
MinnesotaSyn	Minnesota Syntetic heterotic group	Minnesota Syntetic heterózis csoport
MPS	Mindszentpusztai Yellow Dent heterotic group	Mindszentpusztai Sárga Lófogú heterózis csoport
NS	non significant	nem szignifikáns
OH43	OH43 heterotic group	OH43 heterózis csoport
QTL	quantitative trait locus	kvantitatív tulajdonságokért felelős lókusz
RFLP	restriction fragment length polymorphism	restrikciós fragmentumhossz polimorfizmus
SCA	specified combining ability	specifikus kombinálódó képesség

STER	treatment by non infected kernel	steril szemes kezelés
TrisHCl	Tris (hydroxymethyl) aminomethane hydrochloride	Trisz-(hidroximetil)-amino-metán-hidroklorid

1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS

Mottó: „Tengeri (kukoricza; Zea mays): A tengeriről kevés mondani valónk van, mert eléggé ismeretes.” /*Jäger H.* - Fordították és a hazai viszonyokra alkalmazták: *Hérics M.* és *Mauthner Ö.*, 1889/

A kukorica hazánk és a világ egyik legfontosabb kultúrnövénye, mind vetésterületét, mind pedig táplálkozási és takarmányozási szerepét tekintve. Vetésterülete hazánkban 1-1,2 millió hektár között változik évente. Felhasználása állati takarmányként az egész világon igen széleskörű, de távolabbi kontinenseken meghatározó élelmiszergabona, újabban pedig bioetanol gyártásának fontos alapanyagaként is tért nyert. Sokrétűségét ipari feldolgozásra való alkalmassága is alátámasztja. Magas keményítőtartalmú alapanyagként fontos szerepe van a keményítő-, cukor-, alkoholgyártásban és egyéb élelmiszer- (étolaj, izocukor), gyógyszer-, textil- és papíripari termék előállításában. Magyarország legjelentősebb takarmánynövénye, az abrak közel 90%-át biztosítja (Győri és Gy.-né Mile, 2002). Hazánkban az ipari felhasználás 8-10%, emellett a lakosság közvetlenül kevés "hagyományos" kukoricát fogyaszt. Nálunk főleg, mint kínálatbővítő termék, számtalan formában (kukoricapehely, liszt, keményítő, stb.) szolgálhatja étkezési kultúránk sokrétűségét és teljesebbé válását.

Hazánk kukoricatermesztése több évtizeden keresztül igen lassan fejlődött. A termésátlaga az 1800-as évek végén nem, vagy alig haladta meg az 1 t/ha-t, és az 1950-es évek végére is csak 2 t/ha körül volt. Az azt követő harminc évben a termésátlag megháromszorozódott. Magyarországon a termesztési tényezők hatását a kukorica átlagtermésének növekedésére Győrffy Béla értékelte polifaktoriális kísérleteiben. Megállapítása szerint a legfontosabb termésnövelő tényező a tápanyag, a második a fajta, mely 26%-kal járult hozzá a termés növekedéséhez (Győrffy, 1976). Ugyanezen kísérlet adataira alapozva később a fajta szerepét 30%-ra értékelte (Berzsenyi és Győrffy, 1995). Az utóbbi években a termésátlagok igen nagy ingadozást mutattak, melynek okaiként az egyre gyakoribb időjárási szélsőségeket, a felhasznált műtrágya dózis drasztikus visszaesését és a különböző károsítók okozta terméscsökkenést tehetjük felelőssé.

Napjainkban a kukorica termésbiztonsága szempontjából a legnagyobb kihívást az aszályos évek számának növekedése jelenti. Közvetlen következményeiként a vontatott és hiányos kelést, a heterogén, gyenge növényállományt, termékenyülési problémákat, korlátozott szemtelítődést és a kényszerérést említhetjük.

A száraz feltételek lényegesen növelik a szártőkorhadás kockázatát is, különösen a napjainkban használt nagyobb tőszámok esetében, ezért a szárkorhadással szembeni ellenállóképesség a korábbi évekhez viszonyítva ma még fontosabb kérdés. A szárazság stressz hatására idő előtti szárszövet pusztulás következik be, ami jelentősen megnöveli a fuzáriumos szárkorhadás kialakulásának lehetőségét. Az aszály okozta szártőkorhadást ugyan részben mérsékelni lehetne öntözéssel, de ez viszont a csőfuzárium kialakulásának esélyét növeli. A kukorica tenyészideje alatt a címerhányás és a nővirágzás alatti, illetve a megporzás utáni vízhiányra a legérzékenyebb. Az érés előrehaladásával azonban jelentősen csökken a növény vízigénye, ezért az öntözést az előbb említett fejlődési fázisokig szokták alkalmazni, ami a szárkorhadás kialakulásának esélyét aszályos években nem, vagy csak kis mértékben csökkenti.

1.1 A téma aktualitása, célkitűzés

A kukoricatermesztés napjainkban is az egyik legfontosabb növénytermesztési ágazata mind a világ, mind pedig a magyar mezőgazdaságnak. A piac és a termelők legfontosabb igénye egy új hibriddel szemben: a hektáronként betakarítható legnagyobb termésmennyiség. Az 1860-as évekhez képest körülbelül 600%-al nőtt a kukorica termésátlaga. Ez egyrészt a technológiai fejlesztéseknek, másrészt az értékes genetikai tulajdonságú hibridek kimagasló genetikai termőképességének köszönhető (Hallauer et al., 1988). A potenciális termőképesség realizálódását azonban a fajtákon és hibrideken kívül nagymértékben befolyásolják a különböző szintű termesztés technológiák és a kedvezőtlen ökológiai tényezők. A korábbi évtizedekhez képest időjárásunk egyre inkább bővelkedik különféle szélsőségekben: nő a hőségnapok száma, csökken a lehullott csapadék mennyisége, illetve kedvezőtlen annak időbeni és területi eloszlása. A fenti kedvezőtlen tényezők negatívan hatnak a kukorica gazdaságos termesztésére, s egyben kedvező feltételeket teremtenek több károsító felszaporodásának és elterjedésének is. Különböző technológiai elemekkel ugyan kompenzálhatjuk nem kívánt hatásukat, de ezek alkalmazása jelentős mértékben növeli a kukoricatermesztés amúgy is magas önköltségét.

A fuzáriumos szárkorhadásért felelős kórokozók az elmúlt 20 évben nem okoztak jelentős károkat hazánkban, ezért a nemesítők kisebb figyelmet szenteltek ennek a betegségnek. Az utóbbi évek megváltozott klimatikus elemei azonban kedveztek a betegség ismételt elterjedésének. Napjainkban a terméseredmények növelésére mindinkább az intenzív technológiák alkalmazása és elterjedése lehet a megoldás (Nagy, 2007), ami viszont tovább növelheti e betegség újbóli megjelenésének gyakoriságát.

Ahhoz, hogy a kórokozókkal szemben sikerrel védekezhessünk az intenzív termesztéstechnológiák alkalmazása és a jelentősen megváltozott környezeti feltételek mellett is, az eddigieknél jóval nagyobb szerepe lesz a fuzáriumos szárkorhadással szemben ellenálló kukorica vonalak és hibridek nemesítésének.

A kutatómunka célkitűzéseként a következő kérdésekre kerestünk választ:

1. Van-e különbség a vizsgált genotípusok tolerancia/rezisztencia szintjében a fuzáriumos szárkorhadással szemben?

2. Az elmúlt évtizedekben milyen mértékű volt a nemesítés fuzáriumos szárkorhadással szembeni előrehaladása a martonvásári hibridekben?

3. Milyen lehetőségeket adhat a betegség meghatározásában/értékelésében egy képelemző program alkalmazása?

4. A természetes vagy a mesterséges fertőzéssel jutunk pontosabb információkhoz egy genotípus szárkorhadásra való nemesítése esetében?

5. A szár mechanikai szerkezetét befolyásoló tulajdonságok (héjkéreg-ellenállás, szárátmérő) milyen összefüggéseket mutatnak a szár szilárdágával?

6. A sejtfalbontó celluláz enzim milyen szerepet játszik a fuzáriumos szárkorhadásban?

7. A szárszövetből készített szövetkivonat celluláz enzimaktivitásának meghatározása alkalmas módszer lehet-e a genotípusok fogékonyságának és ellenállóságának meghatározására?

8. A vizsgált tulajdonságok között milyen irányú és szorosságú összefüggések vannak?

9. Az egyes szárszilárdságot befolyásoló tulajdonságok örökölhetősége hogyan alakul a vizsgált tulajdonságok esetében?

10. A kapott kutatási eredmények hogyan realizálhatók a gyakorlati nemesítés során?

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ebben a fejezetben először áttekintjük a *Fusarium*-fajok gazdasági kártételének mértékét, majd a kukorica szárkorhadásáért felelős legfőbb mikroorganizmusokat tárgyaljuk. Ezek után részletezzük a kukorica és a fuzáriumos szárkorhadás gazda-parazita jellemzői összefüggéseit. Kitérünk a szár szilárdságát leginkább befolyásoló mechanikai paraméterekre, a szár kémiai összetételére és a szárkorhadásban szerepet játszó sejtfalbontó enzimekre.

2.1 A *Fusarium*-fajok gazdasági jelentősége a kukoricatermesztésben

Oerke (2005) szerint a kukoricában a gyomnövények 40,3%, az állati kártevők 15,9%, a növénypatogén gombák 9,4%, míg a vírusok 2,9% terméscsökkenést okozhatnak a világon. A szerző 1964-től ad áttekintést a biotikus faktorok által okozott tényleges termésveszteségekről is, mely szerint 2003-ig a gyomnövények által előidézett kár 13%-ról 10,5%-ra, az állati kártevőké 12,4%-ról 9,6%-ra csökkent, míg a növénybetegségeké (kórokozók és vírusok együtt) 9,4%-ról 11,2%-ra nőtt. A fenti adatok jól szemléltetik, hogy a kórokozók világszerte egyre nagyobb problémát jelentenek a kukoricatermesztésben. A kórokozók közül az egyik legjelentősebb problémát a *Fusarium*-nemzetség fajai jelentik, köszönhetően e fonalas gombák kiváló alkalmazkodóképességének. Negatív hatással vannak az élet minden területére, jelentős szerepet töltenek be, a gazdaságra, az egészségügyre, a társadalomra gyakorolt közvetlen, illetve közvetett szerepük megkérdőjelezhetetlen. Az első írásos említés a XVI. századból való, egy Mexikóban élt ferences szerzetestől, aki a kukorica csőrothadását okozó gombáról ír. A nemzetséget elsőként Link német botanikus írta le 1809-ben. Kontinentális éghajlaton főként a gabonanövényeken okoznak jelentős mennyiségi és minőségi veszteségeket. A kukoricát több *Fusarium*-faj is megtámadja, ezek közül a *F. graminearum*, a *F. culmorum*, a *F. verticillioides* és a *F. subglutinans* fajok a leggyakoriabbak. Ezek a fajok a kukorica valamennyi részét fertőzhetik a csírázástól egészen az érésig. A betegség első tünete a hiányos kelés. Ilyenkor a kórokozók a magot és a csíranövényt még kelés előtt a talajban megtámadják és elpusztítják. Később a kukoricacsöveket fertőzik meg, jelentős termésveszteségeket okozva ezzel (Holbert et al., 1924; Duncan et al., 1938; Kizmus, 1978; Vigier et al., 2001; Van Egmond et al., 2007). Többségük mikotoxinok egész sorát termelik, s ezek a másodlagos anyagcseretermékek súlyos minőségi kárt okoznak a termésben, továbbá komoly veszélyeket jelentenek mind humán-, mind pedig állategészségügyi szempontból.

Hatásuk következményeként csökken a takarmány tápértéke, romlik az állatok takarmányhasznosítása és súlyos emésztőrendszeri és ivarszervi elváltozásokat okozva csökken a szaporulat is (Petrás, 1952; Marasas et al., 1988; Harrison et al., 1990; Javed et al., 1993; Marasas, 1995; Raffai, 1999; Guerre et al., 2000).

Az állatokra kifejtett közvetlen hatásuk mellett számolnunk kell a közvetett hatásukkal is, hiszen az állatok egészségét rontva, csökken az állati termékek (tej, tojás) minősége, illetve mennyisége is. Ezek az élelmiszerek potenciális veszélyforrást képeznek a fogyasztók számára is (Chi et al., 1981). A fumonizinek humán-egészségügyi jelentősége is jelentős, mivel lehetséges karcinogének és többen a nyelőcsőrák kialakulásával hozzák őket összefüggésbe (Thiel et al., 1992; Marasas, 1995, 2001). További gazdasági kár, hogy a fertőzött szemeket vetőmagként sem lehet felhasználni (Parry et al., 1995).

A kórokozó a növény szárát is megtámadja. A szárkorhadás által okozott kár két részből tevődik össze. Egyrészt a növény idő előtti elhalása miatt gyengébb lesz a szemtelítődés, ami könnyű, kicsi csöveket okoz. Az irodalmi adatok szerint az ebből adódó termésveszteség széles intervallumban mozog. Durrell (1923), Pendleton et al., (1954) és DeVay et al., (1957) kísérleti eredményei szerint a terméscsökkenés 7-10%. Hasonló megállapításra jutott Hooker és Britton (1962) kétéves vizsgálati eredményeik alapján, ami szerintük több mint 70.000.000 dollárnak megfelelő értékű kárt jelenthet. A legtöbb szerző 10-20% közötti termésveszteséget állapított meg a szárkorhadás következményeként (Worf és Foley, 1963; Williams és Schmitthenner, 1963; Manninger, 1967; Zuber és Kang, 1978). Bottalico (1998) és Logrieco et al., (2002) a kórokozó által okozott terméscsökkenést 6-35% között mérte. McKeen (1951) szerint a kukorica potenciális termésvesztesége a kórokozók által akár 50-60% is lehet. Kínában 25 % körüli termésveszteségről számolnak be (Lu et al., 1995).

Másrészt a szárkorhadás által okozott veszteség a szártörés és dőlés miatt be nem takarítható termésből adódó betakarítási veszteség. A szárkorhadás következményeként 5-90%-os szárdőlésről számoltak be (Pammel et al., 1915; Koehler, 1960; Manninger, 1967; Zuber, 1973; Fischl, 1990; Malvick, 1995). A kidőlt és eltört szárról a termés betakarítása többlet időráfordítással oldható csak meg, és a kidőlt növényen maradt termés is a potenciálisan betakarítható takarmány mennyiségét csökkenti.

2.2 A kukorica szárkorhadását okozó gombák

A kukorica szárkorhadását különböző mikroorganizmusok – gombák és baktériumok – okozzák. Azt, hogy egy adott kukorica termőterületen melyik mikroorganizmus képes megélni, és felszaporodni, főleg a környezeti feltételek határozzák meg. Az irodalmi áttekintésnél a gombák által okozta szárkorhadást ismertetjük részletesen. Szükséges azonban megjegyezni, hogy a betegség kialakulásában más mikroorganizmusok is szerepet játszanak (Mazzucchi, 1972; Ferreira-Pinto et al., 2007).

A szárkorhadás kialakulásában a világ kukoricatermesztő körzeteiben a következő gombáknak van jelentős szerepük:

Az amerikai földrészen a *Stenocarpella maydis* (Berk.) Sutton (syn.: *Diplodia zeae* (Schw.) Lév.), *Gibberella zeae* (Schw.) Petch, *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Gibberella fujikuroi* (Saw.) Ito & Kimura, *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.), *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich, *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson okozza elsősorban a szárkorhadást (Holbert et al., 1924; Koehler, 1960; Christensen és Wilcoxson, 1966; Sutton, 1982; Munkvold and Desjardins, 1997; Bergstrom és Nicholson, 1999; Gatch és Munkvold, 2002, Ribeiro et al., 2005).

Ázsiában a *Gibberella zeae* (Schw.) Petch, *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Gibberella fujikuroi* (Saw.) Ito & Kimura, *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.), *Fusarium avenaceum* (Sacc.), *Fusarium oxysporum* (Schl.) Fr., *Pythium inflatum* Matthews szerepel kórokozóként (Ivashchenko, 1989; MacDonald és Chapman, 1997; Gagkaeva, 2003; Yang et al., 2005; Shekhar et al., 2008).

Ausztráliában a *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Stenocarpella maydis* (Berk.) Sutton (syn.: *Diplodia zeae* (Schw.) Lév.), *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.), *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) (syn.: *Helminthosporium sativum* Pamm., King & Bakke), *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch, *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich, *Fusarium oxysporum* (Schl.) Fr. a szárkorhadás kialakulásáért felelős kórokozók (Francis és Burgess, 1975)

Afrikában főleg a *Stenocarpella maydis* (Berk.) Sutton (syn.: *Diplodia zeae* (Schw.) Lév.), *Gibberella zeae* (Schw.) Petch, *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.), *Fusarium oxysporum* (Schl.) Fr., *Botryodiplodia theobromae* Pat. károsítja a kukoricát (Chambers, 1988; Osunlaja, 1990; Kedera et al., 1999; Alakonya et al., 2008).

Az európai kontinensen a *Gibberella zeae* (Schw.) Petch, *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Fusarium culmorum* (Schw.), *Gibberella fujikuroi* (Saw.) Ito & Kimura, *Fusarium poae* (Peck.) Wr., *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc, *Colletotrichum graminicola* (Ces.), *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich, *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch, *Fusarium proliferatum* (Matsushima) Nirenberg, *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.) (Hulea et al., 1968; Cassini, 1981; Maric, 1981; Draganic és Boric, 1991; Lew et al., 1997; Bottalico, 1998; Nyvalle, 1999; Nedelnic, 2002; Srobárová et al., 2002; Naef és Defago, 2006; Dorn et al., 2009) fajokat írták le a kukorica szárkorhadásáért felelős kórokozóként.

Hazánkban a *Gibberella zeae* (Schw.) Petch, *Fusarium graminearum* (Schwa.), *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn.: *Fusarium moniliforme* (Sheld.), *Fusarium oxysporum* (Schl.) Fr., *Fusarium culmorum* (Schw.), *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich, *Bipolaris sorokiniana* (Sacc. in Sorok.) Shoem. (syn. *Helminthosporium sativum*) (Pamm. King & Bakke) és az *Acremoniella* spp. gombákat tartják felelősnek a szárkorhadás kialakulásáért (Manninger, 1967; Békési és Hinfner, 1968, 1970; Vörös és Manninger, 1973; Szécsi, 1975a; Mesterházy és Vojtovics, 1977; Fischl, 1990; Fischl és Halász, 1990; Szécsi, 1994; Kizmus et al., 2000).

2.3 A kukorica fuzáriumos szárkorhadás gazda – parazita jellemzői

Hazánkban a fuzáriumos szárkorhadás járványszerű megbetegedést először az 1960-as években okozott (Manninger, 1967). Ahhoz, hogy súlyos, járványszerű fertőzés alakulhasson ki az alábbi tényezők együttesen jelenléte szükséges:

1. fogékony gazdanövény
2. fertőzőképes kórokozó
3. a fertőzés kialakulásának kedvező környezeti feltételek

2.3.1 Fogékony gazdanövény

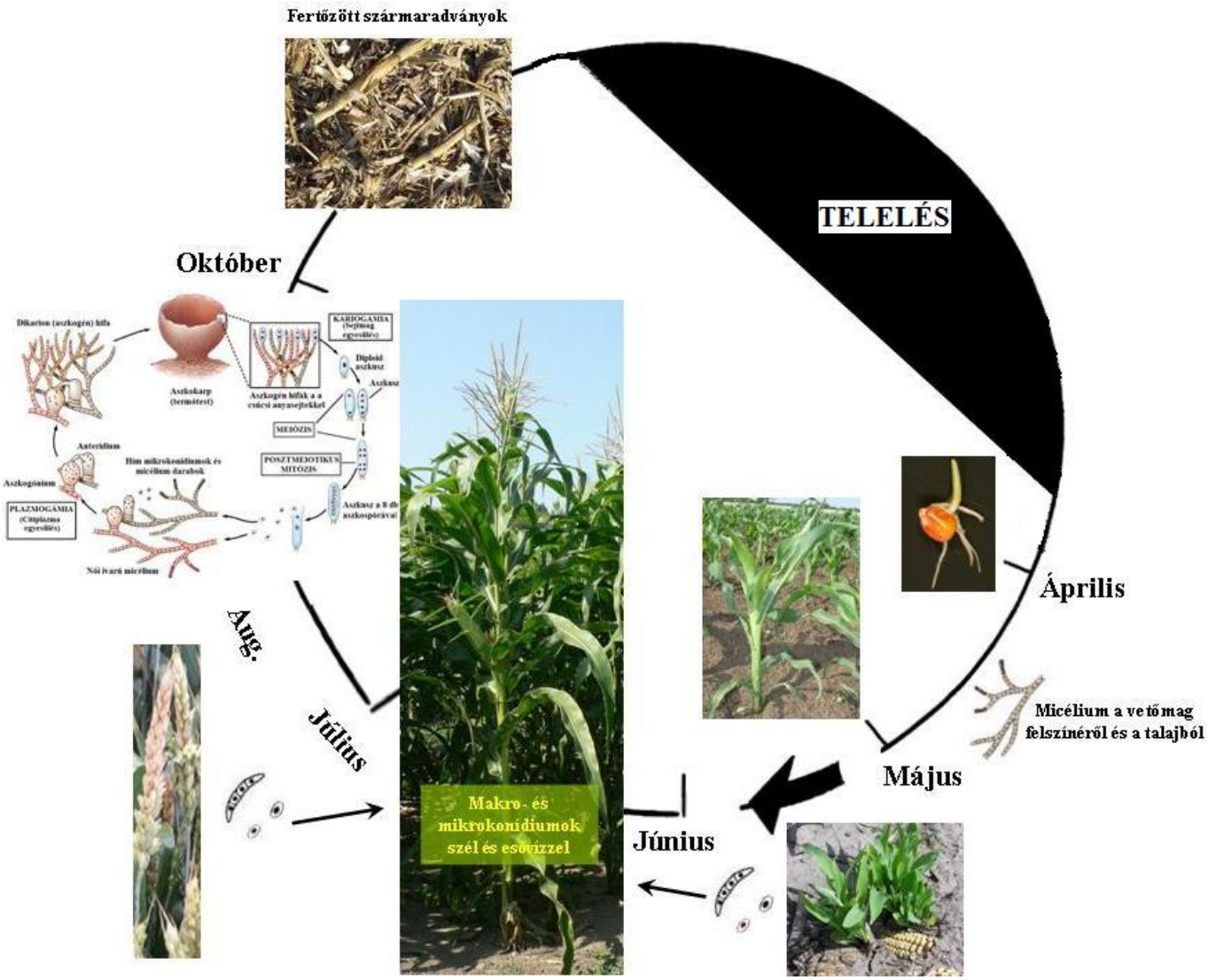
A beltenyésztett vonalak és hibridek között jelentős ellenállóságbeli különbségek vannak a szárkorhadással szemben, de teljesen ellenálló (rezisztens) genotípust eddig még nem azonosítottak (Shurtleff, 1984; Balint-Kurti és Johal, 2009). Ledencan et al. (2003) és Afolabi et al. (2008) nagy számban teszteltek kukorica genotípusokat szárkorhadással szemben és a vizsgált genotípusok között találtak néhány nagyon jó ellenállóságú genotípust. A szárkorhadással szembeni ellenállóság kvantitatív öröklődésű, túlnyomórészt additív génhatásokkal (Kappelman Jr és Thompson, 1966; Carson és Hooker, 1981; Holley és Goodman, 1988; Toman Jr. és White, 1993). Manninger (1972) szerint a hosszabb tenyészidejű fajták szárkorhadással szembeni ellenállósága jobb, mivel a hosszabb tenyészidő miatt több idő áll a rendelkezésre a szilárdító szövetek felépítéséhez, valamint tovább tart a növény turgora is. Az ellenállóképességet több fiziológiai, morfológiai és funkcionális jellemző határozza meg (Christensen és Wilcoxson, 1966). A kórokozó szaprofita életmódjából adódik, hogy az egészséges, élő zöld száron gazdasági küszöbértéket meghaladó károsítást nem okoz. Így a zöld száron („stay green”) érő kukorica genotípusok sokkal kisebb mértékben károsodnak a szárkorhadást előidéző kórokozóktól, mivel az ilyen genotípusok szárának bélszövete a vegetáció későbbi szakaszában is tovább tud funkcionálni (Thomas és Smart 1993). Herczegh (1977) eredményei azt mutatták, hogy a szárkorhadás hatására az egész növény gyorsan szárad, ezzel párhuzamosan a szem száradása is felgyorsul. Marton (2002) adatai ezzel ellentétesek: vizsgálatai szerint a szárdőlés negatív korrelációban áll a vízleadási ütemmel, azaz az egészséges növények vízleadása gyorsabb. Koehler (1960) szerint a szárkorhadás először a kétcsövű növényeken jelentkezik, ezt követően az egy csövet fejlesztett növényeken, s végül a cső nélküli, meddő növényeken. Craig (1960) szerint ennek fő oka a szárban található cukrok mennyiségének a változása. Megfigyelései szerint magas cukor koncentráció mellett a gombák nem képesek a szövetek elpusztítására, viszont amikor a szemtelítődéshez a növény a szárból mobilizálja a cukrokat, a gombák könnyebben okoznak betegséget. Kizmus (1994) szerint a fuzáriumos csőpenésszel szembeni ellenállóság öröklődésénél a fogékonyság dominanciája a meghatározó, azaz ha az egyik szülő vonal fogékony a fuzáriumos megbetegedésekre, a hibridjei is azok lesznek. Örökléstani vizsgálatokból kiderült, hogy rezisztens hibrid nagy biztonsággal csak akkor állítható elő, ha mindkét szülő jó vagy kiváló ellenállósággal rendelkezik a fuzáriumos csőpenésszel szemben. Akkor is lehet ellenálló egy hibrid, ha valamelyik szülő fogékony, de ilyenkor az ellenállóság nem jelezhető előre: egyszer az apa, máskor az anya ellenállóságához állt közelebb a hibrid.

Ha mindkét szülő fogékony, túlnyomórészt a hibridek is fogékonyak lesznek (Kovács et al. 1994, Mesterházy et al. 2000). A legfontosabb szárkorhadást okozó kórokozókkal – *Diplodia, Gibberella* spp. – szembeni rezisztencia egymással szoros pozitív korrelációban áll (Zuber et al., 1957; Koehler, 1960), bár egyes genotípusok különböző módon is válaszolhatnak (Kovács et al., 1988). Az egyes *Fusarium*-fajokkal szembeni rezisztencia egymással szoros korrelációban van (Focke és Focke, 1963). Mesterházy (1978, 1982) vizsgálatai szerint a csőpenészt okozó *F. graminearum* és *F. culmorum* szembeni rezisztencia genetikai alapja lényegében azonos. Pé et al. (1993) egy érzékeny és egy rezisztens kukoricavonal keresztezéséből származó 150 $F_{2:3}$ populációt vizsgáltak meg. Vizsgálatuk eredményeképp öt *Giberella* szárkorhadással szembeni rezisztenciáért felelős QTL helyet azonosítottak, melyek a 1, 3, 4, 5 és a 10. kromoszómán helyezkedtek el. Yang et al. (2010) a qRfg1 fő QTL lókusz 500 kb nagyságú régióját vizsgálták és a qRfg1 régión belül és körülötte több nagysűrűségű markert azonosítottak, melyeket felhasználva lehetővé vált a marker alapú szelekció a kukorica *Gibberella* okozta szárrothadásával szembeni rezisztencia fokozása érdekében. Mivel a qRfg1 régió vélelmezett génjei szerepet játszhatnak a növekedési erély kialakításában és nem kapcsolódnak tipikus receptorszerű rezisztencia génekhez, feltételezhető, hogy a qRfg1 tartós rezisztenciát alakít ki a *Gibberella* szárkorhadás ellen.

2.3.2 Fertőzőképes kórokozó

A *Fusarium*ok az *Ascomycetes* (tömlősgombák) osztályba tartozó három nemzetség (*Calonectria, Gibberella és Nectria*) anamorfjai. Hazánkban a fuzáriumos szárkorhadást okozó fajok közül a *F. verticillioides, F. graminearum, F. culmorum* a dominánsak. Jelenleg a telemorf alakjuk csak az első két fajnak ismert (*G. fujikuroi, G. zeae*). A *Fusarium*-fajok széles gazdanövénykörű fonalas gombák, számos gazdaságilag jelentős növényfajt fertőznek hazánkban is: búzát, hagymát, árpát, burgonyát, babot. A gabonaféléken és a kukoricán cső- és kalászpenészedést, valamint szárkorhadást okoznak. A kukorica szárkorhadása a pollenhullás után kezdődik, de a tömeges megjelenése a szemtermés fiziológiai érésekor van. A korhadás fő tünete a kukorica idő előtti pusztulása (premature death) és a szárak törése. A szár felülete gyakran tünetmentes, de nedves, csapadékos ősz esetén fehéres, halvány rózsaszín, sötétpiros penészréteg figyelhető meg rajta. A léziók felszínén megjelenhetnek az egymás mellett sűrűn elhelyezkedő apró, kékes-fekete, gömbölyű peritéciumok is (Koehler, 1960; Shurtleff, 1984). A szár alsó internódiumain sötétbarna léziók figyelhetőek meg. A szárat felhasítva szembetűnő a bélszövet sötétbarna elszíneződése (Mesterházy 1979, Kizmus et al. 2000) is.

A fertőzés végső stádiumában a kórokozók a kukoricaszár belső szöveteit szinte teljesen felemésztik, a szár üreges lesz (De Leon, 1974; Oren et al. 2003). A *Fusarium*-fajok biológiája – patogenitásukat kivéve – többé-kevésbé azonos, talaj- és vetőmagfertőző kórokozók. A talajban micéliummal és klamidospórákkal, ritkábban szkleróciumokkal, néha az elpusztult kukoricaszáron peritéciumokkal telelnek (Nyvall és Kommedahl, 1970; Sutton, 1982; Khonga és Sutton, 1988; Munkvold, 2003). A kórokozók micélium alakjában, a vetőmagban is áttelelhetnek, míg a szemek felületén klamidospóra és konídium formájában vannak jelen. A vetőmag belsejében 3-4 évig, annak külsején pedig 1-2 évig életképesek (Inch és Gilbert, 2003). Ezek a szaporítóképletek az elsődleges fertőzési források, melyek növénymaradványokon, elhullott kukoricacsöveken nagy mennyiségben megtalálhatóak és hosszú ideig fertőzőképesek (Cotten és Munkvold, 1998). A kórokozó életciklusa (1. ábra) április végén, májusban kezdődik. A magok felszínén vagy belsejében lévő gomba szisztémás kolonizálás után mintegy „belenő" a csíranövénybe, ahonnan eljut a gyökértől a száron keresztül egészen a kukoricaszemekig. A növénymaradványokon túlélő kórokozók micéliumuk segítségével a kis csíranövények oldal- és hajszálgyökereinek kutikuláján és epidermiszén át hatolhatnak be a kukoricába. Munkvold et al. (1997) vizsgálatai szerint a csíranövény koronagyökerének szöveteiből a szárba való bejutás a legnehezebb feladat, a további szövetekbe való terjedésnek már nincs limitáló tényezője. A virágzás időszakában a gombák makro- és mikrokonídium segítségével is fertőzhetnek, melyek a szél és esővíz segítségével juthatnak a növény leveleire a szomszédos búzatábláról vagy a talajban található származadványokról.



1. ábra A kukorica fuzáriumos szárkorhadást okozó *Fusarium* fajok életciklusa.

A micéliumok a levelekről is bemosódhatnak a levélhüvelybe fertőzve a nóduszokat, valamint a száron lévő sérüléseken keresztül közvetlenül a szárban is indíthatnak fertőzést (Bergstrom és Shields, 2002). A legtöbb fonalas aszkomicéta élete legnagyobb részében haploid, vegetatív úton történő szaporodását konídiumok képzésével biztosítja. Azonban megfelelő környezeti feltételek mellett az ivaros ciklus is végbemehet. Az ivaros szaporodás a patogén gombák evolúciójában hangsúlyos kérdés, mivel segítségével új patogén törzsek és változatok alakulhatnak ki. Ezek az új változatok képesek az addig rezisztens fajták megbetegítésére, ezzel újabb kihívás elé állítva a növényvédelemmel és nemesítéssel foglalkozó szakembereket. Az ivaros szaporodás megfelelő környezeti feltételek mellett általában augusztus végén, szeptemberben a női ivaros képletek (aszkogóniumok) differenciálódásával indul meg. Az aszkogóniumok csúcsi részén a legtöbb faj esetében párzófonal (trichogin) található.

A partner hím jellegű sejtmagvai (antheridiumok) a trichoginen át jutnak az aszkogóniumba. Az antheridiumok lehetnek mikro- vagy makrokonídiumok, illetve micélium darabok is. A plazmogámiát követően a sejtmagvak osztódnak, számos sokmagvú sejtet hozva létre. Ezekből a dikarion sejtekből mitózisos ciklus révén létrejön a dikarion (aszkogén) hifa, valamint a dikarion sejteket tartalmazó, pórusosan szeptált légmicélium. Ezt követően alakul ki a már szabadszemmel is látható termőtest (aszkokarp). Az aszkokarpban az aszkogén hifák csúcsi sejtjei tömlőkké, aszkusz anyasejtekké alakulnak, melyekben lejátszódik a kariogámia. Ez a kétmagvú sejt az egyetlen diploid sejt a teljes életciklus alatt. A kariogámiát követően az aszkuszok diploidok lesznek. A diploid sejtmag rögtön számfelező osztódásba kezd, amelyet fajtól függően egy, vagy néhány posztmeiotikus mitózis és végül az aszkospórák (aszkuszonként nyolc; négy mindkét párosodási típusból) képződése követ (Black, 2005). A bennük lévő spórák 30 cm-nél messzebbre is eljuthatnak, hogy megfelelő körülmények között kicsírázzanak, és újabb kompatibilis partnert megtalálva ismét elindítsák az ivaros ciklust, vagy ha ez nem következik be, akkor a szél segítségével fertőzik a kukoricát vagy a területen lévő egyéb növényi maradványokat. Fischl (1983) a primér fertőzési források és a fuzáriumos megbetegedés közötti kapcsolatot vizsgálta, és arra a megállapításra jutott, hogy a legfontosabb primér fertőzési források járványtani szempontból a fertőzött növényi maradványok. A talajba visszakerült növénymaradványokról közel 50%-ban voltak izolálhatóak különböző *Fusarium*-fajok. Szoros összefüggést talált a fertőzött vetőmag és a betegség kialakulása között is, bár véleménye szerint napjaink csávázó szerei nagymértékben kiiktatják ezt a fertőzési forrást. A talaj *Fusarium* terheltsége és a betegség kialakulása között pedig megbízható összefüggést nem talált. Miután a természetes fertőzöttség mértéke erősen hely- és évjáratfüggő, ezért több szerző is a mesterséges fertőzés alkalmazását tartja megfelelőnek a fuzáriumos szárkorhadás értékeléséhez. Az első módszerek már az 1900-as évek elején megjelentek (Heald et al. 1909, Smith és Holbert 1932). A mesterséges fertőzések eredményei jellemzően jól korrelálnak a természetes fertőzöttség értékeivel (Hooker 1956, Ledencan et al., 2003; Palaversic et al., 2004; Palaversic et al., 2007), bár ennek ellentmondó véleményeket is olvashatunk (Semeniuk et al., 1942, Mesterházy, 1981). Sprague (1954) megállapította, hogy a mesterséges fertőzési módszereknek köszönhetően az iowai kukoricanemesítési programban jelentős haladást értek el a szárkorhadással szembeni ellenállóság javításában.

2.3.3 A kórokozó számára kedvező környezeti feltételek

A növény szárkorhadással szembeni fogékonyságát nagymértékben meghatározzák a különböző ökológiai tényezők. A betegség kialakulásában jelentős szerepe van az adott év hőmérséklet- és csapadékviszonyainak, a termőhelyi adottságoknak, az alkalmazott agrotechnikának valamint az egyéb biotikus tényezőknek is.

2.3.3.1 Időjárási tényezők

Inokulumok főleg meleg és nedves környezetben képződnek (Sutton, 1982). Laboratóriumi körülmények között a peritéciumok 16-31 ^{o}C között képződtek, számuk 29 ^{o}C-ig nőtt. Képződésükhöz alacsony intenzitású UV fény is szükséges, a leghatásosabb a 300-320nm közötti hullámhossz. A peritéciumok érése a 9-10. napban a legkedvezőbb, de szántóföldön ez 2-3 hét is lehet (Tschanz et al., 1976). Dufault et al., (2002a, b) szántóföldi körülmények között vizsgálták a kukorica származadványokon lévő peritéciumok fejlődéséhez szükséges feltételeket. Arra a megállapításra jutottak, hogy a peritéciumok 15 ^{o}C alatt nem fejlődtek, de amikor a hőmérséklet emelkedett a peritéciumok elkezdték a fejlődésüket. Az aszkospórák képződése 13-33 ^{o}C között megy végbe, az optimum érték 25-28 ^{o}C (Ye, 1980). Trail et al. (2002) a fény és a nedvesség szerepét vizsgálták labor körülmények között és arra a megállapításra jutottak, hogy az aszkospóra képződés 8-30%-kal nagyobb fényben, mint sötétben, valamint állandó fényintenzitás mellett 92% páratartalom felett a legnagyobb. Ez ellentétben áll több szerző természetes körülmények mellett kapott adataival, mivel ők a legtöbb aszkospórát éjfél előtt, az esti órákban fogták (Paulitz, 1996; Inch et al., 2000). *Gibberella zeae* aszkospóra szóródása főleg az esőzések után 1-3 nappal volt aktív (Fernando et al., 2000). A makrokonídiumok képződéséhez szükséges hőmérséklet- és csapadékigény hasonló, mint a peritéciumoké és aszkospóráké, viszont szóródásukra jellemző a napi szakaszosság (Fernando et al., 2000). A tenyészidőszak alatti száraz, meleg (28-30 ^{o}C), valamint 2-3 héttel a virágzás utáni csapadékos időjárás kedvez a szárkorhadás kialakulásának. A kezdeti fejlődés időszakában uralkodó vízhiány valamint a kedvezőtlen vízháztartású talaj fokozza a szárkorhadás kialakulásának esélyét (Manninger, 1972). Fischl (1980) vizsgálatai szerint a tenyészidőszakban lehullott csapadék eloszlása a meghatározó a betegség kialakulásában, nem pedig a vegetációban lehullott csapadék mennyisége. Ha virágzás és magkötődés fázisában kevés a csapadék (június-július) akkor jelentős mértékű szárkorhadással számolhatunk.

Az elmúlt évek hazai időjárása bővelkedett meteorológiai anomáliákban. Ezek közül a 2007-es év volt a legsúlyosabb, ebben az évben a szárazságstressz épp virágzáskor következett be

(Könczöl, 2009). A fertőzést tovább fokozza, ha az őszi időszakban viszont sok eső esik (Pintér és Kálmán, 1978). A szárazság okozta stressz általában jelentős mértékben növeli a szárkorhadás kialakulásának a veszélyét (Dodd, 1980). A kukorica tenyészidejének korai szakaszában a növényt érő bármilyen stressz, ami éréskori kényszerérést okoz, fokozza a szárfertőzés kialakulását (Windels és Kommendahl, 1984). Michealson (1957) öntözött és öntözetlen körülmények között vizsgálta a szárkorhadás kialakulását. Arra az eredményre jutott, hogy az öntözött, mesterségesen fertőzött növények majdnem addig maradtak zöldek, mint az öntözetlen, nem fertőzött kontroll. A jégesőnek is fontos szerepe van a szárkorhadás nagyobb mértékű kialakulásában, mivel az általa okozott nyílt sérülések lehetőséget adnak a különböző szárkorhadásban szerepet játszó patogén gombáknak a könnyebb szárba való behatoláshoz (Littlefield, 1964). Dodd (1977) a gazdanövény x kórokozó x környezet kölcsönhatások szerepét magyarázza a szárkorhadás kialakulásában. A következő koncepciót dolgozta ki a kukorica szárkorhadás hajlamosságának összefoglaló értékelése. A környezeti stressz hatására csökken a növény fotoszintetikus teljesítménye (1), a fogékony növények szárában alacsonyabb a cukorkoncentráció, mint az ellenállóakban (2), a fogékony növények szárának bélszövete gyorsabban öregszik, mint az ellenállóaké (3), a gyökérkorhadás időben megelőzi a szárkorhadást (4), a szárkorhadásért felelős kórokozók gyenge patogének (5). Véleménye szerint a szárkorhadás kialakulása a növény által termelt szénhidrátokért – a cső és a szár között – folyó verseny eredményétől függ. Azonos feltételek mellett a nagyobb sink kapacitással rendelkező növényeken korábban alakul ki a szárkorhadás (Dodd, 1980).

2.3.3.2 Agrotechnika

A termesztéstechnológia elemei szintén nagy hatással vannak a szárkorhadás kifejlődésére és annak mértékére. A kukoricán károsító *Fusarium*-fajok a legtöbb gabonafélének is veszélyes parazitái. Ebből következik, hogy nemcsak a monokultúra, de a gyakori búza-kukorica dikultúra is elősegíti a kórokozók felszaporodását (Khonga és Sutton, 1988). A talaj tápanyagtartalmának is fontos szerepe van a szárkorhadás kialakulásában. Már az 1900-as évek elején megfigyelték azt, hogy a termékenyebb talajokon nagyobb mértékű a szárkorhadással lehet számolni (Koehler és Holbert, 1930). Koehler (1960) későbbi munkájában a tápanyagvisszapótlás és a szárkorhadás között azt az összefüggést ismertette, hogy ha N-t vagy N-t és P-t adtak a kukorica alá, akkor a szárkorhadás mértéke jelentősen növekedett.

Abban az esetben viszont, ha a három alap műtrágyát egyszerre adták a növények alá, a szárkorhadás mértéke nem volt magasabb, mint a műtrágyázatlan kontrollkezelésé. Több szerző is leírta, hogy a szárkorhadás kialakulásában a N:K arányának van fontos szerepe. Amikor a N műtrágya van túlsúlyban a K-mal szemben, súlyosabb szárkorhadással számolhatunk (Foley és Wernham, 1957; Parker és Burrows, 1959; Abney és Foley, 1971). Győrffy et al. (1965) vizsgálatai szerint 40%-ról 20%-ra csökkent a szárkorhadás mértéke az olyan területeken, ahol az egyoldalú N műtrágyázással szemben P és K műtrágyát is juttattak a kísérleti területre. Christensen és Wilcoxson (1966) véleménye szerint bizonyos időszakban a N és K kölcsönhatása fontos a különböző patogénekkel való szárfertőzés kialakulásában, azonban bizonyos időszakokban a N egyáltalán nem befolyásolja a szárkorhadás kialakulását. White et al. (1978) adatai szerint a N műtrágya csökkentette mind a mesterséges, mind a természetes fertőzés következményeként kialakult szárkorhadást, függetlenül a kijuttatás idejétől. Véleményük szerint a növény ellenállóbb lesz a szárkorhadással szemben akkor, ha a N a növény egész növekedési szakaszában a rendelkezésére áll, nem csak a korai időszakban. A növény növekedési időszakaszában az egyenletes és folyamatos N ellátottság miatt a szár bélszövetében a sejtek hosszabb ideig maradnak életben. Kádár (1992) adatai szerint a foszfor műtrágyázás Zn hiányt indukálva növeli a kukorica fuzáriumos szárkorhadását. A kálium ellátásának javulása viszont kedvezően hatott a betegséggel szemben. A K trágyázásban részesült parcellákon a kukorica szára még a törés idejekor is zöldebb maradt, így kisebb volt a szárkorhadásból adódó termésveszteség is. Véleménye szerint a K:P táplálás arányának, valamint kiegyensúlyozottságának nagy a jelentősége a betegségek fellépésének gyakoriságában is. A jó K ellátottság kapcsolatban van az erős sejtfal kialakulásával, ami növeli a növény szárkorhadással szembeni ellenállóságát és segíti a szilárd és egészséges szárak fennmaradását (Armstrong, 1998).

A sűrű növényállomány is fokozza a szárkorhadás kialakulásának az esélyét. Wilcoxson és Covey (1963) *F. graminearum* és *D. zeae* kórokozókkal fertőzték a kukorica szárát három növénysűrűség mellett és arra a megállapításra jutottak, hogy mindkét gomba esetében erősebb szárfertőzés alakult ki sűrűbb növényállomány esetében. Mortimor és Gates (1969) megfigyelése szerint az árnyékolás miatti kisebb fényintenzitás az oka nagyobb növényszám esetén a szárkorhadás iránti fogékonyság növekedésének. Dodd (1980) véleménye az, hogy a nagyobb növényszám miatt nemcsak a fény elérhetősége csökken a növények számára, hanem a vízé és a tápanyagé is, csökkentve ezáltal a növények fotoszintetikus tevékenységét. A tőszám növelése és a szárdőlés mértéke között Perry (1983) is pozitív, szignifikáns összefüggést kapott. Tőszámnövelés következményeként Lente és Pepó (2009) is erősebb fuzáriumos fertőzésről számol be.

2.3.3.3 Biotikus tényezők

A különböző rovarkártevők meghatározó szerepet töltenek be a szárfertőzés kezdeményezésében. A *Fusarium*-fajok terjesztésében hazai viszonyaink között a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) és a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera* Hbn.) hernyóinak kártétele lehet meghatározó. A kukoricamoly önmagában is képes szártörést előidézni, de megfigyelések szerint a hernyó által okozott sérüléseken gyakran másodlagos kórokozók is megjelennek (Taylor, 1952; Koehler, 1960; Keszthelyi et al., 2008).

A moly hernyója a száron okozott mechanikai sérülésekkel kaput nyit a szárkorhadást előidéző kórokozóknak is (Jarvis et al., 1984; Gilbertson et al., 1986; Bergstrom és Nicholson, 1999). A molyfertőzés fiziológiai stressz is a növénynek, mely fokozza a szárkorhadás kialakulásának lehetőségét (Gatch et al., 2002). A fuzáriumos fertőzöttség és a molyfertőzöttség közötti kapcsolat ugyan évjárattól függően változó erősségű, de minden esetben pozitív (Szentirmay és Szolnoky, 1976; Pálfy, 1983; Szőke és Marton, 2010). Bánáti et al. (2010) a kukoricamoly és gyapottok-bagolylepke szerepét vizsgálták a *F. verticillioides* micéliumok terjesztésében transzgénikus és izogénikus kukoricán. Arra a megállapításra jutottak, hogy mind az izogénikus, mind a transzgénikus kukorica esetében a két lepkefaj hernyójának fontos szerepe van a gomba micéliumának terjesztésében. A bagolylepke hernyójának vektor szerepe a jelentősebb. A kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) is terjesztheti a szárkorhadásért felelős gomba fajokat (Palmer és Kommedahl, 1969; Gilbertson et al., 1986). A kukorica levélbetegségeit okozó kórokozók is fokozhatják a szárkorhadás kialakulásának az esélyét azáltal, hogy a kisebb levélfelület csökkent fotoszintézist idéz elő, aminek következményeként a szárból hamarabb vándorolnak a tápanyagok – köztük a cukor is – a szembe, így segítve a szárkorhadást okozó gombák fejlődését (Pendleton et al., 1954; Rankin és Grau, 2002). Pintér és Kálmán (1978) megfigyelései szerint is nő a levélfelület csökkenés miatt a szárkorhadásra érzékenyebb genotípusok *Fusarium* fertőzöttsége a szárgyengülés következményeként. Egyes gomba fajok gátolják egymás fejlődését. A kukoricán jelenlévő *Aspergillus parasiticus* gátolja a *F. verticillioides* és a *F. proliferatum* növekedését, bár fumonizin termelésükre nincs hatással (Marin et al., 2001; Munkvold, 2003).

2.4 A kukorica szárszilárdságát befolyásoló tényezők

A szárszilárdságot két fontos tényező határozza meg: a szárkorhadás, valamint a kukoricaszár szöveti szerkezete és összetétele. Ez utóbbi nagymértékben meghatározza a szár mechanikai paramétereit, melyek a szárkorhadásra is hatással vannak, továbbá a szárdőlést is jelentős mértékben befolyásolják.

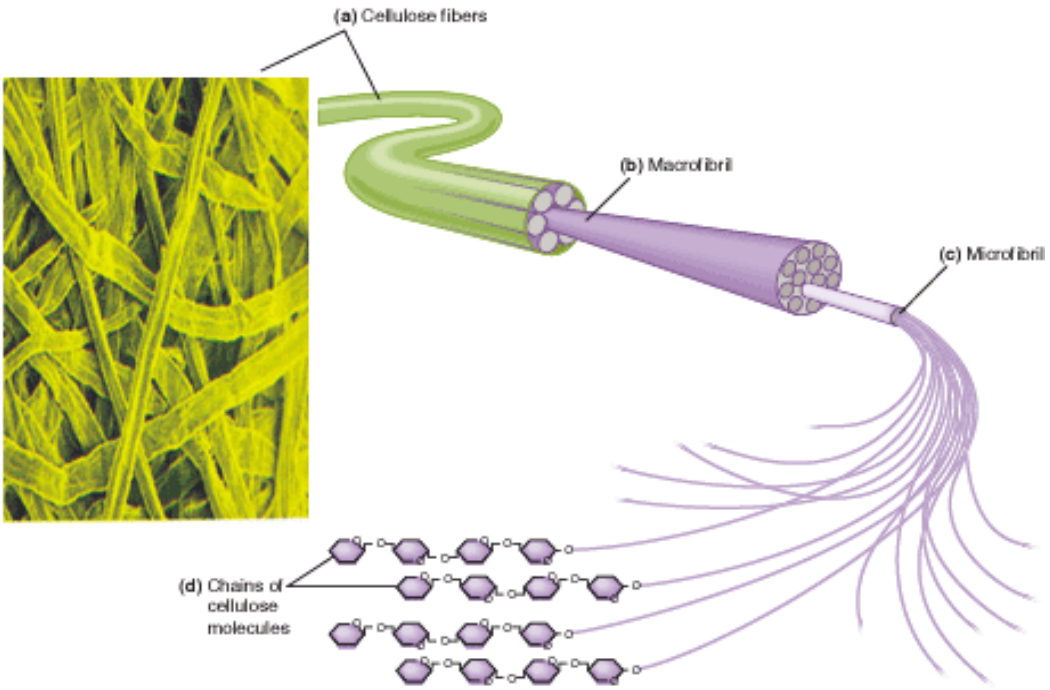
2.4.1 A kukoricaszár felépítése és kémiai összetétele

A kukoricaszár legnagyobb része lignocellulóz. A lignocellulóz tömör, összetett szerkezetét három fő alkotórész alakítja ki: 30-40% cellulóz, 25-35% hemicellulóz és 15-20% lignin, melyek mellett kisebb mennyiségben előfordulhatnak még egyéb poliszaharidok, fehérjék és hamu is. A lignocellulóz fizikai, kémiai és biológiai hatásokkal szemben is igen ellenálló rostos felépítésű, bonyolult rendszer, melynek sokoldalú, részletkérdésekben gazdag és szerteágazó irodalma van, ezért az alábbiakban most csak a nagyobb, összefoglaló munkákra utalunk. Sjöström (1981), Saha (2003), Fry (2004), Grabber (2005), Brett és Waldron (2007), Ulvskov (2010) műveiben további részletes irodalmi feldolgozás található. A téma irodalmi áttekintése meghaladja a dolgozat kereteit, ezért a továbbiakban csak a kukoricaszár-szövet cellulóz poliszaharidjával foglalkozunk részletesebben.

2.4.1.1 Cellulóz

A növényi sejtfal lignocellulózt alkotó makromolekulák közül a cellulóz a legnagyobb mennyiségben előforduló komponens. Az élővilág legelterjedtebb polimerje, vízben oldhatatlan, tipikus ballasztképző anyag (Fan et al., 1980, Theander et al., 1993). Elsősorban a másodlagos sejtfalban található, ahol nagyon fontos szerepe van a sejtfal szerkezetének stabilizálásában. Kémiailag a legegységesebb sejtfalalkotó, melyben a glükóz egységeket ß-1,4-glikozidos kötések kapcsolnak össze, így minden második monomer 180°-kal elfordulva helyezkedik el. Ennek köszönhető, hogy a létrejövő cellobióz lineáris szerkezetű, feszültségmentes polimer. A szalagszerű szerkezetet hidrogén-hídkötések és van der Waals erők stabilizálják, ami a glükán láncok kristályos rendezettségét eredményezi. A természetben a cellulóz sohasem egyszerű láncok formájában lelhető fel, hanem egymás mellett párhuzamosan elhelyezkedő láncokból kialakuló mikrofibrillumok formájában.

Elektronmikroszkópos képét és sematikus felépítését a 2. ábra mutatja (Jones és Bartlett, 2004). A képen látható felépítésének köszönhető stabil, nagy mechanikai szilárdságú rostos szerkezet. A lánc hossza növényfajtától függően 2000-25000 glükóz egységből áll (Kuga és Brown, 1991). A cellulózrostok a kristályos rendezett egységeken kívül kevésbé rendezett, amorf részekből állnak. A két egység egymást váltva fordul elő a rostokban. Az amorf részek viszonylagos rendezetlensége az oka annak, hogy az amorf részek könnyebben támadhatóak az enzimek számára, míg a kristályos szerkezetű egységek ellenállóbbak (Fan et al., 1980).



2. ábra A cellulóz elektronmikroszkópos képe és felépítése. (Jones és Bartlett, 2004).

2.4.1.2 A cellulózbontó enzimek

A természetben a cellulóz lebontását különböző cellulázok végzik. Ezek a kémiai vegyületek különböző mikroorganizmusok, növények és állatok belső vagy külső elválasztású enzimei, melyek segítségével a cellulózbázisú, polimer szénhidrát tápanyagokat egyszerű szénhidrátokká tudják alakítani. A ligninmátrixba ágyazott kristályos cellulóz oldhatatlan, biológiailag ellenálló rendszer, melynek lebontásához több enzim együttes működésére van szükség.

Reese et al. (1950) vezették be a szakirodalomba a lebontási folyamat modelljét, melyet C_1-Cx hipotézisnek neveztek el.

Elképzelésük szerint a C_1 komponens az, ami a kristályos natív cellulózláncokat fellazítva gyengíti, csak ezután hidrolizálható a cellulóz a Cx enzimek segítségével. Ezzel az elmélettel ellentétes Wood és McCrae (1972) véleménye. Szerintük a Cx komponens indítja meg a természetes cellulóz lebontását a C_1 faktor pedig a celluláz rendszer egyik enzime. Azt is megállapították, hogy a C_1 komponens cellobiohidroláz (exo-celluláz) és felállították azt a ma elfogadott hipotézist, amit Cx-C_1 rendszernek neveztek el (Wood és McCrae, 1978). Az enzimrendszer három fő alkotórészből áll: 1. endo-cellulázból, melynek szisztematikus neve 1,4-ß-D-glükán-4-glükánhidroláz (EC 3.2.1.4), 2. exo-cellulázból, szisztematikus neve 1,4-ß-D-glükán-cellobiohidroláz (EC 3.2.1.91), 3. ß-glükozidázból, szisztematikus neve ß-D-glükohidroláz (EC 3.2.1.21). Az általuk felállított mechanizmus szerint az endo-celluláz (melynek elnevezésére a Cx jelzést is használják) véletlenszerűen hasítja a cellulózlánc amorf régióit, így a kompakt cellulóz rendszer „fellazul" és szabad láncvégek képződnek. A bomlás következő lépéseként az exo-celluláz (C_1 komponens) cellobióz egységeket hasít le a kristályos cellulóz nemredukáló részéről. Utolsó lépésként a ß-glükozidáz (cellobiáz) katalizálja a cellobiózt, hidrolizálja a nagyobb szénatomszámú szénhidrátegységeket, ezzel akadályozva a végtermékgátlást (Woodward, 1991). A kristályos és az amorf cellulózt viszont nem képes aktiválni. Megállapították, hogy a *gpmk*1 MAP kináz szabályozza az extracelluláris endoglükanáz expresszióját, továbbá szerepet játszik a hemicellulóz- és fehérjebontó enzimek indukciójában, amire a fertőzés korai szakaszában van szükség (Jenczmionka et al., 2003).

2.4.1.3 A cellulózbontó enzimek szerepe a növényi betegségekben

A növényi betegségeknél sok esetben jelentős feladatot jelent a patogén szervezet számára a gazdaszervezet szöveteinek sejtfalán való behatolás. A legtöbb növénypatogén kórokozó enzimek segítségével bontja le a növényi szövetek sejtfalát, melyek közül az egyik csoportot a cellulózbontó enzimek alkotják. Szécsi (1975a) szerint a cellulázok a szövetek lebontásának kezdeti szakaszában valószínűleg nem játszanak szerepet, mivel a cellulóz mikrofibrillumokat pektinből és hemicellulózból álló sejtközötti állomány veszi körül, így először az enzimeknek azokat kell bontaniuk. Véleménye szerint a cellulázoknak azoknál a betegségeknél van fontos szerepük, ahol a gazdanövény adott fejlődési stádiumában a cellulóz alkotja a szövetek döntő többségét. Növénypatológusok szerint a cellulázok szerepe a patogenezisben általában nem különösebben fontos, hiszen a cellulóz nagyarányú degradációja jellemzően a fertőzés végén zajlik (Cooper, 1984). Przybyl et al. (2006) a szilfavész esetében vizsgálták az enzimaktivitás szerepét a különböző szilfavész izolátumoknál.

Megállapították, hogy az exoglükanáz, valamint a ß-glükozidáz és az izolátumok fertőzőképessége között szoros, pozitív a kapcsolat (p=5%, r=0,74 és 0,72). Novo et al. (2006) azt vizsgálták, hogy a celluláz enzim milyen szerepet játszik a verticilliumos hervadás patogenezisében. Két eltérő fertőzőképességű *Verticillium dahliae* izolátuma 1,4-ß-D-glükán-4-glükánhidroláz és a ß-D-glükohidroláz aktivitását mérték Avicel szénforráson. A két izolátum hasonlóan viselkedett az Avicelen, azzal a különbséggel, hogy az agresszívebb izolátumnak nagyobb volt mindkét vizsgált enzim aktivitása, illetve a kevésbé agresszív izolátumnak több időre volt szüksége a kristályos cellulóz bontásához. Azt feltételezték, hogy a celluláz enzim nem meghatározó az izolátumok agresszivitásában és a tünetek kialakításában, de a kórokozó behatolásában szerepet játszhat. Eshel et al. (2002) az *Alternaria alternata* által termelt endo-1,4-ß-glukanáz enzim szerepét vizsgálták, és megállapították, hogy ennek az enzimnek fontos szerepe van a betegség kialakulásában. A kórfolyamat jelentősen függött a táptalaj pH értékétől. Alacsonyabb pH mellett kisebb volt a betegség mértéke, pH 6-os érték fölött volt a legnagyobb az enzim aktivitása és az enzim mennyiségének emelkedésével fokozódott a kórokozó fertőzőképessége is. Argentin kutatók különböző agroökológiai környezetből származó *Fusarium graminearum* izolátumok extracelluláris enzimeit (pektináz, celluláz, hemicelluláz) vizsgálták. Megállapították, hogy a három enzim közül először a pektináz volt leghamarabb kimutatható a zabkorpát, mint szénforrást tartalmazó táptalajon. Ez az enzim termelődött legnagyobb arányban is. A másik két enzim 4-7 nap múlva volt csak kimutatható és kisebb mértékben termelődtek, mint a pektináz enzim. Azt is megállapították, hogy a virulencia pozitív kapcsolatban volt a termelt enzimek mennyiségével (Kikot et al., 2009; Kikot et al., 2010).

A kukorica fuzáriumos betegségében is fontos szerepet játszanak a gomba enzimei. Durrell (1923) megállapította, hogy a *Diplodia zeae* hasznosítani tudja a szárszövetet alkotó cellulózt, így azt feltételezte, hogy a cellulóz lebontása a korhadás fő folyamata. Foley (1959) *Fusarium moniliforme (syn: Fusarium verticillioides)* gombával fertőzött kukoricaszárból készített szövetkivonatnak mérte a cellulázenzim-aktivitását és kimutatta, hogy mind a rezisztens, mind pedig a fogékony hibrid szárszövet kivonata enzimaktivitást mutatott. Későbbiekben tovább folytatták a vizsgálataikat és négy hibridet felhasználva, meghatározták a szárkorhadás mértékét, mérték a szárak szakítószilárdságát, valamint a szövetek cellulázenzim-aktivitását. Két éves adataik alapján megállapították, hogy a szárkorhadás mértéke és a szár szilárdsága között negatív, míg a szárkorhadás és a cellulázenzim-aktivitás között pozitív az összefüggés. A legnagyobb szárkorhadást és cellulázenzim-aktivitást az októberben értékelt kukorica származintái esetében mértek. Megfigyeléseik szerint a környezeti feltételek erősen befolyásolták a szárkorhadás mértékét (Ikenberry és Foley, 1967).

Szécsi (1970a, 1970b) négy beltenyésztett kukoricavonal szárát fertőzte *Fusarium graminearum* törzzsel és a tíznaponként begyűjtött fertőzött és fertőzetlen szárminták szövetszűrletéből mérte a sejtfalbontó enzimek mennyiségét. Vizsgálatai szerint a mesterségesen fertőzött növények szárszövetéből kimutatható volt enzimreakció, míg az egészséges növényekéből nem. A pektinbontó enzimek közül csak poligalakturonáz volt jelen, de az sem mind a négy törzs esetében. Celluláz és proteáz enzim következetesen mindig kimutatható volt és a celluláz enzim volt a legaktívabb. A szárkorhadás mértéke pozitív összefüggésben volt az enzimaktivitással. Véleménye szerint a szövetek korhadásáért elsősorban a celluláz enzim tehető felelőssé. Másik vizsgálatában a fuzáriumos szárkorhadással szemben két eltérő fogékonyságú kukoricavonal cellulázenzim-aktivitás különbségét vizsgálta. Az erősen fogékony kukoricavonal esetében figyelte meg a legnagyobb enzimaktivitást és aktivitásnövekedést is, míg a rezisztens vonalnál volt a legkisebb cellulázenzim-aktivitás és az aktivitás mértéke sem növekedett a tizedik napot követően. Véleménye szerint a két kukoricavonal eltérő fogékonysága a fuzáriumos szárkorhadással szembeni és a különböző mértékű cellulázenzim-aktivitás közötti különbség összefüggésbe hozhatóak egymással: adott kukorica genotípus szárszövet-kivonat enzimaktivitási értékeiből következtetni lehet a genotípus fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságára (Szécsi, 1975b). Mivel csak a fuzáriummal fertőzött kukoricaszár szövetkivonata mutatott enzimaktivitást, az egészséges növényé nem, így véleménye szerint a természetes fuzáriumos szárfertőzés mértékének cellulázenzim-aktivitás mérésén alapuló kimutatásával is megfelelő információt kapunk egy kukorica genotípus fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságáról, mesterséges szárfertőzés alkalmazása nélkül is (Szécsi, 1985). Chambers (1987) a kukorica és a szárkorhadást okozó kórokozók kapcsolatát értékelve arra a megállapításra jutott, hogy a vizsgált négy kórokozó (*D. zeae, M. phaseolina, F. moniliforme, F. graminearum*) közül a *F. graminearum* okozta a legnagyobb szemtermés csökkenést, valamint a vizsgált genotípusokban mért celluláz enzim mennyisége és a kórokozók fertőzőképessége között szignifikánsan igazolható kapcsolat volt. Martin et al. (1998) *Fusarium*-fajokkal fertőzött kukoricaszemekben különböző enzimeket azonosítottak, melyek fontos szerepet játszottak a kukoricaszemek sejtfalának degradációjában. Ahmad et al. (2006) pozitív kapcsolatot kaptak a fuzáriumos szárkorhadás mértéke valamint a pektináz, lipáz és celluláz enzimek aktivitása között. Szőke et al. (2009) szántóföldön mesterségesen fertőztek 3 kétvonalas kukorica hibridet és azok szülői komponenseit két *F. graminearum* izolátummal. Adataik szerint a szántóföldön erősebben fertőzött genotípusok szárszövet-kivonatainak cellulázenzim-aktivitása nagyobb volt, mint a kisebb mértékben fertőződött genotípusok enzimaktivitása.

2.5. Képelemző szoftverek alkalmazása a növénykórtanban

A növénykórtani kutatások során alkalmazott mérési és értékelési módszerek gyakran szubjektív megítéléseket is tartalmaznak, illetve a növényekről vizuálisan nyert információk egzakt számszerűsítése is problémát okozhat. Erre a problémára hatékony megoldást jelenthetnek a különböző képanalizáló programok. A képelemző rendszerek lehetővé teszik, hogy szabadszemmel nehezen értékelhető különbségeket – mint például színváltozásokat – is elemezzünk, mely után az módosulás mértéke jóval könnyebben és pontosabban számszerűsíthető a statisztikai elemzések számára.

Blanchette (1982) különböző farontó gombák esetében számol be egy képelemzővel végzett méréstechnikáról, mellyel a vizsgált fa metszetének színelváltozása alapján határozta meg a beteg részek nagyságát. A képelemzővel és a kézzel végzett mérések között nagyon szoros összefüggést kapott (r> 0,91**). Betegség kártételének meghatározásakor a növénypatológusok több alkalommal túlbecsülték a betegség nagyságát, főleg abban az esetben, ha annak aránya kicsi volt. Ugyanazon kórképre különböző növénypatológusok egymásnak elletmondó értékeket adtak (Sherwood et al. 1983). Bock et al. (2008) *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* kórképét elemezték vizuális értékeléssel és egyidőben képelemző alkalmazásával. A 210 levélmintát értékelve azt állapították meg, hogy a képelemzővel meghatározott tünettípusok sokkal pontosabban meghatározhatók voltak, mint a vizuális értékeléssel. Virág és Szőke (2011) hiperspektrális képelemzéssel vizsgáltak *Fusarium verticilloides* gombával fertőzött és egészséges kukoricaszemeket. Megállapították, hogy szignifikáns különbség van az egészséges és a gombával fertőzött kukoricaszemek spektrális képe között. Berke et al. (1995) a digitális fényképfeldolgozás mezőgazdasági alkalmazási lehetőségeit foglalják össze. Megítélésük szerint a módszer eredményesen segítheti különböző növények, vagy növénycsoportok elváltozásainak meghatározását, a közeli kamerás felvételek felhasználásával pedig növényi betegségeket diagnosztizálhatunk. A módszer előnyeként említik még, hogy a képi információk digitális tárolása hosszú ideig biztosítja az egyes jelenségek archiválását. Ez lehetőséget ad arra is, hogyha az adott kísérlet már nem megismételhető, az eltárolt adatokon újabb szempontok szerinti értékelést akkor is végezhetünk. Gergely (2004) burgonyagumók rezisztenciavizsgálatát végezte *Phytophthora infestans* fertőzéssel szemben. A burgonyagumókat a megfelelő protokoll szerint *P. infestans* micéliumából készített elicitorpreparátummal kezelte, majd 72 órás inkubálás után fekete-fehér felvételeket készített róluk. Ezt követően a fotókat digitális fényképelemző programmal értékelte és ezeknek köszönhetően jelentős különbségeket mutatott ki a vizsgált genotípusok között.

Véleménye szerint a laboratóriumi rezisztenciavizsgálatokban a megbetegedett szövetrészek, illetve a hiperszenzitív szöveti reakciók mérésére használt digitális képfeldolgozási technika lényegesen pontosabb értékelést tett lehetővé, mint a hagyományos, bonitálásos fertőzöttség-értékelési módszer. Todd és Kommedahl (1994) képelemző programmal és vizuális becsléssel értékelték a kukorica fuzáriumos szárkorhadását két hibrid esetében. Kísérletükben *F. moniliforme, F. graminearum* és *F. proliferatum* gombákkal mesterségesen fertőzték a kukoricaszárat. A fertőzéshez fertőzött fogvájókat használtak. Kontrollként két kezelést alkalmaztak: steril fogvájót helyeztek a szárba, illetve kezelés nélküli szármintákat értékeltek. A vizuális becslést 0-4-es skálán végezték, ahol: 0 = 0%, 1 = 1-25%, 2 = 26-50%, 3 = 51-75%, 4 = 76-100% fertőzöttséget jelentett. A képelemzéshez lefényképezték a kettévágott szárat, majd meghatározták a szár felületét. Abban az esetben, ha volt fertőzött rész is a szárban, annak nagyságát is mérték a programmal. A két terület nagyságágából százalékosan adták meg a fertőzés mértékét. Eredményeik alapján a *Fusarium*-fajok között a következő különbségeket tudták tenni: mindkét mérési mód esetében a *F. moniliforme* volt a legagresszivebb faj, melyet a *F. graminearum* követett, s a legkevésbé agressziv gomba a *F. proliferatum* volt. A két módszer mérési eredményei között a következő különbség volt: a vizuális értékeléssel a *F. moniliforme* és a *F. graminearum* között a különbség statisztikailag nem volt igazolható, míg a képelemzővel mért adatoknál ennél a két gombánál is statisztikailag igazolható különbségeket kaptak. A két hibrid között a három év alatt mindkét módszerrel hasonló különbségeket tudtak tenni. Véleményük szerint a két módszerrel kapott adatok hasonló értékeket adnak, de a képelemző adatai alapján könnyebb eldönteni a kezelések közötti különbségeket. Általános szárkorhadás felvételezéshez elégségesnek tartják a vizuális értékelési módszert. Abban az esetben viszont, ha a vizsgált genotípusok szárkorhadással szembeni érzékenységéről pontosabb információra van szükségünk, a képelemzővel meghatározott adatok használatát tartják előnyösebbnek. Példaként az örökölhetőségi vizsgálatokat és a fuzáriumos szárkorhadással szembeni rezisztencia munkákat említik meg. Különböző izolátumok fertőzőképességének az értékelésére is a képelemző alkalmazását javasolják. Hátrányaként említik a képelemzővel való értékelésnek, hogy a vizuális értékelésnél több munkát igényel és költségesebb.

2.6 A kukoricaszár mechanikai jellemzőivel összefüggő tulajdonságok

A szárkorhadás kórtani és fiziológiai okainak vizsgálata szinte teljes magyarázatot adott a betegség folyamatáról és nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a nemesítők a megfelelő szelekciós módszerekkel, minél jobb, fuzáriumos szárkorhadással szemben ellenálló hibrideket állítsanak elő.

A kukorica szárszilárdságának megítélése szempontjából nagyon fontos a szár mechanikai szerkezete is. A jelentős mértékben megnövekedett energiaárak arra ösztönzik a termelőket, hogy a lehető legkésőbbi időpontban takarítsák be a kukoricájukat, ezzel jutva "ingyen" szárítókapacitáshoz. Azonban a kinyújtott, késő őszi betakarítás velejárója a kedvezőtlen hatásokat kiváltó őszi időjárás, mely időszak alatt a szárnak továbbra is meg kell tartania a csöveket, egészen a betakarítás végéig. Így a kérdéskör kiemelt fontossága miatt a nemesítők további, még megbízhatóbb és hatékonyabb módszereket kerestek a szárszilárdságra való nemesítés érdekében.

2.6.1 Héjkéreg-ellenállás

Zuber és Grogan (1961) a szár mechanikai paramétereit vizsgálva megállapították, hogy a héjkéreg vastagság és a föld feletti második internódium összenyomhatósági szilárdságának – crushing strength – adatai megfelelő szelekciós információ arra, hogy a szárszilárdságot fokozni tudjuk. Későbbi munkájukban azt is közlik, hogy a héjkéreg vastagsága a szárkorhadás fertőzésének erősségétől független, míg a szár összenyomhatósági szilárdságával összefüggő tulajdonság. Ezért a szelekció során inkább az összenyomhatósági szilárdság használatát javasolják. A tulajdonság kvantitatív módon öröklődik és a nagyobb összenyomhatósági szilárdság domináns a kisebbel szemben. (Zuber és Loesch, 1962). Az összenyomhatósági szilárdság főleg a héjkéreg tulajdonságaitól függ, de genotípustól függően 20-50%-ban a bélszövet is hozzájárulhat a szilárdság kialakításához (Zuber et al., 1980). A szárszilárdság növeléséhez az összenyomhatósági szárszilárdság mérést Kálmán et al. (1974) is javasolják. Thompson (1963) véleménye szerint a szár mechanikai paraméterei alapján eredményesebben szelektálhatunk a szárszilárdságra, mivel ezt a tulajdonságot a környezet kevésbé módosítja, míg a szárkorhadás kórokozóinak megjelenését annál inkább. Mesterházy (1981) véleménye szerint a szárszilárdságra való nemesítésnél a szár mechanikai tulajdonságait és a szárkorhadást is vizsgálni kell.

Mivel az összenyomhatósági szilárdság vizsgálata a növény elpusztulásával jár, más módszerek kidolgozását is elkezdték a nemesítők. A kukorica héjkéreg ellenállásának – puncture test – mérése alkalmas módszernek tűnt erre, mivel a növény elpusztítása nélkül, a tenyészkertben is elvégezhető a vizsgálat. Az összenyomhatósági szilárdság valamint a héjkéreg-ellenállás között a szoros kapcsolatot több kutató is megállapította (Zuber, 1973; Colbert és Zuber, 1978; Zuber és Kang, 1978). Colbert et al. (1983) héjkéreg-ellenállás növelésére szelektáltak melynek eredményként a héjkéreg összenyomhatósági értékek is növekedtek. Megállapították, hogy a héjkéreg-ellenállás a környezettől kevésbé függő tulajdonság.

Marton (2002) három különböző tőszámú állományban vizsgálta a héjkéreg-ellenállást és a két évjárat héjkéreg-ellenállása között minden tőszámban szoros összefüggést kapott. Berzonsky és Hawk (1986) két szintetikus populáció szár összenyomhatósági szilárdságra javított ciklusait hasonlították össze, és azt állapították meg, hogy a nagyobb összenyomhatósági értékek nagyobb héjkéreg-ellenállóságot is eredményeznek. Twumasi-Afriyie és Hunter (1982) szerint a héjkéreg-ellenállás mérése megfelelő módszer a szárdőléssel szembeni szelekcióban. Egyszerű, jól korrelál a megdőlés ellenállósággal és függetlenül alkalmazható a genotípusok közötti különbségek pontos kimutatására nagy- és kismértékű megdőlés esetében egyaránt. Hasonló pozitív véleményt fogalmaz meg a héjkéreg-ellenállásméréssel kapcsolatban Anderson és White (1994) is. Brotslaw et al. (1988) a héjkéreg ellenállás és az egyedi produkció közötti összefüggést vizsgálták. A két tényező között többcsövű populációk esetében csak igen laza volt a kapcsolat vagy egyáltalán nem volt összefüggés.

Dudley (1994) virágzás előtt mért héjkéreg-ellenállás alapján szelektált. Ez alapján a populációnak javult a virágzás utáni héjkéreg-ellenállása és a szárdőlés ellenállóság is. Martin és Russel (1984a,b) populációk szárszilárdságának javítása során azt tapasztalta, hogy a szelekció során a szárszilárdság javulásával párhuzamosan nőtt a virágzásig eltelt idő. Dolstra et al., (1995) szerint a korai vonalak előállításánál különös gondot kell fordítani a szárszilárdság ellenőrzésére.

Kovács et al. (1988) cső- és szárfuzáriummal szembeni ellenállóságot vizsgált kukorica hibrideknél. A szárfertőzést a kettévágott szár bélszövetének egészségi állapota alapján értékelték és a szár kéregellenállását is mérték. Összefüggésvizsgálataik szerint szoros negatív kapcsolatot kaptak a mechanikai szárszilárdság és a fuzáriumos szárkorhadás között, azaz a jó kéregellenállással rendelkező hibridek a szárkorhadással szemben is ellenállóbbak voltak. Korábbi vizsgálatok arra utaltak, hogy a szárkorhadással szembeni ellenállóság kvantitatív jellegű öröklésmenetet követ (Jugenheimer 1940, Sprague 1954). Zuber et al. (1957) szerint az F_1 hibridek ellenállósága a szülők teljesítménye alapján jól becsülhető. A héjkéreg-ellenállás poligénikusan öröklődő tulajdonság, ami nincs korrelációban a szárkorhadással szembeni ellenálló-képességgel (Mesterházy, 1981). Georgiev (1977) és Marton (2002) meghatározta a héjkéreg-ellenállás szülő-utód regresszióját. Adataik szerint az apa és a hibrid utód közötti korrelációk magas megbízhatósági szinten szorosabbak voltak, mint az anya és hibrid utód közötti kapcsolatok. Perry (1983) diallél kísérlete alapján a héjkéreg-ellenállás öröklődésében megbízható GCA és SCA hatásokat talált. Kang et al. (1999) is megbízható GCA hatást mutattak ki a héjkéreg-ellenállás öröklődésében, viszont az SCA értékei és a reciprokhatások kísérletükben nem voltak statisztikailag igazolhatóak. Aneuploid sorozat segítségével megállapították, hogy a szárszilárdságért és a nővirágzásért felelős gének az 5. kromoszóma rövid karján találhatók (Lee et al., 1991).

Heredia et al. (1996) eredményei szerint az umc 166 és az umc 27 lókuszok RFLP c allél gyakorisága szoros pozitív, míg a bnl 15.45 allél gyakorisága szoros negatív korrelációban áll a héjkéreg ellenállással. Marton (2002) szerint egyidejűleg folytatható sikeres szelekció a szárszilárdság javítására, a termőképesség növelésére és a vízleadás ütemének fokozására.

2. 6. 2 A kukorica szárdőlése és a szár átmérője

Amerikai adatok szerint a szárdőlés okozta terméskiesés éves szinten 5-20% között lehet (Zuber és Kang, 1978; Kang et al., 1999). A csökkenés összefüggésben van a szárdőlés mértékével, amit jelentősen befolyásol az évjárat (Jugenheimer, 1940; Koehler, 1960). Thompson (1963) is vizsgálta a szár héjkéregvastagsága és a szárdőlés közötti kapcsolatot. Azt állapította meg, hogy ha a héjkéregvastagsága átlagosan 0,02 mm-rel csökkent, a szárdőlés 1,56%-kal emelkedett, azaz a héjkéreg vastagság és a szárdőlés közötti kapcsolat negatív. A szár héjkérgének fontos szerepét a szárdőléssel szembeni rezisztenciában több szerző is igazolta (Colbert and Zuber, 1978; Mesterházy, 1981; Albrecht et al., 1986; Sibale et al., 1992; Abedon et al., 1999). Marton (2002) a szárdőlés és a héjkéreg-ellenállás között szignifikánsan megbízható, negatív összefüggést kapott, ezért véleménye szerint a penetrométeres héjkéreg-ellenállásmérés megfelelő módszer lehet a szárdőléssel szembeni ellenállóság növelésére történő szelekció során.

Schertz et al. (1978) arról számol be, hogy a cirok szárátmérője és a szárdőlés között nagyon szoros negatív összefüggés van. Marton (2002) kukoricában 70.000 tő/ha növényszám mellett a szárátmérő és a szárdőlés között közepes erősségű, negatív kapcsolatot, míg a szárátmérő és a héjkéreg-ellenállás között megbízható pozitív korrelációt kapott. Megállapította, hogy a szárdőlési százalék esetében az anyai szülő és a hibrid utód közötti korrelációk szorosabbak, mint az apai szülő – hibrid utód közöttiek. A hibridek szárdőléssel szembeni ellenállósága magas tőszámban (100.000 tő/ha) gyengébb volt, mint a vonalaké. Véleménye szerint a szárátmérő fontos szelekciós szempont, mivel jól jelzi egy genotípus szárszilárdságát és azzal együtt a termőképességét is. A szárátmérő és a szárdőlés között Hondroyianni et al. (2000) és Esechie et al. (2004) nem találtak összefüggést. A szár cukortartalma és a szárdőlés között több szerző is negatív összefüggést talált (Twumasi-Afriyie és Hunter, 1982; Albrecht et al., 1986), bár olyan publikációkat is olvashatunk, melyben a szerzők nem találtak összefüggést a két paraméter között (Willman et al., 1987; Hondroyianni et al., 2000). Li (1997) arról számol be, hogy a magasabb lignintartalmú, érés előtti kukoricaszár hajlamosabb a szártörésre, mint az alacsonyabb lignintartalmú szár. Megállapítása szerint a szárdőlésre fogékonyabb hibridek héjkéreg parenchimájában nagyobb volt a sejtközötti tér, mint az ellenállóbb hibridekben.

Hondroyianni et al. (2000) viszont nem talált összefüggést a szárdőlés és a lignintartalom között. Esechie et al. (2004) megállapították, hogy a szárdőléssel szembeni rezisztenciára történő nemesítés akkor a legeredményesebb, ha a szelekciós program során egyszerre több tulajdonságot is figyelemmel kísérünk. A szárdőléssel szembeni ellenállóság kvantitatív módon öröklődik (Sprague 1954, Zuber et al 1957), illetve az F_1 hibridek jellemzően a jobbik szülőhöz hasonlítanak (Jugenheimer 1940).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokat 2006-2008 között végeztük Martonvásáron, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetben (MTA MGKI). Az adatok szántóföldi és laboratóriumban végzett mérések eredményeiből származnak.

3.1 Vizsgált genotípusok

A kísérlet 3 évében 8 kétvonalas hibridet és azok szülői vonalait vizsgáltuk (1. táblázat). A hibridek különböző években voltak köztermesztésben és két anyag kivételével a FAO300-as éréscsoportba tartoztak. A beltenyésztett törzsek különböző rokonsági körhöz tartozó anyagok voltak: Iodent (Iod), Iodent/Lancaster, Iodent/ISSS, Iowa Stiff Stalk Synthetic (ISSS), ISSS/Minnesota13, Mindszentpusztai Sárga Lófogú (MPS), OH43, MinnesotaSyn és Non related.

1. táblázat. A kísérletekben vizsgált hibridek és beltenyésztett vonalak

BELTENYÉSZTETT TÖRZSEK			
Sorszám	*Jelölés*	*Rokonsági kör*	
01	P01	ISSS	
02	P02	Iodent/Lancaster	
03	P03	ISSS/Minnesota13	
04	P04	Iodent	
05	P05	Iodent/Lancaster	
06	P06	ISSS	
07	P07	ISSS	
08	P08	Iodent/ISSS	
09	P09	MPS	
10	P10	OH43	
11	P11	Non related	
12	P12	ISSS	
13	P13	Iodent	
14	P14	MinnesotaSyn	
HIBRIDEK			
Sorszám	*Jelölés*	*FAO szám*	*Minősítés éve*
01	P01*P13	310	2004
02	P04*P12	320	2000
03	P11*P02	350	2003
04	P05*P03	380	1992
05	P07*P02	370	2006
06	P09*P14	380	1972
07	P08*P10	510	2002
08	P06*P09	530	1972

3.2 A szabadföldi kísérletek termőhelyi jellemzői

3.2.1 Talajadottságok

A kísérleti hely talajtípusa erdőmaradványos csernozjom. A kísérleti területet a vizsgálatok megkezdésekor, az őszi talajművelés megkezdése előtt megmintáztuk. A mintákat az MGSZH velencei laboratóriuma vizsgálta meg. Ennek alapján a talaj szervesanyag tartalma jó N-szolgáltatóképességű, gyengén meszes, morzsalékos szerkezetű vályogtalaj. A kísérleti terület tápanyagtartalma alapján foszforral és káliummal igen jól ellátott, továbbá a növényi életfolyamatokban fontos jelentőséggel bíró mikroelemekkel – a Zn kivételével – szintén megfelelően feltöltött (2. táblázat).

2. táblázat. A kísérleti hely talajjellemzői (Martonvásár, 2006)

Talaj tulajdonságai	Értékek
pH (KCl)	7,26
KA	41,50
Humusz (m/m %)	2,60
$CaCO_3$ (m/m %)	4,60
NO_2+NO_3-N (mg/kg)	7,05
P_2O_5 (mg/kg)	442,00
K_2O (mg/kg)	244,00
Sótartalom (m/m %)	<0,02
Na (mg/kg)	13,20
Mg (mg/kg)	176,00
Cu (mg/kg)	3,02
Zn (mg/kg)	1,63
Mn (mg/kg)	106,90
SO_4-S (mg/kg)	13,10
Mintavétel mélysége (cm)	0-30

3.2.2 Meteorológiai adatok

A vizsgált három év időjárása eltérő volt. A vegetációs időszak alatt a 2006-os és 2007-es év a sokéves átlaghoz képest szárazabb volt. A tenyészidőszakban lehullott csapadék mennyisége 2006-ban volt kevesebb, de az eloszlása 2007-ben volt kedvezőtlenebb: keléstől-virágzásig csapadékhiány volt, majd augusztus és szeptember hónapban közel kétszer több csapadék hullott, mint a sokéves átlag.

2008 csapadékos év volt és annak tenyészidőszakban való eloszlása is kedvezően alakult. A három év az átlaghőmérsékleti adatokat tekintve közel azonos volt (3. táblázat).

3. táblázat. A vizsgált évek csapadék-mennyisége és átlaghőmérséklete a kukorica tenyészidőszakában (Martonvásár, 2006-2008).

Hónap	Csapadék (mm)							Átlaghőmérséklet (°C)						
	30 éves átlag	2006	Δ	2007	Δ	2008	Δ	**30 éves átlag**	2006	Δ	2007	Δ	2008	Δ
április	**43,0**	19,0	-24,0	0,6	-42,4	36,2	-6,8	**11,3**	12,6	1,4	12,6	1,3	11,8	0,5
május	**56,0**	68,4	12,4	14,0	-42,0	62,6	6,6	**16,4**	15,1	-1,2	17,6	1,2	17,0	0,6
június	**73,0**	66,4	-6,6	59,4	-13,6	174,0	101,0	**19,7**	19,6	-0,1	21,7	1,9	21,2	1,5
július	**53,0**	10,0	-43,0	25,0	-28,0	76,8	23,8	**21,5**	23,0	1,5	22,7	1,2	21,3	-0,2
augusztus	**46,0**	61,5	15,5	112,2	66,2	44,5	-1,5	**20,7**	18,4	-2,3	21,3	0,5	21,0	0,3
szeptember	**41,0**	21,2	-19,8	53,8	12,8	88,6	47,6	**16,6**	18,5	1,9	13,4	-3,2	15,3	-1,3
október	**42,0**	19,1	-22,9	39,2	-2,8	26,4	-15,6	**11,0**	13,5	2,5	10,2	-0,8	11,3	0,3
Összesen	**354,0**	**265,6**	**-88,4**	**304,2**	**-49,8**	**509,1**	**155,1**	**16,7**	**17,3**	**0,5**	**17,1**	**0,3**	**17,0**	**0,3**

(Forrás: Martonvásári meteorológiai mérőállomás)

A 4. táblázat a három év hőségnapjainak számát és relatív páratartalmának adatait tartalmazza. Mindhárom évben több volt a hőségnapok száma, mint az átlagszámításhoz alapul vett 1999-2008-as évek. A legnagyobb eltérés a bázisévek átlagához képest 2007-ben regisztráltuk. Ebben az évben 21 nappal volt több az olyan napok száma, melyeknél a napi legmagasabb hőmérséklet meghaladta a 30 °C-ot. A relatív páratartalom szempontjából a tenyészidőszakban a vizsgálati évek között nem volt jelentős eltérés. A 2008-as év valamivel páradúsabb év volt a bázisévek átlagánál és a másik két évnél is.

4. táblázat. A vizsgált évek hőségnapjainak száma és a relatív páratartalom a kukorica tenyészidőszakában (Martonvásár, 2006-2008).

Hónap	Hőségnap (t_{max}>30°C)							Relatív páratartalom %						
	1999-2008	2006	Δ	2007	Δ	2008	Δ	**1999-2008**	2006	Δ	2007	Δ	2008	Δ
április	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**74,0**	73,6	-0,4	63,4	-10,6	78,9	4,9
május	**3,4**	0,0	-3,4	7,0	3,6	3,0	-0,4	**73,8**	79,6	5,8	75,2	1,4	76,6	2,7
június	**7,9**	12,0	4,1	16,0	8,1	8,0	0,1	**76,3**	79,3	3,1	73,8	-2,4	81,6	5,3
július	**12,9**	23,0	10,1	20,0	7,1	13,0	0,1	**76,6**	75,7	-0,9	65,4	-11,2	81,3	4,6
augusztus	**12,3**	5,0	-7,3	15,0	2,7	13,0	0,7	**76,0**	84,2	8,1	78,0	1,9	78,2	2,2
szeptember	**3,2**	0,0	-3,2	0,0	-3,2	5,0	1,8	**81,1**	80,5	-0,6	86,3	5,1	83,8	2,6
október	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**87,7**	82,8	-4,9	87,1	-0,6	90,9	3,2
Összesen	**39,6**	**40,0**	**0,4**	**58,0**	**18,4**	**42,0**	**2,4**	**77,9**	**79,4**	**1,5**	**75,6**	**-2,3**	**81,6**	**3,7**

(Forrás: Martonvásári meteorológiai mérőállomás)

3.2.3 Alkalmazott agrotechnika

Az elővetemény mindhárom évben kukorica volt, így az agrotechnikai műveletek is azonosak voltak. Betakarítás után, a szárzúzást követően 600 kg 15:15:15 arányú NPK komplex műtrágyát adtunk ki a területre, amit a talajba dolgoztunk. Az alapművelés őszi szántás volt 26-30 cm mélyen, amit simítóval zártunk. Tavasszal 50 kg ammónium-nitrát starter műtrágyát juttattunk a területre, amit ásóboronával dolgoztunk be. Vetés előtt kombinátorral jártuk át a területet a megfelelő magágy elkészítése céljából. A vetés kézi vetőpuskával történt. Gyomirtást preemergensen, majd posztemergensen is végeztünk a kísérleti terület gyomflórájának megfelelően, kukorica gyomirtásra engedélyezett gyomirtó szerekkel. A tenyészidőszak alatt a gyomosodás mértékének megfelelően végeztünk mechanikai gyomirtást is kultivátorral, illetve a sorokban kézi műveléssel. A kedvezőtlen ökológiai hatásokat öntözéssel mérsékeltük, melyhez csévélődobos öntözőberendezést használtunk.

3.3 Szántóföldi vizsgálatok

3.3.1 Tenyészkerti elrendezés

A vizsgált genotípusokat kéttényezős, négyismétléses, osztott parcellás elrendezésben vetettük el. A főparcellákban a vizsgált kukorica genotípusok (A, B, C stb.) míg az alparcellákban a kezelések voltak. Négy kezelést alkalmaztunk: két *Fusarium graminearum* izolátumot – (1) FG36, (2) FGH4 –, (3) steril szemes kezelést valamint a (4) kezeletlen kontrollt. A parcella hossza 5,6 m, az ismétléseket elválasztó út pedig 1,4 m volt. A sortáv 76 cm, a tőtáv 25 cm, míg a parcellánkénti növényszám 22 db volt, ami 52600 növény/ha állománysűrűségnek felel meg. Az alparcellák területe ennek megfelelően 4,18 m^2. A vizsgált hybridek szántóföldi elrendezésének sematikus vázlatát a 3. ábra mutatja. A beltenyésztett törzseket hasonló elrendezésben vetettük el.

3. ábra Kísérleti elrendezés sematikus vázlata. Jelölések: A, B, C stb.= genotípusok; 1, 2, 3, 4= kezelések.

IV. ismétlés	4 3 2 1 H	4 3 2 1 E	4 3 2 1 D	4 3 2 1 A	4 3 2 1 F	4 3 2 1 C	4 3 2 1 B	4 3 2 1 G
III. ismétlés	2 4 1 3 C	2 4 1 3 F	2 4 1 3 H	2 4 1 3 B	2 4 1 3 D	2 4 1 3 G	2 4 1 3 A	2 4 1 3 E
II. ismétlés	3 1 4 2 D	3 1 4 2 A	3 1 4 2 F	3 1 4 2 C	3 1 4 2 E	3 1 4 2 H	3 1 4 2 B	3 1 4 2 G
I. ismétlés	1 2 3 4 A	1 2 3 4 B	1 2 3 4 C	1 2 3 4 D	1 2 3 4 E	1 2 3 4 F	1 2 3 4 G	1 2 3 4 H

3.3.2 A mesterséges fertőzéshez használt oltóanyag elkészítése

A mesterséges fertőzéshez két *Fusarium graminearum* (Schwa.) izolátumot választottunk:

FG36 – Növényvédelmi Kutatóintézet, (Iregszemcse, 2003; kukoricaszárból)

FGH4 – Növényvédelmi Kutatóintézet, (Szeged, 2002; búzaszemről)

A fertőző anyagot a következő módon készítettük el: a zabszemek felszíni sterilizálását 70%-os etanolban 2 percig, majd 20%-os hypos oldatban, detergens (Tween 20) hozzáadásával 20 percig végeztük, amit háromszori desztillált vizes öblítés követett. Ezek után a zabszemeket vékony rétegben szűrőpapírra öntöttük és 12 óráig száradni hagytuk. Ezt követően 20 ml űrtartalmú üveg mintatartó edényekbe raktuk. Az esetleges belső magfertőzéseket 60 ^{o}C-os, 2x5 perces szekvenciális vízfürdős, majd ezt követően egy 10 perces 121 ^{o}C-os szárazlevegős sterilizációval zártuk ki. Az így sterilizált magokat a fenti izolátumok 10^6 konídium/ml-re beállított szuszpenziójának 2 ml-nyi mennyiségével beoltottuk és a gomba fejlődéséhez szükséges megfelelő légcsere érdekében papírvattadugóval zártunk. Az így elkészített egységeket 27 ^{o}C-on, 14 napig inkubáltuk (1. kép). A kontrollként használt steril zabszemeket is a fentiek szerint készítettük el, elhagyva a beoltás lépését.

1. kép Az elkészített fertőzőanyag.

2. kép Szántóföldi mesterséges szárfertőzés (Martonvásár, 2008)

3.3.3 Alkalmazott fertőzési eljárás bemutatása

A mesterséges fertőzéseket Kohler (1960) és Szécsi (2005, szóbeli közlés) módszere szerint végeztük. A fertőzést a virágzástól számított 12. napon hajtottuk végre. A kukoricaszár földfelszíntől számított 2-3. internódiumait alkohollal letisztítottuk, majd ezt követően steril, 2 mm átmérőjű kézi lyukfúró segítségével elkészített lyukba helyeztük a gombával benőtt és a steril zabszemeket. A természetes felülfertőzés megakadályozása érdekében a szemek behelyezése után rögtön leukoplaszttal zártunk a sebeket (2. kép). Parcellánként 6 növényt fertőztünk és a negyedik, kezelés nélküli alparcella növényei közül a természetes fertőzés meghatározásához szintén 6 növényt értékeltünk. A minták begyűjtése mindhárom évben október első dekádjától, éréscsoportoknak megfelelő sorrendben történt. A talajszínt magasságában a mintanövényeket metszőollóval kivágtuk és 3 internódium hosszúságban, megfelelő azonosító jellel ellátott papírzacskóban a mintákat feldolgozásig -18 ^{o}C-on tároltuk.

3.3.4 Szövetkorhadás mértékének meghatározása

A bélszövet korhadásának mértékét két módszerrel határoztuk meg. A fagyaszott származintákat hosszirányba kettévágtuk és a bélszövet állapotának megfelelően 0-5-ig terjedő skálaértékkel jellemeztük (Ikenberry és Foley, 1967; Kovács et al., 1988). A skálaértékekhez tartózó kategóriák a következők voltak:

0 – nincs korhadás, a bélszövetben nincsenek elhalt sejtek, a szövet egészséges
1 – előfordulnak elhalt, piszkosfehér színű sejtek, de a szövet még ép
2 – a bélszövet változása szemmel látható, a szár keresztmetszetének bélszövete ¼ résznél nagyobb mértékben üreges
3 – a szár keresztmetszetének körülbelül fele üreges, szürkés-rózsaszínes elszíneződést mutat
4 – a bélszövetben az üregek a szár keresztmetszetének körülbelül a ¾ részét alkotják, határozott szürke-rózsaszín elszíneződés is gyakori
5 – a héjkéreg már csak kevés bélszövetet tartalmaz.

Ezt követően F_{index} százalékot ($F_{i\%}$) számoltunk McKinney (1923) képlete szerint:

$F_{i\%}= [\Sigma(a_i \times f_i) / (n \times k)] \times 100$, ahol:

a_i = az egyes fertőzési skálaértékek (fertőzés intenzitása)

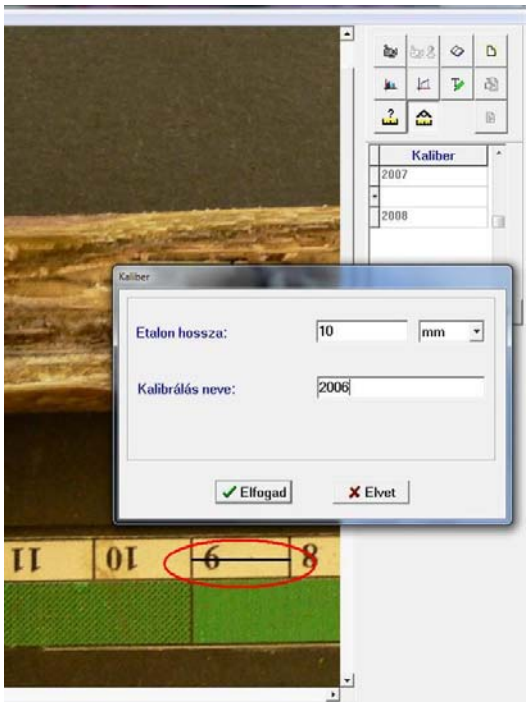
f_i = az egyes skálaértékekhez tartozó növényszám (fertőzés gyakorisága)

n = parcellánként vizsgált összes növényszám

k = skálafokozat legnagyobb értéke

Az értékelt szárminták mindegyikét digitális fényképezővel (Panasonic DMC-FZ3) lefényképeztük, hogy a szárkorhadás mértékét az általunk használt Colim 4.0 képelemző program segítségével is meghatározhassuk. A mérés elve az, hogy az egészséges és beteg szövet eltérő intenzitástartományú foltokból áll. A program lehetővé teszi az azonos intenzitástartományba tartozó foltok (beteg szövet) összterületének a meghatározását a teljes kijelölt területhez (kettévágott szár összterülete) viszonyítva. A program tényleges mértékegységre való átszámítást is lehetővé tesz, melyhez a mérés megkezdése előtt a rendszert kalibrálni kell.

3. kép A Colim 4.0 képelemző program mérés előtti kalibrációja (a 10 mm-es etalont pirossal jelöltük).



4. kép A képelemző program mérési képe a szármintán. A piros fedőszín jelöli a beteg növényi szövetet.

Ehhez egy ismert méretű tárgyat (pl. vonalzó) kell a vizsgálandó tárggyal azonos síkban a kamera alá tenni, és a programnak megadni a kaliber méreteit (3. kép), majd a megfelelő mérési funkciót kiválasztva meghatározzuk az internódium teljes területéből a fertőzött terület nagyságát %-ban (4. kép). A természetes fertőzés mértékének meghatározása is a fentiek szerint történt. A kontrollként alkalmazott természetes szárminták fertőzése esetén Leslie és Summerell (2006) határozókulcsa alapján meghatároztuk a kártételt kiváltó kórokozókat is.

3.3.5 A szár mechanikai szerkezetének értékelése

A. Szár héjkéreg-ellenállás mérése

A kéregellenállás meghatározása Zuber (1973) által kidolgozott módszer alapján egy általunk továbbfejlesztett kéreg-ellenállásmérővel történt (5. kép). A mérést genotípusonként a kiválasztott 6-6 növény 2. internódium középső harmadában, a csőkezdeménnyel ellentétes oldalon, két alkalommal, július 3. dekádjában, illetve októberben, közvetlenül a szárminták begyűjtését megelőzően hajtottuk végre. Az adatokat abszolút értékekben adtuk meg.

5. kép Héjkéreg-ellenállásmérő készülék

B. Szárátmérő és szárdőlés

Megmértük a 2. internódium legnagyobb átmérőjét (mm), a második kéregellenállás mérésével egy időben. Felvételeztük a kísérletben a szárdőlés mértékét is, melyet a cső alatt 30°-nál erősebben megdőlt növények gyakoriságában (%) határoztunk meg.

3.4 Laboratóriumi vizsgálatok

3.4.1 Szárszövetminták előkészítése

A szárszövet celluláz enzim aktivitásának meghatározásához a fagyasztott szármintákból készítettük el a vizsgálathoz szükséges enzimforrásokat. Az ismétlésenként 6 növényi szárminta külső kemény héjának eltávolítása után a bélszöveteket ollóval kisebb darabokra vágtuk, majd forgókéses aprítóval kukoricadara finomságig őröltük. Ebből 1 g mennyiséget 10 ml 0,1 M acetát pufferben homogenizáltuk. Ezt követően a kapott elegyet papírvattán átszűrtük és 8000 rpm-n, 30 percig, 4 ^{o}C-on centrifugáltuk (Hettich Rotina 420R). A tiszta felülúszót (kb. 8 ml mennyiség) kétfelé osztottuk. Az egyik részét -20 ^{o}C-on tároltuk a minták további felhasználásáig, míg a fennmaradó részből két pH értéken elkészítettük az enzimforrás betöményített változatait, melyek felhasználásával a természetes úton fertőzött szárszövetminták (kontroll parcellák) enzimaktivitása is könnyebben volt mérhető. A fennmaradó híg enzimforrásokból kétszer 2 ml mennyiséget mértük 10 ml-es műanyag centrifugacsőbe, melyhez 6-6 ml jéghideg acetont adtunk. Az elegyet 4 ^{o}C-on 12 óráig tartottuk, hogy a fehérjék kicsapódása teljes legyen. Ezt követően a pehelyszerű, fehérje-csapadékot 10000 rpm fordulaton, 10 percig, 4 ^{o}C-on centrifugáltuk. A csapadékot szárazra pároltuk, majd az egyiket 100 µl acetát pufferben (pH=5), a másikat pedig 100 µl 0,05 M TrisHCl-ben (pH=8,5) oldottuk vissza. Az így elkészített mintákat további felhasználásig -20 ^{o}C-on tároltuk.

3.4.2 A szárszövetkivonatok cellulázaktivitás meghatározása

A celluláz enzim meghatározása módosított Dingle et al. (1953) módszerrel történt. A géllemez 100 ml mennyiségéhez a következő összetevőket használtuk: 1,74 g K_2HPO_4 (Reanal), 1,5 g agar-agar (Reanal), 0,84 g citromsav (Reanal), 0,1 g AZCL-HE-Cellulose (Megazyme), 0,05 g Na-azid (Sigma) desztillált vízben oldva. A felolvasztott gélből 9 cm-es műanyag petri-csészékbe 20 ml-t öntöttünk, majd dermedést követően 5 mm átmérőjű dugófúróval elkészítettük a lemezeken az enzimoldat tartó lyukakat, meghatározott elrendezésben és távolságban egymástól. A lyukakba 20 µl fentiekben leírt módon készített enzimoldatot pipettáztunk, majd 37 ^{o}C-on 24 óráig hagytuk állni. Az enzimaktivitást az aktivitásgyűrű területével (mm^2/37°C/24 óra) fejeztük ki, a Colim 4.0 képelemző program segítségével.

3.5 Az adatok statisztikai feldolgozása

Vizsgálataink során kapott adataink statisztikai elemzéséhez az Agrobase 99® for Microsoft Windows® számítógépes szoftvert (Agronomix Inc.) és a Microsoft Windows® Excel programot használtuk többtényezős varianciaanalízist, valamint lineáris regresszióanalízist alkalmazva. A statisztikai próbák során kapott eredmények értelmezéséhez Sváb (1981) munkáját használtuk fel. A rendelkezésre álló adatokat a Microsoft Windows® Excel adatkezelő programmal rendeztük a statisztikai analízishez szükséges formába. Az Agrobase 99® for Microsoft Windows® statisztikai program esetében az adatok rendszerezéséhez, diagramok szerkesztéséhez, korrelációs koefficiensek meghatározásához is az MS® Excel adatkezelő program beépített moduljait használtuk. A varianciaanalízisek eredménytáblázatait a 4. fejezetben, az azokhoz kapcsolódó MQ-táblázatokat pedig a 7. fejezetben közöljük.

4. EREDMÉNYEK

A szántóföldi kísérletekben a kezelések hatására bekövetkezett kártétel mértékét értékeltük a vizsgált hibridek és szülői komponenseik esetében. Ezt a meghatározást két módszerrel is elvégeztük: képelemző programmal (Colim 4.0) és F_{index}-számítással, majd összevetettük a két módszer pontosságát és érzékenységét. A kontroll kezelésben bekövetkezett károsítás esetében meghatároztuk a betegséget kiváltó kórokozó gombafajokat és a mesterséges fertőzés, valamint a természetes fertőzés közötti kapcsolatot. Mivel a szárkorhadást egyéb paraméterek is befolyásolják, meghatároztuk a növények héjkéreg-ellenállását és szárátmérőjét, valamint a dőlés mértékét is. Laboratóriumi körülmények között a szántóföldi kezelések hatására a szárban bekövetkezett cellulázenzim-aktivitást határoztuk meg, majd értékeltük a vizsgált paraméterek közötti összefüggéseket. Az elemzés során először a szántóföldön végzett munka eredményeit foglaljuk össze, majd a laboratóriumban kapott adatokat mutatjuk be.

4.1 Szántóföldi vizsgálatok

4.1.1 Szárkorhadás vizsgálati eredmények

A genotípusokon bekövetkezett szárkorhadás mértékét az 5. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban feltüntettük a Colim képelemző programmal mért, illetve az F_{index} képletével számított értékeket. A statisztikai analízis számított SzD értékeit (P=5% hibavalószínűségi értéken) és a kísérlet főátlagait is feltüntettük a táblázatban. A táblázat a 2006-2008. évek, és a négy kezelés átlagértékeit tartalmazza. A táblázat felső részében a vonalak (P1-P14), alattuk pedig a hibridek (P01*P13-P06*P09) adatait tüntettük fel.

A genotípus szignifikánsan befolyásolta a szárkorhadás mértékét, mind a hibridek, mind pedig a vonalak esetében. A kísérletek főátlaga mindkét értékelési módszernél a vonalak esetében nagyobb volt a hibrideknél.

A vonalaknál a legnagyobb szárkorhadást a P03, míg a legkisebbet a P06 jelű vonal szenvedte (5. táblázat). A hibridekhez képest a két szélsőérték közti különbség jóval nagyobb: a képelemző adatai alapján több mint a kétszerese (27,84 %), míg a másik módszerrel mérve 2,5-szeresénél is több (30,92%), azaz a vonalak szárkorhadásra való fogékonysága nagyobb variabilitást mutat a hibrideknél. A vizsgált beltenyésztett vonalakat szárkorhadásra való fogékonyságuk alapján három csoportba, az erősen, átlagosan és gyengén fertőződő genotípusok közé soroltuk be.

A kategóriákat a vonalak képelemzővel meghatározott szárkorhadás átlagértékéhez (42,5%) viszonyítva határoztuk meg.

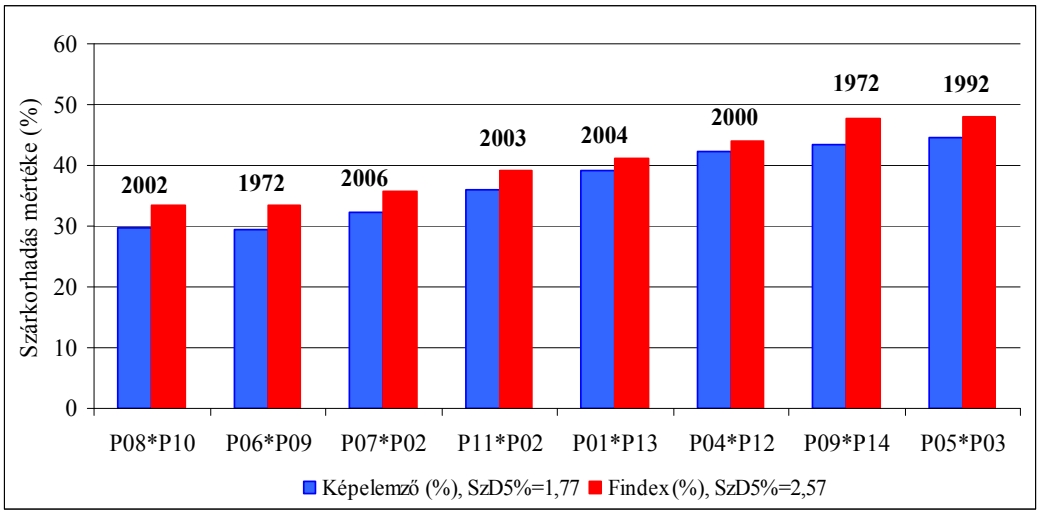
5. táblázat A vizsgált genotípusok szárkorhadásának mértéke a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) és a kísérleti évek (2006-2008) átlagában. A genotípusok közötti szignifikáns különbségeket mindkét módszernél (Colim képelemző és F_{index}) az eltérő betűk (a, b, c stb.) mutatják (Martonvásár, 2006-2008). Varianciaanalízis MQ-táblázata: M2 I. táblázat

VONALAK	GENETIKAI HÁTTÉR		SZÁRKORHADÁS	
			Képelemző adatai, %	Fertőzési index, %
P01	ISSS		43,37 d	47,86 def
P02	Iodent/Lancaster		40,65 e	44,87 fg
P03	ISSS/Minnesota13		56,33 a	63,07 a
P04	Iodent		46,46 c	49,11 d
P05	Iodent/Lancaster		54,71 a	59,26 b
P06	ISSS		28,49 h	32,15 i
P07	ISSS		30,26 h	32,99 i
P08	Iodent/ISSS		42,14 de	45,84 f
P09	MPS		51,10 b	55,16 c
P10	OH43		34,83 g	36,26 h
P11	Non related		37,71 f	43,28 g
P12	ISSS		42,41 de	48,89 de
P13	Iodent		43,55 d	48,07 def
P14	MinnesotaSyn		42,98 d	46,54 ef
$Átlag_{VONAL}$			**42,50**	**46,67**
$SzD_{5\%VONAL}$			**1,98**	**2,42**
HIBRIDEK	**FAO SZÁM**	**ELŐÁLLÍTÁS ÉVE**	Képelemző adatai, %	Fertőzési index, %
P01*P13	FAO310	2004	39,03 c	41,13 c
P04*P12	FAO320	2000	42,34 b	43,96 b
P11*P02	FAO350	2003	36,01 d	39,04 c
P05*P03	FAO380	1992	44,65 a	48,05 a
P07*P02	FAO370	2006	32,28 e	35,84 de
P09*P14	FAO380	1972	43,30 ab	47,79 a
P08*P10	FAO510	2002	29,84 f	33,55 e
P06*P09	FAO530	1972	29,39 f	33,55 e
$Átlag_{HIBRID}$			**37,10**	**40,36**
$SzD_{5\%HIBRID}$			**1,77**	**2,57**

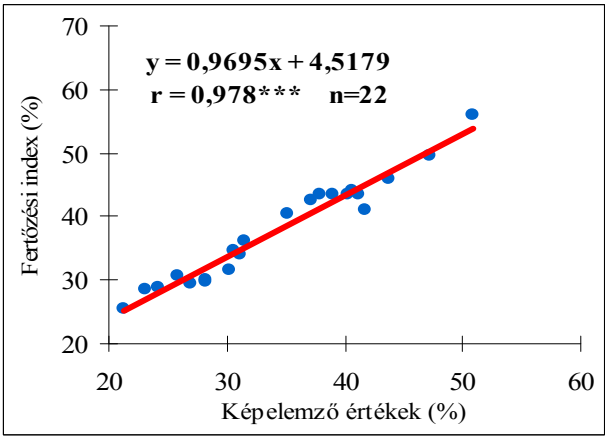
Az átlagosan fertőződő csoportba kerültek azok az anyagok melyek az átlagértékhez viszonyítva statisztikailag igazolhatóan nem mutattak különbséget. A gyengén fertőzöttek csoportjába azok a vonalak kerültek, melyek az átlagértékhez képest szignifikánsan kisebb mértékű fertőzést szenvedtek. Erősen fertőzöttnek minősültek az átlagnál szignifikánsan nagyobb szárkorhadást mutató kukorica vonalak. Ezek alapján az erősen fertőzöttek csoportjába egy ISSS/Minnesota13 (P03), egy Iodent (P04), egy Iodent/Lancaster (P05) és az MPS (P09) rokonsági körbe tartozó

genotípus került. Az átlagosan fertőzöttek csoportjába a MinnesotaSyn (P14), egy Iodent (P13), egy Iodent/ISSS (P08), egy Iodent/Lancaster (P02) és két ISSS (P01, P12) rokonsági körbe tartozó vonal, míg a gyengén fertőzöttek csoportjába egy OH43 (P10), egy Non related (P11) és két ISSS (P06, P07) rokon beltenyésztett törzs került. Az általunk vizsgált beltenyésztett törzsek közül a fuzáriumos szárkorhadással szemben legjobb ellenállósággal rendelkező vonalak többsége az ISSS rokonsági körbe tartozott. Az Iodent és a MinnesotaSyn rokonsági körbe tartozó beltenyésztett törzsek ellenállósága is megfelelő a szárkorhadással szemben, de kisebb, mint az ISSS rokonsági körbe tartozó vonalak többségéé. A hibrideknél a FAO 300-as éréscsoportban a legnagyobb károsodást a P05*P03, míg a legkisebbet a P07*P02 kombináció szenvedte el. A két érték közötti különbség a képelemző program adatai alapján 12,37%, míg az F_{index}-számítás értékei alapján 12,21%. A nyolc hibrid közül a legkisebb szárkorhadást a késői éréscsoport két hibridjénél kaptuk, de a különbség e kettő között nem volt szignifikáns.

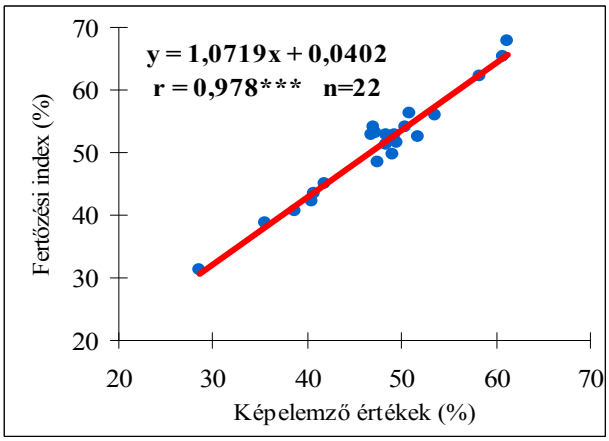
Az F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadás nagyságának megfelelően növekvő sorrendbe rendeztük a vizsgált hibrideket (4. ábra). Az ábrán a szárkorhadási értékek fölött a hibridek fajtaelismerésének időpontját, a piros oszlopokkal az F_{index}-számítás adatait, míg a kék oszlopokkal, a képelemzővel mért adatokat jelöltük. A két eltérő korú késői hibrid (P08*P10 és P06*P09) szárkorhadás mértéke között szignifikánsan igazolható különbséget sem az F_{index} számítással, sem pedig a képelemzővel nem mutattunk ki. A FAO 300 éréscsoport hibridjeinek sorrendje az F_{index}-számítás adatai szerint a következő volt: P07*P02 (2006) <P11*P02 (2003) = P01*P13 (2004) <P04*P12 (2000) <P05*P03 (1992) és P09*P14 (1972). A statisztikailag igazolható legkisebb szárkorhadást a legújabb, 2006-ban nemesített, míg a legnagyobb károsodást a legrégebbi, 1972-es és az 1992-es nemesítésű hibridek szenvedték el. A képelemzővel mért adatok az F_{index}-számítás adataitól mindössze annyiban térnek el, hogy a P11*P02 és a P01*P13 hibridek között a program szignifikánsan igazolható különbséget tudott tenni. Az eredmények azt jelzik, hogy az új generációs martonvásári hibridekben a nemesítői munka eredményeként statisztikailag igazolhatóan javult a kukoricák fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóképessége. Az 5-7. ábrákon a két módszerrel meghatározott szárkorhadás mértéke közötti lineáris regresszióanalízisek évenkénti eredményeit mutatjuk be. A genotípusok szárkorhadásának képelemzővel mért és F_{index}-számítással meghatározott értékei között a kapcsolat P=0,1%-os valószínűségi szinten megbízható, nagyon szoros, pozitív összefüggésnek bizonyult. A meghatározottsági együtthatók ($B=R^2$) alapján a két értékelési módszer adatai 95-96%-os biztonsággal becsülhetőek egymásból.



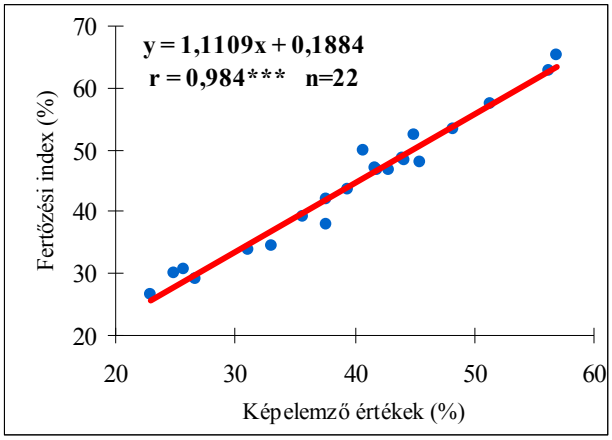
4. ábra A hibridek szárkorhadásának mértéke a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) és a kísérleti évek átlagában. Az oszlopok fölé a hibridek előállításának évét írtuk.



5. ábra. Összefüggés a képelemző programmal és az F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadási értékek között a 22 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2006).



6. ábra. Összefüggés a képelemző programmal és az F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadási értékek között a 22 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2007).



7. ábra. Összefüggés a képelemző programmal és az F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadási értékek között a 22 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2008).

A 6. és 7. táblázatokban a két módszerrel meghatározott szárkorhadási értékeket foglaltuk össze kezelésenként és évjáratonként. A genotípusok közötti szignifikáns különbségeket az eltérő betűk (a, b, c stb.) jelölik.

A vonalaknál 2006-ban a képelemző program az FG36 izolátummal fertőzött kezelésnél vonal között differenciált (a-b, b-c, c-d, d-e), míg az F_{index}-számítás 9 anyag között tudott különbséget tenni (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g, g-h, h-i). A kontrollkezelésnél a két módszer azonos érzékenységűnek bizonyult (a-b), míg két esetben (FGH4 és a steril kezelés) a képelemző volt érzékenyebb: 9 szignifikáns különbség meghatározását tette lehetővé (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g, g-h, h-i), míg az F_{index}-számítás csak hetet (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g). 2008-ban a mesterséges fertőzéseknél (FG36, FGH4) az F_{index}-számítás 7 szignifikáns különbséget (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g), míg a képelemző csak 6 vonal között differenciált (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f). A kontroll és a sterilszemes kezeléseknél a két módszer azonos számú anyag között volt képes differenciálni. 2007-ben a kontrollkezelésnél mindkét módszer 3 vonal (a-b, b-c) között tudott szignifikáns különbséget tenni. Három esetben pedig a képelemző program volt érzékenyebb: az FG36 izolátum esetében 9 (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g, g-h, h-i), az FGH4 izolátumnál 8 (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g, g-h) és a sterilszemes kezelésnél 6 (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f) vonal között differenciált. Ezzel szemben az F_{index}-számítás az FG36 izolátum esetében 7 (a-b, b-c, c-d, d-e, e-f, f-g), az FGH4 izolátumnál 5 (a-b, b-c, c-d, d-e) és a sterilszemes kezelésnél pedig csak 4 (a-b, b-c, c-d) beltenyésztett törzs között differenciált.

2006-ban és 2008-ban a hibrideknél mindkét módszer közel megegyező szignifikáns különbség kimutatását tette lehetővé. A két évjárat közötti eltérés 2006-ban az, hogy az FGH4 izolátummal fertőzött kezelésnél a képelemző eggyel több adat között differenciált (a-b, b-c, c-d).

2008-ban az FG36-os kezelésnél a képelemző és az F_{index}-számítás is 4 szignifikáns különbséget (a-b, b-c, c-d) tudott elkülöníteni. 2007-ben a steril szemes kezelés kivételével minden esetben több hibrid között tudott differenciálni a képelemző: FG36 izolátumnál 5 hibrid között (a-b, b-c, c-d, d-e), FGH4 és a kontrollkezelésnél 4 hibrid között (a-b, b-c, c-d). Ezzel szemben az F_{index}-számítás ebben az évben az FGH4 izolátum fertőzésénél nem tudott szignifikáns különbséget tenni a vizsgált hibridek között továbbá az FG36 és a kontrollkezelés esetében is csak 3 hibrid között tudott statisztikailag igazolható különbséget tenni (a-b, b-c). A sterilszemes kezelésnél mindkét módszer 5 genotípus között differenciált (a-b, b-c, c-d, d-e) 2007-ben (6-7. táblázat). A képelemző érzékenysége az F_{index}-számítással szemben a hibrideknél és a beltenyésztett törzseknél is 2007-ben volt a legmarkánsabb. Ez az évjárat volt a legkedvezőtlenebb a kukoricatermesztés szempontjából, míg a kórokozó számára szinte ideális volt. A mesterséges fertőzéseknél (FG36 és FGH4) a hibridek és a vonalak esetében is több genotípus között differenciált a képelemző program. A hibrideknél 2007-ben az FGH4 izolátummal fertőzött anyagok között az F_{index}-számítással nem tudtunk volna statisztikailag igazolható különbségeket tenni a vizsgált anyagoknál, ellenben a képelemzővel 4 anyag is különbözött statisztikailag egymástól. Ebben az évben a mesterséges fertőzés a kedvező környezeti feltételeknek köszönhetően olyan erős hatású volt, hogy a különbségek meghatározásához a képelemző program érzékenységére volt szükség. Viszont ha csak a természetes fertőzésre alapoztuk volna a szelekciót, a hibrideknél akkor is eggyel kevesebb genotípus között tudtunk volna statisztikailag igazolható különbséget kimutatni. A kukorica számára kedvező időjárási adottságok mellett az F_{index}-számítás is megfelelő módszer arra, hogy szelekciót végezzünk a szárkorhadással szembeni ellenálló-képességre. Erre a 2008-ban, beltenyésztett törzsek esetében mért adatok eredményei mutatnak rá, az F_{index}-számítással, eggyel több anyag között tudtunk statisztikailag igazolható különbséget tenni. A két mérési módszerrel statisztikailag is elkülöníthető genotípusok számát, valamint a mérésekhez tartozó CV értékeket a 16. táblázatban foglaltuk össze. Adataink szerint csak két esetben volt az F_{index}-számítás pontosabb a képelemzővel meghatározott adatoknál, 22 további kezelésnél mindig a képelemző bizonyult pontosabbnak (16. táblázat).

Összevetve a két módszerrel is meghatározott évjáratonkénti természetes és mesterséges fertőzés következményeként bekövetkezett szárkorhadás mértékét, azt láthatjuk, hogy sem a hibridek, sem a vonalak esetében nem tudunk lényeges különbségeket tenni a természetes fertőzés következményeként bekövetkezett szárkorhadás alapján, míg a mesterséges fertőzés megfelelően differenciált a genotípusok között (6-7. táblázat).

6. táblázat A genotípusok képelemző programmal meghatározott szárkorhadásának mértéke évjáratonként és kezelésenként. A fertőzések közötti szignifikáns különbségeket az eltérő betűk (a, b, c stb.) jelölik (Martonvásár, 2006-2008). Varianciaanalízis MQ-táblázata: M2 II. táblázat

GENOTÍPUS	SZÁRKORHADÁS											
	Képelemző program adatai, %											
	2006				2007				2008			
	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
P01	54,78 cd	54,45 ef	16,58 ghi	0,00 b	73,45 ef	86,73 abcd	40,95 cde	0,33 c	73,20 cd	78,55 a	41,38 cd	0,00 b
P02	49,33 d	49,18 efg	9,53 i	0,00 b	77,00 de	91,18 ab	35,23 e	0,00 c	81,13 ab	75,38 a	19,75 gh	0,05 b
P03	78,25 a	74,03 ab	40,30 ab	11,05 a	82,85 bc	91,05 ab	50,83 ab	20,28 a	82,63 a	74,78 a	67,58 a	2,30 ab
P04	74,15 a	72,30 bc	14,90 hi	0,03 b	81,90 cd	94,63 a	36,78 de	1,13 c	74,53 bcd	82,10 a	25,08 fg	0,00 b
P05	57,93 bc	82,90 a	46,60 a	1,25 b	86,98 ab	89,80 abc	56,30 a	9,73 b	82,15 a	81,53 a	56,55 b	4,80 a
P06	31,98 e	41,88 ghi	18,65 fgh	0,05 b	50,85 i	57,15 g	34,53 ef	0,00 c	43,28 f	49,58 de	13,88 hi	0,00 b
P07	50,30 d	50,20 efg	23,53 efg	0,68 b	49,10 i	47,68 h	17,05 g	0,45 c	70,60 d	45,45 e	7,48 i	0,63 b
P08	64,50 b	57,43 de	26,38 def	0,10 b	70,98 f	82,70 bcd	35,78 de	0,40 c	57,45 e	65,55 b	44,43 c	0,00 b
P09	71,65 a	64,45 cd	37,33 bc	1,23 b	90,38 a	84,48 bcd	56,05 a	2,53 c	80,03 abc	76,98 a	45,43 c	2,65 ab
P10	47,95 d	36,00 i	28,65 de	0,00 b	62,18 gh	66,13 f	26,18 f	0,33 c	52,93 e	55,08 cd	42,53 cd	0,00 b
P11	37,55 e	39,23 hi	19,73 fgh	0,15 b	74,38 ef	81,28 cde	37,45 de	0,00 c	80,50 abc	64,68 b	17,55 gh	0,00 b
P12	62,63 b	48,10 fgh	29,75 cde	0,15 b	58,23 h	81,38 cde	47,93 abc	0,58 c	69,80 d	79,20 a	30,80 ef	0,35 b
P13	54,68 cd	75,38 ab	32,30 cd	0,00 b	65,88 g	78,75 de	43,73 bcd	0,60 c	79,53 abc	61,68 bc	29,33 ef	0,75 b
P14	53,33 cd	67,68 bc	42,23 ab	1,23 b	74,53 ef	73,08 ef	43,80 bcd	2,25 c	58,33 e	61,75 bc	36,48 de	1,05 b
$Átlag_{VONAL}$	**56,36**	**58,09**	**27,60**	**1,14**	**71,34**	**79,00**	**40,19**	**2,76**	**70,44**	**68,02**	**34,16**	**0,90**
$SzD_{5\%VONAL}$	**6,90**	**9,28**	**7,94**	**4,25**	**4,96**	**8,64**	**8,46**	**4,65**	**7,40**	**7,94**	**7,93**	**3,33**
P01*P13	55,45 ab	52,03 bc	13,63 cd	0,00 b	69,63 bc	78,40 a	47,60 b	1,00 bc	63,65 ab	62,93 b	21,88 bc	2,18 ab
P04*P12	61,30 a	65,88 a	39,68 a	0,38 b	78,90 a	71,63 bc	46,13 bc	1,50 ab	64,93 ab	63,03 b	14,48 cd	0,23 b
P11*P02	43,73 c	57,15 ab	11,90 d	0,03 b	73,18 ab	72,80 ab	40,65 cd	0,23 bc	59,58 bc	52,50 c	20,25 bc	0,10 b
P05*P03	60,18 a	64,35 a	25,90 b	1,45 a	71,30 abc	76,80 ab	56,30 a	2,85 a	67,83 a	69,13 a	37,20 a	2,45 ab
P07*P02	50,58 bc	47,70 c	23,98 b	0,05 b	63,78 de	71,90 bc	26,18 e	0,00 c	48,80 c	39,25 d	15,05 cd	0,03 b
P09*P14	57,63 ab	62,40 a	35,35 a	0,33 b	67,93 cd	73,95 ab	54,08 a	0,95 bc	65,73 ab	72,55 a	24,85 b	3,88 a
P08*P10	45,85 c	35,70 d	21,88 bc	0,00 b	62,30 e	66,10 cd	34,80 d	0,00 c	37,9 d	41,35 d	12,18 d	0,00 b
P06*P09	27,25 d	46,90 c	11,20 d	0,00 b	61,73 e	65,53 d	40,35 cd	0,00 c	40,58 d	44,68 d	14,50 cd	0,00 b
$Átlag_{HIBRID}$	**50,25**	**54,01**	**22,94**	**0,28**	**68,59**	**72,14**	**43,26**	**0,82**	**56,13**	**55,68**	**20,05**	**1,11**
$SzD_{5\%HIBRID}$	**8,48**	**9,28**	**8,59**	**0,88**	**4,82**	**6,02**	**6,25**	**1,41**	**7,34**	**5,58**	**7,66**	**3,32**

7. táblázat A genotípusok F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadásának mértéke évjáratonként és kezelésenként. A fertőzések közötti szignifikáns különbségeket az eltérő betűk (a, b, c stb.) jelölik (Martonvásár, 2006-2008). Varianciaanalízis MQ-táblázata: M2 III. táblázat

GENOTÍPUS	SZÁRKORHADÁS											
	F_{index} adatai, %											
	2006				2007				2008			
	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
P01	64,20 bcd	59,20 de	20,00 f	0,83 b	74,18 d	95,03 ab	44,18 b	3,33 c	76,68 cd	90,88 ab	44,18 cd	1,65 ab
P02	54,18 efg	51,68 efg	11,65 g	0,83 b	88,38 bc	97,50 a	38,33 bc	0,83 c	92,55 a	78,35 cd	22,53 gh	1,65 ab
P03	85,03 a	80,03 ab	44,18 ab	15,00 a	93,38 ab	98,35 a	57,5 a	21,65 a	93,35 a	80,85 bcd	82,55 a	5,00 ab
P04	76,70 ab	74,20 bc	21,65 f	0,83 b	85,05 c	98,35 a	39,18 bc	1,68 c	77,53 cd	86,70 abc	27,50 fg	0,00 b
P05	61,65 cde	85,88 a	50,00 a	0,83 b	92,55 ab	95,05 ab	58,33 a	15,83 b	91,70 a	88,40 abc	64,20 b	6,65 a
P06	40,00 i	47,50 fg	26,68 def	0,00 b	51,65 g	63,33 d	39,18 bc	0,83 c	46,65 g	54,15 f	15,83 hi	0,00 b
P07	57,50 def	54,18 ef	23,35 ef	0,83 b	56,65 fg	49,15 e	18,35 d	0,83 c	73,35 cd	49,18 f	10,0 i	2,50 ab
P08	70,83 bc	69,18 bcd	30,00 cde	0,00 b	72,53 d	85,05 c	35,00 bc	0,83 c	68,35 de	71,68 de	46,68 cd	0,00 b
P09	73,38 b	66,70 cd	38,35 b	5,00 b	98,35 a	86,70 bc	58,35 a	5,00 c	90,05 ab	81,70 bcd	54,18 bc	4,18 ab
P10	47,50 ghi	40,83 g	31,68 bcd	0,83 b	65,03 e	65,85 d	30,83 c	0,83 c	55,00 fg	55,00 f	41,68 de	0,00 b
P11	44,15 hi	45,85 fg	24,98 def	0,00 b	76,70 d	86,70 bc	40,83 b	0,83 c	88,38 ab	85,05 abc	25,00 fgh	0,83 b
P12	69,18 bc	53,35 ef	39,18 b	0,00 b	59,16 ef	94,18 ab	60,00 a	2,48 c	78,35 c	95,00 a	33,35 ef	2,50 ab
P13	57,50 def	80,03 ab	38,33 b	0,83 b	76,70 d	80,85 c	51,68 ab	3,33 c	81,68 bc	65,83 e	38,35 de	1,68 ab
P14	51,68 fgh	75,00 abc	43,35 ab	3,33 b	83,40 c	80,85 c	43,33 b	3,33 c	61,70 ef	66,68 e	43,35 de	2,50 ab
$Átlag_{VONAL}$	**60,96**	**63,12**	**31,67**	**2,08**	**76,69**	**84,07**	**43,93**	**4,40**	**76,81**	**74,96**	**39,24**	**2,08**
$SzD_{5\%VONAL}$	**9,72**	**11,28**	**7,94**	**5,27**	**5,88**	**9,12**	**9,67**	**5,49**	**9,55**	**10,44**	**10,50**	**5,24**
P01*P13	59,15 ab	50,85 bc	15,00 d	0,83 b	74,23 ab	76,70 a	46,68 bc	1,68 abc	68,35 ab	70,03 ab	25,85 bc	4,18 ab
P04*P12	59,18 ab	63,33 ab	40,00 a	1,65 b	79,20 a	74,18 a	45,83 bc	7,50 a	67,50 ab	68,35 b	19,15 cd	1,65 b
P11*P02	45,85 cd	55,85 ab	17,48 cd	0,00 b	75,03 ab	78,38 a	58,33 a	0,00 c	60,85 bc	55,85 c	20,83 cd	0,00b
P05*P03	65,78 a	68,35 a	31,68 ab	7,50 a	69,15 bc	79,18 a	57,50 a	4,15 abc	70,85 a	73,35 ab	39,98 a	9,18 a
P07*P02	58,35 ab	50,85 bc	27,50 bc	1,65 b	65,85 c	72,53 a	30,83 e	0,00 c	53,33 cd	46,68 d	21,70 cd	0,83 b
P09*P14	63,35 ab	66,68 a	41,68 a	2,50 b	76,70 ab	77,53 a	51,65 ab	5,00 ab	68,35 ab	77,55 a	32,50 ab	10,00 a
P08*P10	53,33 bc	40,00 c	28,35 b	0,83 b	70,05 bc	68,35 a	35,03 de	0,00 c	49,18 d	42,50 d	15,00 d	0,00b
P06*P09	35,00 d	50,85 bc	15,85 d	0,83 b	64,18 c	72,53 a	42,50 cd	0,83 bc	54,18 cd	50,03 cd	15,85 d	0,00b
$Átlag_{HIBRID}$	**55,00**	**55,85**	**27,19**	**1,97**	**71,80**	**74,92**	**46,04**	**2,40**	**61,57**	**60,54**	**23,86**	**3,23**
$SzD_{5\%HIBRID}$	**12,22**	**13,24**	**10,46**	**3,58**	**8,19**	**11,11**	**7,63**	**4,78**	**8,10**	**8,88**	**9,35**	**6,05**

A képelemzővel meghatározott, évjáratok és kezelések közötti szárkorhadás összefüggéseket a 8. táblázat tartalmazza. A táblázatban az azonos kezelések (fertőzött-fertőzött, sterilszemes-sterilszemes, kontroll-kontroll) évjáratok közötti összefüggéseit zöld színnel emeltük ki. A kapcsolat szorosságát jelző korrelációs koefficiens értékek mellett feltüntettük a megbízhatóságra utaló jeleket is ($P_{0,1\%}$=***, $P_{1\%}$=**, $P_{5\%}$=*, $P_{10\%}$=+, NS= nem szignifikáns).

Az FG36 izolátummal végzett mesterséges fertőzés következményeként bekövetkezett szárkorhadás mértéke között P=1% valószínűségi szinten megbízható, közepes összefüggéseket kaptunk az egyes évjárat-párokat tekintve (2006-2007: r=0,59**, 2006-2008: r=0,58**, 2007-2008: r=0,60**). Az FGH4 izolátumnál a 2006-2007-es évek adatai között is közepes volt (r=0,52*) az összefüggés, de csak P=5% valószínűségi szinten. A 2006-2008-as adatsorok között is közepes összefüggést kaptunk P=1%-os valószínűségi szinten, míg a 2007-2008 évek között P=0,1% valószínűségi szinten megbízható, szoros (r=0,82***) kapcsolatot kaptunk. A kontroll kezelésnél a 2006-2007-es évek szárkorhadás adatai között nagyon szoros (r=0,94***) összefüggést kaptunk, a 2007-2008-as évek adattömbjei között közepes (r=0,53*), míg a 2006-2008-as adatok között laza (r=0,34^{NS}), statisztikailag nem igazolható volt a kapcsolat. A sterilszemes kezelésnél a három év szárkorhadás adatai között közepes (2006-2007: r=0,47*, 2006-2008: r=0,57**, 2007-2008: r=0,52***) kapcsolatokat kaptunk.

8. táblázat Képelemzővel meghatározott, évjáratok (2006, 2007, 2008) és a kezelések (két mesterséges kezelés, FG36 és FGH4, sterilszemes és kontrollkezelés) közötti szárkorhadás korrelációs koefficiens értékei. Az azonos kezelések évjáratok közötti összefüggéseit zöld alappal emeltük ki ($P_{0,1\%}$=***, $P_{1\%}$=**, $P_{5\%}$=*, $P_{10\%}$=+, NS= nem szignifikáns).

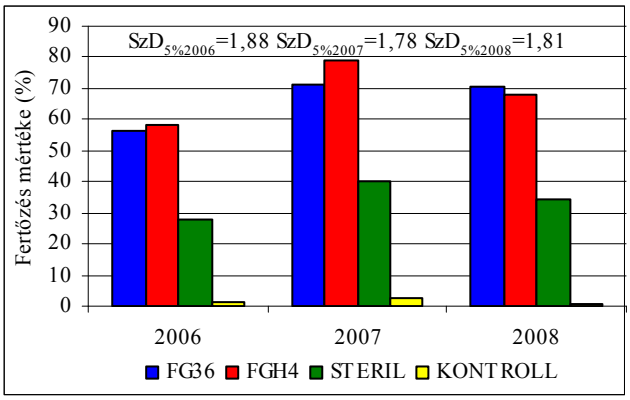
	2006 FG36	*2006 FGH4*	*2006 STER*	*2006 KONT*	*2007 FG36*	*2007 FGH4*	*2007 STER*	*2007 KONT*	*2008 FG36*	*2008 FGH4*	*2008 STER*	*2008 KONT*
2006 FG36	1											
2006 FGH4	0,65***	1										
2006 STER	0,50*	0,58**	1									
2006 KONT	0,49*	0,39^{+}	0,42^{+}	1								
2007 FG36	0,59**	0,64**	0,35^{NS}	0,34^{NS}	1							
2007 FGH4	0,61**	0,52*	0,12^{NS}	0,29^{NS}	0,80***	1						
2007 STER	0,44*	0,61**	0,47*	0,30^{NS}	0,61**	0,54*	1					
2007 KONT	0,52*	0,55**	0,53*	0,94***	0,47*	0,40^{+}	0,43*	1				
2008 FG36	0,58**	0,58**	0,29^{NS}	0,34^{NS}	0,60**	0,66***	0,40^{+}	0,42^{+}	1			
2008 FGH4	0,67***	0,58**	0,30^{NS}	0,24^{NS}	0,67***	0,82***	0,63***	0,37^{+}	0,78***	1		
2008 STER	0,62**	0,55**	0,57**	0,62**	0,58**	0,60**	0,52***	0,73***	0,46*	0,62**	1	
2008 KONT	0,40^{+}	0,60**	0,60**	0,34^{NS}	0,44*	0,27^{NS}	0,72***	0,53*	0,42^{+}	0,46*	0,52*	1

Az adataink szerint az eltérő évjáratok adatsorai közötti összefüggések a négy kezelés esetében eltérő. A kontrollkezelés esetében a legjelentősebb az eltérés a különböző évjáratok között. Az egyik évjáratpár között nagyon szoros (2006-2007 r=0,94***), a másiknál közepes (2007-2008 r=0,53*), míg a harmadiknál laza, statisztikailag nem szignifikáns (2006-2008 $r=0,34^{NS}$) kapcsolatot kaptunk eltérő megbízhatósági szintek mellett. A sterilszemes kezelésnél minden évjáratban mért szárkorhadási adatok között közepes volt a kapcsolat, szintén eltérő megbízhatósági szintek mellett ($P_{0,1\%}$, $P_{1\%}$, $P_{5\%}$). A mesterséges fertőzések esetében mindhárom évjáratnál közepes vagy szoros összefüggéseket kaptunk. Az FG36 izolátum esetében a három évjárat szárkorhadási adatai között volt a legállandóbb az összefüggés: $P_{1\%}$-os megbízhatósági szinten mindhárom évben közepes kapcsolatot kaptunk. Két esetben az FGH4 izolátumnál is közepes kapcsolatokat kaptunk, de az FG36 izolátumhoz képest más megbízhatósági szinten, illetve a 2007-2008-as évek adatai között nagyon szoros volt az összefüggés. Ez azt jelenti, hogy a genotípusok közötti szárkorhadás különbségek meghatározására a mesterséges fertőzés, évjárathatástól kevésbé befolyásolva, megbízhatóan alkalmazható. A sterilszemes kezelés eltérő évjáratok adatai közötti összefüggés közepes volt, más-más megbízhatósági szintek mellett. A kontrollkezelés (természetes fertőzés) eltérő évjáratokban kapott szárkorhadási adatai között a vizsgált három évben az összefüggések erőssége változó (laza, közepes, nagyon szoros) volt. Az időjárási körülményektől legjobban ez a kezelés függött, mivel a betegség kialakulásához szükséges három feltétel közül csak a különböző fogékonyságú gazdanövény jelenléte volt garantált. A másik két alapkövetelmény megléte – fertőzőképes kórokozó és a kedvező környezeti feltételek – bizonytalan volt.

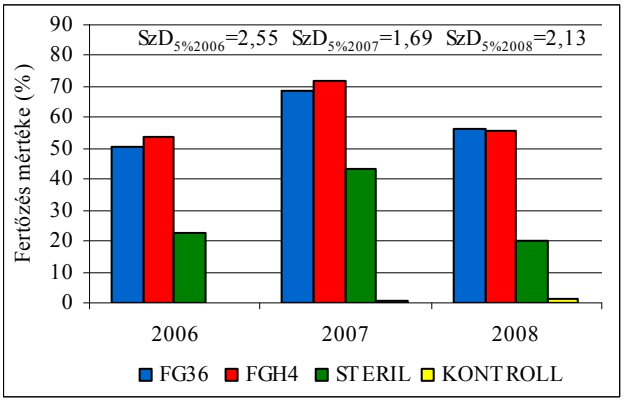
Azonos évek különböző kezelései közötti összefüggés a két mesterséges fertőzés között (FG36, FGH4) szoros, P=0,1%-on megbízható volt. A mesterséges fertőzések (FG36, FGH4) és a sterilszemes kezelés azonos évben mért adatai között mind a három évben P=1%-on és P=5%-on megbízható, közepes összefüggéseket kaptunk. A sterilszemes kezelés és a kontrollkezelés szárkorhadási adatai között a kapcsolat mindhárom évben P=5% és P=10% megbízhatósági szinten közepes volt. Leggyengébb összefüggéseket a mesterséges fertőzések és a kontrollkezelés (természetes fertőzés) között mutattunk ki, itt a kapcsolat P=5% és P=10% megbízhatósági szinten laza-közepes (8. táblázat) volt.

Az F_{index}-számítással meghatározott, évjáratok és a kezelések közötti szárkorhadás korrelációs koefficiens értékei is hasonló összefüggéseket mutattak, mint a képelemzővel mért adatoké. Mivel a két módszer között elvégzett összefüggés-vizsgálat korrelációs koefficiens (r) értékei mindhárom évjáratban nagyobb volt, mint 95% (5-7. ábra), ezért a továbbiakban ezeket az adatokat részletesen nem ismertetjük.

Az évjáratonkénti, négy kezelés következményeként fellépő szárkorhadás képelemző programmal meghatározott nagyságát a vonalak átlagában a 8. ábra, a hibridek átlagában pedig a 9. ábra foglalja össze.

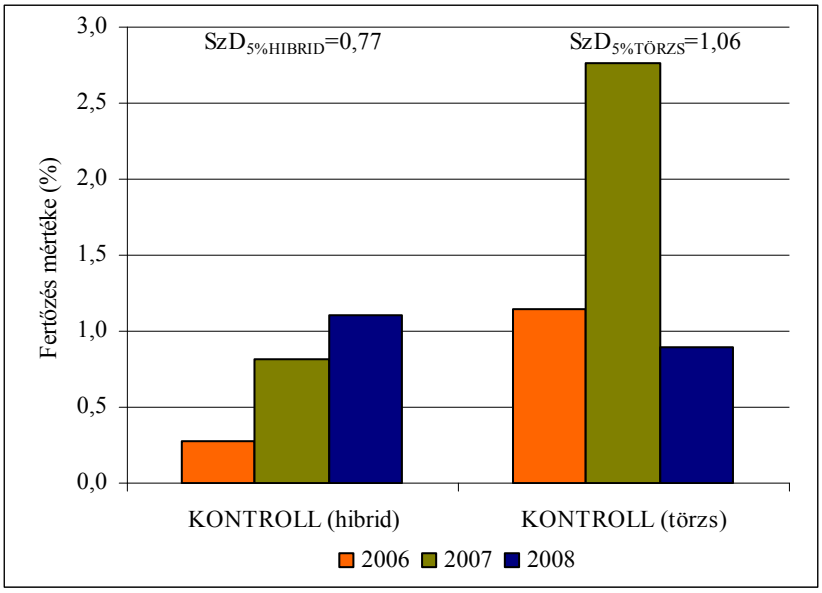


8. ábra. A kezelések (mesterséges fertőzés FG36 és FGH4 jelű izolátummal, sterilszemes és kontrollkezelés) következményeként fellépő szárkorhadás a beltenyésztett vonalak átlagában (Martonvásár, 2006-2008).



9. ábra. A kezelések (mesterséges fertőzés FG36 és FGH4 jelű izolátummal, sterilszemes és kontrollkezelés) következményeként fellépő szárkorhadás a hibridek átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

A fertőzés erőssége alapján a három év alatt a legerősebb szárkorhadást a *F. graminearum* izolátumokkal fertőzött parcelláknál kaptunk, ezt követték a gomba nélküli, steril szemmel kezelt növények, míg a legkisebb fertőzést a kontroll (természetes fertőzés) parcellák mutatták. A kezelések közötti különbségek szignifikánsak voltak. Mesterséges fertőzést alkalmazva a fertőzőképes kórokozó jelenléte minden évjáratban biztosítva volt, így ezeknél a kezeléseknél a genotípusok ellenállóképességén túl a kórfolyamat lefolyását csak az időjárási tényezők befolyásolták jelentősen. A kontrollkezelésnél a kórfolyamat kialakulására, a természetes fertőzés mértékére az évjáratonként változó időjárási paraméterek mellett az adott területen jellemző kórokozók hiánya vagy jelenléte és annak fertőzőképessége is nagymértékben hatással volt. Azzal, hogy a steril zabszem bejuttatásához sebzést ejtettünk a száron, növeltük a vizsgálati területen jelenlévő - akár gyengébb fertőzőképességű kórokozók – fellépésének az esélyét. A 2007. évben a beltenyésztett vonalaknál az FGH4 jelű *Fusarium* izolátum fertőzött erősebben. 2008-ban a kukorica vonalak esetében statisztikailag igazolhatóan az FG36 jelű izolátum váltott ki erősebb fertőzést (8. ábra). A hibrideknél a két *Fusarium* izolátum közül 2006-ban és 2007-ben is az FGH4 jelű *F. graminearum* szignifikánsan igazolhatóan agresszívebb volt, mint az FG36 jelű. A kísérlet utolsó évében, 2008-ban viszont a két izolátum közötti különbség statisztikailag nem volt igazolható (9. ábra). A 8-9. ábra adatai alapján egyértelműen megállapítható, hogy – évjárattól és kezelésektől függetlenül – a beltenyésztett vonalak legtöbb esetben fogékonyabbak, mint a hibridek.



10. ábra A természetes szárkorhadás (kontrollkezelés) alakulása a hibridek és a vonalak átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

A természetes szárkorhadás (kontroll) évjáratonkénti alakulását a 10. ábra foglalja össze. A vonalak esetében statisztikailag is igazolható, legnagyobb fertőzést 2007-ben mértük, ezt követte a 2006-os és a 2008-as év, de ennél a két évnél nem volt szignifikáns az eltérés. A hibrideknél 2008-ban volt a legerősebb szárkorhadás, ezt a 2007-es, majd a 2006-os év fertőzése követte. A hibrideknél az eltérések egyik évjárat között sem igazolhatóak statisztikailag.

A kontroll parcellákon a képelemző programmal mérhető szárkorhadás tüneteit mutató kukorica genotípusokban meghatároztuk a fertőzéseket okozó gombafajokat (9. táblázat).

9. táblázat A képelemző programmal meghatározott, szárkorhadt kontroll mintákból morfológiailag meghatározott *Fusarium*-fajok megoszlása (Martonvásár, 2006-2008)

Fusarium faj	**2006**		**2007**		**2008**		**Összes**	
	db	**%**	**db**	**%**	**db**	**%**	**db**	**%**
F. verticillioides	33	64,71	36	56,25	24	48,00	*93*	*56,36*
F. graminearum	12	23,53	15	23,44	12	24,00	*39*	*23,64*
F. subglutinans	6	11,76	9	14,06	6	12,00	*21*	*12,73*
F. culmorum	0	0,00	1	1,56	6	12,00	*7*	*4,24*
F. proliferatum	0	0,00	3	4,69	2	4,00	*5*	*3,03*
Összes	*51*	*100*	*64*	*100*	*50*	*100*	*165*	*100*

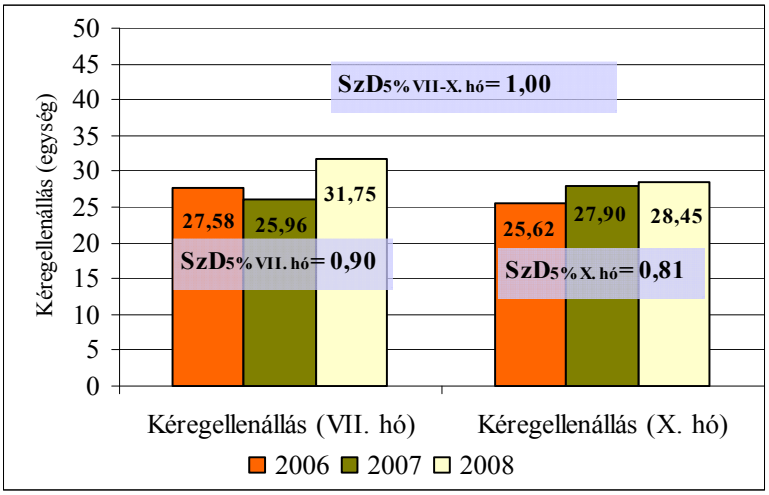
A kontroll parcellák természetes fertőződött származintáiban mind a három évben legnagyobb gyakorisággal a *F. verticillioides* gombafaj (3 év átlagában 56,36%) volt jelen, melyet a *F. graminearum* (23,64%), és a *F. subglutinans* faj (12,73%) követett. *F. culmorum* és *F. proliferatum* gombafajokat 2006-ban nem találtunk a fertőzött kukoricaszárakban. *F. proliferatum* fajból (4,69%) 2007-ben azonosítottunk nagyobb számban, míg a csapadékos 2008-as évben a két faj közül a *F. culmorum* (12,00%) fordult elő nagyobb gyakorisággal. A *F. graminearum* kivételével a fajok összetétele a különböző évjáratokban kisebb-nagyobb mértékben változott, viszont a *F. graminearum* előfordulása mindhárom évben 23,5% körül volt. Az alacsony természetes fertőzöttség véleményünk szerint részben a fenti fajösszetétellel magyarázható. A szárkorhadt, de sérüléstől mentes szárban, legnagyobb arányban a *F. verticillioides* faj fordult elő. Ennek a gombának a fertőzőképessége szakirodalmi adatok szerint (Chambers, 1987; Mesterházy, 1991, Kizmus és Mesterházy, 1993) gyengébb, mint a *F. graminearum* fajé. Számos esetben izoláltak már olyan kukoricaszárból, gyökérből, magból *F. verticillioides* gombát, ami vizuálisan teljesen egészségesnek tűnt (Leslie et al. 1990). Ez a látensen, szárban élő gomba, kedvező körülmények között (ideális környezeti feltételek és fogékony kukorica) ugyan megtámadta a kukorica szárát, de mérsékeltebb fertőzőképessége miatt nem volt olyan mértékű a kártétel, mint az általunk használt két *F. graminearum* izolátummal történő mesterséges fertőzés után. Ezt a feltételezésünket látszik igazolni az a tény is, hogy a sterilszemes kezelés következményeként jóval erősebb szárkorhadás lépett fel, mint a kontroll parcellákban. Véleményünk szerint azért, mert a zabszem bejuttatásához ejtett sebzésekkel növeltük a területen jelenlévő gyengébb fertőzőképességű patogének szárba jutását. Ennek bekövetkezését úgy próbáltuk kivédeni, hogy a mesterséges és a sterilszemes kezelés esetében is alkohollal fertőtlenítettük a szárakat és lezártuk a sebzéseket.

4.1.2 A szár mechanikai szerkezetét befolyásoló és jellemző tulajdonságok

A szár szilárdságát a szárkorhadáson kívül a kukorica genotípustól függő mechanikai szerkezete is jelentősen befolyásolja. Ezért ennek jellemzésére szántóföldi vizsgálataink során mértük a szárátmérőt, meghatároztuk a hibridek héjkéreg-ellenállását és a szárdőlt növények százalékos arányát is. Ezek a tulajdonságok a szárszilárdságon kívül a szárkorhadással is kapcsolatban vannak.

4.1.2.1 Héjkéreg-ellenállás

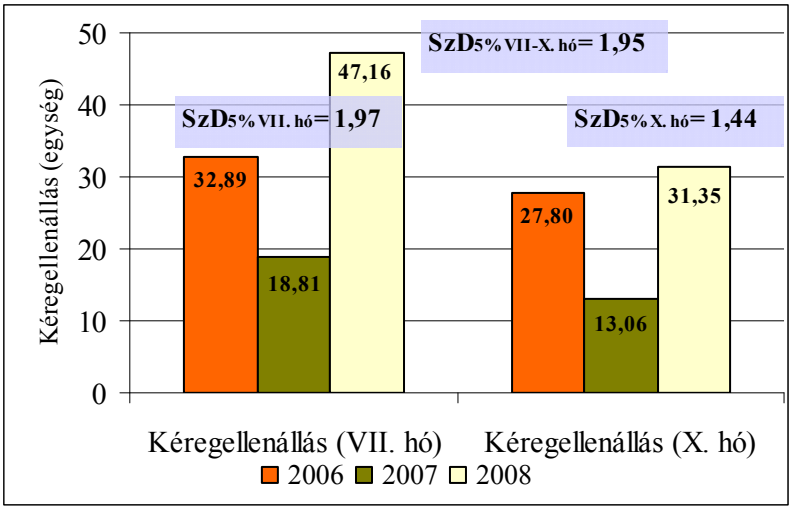
Héjkéreg-ellenállást a tenyészidő alatt két alkalommal mértünk: júliusban (virágzáskor) és októberben (betakarítás előtt). A vonalak három különböző évjáratban mért héjkéreg-ellenállás adatai szerint 2006-ban és 2007-ben mértük a kisebb kéreg-ellenállási értékeket, míg 2008-ban nagyobbakat (11. ábra). A legnagyobb kéregellenállást a hibrideknél is mindkét mérési időpontban 2008-ban mértük, ezt követte a 2006-os év kéreg-ellenállási értékei és a legkisebb ellenállási értékeket 2007-ben kaptuk (12. ábra). A három év közül 2006-2007 száraz, míg 2008 csapadékos volt. A fenti adatok szerint a csapadékos évjáratban nagyobb, míg száraz évjáratokban kisebb héjkéreg-ellenállásra lehet számítani, azaz a csapadék mennyisége a kéregellenállás nagyságát pozitívan befolyásolja. A hibridek héjkéreg-ellenállása júliusban és októberben is nagyobb volt a vonalaknál 2006-ban és 2008-ban, viszont 2007-ben mindkét mérés alkalmával lényegesen nagyobb volt a vonalak héjkéreg-ellenállása. Marton (2002) szintén nagyobb kéregellenállást mért az 1990-es száraz évjáratban, két tőszám mellett is (70 ezer tő/ha és 100 ezer tő/ha) a vonalaknál.



11. ábra Két időpontban mért héjkéreg-ellenállás a vonalak és kezelések átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

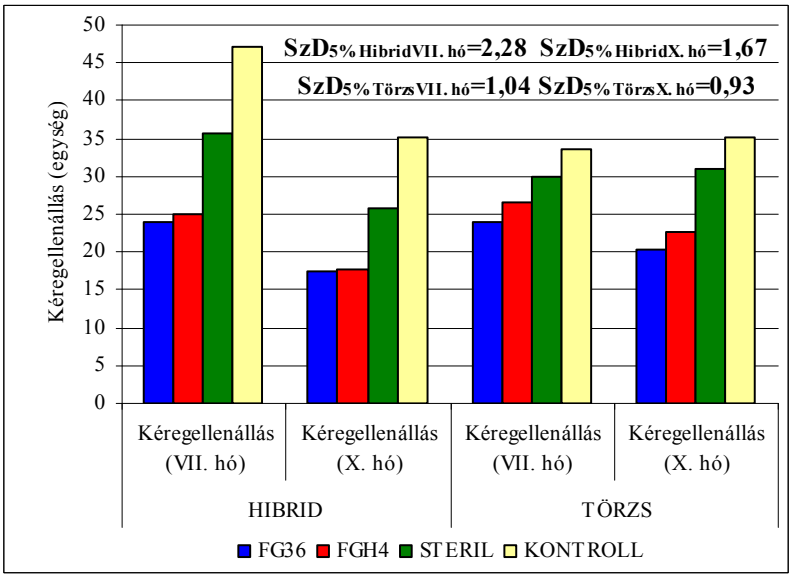
Véleményünk szerint ez a látszólagos ellentmondás a vonalak hosszabb tenyészidejével és a kedvezőtlen időjárási tényezők együttes hatásával magyarázható. A hibridekhez képest a hosszabb tenyészidejű vonalak korábbi fejlődési stádiumban voltak mindkét mérés alkalmával. Ha összevetjük a 11. és 12. ábra 2007-es év két időpontban mért értéket, azt látjuk, hogy a hibridek júliusban mért héjkéreg-ellenállása nagyobb az októberinél, míg a beltenyésztett törzseknél ez épp fordított, az októberi kéreg-ellenállási érték a virágzásban mért értékekhez képest még növekedést is mutatott.

Ez a fiziológiai különbség a kedvezőtlen időjárási feltételek (csapadékhiány, több hőségnap) hatására megnőtt, így 2007-ben a hibridek kéregellenállása alacsonyabb volt a vonalaknál.



12. ábra Két időpontban mért héjkéreg-ellenállás a hibridek és kezelések átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

A genotípusoknak a négy kezelés és az évjáratok átlagában meghatározott héjkéreg-ellenállási értékeit a 13. ábra foglalja össze. Legnagyobb héjkéreg-ellenállást a hibrideknél és a vonalaknál is a kontrollkezelésben kaptuk, ezt követte a sterilszemmel megszúrt, majd a két *Fusarium* izolátummal fertőzött szár kéregellenállása. A hibrideknél szignifikáns különbség a két mesterséges fertőzés héjkéreg-ellenállási értékei között nem volt, a többi kezelés között viszont szignifikáns különbségeket kaptunk. A vonalaknál minden kezelés között szignifikánsan igazolható volt a héjkéreg-ellenállási értékek közötti különbség.



13. ábra A hibridek és a beltenyésztett törzsek kezeléstől függő, két időpontban mért héjkéreg-ellenállása az évek átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

A 10. táblázat a kísérleti évek és kezelések átlagában mutatja be a vonalak és a hibridek héjkéreg-ellenállás, szárátmérő és dőlés értékeit. A hibridek nyáron mért héjkéreg-ellenállás átlagértéke (32,95) meghaladta a vonalak (28,43) nyáron mért héjkéreg-ellenállás átlagértékét. Ősszel a hibridek héjkéreg-ellenállás átlagértéke 24,07 egység volt, viszont a vonalaké 27,32, azaz ősszel a hibridek héjkéreg-ellenállása kisebb volt. A hibridek többségénél a nyáron mért héjkéreg-ellenállási értékek - két hibrid (P04*P12 és P09*P14) kivételével - az őszi értékeknél magasabbak voltak. A beltenyésztett vonalaknál a nyári és az őszi héjkéreg-ellenállási adatok nem a fenti megfigyelésnek megfelelően változtak: a vonalak közel felénél – összesen hat genotípusban – a nyári értékekhez képest az őszi héjkéreg-ellenállási adatok jobbak voltak. A hibridekhez képest a beltenyésztett vonalaknál az ősszel mért magasabb héjkéreg-ellenállási adatokra részben az a tény ad magyarázatot, hogy a vonalak tenyészideje hosszabb a vizsgált hibridekénél. Ez azt jelenti, hogy az októberi mérés alkalmával a vonalak egy korábbi fejlődési stádiumban voltak még a hibridekhez képest, így a héjkéreg átszakításához nagyobb erő kifejtésére volt szükség.

Valószínű, hogy az eltérő hosszúságú vegetációs perióduson kívül genetikai magyarázata is van az eltérésnek. A nyáron mért értékekhez képest a legnagyobb héjkéreg-ellenállási növekedést ősszel a P12-es vonalnál mértük. Ennél a beltenyésztett vonalnál az ősszel és a nyáron mért érték közötti különbség 13,63 egység volt (11. táblázat). Ez a vonal apai partnerként szerepel a FAO320 éréscsoportba tartozó P04*P12 hibridben, melynél az ősszel mért kéreg-ellenállási érték a többi hibriddel ellentétben nőtt és nem csökkent. A másik hibrid, melynél szintén nem csökkent a héjkéreg-ellenállás érték, az 1972-ben minősített, FAO 380-as éréscsoportba tartozó P09*P14 hibrid volt. Ez a kukorica napjaink termesztéstechnológiai követelményeinek már szinte egyetlen paraméterével sem felel meg, de az egyik szülő, a P14-es vonal ősszel mért héjkéreg-ellenállása 0,43 egységgel több volt, mint a nyáron mért érték. Ez a vonal apai partnerként 2,11 egységgel növelte ennek a régi nemesítésű hibridnek az őszi héjkéreg-ellenállását. A következő vonalak esetében mértünk még a nyári héjkéreg-ellenállási értékekhez képest nagyobb értékeket ősszel: P11, P06, P10 és a P03. A P11 és P06 vonalak közel 10,5 egységgel nagyobb héjkéreg-ellenállást mutattak ősszel, mint nyáron. Ezek a vonalak anyai partnerként szerepeltek a P11*P02, P06*P09 hibridekben, melyeknél az őszi héjkéreg-ellenállási értékei kisebbek voltak, mint a nyáron mért értékek. A másik két beltenyésztett törzs melynek ősszel mért héjkéreg-ellenállási értékei magasabbak voltak a nyáron mért értékeknél a P03 és a P10 jelű vonal volt. Ezek a beltenyésztett törzsek a P05*P03 és a P08*P10 hibridekben apai partnerként szerepeltek. A két hibrid anyai partnere a P05 valamint a P08 jelű beltenyésztett törzsek voltak. A beltenyésztett törzseket tekintve ennél a két szülői partnernél volt a legjelentősebb csökkenés az őszi és nyári héjkéreg-ellenállási adatok között; a P08 jelű törzsnél 11,20 egységgel, míg a P05 jelűnél 18,98 egységgel csökkent az

ősszel mért érték. A két hibrid (P05*P03, P08*P10) őszi héjkéreg-ellenállási értéke ugyan csökkent a nyárihoz képest, de jóval kisebb mértékben, mint a többi hibridnél (11. táblázat).

10. táblázat A genotípusok héjkéreg-ellenállása, szárátmérője és dőlési aránya a kezelések és az évek átlagában. A genotípusok közötti szignifikáns különbségeket az eltérő betűk (a, b, c stb.) jelölik (Martonvásár, 2006-2008). Varianciaanalízis MQ-táblázata: M2 IV. táblázat

VONALAK	GENETIKAI HÁTTÉR	KÉREGELLENÁLLÁS		SZÁRDŐLÉS (%)	SZÁRÁTMÉRŐ (cm)
		VII. hó, egység	X. hó, egység		
P01	ISSS	10,02 j	7,39 i	3,51 c	1,78 g
P02	Iodent/Lancaster	19,95 g	17,63 fg	2,18 cdef	1,83 ef
P03	ISSS/Minnesota13	11,63 ij	14,23 h	6,93 b	1,94 d
P04	Iodent	23,09 f	18,86 f	2,56 cd	1,81 fg
P05	Iodent/Lancaster	43,73 d	24,75 e	1,71 def	1,73 h
P06	ISSS	81,97 a	92,19 a	2,01 cdef	2,15 b
P07	ISSS	53,02 c	47,37 c	0,85 f	2,13 b
P08	Iodent/ISSS	28,27 e	17,07 g	1,14 def	2,11 b
P09	MPS	5,51 k	3,19 j	8,05 ab	1,72 h
P10	OH43	21,47 fg	27,01 d	2,37 cde	2,11 b
P11	Non related	17,90 h	28,36 d	1,42 def	2,03 c
P12	ISSS	13,49 i	27,12 d	1,04 ef	2,29 a
P13	Iodent	66,56 b	55,52 b	1,56 def	1,86 e
P14	MinnesotaSyn	1,40 l	1,83 j	9,47 a	1,44 i
$Átlag_{VONAL}$		**28,43**	**27,32**	**3,20**	**1,92**
$SzD_{5\%VONAL}$		**1,94**	**1,75**	**1,51**	**0,04**
HIBRIDEK	**FAO SZÁM** / **ELŐÁLLÍTÁS ÉVE**	**VII. hó, egység**	**X. hó, egység**	**SZÁRDŐLÉS (%)**	**SZÁRÁTMÉRŐ (cm)**
P01*P13	FAO310 / 2004	54,37 a	32,35 ab	0,47 c	2,17 c
P04*P12	FAO320 / 2000	21,16 e	22,76 c	0,57 c	2,15 c
P11*P02	FAO350 / 2003	33,29 d	20,38 d	0,19 c	2,18 c
P05*P03	FAO380 / 1992	23,13 e	17,55 e	1,35 c	2,08 d
P07*P02	FAO370 / 2006	49,03 b	31,25 b	0,00 c	2,25 b
P09*P14	FAO380 / 1972	6,75 f	8,86 f	7,96 a	1,95 e
P08*P10	FAO510 / 2002	42,54 c	34,39 a	0,09 c	2,35 a
P06*P09	FAO530 / 1972	33,34 d	25,01 c	5,11 b	2,38 a
$Átlag_{HIBRID}$		**32,95**	**24,07**	**1,97**	**2,19**
$SzD_{5\%HIBRID}$		**3,22**	**2,36**	**1,47**	**0,04**

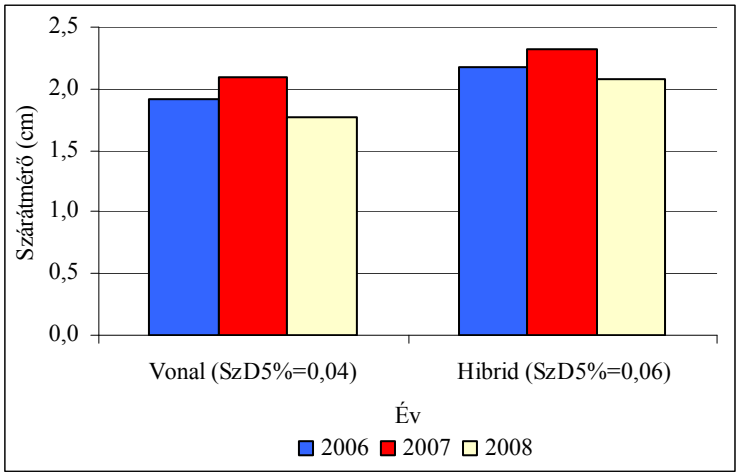
A fentiek alapján valószínűsítjük, hogy a nyári héjkéreg-ellenállási adatokhoz képest magasabb őszi héjkéreg-ellenállást mutató P12, P03, P10 jelű, keresztezésben apaként használt vonalak szárszilárdságra nemesítés szempontjából különösen jó keresztezési partnerek lehetnek. Érdemes lehet kipróbálni a P11 és P06 jelű törzseket is keresztezésekben apai partnerekként.

11. táblázat A genotípusok őszi és nyári héjkéreg-ellenállása közötti különbségek csökkenő sorrend szerint (Martonvásár, 2006-2008).

GENOTÍPUS	Őszel (X. hó) és nyáron (VII. hó) mért héjkéreg-ellenállási értékek különbségei (egység)
P12	13,63
P11	10,46
P06	10,22
P10	5,54
P03	2,60
P14	0,43
P09	-2,32
P02	-2,32
P01	-2,63
P04	-4,23
P07	-5,65
P13	-11,04
P08	-11,20
P05	-18,98
$Átlag_{TÖRZS}$	**-1,11**
$SzD_{5\%TÖRZS}$	**0,82**
P09*P14	2,11
P04*P12	1,60
P05*P03	-5,58
P08*P10	-8,15
P06*P09	-8,33
P11*P02	-12,91
P07*P02	-17,78
P01*P13	-22,02
$Átlag_{HIBRID}$	**-8,88**
$SzD_{5\%HIBRID}$	**1,60**

4.1.2.2 Szárátmérő

A szárátmérő nagyságát a vonalaknál és a hibrideknél is jelentős mértékben meghatározta az évjárat hatása. A három évjárat között statisztikailag igazolható eltérések voltak a vizsgált genotípus csoportokban (14. ábra). A legnagyobb szárátmérőt mindkét esetben 2007-ben mértük, a legkisebbet a 2008. évben. A hibridek közül a hosszabb tenyészidejű genotípusoknak volt vastagabb száruk: a FAO500 éréscsoportba tartozó hibrideknek (P06*P09, P08*P10) volt a legvastagabb száruk, ezt követte a P07*P02 FAO370-es tenyészidejű hibrid és az új nemesítésű hibridek közül a sort a FAO300 éréscsoport elején helyet foglaló hibridek zárták (P11*P02, P01*P13, P04*P12).



14. ábra A szárátmérő nagysága a hibridek és vonalak átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

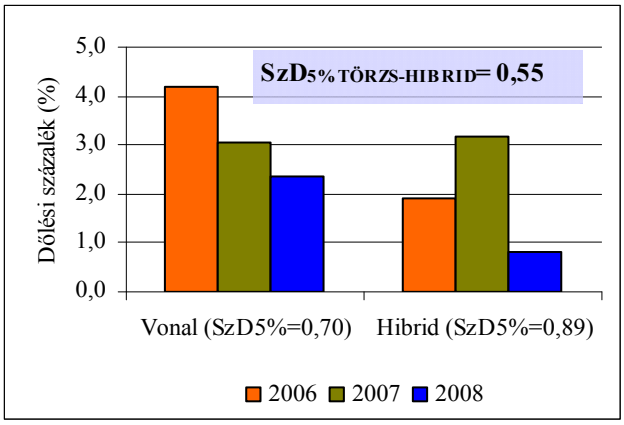
A legkisebb szárátmérőt a FAO300-as éréscsoport végén helyet foglaló, két régebbi nemesítésű hibridnél (P05*P03, P09*P14) mértük. A legnagyobb szárátmérője a P12-es jelű vonalnak volt, míg a legkisebb a P14-nek (10. táblázat). A beltenyésztett törzsek szárátmérője igen tág intervallumban változott, a legnagyobb (2,29) és a legkisebb (1,44) szárátmérőjű beltenyésztett vonal között 0,85 cm volt a különbség. A hibrideknél ez az érték kisebb volt, itt a legnagyobb (2,39 cm) és a legkisebb (1,95 cm) szárátmérőjű genotípus közötti különbség csak 0,43 cm.

4.1.2.3 Szárdőlési százalék

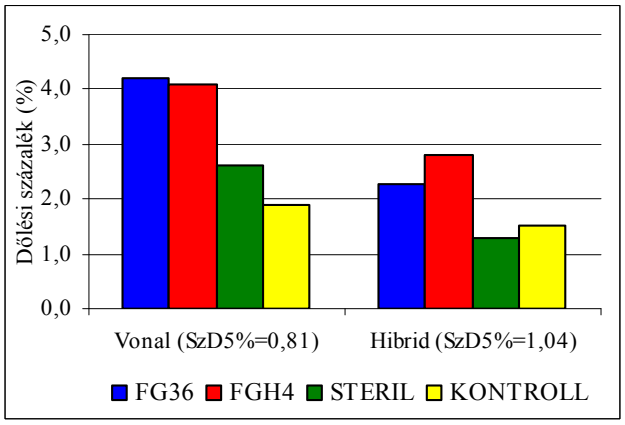
A szárszilárdság és a szárkorhadás jellemzésére a genotípusok szárdőlési adatait is felhasználtuk. A genotípusok közötti különbségeket a kezelések és az évjáratok átlagában a 10. táblázat tartalmazza. A kísérlet főátlaga szerint a beltenyésztett törzseknél (3,20%) több mint 1,5-szer nagyobb volt a szárdőlés, mint a hibrideknél (1,97%). A hibridek közül a legnagyobb szárdőlése statisztikailag is igazolhatóan a két 1972-ben előállított hibridnek (P09*P14, P06*P09) volt, a többi hibrid esetében szignifikáns különbséget nem állapítottunk meg. A beltenyésztett törzsek esetében a legnagyobb százalékban megdőlt genotípus a P14 (MinnesotaSyn), P09 (MPS) és a P03 (ISSS/Minnesota13) jelű anyagok voltak. Az első két vonal régi előállítású nemesítési anyag, míg a P03-as jelű néhány generációval fiatalabb ISSS/Minnesota13 származék. Az előbb felsorolt vonalaktól szignifikánsan igazolhatóan kisebb szárdőlési hibát állapítottunk meg két ISSS (P01, P06), egy Iodent/Lancaster (P02), egy Iodent (P04) és egy OH43 (P10) genetikai hátterű beltenyésztett törzsnél. A P05, P08, P13 (Iodent származék) és a P11 (Non related) jelű vonalak szárdőlése igazolhatóan kisebb, mint a P01 (ISSS) jelű vonalé.

A legkisebb szárdőlési százalékot két ISSS rokonsági körbe tartozó (P07, és P12) vonal esetében kaptuk (10. táblázat). A fentiek szerint a szárdőlési hibát a genotípus nagymértékben meghatározza. Az Iodent rokonsági körbe tartozó vonalak szárdőlési hibái is megfelelő.

A szárdőlés mértékét az évjárat is jelentősen meghatározta (15. ábra). Az évjáratok között a vonalaknál és a hibrideknél is szignifikáns különbségek voltak. A legnagyobb mértékben a vonalak dőltek meg 2006-ban (4,21%). A szárdőlési hiba 2007-ben a vonalaknál (3,06%) és a hibrideknél (3,16%) is közel azonos volt, míg a legkisebb szárdőlési problémát a beltenyésztett törzsek (2,34%) és a hibridek (0,82%) esetében is 2008-ban mértük. A 2006-os és 2007-es év nagy szárdőlési arányai a vonalaknál és a hibrideknél is egyértelműen a szárdőlés szempontjából kedvező időjárási tényezőkkel magyarázhatóak (3-4. táblázat). A beltenyésztett törzsek 2006-ban nagyobb mértékű szárdőlést szenvedtek. Ez megerősíti azokat a korábbi ismereteket, hogy a beltenyésztett törzsek érzékenyebbek a hibrideknél, illetve a szárdőléssel szembeni ellenállóság kvantitatív módon öröklődik (Toman Jr. és White, 1993) és az F_1 hibridek szárdőléssel szembeni ellenállósága jellemzően jobb, mint a beltenyésztett törzseké. Annak ellenére viszont, hogy a 2007-es év időjárása volt kedvezőbb a szárdőlés szempontjából, mégis 2006-ban volt nagyobb szárdőlés a vonalak esetében. Erre magyarázatot adhat a 2006-os év erősebb kukoricamoly kártétele (a dolgozat témáját nem képezi az adatok ismertetése). A vékonyabb szárú vonalak könnyebben eltörtek/eldőltek, mint a nagyobb átmérőjű hibridek. 2007-ben viszont a hibridek nagyobb mértékben dőltek meg, mint a beltenyésztett törzsek. Ebben az évben ugyan több csapadék hullott a tenyészidőszakban, mint 2006-ban, de annak eloszlása 2007-ben volt kedvezőtlenebb. A szárdőlés szempontjából pedig a csapadék eloszlása fontosabb tényező, mint annak mennyisége. A virágzáskori kevés, és az őszi sok csapadék nagymértékben hajlamosít a szárdőlésre. Az általunk vizsgált évek közül a 2007-es év ehhez hasonló volt (3. táblázat). Száraz körülmények között a hosszabb tenyészidejű vonalak később mobilizálták a szárban tárolt szénhidrátokat. Ennek köszönhetően kevésbé voltak kitéve a szaprofita, szárkorhadásért is felelős *Fusarium*-fajoknak, melyek felszaporodását a csapadékos ősz elősegítette.



15. ábra A vonalak és hibridek szárdőlése a genotípusok és a kezelések átlagában (Martonvásár, 2006-2008).



16. ábra A fuzáriumos szárfertőzés hatása a vonalak és a hibridek szárdőlésére a genotípusok és az évjáratok átlagában (Martonvásár, 2006-2008).

A különböző kezelések a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is eltérő szárdőlést okoztak (16. ábra). Legnagyobb szárdőlést mindkét csoportot tekintve azokon a parcellákon mértünk, ahol mesterséges fertőzést alkalmaztunk. A két különböző *Fusarium graminearum* izolátum között sem a vonalak, sem a hibridek nem mutattak szignifikáns eltérést. A beltenyésztett törzseknél mindkét izolátum valamivel több, mint 4%-os szárdőlést okozott. A hibrideknél kisebb volt a szárdőlés: az FG36 izolátummal fertőzött parcellákban 2,27%-os, míg az FGH4 izolátum esetében 2,80%-os. Sem a vonalaknál, sem a hibrideknél nem kaptunk statisztikailag igazolható különbséget a sterilszemes kezelés és a kezelés nélküli (természetes) parcellák szárdőlési adatai között. A beltenyésztett törzsek a sterilszemes és a természetes kezelés szárdőlési adatai szerint szignifikánsan kisebb mértékű szárdőlést szenvedtek el, mint a két mesterségesen fertőzött parcella növényei. A hibridek esetében csak az FGH4 izolátummal fertőzött parcellákban volt statisztikailag is igazolható nagyobb szárdőlés a sterilszemes és a kontrollkezeléshez képest. A természetes úton fertőződött hibridekben statisztikailag ugyan nem igazolható, de nagyobb mértékű szárdőlést regisztráltunk, mint a steril szemmel kezelt parcellákon. A mesterséges fertőzés hatására nőtt a vizsgált genotípusok szárdőlése, azaz a patogén gomba szerepet játszott a szárdőlés kialakulásában.

4.2 Laboratóriumi vizsgálatok

A fuzáriumos szárkorhadásért a *Fusarium*-fajok által termelt különböző sejtfalbontó enzimek felelősek, melyek közül a celluláz enzim szerepe a legjelentősebb. A szabadföldi kísérletek mesterséges és természetes úton fertőzött szármintáinak bélszövetéből kivonatot készítettünk, melyből meghatároztuk a különböző kukorica genotípusok cellulázenzim-aktivitását. A szövetkivonatot hígan és két eltérő kémhatású betöményített formában (pH=5 és pH=8,5) használtuk fel a mérésekhez.

4.2.1 A genotípusok szárszövet-kivonatainak cellulázenzim-aktivitása

A genotípusok szárszövet-kivonatának cellulázenzim-aktivitás értékeit a 12. táblázat foglalja össze kezelésenként, a kísérleti évek átlagában. A genotípusok között a cellulázenzim-aktivitás tekintetében szignifikánsan igazolható különbségek voltak a beltenyésztett törzsek és a hibridek csoportjaiban. A legnagyobb cellulázenzim-aktivitást az FGH4 jelű *Fusarium* izolátum kezelés hatására mértük, ezt követte az FG36 jelű izolátum, majd a steril szemes kezelés. A kontroll parcellákban mért aktivitás volt a legkisebb. A sorrend a kukorica vonalaknál és a hibrideknél is azonos volt. Az acetát pufferben (pH=5) betöményített szövetkivonatoknál mértünk nagyobb, míg a TrisHCl-ben (pH=8,5) betöményített kivonatoknál kisebb enzimaktivitást, azaz a két pH érték közül a savas kémhatás volt a kedvezőbb az enzim hatékonyabb működéséhez. Az enzimaktivitás a híg szárszövet-kivonat esetében volt a legkisebb, de betöményítés nélkül is jelentős különbségeket kaptunk a vizsgált kukorica genotípusok között mesterséges fertőzések (FGH4 és FG36) hatására. Híg szövetkivonatoknál a kontrollkezelésnél volt a legalacsonyabb a cellulázenzim-aktivitás, de még ennél a kezelésnél is voltak különbségek a genotípusoknál: vonalaknál a legnagyobb különbség mindösszesen 70,62 mm^2, míg a hibrideknél 17,25 mm^2 volt (12. táblázat).

Megvizsgáltuk a híg és a betöményített szövetkivonatok cellulázenzim-aktivitása közötti összefüggéseket is. A 13. táblázatban az azonos kezelések (FG36-FG36, FGH4-FGH4, sterilszemes-sterilszemes, kontroll-kontroll) közötti összefüggéseket zöld alappal emeltük ki és a korrelációs koefficiens értékek mellett feltüntettük a kapcsolat szorosságát is. A négy kezelés híg szövetkivonatos cellulázenzim-aktivitását tekintve $P_{5\%}$-os megbízhatósági szinten szoros, pozitív kapcsolatot találtunk a vonalaknál a két mesterséges fertőzés (FG36-FGH4) és a sterilszemes kezelés valamint a kontrollkezelés között.

12. táblázat A vizsgált genotípusok cellulázenzim-aktivitása a három szövetkivonatnál, a négy kezelésnél (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, sterilszemes, kontroll) a kísérleti évek (2006-2008) átlagában (Martonvásár). A mért cellulázenzim-aktivitás közötti szignifikáns különbségeket az eltérő betűk (a, b, c, stb.) jelölik. Varianciaanalízis MQ-táblázata: M2 V. táblázat

VONALAK	GENETIKAI HÁTTÉR	CELLULÁZENZIM-AKTIVITÁS (mm^2)											
		Híg szövetkivonat				Tris-HCl pH=8,5				Acetát pH=5,0			
		FG36	*FGH4*	*STER*	*KONT*	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*
P01	ISSS	93,97 d	122,16 bc	33,92 e	0,01 c	194,34 e	266,00 c	126,79 e	10,37 c	244,40 d	265,66 e	132,29 d	6,83 cd
P02	Iodent/Lancaster	85,37 e	102,12 ef	4,07 hi	0,01 c	252,41 c	210,69 e	108,17 f	3,41 c	271,94 c	221,01 f	120,56 de	3,32 d
P03	ISSS/Minnesota13	137,70 a	102,75 ef	41,29 d	18,47 b	280,36 a	219,96 e	160,98 c	74,13 b	311,63 a	270,08 de	179,60 c	82,94 b
P04	Iodent	133,20 a	123,35 b	9,55 g	0,01 c	264,65 bc	305,90 a	124,16 e	34,74 c	293,55 b	338,42 a	115,31 e	37,58 cd
P05	Iodent/Lancaster	118,80 b	117,52 bc	84,09 a	70,63 a	271,53 ab	283,30 b	230,17 a	149,94 a	266,70 c	282,83 de	230,59 a	158,08 a
P06	ISSS	44,05 i	33,47 h	7,05 ghi	0,01 c	144,95 g	132,67 g	64,59 h	4,28 c	161,65 h	171,83 g	85,40 g	7,47 cd
P07	ISSS	79,46 e	43,70 g	16,12 f	0,01 c	170,05 f	161,75 f	86,20 g	22,81 c	223,67 e	158,03 gh	84,54 g	26,34 cd
P08	Iodent/ISSS	79,42 e	115,03 cd	8,89 g	0,01 c	195,22 e	218,81 e	102,64 f	14,43 c	203,48 fg	291,42 cd	110,23 ef	10,66 cd
P09	MPS	106,40 c	143,15 a	61,20 c	0,01 c	256,72 c	292,05 b	206,93 b	29,12 c	325,82 a	317,90 ab	227,14 a	22,31 cd
P10	OH43	37,51 i	42,95 g	0,01 i	3,64 c	155,26 g	158,37 f	80,24 g	13,41 c	179,08 h	149,71 h	78,61 g	13,12 cd
P11	Non related	72,15 fg	109,27 de	10,01 g	0,01 c	207,02 de	261,05 c	94,41 fg	4,98 c	236,85 de	265,08 e	112,29 ef	4,14 d
P12	ISSS	56,28 h	97,85 f	68,53 b	0,01 c	175,08 f	236,69 d	170,51 c	35,71 c	200,37 g	228,14 f	201,52 b	28,83 cd
P13	Iodent	79,25 e	99,93 f	0,01 i	0,01 c	202,40 e	219,23 e	106,72 f	40,99 bc	220,37 ef	239,87 f	99,93 f	42,11 c
P14	MinnesotaSyn	66,91 g	117,32 bc	36,08 e	28,76 b	219,76 d	284,84 b	143,34 d	138,95 a	231,45 de	306,17 bc	175,52 c	122,93 a
$Átlag_{VONAL}$		**85,05**	**97,90**	**27,20**	**8,69**	**213,55**	**232,24**	**128,99**	**41,23**	**240,78**	**250,44**	**139,54**	**40,48**
$SzD_{5\%VONAL}$		**6,98**	**7,97**	**4,29**	**13,68**	**13,13**	**13,50**	**14,68**	**38,18**	**18,02**	**21,48**	**13,19**	**36,23**
HIBRIDEK	**FAO SZÁM**	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*
P01*P13	FAO310	44,91 d	78,34 b	7,77 d	0,01 b	234,48 c	208,25 d	120,55 d	10,48 bc	214,86 c	250,17 c	133,36 d	9,82 bc
P04*P12	FAO320	78,32 b	90,58 a	12,29 c	0,01 b	260,90 b	239,26 c	127,90 c	35,47 b	245,77 b	239,30 d	141,27 c	31,49 b
P11*P02	FAO350	52,92 c	91,92 a	0,01 e	0,01 b	236,80 c	235,19 c	94,37 f	13,75 bc	217,41 c	263,82 b	107,04 e	11,17 bc
P05*P03	FAO380	92,96 a	91,05 a	40,43 a	17,26 a	302,78 a	277,35 a	184,91 a	111,08 a	318,96 a	283,33 a	218,27 a	96,09 a
P07*P02	FAO370	32,13 e	54,06 c	7,02 d	4,74 ab	186,10 d	187,84 e	102,45 e	19,41 bc	192,33 d	211,76 e	97,46 f	18,52 bc
P09*P14	FAO380	46,11 d	78,15 b	18,73 b	7,65 ab	230,54 c	261,46 b	157,64 b	23,61 bc	213,66 c	267,34 b	167,13 b	22,77 bc
P08*P10	FAO510	26,28 f	22,76 e	0,01 e	0,01 b	178,47 d	181,93 e	76,55 g	0,01 c	176,39 e	179,21 f	79,26 g	0,01 c
P06*P09	FAO530	14,19 g	30,99 d	0,01 e	0,01 b	97,30 e	144,40 f	76,19 g	7,73 bc	110,44 f	145,26 g	90,81 f	11,63 bc
$Átlag_{HIBRID}$		**48,48**	**67,23**	**10,78**	**3,71**	**215,92**	**216,96**	**117,57**	**27,69**	**211,23**	**230,02**	**129,33**	**25,19**
$SzD_{5\%HIBRID}$		**5,16**	**5,61**	**3,77**	**15,20**	**9,73**	**7,99**	**5,71**	**32,99**	**15,78**	**10,86**	**6,95**	**31,23**

A többi esetben nem volt szignifikánsan igazolható a kapcsolat. Hasonló eredményeket kaptunk a hibrideknél is, azzal az eltéréssel, hogy esetükben az FG36-os izolátummal fertőzött kezelés és a sterilszemes kezelés között is szoros, pozitív volt a kapcsolat (13. táblázat). A híg és a betöményített szövetkivonat azonos kezelései között (FG36-FG36, FGH4-FGH4 stb.) a beltenyésztett törzsek és a hibridek esetében is $P_{0,1\%}$ vagy $P_{1\%}$ valószínűséggel nagyon szoros, pozitív összefüggéseket kaptunk. Mesterséges fertőzés esetén tehát a híg szövetkivonat, illetve természetes szárfuzárium fertőzéskor a betöményített szövetkivonat cellulázenzim-aktivitása megbízható információt ad az adott populáció fertőzöttségi állapotáról.

13. táblázat A híg szövetkivonat és a két betöményített szövetkivonat kezelései (két mesterséges kezelés, FG36 és FGH4, sterilszemes és kontrollkezelés) közötti cellulázenzim-aktivitás korrelációs koefficiens értékei a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél. Az azonos kezelések közötti összefüggéseit zöld színnel emeltük ki. A kapcsolat szorossága: $P_{0,1\%}$=***, $P_{1\%}$=**, $P_{5\%}$=*, $P_{10\%}$=+, NS= nem szignifikáns.

		Híg szövetkivonat							
		Beltenyésztett törzsek				***Kukorica hibridek***			
Kezelés		*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*	*FG36*	*FGH4*	*STER*	*KONT*
Híg szövetkivonat	*FG36*	1				1			
	FGH4	0,62*	1			0,83*	1		
	STER	$0,36^{NS}$	$0,44^{NS}$	1		0,78*	$0,54^{NS}$	1	
	KONT	$0,34^{NS}$	$0,21^{NS}$	0,62*	1	$0,59^{NS}$	$0,36^{NS}$	0,93***	1
Tris-HCl betöményített (pH=8,5)	*FG36*	0,88***	0,72**	$0,40^{NS}$	$0,46^{NS}$	0,93***	0,86**	0,72**	$0,55^{NS}$
	FGH4	0,60*	0,92***	$0,50^{+}$	$0,33^{NS}$	0,87**	0,85**	0,77**	$0,64^{+}$
	STER	0,57*	0,66*	0,92***	0,64*	0,80*	$0,70^{+}$	0,95***	0,83*
	KONT	$0,34^{NS}$	$0,32^{NS}$	0,61*	0,89***	0,83*	$0,53^{NS}$	0,94***	0,89**
Acetát betöményített (pH=5,0)	*FG36*	0,88***	0,70**	$0,39^{NS}$	$0,21^{NS}$	0,95***	0,78*	0,83*	$0,70^{+}$
	FGH4	0,67**	0,93***	$0,37^{NS}$	$0,26^{NS}$	0,79*	0,92***	$0,65^{+}$	$0,54^{NS}$
	STER	$0,45^{NS}$	0,64*	0,94***	0,58*	0,83*	$0,70^{+}$	0,96***	0,83*
	KONT	$0,40^{NS}$	$0,27^{NS}$	0,60*	0,92***	0,81*	$0,51^{NS}$	0,94***	0,90**

4.3. A szárszilárdságot befolyásoló tulajdonságok közötti összefüggések vizsgálata

4.3.1 A tulajdonságok közötti összefüggés vizsgálatok

A három évjárat és a kezelések átlagértékei alapján a beltenyésztett törzsek és hibridek szárszilárdságát jellemző tulajdonságok közötti kapcsolatok lineáris regresszióval számított korrelációs koefficiens értékeit a 14. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat a két módszerrel meghatározott szárkorhadást, a nyári és őszi kéregellenállást, a szárátmérőt, a dőlést és a három szövetkivonat enzimaktivitását tartalmazza. A korrelációs koefficiens értékek szerint a két

módszerrel meghatározott szárkorhadás értékei között a vonalak és a hibridek esetében is nagyon szoros, pozitív kapcsolatot kaptunk.

A szárkorhadás és a két időpontban mért héjkéreg-ellenállás között a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is negatív összefüggést találtunk. A nyári héjkéreg-ellenállás és a szárkorhadás között a vonalaknál P=10% megbízhatósági szinten közepes volt a kapcsolat. A hibrideknél is hasonló volt a helyzet, azzal az eltéréssel, hogy a képelemzővel meghatározott szárkorhadás és a kéregellenállás között nem volt szignifikáns a kapcsolat. Az őszi héjkéreg-ellenállás esetében a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is szorosabb kapcsolatot kaptunk.

A szárkorhadás és a szárátmérő közötti összefüggés a vonalaknál közepes, míg a hibrideknél nagyon szoros negatív kapcsolat volt. Azaz a hibridek szárátmérője jóval nagyobb mértékben befolyásolta a szárkorhadás kialakulását, a vastagabb szárú hibridek kisebb mértékben fertőződtek, mint a vékonyabb szárúak.

A szárkorhadás a szárdőlést a beltenyésztett törzsek esetében pozitívan befolyásolta, ami szignifikánsan is igazolható volt. A hibrideknél a két tényező között nem volt kapcsolat.

A legszorosabb összefüggés a szárkorhadás és a cellulázenzim-aktivitás között kaptuk. A vonalaknál és a hibrideknél is P=0,1% és P=1% megbízhatósági szinten nagyon szoros, pozitív volt az összefüggés volt a két tényező között. A 6. képen a négy kezelés kukoricaszárainak hosszmetszetét látjuk. A kontroll kezelés (A) bélszöveténél nincsenek elhalt sejtek, a szövet egészséges.

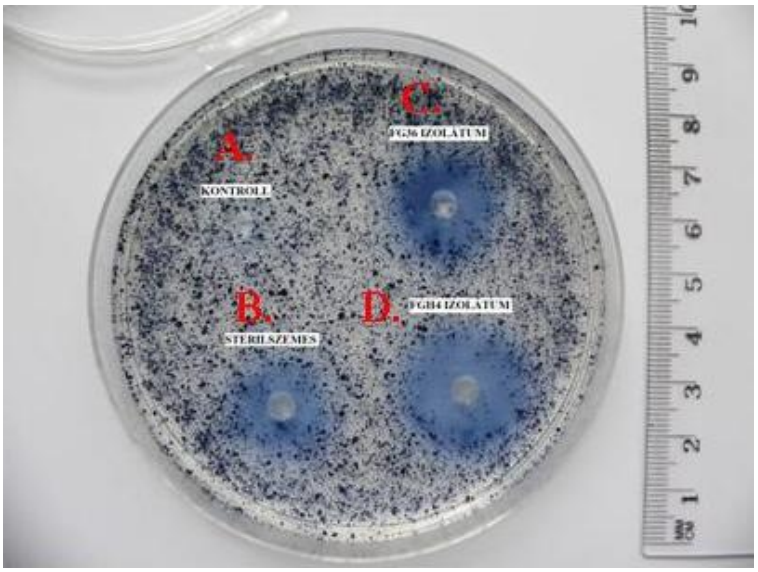
6. kép. *Fusarium graminearum* (FG) izolátumokkal, a sterilszemmel fertőzött és a kontroll kezelések P03 jelű kukorica hibrid internodiumának hosszmetszete

14. táblázat A tulajdonságok közötti lineáris regresszió korrelációs koefficiensei a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél ($P_{0,1\%}$=***, $P_{1\%}$=**, $P_{5\%}$=*, $P_{10\%}$=+, NS= nem szignifikáns).

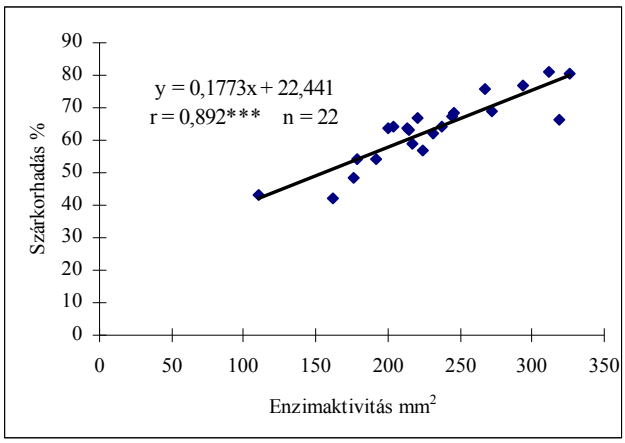
BELTENYÉSZTETT TÖRZS	*Szárkorhadás (Colim)*	*Szárkorhadás (F_{index})*	*Kéregellenállás (VII. hó)*	*Kéregellenállás (X. hó)*	*Szárátmérő*	*Dőlés*	*Híg szövetkivonat*	*Tris-HCl tömény (pH=8,5)*	*Acetát tömény (pH=5,0)*
Szárkorhadás (Colin)	1								
Szárkorhadás (F_{index})	0,990***	1							
Kéregellenállás (VII. hó)	-0,464^{+}	-0,458^{+}	1						
Kéregellenállás (X. hó)	-0,625*	-0,591*	0,927***	1					
Szárátmérő	-0,637*	-0,578*	0,359^{NS}	0,528^{+}	1				
Dőlés	0,460^{+}	0,435^{NS}	-0,553*	-0,528^{+}	-0,689**	1			
Híg szövetkivonat	0,916***	0,907***	-0,439^{NS}	-0,620*	-0,582*	0,412^{NS}	1		
Tris-HCl tömény (pH=8,5)	0,885***	0,863***	-0,472^{+}	-0,636*	-0,698**	0,512^{+}	0,960***	1	
Acetát tömény (pH=5,0)	0,903***	0,887***	-0,495^{+}	-0,642*	-0,680**	0,592*	0,9619***	0,982***	1
HIBRID	*Szárkorhadás (Colim)*	*Szárkorhadás (F_{index})*	*Kéregellenállás (VII. hó)*	*Kéregellenállás (X. hó)*	*Szárátmérő*	*Dőlés*	*Híg szövetkivonat*	*Tris-HCl tömény (pH=8,5)*	*Acetát tömény (pH=5,0)*
Szárkorhadás (Colin)	1								
Szárkorhadás (F_{index})	0,987***	1							
Kéregellenállás (VII. hó)	-0,604^{NS}	-0,674^{+}	1						
Kéregellenállás (X. hó)	-0,670^{+}	-0,750*	0,919**	1					
Szárátmérő	-0,911**	-0,941***	0,648^{+}	0,778*	1				
Dőlés	0,183^{NS}	0,298^{NS}	-0,664^{+}	-0,686^{+}	-0,376^{NS}	1			
Híg szövetkivonat	0,925***	0,901**	-0,487^{NS}	-0,579^{NS}	-0,780*	-0,071^{NS}	1		
Tris-HCl tömény (pH=8,5)	0,926***	0,922**	-0,505^{NS}	-0,580^{NS}	-0,821*	-0,028^{NS}	0,972***	1	
Acetát tömény (pH=5,0)	0,908**	0,904**	-0,453^{NS}	-0,555^{NS}	-0,793*	-0,044^{NS}	0,974***	0,994***	1

A sterilszemmel kezelt szár (B) bélszövetének közel fele barnás-rózsaszínes elszíneződést mutat. A mesterségesen fertőzött szárak bélszövete üreges és közel 100%-ban elszíneződött (C és D). A 7. kép a szárszövet kivonatok cellulázenzim-aktivitását szemlélteti. Az egészséges bélszövetből készített szövetkivonat nem mutatott cellulázenzim-aktivitást (A). A sterilszemmel kezelt szárból készített kivonatnak mérhető enzimaktivitása (B) volt és a legnagyobb cellulázenzim-aktivitást a két mesterségesen fertőzött szárnál mértünk (C és D).

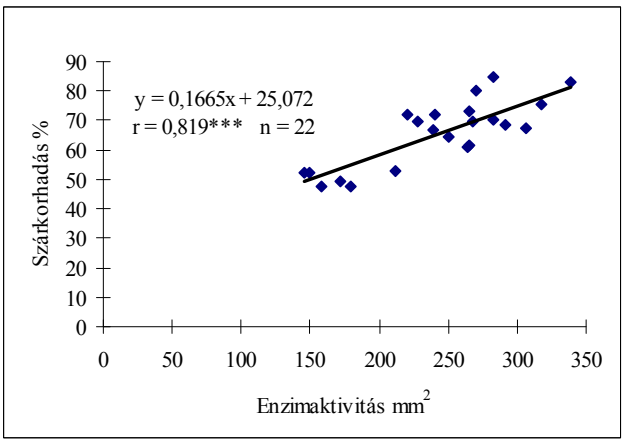
7. kép *Fusarium graminearum* (FG) izolátumokkal, a sterilszemmel fertőzött és a kontroll kezelések P03 jelű hibrid szövetkivonatának cellulázaktivitás-gyűrűi.



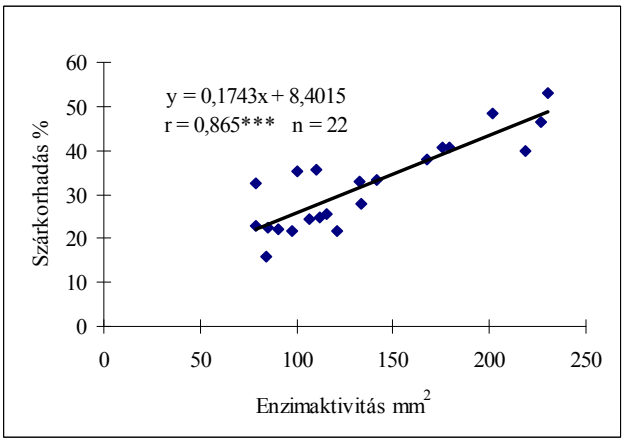
A 22 genotípus négy kezelésében a szárkorhadás és cellulázenzim-aktivitás közötti összefüggéseket a 17-20. ábra mutatja. Minden kezelés esetében nagyon szoros, pozitív kapcsolatot kaptunk a két tulajdonság között, a kisebb szárkorhadású genotípusoknak minden kezelésnél alacsonyabb volt az adott genotípus cellulázenzim-aktivitása is. A két mesterséges fertőzésnél közel azonos értékeket mértünk a két tulajdonságnál, de az FGH4 izolátumnál valamivel magasabb cellulázenzim-aktivitást határoztunk meg (17-18. ábra). A szántóföldön a két izolátum közül a három év átlagában szintén ez az izolátum volt az agresszívebb. A steril szemes kezelésnél a mesterséges fertőzésekhez képest kisebb cellulázenzim-aktivitást mértünk, melyhez alacsonyabb szántóföldi szárkorhadás tartozott (19. ábra). A kontrollkezelésnél (természetes szárfertőzés) volt a legkisebb cellulázenzim-aktivitás és egyben a szántóföldi szárkorhadás mértéke is ennél a kezelésnél volt a legkisebb. Ennél a kezelésnél a P08*P10 jelű hibridnél a természetes szárfertőzés (kontrollkezelés) következményeként egyik évben sem tapasztaltunk szárkorhadást. Ebben az esetben cellulázenzim-aktivitás 0 mm^2 volt (20. ábra).



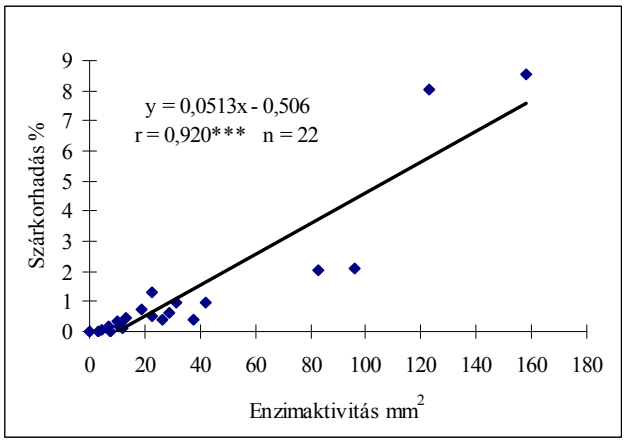
17. ábra A szárkorhadás (Colim) és az enzimaktivitás közötti összefüggés az FG36 izolátum három éve átlagában (Martonvásár).



18. ábra A szárkorhadás (Colim) és az enzimaktivitás közötti összefüggés az FGH4 izolátum három éve átlagában (Martonvásár).



19. ábra A szárkorhadás (Colim) és az enzimaktivitás közötti összefüggés a sterilszemes kezelés három éve átlagában (Martonvásár).



20. ábra A szárkorhadás (Colim) és az enzimaktivitás közötti összefüggés a kontroll kezelés három éve átlagában (Martonvásár).

A három évben a természetes fertőzés következményeként (kontrollkezelés) több genotípusnál sem tapasztaltunk szárkorhadást. Ezeknek a szövetkivonataiból cellulázenzim-aktivitást sem tudtunk kimutatni. A különböző genotípusok cellulázenzim-aktivitása között méréseink szerint jelentős különbségek voltak (12. táblázat), illetve a szárkorhadás és az enzimaktivitás között nagyon szoros, pozitív volt az összefüggés. Egy kukorica genotípus cellulázenzim-aktivitásának meghatározásával tehát közvetve olyan adatokhoz juthatunk a szárszövet állapotáról, ami segítheti a szárkorhadással szembeni rezisztencia fokozását célzó szelekciós munkát, akár mesterséges fertőzés nélkül is.

A júliusi és az októberi héj-kéregellenállás között pozitív, nagyon szoros összefüggést kapunk a vonalaknál és a hibrideknél is (14. táblázat).

A nyári kéregellenállás és a szárátmérő között a vonalaknál nem, míg a hibrideknél P=10% megbízhatósági szinten pozitív és közepes erősségű volt az összefüggés. Az őszi kéregellenállás és a szárátmérő esetében statisztikailag igazolható pozitív kapcsolatot figyeltünk meg: közepes erősségűt a beltenyésztett törzseknél és szorosat a hibrideknél (14. táblázat).

A kéregellenállás és a dőlés között a vonalak és a hibridek esetében közepes, negatív kapcsolatot állapítottunk meg mindkét időpontban végzett héjkéreg-ellenállás alkalmával. A nyári és az őszi héjkéreg-ellenállás és a különböző bélszövet-kivonat cellulázenzim-aktivitása között a vonalak esetében statisztikailag igazolható közepes erősségű, negatív korrelációs együtthatót számítottunk (14. táblázat).

A szárátmérő és a dőlés között a beltenyésztett törzseknél közepes erősségű, negatív összefüggést számítottunk. A szárátmérő és a bélszövet-kivonatok között a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is negatív volt az összefüggés. A beltenyésztett törzseknél szignifikáns, közepes, a hibrideknél pedig szoros (14. táblázat).

A szárdőlés és az enzimaktivitások közötti összefüggések eltérően alakultak. A vonalak esetében pozitív, közepes kapcsolatot kaptunk. Ez a betöményített szövetkivonatoknál statisztikailag is igazolható volt. A hibrideknél viszont összefüggés nem volt kimutatható (14. táblázat).

A három szárszövet kivonat között nagyon szoros, pozitív összefüggést állapítottunk meg a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is (14. táblázat).

4.3.2 A szár szilárdságát befolyásoló tulajdonságok örökölhetőségi vizsgálata

A szárszilárdságot befolyásoló tulajdonságok örökölhetőségének elemzése során szülő-utód regresszióanalízis számítást használtunk az örökölhetőségi értékszám meghatározásához. A h^2 értéket kiszámoltuk a szülő átlag – hibrid, az anyai szülő – hibrid, valamint az apai szülő – hibrid között is. A 15. táblázatban a h^2 és a korrelációs koefficiens értékeket tüntettük fel.

A szárkorhadás szülő-utód regresszió a szülőátlag-hibridutód összefüggés esetében mindkét mérési módnál szignifikáns (P=1%), valamint a tulajdonság a h^2 értékei is nagyok (15. táblázat). Ez azt jelenti, hogy amennyiben kellő variabilitással rendelkező nemesítési anyag áll a rendelkezésünkre, akkor viszonylag könnyen és nagy biztonsággal tudunk pozitív variánsokat szelektálni.

Míg az anyai szülő-hibridutód korrelációs koefficiens értéke mindkét mérési módszerrel meghatározott szárkorhadásnál szignifikáns, nagyon szoros kapcsolatot mutat, addig az apai szülő-hibridutód regressziója statisztikailag nem igazolható. A h^2 értékek szerint a szárkorhadás fogékonyságának örökölhetőségében az anyai hatás a meghatározó, az apai hatás szerepe jóval kisebb (15. táblázat).

15. táblázat Szárszilárdságát befolyásoló tulajdonságok szülő-utód regresszióval becsült h^2 értékei és korrelációs koefficiensei ($P_{0,1\%}$=***, $P_{1\%}$=**, $P_{5\%}$=*, $P_{10\%}$=+, NS= nem szignifikáns).

Tulajdonságok	Szülőátlag - Hibrid		Anya - Hibrid		Apa - Hibrid	
	h^2	r	h^2	r	h^2	r
Szárkorhadás (Colim)	0,81	0,84**	0,57	0,86**	0,34	$0,38^{NS}$
Szárkorhadás (F_{index})	0,73	0,87**	0,53	0,86**	0,36	$0,48^{NS}$
Kéregellenállás (VII. hó)	0,91	0,76*	0,11	$0,20^{NS}$	0,58	0,74*
Kéregellenállás (X. hó)	0,41	$0,65^{+}$	0,07	$0,22^{NS}$	0,32	$0,63^{+}$
Szárdőlés	1,12	0,95***	1,00	0,79*	0,78	0,88**
Szárátmérő	0,66	0,77*	0,64	0,87**	0,19	$0,35^{NS}$
Híg szövetkivonat	0,86	0,86**	0,58	0,86**	0,36	$0,40^{NS}$
Tömény kivonat (Tris-HCl, pH=8,5)	1,08	0,85**	0,83	0,96***	0,35	$0,28^{NS}$
Tömény kivonat (Acetát, pH=5,0)	0,95	0,77**	0,81	0,88**	0,32	$0,31^{NS}$

A héjkéreg-ellenállás szülőátlag-hibridutód regressziója mind a két időpontban szignifikáns volt. A nyáron mért kéregellenállás korrelációs koefficiens értéke volt a nagyobb, és ebben az esetben az összefüggés is megbízhatóbb (P=5%), valamint a h^2 érték is magas volt (0,91). Az ősszel mért kéregellenállás h^2 értéke csak 0,41 volt, és és ebben az időpontban a megbízhatósági szint és a korreláció mértéke is alacsonyabb. Ez azt jelenti, hogy a virágzásban mért héjkéreg-ellenállás adatai alapján nagyobb biztonsággal tudjuk kiválasztani a nagyobb héjkéreg-ellenállással rendelkező, pozitív variánsokat. Az anyai szülő-hibridutód közötti korreláció mindkét időpontban mért kéregellenállásnál statisztikailag nem szignifikáns. Ellenben az apai szülő-hibridutód közötti korrelációk esetében a júliusban mért héjkéreg-ellenállásnál statisztikailag igazolható, szoros, míg az októberinél közepes kapcsolat állt fenn.

A szárdőlés esetében a szülőátlag-utód regresszió analízis a szülőátlag - hibrid, az anyai szülő - hibridutód és az apai szülő - hibridutód közötti korrelációk is nagyon szorosak, megbízhatóak voltak, viszont a h^2 értékek két esetben is nagyobbak voltak egynél, azaz szakmailag nem értelmezhetőek. Az apai szülő - hibridutód h^2 értéke 0,78 volt ugyan, de heterózist mutató tulajdonságoknál a h^2 érték nem használható (15. táblázat).

A szárátmérő szülőátlag - hibrid regressziója megbízható, és a becsült értékszám (h^2= 0,66) is a tulajdonság jó örökölhetőségét mutatja. A szárátmérőnél az anyai szülő - hibridutód között számolt korrelációs koefficiens (r=0,87) nagyon szoros, szignifikáns összefüggést mutat és a h^2 értéke is nagy, míg az apai szülő - hibridutód közötti korreláció nem mutat összefüggést és a h^2 értéke is alacsony, azaz a szárátmérő örökölhetőségében az anyai partner szerepe a meghatározó (15. táblázat).

A szülő - utód regresszió eredményei szerint a cellulázenzim-aktivitás szülőátlag - hibridutód összefüggései mindhárom szövetkivonatnál szignifikáns (P=1%), szoros kapcsolatot mutattak. A tulajdonság h^2 értéke a híg és a savas kémhatású betöményített szövetkivonat esetében a tulajdonság jó örökölhetőségét mutatja, a lúgos kémhatású betöményített szövetkivonat esetében - mivel egynél nagyobb az érték - nem értelmezhető (15. táblázat). Az anyai szülő - hibridutód korrelációs koefficiens értéke mindhárom szövetkivonatnál szignifikáns, nagyon szoros kapcsolatot mutat, addig az apai szülő - hibridutód regressziója egyik esetben sem szignifikáns. A tulajdonság örökölhetőségi értékei szerint az cellulázenzim-aktivitás örökölhetőségében az anyai hatás a meghatározó, az apai hatás szerepe sokkal kisebb (15. táblázat).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5. 1 A szántóföldi vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések

5.1.1 A szárkorhadási vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések

A szántóföldi kísérletek eredményei szerint a genotípusok között a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságban szignifikánsan igazolható különbségek voltak. A vizsgált 14 beltenyésztett törzset a szárkorhadással szembeni fogékonyság szerint három csoportba soroltuk: szárkorhadással erősen, átlagosan és gyengén fertőzött genotípusok. Gyenge volt a szárkorhadással szembeni ellenállósága az ISSS/Minnesota13 (P03), Iodent/Lancaster (P05) és az MPS (P09) rokon törzseknek. A MinnesotaSyn és az Iodent rokonsági körbe tartozó beltenyésztett törzsek szárkorhadással szembeni ellenállósága jóval meghaladta az előbbi vonalak ellenállóságát, de kisebb volt, mint az ISSS rokonsági körbe tartozó vonalaké. A beltenyésztett törzsek közül a fuzáriumos szárkorhadással szembeni legjobb ellenállósága a P06 és P07 jelű törzseknek volt, melyek az ISSS rokonsági csoportba tartoznak. Az Iowa Stiff Stalk Synthetic rokonsági körbe tartozó szülői vonalak nemesítése szárkorhadással szembeni ellenállóság alapján történt (Sprague, 1946). Az ISSS és a később belőlük előállított vonalak ma is kiemelkedő fontossággal bírnak és jelenleg is széles körben használt kiindulási forrásai több fontos agronómiai tulajdonságra (vízleadás, gyökér- és szárdőlés, csőeredés magassága) való nemesítésnek (Holthaus és Lamkey, 1995).

Manninger (1972) megfigyelései szerint a későbbi tenyészidejű genotípusok szárkorhadással szembeni ellenállósága jobb, mivel a hosszabb tenyészidő alatt több idő áll a genotípus rendelkezésére a szilárdító szövetek felépítéséhez, illetve a növény turgora is tovább tart. A kórokozó szaprofita életmódjából adódik továbbá még az is, hogy az egészséges, élő zöld száron gazdasági küszöbértéket meghaladó károsítást nem okoz. Ebből következik az is, hogy a zöld száron („stay green”) érő kukorica genotípusok sokkal kisebb mértékben károsodnak a szárkorhadástól, mivel az ilyen genotípusok szárának bélszövete a vegetáció későbbi szakaszában is hosszabb ideig funkcionál (Thomas és Smart 1993). Adataink a fenti megállapításokat megerősítik. A hibrideknél a legkisebb mértékű szárkorhadást a két késői tenyészidejű hibrid esetében találtuk, melyek közül a P08*P10 kombináció egy zöld száron érő hibrid. A korábbi tenyészidejű hibridek között is voltak különbségek, de a rövidebb tenyészidejű hibridek mindegyike szignifikánsan nagyobb mértékben károsodott a képelemzővel mért adatok szerint, mint a késői hibridek (5.

táblázat). Marton (2002) szerint a martonvásári hibridek megfelelő szárkorhadással szembeni toleranciával rendelkeznek, amit az OMMI adatai is megerősítettek. Kísérletünkben meghatároztuk a különböző korú martonvásári nemesítésű hibridek szárkorhadással szembeni ellenállóságát is, és statisztikailag igazolhatóan megállapítottuk, hogy a szárkorhadással szembeni tolerancia az azonos éréscsoportba tartozó hibridek között mindig az újabb nemesítésű hibrideknél volt jobb. Eredményeink alapján azt a megállapítást tehetjük, hogy a martonvásári hibridek szárkorhadással szembeni szelekciója megfelelő hatékonyságú. Ledencan et al. (2003) és Afolabi et al. (2008) is arról számol be, hogy lehet eredményes nemesítést folytathatni a szárkorhadással szemben.

A szántóföldön bekövetkezett szárkorhadást két módszerrel határoztuk meg:

1. Felvételezési skála alapján, vizuálisan határoztuk meg a szárkorhadás mértékét melyből F_{index} számítással határoztuk meg a fertőzés nagyságát
2. A kettévágott szár vágási felületéről digitális képet készítettünk és képelemző programmal meghatároztuk a fertőzött terület nagyságát, melyet százalékosan viszonyítottunk a teljes felülethez.

A két módszer közötti összefüggést mind a három évben meghatároztuk és megállapítottuk, hogy a két módszerrel meghatározott adatok 95-96%-os biztonsággal becsülhetők egymásból. Blanchette (1982) hasonló eredményről számol be képelemzővel és a kézzel végzett mérések esetében (r> 0,91**).

A növénykórtani kutatások során alkalmazott mérési és értékelési módszerek gyakran szubjektív megítéléseket tartalmaznak és a vizuálisan nyert információk egzakt számszerűsítése is nehézkes. Sherwood et al. (1983) arról számol be, hogy a szubjektív megítéléseken alapuló értékelések esetében képzett növénypatológusok több alkalommal túlbecsülték a betegség mértékét, főleg abban az esetben, ha a betegség mértéke alacsony volt. Az is előfordult, hogy ugyanazon kórképekre különböző növénypatológusok nagyon eltérő értékeket adtak. Kísérletünkben összehasonlítottuk a vizuális és a képelemző programmal meghatározott kórképek által nyert információk pontosságát, érzékenységét és használhatóságát. A 14 beltenyésztett törzs között az FG36-os izolátum esetében 2006-ban a képelemző segítségével 5, míg a F_{index}-számítással 9 genotípus között tudtunk különbséget tenni. Az F_{index}-számítás még két esetben tudott szignifikánsan több genotípus között differenciálni: 2008-ban a mesterséges fertőzések (FG36, FGH4) esetében. Ekkor 1 genotípussal több volt a két módszer közötti eltérés az F_{index}-számítás javára. A többi esetben vagy azonos számú genotípus között differenciált a két módszer, vagy pedig a képelemző tudott több anyag között különbséget kimutatni.

A CV értékeket is megvizsgálva megállapítottuk, hogy a 2006-os év sterilszemes kezelése, illetve a 2007-es év FGH4-es izolátummal fertőzött kezelése kivételével minden esetben a képelemző CV értékei voltak a kisebbek, azaz ebben az esetben kisebb volt az értékek közötti szórások százalékos aránya az átlaghoz képest. Mivel mérésekkor a CV relatív hibának is felfogható, kijelenthetjük, hogy a két módszer közül a képelemző a pontosabb. Ezek szerint, 2006-ban az F_{index}-számítással mért adatok pontatlanabbak voltak, a módszerrel nagyobb kártételt mértünk a ténylegesnél (16. táblázat). Todd és Kommedahl (1994) is nagyobb értékeket kapott vizuális értékelést alkalmazva, miután a skála értékeket átszámolták százalékos értékekké. A 2008. évben hasonló volt a helyzet a két mesterséges fertőzés esetében.

16. táblázat A képelemzővel és a F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadás összehasonlítása. A táblázatban a két módszerrel statisztikailag is megkülönböztethető genotípus darabszámát és a két mérési módhoz tartozó CV értékeket tüntettük fel, minden kezelés esetében (Martonvásár, 2006-2008).

KUKORICA VONALAK												
Mérési módszer	2006				2007				2008			
	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT
Képelemző	5	9	9	2	9	8	6	3	6	6	9	2
Fertőzési index	9	7	7	2	7	5	4	3	7	7	9	2
$CV_{Képelemző}$	10,28	13,41	24,15	85,16	5,84	9,19	17,68	41,96	8,83	9,81	19,49	84,6
$CV_{Fertőzési\ index}$	13,39	15,01	21,07	125,76	6,44	9,11	18,48	56,72	10,44	11,7	22,48	124,84

KUKORICA HIBRIDEK												
Mérési módszer	2006				2007				2008			
	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT
Képelemző	4	4	4	2	5	4	5	3	4	4	4	2
Fertőzési index	4	3	4	2	3	0	5	3	4	4	4	2
$CV_{Képelemző}$	13,88	14,12	30,79	59,8	5,79	6,86	11,88	56,92	10,76	8,24	31,43	61,68
$CV_{Fertőzési\ index}$	18,27	19,49	31,62	104,68	9,38	12,19	13,62	65,72	10,82	12,06	32,24	98,72

A hibrideknél minden kezelésnél és minden évjáratban azonos vagy több szignifikánsan is igazolható különbség volt kimutatható a képelemző program segítségével, és minden esetben a képelemző adatainak stabilitása volt nagyobb. Megállapítható, hogy a két módszer közül a képelemzővel mért adatok adnak pontosabb képet a szárkorhadással kapcsolatban. A képelemző programok használatával kapcsolatban több szerző is hasonló megállapításokra jutott (Bock et al., 2008; Gergely, 2004).

Todd és Kommedahl (1994) megállapítják, hogy a kukorica fuzáriumos szárkorhadás vizsgálatánál fontos az, hogy az adatokból milyen végkövetkeztetéseket szeretnénk levonni. Általános szkrinelési feladatokhoz elégségesnek tartják a vizuális értékelési módszert, viszont, ha a vizsgált genotipusok szárkorhadással szembeni érzékenységéről pontosabb információra van szükségünk (örökölhetőségi vizsgálatok, fuzáriumos szárkorhadással szembeni rezisztencia munkák), akkor ők a képelemző

használatát tartják előnyösebbnek. A képelemzővel való értékelés hátrányaként a ráfordított többletmunkát és a vizsgálatok többletköltségét említik. Igaz ugyan, hogy a képelemző többletköltséget és munkát jelent, de a módszer érzékenységének köszönhetően akár kukorica alvonalak között is megbízható különbségek mutatható ki a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállósággal kapcsolatban.

Évjáratonként is elemeztük a kezelések közötti összefüggéseket. Az évjáratok átlagában az azonos kezelések esetében a mesterséges fertőzéseknél (FG36, FGH4) volt a legkiegyensúlyozottabb kapcsolat, a korrelációs értékek – egy kivétellel – r= 0,52-0,60 között voltak és a hat összefüggésvizsgálat esetében négynél a megbízhatósági szint is azonos volt (P=1%). A sterilszemes kezelés esetében hasonló összefüggések voltak kimutathatóak, azzal a különbséggel, hogy a három összefüggésvizsgálat különböző megbízhatósági szinten mutatott összefüggést (r= 0,47-0,57; P=0,1-5%). A kontrollkezelésnél volt a legjelentősebb eltérés az évjáratpárok között: a korrelációs koefficiens értékek r= 0,34-0,94 között voltak és a megbízhatósági szint pedig a nem szignifikánstól a 0,1 % megbízhatósági szintig változott. Ezek alapján megállapítható, hogy a legmegbízhatóbb szárkorhadással kapcsolatos információt akkor kapjuk, ha mesterséges fertőzést alkalmazunk. A sterilszemes kezelés következményeként fellépő évjáratok közötti kapcsolatok szorossága is megfelelő. A gyökérfertőzésen túl, a szártő és a szár a gyökérzettől függetlenül is fertőződhetnek, főleg a virágzás időszakában makro- és mikrokonídium segítségével (Munkvold et al., 1997). Adataink alapján a legbizonytalanabb a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóság vizsgálatot csak természetes fertőzésre alapozni. Eredményeink azt bizonyítják, hogy ez az értékelési forma függ leginkább az évjárathatásoktól. Közel azonos évjáratokban nagyon jól korrelálnak az adatok egymással (2006-2007), viszont eltérő évjáratok esetén akár még az is előfordulhat, hogy nincs összefüggés a két évjárat között (2006-2008). Irodalmi adatok szerint a mesterséges fertőzések eredményei jellemzően jól korrelálnak a természetes fertőzöttség értékeivel (Hooker 1956, Ledencan et al., 2003; Palaversic et al., 2004; Palaversic et al., 2007), bár ezzel ellentmondó vélemények is vannak (Semeniuk et al. 1942, Mesterházy, 1981). Esetünkben az évjáraton belüli kapcsolatok a következők szerint alakultak: a két mesterséges fertőzés között volt a legszorosabb kapcsolat, ezt követte a mesterséges-sterilszemes, majd a sterilszemes-kontrollfertőzések közötti kapcsolat. A legkevésbé szoros összefüggés ugyan a mesterséges-kontroll kezelések között volt, de ebben az esetben is szignifikáns, közepes erősségű korrelációs együtthatókat számítottunk. A természetes fertőzés hatására kialakuló szárkorhadás nagysága jelentősen környezetfüggő, ezért a szelekciós munkákhoz a mesterséges fertőzés alkalmazását tartjuk elfogadhatóbbnak.

Ugyan a természetes és mesterséges fertőzések adatai között volt a legkisebb összefüggés, de a mesterséges szárfertőzés adataink szerint, minden évben megbízhatóbb volt a természetes szárfertőzésnél. Yang et al. (2010) kukoricaszártól 5-10 cm-re kb. 70 g fertőzött kukoricaszemet elhelyezve, azt földdel borítva a mesterséges fertőzést gyökéren keresztüli szárfertőzésre alapozza. Elképzelhető, hogy ez a módszer közelebb áll a természetes szárfertőzéshez, mint a mesterséges szárfertőzés, hiszen igazolták, hogy a legfontosabb primér fertőzési források a talajban lévő fertőzött növényi maradványok (Fischl, 1983).

Ikenberry és Foley (1967) megfigyelései szerint a környezeti feltételek erősen befolyásolták a szárkorhadás mértékét. Eredményeink szerint az évjáratonkénti fertőzés mértéke a hibrideknél és a vonalaknál is a következőképpen alakult: legerősebb szárkorhadást a *F. graminearum* izolátumokkal fertőzött parcelláknál kaptunk, melyet a gomba nélküli, sterilszemmel kezelt sorok követtek és a legkisebb fertőzést a kontroll (természetes fertőzés) parcelláknál mértünk. A mesterséges fertőzések közül a két száraz évben (2006-2007) az FGH4 izolátum, míg a csapadékos évben (2008) az FG36 izolátum volt fertőzőképesebb. Mindkét izolátum *Fusarium graminearum* volt, de évjárattól függően változott a fertőzőképességük. Mesterházy (1983) szerint csőfuzáriózissal szembeni rezisztencia vizsgálatokat megfelelő biztonsággal csak több izolátum együttes alkalmazásával végezhetünk. Adataink szerint a fuzáriumos szárkorhadás esetében is érdemes több izolátum alkalmazása rezisztencia vizsgálatoknál, mivel az izolátumok agresszivítását az évjárat befolyásolhatja.

Országos felmérések alkalmával a kukoricában problémát okozó *Fusarium*-fajok közül a legjelentősebbek Békési és Hinfner (1970) szártóvizsgálatai szerint a *F. oxysporum* (39,6%), a *F. moniliforme* (29,8%) (syn.: *F. verticillioides)*, a *F. graminearum* (11,7%), Mesterházy és Vojtovics (1977) adatai alapján a *F. moniliforme* (41,7%) (syn.: *F. verticillioides)*, a *F. graminearum* (28,75%), a *F. subglutinans* (6,85%), Kizmus et al. (2000) szerint a *F. oxysporum* (42%), a *F. subglutinans* (6,4%), a *F. culmorum* (3,9%) voltak. Szécsi (1994) megállapította, hogy a Liseola szekcióba tartozó fajok közül kukoricaszárban leggyakrabban a *F. moniliforme* (51,1%) (syn.: *F. verticillioides)*, a *F. subglutinans* (32,6%) valamint a *F. proliferatum* (16,3%) fordul elő. A természetes fertőzés következményeként fertőzött kukoricaszárból meghatározva a betegséget okozó gombafajokat, a három év átlagában legnagyobb arányban *F. verticillioides* (56,4%) fajt azonosítottuk. Azt követte a *F. graminearum* (23,6%), a *F. subglutinans* (12,7%), *F. culmorum* (4,2%) és végül legkisebb előfordulási gyakorisággal a *F. proliferatum* (3,0%). Bár adataink nem országos felmérésből származnak, megállapítható, hogy a *Fusarium* fajösszetétel ahhoz hasonló, talán a legjelentősebb különbség, hogy *F. verticillioides* faj megjelenésének gyakorisága nőtt, míg a másik jelentős szárkorhadást okozó faj a *F. graminearum* gyakorisága nem változott jelentősen.

Kizmus és Mesterházy (1993) adatai szerint a *F. moniliforme* (syn.: *F. verticillioides*) és a *F. subglutinans* aránya száraz és meleg évjáratban 2,5-szer nagyobb volt, mint a csapadékosabb, hűvösebb évjáratban. A *F. graminearum* arányát esetükben sem befolyásolta jelentősen az évjárat.

5.1.2 A szár mechanikai szerkezetét jellemző eredményekből levont következtetések

A héjkéreg-ellenállás vizsgálatát két időpontban végeztük el: az elsőt virágzásban (július), a másodikat pedig betakarítás előtt (október). A beltenyésztett törzsek júliusi héjkéreg-ellenállása 2006-ban és 2008-ban nagyobb volt az októberinél, a hibridek esetében pedig mindhárom évben ez volt a helyzet. Ez megfelel Colbert és Zuber (1978) eredményeinek. A 2007. esztendőben viszont a beltenyésztett törzsek júliusi héjkéreg-ellenállása volt a kisebb, az ősszel mért pedig nagyobb. Összehasonlítva a hibridek héjkéreg-ellenállását a vonalakéval a következő eredményeket kaptuk: 2006-ban és 2008-ban mindkét méréskor a hibrideké nagyobb, mint a vonalaké, viszont 2007-ben mindkét mérés alkalmával a beltenyésztett törzsek héjkéreg-ellenállása meghaladta a hibridekét. A három évjárat közül 2006-2007 száraz, míg 2008 csakapékos év volt. Marton (2002) szintén nagyobb héjkéreg-ellenállást mért két tőszám mellett is a vonalaknál száraz évjáratban. A két száraz évjárat közötti különbség a csapadék eloszlásában nyilvánult meg. Virágzáskor mindkét évben kevesebb csapadék esett a sokéves átlagnál, viszont 2007-ben az őszi csapadék mennyisége nagyobb volt, mint az átlag. Ezek az időjárási tényezők fokozzák a szárkorhadást, ami negatív összefüggésben van a héjkéreg-ellenállással. Ezen kívül a beltenyésztett törzsek hosszabb tenyészidejükből adódóan mindkét mérés alkalmával korábbi fejlődési stádiumban voltak a hibrideknél. Véleményünk szerint ennek volt köszönhető, hogy 2007-ben a vonalaknál nagyobb volt a héjkéreg-ellenállás, mint a hibrideknél. A 2007. évben a hibrideknél az őszi héjkéreg-ellenállás a többi évhez hasonlóan csökkent, míg a vonalaknál ebben az egy évben fordult elő az, hogy nőtt a héjkéreg-ellenállás.

A szárkorhadás és a héjkéreg-ellenállás közötti összefüggéssel kapcsolatban megoszlanak a vélemények. Mesterházy (1981) adatai szerint a két tényező között nincs összefüggés, ezzel szemben Kovács et al. (1988) összefüggést talált a két tényező között. Későbbi vizsgálatainál Mesterházy (1983) is a két tényező közötti kapcsolatról számolt be. Vizsgálataink során a négy kezelés közül a legnagyobb héjkéreg-ellenállást a hibrideknél és a beltenyésztett törzseknél is a kontrollkezelésben mértük, ezt követte a sterilszemmel megszúrt, majd a két *Fusarium* izolátummal fertőzött szár kéregellenállása. A vonalaknál minden kezelés között szignifikánsan igazolható volt a héjkéreg-ellenállási értékek közötti különbség, a hibrideknél pedig csak a két mesterséges fertőzés héjkéreg-ellenállási értékei között nem volt az.

A mesterségesen fertőzött parcellák növényeinek szára nagyobb fertőzést szenvedett a szárkorhadástól, mint a sterilszemes vagy a kontroll kezelés parcellái, azaz adataink szerint a héjkéreg-ellenállás nagysága függ a szárkorhadás mértékétől.

A héjkéreg-ellenállást tekintve a beltenyésztett törzsek és a hibridek csoportjában is jelentős különbségeket találtunk az egyes genotípusok között. A júliusi mérések alkalmával a hibridek átlagértéke (32,95) nagyobb volt a vonalakénál (28,43), viszont az őszi adatok esetében ez fordítva volt (vonalak 27,32; hibridek 24,07). A három évjárat esetében láthattuk, hogy a két időpontban mért héjkéreg-ellenállás közül a 2007-es év adatai között volt jelentős eltérés a két mérési időpont adatai között a vonalak javára, melynek okát az időjárási tényezőkkel és a vonalak hosszabb tenyészidejével magyaráztuk. Voltak olyan beltenyésztett törzsek (P12, P11, P06, P10, P03, P14), melyeknek az őszi héjkéreg-ellenállás értéke nagyobb volt, mint a nyáron mért érték és a hibridek között is találtunk olyat, melynél ugyanez volt a helyzet (P09*P14 és P04*P12). A P03, P10, P12 és a P14 jelű vonalak apaként, míg a P06 és P11 jelű anyaként szerepelt a hibridkombinációban. Az őszi és a nyári héjkéreg-ellenállási értékekek közötti különbségeket növekvő sorrendben rangsoroltuk. A P04*P12 és a P09*P14 hibridek anyai partnereinél ugyan csökkent az őszi héjkéreg-ellenállás értéke, de a két hibridkombinációnak az őszi héjkéreg-ellenállása nem csökkent. A legkisebb mértékű héjkéreg-ellenállás csökkenést a nyári értékekhez képest a P05*P03 és a P08*P10 hibrideknél mértünk. Ezeknél a hibrideknél az anyai partnereknél csökkent legnagyobb mértékben a héjkéreg-ellenállása, míg az apai partereké nőtt. A P06 és P11 vonalak anyai partnerként szerepeltek a hibridkombinációkban, apaként olyan partnerekkel, melyeknek csökkent az őszi héjkéreg-ellenállásuk.

Meghatározva a héjkéreg-ellenállás szülő-utód regresszióját, az mind a két időpontban szignifikáns volt. A nyári időpontban mért kéregellenállás korrelációs koefficiens értéke volt a nagyobb (r=0,76), és ebben az esetben az összefüggés is megbízhatóbb (P=5%), valamint a h^2 érték is magasabb volt (0,91). A virágzásban mért héjkéreg-ellenállás adatai alapján tehát nagyobb biztonsággal választhatók ki nagyobb héjkéreg-ellenállással rendelkező, pozitív variánsok. Az anyai szülő - hibridutód közötti korreláció mindkét időpontban mért kéregellenállásnál statisztikailag nem volt szignifikáns. Az apai szülő-hibridutód közötti korrelációk esetében ellenben a júliusi hónapban mért héjkéreg-ellenállásnál statisztikailag igazolható, szoros; míg az októberinél közepes kapcsolatot kaptunk. Georgiev (1977) és Marton (2002) adatai szerint is az apa és a hibridutód közötti korrelációk voltak magas megbízhatósági szinten szorosabbak, az anya és hibridutód kapcsolatokhoz képest.

Meghatároztuk a két időpontban mért héjkéreg-ellenállás közötti összefüggéseket is. A beltenyésztett törzsek (r=0,97***) és a hibridek (r=0,98***) esetében is nagyon szoros, megbízható kapcsolatot kaptunk. Hasonló eredményeket kapott Mesterházy (1981) is. Ez a paraméter fontos tényező a szárszilárdság szempontjából. A fenti adatok szerint már virágzásban megfelelő információt kaphatunk erről a tulajdonságról, így a beltenyésztett törzsek közül azokat öntermékenyíthetjük, melyeknek nagyobb a héjkéreg-ellenállása.

A szárátmérő nagyságára az évjárat a vonalaknál és a hibrideknél is statisztikailag igazolható hatással volt. A legnagyobb szárátmérőt mindkét csoportban 2007-ben mértük, ezt követte a 2006-os és a 2008-as év. A hibridek szárátmérője mind a három évben nagyobb volt a vonalaknál. A hibridek közül a hosszabb tenyészidejű genotípusoknak volt vastagabb száruk, a szárátmérő a tenyészidő rövidülésével csökkent. A legkisebb szárátmérőt a FAO300-as éréscsoport végén helyet foglaló két régebbi nemesítésű hibridnél (P05*P03, P09*P14) mértük. A vonalak esetében is igaz, hogy a hosszabb tenyészidejű anyagoknak nagyobb a szárátmérője (P12, P06, P07, P08). Összevetve a beltenyésztett törzsek és hibridek legnagyobb és a legkisebb szárátmérő közötti különbségeket, megállapítható, hogy a vonalak (0,85 cm) tágabb intervallumban mozognak a hibrideknél (0,43 cm).

Schertz et al. (1978) arról számol be, hogy a cirok szárátmérője és a szárdőlés között nagyon szoros negatív összefüggés van. Marton (2002) kukoricában 70.000 tő/ha növényszámnál a szárátmérő és a szárdőlés között közepes, negatív, míg 40.000 tő/ha növényszámnál szignifikánsan nem igazolható, laza, negatív összefüggést kapott. A szárátmérő és a héjkéreg-ellenállás között megbízható pozitív korrelációt mutatott ki. A szárátmérő és a szárdőlés között Hondroyianni et al. (2000) hibrideket értékelve és Esechie et al. (2004) helyi és egzotikus fajtákat vizsgálva nem találtak összefüggést. Adataink szerint a szárátmérő és a képelemzővel meghatározott szárkorhadás között a vonalaknál negatív, közepes erősségű kapcsolatot állapítottunk meg, a hibrideknél szintén negatív volt a kapcsolat, de jóval szorosabb. A szárátmérő és a júliusban mért héjkéreg-ellenállás a vonalaknál nem függött össze, viszont az őszi érték és a szárátmérő között pozitív, közepes volt az összefüggés. A hibrideknél mindkét időben mért héjkéreg-ellenállás között pozitív, szoros kapcsolatot határoztunk meg a két paraméter között. A szárátmérő statisztikailag megbízható negatív kapcsolatban van a szárkorhadással, illetve pozitív kapcsolatban a kéregellenállással, tehát a szárátmérő egy nagyon fontos szelekciós szempont a szárszilárdságra való nemesítésben. A szárátmérő és a szárdőlés közötti kapcsolat a beltenyésztett törzsek esetében szoros, negatív, míg a hibrideknél nem igazolható (14. táblázat). Összevetve eredményeinket Hondroyianni et al. (2000) valamint Esechie et al. (2004) adataival, megállapítható, hogy a hibridek esetében nincs összefüggés a szárátmérő és a szárdőlés között.

A vonalak esetében mi 52.600 tő/ha növényszám esetében is szoros, negatív összefüggést kaptunk a két tényező között, ellenben Marton (2002) csak 70.000 tő/ha növényszámnál tudott összefüggést kimutatni a két tényező között. A két kísérlet kiértékelése között az volt a különbség, hogy Marton (2002) a vonalakat és hibridjeiket összevonva értékelte, mi pedig külön.

A szárdőlés adatok szerint a beltenyésztett törzsek és hibridek esetében is van különbség a genotípusok között. A legkisebb szárdőlési hibája két ISSS rokon nemesítési anyagnak volt (P07, P12). Az Iodent rokonsági körbe tartozó vonalak szárdőléssel szembeni ellenállósága is jó volt. A vizsgált nemesítési anyagok közül a két régi vonalnál figyeltük meg (P09, P14) a legnagyobb szárdőlést. A vonalak és a hibridek közül is a régebbi nemesítési anyagok dőltek meg a legnagyobb mértékben. Korábbi megfigyelések azt erősítették meg, hogy a szárdőléssel szembeni ellenállóság kvantitatív módon öröklődik (Sprague 1954, Zuber et al 1957), illetve az F_1 hibridek jellemzően a jobbik szülőhöz hasonlítanak (Jugenheimer 1940). Adataink szerint a vonalak 1,5-szer nagyobb arányban dőltek meg, mint a hibridek.

Szülőátlag - utód regresszió analízissel meghatároztuk a szülőátlag - hibrid, az anyai szülő - hibridutód és az apai szülő - hibridutód közötti korrelációkat. Eredményeink szerint mindhárom esetben nagyon szoros, megbízhatóak voltak a korrelációs koefficiensek, viszont a h^2 értékekre kapott értékek két esetben is nagyobbak voltak egynél, így szakmailag azok nem értelmezhetőek. Ugyan az apai szülő-hibridutód h^2 értéke 0,78 volt, de heterózist mutató tulajdonságoknál a h^2 nem alkalmazható (Sváb, 1971). Marton (2002) vizsgálatai szerint a szárdőlés esetében az anyai szülő és hibridutód, míg a héjkéreg ellenállásnál az apa és a hibridutód közötti korrelációk voltak szorosabbak. Összevetve a fent ismertetett héjkéreg-ellenállásra kapott szülőátlag-utód regresszió analízis adatainkat a szárdőlés adataival, láthatjuk, hogy mindkét paraméter esetében az apa és a hibridutód közötti korrelációk voltak magas valószínűségi szinten szorosabbak. A kapott adatok egymással összecsengenek: a szárdőlés és a héjkéreg-ellenállás esetében is az apai hatás volt meghatározóbb, ami azért is fontos, mert a héjkéreg-ellenállás fontos összetevője a megdőlés ellenállóság komplex értékelésének.

Az évjáratonkénti szárdőlések között a beltenyésztett törzsek és a hibridek esetében is szignifikáns különbségeket figyeltünk meg. Irodalmi adatok szerint jelentős szárdőléssel akkor számolhatunk, ha a virágzás és a magkötéskor lehullott csapadék mennyisége kevés. Ezt tovább fokozza a betakarításkori nagyobb mennyiségű csapadék, ami a szárkorhadásnak kedvez (Pintér és Kálmán, 1978). A 2006-os és 2007-es év csapadékban szegény évjárat volt: 2006-ban esett ugyan kevesebb csapadék, de annak eloszlása 2007-ben volt kedvezőtlenebb. Ez alapján a 2006-os év vonalak esetében mért nagyobb szárdőlése a 2007-es évhez képest kissé meglepő, azonban feloldhatja az ellentmondást, ha figyelembe vesszük a 2006-ban bekövetkezett nagyobb

kukoricamoly kártételt. A vékonyabb szárú vonalak könnyebben eltörtek/eldőltek, mint a vastagabb szárú hibridek. A hibridek 2007-ben nagyobb mértékben dőltek meg, mint a beltenyésztett törzsek. Ez a kedvezőtlen időjárási tényezőkkel magyarázható. A szár cukortartalma és a szárdőlés között több szerző is negatív összefüggést talált (Twumasi-Afriyie és Hunter, 1982; Albrecht et al., 1986). A 2007-es év kedvezőtlen időjárását a hosszabb tenyészidejű vonalak a szárban tovább tárolt szénhidrátokkal mérsékelni tudták az őszi csapadékosabb időszakban gyakrabban előforduló szárkorhadásért is felelős *Fusarium*-fajok felszaporodását. Ennek köszönhetően kevésbé voltak kitéve a szaprofita gombák károsításainak, melyek tovább növelhették volna a szárdőlés nagyságát. Ezenkívül a kisebb levélfelületű vonalak kisebb mértékben voltak kitéve a szél kedvezőtlen hatásának, mint a nagyobb levélfelületű hibridek. A szél erőssége pedig szoros kapcsolatban van a dőlés mértékével (Pettinger, 1933). A mesterséges fertőzés következményeként nőtt a szárdőlési hiba a vonalak és a hibridek esetében is. Meghatároztuk a szárdőlés és a szárkorhadás közötti összefüggéseket is. A beltenyésztett törzsek esetében szignifikánsan igazolható, közepes, pozitív összefüggés volt, míg a hibrideknél nem találtunk szignifikánsan igazolható kapcsolatot a két tényező között.

5. 2. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések

A beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is a híg szövetkivonatok esetében kaptuk a legkisebb átlagos enzimaktivitást (8,69%), illetve a tünetmentes szárak bélszövetéből készített szövetkivonatnak nem volt cellulázenzim-aktivitása. A két mesterséges fertőzés átlagos értékei közül az FGH4 izolátum cellulázenzim-aktivitása volt a nagyobb. Szécsi (1975b) 10 *F. graminearum* és 10 *F. culmorum* törzset vizsgált és arra az eredményre jutott, hogy a két faj eltérő cellulázaktivitású egyedekből áll. Az általunk vizsgált két *F. graminearum* törzs cellulázenzim-aktivitása is eltért egymástól, minden mérés alkalmával az FGH4 jelű izolátumé volt nagyobb.

A legtöbb celluláz enzim savas kémhatású (pH=4,0-5,0) körülmények között aktívabb (Nevalainen és Penttila, 1995; Brett és Waldron, 2007) azonban vannak olyan gomba fajok is melyek aktivitása magasabb pH értéken nagyobb (Schulein, 1998). Solovyeva et al. (1999) 38 gomba nemzetség 600 izolátumának celluláz termelését vizsgálták semleges (pH=7,0) és lúgos (pH=10,0) közegben. Megállapították, hogy az izolátumok 72%-a savas és lúgos közegben is termelt cellulázt. A betöményített szövetkivonatokat két pH tartományban készítettük el: az irodalmi adatok szerint a legkedvezőbb pH=5,0 és egy magasabb, pH=8,5 értéket használva. Az általunk használt két izolátum esetén a savas kémhatáson nagyobb enzim aktivitást mértünk, viszont a kontroll kezeléseknél a vonalak és hibridek esetében is a lúgos kémhatáson volt nagyobb a

cellulázenzim-aktivitás. Valószínű, hogy ez a területen előforduló egyéb gombafajok eltérő pH optimumával van összefüggésben.

A híg szövetkivonat kevesebb idő- és anyagi ráfordítással készíthető el. Meg kívántuk vizsgálni, hogy megfelelő reakciót kapunk-e abban az esetben, ha a szövetek enzimaktivitását ezek alapján mérjük és értékeljük. Ebben az esetben is volt kimutatható különbség a genotípusok között, de a mesterséges fertőzések hígszövet-kivonatainak enzimaktivitása nagyobb volt és a beltenyésztett törzseknél az acetát pufferes (pH=5) betöményített mérés több genotípus között differenciált.

Meghatároztuk a híg szövetkivonat és a betöményített szövetkivonat cellulázenzim-aktivitása közötti összefüggéseket a beltenyésztett törzsek és a hibridek esetében is. A híg- és a betöményített szövetkivonat azonos kezelései között mindkét esetben $P_{0,1\%}$ vagy $P_{1\%}$ valószínűség mellett nagyon szoros, pozitív összefüggés állt fenn. A fentiek szerint a híg szövetkivonatból is nagy biztonsággal meghatározható egy adott genotípusból származó minta cellulázenzim-aktivitása. Abban az esetben, ha természetes úton fertőzött szárszövetkivonatából határozzuk meg a cellulázenzim-aktivitást, akkor hatékonyabb a módszer, ha a szövetkivonatot savas kémhatású pufferrel betöményítjük.

Vonalaknál a híg és a betöményített szövetkivonat mesterséges fertőzési értékei között a korreláció közepes-szoros, a sterilszemes és kontrollkezelés között közepes, míg a mesterséges fertőzések és kontrollkezelés között nem találtunk összefüggéseket. A mesterséges fertőzések és sterilszemes kezelés cellulázenzim-aktivitási értékei között a híg és a lúgos kémhatású tömény szövetkivonatok adatainál mindkét *Fusarium* izolátum esetében szignifikáns, közepes erősségű kapcsolatot állapítottunk meg. Hasonló összefüggést mutattunk ki a savas kémhatású puffernél is, de csak az FGH4 izolátummal. A többi esetben nem volt kapcsolatot a két mérés eredményei között. Tendenciáját tekintve a hibrideknél hasonló összefüggéseket figyeltünk meg, mint a vonalaknál, azzal a különbséggel, hogy a kapcsolatok szorossága és megbízhatósága nagyobb volt. Mesterséges fertőzések közötti megbízható, szoros összefüggések (vonalak r=0,60*-0,72*; hibridek r=0,78*-0,87**) szerint a cellulázenzim-aktivitás szoros kapcsolatban van a szárban jelenlévő *Fusarium*-fajokkal. Ezt a következtetést látszik alátámasztani az a tény is, hogy a mesterséges és a sterilszemes kezelések között is voltak szignifikáns, közepes összefüggések, ha nem is minden adatpár esetében (vonalak $r=0,36^{NS}$-0,66*; hibridek $r=0,54^{NS}$-0,83*). A szántóföldi eredmények szerint a fuzáriumos szárkorhadás mértéke a mesterséges fertőzésekben volt a legnagyobb, melyet a sterilszemes kezelésben mért szárkorhadás követett. Adataink szerint a beltenyésztett törzsek és a hibridek enzimaktivitási értékei is felhasználhatóak a genotípusok szárkorhadással szembeni fogékonyságának jellemzésére.

A dolgozatban vizsgált tulajdonságok között a legszorosabb összefüggést a szárkorhadás és a cellulázenzim-aktivitás között kaptuk. A vonalaknál és a hibrideknél is P=0,1% és P=1% megbízhatósági szinten nagyon szoros, pozitív összefüggés volt a két tényező között. Eredményeink megegyeznek a korábbi irodalmi adatokkal, miszerint a szárkorhadás mértéke és a cellulázenzim-aktivitás között pozitív a kapcsolat (Szécsi, 1985; Chambers, 1987; Ahmad et al., 2006; Szőke et al., 2009). A négy kezelés során kapott szárkorhadási és cellulázenzim-aktivitási adatai közötti összefüggések minden kezelésben nagyon szoros, pozitív kapcsolat volt: a kisebb szárkorhadású genotípusoknak minden kezelésnél alacsonyabb volt az enzimaktivitása is. Irodalmi adatok szerint is a *Fusarium*-fajok fertőzőképessége és az általuk termelt enzimek mennyisége közötti kapcsolat pozitív (Novo et al., 2006; Kikot et al., 2009). A két *F. graminearum* izolátum közül a szántóföldön két évben is szignifikánsan igazolhatóan az FGH4 izolátum fertőzte erősebben a vonalakat és a hibrideket egyaránt. A két izolátum közül ennek az izolátumnak volt a nagyobb a cellulázenzim-aktivitása, azaz adataink a fenti megállapításokat megerősítik.

A kontrollkezeléseknél több olyan genotípust is azonosítottunk, melyeknél a természetes fertőzés következményeként nem alakult ki szárkorhadás. Ezeknél a növényeknél cellulázenzim-aktivitás sem volt kimutatható. A mesterséges szárfertőzésekre a genotípusok különböző mértékű szárkorhadással reagáltak, amivel a mért cellulázenzim-aktivitások szoros, pozitív összefüggést mutattak. Szécsi (1975b) fogékony kukoricagenotípus esetében jelentős szárkorhadás mellett nagy cellulázenzim-aktivitást mért, míg egy toleráns kukoricagenotípus szárkorhadása és cellulázenzim-aktivitásánál alacsony értékeket kapott. Mivel az egészséges szövetnek nincs cellulázenzim-aktivitása, illetve a különböző mértékben fertőződött genotípusokból készített szövetkivonatok különböző enzimaktivitást mutattak, ezért véleményünk szerint a kukorica genotípusok fertőzött szárszövetéből készített enzimaktivitási mérésekkel következtethetünk egy adott populáció szárkorhadással szembeni ellenállóságára. A módszer alkalmazása nagyban hozzájárulhat a szárkorhadással szembeni rezisztencia fokozását célzó szelekcióhoz.

5. 3 Az összefüggés-elemzések eredményei alapján tett következtetések

A héjkéreg-ellenállás és a szárkorhadás között minden esetben negatív összefüggést állapítottunk meg. A beltenyésztett törzseknél mindkét időpontban mért (nyári, őszi) héjkéreg-ellenállás és szárkorhadás lineáris regressziója szignifikáns (P=10% és P=5%), közepes erősségű volt. A hibridek ettől abban tértek el, hogy a két paraméter közötti kapcsolat a nyári mérés esetében a képelemzővel mért adatokkal nem függött össze. Az őszi héjkéreg-ellenállás és a szárkorhadás között a vonalak és a hibridek korrelációs koefficiens értékei is szorosabb összefüggést mutattak, magasabb megbízhatósági szinten.

Ennek feltételezhető oka, hogy a fuzáriumos szárkorhadás kártétele – a kórokozó szaprofita életmódjából adódóan – ősszel nagyobb. Adataink szerint szignifikáns különbség volt a fertőzött és az egészséges növények héjkéreg-ellenállása között. Ezekből az eredményekből az következik, hogy a fuzáriumos szárkorhadás és a héjkéreg-ellenállás között egyértelmű összefüggés van.

A héjkéreg-ellenállás és a szárdőlés között a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is szignifikáns negatív, közepes összefüggést kaptunk. Eredményeink is, megerősítik az eddigi kedvező tapasztalatokat, miszerint a héjkéreg-ellenállásmérő alkalmazása megfelelő információval szolgál egy genotípus szárdőléssel szembeni ellenállóságáról (Twumasi-Afriyie és Hunter, 1982; Anderson és White, 1994; Marton, 2002).

Az enzimaktivitás és a héjkéreg-ellenállás között a kapcsolat a vonalaknál és a hibrideknél is negatív. Az összefüggés itt is szorosabb volt az őszi értékek esetében. A két tényező közötti kapcsolat a vonalaknál – egy esetet kivéve – szignifikánsan igazolható, közepes, míg a hibrideknél nem mutatható ki korreláció. A szárkorhadás és a héjkéreg-ellenállás közötti összefüggésből és a beltenyésztett törzsek nagyobb szárkorhadásra való érzékenységéből adódóan érthető, hogy a vonalak ősszel mért héjkéreg-ellenállása szorosabb kapcsolatban volt a cellulázenzim-aktivitással, mint a kevésbé érzékeny hibrideké.

A cellulázenzim-aktivitás és a szárátmérő között negatív, szoros kapcsolatot kaptunk a hibrideknél és a beltenyésztett törzseknél is, azaz egy vékonyabb szárú genotípus esetében nagyobb cellulázenzim-aktivitást kapunk, mint egy vastagabb szárú kukoricánál. Ez érthető, hiszen egy vékonyabb szárú anyag bélszövete kisebb, így azt a gomba gyorsabban benövi, mint egy vastagabb szárú növényt. Mivel egy vékonyabb szárú növény esetében az elkészített szövetkivonatban is nagyobb mennyiségben van jelen a gomba által termelt enzim, így annak enzimaktivitása is nagyobb lesz.

Irodalmi adatok szerint a szárkorhadás függ a szár cukorkoncentrációjától, a csökkenő cukortartalom fokozza a kórokozó gombák okozta szárkorhadást (Craig, 1960; Dodd, 1980). Egészséges szár szövetkivonatából nem tudtunk cellulázenzim-aktivitást mérni, azaz a csökkenő cukortartalom a cellulázenzim-aktivitást is fokozza. A szár cukortartalma és a szárdőlés között negatív összefüggés van (Twumasi-Afriyie és Hunter, 1982; Albrecht et al., 1986), bár vannak erre ellenpéldák is (Willman et al., 1987; Hondroyianni et al., 2000). A cellulázenzim-aktivitás és a dőlés közötti lineáris regresszió szerint a vonalak esetében közepes, pozitív volt a kapcsolat, a hibrideknél pedig nem találtunk összefüggést. Ruget (1993) szerint egyes genotípusok jelentős mennyiségű cukrot mobilizálnak a szárból a szemtelítődés idején. Elképzelhető, hogy ez az intenzív transzlokáció oly mértékben csökkentheti a szár cukorkoncentrációját, hogy az amúgy is fogékonyabb vonalak szárkorhadással szembeni fogékonysága tovább nő.

A szárkorhadás szülő - utód regresszió mindkét mérési módnál szignifikáns (P=1%) és a tulajdonság h^2 értéke értéke nagy. Ez arra utal, hogy kellő variabilitással rendelkező nemesítési anyagból viszonylag könnyen és nagy biztonsággal tudunk szárkorhadással szemben nagyobb ellenállóságú pozitív variánsokat szelektálni. Az anyai szülő - hibridutód h^2 értéke nagyobb, mint az apai szülő – hibridutódé. A regresszió az anyai szülő – hibridutódnál szignifikáns, viszont az apai szülő - hibridutód regressziója nem az. Kovács (1973) szárkorhadás vizsgálatai alapján hasonló eredményeket kapott, esetében is az anyai szülő – hibridutód regressziója volt nagyobb. Kísérletében a recipok hatást is vizsgálta és számottevő különbségekről számolt be. Adataink szerint a szárkorhadás örökölhetőségében az anyai hatás szerepe a meghatározóbb, az apai hatás kisebb. Hibridek tervezésénél a kapott eredményeink és Kovács (1973) reciprokhatásra tett megállapítását érdemes figyelembe venni, főleg ha ez a vetőmag előállítást – ami szintén fontos kérdés egy új hibrid tervezésénél – nem befolyásolja kedvezőtlenül.

A szárátmérő szülőátlag - hibrid regressziója megbízható, és a becsült örökölhetőségi értékszám (h^2= 0,66) is a tulajdonság jó örökölhetőségét mutatja. A szárátmérőnél az anyai szülő - hibridutód között számolt korrelációs koefficiens (r=0,87) nagyon szoros, szignifikáns összefüggést mutat és a h^2 értéke is nagy, míg az apai szülő - hibridutód közötti korreláció nem mutat összefüggést és a h^2 értéke is alacsony, azaz a szárátmérő örökölhetőségében az anyai partner szerepe a meghatározó. Marton (2002) más nemesítési anyagokon értékelt vizsgálata szerint viszont az apai hatás a meghatározóbb a szárátmérő esetében.

A szülő - utód regresszió eredményei szerint a cellulázenzim-aktivitás szülőátlag - hibridutód összefüggései mindhárom szövetkivonatnál szignifikáns (P=1%), szoros kapcsolatot mutattak.

5. 4 Új tudományos eredmények

Munkánk során a kukorica fuzáriumos szárkorhadásával és a szár mechanikai szerkezetét befolyásoló tulajdonságokkal, valamint a közöttük lévő összefüggések elemzésével foglalkoztunk. Meghatároztuk a vizsgált genotípusok szárkorhadással szembeni ellenálló-képességét mesterséges és természetes fertőzést alkalmazva, mértük a növények héjkéreg-ellenállását, szárátmérőjét és felvételeztük a szárdőlést is. A szántóföldi kísérletek adatai arra is lehetőséget adtak, hogy jellemezzük az eltérő évjáratok hatásait és az általuk okozott különbségeket.

Laboratóriumi vizsgálatokkak meghatároztuk a szántóföldön végzett mesterséges és természetes fertőzés következményeként szárkorhadt szárak bélszövetmintáiból készített cellulázenzim-aktivitás mértékét. A szántóföldi és laboratóriumi adatok, valamint a tulajdonságok között elvégzett összefüggés-vizsgálatok lehetőséget adtak arra, hogy számszerűsítsük a kukorica szárszilárdságát befolyásoló abiotikus és biotikus tényezőket és a közöttük lévő összefüggéseket.

Munkánk során az alábbi új és újszerű eredményeket értük el:

A vizsgált genotípusok szántóföldi jellemzése alapján megállapítottuk, hogy a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságuk különböző. A vizsgált beltenyésztett kukorica vonalak közül a legjobb szárkorhadással szembeni ellenállósággal jellemezhető genotípusok az ISSS rokonsági körbe tartoztak. Jó szárkorhadással szembeni ellenállóságúak az Iodent rokonsági körből származó vonalaknak is, de átlagosan gyengébbek – az adott törzseket tekintve –, mint az ISSS rokonsági körbe tartozók. Igazoltuk, hogy az újabb martonvásári nemesítésű hibridek ellenállóbbak a fuzáriumos szárkorhadással szemben, mint a korábban nemesítettek.

Megállapítottuk, hogy a két szárkorhadási értékelési módszer közül a képelemzővel mért adatok pontosabb eredménnyel szolgálnak a szárkorhadással kapcsolatban, mint a vizuális értékelésen alapuló F_{index}-számítás. A képelemző alkalmazása érzékenyebb, mint az F_{index}-számítás, ezáltal a genotípusok közötti kisebb különbségek kimutatására alkalmas.

Eredményeink szerint a szárkorhadással szembeni sikeres szelekcióhoz nem elég a természetes szárfertőzésre alapozott szelekció, mivel a természetes szárfertőzés kialakulását jelentős mértékben meghatározza az adott évjárat időjárása. A mesterséges fertőzés alkalmazása viszont a genotípusok rezisztencia-szintjeinek pontosabb jellemzését eredményezi.

A két különböző időpontban (virágzásban és betakarítás előtt) mért héjkéreg-ellenállás adatai között nagyon szoros volt az összefüggés, s adataink szerint a szülő - utód regresszió alapján becsült örökölhetőségi értékszám nagy volt. Ez arra utal, hogy megfelelő variabilitással rendelkező nemesítési anyagokról a virágzáskori fenofázisban már megfelelő információt kaphatunk a szárszilárdsági hibára hajlamos vagy toleráns alvonalakról, így a beltenyésztett törzsek közül azokat öntermékenyíthetjük, melyeknek nagyobb a héjkéreg-ellenállása.

A szárátmérő megbízható negatív kapcsolatban van a szárkorhadással, illetve megbízható pozitív kapcsolatban a kéregellenállással, azaz a szárátmérő fontos szelekciós szempont a szárszilárdságra való nemesítésben.

A szárdőlés és a héjkéreg-ellenállás között minden mérés alkalmával szignifikáns, negatív, míg a szárdőlés és a szárkorhadás között csak egy esetben találtunk szignifikáns összefüggést, azaz a szárdőlés mértéke inkább a szár mechanikai paramétereitől függ, kevésbé a szár betegségektől. Héjkéreg-ellenállásra való nemesítéssel a szárdőléssel szemben is eredmény érhető el.

A szárszövet cellulázenzim-aktivitása és a szárkorhadás között nagyon szoros összefüggést találtunk. Az ellenállóbb kukorica genotípusban kisebb, míg a fogékonyabb genotípusban nagyobb volt a gomba cellulázenzim-aktivitása. Az egészséges szövetekből nem lehet cellulázenzim-aktivitást kimutatni. Igazoltuk, hogy a természetes fertőzés enzimaktivitásának jellemzésére a savas pufferrel betöményített kivonatok alkalmasabbak, mint a híg szövetkivonatok. A cellulázenzim-aktivitás meghatározása hatékonyan segítheti a szárkorhadással szembeni rezisztenciára történő nemesítést.

ÖSSZEFOGLALÁS

A fuzáriumos szárkorhadásért felelős kórokozók az elmúlt 40 évben nem okoztak jelentős károkat hazánkban, azonban az utóbbi évek megváltozott klimatikus elemei kedveztek ennek a betegségnek. Emellett az intenzív termesztéstechnológiák alkalmazása és elterjedése is növelheti a szárkorhadás megjelenésének valószínűségét.

Kísérleteinkben számos martonvásári kukorica genotípusokat vizsgálva a fuzáriumos szárkorhadás és a szár szöveti szerkezetét befolyásoló tulajdonságok közötti összefüggéseket elemeztük. A munka során meghatároztuk a vizsgált genotípusok szárkorhadással szembeni ellenállóképességét mesterséges és természetes fertőzési viszonyok között is. Mértük a növények héjkéreg-ellenállását, szárátmérőjét és felvételeztük a szárdőlést. A három éven keresztül végzett szántóföldi kísérletek adatai arra is lehetőséget adtak, hogy feltárjuk az eltérő évjáratok hatását és az általuk okozott eltéréseket is.

A genotípusok fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállósága különböző volt. A vizsgált genotípusok közül a legjobb szárkorhadással szembeni ellenállósága főleg az ISSS rokonsági körbe tartozó vonalaknak volt. Megfelelő volt a betegséggel szembeni ellenállóság az Iodent rokonsági körbe tartozó vonalaknál is, bár a vizsgált vonalak átlagában ezeknél nagyobb szárkorhadást mértünk az ISSS rokonsági körbe tartozókhoz képest. A hibridek esetében az újabb martonvásári nemesítésű hibridek jóval ellenállóbbak a fuzáriumos szárkorhadással szemben, mint a korábban nemesítettek.

A növénykórtani kísérletek kivitelezésénél és értékelésénél mindig sarkalatos kérdés, hogy mesterséges fertőzést alkalmazzunk, vagy csak a természetes fertőzésre alapozzuk a vizsgálatot. Sok esetben a mesterséges fertőzés nem pontosan modellezi a természetes fertőzést, viszont a természetes fertőzés nagymértékben függ az adott kísérleti év időjárási tényezőktől.

Eredményeink szerint a szárkorhadással szembeni sikeres szelekcióhoz nem elég a természetes szárfertőzésre alapozott szelekció, mivel a természetes szárfertőzés kialakulását jelentős mértékben meghatározza az adott évjárat időjárása. A természetes fertőzés kevesebb genotípus között tud differenciálni, főleg ha a betegség kialakulására kedvezőtlen az adott évjárat időjárása.

Az adatgyűjtés pontosságának, megbízhatóságának növelése fontos eszköz a genotípusos eltérések részletesebb elemzéséhez. Megállapítottuk, hogy a szárkorhadás értékelésére a képelemzővel mért adatok pontosabbak és több genotípus fogékonyság illetve tolerancia szintbeli különbségek meghatározására is alkalmas, mint a vizuális értékelésen alapuló F_{index}-számítás.

Fuzáriumos szárkorhadással szembeni rezisztencia munkákhoz a két módszer közül a képelemző alkalmazását tartjuk jobbnak. Ezzel a mérési technikával – köszönhetően a módszer érzékenységének - alvonalak között is megbízható szelekció végezhető a fuzáriumos szárkorhadással szemben.

A szárszilárdság nem csak a szárkorhadástól függ, hanem a szár mechanikai tulajdonságaitól is, ezért két fenofázisban (virágzásban és betakarítás előtt) is mértük a szár héjkéreg-ellenállását. Megállapítottuk, hogy a két időpontban kapott adatok között nagyon szoros az összefüggés. Megfelelő variabilitással rendelkező nemesítési anyagból már virágzáskor nagy biztonsággal kiválaszthatók jó héjkéreg-ellenállással rendelkező anyagok, így a beltenyésztett törzsek közül csak azokat öntermékenyítjük, melyek nagyobb a héjkéreg-ellenállással rendelkeznek.

A szárátmérő fontos szelekciós paraméternek bizonyult a szárszilárdságra való nemesítésben, mivel megbízható negatív kapcsolatban van a szárkorhadás mértékével, illetve megbízható pozitív kapcsolatban a héjkéregellenállással.

Héjkéreg-ellenállásra való nemesítéssel a szárdőléssel szemben is eredmény érhető el. A szárdőlés inkább a szár mechanikai paramétereitől függ, mint a szárbetegségektől.

A laboratóriumi vizsgálatok szerint a szárkorhadás nagyon szoros, pozitív kapcsolatban van a szövetkivonat cellulázenzim-aktivitásával: a szántóföldön a szárkorhadásnak jobban ellenálló genotípus cellulázenzim-aktivitása kisebb, míg a nagyobb mértékű szárkorhadás nagyobb cellulázenzim-aktivitással járt. Abban az esetben, ha nem volt kártétel - azaz egészséges volt a növény - cellulázenzim-aktivitást nem tudtunk kimutatni. Véleményünk szerint a szárszövetből meghatározott cellulázenzim-aktivitásból következtetni lehet a genotípus szárkorhadással szembeni ellenállóságára. Mesterséges fertőzés alkalmazása nélkül az elkészített szövetkivonat cellulázenzim-aktivitása erősebb, ha savas kémhatású puffer segítségével betöményítjük a kivonatot.

6. SUMMARY

The pathogens responsible for *Fusarium* stalk rot have not caused any great damage in Hungary over the last 40 years, but climatic changes in recent years have been favourable for the disease. The more widespread application of intensive production technologies also increases the likelihood that stalk rot will appear.

A large number of Martonvásár maize genotypes were examined to reveal correlations between *Fusarium* stalk rot and traits which influence the tissue structure of the stalk. The resistance of the genotypes to stalk rust was analysed after both artificial and natural infection. Measurements were made of the rind resistance and stalk diameter, and stalk lodging was scored. The data of three years of field experiments also allowed the year effect to be evaluated.

The genotypes exhibited different levels of resistance to *Fusarium* stalk rot, the best results being obtained for lines with an ISSS background. Lines related to Iodent also had satisfactory resistance, though on average these lines were more severely infected than the ISSS lines. The hybrids recently bred in Martonvásár were found to be far more resistant to stalk rot than those bred in earlier years.

One major question that arises when performing and evaluating plant pathology experiments is whether to carry out artificial inoculation or whether to base the studies on natural infection. In many cases, artificial inoculation does not give an accurate model of natural infection; on the other hand, natural infection depends greatly on the weather conditions in the given year.

The results indicate that successful selection for stalk rot resistance cannot be based solely on natural stalk infection, as this varies from year to year. If the weather is not favourable for the development of the disease, differences between the genotypes may not be sufficiently clear.

Improving the accuracy and reliability of data collection could be an important way of achieving a more detailed analysis of genotypic differences. Image analysis proved to be a more accurate technique for evaluating stalk rot, allowing the susceptibility or tolerance of the genotypes to be differentiated more efficiently than infection indexes calculated on the basis of visual evaluation. The use of image analysis can thus be recommended for work on *Fusarium* stalk rot resistance. This technique is so sensitive that reliable selection for stalk rot resistance is possible even between sublines.

Stalk strength is influenced not only by stalk rot, but also by the mechanical properties of the stalk, so the stalk rind resistance was recorded in two phenophases (at flowering and prior to harvest). A very close correlation was observed between the data obtained in the two phenophases. If the breeding material contains sufficient variability, genotypes with good rind resistance can be

reliably selected at flowering, after which only those with satisfactory resistance will be used for self-fertilisation.

The stalk diameter proved to be an important selection parameter in breeding for stalk strength, as there was a significant negative correlation with the severity of stalk rot and a significant positive correlation with rind resistance.

Breeding for rind resistance also led to improvements in lodging resistance. Lodging depends more on the mechanical parameters of the stalk than on stalk diseases.

The results of laboratory analyses indicated that stalk rot is in very close positive correlation with the cellulase enzyme activity of the tissue extract: genotypes exhibiting less stalk rot damage in the field had lower levels of cellulase enzyme activity, while greater susceptibility to stalk rot was associated with higher cellulase enzyme activity. In the case of healthy plants, exhibiting no stalk rot damage, no cellulase enzyme activity could be detected. This suggests that determining the cellulase enzyme activity in stalk tissue could provide a good indication of the stalk rot resistance of the genotypes. If artificial inoculation is not applied, the cellulase enzyme activity of the tissue extract was stronger if the extract was concentrated using acidic buffer.

7. MELLÉKLETEK

M1 Irodalomjegyzék

1. Abedon, B.G., Darrah, L.L., Tracy, W.F. (1999): Developmental changes associated with divergent selection for rind penetrometer resistance in the MoSCSSS maize synthetic. *Crop Sci.*, 39:108–114.

2. Abney, T.S., Foley, D.C. (1971): Influence of nutrition on stalk rot development of *Zea mays*. *Phytopathology*, 61:1125-1129.

3. Afolabi, C.G., Ojiambo, P.S., Ekpo, E.J.A., Menkir, A., Bandyopadhyay, R. (2008): Novel sources of resistance to *Fusarium* Stalk Rot of maize in tropical Africa. *Plant Dis.*, 92:772–780.

4. Ahmad, Y., Hameed, A., Ghaffer, A. (2006): Enzymatic activity of fungal pathogens in corn. *Pak. J. Bot*., 38:1305-1316.

5. Alakonya, A.E., Monda, E.O., Ajanga, S. (2008): Management of *Fusarium verticillioides* root infection court in maize using organic soil amendments. *World Applied Sciences Journal*, 5:161-170.

6. Albrecht, K.A., Martin, M.J., Russell, W.A., Wedin, W.F., Buxton, D.R. (1986): Chemical and in vitro digestible dry matter composition of maize stalks after selection for stalk strength and stalk rot resistance. *Crop Sci*., 26:1051-1055.

7. Anderson, B., White, D.G. (1994): Evaluation of methods for identification of corn genotypes with stalk rot and lodging resistance. *Plant Dis.*, 78: 6, 590-593.

8. Armstrong, D.L. (1998): Effects of potassium on plant diseases. *Better crops with plant food*, 82:37-40.

9. Balint-Kurti, P.J., Johal, G.S. (2009): Maize Disease Resistance. In *Handbook of Maize*. eds. Bennetzen J. L., Hake S. Springer, New York, 229-250.

10. Bánáti H., Lauber É., Szécsi Á., Székács A., Darvas B. (2010): A gyapottok-bagolylepke és a kukoricamoly szerepe a csőfuzariózis terjesztésében. 56. *Növényvédelmi Tudományos Napok*, Abszt. 12. p.

11. Békési P., Hinfner K. (1968): A kukorica szártőbetegségének vizsgálata. *Növényvédelem*, 4:179-191.

12. Békési P., Hinfner K. (1970): Adatok a kukorica fuzáriumos eredetű megbetegedéseinek ismeretéhez. *Növényvédelem*, 6:13-18.

13. Bergstrom G.C., Nicholson R.L. (1999): The biology of corn anthracnose. Knowledge to exploit for improved management. *Plant Dis*., 83:596–608.

14. Bergstrom, G.C., Shields E.J. (2002): Atmospheric spore dispersal and regional epidemiology of the *Fusarium* head blight fungus. *Phytopathology* 92:593.

15. Berke J., Kárpáti L., Győrffy K., Fischl G. (1995): Digitális képfeldolgozás alkalmazási lehetőségei multimédia oktatási anyagok fejlesztésében. *Multimédia alkalmazása az oktatásban*. Keszthely, 70-81.

16. Berzonsky, W.A., Hawk, J.A. (1986): Agronomic features of two maize synthetics selected for high and low stalk-crushing strength. *Crop Sci*., 26:871-875.

17. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1995): Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. *Növénytermelés* 44:507-517.

18. Black, J.G. (2005): Microbiology: Principles and Explorations. 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. 356 pp.

19. Blanchette, R.A. (1982): New technique to mesaure tree defect using an image analyzer. *Plant Dis*., 66:394-397.

20. Bock, C.H., Parker, P.E., Cook, A.Z., Gottwald, T.R. (2008): Visual Rating and the Use of Image Analysis for Assessing Different Symptoms of Citrus Canker on Grapefruit Leaves. *Plant Dis*., 92:530-541.

21. Bottalico, A. (1998): *Fusarium* diseases of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 80:85-103.

22. Brett, C.T., Waldron, K.W. (2007): Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls. Springer-Verlag New York, 272 pp.

23. Brotslaw, D.J., Darrah, L.L., Zuber, M.S., Krause, G.F. (1988): Effect of prolificacy on grain yield and root and stalk strength in maize. *Crop Sci*., 28:750-755.

24. Carson, M.L., Hooker, A.L. (1981): Inheritance of resistance to stalk rot of corn caused by *Colletotrichum graminicola. Phytopathology*, 71:1190-1196.

25. Cassini, R. (1981): *Fusarium* diseases of cereals in Western Europe. In: Nelson P.E., Tousson T.A., Cook R.J. (eds) *Fusarium Diseases, Biology, and Taxonomy*. University Park, PA Pennsylvania State University Press, 56–64.

26. Chambers, K.R. (1987): Stalk Rot of Maize: Host-pathogen Interaction. *J. Phytopathology*, 118:103-108.

27. Chambers, K.R. (1988): Effect of time of inoculation on *Diplodia* stalk and ear rot of maize in South Africa. *Plant Dis*., 72:529-531.

28. Chi, M.S., El-Halawani, M.E., Waibel, P.E., Mirocha, C.J. (1981): Effects of T-2 toxin on brain catecholamines and selected blood components in growing chickens. *Poult Sci*., 60:137–141.

29. Christensen, J.J., Wilcoxson, R.D. (1966): Stalk rot of corn. *Am. Phytopath. Soc.*, Mon. 3. 59 pp.

30. Colbert, T.R., Darrah, L.L., Zuber, M.S. (1983): Recurrent selection for rind penetration values for stalk quality improvement. *Maize Genetics Cooperation News Letter*, 57:41-42.

31. Colbert, T.R., Zuber, M.S. (1978): Effects of sampling dates on estimates of stalk quality in maize. *Can. J. Plant Sci*., 58:319-323.

32. Cooper, R.M. (1984): The role of cell wall-degrading enzymes in infection and damage. In.: Wood, R.K.S., Jellis, G.J (eds.) *Plant Diseases: Infection, Damage, and Loss*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 13-27.

33. Cotten, T.K., Munkvold G.P. (1998): Survival of *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. subglutinans* in maize stalk residue. *Phytopathology*, 88:550–555.

34. Craig, J. (1960): Physiologicalm, chemical, and morphological plant factors in *Zea mays* L. associated with Diplodia stalk rot reaction. *PhD. thesis*, University of Illinois. 78p.

35. De Leon, C. (1974): Maize diseases: A guide for field identification. *Information bulletin No. 11*. Mexico 77 p.

36. DeVay, J.E., Covey, R.P., Nair, P.N. (1957): Corn diseases and their importance in Minnesota in 1956. *Plant Dis. Reptr*., 41:505-507.

37. Dingle, J., Reid, W.W., Solomons, G.L. (1953): The enzymic degradation of pectin and other polysaccharides. II. Application of the „Cup-plate" assay to the estimation of enzymes. J. Sci. Food Agric., 4:149-155.

38. Dodd, J.L. (1977): A photosynthetic stress – translocation balance concept of corn stalk rot. Proc. *32. Ann. ASTA Meeting* 32:122-130.

39. Dodd, J.L. (1980): The role of plant stresses in development of corn stalk rot. *Plant Dis*., 64:533-537.

40. Dolstra, C., Marton, C., Menzi, M., Mohr, J., Plienegger, D.I., Pronczuk, M. (1995): Evaluation of recurrent selection for stalk rot resistance in a synthetic maize population. In: Bianchi, A, - Lupotto, E. – Motto, M. (eds) *Proc. of Eucarpia Maize and Sorghum Section 16th Conference*. 265-271.

41. Dorn, B., Forrer, H.R., Schürch, S., Vogelgsang, S. (2009) *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *Eur J Plant Pathol*., 25:51–61.

42. Draganic, M., Boric, B. (1991): Survey of studies on maize resistance to stalk and ear rot pathogens in Yugoslavia. *Zastita Bilja*, 42:173-182.

43. Dudley, J.W. (1994): Selection for rind puncture resistance in two maize populations. *Crop Sci*., 34:1458-1460.

44. Dufault, N., De Wolf, E., Lipps, P., Madden, L. (2002a): Identification of environmental variables that affect perithecial development of *Gibberella zeae* [online]. In *2002 National Fusarium Head Blight Forum Proceedings*. 141. 2011. 05. 02

45. Dufault, N., De Wolf, E., Lipps, P., Madden, L. (2002b): Relationship of temperature and moisture to *Gibberella zeae* perithecial development in a controlled environment [online]. In *2002 National Fusarium Head Blight Forum Proceedings*. 142–144. 2011. 05. 02

46. Duncan, G.H., Lang, A.L., Bigger, J.H., Koehler, B., Bolin, O. (1938): Illinois corn performance tests for 1938. 111. *Agr. Exp. Sta. Bull*., 450.

47. Durrell, L.W. (1923): Dry rot of corn. *Iowa Agr. Exp. Sta. Res. Bull*., 77.

48. Esechie, H.A., Rodriguez, V., Al-Asmi, H. (2004): Comparison of local and exotic maize varieties for stalk lodging components in a desert climate. *Europ. J. Agronomy*, 21:21–30.

49. Eshel, D., Miyara, I., Ailing, T., Dinoor, A., Prusky, D. (2002): pH regulates endoglucanase expression and virulence of *Alternaria alternata* in persimmon fruit. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15:774-779.

50. Fan, L.T., Lee, Y.H., Beardmore, D.H. (1980): Major chemical and physical features of cellulosic materials as substrate for enzymatic hydrolysis. *Adv. Biochem. Eng*., 14:101-117.

51. Fernando, W.G.D., Miller, J.D., Seaman, W.L., Seifert, K., Paulitz, T.C. (2000): Daily and seasonal dynamics of airborne spores of *Fusarium graminearum* and other *Fusarium* species sampled over wheat plots. *Can. J. Bot*., 78:497–505.

52. Ferreira-Pinto, M.M., Cruz, M.L., Oliveira, H. (2007): The occurrence in Portugal of the bacterial disease of maize crops caused by *Erwinia chrysanthemi*. *Plant Pathology*, 43:1050 - 1054.

53. Fischl G. (1980): A csapadékeloszlás és a kukorica fuzáriumos betegsége. *Magyar Mezőgazdaság*, 35:9.

54. Fischl G. (1983): Primér fertőzési források és a kukorica fuzáriumos megbetegedése közötti kapcsolat. *Növényvédelem*, 19:101-105.

55. Fischl G. (1990): A kukorica szárkorhadás etiológiája Nyugat-Magyarországon. *Kórtani és rezisztenciaproblémák búzában és kukoricában*. Szeged, 1990. 12. 06 16. p.

56. Fischl G., Halász L. (1990): A kukorica szárkorhadásában résztvevő mikroszkopikus gombák azonosítása hazánkban. *Növényvédelem*, 26:433-441.

57. Focke, I., Focke, R. (1963): Prüfung der *Fusarium* Resistenz beim Mais und Embryonen test. *Der Züchter*, 33:138-143.

58. Foley, D.C. (1959): The presence of cellulase in corn stalk infected with *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 49:538.

59. Foley, D.C., Wernham, C.C. (1957): The effect of fertilizers on stalk rot of corn in Pennsylvania. *Phytopathology*, 47:11-12.

60. Francis, R.G., Burgess, L.W. (1975) Surveys of *Fusaria* and other fungi associated with stalk rot of maize in Eastern Australia. *Aust. J. Agric. Res*., 26:801–807.

61. Fry, S. C. (2004): Primary cell wall metabolism: tracking the careers of wall polymers in living plant cells. *New Phytologist*, 161:641-675.

62. Gagkaeva, T.Y. (2003): Importance of *Fusarium* head blight in Russia and the search for new sources of genetic resistance in wheat and barley. In: S.M. Canty, J. Lewis, R.W. Ward (eds.), *National Fusarium Head Blight Forum Proc*, U.S. Wheat&Barley Scab Initiative, 219–222.

63. Gatch, E.W., Hellmich, R.L., Munkvold, G.P. (2002): A comparison of maize stalk rot occurrence in Bt and non-Bt hybrids. *Plant Dis*., 86:1149-1155.

64. Gatch, E.W., Munkvold, G.P. (2002): Fungal species composition in maize stalks in relation to European corn borer injury and transgenic insect protection. *Plant Dis*., 86:1156-1162.

65. Georgiev, T. (1977): Relationship between stalk strength and grain yield of normal and endosperm mutant hybrids of maize. *IX. Meeting of Eucarpia maize and sorghum section*. USSR, Krasnodar, August 7-13, 1977. Abstracts of papers. III: 73-74.

66. Gergely L. (2004): Burgonyafajták rezisztenciavizsgálata fitoftóra- (*Phytophthora infestans* [Mont.] De Bary) fertőzéssel szemben és egyes környezeti tényezők hatása a betegségellenállóságra. *PhD értekezés*, Keszthely 94 p.

67. Gilbertson, R.L., Brown, W.M. Jr., Ruppel, E.G., Capinera, J. L. (1986): Association of corn stalk rot *Fusarium* spp. and western corn rootworm beetles in Colorado. *Phytopathology*, 76:1309-1314.

68. Grabber, J.H. (2005): How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Sci*., 45:820–831.

69. Guerre, P., Eeckhoutte, C., Burgat, V., Galtier, P. (2000): The effects of T-2 toxin exposure on liver drug metabolising enzymes in rabbit. *Food Addit. Contam*., 12:1019-1026.

70. Győrffy B. (1976): A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények* 35:239-266.

71. Győrffy B., I'só I. és Bölöni I. (1965): Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 411 pp.

72. Győri Z., Gy.-né Mile I. (2002): A kukorica minősége és feldolgozása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 69 pp.

73. Hallauer, A.R., Russel W.A., Lamkey K.R. (1988): Corn breeding. In: Sprague, G. G., Dudley, J. W. (eds.) *Corn and corn improvement*. 3rd edition Am. Soc. Agro. Crop Sc. Am. Soil Sc., Madison, USA, 463-564.

74. Harrison, L.R., Colvin, B.M., Greene, J.T., Newman, L.E., Cole, J.R. (1990): Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme. J. Vet. Diagn. Invest*., 2:217-221.

75. Heald, F.D., Wilcox, E.M., Pool, V.W. (1909): The life-history and parasitism of *Diplodia zeae* (schw.) Lév. *Neb. Agr. Exp. Sta. Ann. Rpt*. 22: 1-7.

76. Herczegh M. (1977): A szárszilárdság tényezői, szilárdabb szárú hibridek előállítása. In: Bálint A. (ed) *A kukorica jelene és jövője*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 47-50.

77. Heredia, D.O., Alsirt, A., Darrah, L.L., Coe, E.H. (1996): Allelic frequency changes in the MoSCSSS maize synthetic in response to bi-directional recurrent selection for rind penetrometer resistance. *Maydica*, 41:65-76.

78. Holbert, J.R., Burlison, W.L., Koehler, B., Woodworth, C.M., Dungan, G.H. (1924): Corn root, stalk, and ear rot diseases, and their control thru seed selection and breeding. *Illinois Agric. Exp. Sta. Bull*., 255:239-478.

79. Holley, R.N., Goodman, M.M. (1988): Stalk quality and stalk rot resistance of tropical hybrid maize derivatives. *Plant Dis*., 72:321–324.

80. Holthaus, J.F., Lamkey, K.R (1995): Population means and genetic variances in selected and unselected Iowa Stiff Stalk Synthetic maize populations. *Crop Sci*., 35:1581-1589.

81. Hondroyianni, E., Papakosta, D.K., Gagianas, A.A., Tsatsarelis, K.A., (2000): Corn stalk traits related to lodging resistance in two soils of differing quality. *Maydica*, 45:125–133.

82. Hooker, A.L. (1956): Association of resistance to several seedling, root, stalk, and ear diseases in corn. *Phytopathology*, 46:379-384.

83. Hooker, A.L., Britton M.P. (1962): The effects of stalk rot on corn yields in Illinois. *Plant Dis. Reptr*., 46:9-13.

84. Hulea, A., Bunescu, S., Sandru, I., Tircomnicu, M., Piticas, G., Schmidt, R. (1968): Investigations of stalk and root rot of maize under the environmental conditions in Romania. *Analele Institutului de Cercetari pentru Protectia Plantelor*, 6:25-55.

85. Ikenberry, R.W., Foley D.C. (1967): Cellulase activity in corn stalk infected with *Fusarium moniliforme* Sheld. and its relation to stalk rot. *Iowa State J. of Sci*., 42:47-61.

86. Inch, S., Fernando, D., Gilbert, J., Tekauz, A. (2000): Temporal aspects of ascospore and macroconidia release by *Gibberella zeae* and *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol*., 22:186.

87. Inch, S.A., Gilbert, J. (2003): Survival of *Gibberella zeae* on *Fusarium*-damaged kernels of spring wheat. *Plant Dis*., 87:282–287.

88. Ivashchenko, V.G. (1989): Maize colonization by stalk-rot pathogens in south Ukraine. *Mycol. Phytopathol*., 23:572-576.

89. Jarvis, J.L., Clark, R.L., Guthrie, W.D., Berry, E.C., Russell, W.A. (1984): The relationship between second-generation European corn borers and stalk rot fungi in maize hybrids. *Maydica*, 29:247-263.

90. Javed, T., Bennett, G.A., Richard, J.L., Dombrink-Kurtzman, M.A., Côté, L.M., Buck, W.B. (1993): Mortality in broiler chicks on feed amended with *Fusarium proliferatum* culture material or with purified fumonisin B1 and moniliformin. *Mycopathologia*, 123:171-184.

91. Jenczmionka, N.J., Maier, F.J., Losch, A.P., Schafer, W. (2003): Mating, conidiation and pathogenicity of *Fusarium graminearum*, the main casual agent of the head-blight disease of wheat, are regulated by the MAP kinase gpmk1. *Curr. Genet*., 43:87-95.

92. Jones, P., Bartlett, P. (2004): Chemistry Review Carbohydrates http://nutrition.jbpub.com/resources/chemistryreview9.cfm 2011. 01. 12

93. Jugenheimer, R.W. (1940): Resistance to Diplodia infection in inbred lines and hybrids of maize. *PhD. thesis*, Iowa State College, 94p.

94. Kádár I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 398 pp.

95. Kálmán L., Korom Á., Németh J., Szél S. (1974): Morfológiai és statikai paraméterek szerepe a kukorica szárerősségében. *Növénytermelés*, 23:313-318.

96. Kang, M.S., Din, A.K., Zhang, Y.D., Magarim, R., Zhang, Y.D. (1999): Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci*., 39: 2, 368-371.

97. Kappelman, A.J. Jr., Thompson, D.L. (1966): Inheritance of resistance to *Diplodia* stalk-rot in corn. *Crop Sci*., 6:288-290.

98. Kedera, C.J., Plattner, R.D., Desjardins A.E. (1999): Incidence of *Fusarium* spp. and levels of Fumonisin B1 in maize in Western Kenya. *Applied and Environmental Microbiology*, 65:41–44.

99. Keszthelyi S, Varga Zs, Pál-Fám F. (2008): A kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) által károsított kukoricaszár mikrogombás fertőzöttsége. *Növénytermelés*, 57:105-112.

100. Khonga, E. B., Sutton, J. C. (1988): Inoculum production and survival of *Gibberella zeae* in maize and wheat residues. *Can. J. Plant Pathol*., 10:232-239.

101. Kikot, G.E., Hours, R.A., Alconada, T.M. (2009): Contribution of cell wall degrading enzymes to pathogenesis of *Fusarium graminearum*: a review. *Journal of Basic Microbiology*, 49:231-241.

102. Kikot, G.E., Hours, R.A., Alconada, T. M. (2010): Extracellular Enzymes of *Fusarium graminearum* Isolates. *Braz. Arch. Biol. Technol*., 53:779-783.

103. Kizmus L. (1978): A kukorica csőpenészesedésének vizsgálata mesterséges fertőzéssel *Növényvédelem*, 14:49-53.

104. Kizmus L. (1994): A kukorica fuzáriumos csőpenészének kialakulására ható néhány tényező vizsgálata. Egyetemi doktori értekezés, Budapest 65 p.

105. Kizmus L., Mesterházy Á. (1993): A kukorica csőpenésze, különös tekintettel a *Fusarium*-fajokra. In: Mesterházy Á. (ed), *A mycotoxin kérdés Magyarországon, különös tekintettel a Fusarium genusra*. OMFB tanulmány, GKI Szeged, 44-63.

106. Kizmus, L., Marton, L.C., Krüger, W., Müller, D., Drimal, J., Pronczuk, M., Zwatz, B., Craicu, D.S. (2000): Data on the distribution in Europe of *Fusarium* species causing root and stalk rot in maize. In: Bedő Z. (ed.), *50th Anniversary of the Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences*. Scientific Meeting (June 2–3, 1999), Martonvásár, 170–176.

107. Koehler, B.G. (1960): Corn stalk rots in Illinois. *Bulletin* 658:1-90.

108. Koehler, B., Holbert, J.R. (1930): Corn diseases in Illinois. *Ill. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 354:1-164.

109. Kovács I. (1973): Stalk rot studies in maize. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 47:212-214.

110. Kovács G. Jr., Kovács G., Mesterházy Á., Korom A. (1988): Kukoricahibridek cső-szárfuzáriummal szembeni ellenállósága és mechanikai szilárdsága. *Növénytermelés*, 37:1-12.

111. Kovács, K., Kovács G., Mesterházy, Á. (1994): Expression of resistance to fusarial ear blight in corn inbreds and their hybrids. *Maydica*, 39:187-190.

112. Könczöl P. (2009): A DEKALB-nemesítés válaszai a kukoricatermesztést érintő időjárási kihívásokra. *MezőHír*, 10:45-46.

113. Kuga, S., Brown, R.M. Jr. (1991): Physical structure of cellulose microfibrils: implications for biogenesis. Haigler, C.H., Weimer, P.J. (eds.) In.: *Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose*. New York, Marcel Dekker pp. 125-142.

114. Ledencan, T., Simic, D., Brkic, I., Jambrovic, A., Zdunic, Z. (2003): Resistance of maize inbreds and their hybrids to *Fusarium* stalk rot. *Czech J. Genet Plant Breed.*, 39:15–20.

115. Lee, E.A., Baxter, D.R., Darrah, L.L., Coe, E.H. Jr. (1991): Chromosome arm dosage analysis – identification of potential QTLs on the short arm of chromosome 5. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, No. 65:58.

116. Lente Á., Pepó P. (2009): Az évjárat és néhány agrotechnikai tényező hatása a kukorica termésére csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 58:39-51.

117. Leslie, J.F., Pearson, C.A.S., Nelson, P.E., Toussoun, T.A. (1990): *Fusarium* spp. from corn, sorghum, and soybean fields in the central and eastern United States. *Phytopathology* 80:343-350.

118. Leslie, J.F., Summerell, B.A. (2006): The *Fusarium* laboratory manual. Blackwell Publishing Ltd, UK, 387 pp.

119. Lew, H., Adler, A., Edinger, W. (1997): Dynamics of the *Fusarium* toxin distribution in maize plants affected by stalk rot. *Cer. Res. Comm*. 25:467–470.

120. Li, M. (1997): Anatomical and morphological characteristics of maize genotypes varying in resistance to brittlesnap. M.S. Thesis, University of Nebraska, Lincoln.

121. Littlefield, L.J. (1964): Effect of hail damage on yield and stalk rot infection in corn. *Plant Dis. Rep.*, 48:169.

122. Logrieco, A., Mulè, G., Moretti, A., Bottalico, A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108:597–609.

123. Lu, G.Z, Chen, J., Liu, W.C., Zhou, Y.L., Zhao, T.C., Liang, J.Y., Bai, Q.K. (1995): The pathogens of corn stalk rot and variety resistance. *J. Maize Sci*., 3:47–51.

124. MacDonald, M.V., Chapman R. (1997): The incidence of *Fusarium moniliforme* on maize from Central America, Africa and Asia during 1992-1995. *Plant Pathol*., 46:112-126.

125. Malvick, D.K. (1995): Corn stalk rots. Department of Crop Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, *Report on plant disease* 200:1-6 p.

126. Manninger I. (1967): Kétéves tapasztalatok a kukorica fuzáriumos megbetegedéséről és a védekezési lehetőségei. *Magyar Mezőgazdaság*, 13:12-13.

127. Manninger I. (1972): A kukorica szárkorhadásos megdőlése. *Magyar Mezőgazdaság*, 27:14-15.

128. Marasas, W.F.O. (1995): Fumonisins: their implications for human and animal health. *Nat. Toxins*, 3:193-198.

129. Marasas, W.F.O. (2001): Discovery and occurrence of the fumonisins: a historical perspective. *Environ. Health Perspect.*, 109:239-243.

130. Marasas, W.F.O., Kellerman, T.S., Gelderblom, W.C.A., Coetzer, J.A.W., Thiel, P.G., vander Lugt, J.J. (1988): Leukoencephalomalacia in a horse induced by fumonisin B1 isolated from *Fusarium moniliforme*. Ondersterpoort *J. Vet. Res*., 55:197-203.

131. Maric, A. (1981): *Fusarium* diseases of wheat and corn in Eastern Europe and the Soviet Union. In: Nelson, P.E., Tousson, T.A., Cook, R.J., (eds) *Fusarium Diseases, Biology, and Taxonomy*. University Park, PA: Pennsylvania State University Press, 94–103.

132. Marin, S., Albareda, X., Ramos, A.J., Sanchis, V. (2001) Impact of environment and interactions of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* with *Aspergillus parasiticus* on fumonisin B1 and aflatoxins on maize grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:1060–1068.

133. Martin, M.J., Russell, W.A. (1984a): Correlated responses of yield and other agronomic traits to recurrent selection for stalk quality in a maize synthetic. *Crop Sci*., 24:746-750.

134. Martin, M.J., Russell, W.A. (1984b): Response of a maize synthetic to recurrent selection for stalk quality. *Crop Sci*., 24:331-337.

135. Martin, S., Sanchis, V., Ramos, A.J., Magan, N. (1998): Effect of water activity on hydrolytic enzyme productition by *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* during colonisation of maize. *Int. J. Food Microbiol*., 42:185-194.

136. Marton L. Cs. (2002): Kukoricahibridek termése, tenyészideje és szárszilárdsága. *Akadémiai doktori értekezés*. Martonvásár. 191. p.

137. Mazzucchi, U. (1972): A bacterial stalk rot of maize (*Zea mays* L.) in Emilia. *Phytopathologia Mediterranea*, 11:1–5.

138. McKeen, W.E. (1951): A corn root- and stalk-rot complex hitherto known as *Giberella zeae* stalk rot. *Phytopathology*, 41:26.

139. McKinney, H.H. (1923): Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. *J. of Agric. Res.*, 26:195-217.

140. Mesterházy Á. (1978): Gabonafélék ellenállósága a *Fusarium* genus néhány fajával szemben. *Kandidátusi értekezés*, Szeged, 117 p.

141. Mesterházy Á. (1979): Stalk splitting as a method for evaluating stalk rot of corn. *Plant Disease Reporter*, 63:227-231.

142. Mesterházy Á. (1981): A kukorica kéregellenállásának és szárkorhadással szembeni ellenállóságának kapcsolata. *Növénytermelés*, 30:309-320.

143. Mesterházy Á. (1982): Resistance of corn to *Fusarium* ear rot and it's relation to seedling resistance. *Phytopath. Z.*, 103:218-231.

144. Mesterházy Á. (1983): Relationship between resistance to stalk rot and ear rot of corn influenced by rind resistance, premature death and the rate of drying of the ear. *Maydica*, 28:425-437.

145. Mesterházy Á. (1991): Betegségellenállóság a gabonafélékben, helyzetkép. *Növényvédelem*, 27:343-348.

146. 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.

147. Mesterházy Á., Vojtovics M. (1977): Kukorica magminták gombaflórája Magyarországon 1974-1975-ben. *Növényvédelem*, 13:441-446.

148. Michaelson, M.E. (1957): Factors affecting development of stalk rot of corn caused by *Diplodia zeae* and *Gibberella zeae*. *Phytopatology*, 47:499-503.

149. Mortimor, C.G., Gates, L.F. (1969): Effect of reducing interplant competition at different stages of growth on stalk rot and yield components of corn. *Can. J. Plant Sci*., 49:723-729.

150. Munkvold, G.P. (2003): Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *European Journal of Plant Pathology,* 109:705–713.

151. Munkvold, G.P., Desjardins, A.E. (1997): Fumonisins in maize. Can we reduce their occurrence? *Plant Dis.* 81:556-564.

152. Munkvold, G.P., McGee, D.C., Carlton, W.M. (1997): Importance of different pathways for maize kernel infectionby *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 87:209–217.

153. Naef, A., Defago, G. (2006): Population structure of plant-pathogenic *Fusarium* species in overwintered stalk. *European Journal of Plant Pathology*, 116:129–143.

154. Nagy J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémia Kiadó, Budapest 393 pp.

155. Nedelnic, J. (2002): Damage to corn by fungi of the genus *Fusarium* and the presence of fusariotoxins. *Plant Protect. Sci*., 38: 46–54.

156. Nevalainen, H., Penttila, M. (1995): Molecular biology of cellulotytic fungi. In: Kuck (ed.) *The Mycota II. Genetics and Biotechnology*, Springer-Verlag, 303-319.

157. Novo, M., Pomar, F., Gayoso, C., Merino, F. (2006): Cellulase Activity in Isolates of *Verticillium dahliae* Differing in Aggressiveness. *Plant Dis*., 90:155–160.

158. Nyvalle, R.F. (1999): Field crop diseases. Third edition. Iowa State University Press, 247-342.

159. Nyvall, R.F., Kommedahl, T. (1970): Saprophytism and survival of *Fusarium moniliforme* in corn stalks. *Phytopathology*, 60:1233–1235.

160. Oerke, E.C. (2005): Crop losses to pest. *The Journal of Agricultural Science*, 144:31-43.

161. Oren, L., Ezrati, S., Cohen, D., Sharon, A. (2003): Early events in the *Fusarium verticillioides* – maize interaction characterized by using a green fluorescent protein- expressing transgenic isolate. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69:1696-1701.

162. Osunlaja, S.O. (1990): Effect of organic soil amendments on the incidence of stalk rot of maize. *Plant and Soil*, 127:237-241.

163. Palaversic, B., Buhinicek, I., Jukic, M. (2004): Comparison of two methods of evaluating maize hybrid resistance to stalk rot. *XXXIXth Croatian Symposium on Agriculture*. Proceedings, 269-270.

164. Palaversic, B., Kozic, Z., Jukic, M., Sabljo, A., Buhinicek, I. (2007): Evaluation of inoculation techniques for testing maize hybrids for resistance to stalk anthracnose. *Cer. Res. Comm.* 35:881-884.

165. Pálfy Cs. (1983): A kukoricamoly és kártétele. *Növényvédelem*, 19:515-517.

166. Palmer, L.T., Kommedahl, T. (1969): Root-infecting *Fusarium* species in relation to rootworm infestations in corn. *Phytopathology*, 59:1613-1617.

167. Pammel, L.H., King, C.M., Seal, J.L. (1915): Corn stalk and corn root diseases in Iowa. *Iowa Agr. Exp. Sta. Circ*., 21.

168. Parker, D.T., Burrows, W.C. (1959): Root and stalk rot in corn as affected by fertilizer and tillage treatment. *Agron. J*., 51:414-417.

169. Parry, D.W., Jenkinson, P., McLeod L. (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small - grain cereals – a review. *Plant Pathol.*, 44:207-238.

170. Paulitz, T. (1996): Diurnal release of ascospores by *Gibberella zeae* in inoculated wheat plots. *Plant Dis*., 80:674–678.

171. Pé, M.E, Gianfranceschi, L., Taramino, G., Tarchini, R., Angelini, P., Dani, M., Binelli, G. (1993): Mapping quantitative trait loci (QTLs) for resistance to *Gibberella zeae* infection in maize. *Mol. Gen. Genet*., 241:11–16.

172. Pendleton, J.W., Koehler, B., Lang, A.L., Johnson, P.E., Bigger J.H. (1954): 1953 Illinois corn tests. *Illinois Agr. Exp. Sta. Bull*., 571.

173. Perry, C.O. (1983): Diallel analysis of rind puncture and grain yield and their interactions with plant densities for twelve elite inbred lines of maize, *Zea mays* L. *Diss. Abstr. Int*. 44:4.

174. Petrás Gy. (1952): Sertések fertőző tüdővizenyője. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 7:374-378.

175. Pettinger, N.A. (1933): The effect of fertilizers, crop rotation abd weather conditions on the anchorage of corn plants. *Virginia Exp. Sta. Tech. Bul*. 46:33.

176. Pintér L., Kálmán L. (1978): A termőhelyi viszonyok hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szárszilárdságára. *Növénytermelés*, 27:387-393.

177. Przybyl, K., Dahm, H., Ciesielska, A., Moliński, K. (2006): Cellulolytic activity and virulance of *Ophiostoma ulmi* and *O. novo-ulmi* isolates. *Forest Pathology*, 36:58–67.

178. Raffai P. (1999): A fuzariotoxinok hatása a sertés termelésére és egészségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 48:253-264.

179. Rankin, M., Grau, C. (2002): Agronomic considerations for moulds and mycotoxins in corn silage. *Focus on Forage*, 4:1-4.

180. Reese, E.T., Sui, R.G.H., Levinson, H.S. (1950): The biological degradation of soluble cellulose derivatives and its relationship to the mechanism of cellulose hydrolysis. *J. Bacteriol*., 59:485–497.

181. Ribeiro, N.A., Casa, R.T., Bogo, A., Sangoi, L., Moreira, E.N., Wille, L.A. (2005): Incidence of stalk rot, rot grains and grain yield of maize genotypes in different management systems. *Ciência Rural*, 35:1003-1009.

182. Ruget, F. (1993): Contribution of storage reserves during grain filling of maize in Northern European conditions. *Maydica*, 38:51-59.

183. Saha, B.C. (2003): Hemicellulose bioconversion. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol*., 30:279-291.

184. Schertz, K.F., Al-Tayar, F.A., Rosenow, D.T. (1978): Comparison of methods for evaluating stalk strength of sorghum. *Crop Sci*., 18:453–456.

185. Schulein, M. (1998): Kinetic of fungal cellulases. *Biochem. Soc. Trans*., 26:164-167.

186. Semeniuk, G., Melhus, I.E., Reddy, C.S., Loomis, W.E., Sprague, G.F., Lindstrom, E.W. (1942): Disease resistance in corn; nature and methods of measuring. *Iowa Agr. Exp. Sta. Rpt. on Agr. Res*., Part 2:51-57.

187. Shekhar, M., Kumar, S., Sharma, R.C., Rathore Singh, R. (2008): Sources of resistance against post-flowering stalk rots of maize. *Archives Of Phytopat. And Plant Prot.*, 43:259 -263.

188. Sherwood, R.T., Berg, C.C., Hoover, M.R., Zeiders, K.E. (1983): Illusions in visual assessment of Stagonospora leaf spot of orchardgrass. *Phytopathology*, 73:173-177.

189. Shurtleff, M.C. (1984): Compendium of Corn Diseases. *The American Phytopathological Society*, St. Paul, MN. 105 pp.

190. Sibale, E.M., Darrah, L.L., Zuber, M.S. (1992): Comparison of two rind penetrometers for measurement of stalk strength in maize. *Maydica*, 37:111-114.

191. Sjöström, E. (1981): Fundamentals and Applications of Wood Chemistry. In: Sjöström, E. (Ed): *Wood Chemistry*, Academic Press Inc., New York, 223-245.

192. Smith, A.L., Holbert, J.R. (1932): Diplodia stalk- and ear-rot studies of dent corn. *Phytopathology*, 22:24.

193. Solovyeva, I.V., Okunev, O.N., Kryukova, E.G., Kochkina, G.A. (1999): Occurrence of neutral and alkaline cellulases among alkali-tolerant Micromycetes. *System. Appl. Microbiol.*, 22:546-550.

194. Sprague, G.F. (1946): Early testing of inbread lines of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 38:108-117.

195. Sprague, G.F. (1954): Breeding for resistance to stalk rot. *Amer. Seed Trade Assn. Pub.*, 9: 38-43.

196. Srobárová, A., Moretti, A., Ferracane, R., Ritieni, A., Logrieco, A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species of *Liseola* section in pre-harvest maize ear rot, and associated mycotoxins in Slovakia. *European Journal of Plant Pathology*, 108:299-306.

197. Sutton, J.C. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol.*, 4:195–209.

198. Sváb J. (1971): A populációgenetika alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 191 p.

199. Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a mezőgazdasági kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 490 p.

200. Szentirmay B., Szolnoky Gy. (1976): A kukorica kórtani és rovartani felmérésének eredménye a Bács megyei állami gazdaságokban, 1973-75. időszakban. *Növényvédelem*, 12:166-169.

201. Szécsi Á. (1970a): Sejtfalbontó enzimek vizsgálata a kukorica fuzáriumos szárkorhadásában. *Növényvédelem*, 6:365-369.

202. Szécsi Á. (1970b): A cellulázaktivitás összefüggése a kukorica fogékonyságával a fuzáriumos szárkorhadásban. *Növényvédelem*, 6:438-440.

203. Szécsi Á. (1975a): *Fusarium roseum* sejtfalbontó enzimeinek szerepe a kukorica szárkorhadásában. *Kandidátusi értekezés*, Bp. 165 p.

204. Szécsi Á. (1975b): Sejtfalbontó enzimek szerepe a kukorica *Fusarium* okozta szárkorhadásában. *Növényvédelmi Kutató Intézet Évkönyve* XIII. 227-241.

205. Szécsi Á. (1985): Sejtfalbontó gombaenzimek. In: Érsek T., Hornok L. (eds.) *Kórokozók és a fertőzött növény* Budapest, Akadémiai Kiadó, 209 pp.

206. Szécsi Á. (1994): A *Liseola* szekcióba tartozó fuzáriumok előfordulása hazai kukoricakultúrákban 1991 és 1992. évben. *Növényvédelem*, 30:313-318.

207. Szécsi Á. (2005): Szóbeli közlés, Budapest

208. Szőke, C., Marton, L.C. (2010): Examination of the relationship between *Fusarium* ear rot and corn borer infestation in maize. *Workshop for variety registration in cereals for Fusarium resistance,* Szeged, 23.

209. Szőke, C., Rácz, F., Spitkó, T., Marton, L.C. (2009): Dates on the *Fusarium* stalk rot. *Maydica*, 54:211-215

210. Taylor, G.S. (1952): Stalk-rot developement in corn following the European corn borer. *Phytopathology*, 42:20-21.

211. Theander, O., Westerlund, E., Âman, P. (1993): Structure and composition dietary fiber. *Cereal Food World*, 3:135-141.

212. Thiel, P.G., Marasas, W.F.O., Sydenham, E.W., Shephard, G.S., Gelderblom, W.C.A. (1992): The implications of naturally occurring levels of fumonisins in corn for human and animal health. *Mycopathology*, 117:3-9.

213. Thomas, H., Smart, C.M. (1993): Crops that stay-green. *Ann. Appl. Biol*., 123:193–219.

214. Thompson, D.L. (1963): Stalk strength of corn as measured by crushing strength and rind thickness. *Crop Sci*., 3:323-329.

215. Todd, L.R., Kommedahl, T. (1994): Image analysis and visual estimates for evaluating disease reactions of corn to fusarium stalk rot. *Plant Dis*., 78:876-878.

216. Toman, J. Jr., White, D.G. (1993): Inheritance of resistance to anthracnose stalk rot of corn. *Phytopathology*, 83:981-986.

217. Trail, F., Xu, H., Loranger, R., Gadoury, D. (2002): Physiological and environmental aspects of ascospore discharge in *Gibberella zeae* (anamorph *Fusarium graminearum*). *Mycologia*, 94:181–189.

218. Tschanz, A.T., Horst, R.K., Nelson, P.E. (1976): The effect of environment on sexual reproduction of *Gibberella zeae*. *Mycologia*, 68:327-340.

219. Twumasi-Afriyie, S., Hunter, R.B. (1982): Evaluation of quantitative methods for determining stalk quality in short-season corn genotypes. *Can. J. of Plant Sci*., 62:55-60.

220. Ulvskov, P. (2010): Plant Polysaccharides. John Wiley & Sons Inc. 504 pp.

221. Van Egmond, H.P., Schothorst, R.C., Jonker, M.A. (2007): Regulations relating to mycotoxins in food. Perspectives in a global and European context. *Anal. Bioanal. Chem*., 389:147-157.

222. Vigier, B., Reid, L.M., Dwyer, L.M., Stewart, D.W., Sinha, R.C., Arnason, J.T., Butler, G. (2001): Maize resistance to gibberella ear rot: symptoms, deoxynivalenol, and yield. Can. J. *Plant Pathol*., 23:99–105.

223. Virág I., Szőke C. (2011): Field and laboratory examinations of corn plants by means of hyperspectral imaging technology. *Növénytermelés*, (in press)

224. Vörös J., Manninger I. (1973): A *Macrophomina phaseolina* Tassi előfordulása kukoricán Magyarországon. *Növényvédelem*, 9:193-195.

225. White, D.G., Hoeft, R.G., Touchton, J.T. (1978): Effect of nitrogen and nitrapyrin on stalk rot, stalk diameter, and yield of corn. *Phytopathology*, 68:811-814.

226. Wilcoxson, R.D., Covey, R.P. (1963): Corn plant populations and size of necrotic lesions in stalks. *Plant Dis. Rep*., 47:962–963.

227. Williams, L.E., Schmitthenner, A.F. (1963): Effect of crop rotation on yields, stalk rot, and root rot of corn. *Phytopathology*, 53:1412-1414.

228. Willman, M.R., Below, F.E., Lambert, R.J., Howey, A.E., Mies, D.W., (1987): Plant traits related to productivity of maize. II. Development of multiple trait models. *Crop Sci*., 27:1122–1126.

229. Windels, C.E., Kommendahl, T. (1984): Late-season colonization and survival of *Fusarium graminearum* group II in corn stalks in Minnesota. *Plant Dis*., 68:791–793.

230. Wood, T.M., McCrae, S.I. (1972): The purification and properties of the C1 component of *Trichoderma koningii* cellulase. *Biochem. J*., 128:1183-1192.

231. Wood, T.M., McCrae, S.I. (1978): The Cellulase of *Trichoderma koningii* purification and properties of some endoglucanase components with special reference to their action on cellulose when acting alone and in synergism with the cellobiohydrolase. *Biochem. J*., 171:61-72.

232. Woodward, J. (1991): Synergism in cellulase system. *Bioresource Tech*., 36:67-75.

233. Worf, G.L., Foley D.C. (1963): Plant disease control. Corn stalk roots in Iowa. *Iowa Agr. Ext. Pam*. 301.

234. Zuber, M.S. (1973): Evaluation of progress in selection for stalk quality. *Proc. Ann. Res. Conf. of ASTA*, 28:110-122.

235. Zuber, M.S., Colbert, T.R., Darrah, L.L. (1980): Effect of recurrent election for crushing strength on several stalk components in maize. *Crop Sci*., 20:711-717.

236. Zuber, M.S., Grogan, C.O (1961): A new technique for measuring stalk strength in corn. *Crop Sci*., 1:378-380.

237. Zuber, M.S., Grogan, C.O., Michaelson, M.E., Gehrke, C.W., Monge, J.F. (1957): Studies of the interrelation of field stalk lodging, two stalk rotting fungi, and chemical composition of corn. *Agron. J*., 49:328-331.

238. Zuber, M.S., Kang, M.S. (1978): Corn lodging slowed by sturdier stalks. *Crops Soils*, 30:13–15.

239. Zuber, M.S., Loesch, P.J. Jr. (1962): A mechanical method evaluating stalk lodging. *ASTA 17th Conference*, 17:15-23.

240. Yang, D.E., Jin, D.M., Wang, B., Zhang, D.S., Nguyen, H.T., Zhang, C.L., Chen, S.J. (2005): Characterization and mapping of Rpi1, a gene that confers dominant resistance to stalk rot in maize. *Mol. Gen. Genomics*, 274:229–234.

241. Yang, Q., Yin, G., Guo, Y., Zhang, D., Chen, S., Xu, M. (2010): A major QTL for resistance to *Giberella* stalk rot in maize. *Theor. Appl. Genet*., 121:673-687.

242. Ye, H.Z. (1980): On the biology of the perfect stage of *Fusarium graminearum* Schw. *Acta Phitophylacica Sin*., 7:35-42.

M2 Varianciaanalízis MQ-táblázatok

I. táblázat A vizsgált genotípusok szárkorhadásának varianciaanalízise.

Tényező	FG	MQ BELTENYÉSZTETT TÖRZS	
		Szárkorhadás (Colim)	Szárkorhadás (F_{index})
Összes kezelés	671		
Genotípus (A)	13	2847,53***	3415,11***
Fertőzési mód (B)	3	166258,22***	187920,73***
Év (C)	2	8912,15***	9631,22***
A x B	39	586,21***	721,46***
A x C	26	329,68***	413,23***
B x C	6	1147,13***	1149,30***
A x B x C	78	201,59***	234,97***
Hiba	501	34,72	51,79
Tényező	**FG**	**MQ HIBRID**	
		Szárkorhadás (Colim)	Szárkorhadás (F_{index})
Összes kezelés	383		
Genotípus (A)	7	1776,04***	1618,26***
Fertőzési mód (B)	3	76645,40***	81469,90***
Év (C)	2	8007,50***	6983,19***
A x B	21	240,68***	152,56***
A x C	14	166,89***	207,02***
B x C	6	1046,63***	1021,08***
A x B x C	42	118,61***	117,62***
Hiba	285	27,66	58,22

II. A vizsgált genotípusok képelemző programmal meghatározott szárkorhadásának varianciaanalízise évjáratonként és kezelésenként.

Tényező	FG	MQ BELTENYÉSZTETT TÖRZS											
		2006				*2007*				*2008*			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	55												
Genotípus (A)	13	694,57***	881,38***	501,03***	33,58**	648,33***	747,07***	473,04***	127,18***	633,95***	587,84***	1139,03***	$8,07^{NS}$
Hiba	39	33,562	60,71	44,416	12,748	17,336	52,695	50,447	15,26	38,682	44,502	44,335	7,857

Tényező	FG	MQ HIBRID											
		2006				*2007*				*2008*			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	31												
Genotípus (A)	7	510,33***	432,86***	452,29***	0,99NS	140,60***	82,96*	395,88***	4,00*	572,93***	673,33***	268,25***	$9,15^{NS}$
Hiba	21	48,614	58,204	49,869	0,53	15,749	24,505	26,417	1,347	36,433	21,034	39,689	7,453

III. A vizsgált genotípusok F_{index}-számítással meghatározott szárkorhadásának varianciaanalízise évjáratonként és kezelésenként.

Tényező	FG	MQ BELTENYÉSZTETT TÖRZS											
		2006				*2007*				*2008*			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	55												
Genotípus (A)	13	681,85***	850,41***	477,91***	63,18**	845,09***	907,12***	587,71***	159,92***	854,09***	869,53***	1502,46***	$16,54^{NS}$
Hiba	39	66,591	89,764	44,519	19,577	24,408	58,648	65,892	21,257	64,344	76,895	77,792	19,356

Tényező	FG	MQ HIBRID											
		2006				*2007*				*2008*			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	31												
Genotípus (A)	7	410,42**	374,59*	438,31***	22,22*	113,53*	$54,39^{NS}$	388,30***	$32,07^{+}$	280,02***	716,94***	295,44**	69,51*
Hiba	21	100,94	118,436	73,931	8,694	45,393	83,445	39,329	15,464	44,354	53,281	59,172	24,79

IV. A vizsgált genotípusok héjkéreg-ellenállásának, szárátmérőjének és szárdőlésének varianciaanalízise.

Tényező	FG	MQ BELTENYÉSZTETT TÖRZS			
		Kéregellenállás (július)	Kéregellenállás (október)	Szárátmérő	Szárdőlés
Összes kezelés	671				
Genotípus (A)	13	27768,64***	27634,49***	2,44***	379,95***
Fertőzési mód (B)	3	2924,19***	8314,57***	$0,00^{NS}$	213,27***
Év (C)	2	2000,72***	505,71***	5,48***	199,18***
A x B	39	210,09***	497,10***		$16,32^{NS}$
A x C	26	517,27***	741,34***	0,08***	31,81*
B x C	6	$28,54^{NS}$	68,72*		$24,73^{NS}$
A x B x C	78	$31,49^{NS}$	48,31***		$14,29^{NS}$
Hiba	501	33,41	27,22	0,02	20,37

Tényező	FG	MQ HIBRID			
		Kéregellenállás (július)	Kéregellenállás (október)	Szárátmérő	Szárdőlés
Összes kezelés	383				
Genotípus (A)	7	11874,32***	3544,92***	0,96***	417,39***
Fertőzési mód (B)	3	11147,91***	6566,24***	$0,00^{NS}$	$47,08^{+}$
Év (C)	2	25718,03***	12033,70***	2,09***	176,00***
A x B	21	549,56***	332,32***		$10,83^{NS}$
A x C	14	2047,02***	983,47***	0,06***	39,68*
B x C	6	748,50***	346,34***		$29,41^{NS}$
A x B x C	42	$97,35^{NS}$	$57,05^{NS}$		$13,61^{NS}$
Hiba	285	91,82	49,16	0,02	19,25

V. A vizsgált genotípusok cellulázenzim-aktivitásának varianciaanalízise évjáratonként és kezelésenként.

Tényező	FG	MQ BELTENYÉSZTETT TÖRZS											
		Híg szövetkivonat				***Tris-HCl (pH=8,5)***				***Acetát (pH=5,0)***			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	83												
Genotípus (A)	13	5602,00***	6748,72***	4572,51***	2360,00***	12090,53***	17386,85***	14062,19***	13644,26***	14121,00***	20907,19***	16866,44***	13693,66***
Év (B)	2	28266,58***	53093,42***	617,91***	233,06^{NS}	16374,79***	128513,79***	12900,19***	8939,65**	50025,16***	65086,16***	9192,31***	8242,93**
A x B	26	3053,83***	5248,56***	1521,39***	537,80**	4131,47***	11093,49***	3876,78***	2125,77^{NS}	7496,91***	12354,45***	5475,73***	2369,87^{+}
Hiba	41	51,70	67,40	19,58	198,34	182,70	193,28	228,44	1544,37	344,30	488,96	184,47	1390,61

Tényező	FG	MQ HIBRID											
		Híg szövetkivonat				***Tris-HCl (pH=8,5)***				***Acetát (pH=5,0)***			
		FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL	FG36	FGH4	STERIL	KONTROLL
Összes kezelés	47												
Genotípus (A)	7	4150,48***	4653,17***	1127,61***	230,21^{NS}	23077,94***	11891,78***	8928,82***	7503,93***	21073,02***	13687,68***	12858,43***	5457,50***
Év (B)	2	12148,90***	27192,64***	890,42***	657,93^{+}	1977,43***	53728,45***	22503,49***	489,18^{NS}	6064,63***	39259,09***	11446,49***	72,87^{NS}
A x B	14	755,91***	2500,00***	256,95***	230,21^{NS}	5205,53***	3544,25***	1811,60***	1441,88^{NS}	3729,54***	3056,21***	2257,97***	1610,54^{NS}
Hiba	23	27,23	32,18	14,57	236,07	96,82	65,28	33,34	1111,96	254,41	116,53	49,47	996,51

M3 Az értekezés témájában megjelent első- és társszerzős közlemények

Elsőszerzős közlemények:

Szőke Cs., Kizmus L., Hadi G., Illés O., Rácz F., Marton L. Cs. (2003): A kukorica fuzáriumos csőfertőzöttsége és a kukoricamoly kártétele közötti kapcsolat vizsgálata. *50 éves a magyar hibrid kukorica.* Martonvásár, MTA Kutatóintézete 317-321.

C. Szőke, T. Árendás, F. Rácz, J. Pintér, E. Nagy, C. L. Marton (2007): Correlation between maize genotypes and the stalk rot caused by maize *Fusarium. Acta Agronomica Hungarica,* **55:**447-452

C. Szőke, J. Pintér, Cs. L. Marton (2008): Correlation between maize genotypes and the stalk rot caused by maize *Fusarium. 59. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs,* Gumpenstein, pp. 135-136.

C. Szőke, F. Rácz, T. Spitkó, L. C. Marton (2009): Dates on the fusarium stalk rot. *Maydica,* **54**:211-215

C. Szőke, T. Árendás, P. Bónis, Á. Szécsi (2009): Fusarium stalk rot: a biotic stress factor decisive for maize stalk strength. *Cer. Res. Commun.,* Suppl. **37**:337-340

C. Szőke, Á. Szécsi, C. L. Marton (2009): Fusarium stalk rot of maize genotypes in Martonvásár. *Journal of Agricultural Sciences Debrecen,* Suppl. **38**:60-65

Szőke Cs., Pintér J., Rácz F., Marton L. Cs. (2009): A kukorica fuzáriumos betegségei ellen alkalmazható védekezési eljárások. *Növényvédelem,* **45**:710-711

Szőke Cs., Marton L. Cs., Pintér J. (2009): A kukorica stresszrezisztencia-kutatások eredményeiből. *Növényvédelem,* **45**:637-638

Szőke Cs., Szlávik Sz., Rácz F., Pintér J. (2009): Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása. In: Veisz, O. (ed.) *Hagyomány és haladás a növénynemesítésben.* pp. 472-476.

C. Szőke, Á. Szécsi, P. Bónis, L. C. Marton (2010): Correlation between stalk rot caused by maize *Fusarium* and the level of cellulase activity. *Növénytermelés,* Suppl. **59**:555-558

Társszerzős közlemények:

S. Záborszky, E. Nagy, **C. Szőke** (2002): Effect of seed treatment on the emergence of inbred lines of maize (*Zea mays* L.) *Acta Agronomica Hungarica,* **50**:359-369

Gyenesné Hegyi Zs., Pók I., Illés O., **Szőke Cs.**, Kizmus L., Marton L. Cs. (2002): A termőhely és a tőszám hatása kukoricahibridek terméselemeire eltérő évjáratokban. *Növénytermelés,* **51**: 425-435

F. Rácz, G. Hadi, **C. Szőke**, S. Záborszky, C. L. Marton (2007): Cold tolerance of seed from inbred maize lines sown at various sowing dates in different years. *Cer. Res. Commun.*, Suppl. **35**:697-700

M4 Konferencia-részvétel az értekezés témájában

Szőke Cs., Kizmus L., Marton L. Cs. (2003): Kukoricahibridek fuzáriumos csőpenész vizsgálata eltérő ökológiai körülmények között. *IX. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 141

Szőke Cs., Rácz F., Hadi G., Spitkó T., Tóthné Zsubori Zs., Illés O., Marton L. Cs. (2004): A kukorica fuzáriumos csőfertőzöttsége és a kukoricamoly kártétele közötti összefüggések elemzése. *X. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 159

C. Szőke, Z. Hegyi, J. Pintér, C. L. Marton, Á. Szécsi (2006): Correlation between stalk rot caused by maize F*usarium* and the level of cellulase activity. *XXth International Conference on Maize and Sorghum,* Budapest, p. 123

Szőke Cs., Magyar D., Szécsi Á., Marton L. Cs. (2006): Kukorica szárszövetből izolált *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticillioides* izolátumok celluláz aktivitásának meghatározása. *52. Növényvédelmi Tudományos Napok,* Budapest, p. 98

Szőke Cs., Rácz F., Marton L. Cs., Szécsi Á. (2006): A kukorica *Fusarium* okozta szárkorhadása és a cellulázaktivitás mértéke közötti összefüggés vizsgálata. *XII. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 166

Szőke Cs., Spitkó T., Szécsi Á., Marton L. Cs. (2007): Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállósága. *XIII. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 94

Szőke Cs., Rácz F., Marton L. Cs. (2008): A kukoricabogár elleni védekezés lehetőségei konvencionális nemesítéssel. *XIV. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 97

Szőke, C., Rácz, F., Spitkó, T., Marton, L. C. (2009): Relationship between maize genotypes and the stalk rot caused by maize *Fusarium. XXI. EUCARPIA Conference "Maize and Sorghum Breeding in the Genomics Era",* Bergamo, p. 163

C. Szőke and C. L. Marton (2010): Examination of the relationship between Fusarium ear rot and corn borer infestation in maize. *Workshop for variety registration in cereals for Fusarium resistance,* Szeged, p. 23

Szőke Cs., Rácz F., Marton L. Cs. (2010): A kukorica fuzáriumos szárkorhadása. *XVI. Növénynemesítési Tudományos Napok,* Budapest, p. 132

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm dr. Marton L. Csaba és dr. Szécsi Árpád témavezetőimnek az értekezés elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségét, továbbá köszönöm dr. Heszky László programvezetőnek, hogy lehetőséget biztosított a Doktori Iskola Programjában való részvételemhez.

Köszönettel tartozom dr. Janda Tibornak, dr. Szalai Gabriellának, Kövesdiné Varga Editnek, Marosánné Zajácz Annának a labor munkákhoz nyújtott segítségükért. Hálával tartozom továbbá Harasztos Barbarának az angol szöveg elkészítéséhez és Lakné Rohonczi Melindának a szántóföldi munkák elvégzéséhez nyújtott segítségéért. Nagyon köszönöm dr. Vida Gyula szakmai segítségét.

Köszönetet mondok az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet Kukoricanemesítési Osztály munkatársainak, elsősorban dr. Pintér Jánosnak, dr. Hadi Gézának és dr. Kizmus Lajosnak értékes tanácsaikért és az összes dolgozónak, aki hozzájárult a dolgozat elkészítéséhez.

Külön köszönöm dr. Árendás Tamásnak és dr. Bónis Péternek szakmai segítségét és főleg biztató szavait.

Köszönöm Szüleimnek, Családomnak, Ilonának, Sárának és Balázsnak a segítségét és megértését a munkám miatt együtt nem töltött időért.