



SZENT ISTVÁN EGYETEM

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

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Szőke Csaba

**Martonvásár
2011**

Doktori iskola: Növénytudományi Doktori Iskola

Vezetője: Dr. Heszky László, az MTA rendes tagja
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
iskolavezető

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

1.1 A téma aktualitása

A kukoricatermesztés napjainkban is az egyik legfontosabb növénytermesztési ágazata mind a világ, mind pedig a magyar mezőgazdaságnak. 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. Magyarország legjelentősebb takarmánynövénye, az abrak közel 90%-át biztosítja, ipari felhasználása 8-10%, emellett a lakosság közvetlenül kevés "hagyományos" kukoricát fogyaszt.

A piac és a termelők legfontosabb igénye az új hibriddel szemben: a hektáronként betakarítható legnagyobb termésmennyiség. A kukorica termésátlaga az 1800-as évek végéhez képest körülbelül 600%-kal nőtt. Ez egyrészt a technológiai fejlesztéseknek, másrészt az értékes genetikai tulajdonságú hibridek kimagasló genetikai termőképességének köszönhető (Hallauer et al., 1988; Berzsenyi és Györfly, 1995). A potenciális termőképesség realizálódását azonban a fajtákon és hibrideken kívül nagymértékben befolyásolják a különböző szintű termesztéstechnológiák és a kedvezőtlen ökológiai tényezők. 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 termésnövekedést tehetjük felelőssé.

A kukoricánál kontinentális éghajlaton a kórokozók közül a legjelentősebb problémát a *Fusarium*-nemzetség fajai jelentik. Ezek a fajok a kukorica valamennyi részét fertőzhetik a csírázástól egészen az érésig. A kórokozó a növény szárát is megtámadja, melynek következményeként egyrészt a növény idő előtti elhalása miatt gyengébb lesz a szemtelítődés, ami könnyű, kicsi csöveket okoz. Másrészt a szárkorhadás által okozott veszteség a szártörés és dőlés miatt be nem takarítható termésből adódó betakarítási veszteség. Az irodalmi adatok szerint a fuzáriumos szárkorhadás okozta termésveszteség nagysága 6-35% között lehet (Manninger, 1967; Zuber és Kang, 1978; Lu et al., 1995; Logrieco et al., 2002).

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 szárkorhadást okozó 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.

1.2 A kutatás célkitűzései

A kutatómunka során 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 sejtfallbontó 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. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Vizsgált genotípusok

A kísérlet 3 évében 8 kétvonalas hibridet és azok szülői vonalait vizsgáltuk. A hibridek különböző években voltak köztermesztésben (1972-től 2006-ig) 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.

2.2 A szabadföldi kísérletek termőhelyi jellemzői

2.2.1 Talajadottságok

A kísérleti hely talajtípusa erdőmaradványos csernozjom. Talajmintavételi adatok szerint 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.

2.2.2 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. 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. A relatív páratartalom és az átlag hőmérsékleti adatok szempontjából a tenyészidőszakban a vizsgálati évek között nem volt jelentős eltérés.

2.3 Szántóföldi vizsgálatok

2.3.1 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 négy kezelés volt (két *Fusarium graminearum* izolátumot – (1) FG36, (2) FGH4 –, (3) steril szemes kezelést valamint a (4) kezeletlen kontrollt). Az állománysűrűség 52600 növény/ha volt.

2.3.2 A mesterséges fertőzéshez használt oltóanyag elkészítése

A mesterséges fertőzéshez két *Fusarium graminearum* (Schwa.) izolátumot használtunk (FG36 és FGH4). A fertőzéshez használt 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 12 óráig száradni hagytuk, majd 20 ml űrtartalmú üveg mintatartó edényekbe raktuk. A belső magfertőzéseket 60 °C-os, 2x5 perces szekvenciális vízfürdős, majd ezt követően egy 10 perces 121 °C-os szárazlevegős sterilizációval zártuk ki. A sterilizált magokat a két izolátum 10⁶ konídium/ml-re beállított szuszpenziójának 2 ml-nyi mennyiségével beoltottuk és a gomba fejlődéséhez szükséges légcsere érdekében papírvattadugóval zártunk és az elkészített egységeket 27 °C-on, 14 napig inkubáltuk. A kontrollként használt steril zabszemeket is a fentiek szerint készítettük el, elhagyva a beoltás lépését.

2.3.3 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 az alkohollal letisztított kukoricaszár földfelszíntől számított 2-3. internódiumain. 2 mm átmérőjű kézi lyukfúróval elkészített lyukba helyeztük a gombával benőtt és a steril zabszemeket, melyeket a szemek behelyezése után rögtön leukoplaszttal zártunk. 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 mintákat feldolgozásig -18 °C-on tároltuk.

2.3.4 Szövetkorhadás mértékének meghatározása

A bélszövet korhadásának mértékét két módszerrel határoztuk meg: F_{index} százalék számítással és számítógépes képelemző program alkalmazásával.

Egyik esetben a fagyaszott szármintákat hosszirányba kettévágtuk és a bélszövet állapotának megfelelően 0-5-ig terjedő skálaértékkel jellemeztük (Ikenberry és Foley, 1967; Kovács et al., 1988). Ezt követően F_{index} százalékot ($F_{i\%}$) számoltunk McKinney (1923) képlete szerint. Másik esetben a szárminták mindegyikét digitális fényképezővel lefényképeztük és az általunk használt Colim 4.0 képelemző program segítségével meghatároztuk az internódium teljes területéből a fertőzött terület nagyságát %-ban. A mérés elve az, hogy az egészséges és beteg szövet eltérő intenzitástartományú foltokból áll.

2.3.5 A szár mechanikai szerkezetének értékelése

A kéregellenállás meghatározása Zuber (1973) által kidolgozott módszer alapján egy általunk továbbfejlesztett kéreg-ellenállásmérővel történt. 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. 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.

2.4 Laboratóriumi vizsgálatok

2.4.1 Szárszövetminták előkészítése

A szárszövet celluláz enzim aktivitásának meghatározásához a fagyasztott szármintákból készítettük el a vizsgálathoz szükséges enzimforrásokat. A szárminták bélszövetét ollóval kisebb darabokra vágtuk, majd forgóképes aprítóval kukoricadara finomságig őröltük, melyből 1 g mennyiséget 10 ml 0,1 M acetát pufferben homogenizáltuk. A kapott elegyet papírvattán átszűrtük és 8000 rpm-n, 30 percig, 4 °C-on centrifugáltuk. A tiszta felülúszót (kb. 8 ml mennyiség) kétfelé osztottuk. Az egyik részét -20 °C-on tároltuk a minták további felhasználásáig, míg a fennmaradó részből két pH értéken elkészítettük az enzimforrás betöményített változatait. A fennmaradó híg enzimforrásokból kétszer 2 ml mennyiséget mértük 10 ml-es műanyag centrifugacsőbe, melyhez 6-

6 ml jéghideg acetont adtunk. Az elegyet 4 °C-on 12 óráig tartottuk, hogy a fehérjék kicsapódása teljes legyen. Ezt követően a pehelyszerű, fehérje-csapadékot 10000 rpm fordulaton, 10 percig, 4 °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 °C-on tároltuk.

2.4.2 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 K₂HPO₄ (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 gélből 9 cm-es műanyag petri-csészékbe 20 ml-t öntöttünk, majd 5 mm átmérőjű dugófúróval elkészítettük a lemezeken az enzimoldat tartó lyukakat. A lyukakba 20 µl fentiekben leírt módon készített enzimoldatot pipettáztunk, majd 37 °C-on 24 óráig hagytuk állni. Az enzimaktivitást az aktivitásgyűrű területével (mm²/37°C/24 óra) fejeztük ki, a Colim 4.0 képelemző program segítségével.

2.5 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.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Szárkorhadás vizsgálati eredmények

A genotípus szignifikánsan befolyásolta a szárkorhadás mértékét a hibridek és a vonalak esetében is. A kísérletek főátlaga mindkét értékelési módszernél a vonalak esetében nagyobb volt a hibrideknél és a szárkorhadásra való fogékonysága nagyobb variabilitást mutat.

A vizsgált beltenyésztett vonalakat szárkorhadásra való fogékonyságuk alapján három csoportba, az erősen, átlagosan és gyengén fertőző genotípusok közé soroltuk be. 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.

A hibrideknél a FAO 300-as éréscsoportban a legnagyobb károsodást a P05*P03, míg a legkisebbet a késői éréscsoport két hibridjénél kaptuk. A két eltérő korú késői hibrid szárkorhadás mértéke között szignifikánsan igazolható különbséget 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 szántóföldön bekövetkezett szárkorhadást két módszerrel határoztuk meg: az F_{index} -számítással és a Colim képelemző programmal. A két módszer közötti összefüggést mind a három évben meghatároztuk és megállapítottuk, hogy a két módszerrel meghatározott adatok 95-96%-os biztonsággal becsülhetők egymásból. Ezt követően összehasonlítottuk a két módszerrel meghatározott kórképek által nyert információk pontosságát, érzékenységét és használhatóságát. Eredményeink szerint az F_{index} -számítással a három év (2006-2008) négy kezelésénél (FG36, FGH4, Steril, Kontroll) 3, míg a képelemző programmal 8 esetben tudtunk több szignifikáns különbséget kimutatni vonalak és a hibridek között. A többi esetben azonos számú genotípus között differenciált a két módszer. 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, azaz az értékek közötti szórások átlaghoz viszonyított arányai voltak a kisebbek.

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 négyenél 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.

3.2 A szár mechanikai szerkezetét befolyásoló és jellemző tulajdonságok eredményei

A vonalak és a hibridek esetében is 2006-ban és 2007-ben mértük a kisebb kéreg-ellenállási értékeket, míg 2008-ban nagyobbakat. A hibridek héjkéreg-ellenállása júliusban és októberben is nagyobb volt a vonalaknál 2006-ban és 2008-ban, viszont 2007-ben mindkét mérés alkalmával nagyobb volt a vonalak héjkéreg-ellenállása. 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 genotípusoknak a négy kezelés és az évjáratok átlagában meghatározott héjkéreg-ellenállási értékei szerint a legnagyobb héjkéreg-ellenállást a hibrideknél és a vonalaknál is a kontrollkezelésben kaptuk, ezt követte a sterilszemmel megszűrt, 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.

A hibridek nyáron mért héjkéreg-ellenállás átlagértéke (32,95) meghaladta a vonalak (28,43) nyáron mért héjkéreg-ellenállás átlagértékét. Ősszel a hibridek héjkéreg-ellenállásának átlaga 24,07 egység volt, viszont a vonalaké 27,32, azaz ősszel a hibridek héjkéreg-ellenállása kisebb volt. 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 hibridekéénél. 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.

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. A hibridek közül a hosszabb tenyészidejű genotípusoknak volt vastagabb száruk. A

legkisebb szárátmérőt a FAO300-as éréscsoport végén helyet foglaló, két régebbi nemesítésű hibridnél (P05*P03, P09*P14) mértük.

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. A legkisebb szárdőlési százalékot két ISSS rokonsági körbe tartozó (P07, és P12) vonal esetében kaptuk. A fentiek szerint a szárdőlési hibát a genotípus nagymértékben meghatározza.

A különböző kezelések a beltenyésztett törzseknél és a hibrideknél is eltérő szárdőlést okoztak. 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 mesterséges fertőzés hatására nőtt a vizsgált genotípusok szárdőlése, azaz a patogén gomba szerepet játszott a szárdőlés kialakulásában.

3.3 A genotípusok szárszövet-kivonatainak celluláenzim-aktivitás eredményei

A genotípusok között a celluláenzim-aktivitás tekintetében szignifikánsan igazolható különbségek voltak a beltenyésztett törzsek és a hibridek csoportjaiban. A legnagyobb celluláenzim-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 celluláenzim-aktivitás.

Megvizsgáltuk a híg és a betöményített szövetkivonatok celluláenzim-aktivitása közötti összefüggéseket is. A négy kezelés híg szövetkivonatos celluláenzim-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. A többi esetben nem volt szignifikánsan igazolható a kapcsolat. A híg és a betöményített szövetkivonat azonos kezelése

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.

3.4. A szárszilárdságot befolyásoló tulajdonságok összefüggésvizsgálatainak eredményei

Meghatároztuk 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 két mérési 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. 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 a két tényező között. A 22 genotípus négy kezelésében a szárkorhadás és cellulázenzim-aktivitás közötti összefüggéseket is meghatároztuk. 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 három évben a természetes fertőzés következményeként (kontrollkezelés) több genotípusnál sem tapasztaltunk szárkorhadást. Ezeknek a szövetkivonataiból cellulázenzim-aktivitást sem tudtunk kimutatni.

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

Az őszi kéregellenállás és a szárátmérő esetében statisztikailag igazolható pozitív kapcsolatot figyeltünk meg: közepes erősségűt a beltenyészett törzseknél és szorosat a hibrideknél.

A kéregellenállás és a dőlés között a vonalak és a hibridek esetében közepes, negatív kapcsolatot állapítottunk meg mindkét időpontban végzett héjkéreg-ellenállás alkalmával.

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

A három szárszövet kivonat között nagyon szoros, pozitív összefüggést állapítottunk meg a beltenyészett törzseknél és a hibrideknél is.

3.5 A szár szilárdságát befolyásoló tulajdonságok örökölhetőségi vizsgálataink eredményei

A szárcorhadás szülő-utód regresszió a szülőátlag-hibridutód összefüggés esetében mindkét mérési módnál szignifikáns ($P=1\%$), valamint a tulajdonság a h^2 értékei is nagyok. Ez azt jelenti, hogy amennyiben kellő variabilitással rendelkező nemesítési anyag áll a rendelkezésünkre, akkor viszonylag könnyen és nagy biztonsággal tudunk pozitív variánsokat szelektálni. Az anyai szülő-hibridutód korrelációs koefficiens értéke mindkét mérési módszerrel meghatározott szárcorhadásnál szignifikáns, nagyon szoros kapcsolatot mutat, addig az apai szülő-hibridutód regressziója statisztikailag nem igazolható. A h^2 értékek szerint a szárcorhadás fogékonyságának örökölhetőségében az anyai hatás a meghatározó, az apai hatás szerepe jóval kisebb.

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 ebben az időpontban a megbízhatósági szint és a korreláció mértéke is alacsonyabb. 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 szárátmérő szülőátlag - hibrid regressziója megbízható, és a becült 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.

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 nem értelmezhető. A tulajdonság örökölhetőségi értékei szerint az cellulázenzim-aktivitás örökölhetőségében az anyai hatás a meghatározó, az apai hatás szerepe sokkal kisebb.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

4.1. A szárkorhadási vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések

A szántóföldi kísérletek eredményei szerint a genotípusok között a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságban szignifikánsan igazolható különbségek voltak. 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).

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.

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. Kísérletünkben összehasonlítottuk a vizuális és a képelemző programmal meghatározott kórképek által nyert adatok pontosságát és érzékenységét. A mérések alkalmával – két esetet kivéve – a képelemző CV értékei voltak a kisebbek. Mivel mérésekkor a CV relatív hibának is felfogható, kijelenthetjük, hogy a két módszer közül a képelemző a pontosabb. 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 (Todd és Kommedahl, 1994; Bock et al., 2008; Gergely, 2004).

Elemeztük a kezelések közötti összefüggések évjáráthatásait. 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 évjáráthatásoktól. 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). A természetes fertőzés hatására kialakuló szárkorhadás nagysága jelentősen környezetfüggő, ezért a szelekciós munkákhoz a mesterséges fertőzés alkalmazását tartjuk elfogadhatóbbnak.

4.2 A szár mechanikai szerkezetét jellemző eredményekből levont következtetések

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. A három évjárat közül 2006-2007 száraz, míg 2008 csapadékos év volt. Marton (2002) szintén nagyobb héjkéreg-ellenállást mért két tőszám mellett is a vonaloknál 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 vonaloknál nagyobb volt a héjkéreg-ellenállás, mint a hibrideknél.

Mesterházy (1981) adatai szerint a szárkorhadás és a héjkéreg-ellenállás 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 megszárt, majd a két *Fusarium* izolátummal fertőzött szár kéregellenállása. 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 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 hibrdek közül is a régebbi nemesítési anyagok dőltek meg a legnagyobb mértékben.

4.3. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján tett következtetések

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 hibrdek esetében is. A híg- és a betöményített szövetkivonat azonos kezelése között mindkét esetben $P_{0,1\%}$ vagy $P_{1\%}$ valószínűség mellett nagyon szoros, pozitív összefüggés állt fenn. A fentiek szerint a híg szövetkivonattól 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.

4.4. Az összefüggés-elemzések eredményei alapján tett következtetések

A dolgozatban vizsgált tulajdonságok között a legszorosabb összefüggést a szárkorhadás és a cellulázenzim-aktivitás között kaptuk. A vonalagnál és a hibrdeknél 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; Szöke 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). Adataink szerint a beltenyésztett törzsek és a hibrdek enzimaktivitási értékei is felhasználhatóak a genotípusok szárkorhadással szembeni fogékonyságának jellemzésére.

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 héjkéreg-ellenállás szülő-utód regressziója 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 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. A fenti adatok szerint már virágzásban megfelelő információt kaphatunk erről a tulajdonságról, így a beltenyésztett törzsek közül azokat öntermékenyíthetjük, melyeknek nagyobb a héjkéreg-ellenállása.

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 növény számnál a szárátmérő és a szárdőlés között közepes, negatív, míg 40.000 tő/ha növény számnál szignifikánsan nem igazolható, laza, negatív összefüggést kapott. A szárátmérő és a héjkéreg-ellenállás között megbízható pozitív korrelációt mutatott ki. 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 vonalaknál a szárátmérő és az őszi héjkéreg-ellenállás érték 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.

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 összevetve: 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.

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 esetében is hasonló kapcsolatokat kaptunk. 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-Afryie és Hunter, 1982; Anderson és White, 1994; Marton, 2002).

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) recipokhatásra tett megállapítását érdemes figyelembe venni, főleg ha ez a vetőmag előállítás – ami szintén fontos kérdés egy új hibrid tervezésénél – nem befolyásolja kedvezőtlenül.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Munkánk során a kukorica fuzáriumos szárcorhadásával és a szár mechanikai szerkezetét befolyásoló tulajdonságokkal, valamint a közöttük lévő összefüggések elemzésével foglalkoztunk. Meghatároztuk a vizsgált genotípusok szárcorhadással 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 vizsgálatokkal meghatároztuk a szántóföldön végzett mesterséges és természetes fertőzés következményeként szárcorhadt szárok 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.

Kutatási eredményeink alapján az alábbi új és újszerű tudományos megállapításokat tehetjük:

A vizsgált genotípusok szántóföldi jellemzése alapján megállapítottuk, hogy a fuzáriumos szárcorhadással szembeni ellenállóságuk különböző. A vizsgált beltenyésztett kukorica vonalak közül a legjobb szárcorhadással szembeni ellenállósággal jellemezhető genotípusok az ISSS rokonsági körbe tartoztak. Jó szárcorhadással 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 szárcorhadással szemben, mint a korábban nemesítettek.

Megállapítottuk, hogy a két szárcorhadási értékelési módszer közül a képelemzővel mért adatok pontosabb eredménnyel szolgálnak a szárcorhadással 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 szárcorhadással 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 virágzaskori fenofázisban már megfelelő információt kaphatunk a szárszilárdsági hibára hajlamos vagy toleráns alvonalokról, így a beltenyészett 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.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Ahmad, Y., Hameed, A., Ghaffer, A. (2006): Enzymatic activity of fungal pathogens in corn. *Pak. J. Bot.*, 38:1305-1316.
2. 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.
3. Berzsenyi Z., Györfly B. (1995): Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. *Növénytermelés* 44:507-517.
4. 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.
5. Chambers, K.R. (1987): Stalk Rot of Maize: Host-pathogen Interaction. *J. Phytopathology*, 118:103-108.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Koehler, B.G. (1960): Corn stalk rots in Illinois. *Bulletin* 658:1-90.
15. Kovács I. (1973): Stalk rot studies in maize. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 47:212-214.

16. Kovács G. Jr., Kovács G., Mesterházy Á., Korom A. (1988): Kukoricahibridek csőszárfuzáriummal szembeni ellenállósága és mechanikai szilárdsága. *Növénytermelés*, 37:1-12.
17. 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.
18. 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.
19. Manninger I. (1967): Kétéves tapasztalatok a kukorica fuzáriumos megbetegedéséről és a védekezési lehetőségei. *Magyar Mezőgazdaság*, 13:12-13.
20. Marton L. Cs. (2002): Kukoricahibridek termése, tenyészideje és szárszilárdsága. *Akadémiai doktori értekezés*. Martonvásár. 191. p.
21. 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.
22. Mesterházy Á. (1981): A kukorica kéregellenállásának és szárkorhadással szembeni ellenállóságának kapcsolata. *Növénytermelés*, 30:309-320.
23. 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.
24. Nagy J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest 393 pp.
25. Novo, M., Pomar, F., Gayoso, C., Merino, F. (2006): Cellulase Activity in Isolates of *Verticillium dahliae* Differing in Aggressiveness. *Plant Dis.*, 90:155–160.
26. 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.
27. 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.
28. Sprague, G.F. (1946): Early testing of inbred lines of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 38:108-117.
29. Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a mezőgazdasági kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 490 p.
30. Szécsi Á. (1985): Sejtfalbontó gombaenzimek. In: Érsek T., Hornok L. (eds.) *Kórokozók és a fertőzött növény*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 209 pp.
31. Szécsi Á. (2005): Szóbeli közlés, Budapest
32. Szőke, C., Rácz, F., Spitkó, T., Marton, L.C. (2009): Date on the *Fusarium* stalk rot. *Maydica*, 54:211-215
33. 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.

34. 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.
35. Zuber, M.S. (1973): Evaluation of progress in selection for stalk quality. *Proc. Ann. Res. Conf. of ASTA*, 28:110-122.
36. Zuber, M.S., Kang, M.S. (1978): Corn lodging slowed by sturdier stalks. *Crops Soils*, 30:13–15.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

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. Spitzkó, L. C. Marton (2009): Date 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., Szilávik Sz., Rácz F., Pintér J. (2009): Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása. In: Veisz, O. (ed.) *Hagyomány és haladás a növénynevelésben*. 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 termésselemeire 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

Virág I., **Szőke Cs.** (2011): Field and laboratory examinations of corn plants by means of hyperspectral imaging technology. *Növénytermelés*, Suppl. **60**:69-72

Konferencia-részvétel az értekezés témájában:

Szőke Cs., Kizmus L., Marton L. Cs. (2003): Kukoricahibridek fuzáriumos csőpenész vizsgálata eltérő ökológiai körülmények között. *IX. Növénynevelési 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 kukoricamolyle kártétele közötti összefüggések elemzése. *X. Növénynevelési Tudományos Napok*, Budapest, p. 159

C. Szőke, Z. Hegyi, J. Pintér, C. L. Marton, Á. Szécsi (2006): Correlation between stalk rot caused by maize *Fusarium* 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. Növénynevelési Tudományos Napok*, Budapest, p. 166

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

Szőke Cs., Rácz F., Marton L. Cs. (2008): A kukoricabogár elleni védekezés lehetőségei konvencionális nemesítéssel. *XIV. Növénynevelési 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. Növénynevelési Tudományos Napok*, Budapest, p. 132