

## Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadásának értékelése képelemző program és fertőzési index számítás segítségével.

Szőke Csaba<sup>1</sup> – Virág István<sup>2</sup> – Magyar Donát<sup>3</sup> – Rácz Ferenc<sup>1</sup> – Marton L. Csaba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár

<sup>2</sup>NYME-MÉK Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete, Mosonmagyaróvár

<sup>3</sup>Országos Környezetegészségügyi Intézet, Budapest

szokecs@mail.mgki.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A kukoricánál kontinentális éghajlaton a kórokozók közül a legjelentősebb problémát a *Fusarium*-nemzetség fajai jelentik. A kórokozó a növény szárát is megtámadja, melynek következményeként egyrészt a növény idő előtti elhalása miatt gyengébb lesz a szentelítődés, ami kicsi, könnyű csöveket okoz. Másrészt a szárkorhadás által okozott veszteség a szártörés és dőlés miatt be nem takarítható termésből adódó betakarítási veszteség. A kísérlet 3 évében 14 beltenyésztett vonalat vizsgáltuk. A vizsgált genotípusokat kétféle, 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). A szántóföldi kísérletek eredményei szerint a genotípusok között a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságban szignifikánsan igazolható különbségek voltak. A beltenyésztett törzsek közül a fuzáriumos szárkorhadással szembeni legjobb ellenállósága a P06 és P07 jelű törzseknek volt, melyek az ISSS rokonsági csoportba tartoznak. Kísérletünkben összehasonlítottuk a vizuális és a képelemző programmal meghatározott körképek 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 természetes fertőzés hatására kialakuló szárkorhadás nagysága jelentősen környezetfüggő, ezért a szelekciós munkákhoz a mesterséges fertőzés alkalmazását tartjuk elfogadhatóbbnak.

### SUMMARY

In a continental climate, the pathogens causing the most serious problems are species belonging to the *Fusarium* genus. When the pathogen attacks the stalk, the plant dies earlier, reducing grain filling and resulting in small, light ears. In addition, the stalks break or lodge, resulting in further yield losses from ears that cannot be harvested. During the three years of the experiment, 14 inbred lines were examined. The genotypes were sown in a two-factor split-plot design with four replications, with the genotypes in the main plots and four treatments in the subplots: two *Fusarium graminearum* isolates (1. FG36, 2. FGH4), 3. sterile kernels, 4. untreated control. The results of the experiments showed significant differences between the genotypes for resistance to fusarium stalk rot. Among the inbred lines the best resistance to fusarium stalk rot was exhibited by P06 and P07, both of which were related to ISSS. The precision and sensitivity of disease evaluations carried out visually and using image analysis software were compared in the experiment, and with two exceptions the CV values were lower for the image analysis. As the CV for measurements can be considered as a relative error, it can be stated that image analysis is the more precise of the two methods, so this technique gives a more accurate picture of the extent of stalk rot. The extent of stalk rot developing in response to natural infection is extremely environment-dependent, so the use of artificial inoculation is recommended for selection trials.

**Kulcsszavak:** fuzáriumos szárkorhadás, számítógépes képelemző program

**Keywords:** fusarium stalk rot, computerised image analysis

### BEVEZETÉS

Orke (2005) adatai szerint a kukoricában a növénybetegségek okozta kár 9,4%-ról 11,2%-ra nőtt. 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, a gazdaságra, az egészségügyre, a társadalomra gyakorolt közvetlen, illetve közvetett szerepük megkérdőjelezhetetlen. A kukoricát több *Fusarium*-faj is megtámadja, ezek közül a *F. graminearum*, a *F. culmorum*, a *F. verticillioides* és a *F. subglutinans* fajok a leggyakoribbak. A kórokozó a növény szárát is megtámadja. A szárkorhadás által okozott közvetlen kár egyrészt a növény idő előtti elhalása miatt gyengébb szentelítődésből ered, ami kicsi, könnyű csöveket okoz. Az irodalmi adatok szerint az ebből adódó termésveszteség széles intervallumban mozog. Bottalico (1998) és Logrieco *et al.* (2002) a kórokozó által okozott termésveszteséget 6-35% között mérte, míg kínai kutatók 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 veszteségből. A szárkorhadás következményeként 5-20%-os szárdőlésről számoltak be (Fischl, 1990; Malvick, 1995).

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 (Marasas *et al.*, 1988; 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 növénykórtani kutatások során alkalmazott mérési és értékelési módszerek gyakran szubjektív megítéléseket is tartalmaznak, illetve a növényekről vizuálisan nyert információk egzakt számszerűsítése is problémát jelenthet. 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. Szerzők képelemző programmal és vizuális becsléssel értékelték a kukorica fuzáriumos szárkorhadását. Megállapították, hogy 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, azonban örökölhetőségi vizsgálatokhoz és fuzáriumos szárkorhadással szembeni rezisztencia munkákhoz a képelemzővel meghatározott adatok használatát tartják előnyösebbnek (Todd és Kommedahl, 1994; Szőke, 2011).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokat 2006-2008 között végeztük Martonvásáron, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetben (MTA MGKI). A vizsgált 14 kukoricavonalat 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.

A fertőző anyagot Szőke (2011) által leírt módon készítettük el. 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. Parcellánként 6 növényt fertőztünk és a negyedik, kezelés nélküli alparcella növényei közül a természetes fertőzés meghatározásához szintén 6 növényt értékeltünk. A minták begyűjtése október első dekádjától, érécsoportoknak megfelelő sorrendben történt.

A bélszövet korhadásának mértékét két módszerrel határoztuk meg. A szármintákat hosszirányban kettévágtuk és a bélszövet állapotának megfelelően 0-5-ig terjedő skálaértékkel jellemeztük (Kovács *et al.*, 1988), majd fertőzöttségi index százalékot ( $F_{i\%}$ ) számoltunk (McKinney, 1923). Az értékelt szárminták mindegyikét digitális fényképezővel lefényképeztük, hogy a szárkorhadás mértékét az általunk használt Colim 4.0 képelemző program segítségével is meghatározhassuk (Szőke, 2011). A mérés elve az, hogy az egészséges és beteg szövet eltérő intenzitástartományú foltokból áll.

Vizsgálataink során kapott adataink segítségével több tényezős varianciaanalízist és lineáris regresszió analízist számoltunk. A statisztikai próbák során kapott eredmények értelmezéséhez Sváb (1981) munkáját használtuk fel.

## EREDMÉNYEK

A szántóföldi kísérletek alkalmával az alkalmazott kezelések hatására bekövetkezett kártétel mértékét értékeltük a vizsgált kukoricavonalak esetében. Ezt a meghatározást két módszerrel is elvégeztük: képelemző program segítségével (Colim 4.0) és fertőzési index ( $F_i$ ) számítással, majd összevetettük a két módszer pontosságát és érzékenységét.

A genotípusokon bekövetkezett szárkorhadás mértékét az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban feltüntettük a Colim képelemző programmal mért, illetve az  $F_{index}$  képletével számított értékeket. A táblázat a 2006-2008. évek, és a négy kezelés átlagértékeit tartalmazza. A genotípus szignifikánsan befolyásolta a szárkorhadás mértékét. A legnagyobb szárkorhadást a P03, míg a legkisebbet a P06 jelű vonal szenvedte (1. táblázat). 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.

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

1. táblázat

A vizsgált genotípusok szárkorhadásának mértéke a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, steriliszemes, 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).

VONALAK (1)	GENETIKAI HÁTTER (2)	SZÁRKORHADÁS (3)	
		Képelemző adatai, % (4)	Fertőzési index, % (5)
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 <sub>VONAL</sub> (6)		<b>42,50</b>	<b>46,67</b>
SzD <sub>5%VONAL</sub> (7)		<b>1,98</b>	<b>2,42</b>

Table 1: Extent of stalk rot in the individual genotypes, averaged over the treatments (FG36 isolate, FGH4 isolate, sterile kernels, control) and the years (2006-2008). Significant differences between the genotypes are indicated for both methods (Colim image analysis,  $F_{index}$ ) by different letters (Martonvásár, 2006-2008).

Inbred lines (1), Background of genetic (2), Stalk rot (3), Data of image analysis (4), Data of  $F_{index}$  (5), Average<sub>inbred line</sub> (6), LSD<sub>5%inbred line</sub> (7)

Az 1-3. 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.

1. ábra: Összefüggés a képelemző programmal és az  $F_{index}$ -számítással meghatározott szárkorhadási értékek között a 14 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, steriliszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2006)

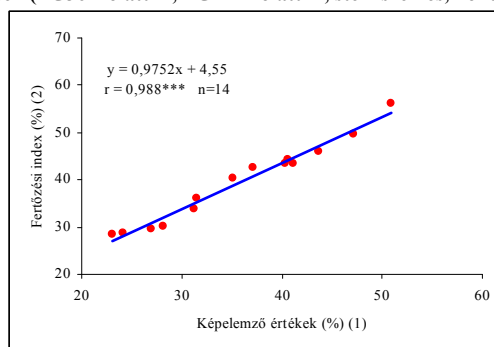


Figure 1: Correlation between the stalk rot values determined using the image analysis program and the calculation of the  $F_{index}$ , based on the data obtained for 14 genotypes and averaged over the treatments (FG36 isolate, FGH4 isolate, sterile kernels, control) Martonvásár, 2006

Value of image analysis (1), Index of infection (2)

2. ábra: Összefüggés a képelemző programmal és az  $F_{index}$ -számítással meghatározott szárcorhadási értékek között a 14 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, steriliszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2007)

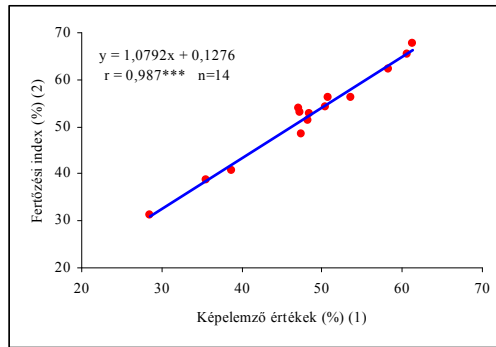


Figure 2: Correlation between the stalk rot values determined using the image analysis program and the calculation of the Findex, based on the data obtained for 14 genotypes and averaged over the treatments (FG36 isolate, FGH4 isolate, sterile kernels, control) (Martonvásár, 2007)

Value of image analysis (1), Index of infection (2)

3. ábra: Összefüggés a képelemző programmal és az  $F_{index}$ -számítással meghatározott szárcorhadási értékek között a 14 vizsgált genotípus adatai alapján a kezelések (FG36 izolátum, FGH4 izolátum, steriliszemes, kontroll) átlagában (Martonvásár, 2008)

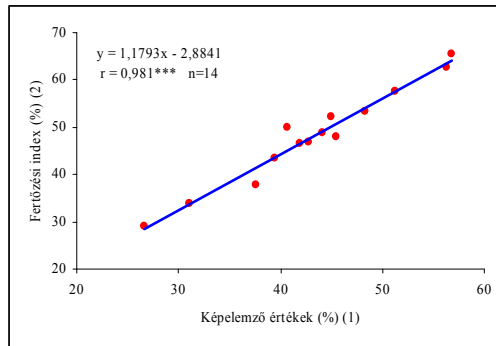


Figure 3: Correlation between the stalk rot values determined using the image analysis program and the calculation of the Findex, based on the data obtained for 14 genotypes and averaged over the treatments (FG36 isolate, FGH4 isolate, sterile kernels, control) Martonvásár, 2008

Value of image analysis (1), Index of infection (2)

A két mérési módszerrel statisztikailag is elkülöníthető genotípusok számát, valamint a mérésekhez tartozó CV értékeket a 2. táblázatban foglaltuk össze. Adataink szerint két esetben volt az  $F_{index}$ -számítás pontosabb a képelemzővel meghatározott adatoknál (steril kezelés, 2006-ban és az FGH4 fertőzés, 2007-ben), 10 további kezelésnél mindig a képelemző bizonyult pontosabbnak (2. táblázat).

2. táblázat

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

Mérési módszer (1)	KUKORICA VONALAK (2)											
	2006				2007				2008			
	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT	FG36	FGH4	STERIL	KONT
Képelemző (3)	5	9	9	2	9	8	6	3	6	6	9	2
Fertőzési index (4)	9	7	7	2	7	5	4	3	7	7	9	2
CV <sub>képelemző</sub> (5)	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 <sub>F<sub>index</sub> mérési index</sub> (6)	13,39	15,01	21,07	125,76	6,44	9,11	18,48	56,72	10,44	11,7	22,48	124,84

Table 1: Comparison of the stalk rot values obtained using image analysis and by calculating the Findex. For each treatment the number of genotypes where the results obtained with the two methods were statistically different is given, together with the CV values calculated for each method Martonvásár, 2006-2008

Method of measurement (1), Inbred lines (2), Image analysis (3), Index of infection (4), CV<sub>image analysis</sub> (5), CV<sub>Findex</sub> (6)

A képelemző program 2006-ban az FG36 izolátummal fertőzött kezelésnél 5 vonal között differenciált, míg az  $F_{index}$ -számítás 9 anyag között. A kontroll kezelésnél a két módszer azonos érzékenységűnek bizonyult, míg két esetben (FGH4 és a steril kezelés) a képelemző volt érzékenyebb. 2008-ban a mesterséges fertőzéseknél (FG36, FGH4) az  $F_{index}$ -számítás 7 szignifikáns különbséget, míg a képelemző csak 6 vonal között differenciált. A kontroll és a steriliszemes kezeléseknél a két módszer azonos számú anyag között volt képes differenciálni. 2007-ben a kontrollkezelésnél mindkét módszer 3 vonal között tudott szignifikáns különbséget tenni. Három

esetben pedig a képelemző program volt érzékenyebb: az FG36 izolátum esetében 9, az FGH4 izolátumnál 8 és a steriliszemes kezelésnél 6 vonal között differenciált. Ezzel szemben az  $F_{index}$ -számítás az FG36 izolátum esetében 7, az FGH4 izolátumnál 5 és a steriliszemes kezelésnél pedig csak 4 beltenyésztett törzs között differenciált.

A képelemző érzékenysége az  $F_{index}$ -számítással szemben a beltenyésztett törzseknél 2007-ben volt a legmarkánsabb. Ez az évjárat volt a legkedvezőtlenebb a kukoricatermesztés szempontjából, míg a kórokozó számára szinte ideális volt. A mesterséges fertőzéseknel (FG36 és FGH4) a vonalak esetében is több genotípus között differenciált a képelemző program. Ebben az évben a mesterséges fertőzés a kedvező környezeti feltételeknek köszönhetően olyan erős hatású volt, hogy a különbségek meghatározásához a képelemző program érzékenysége volt szükség.

Összevetve a két módszerrel is meghatározott évjáratonkénti természetes és mesterséges fertőzés következményeként bekövetkezett szárkorhadás mértékét, azt láthatjuk, hogy a vonalaknál nem tudunk lényeges különbségeket tenni a természetes fertőzés következményeként bekövetkezett szárkorhadás alapján, míg a mesterséges fertőzés megfelelően differenciált a genotípusok között.

A képelemzővel meghatározott, évjáratok és kezelések közötti szárkorhadás összefüggéseket a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatban az azonos kezelések (fertőzött-fertőzött, steriliszemes-steriliszemes, 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 adataink szerint az eltérő évjáratok adatai közötti összefüggések a négy kezelés esetében eltérőek. 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 steriliszemes 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.

3. táblázat

**Képelemzővel meghatározott, évjáratok (2006, 2007, 2008) és a kezelések (két mesterséges kezelés, FG36 és FGH4, steriliszemes 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 <sup>+</sup>	0,42 <sup>+</sup>	1								
2007 FG36	0,59**	0,64**	0,35 <sup>NS</sup>	0,34 <sup>NS</sup>	1							
2007 FGH4	0,61**	0,52*	0,12 <sup>NS</sup>	0,29 <sup>NS</sup>	0,80***	1						
2007 STER	0,44*	0,61**	0,47*	0,30 <sup>NS</sup>	0,61**	0,54*	1					
2007 KONT	0,52*	0,55**	0,53*	0,94***	0,47*	0,40 <sup>+</sup>	0,43*	1				
2008 FG36	0,58**	0,58**	0,29 <sup>NS</sup>	0,34 <sup>NS</sup>	0,60**	0,66***	0,40 <sup>+</sup>	0,42 <sup>+</sup>	1			
2008 FGH4	0,67***	0,58**	0,30 <sup>NS</sup>	0,24 <sup>NS</sup>	0,67***	0,82***	0,63***	0,37 <sup>+</sup>	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 <sup>+</sup>	0,60**	0,60**	0,34 <sup>NS</sup>	0,44*	0,27 <sup>NS</sup>	0,72***	0,53*	0,42 <sup>+</sup>	0,46*	0,52*	1

Table 3: Values of the correlation coefficients between years (2006, 2007, 2008) and treatments (two artificial inoculations, FG36 and FGH4, sterile kernels, control) for the stalk rot determined with image analysis. Correlations between the years for the same treatment are highlighted in green ( $P_{0,1\%} = ***$ ,  $P_{1\%} = **$ ,  $P_{5\%} = *$ ,  $P_{10\%} = +$ , NS= no significant)

Ez azt jelenti, hogy a genotípusok közötti szárkorhadás különbségek meghatározására a mesterséges fertőzés, évjáratától kevésbé befolyásolva, megbízhatóan alkalmazható. A steriliszemes 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 kezelése közötti összefüggés a két mesterséges fertőzés között (FG36, FGH4) szoros,  $P=0,1\%$ -on megbízható volt. A mesterséges fertőzések (FG36, FGH4) és a steriliszemes kezelés azonos évben mért adatai között mind a három évben  $P=1\%$ -on és  $P=5\%$ -on megbízható, közepes összefüggéseket

kaptunk. A steriliszemes 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 kontroll kezelés (természetes fertőzés) között mutattunk ki, itt a kapcsolat  $P=5\%$  és  $P=10\%$  megbízhatósági szinten laza-közepes volt (3. táblázat).

### KÖVETKEZTETÉSEK

A szántóföldi kísérletek eredményei szerint a genotípusok között a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóságban szignifikánsan igazolható különbségek voltak. A beltenyészett 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 (vizleadás, gyökér- és szárdőlés, csőeredés magassága) való nemesítésnek (Holthaus és Lamkey, 1995).

A két értékelési 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 növénykörtani 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 illetve az is előfordult, hogy ugyanazon kórképekre nagyon eltérő értékeket adtak.

Kísérletünkben összehasonlítottuk a vizuális és a képelemző programmal meghatározott kórképek által nyert információk pontosságát, érzékenységét és használhatóságát. Az esetek többségében a képelemző program azonos vagy több genotípus között tudott különbséget kimutatni. A CV értékeket is megvizsgálva megállapítottuk, hogy két eset 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. Todd és Kommedahl (1994) is nagyobb értékeket kapott vizuális értékelést alkalmazva, miután a skála értékeket átszámolták százalékos értékké. 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).

Eredményeink szerint általános szkrínelési feladatokhoz elégséges lehet a vizuális értékelési módszer, viszont, ha a vizsgált genotípusok szárkorhadással szembeni érzékenységéről pontosabb információra van szükségünk (örökölhetőségi vizsgálatok, fuzáriumos szárkorhadással szembeni rezisztencia munkák), akkor a képelemző használatát tartjuk előnyösebbnek. Todd és Kommedahl (1994) is hasonló megállapítást tesznek.

Évjáratonként elemezve megállapítható, hogy a legmegbízhatóbb szárkorhadással kapcsolatos információt akkor kapjuk, ha mesterséges fertőzést alkalmazunk. 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 évjáráthatásuktól. Irodalmi adatok szerint a mesterséges fertőzések eredményei jellemzően jól korrelálnak a természetes fertőzöttség értékeivel (Ledencan et al., 2003; Palaversic et al., 2007), bár ezzel ellentmondó vélemények is vannak (Mesterházy, 1981). Esetünkben az évjáraton belüli kapcsolatok a következők szerint alakultak: a két mesterséges fertőzés között volt a legszorosabb kapcsolat, ezt követte a mesterséges-steriliszemes, majd a steriliszemes-kontrollfertőzések közötti kapcsolat. A legkevésbé szoros összefüggés ugyan a mesterséges-kontroll kezelések között volt, de ebben az esetben is szignifikáns, közepes erősségű korrelációkat számítottunk. A természetes fertőzés hatására kialakuló szárkorhadás nagysága jelentősen környezetfüggő, ezért a szelekciós munkákhoz a mesterséges fertőzés alkalmazását tartjuk elfogadhatóbbnak.

A kutatásokat az AGRISAFE Project (EU-FP7-REGPOT 2007-1 No. 203288) támogatta.

### IRODALOM

- Blanchette, R. A. (1982): New technique to measure tree defect using an image analyzer. *Plant Dis.*, 66:394-397.
- 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.
- Bottalico, A. (1998): *Fusarium* diseases of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 80: 85-103.
- 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.
- Fischl G. (1990): A kukorica szárkorhadás etiológiája Nyugat-Magyarországon. *Körtani és rezisztenciaproblémák búzában és kukoricában*. Szeged, 1990. 12. 06 16. p.

- 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.
- 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.
- 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.
- Kovács G. Jr.-Kovács G.-Mesterházy Á.-Korom A. (1988): Kukoricahibridek cső-szárfuzáriummal szembeni ellenállósága és mechanikai szilárdsága. *Növénytermelés*, 37: 1-12.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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*. *Onderstepoort J. Vet. Res.*, 55: 197-203.
- Mesterházy Á. (1981): A kukorica kéregellenállásának és szárkorhadással szembeni ellenállóságának kapcsolata. *Növénytermelés*, 30: 309-320.
- Oerke, E. C. (2005): Crop losses to pest. *The Journal of Agricultural Science*, 144: 31-43.
- Palaversic, B.-Kozic, Z.-Jukic, M.-Sabljko, A.-Buhinicek, I. (2007): Evaluation of inoculation techniques for testing maize hybrids for resistance to stalk anthracnose. *Cer. Res. Comm.* 35: 881-884.
- Raffai P. (1999): A fuzariotoxinok hatása a sertés termelésére és egészségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 48: 253-264.
- 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.
- Sprague, G. F. (1946): Early testing of inbred lines of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 38: 108-117.
- Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a mezőgazdasági kutatásban. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest. 490 pp.
- Szőke Cs. (2011): Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása és a szár szöveti szerkezete közötti összefüggés-vizsgálatok és hatásuk a szárszilárdságra. *PhD értekezés*, Martonvásár, 118 pp.
- 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.