

Kukorica genotípusok vízellátottsága és vízhasznosítása

RAJKAINÉ VÉGH KRISZTINA és SZUNDY TAMÁS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és
MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár

Az 1980-as évek óta „az aszály – az átlagos, (szokásos) mértéket meghaladó vízhiány” (BUSSAY et al., 1999) –, egyre nagyobb jelentőségénél fogva, a mezőgazdaság és vízgazdálkodás hazai szakembereinek központi kérdésévé vált (VERMES, 1993, 2002). Alapvető követelmény a talaj vízkészletének megőrzése és mind nagyobb határfokú hasznosítása (VÁRALLYAY, 1988, 2002).

A kérdéskör jelentőségének megfelelően világszerte folytak és folynak vizsgálatok a termesztett növények vízfelhasználásának és vízhasznosításának megismerése érdekében. Egyrészt azért, mert ha nincs is vízhiány, az adatok a szántóföldi, ill. regionális vízegyensúly-bebecslések alapjául szolgálnak, másrészt viszont azért, mert a szárazság sajnos gyakori jelenség, csökkenti a növényi növekedést, befolyásolja a szárazanyag-megoszlást és így az értékesíthető termés nagyságát is. A termés kiesés miatt fel nem vett, maradék műtrágya pedig a talajban maradva a környezet szennyezésének forrása lehet. Az UNESCO szerint a mezőgazdaság a legnagyobb vízhasználó. A vízfelhasználás Európában az elmúlt száz évben mintegy tizennyolcszorosára nőtt, míg a világ egészére vonatkozóan a vízfelhasználás kb. kilencszeres növekedése jellemző. Amíg a mezőgazdaság egyre intenzívebbé válása miatt a vízfelhasználás mértéke rohamosan nő, az öntözés speciális problematikája miatt az öntözésbe vonható területek nagyságának növekedése egyre kisebb mértékű (JORDAAN et al., 1993). A vízkészlet adott, sőt, regionális szinten sok helyen szembe kell nézni a felhasználható tiszta vízkészlet csökkenésével. A csapadékra alapozott növénytermesztés jelentősége nem csökken a jövőben, sőt, növekedése prognosztizálható. Ezért is elkerülhetetlen a kielégítő élelmezés, a termékbiztonság érdekében az egyre gyakrabban észlelt aszályok kedvezőtlen hatásainak csökkentése.

Minden egyes dimenzióban a stresszhatások növényi, talaj és légköri tényezők komplex kölcsönhatásának következményei. Mint ahogy a szárazság hatása is komplex, a növényi adaptációk széles skáláján számos és eltérő, a növényi életműködést és a termés fenntartását célzó életműködés hatása összegződik a víz-limitáló feltételek között. A fajok és fajták specifikus vízigénye, vízhaszno-

Postai cím: RAJKAINÉ VÉGH KRISZTINA, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15. *E-mail:* krvegh@rissac.hu

sítási hatékonysága és eltérő alkalmazkodó képessége a szárazság káros hatásainak elkerülésére, genetikusan meghatározott, és így a nemesítésben hasznosított és tovább hasznosítható tulajdonság-együttes (BOYER, 1996; KIRK, 1994; O'TOOLE & BLAND, 1987; O'TOOLE & CHANG, 1979; SULLIVAN & ROSS, 1979). A szárazságtűrés természetett növényeinknél számunkra legfontosabb komponense a kedvezőtlen élettani hatások elkerülésére irányul és alapvetően két mechanizmus alapján vizsgálható, amelyek által lehetővé válik, hogy a növény megfelelő belső vízállapota fennmaradjon akkor is, amikor a rendelkezésre álló víz kevesebb, mint a párologtatási igény:

a) fokozott vízgyűjtés: a termésveszteséget csökkentő nagyobb vízfelvételi képesség, mélyebb begyökerezés, ill. a talajból történő hatékonyabb vízkivonás által,

b) a víz megőrzése a szervezetben: ozmotikus alkalmazkodás, vastag kutikula-borítás, valamint a növekedés és a termés csökkenése irányában ható levélsodródás és sztómazáródás következtében (O'TOOLE & CHANG, 1979).

Kutatásunk célja különböző kukorica genotípusok (hibridek és szülői vonaluk) vízellátottságának leírása, a növekedési paraméterei, gyökérparaméterei, valamint vízhasznosítása, ill. szárazságtűrése közötti kapcsolatok vizsgálata volt.

Anyag és módszer

A szárazságtűrés és vízhasznosítás vizsgálatát hat kukorica genotípuson végeztük el. A vizsgált kukorica genotípusok a *Norma* és *Mv 444* kétvonalas hibridek, valamint apai (*N-B* és *4444 B*) és anyai (*N-A* és *4444-A*) szülőitörzseik voltak.

Négyismétléses, véletlen blokk elrendezésű szabadföldi kísérletünk az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének tükrösi tenyészkertjében 1998–2000 években folyt.

A vizsgálatainkhoz szükséges meteorológiai adatkészlet a csapadékmennyiség, a levegő relatív páratartalma, léghőmérséklet minimum és maximum, szélsebesség és globálsugárzás napi értékeit tartalmazza a kísérlet három éve alatt.

A kísérleti területen szelvényfeltárást végeztünk, az erdőmaradványos csernozjom talajból bolygatott és bolygatatlan mintákat vettünk a talajfizikai, vízgazdálkodási tulajdonságok meghatározásához. Az egyes talajrétegekben a víztartóképesség-függvény 9 pontjában határoztuk meg a nedvességtartalmat. A talajok szemcseösszetételének és víztartóképesség-görbéjének vizsgálatát, a telített talaj vízvezető képességét és térfogattömegét, a „Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyvnek” megfelelően (BÚZÁS, 1993) végeztük el.

A kísérleti parcellákban vizsgáltuk a talajnedvesség mélységi eloszlását. Az egyik blokkban parcellánként három, 160 cm hosszú, 35 mm belső átmérőjű műanyag csövet telepítettünk, egymástól 40 cm távolságra háromszög alakzatban, sorközbe. Ezek voltak a BR 150 kapacitív talajnedvesség-mérő érzékelő

csövei. A nedvességet a vegetációs periódusban 5–7 alkalommal, a 0–160 cm-es talajszelvényben 10 cm-enként mértük.

Ugyanekkor meghatároztuk a növénymagasságot és a növényeket is mintáztuk. Megmértük a levélfelületet. A mintákat 80 °C-on megszáritottuk, majd száraz tömegüket, valamint betakarítás után a szemtermés tömegét is meghatároztuk.

Megvizsgáltuk a gyökérzet mélységi eloszlását a talajszelvényben. Virágzáskor bolygatatlan mintát vettünk a 0–100 cm-es talajszelvényből, parcellánként kettőt a növényorsóból és kettőt sorközből. A mintákból a gyökereket ki-mostuk, a gyökérzet tömegét megmértük, hosszát TENNANT (1975) módszerével meghatároztuk. A gyökérhossz adatokat a gyökérsűrűség-eloszlás kiszámításánál használtuk fel.

Az adatok statisztikai értékelését egy- és kéttényezős varianciaanalízissel végeztük.

Eredmények és értékelésük

Az aszály jellemzői

Az aszály a növényi vízforgalmi rendszer olyan állapota, amikor a vízegyensúly megszűnik, a vízveszteség túllépi a vízbevitelt.

„*Mezőgazdasági aszály esetén a csapadék mennyisége vagy eloszlása elégtelen, ezért a talaj vízkészletek fogyása és a párolgási veszteségek együttes hatása miatt számottevő kiesés mutatkozik a növénytermesztésben (...)*” ismerteti URBÁN (1993) a WMO 1989-ben kelt meghatározását.

A *légköri aszályban* a levegő magas hőmérséklete és alacsony páratartalma miatt a potenciális párolgás annyira fokozódik, hogy a növényzet nem képes a párologtatást a megfelelő mértékben növelni még akkor sem, ha a talajban elegendő volna a felvehető víztartalom (SZÁSZ, 1988).

Az ún. *talajaszály* esetében a gyökérszónában fellépő vízhiány a növényi növekedés legfőbb korlátozója (PETRASOVITS, 1989).

Élettani aszályban a gyökérzet a talaj víztartalmából a felvehető mennyiség-nél kevesebbet képes kivonni, pl. egyes környezeti tényezők hatására csökkent működés, vagy retardált gyökérnövekedés miatt.

Bár metodikai és interpretációs okokból a fent vázolt hármas tagolás szükségeszerű a talaj, növény és légkör által meghatározott rendszerben, az esetek többségében több tényező együttes hatása határozza meg az aszályt. Ezért az aszály mértékének, tér- és időbeli kiterjedésének jellemzése is többféle módon, különböző elvek alapján számított, ún. aszályindexek alkalmazásával történik. Ezek értékei és a terméseredmények között szoros összefüggések mutathatók ki (VARGA-HASZONITS, 1989; BUSSAY et al., 1999).

Az ún. csapadékindexek közül vizsgálatainkban a relatív csapadékösszeget alkalmaztuk:

$$RP\% = P / \bar{P} \cdot 100$$

$$RAI\% = 100 \cdot (P - \bar{P}) / P$$

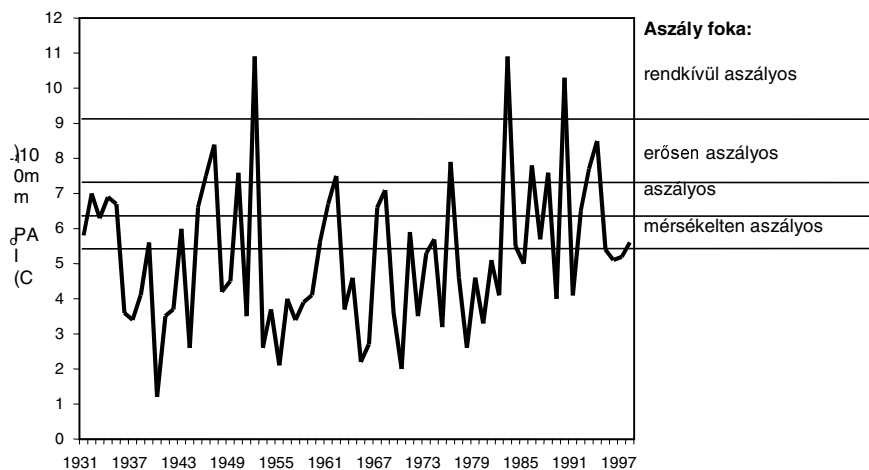
ahol: \bar{P} : adott időszakra vonatkozó csapadékösszeg sokévi átlaga; P: az adott időszak csapadékösszege; RP %: relatív csapadékösszeg; RAI%: relatív anomália index.

A magyarországi feltételekre kidolgozott és a szakirodalomban hozzáférhető Pálfai-féle aszályindex (PAI °C·100 mm⁻¹) értékek számítása a csapadékon és hőmérsékleten kívül figyelembe veszi a növényi vízszükségletet és a talajvízszint mélységét is. Az 5,1–6,0 közötti PAI értékek mérsékelten aszályos, 6,0–7,0 közöttiek aszályos, 7,0–9,0 erősen, 9,0 feletti értékek rendkívül aszályos évet jeleznek (PÁLFAI et al., 1999). A Pálfai-féle aszályindex idősorait a szabadföldi kísérleteink helyszínén, Martonvásár, időjárási jellemzésénél használtuk fel.

Kutatásaink helyszínének időjárási sajátosságai a szárazságstressz szempontjából

Mivel szabadföldi kísérletünk helyszínén az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének tükrösi tenyészkertje, Martonvásáron, elsősorban az aszály előfordulásának gyakoriságát felmérendő, megvizsgáltuk a helyszín klimatikus adottságait.

Az aszály évenkénti változását mutatjuk be Martonvásáron az 1931-től 1998-ig terjedő időszakra a Pálfai aszályindexek alapján az 1. ábrán. Az aszályindexek szerint Martonvásáron az elmúlt 70 évben 36 év volt többé-kevésbé aszályos. Ez jóval nagyobb arány, mint amit BUSSAY és munkatársai (1999) a rela-



1. ábra

A Pálfai aszályindex martonvásári idősora, 1931–1998 (PÁLFAI et al., 1999). Az aszály foka: rendkívül aszályos: 3 év; erősen aszályos: 11 év; aszályos: 8 év; mérsékelten aszályos: 14 év; nem aszályos: 32 év

tív csapadékösszeg számítások alapján eredményül kaptak. Figyelembe kell azonban venni, hogy míg az RP értékek számítása csak csapadékmennyiségek alapján történik, a PAI becsléseknél növényi szükségleteket és talajvíz paramétereit is figyelembe vesznek.

A növény életciklusát figyelembe véve nem elhanyagolandó kérdés a száraz periódusok éven belüli előfordulási gyakorisága. A Martonvásárt É–K és D–Ny irányból határoló körzetek – Budapest és Székesfehérvár – éven belüli aszálygyakoriságát vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy az aszály gyakoriságának évi menetét októberi és februári maximum jellemzi. Bár a relatív csapadékösszeg alapján számított havi aszálygyakoriság minimum értéket vesz fel júniusban, a júliusi, és Budapesten az augusztusi aszály gyakorisága is valamivel nagyobb (30% körüli).

Az aszály három fő dimenziója: időzítése, időtartama és a vízhiány intenzitása a vegetációs ciklusban. Jelen kutatási periódusunk három éve alatt (1998–2000) vízellátottság szempontjából három különböző tenyészidőszakban tanulmányozhattuk az aszály dimenzióit és a kiválasztott kukorica genotípusaink vízháztartását.

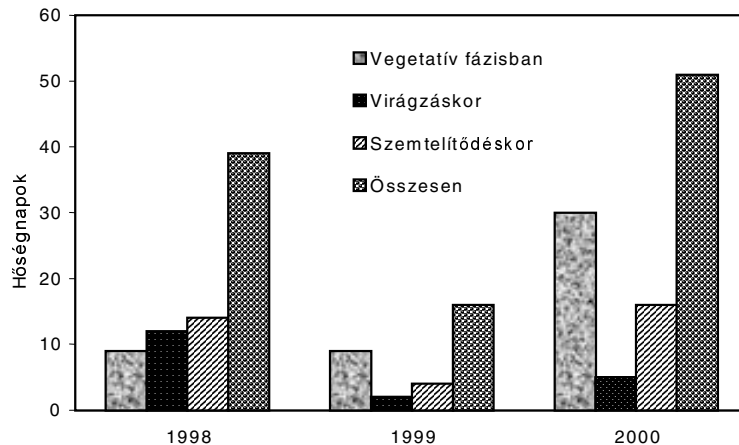
Többféle vizsgálati módszert alkalmaztunk annak jellemzésére, hogy e három évben a kukorica növényállomány mennyiben volt kitéve szárazságnak, ill. milyen típusú és intenzitású aszály következhetett be.

A relatív csapadékösszegek alapján (1. táblázat) megállapítható, hogy a vizsgált hároméves periódusban az első két év (1998, 1999) az ötven éves átlaghoz képest csapadékos volt, a harmadik (2000) év viszont kimondottan csapadékhányos. Mivel a havi adatok esetében 60% alatti relatív csapadékösszeg aszályt jelez (BUSSAY et al., 1999), elmondhatjuk, hogy 2000-ben növényeink teljes növekedési és érési periódusukban, a virágzás körüli időszak kivételével,

1. táblázat
Abszolút és relatív csapadékösszegek a kísérlet idején

(1) Időszak	(2) Abszolút csapadékösszeg			(3) Átlagos 1901–1950	(4) Relatív csapadékösszeg		
	1998	1999	2000		1998	1999	2000
	mm				%		
Március	37,9	21,6	51,2	34	111,5	63,5	150,6
Április	97,4	76,2	7,8	45	216,4	169,3	17,3
Május	91,6	35,0	19,2	64	143,1	54,7	30,0
Június	63,6	162,8	26,4	59	107,8	275,9	44,7
Július	70,4	123,8	57,2	50	140,8	247,6	114,4
Augusztus	43,0	63,0	5,8	57	75,4	110,5	10,2
Szeptember	135,6	16,8	33,4	47	288,5	35,7	71,1
Márc.–szept.	539,5	499,2	201,0	356	151,5	140,2	56,5
Máj.–szept.	404,2	401,4	142,0	277	145,9	144,9	51,3

aszály hatása alatt voltak. Egészében véve kb. 50% a relatív csapadékosság értéke 2000-ben, azonban enyhíti az aszály káros hatásait, hogy a virágzás idején (júliusban) az átlagosnál néhány mm-rel több eső esett. Augusztusban viszont (a szemkitöltődés időszakában) – amint a relatív csapadékosság érték (10%) mutatja – igen erős aszály következett be.



2. ábra

Hőségnapok száma és megoszlása az egyedfejlődés szakaszaiban a kísérleti területen

A 2. ábrán az ún. hőségnapok számát mutatjuk be 1998, 1999 és 2000 években. Hőségnapokon a mért maximális hőmérséklet $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti. Ilyen napokon, intenzív napsütésben a növényállomány levélszintjén a hőmérséklet ennél még magasabb, és ez elősegíti a légköri aszály kialakulását.

A hőségnapokat az egyedfejlődés szakaszainak megfelelően csoportosítottuk, hogy árnyaltabb képet nyerjünk a kialakuló aszály(ok) lehetséges élettani hatásairól. 1999-ben volt a legkevesebb hőségnap: összesen harmadannyi, mint 2000-ben, és nagyjából fele az 1998-ban észleltnek. 1998-ban azonban a hőségnapok előfordulásának eloszlása eltér a másik két évben kimutatott eloszlástól, minthogy a reproduktív életszakaszban van a maximum és nem a vegetatív fejlődés időszakában. A kukorica legérzékenyebb a címerhányás körüli aszályokra, a vízhiány ekkor okozhatja a legnagyobb termés kiesést. Egyrészt a szárazságstressz gátolja a pollenképződést, másrészt a megtermékenyítéshez, a pollentömítő fejlődéshez szükséges a megfelelő nedvességtartalom.

A hőség önmagában nem gyakorol olyan jelentős hatást a termés nagyságára, mint a szárazságstressz. A magas hőmérséklet káros hatását fokozott párologtatással ellensúlyozza a növény, ha a gyökérzónában jelen van a megfelelő mennyiségű felvehető víz.

Erős, a termésképzés időszakában bekövetkezett szárazság kedvezőtlen hatása – a prematurális előregedés miatt – nagyobb a szemtermésre, mint az összes

biomasszára (CRATA & COX, 1996). Az embrió fejlődése szárazságban alapvetően a növény szénhidrátartalékainak nagyságától, azaz tápláltsági állapotától függ (BOYER, 1996).

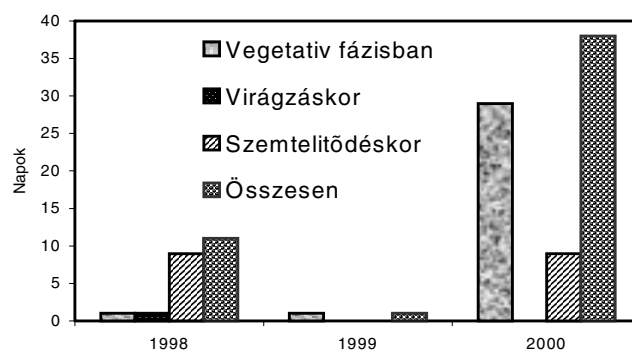
SZÁSZ (1998) szerint a kukorica a meleg és csapadékos területeken éri el a legnagyobb termést. Általában meleg, csapadékos nyarak után is átlag feletti termés várható, a kis termések a meleg száraz és hideg száraz években jönnek létre. Megállapítja továbbá, hogy hazánkban a kukorica termesztésének kockázatát elsősorban a csapadékelletlenség határozza meg. A szárazság a fotoszintetikus apparátus működését is befolyásolja. Ha a szárazság a vegetatív fejlődés időszakában következik be, a kukorica terméshozama jelentősen csökken, mert a vízhiány gátolja a levélfelület növekedését, a szár szárazanyag felhalmozását és így csökkenti a szemkötést, ill. szemfejlődést. Közepes szárazság hatására a tejes érés és viaszérés idején egyaránt gátolt az összes biomassza és a szemtermés növekedése, míg enyhébb stressz hatására csak a szárazanyaghozam csökkenése mutatható ki, a szemtermés nem változik.

1999-ben csak két olyan nap volt, amikor a légköri *relatív páratartalom* napi átlaga 60% alá csökkent, az is a vegetatív fejlődés időszakában (3. ábra). 2000-ben viszont a vegetatív fejlődés egy egész hónapjában, valamint a szemtelítődés fázisában több mint egy hetes időtartam alatt is létrejöttek a légköri aszály feltételei a jelentős párahiány következtében.

A *relatív páratartalom* napi átlagértékei (4. ábra) extrém kis értékek esetén valószínűsítik, hogy a levélszinten jelentős páraéhség alakulhat ki, főleg ha magas a hőmérséklet is és a szélsébség értékei is nagyok. A páraéhség bizonyos szintjén bekövetkezik a sztómák fokozatos záródása.

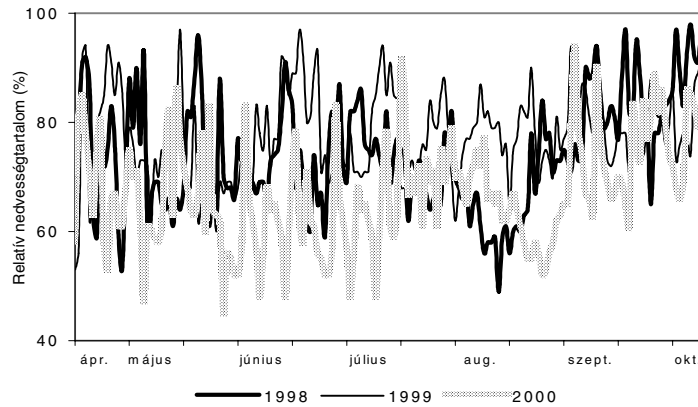
A talaj felvehető víztartalma a vegetációs periódusban

A talaj felvehető víztartalmának – azaz az aktuális térfogatos nedvességtartalomnak a hervadáspontra mért nedvességtartalommal csökkentett értékének –



3. ábra

A 60% relatív páratartalomnál kisebb átlagos páratartalmú napok száma (1998–2000)



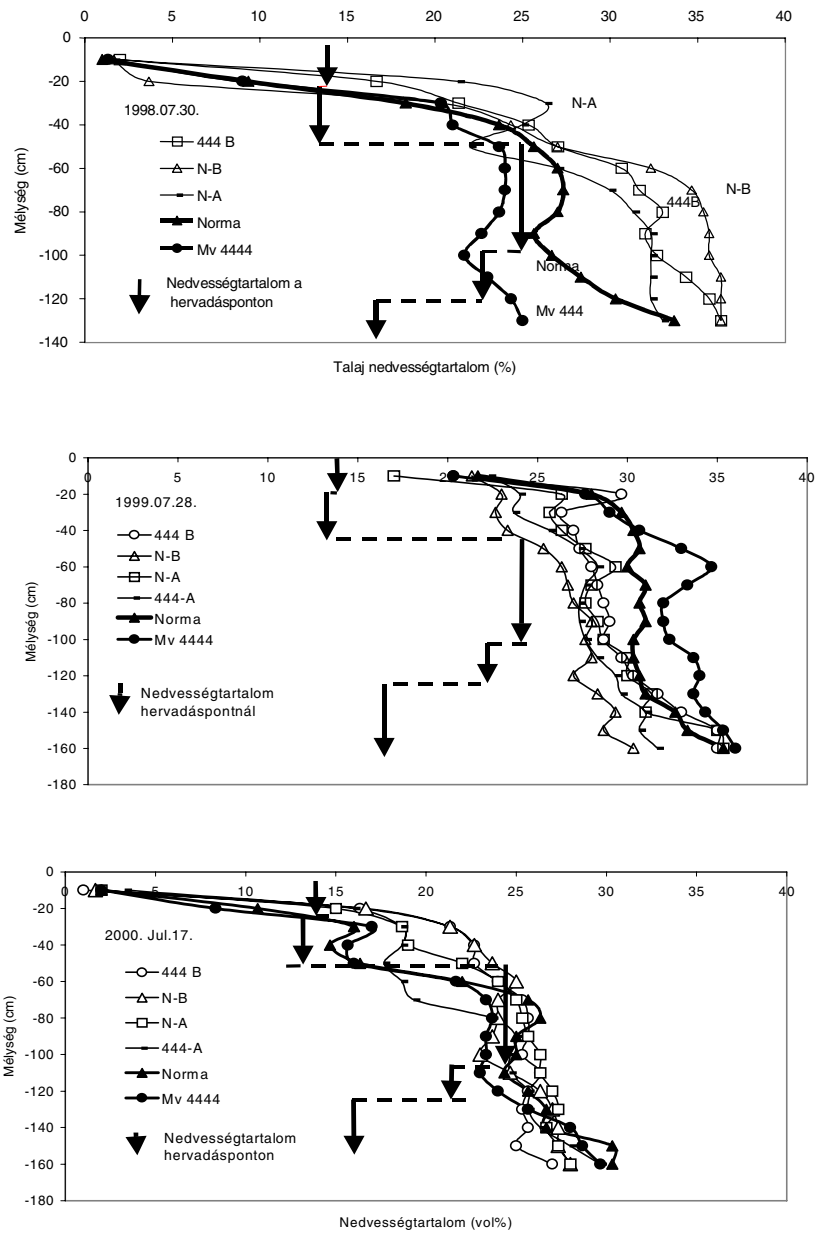
4. ábra

A relatív páratartalom napi átlagértékeinek dinamikája a vizsgált három évben Martonvásáron, a szabadföldi kísérletben

ismerete nélkül a talaj–növény–léggör rendszerben a szárazság, és az arra adott növényi válasz véleményünk szerint nem írható le. Ezért a szabadföldi kísérlet mindhárom éve alatt a vegetációs időszakban, a térfogatos nedvességtartalmat 2–3 hetes gyakorisággal in situ a talajszelvény 0–160 cm-es mélységében 10 cm-enként megmértük. A szabadföldi kísérlet 3 éve alatt nyert talajnedvesség-eloszlások statisztikai vizsgálatából kiderült, hogy az évek, ill. a genotípusok között a nedvességtartalom mintázat dinamikája szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,001$).

Az 5. ábrán az egyes talajrétegek holtvíztartalmának (pF 4,2) megfelelő nedvességtartalmat vastag fekete nyíllal jelöltük. A jó vízellátottság a kukorica számára különösen fontos a virágzás, pollentömlő-képződés és szemkötés időszakában (PETHŐ, 1976). Jól látható az 5. ábrán, hogy 1998-ban és főleg 1999-ben megfelelő volt a talaj felvehető vízkészletének nagysága ebben az érzékeny időszakban, 2000-ben azonban a vízutánpótlás elégtelensége miatt a talaj felvehető vízkészlete a holtvíztartományba tolódott a szántott réteg teljes mélységében, valamint a vízfelvétel szempontjából még igen lényeges 50–100 cm-es zónában (az ábrán a mérés előtti júliusi csapadék leszivárgása látszik a 0–50 cm-es mélységben). Az Mv 444 hibrid 1998-ban és 2000-ben – tehát a szárazabb években – nagyobb mértékben kimerítette a talaj felvehető víztartalmát, mint a Norma hibrid. A közepes vízellátású 1998. évi virágzáskori talajnedvesség-állapot alakulásán jól látszik, hogy az Mv 444 jóval mélyebb talajrétegek nedvességtartalmát is hasznosítja, mint a Norma.

1999-ben az egész tenyészidőszak folyamán jelentős mennyiségű felvehető víztartalom maradt a 20 cm alatti teljes gyökérszónában. Ez hozzájárulhatott a kapilláris vízemelés hatásának nagyobb fokú érvényesüléséhez, főként a szán-



5. ábra

A nedvességtartalom mélységi eloszlása a talajszelvényben a virágzás idején 1989-ben, 1999-ben és 2000-ben

2. táblázat
 Felvehető vízkészlet (mm) a gyökérszóna különböző mélységeiben, az 1999–2000. években

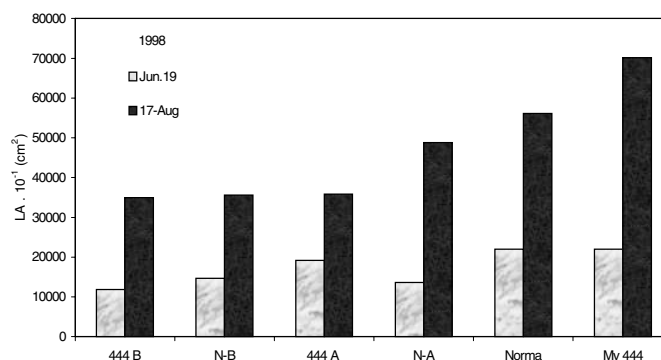
Mélység, cm	444 B	N-B	N-A	444 A	Norma	Mv444	444 B	N-B	N-A	444 A	Norma	Mv444
0-30	45,25	32,58	39,25	35,91	32,91	48,91	15,91	11,25	7,58	14,25	1,25	-2,42
30-100	56,31	50,64	56,31	61,64	65,98	98,64	31,31	32,64	38,31	19,64	28,64	16,64
100-150	89,40	69,40	85,73	81,06	91,06	101,73	54,06	58,40	59,40	57,06	69,73	63,40
0-150	190,95	152,62	181,29	178,62	189,95	249,29	101,29	102,29	105,29	90,95	99,62	77,62
0-30	54,91	33,58	48,91	42,91	64,25	61,91	16,24	13,25	9,25	8,91	0,91	-2,75
30-100	55,31	44,64	57,98	56,98	74,64	91,64	32,31	23,31	31,31	7,64	15,64	9,64
100-150	91,73	70,73	86,06	80,06	82,06	99,06	53,73	58,73	58,06	56,73	63,73	61,06
0-150	201,95	148,95	192,95	179,95	220,95	252,62	102,29	95,29	98,62	73,29	80,29	67,95
0-30	42,58	28,58	37,91	32,91	47,58	46,91	19,91	20,25	12,25	12,91	0,91	0,58
30-100	49,98	39,31	49,98	44,31	64,31	81,31	25,31	18,31	24,98	3,98	14,98	4,64
100-150	87,73	66,40	85,40	75,06	85,73	96,06	51,40	58,73	59,06	58,06	62,40	58,73
0-150	180,29	134,29	173,29	152,29	197,62	224,29	96,62	97,29	96,29	74,95	78,29	63,95
0-30	30,58	17,25	25,25	22,91	23,91	32,58	24,91	34,58	26,91	18,58	10,91	2,25
30-100	36,98	24,98	28,98	33,98	41,31	56,98	15,64	9,31	19,98	-3,02	6,64	-3,36
100-150	84,06	68,06	79,40	75,73	79,73	82,73	44,40	51,06	49,73	51,40	53,73	50,73
0-150	151,62	110,29	133,62	132,62	144,95	172,29	84,95	94,95	96,62	66,95	71,29	49,62
0-30	33,25	19,91	28,25	28,58	31,91	34,91	14,24	13,91	14,25	9,25	7,91	2,91
30-100	29,98	18,31	25,64	24,31	37,98	52,31	9,64	0,98	9,64	-6,02	6,64	-1,69
100-150	80,06	64,73	80,40	73,73	77,40	91,06	36,06	45,06	42,73	34,06	40,40	34,06
0-150	143,29	102,95	134,29	126,62	147,29	178,29	59,95	59,95	66,62	37,29	54,95	35,29

tott réteg alól, és elsősorban a szülői vonalak esetében az evaporáció növekedéséhez (2. táblázat).

A hibridek vízfogyasztása nagyobb, mint a szülőtörzseké, és a talajszelvény más rétegéből történik. Mivel a szülőtörzsek biomassa-felhalmozása sokkal kisebb, mint a hibrideké, valamint kisebb a növekedési sebességük és a levélfelületük is, az állományon belüli mikroklíma jóval szárazabb, mint a hibridek zárt, sűrű állományában. Ezért a talaj felszíne is szárazabb, ami a nagyobb mértékű evaporációt és a csapadékvíz csökkent mértékű infiltrációját okozhatja. A szárazabb mikroklíma következménye a sztómaellenállás növekedése (ANDA, 2002). A nagy levélfelület indexű hibridek vízgazdálkodásához képest a rendszerben jelentős vízvesztés képződik.

A három kísérleti év során megfigyelt nedvességprofilok összehasonlító vizsgálatát kéttényezős varianciaanalízissel végeztük el. Az 1999-es adatok analízise alapján elmondhatjuk, hogy a genotípus szignifikáns hatással van a talajszelvény nedvességeloszlására ($p < 0,001$). Ennek oka az, hogy a vízfogyasztás különbözősége mellett a mélyégi gyökéreloszlás, és a víz felvételének eloszlási mintázata is jelentősen befolyásolja a nedvességeloszlást, minthogy a vízfelvétel elsősorban abból a talajrétegből történhet, ahol a gyökerek vannak. A gyökérszóna mélysége úgy is meghatározható, mint az a mélység, ahonnan a növény ténylegesen vizet vesz fel. Ehhez irodalmi adatok alapján a gyökérsűrűség meg kell, hogy haladja a $0,1 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ talaj küszöbértéket, ami azért ilyen kis érték, mert a víz transzportsebessége a talajban a gyökérfelületre nagy lehet. Annak a talajrétegnek a nedvességtartalma, ahol a gyökérsűrűség a $0,1 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ értéknél kisebb, nem vesz számottevően részt a növény vízellátásában (DE WILLIGEN & VAN NOORDWIJK, 1987).

Míg a lehetséges vízfelvétel a talajszelvényből a növény mélyégi gyökéreloszlásától függ, a növény vízigénye a párologtatási igény (páraéhség, hőmérséklet, szélsébség) és a levélfelület függvénye.



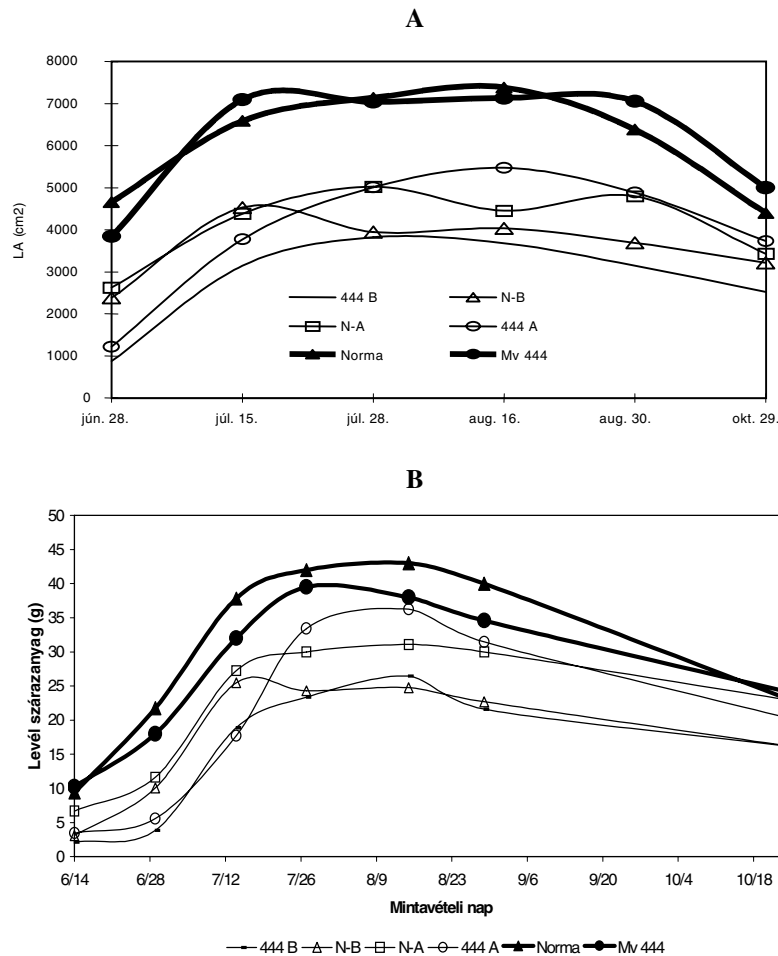
6. ábra

A vizsgált genotípusok levélfelülete a vegetatív növekedés első harmadának végén és a szemkitöltődés idején, 1998-ban

Transzspiráló és fotoszintetizáló felületek

A vízfogyasztást, ill. a vízfelvétel sebességét a transzspiráció sebessége vezérli. Minél nagyobb a transzspiráló felület, annál nagyobb vízfelvételi sebességgel képes a növény a transzspirációs sebesség fenntartására. A transzspiráló felület csökkenése az asszimilációs felület csökkenését is jelenti, és a növekedés lelassulásához vezet.

A hibridek levélfelülete a szemkitöltődés idején jelentősen meghaladja a szülőtörzsekét. Az Mv 444 hibrid egyedi levélfelülete kb. kétszerese a 444-A, ill. 444-B genotípusának (6. ábra).



7. ábra

A genotípusok egyedi levélfelületének alakulása (A), ill. egyedi levéltömegének növekedésdinamikája (B) 1999-ben, kedvező csapadékviszonyok mellett

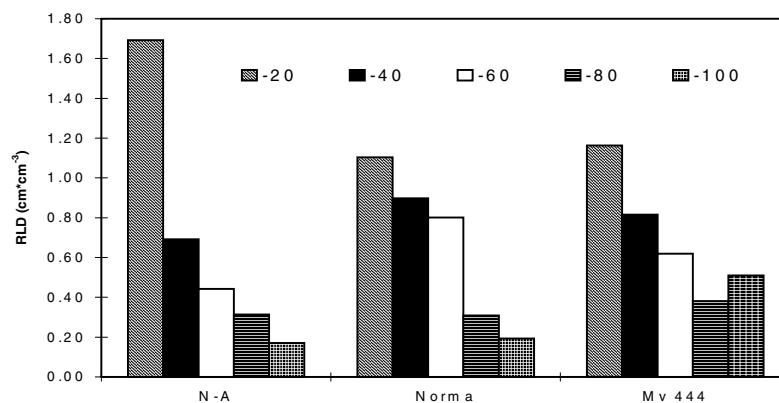
A 7. ábrán az 1999-es levélfejlődést mutatjuk be. A hibridek nagy hozamához hozzájárul a jóval nagyobb asszimiláló felület és a levelekbe történő nagyobb biomassza-átcsoportosítás. Az anyai szülőtörzseknél mind a levélfelület, mind az asszimiláta átcsoportosítás a levelekbe felülmúlja az apai szülőtörzsekét. A szemfejlődés megindulásával a levelek tartalékainak a szemekbe való átcsoportosítása is megindul, és a szemek fiziológiai éréséig folyik. A levéltömeg (7.B ábra) és levélfelület (7.A ábra) összevetéséből látszik, hogy a hibridek szemtelítődését folyamatosan nemcsak nagyobb rendelkezésre álló biomassza, hanem nagyobb asszimiláló felület működése is segíti.

Gyökérsűrűség és a gyökérzet mélységi eloszlása

A 8. ábrán a három intenzív gyökérnövekedésű, nagy gyökérzetű genotípus, a két hibrid (Norma és Mv 444), valamint a Norma anyai szülőtörzse (N-A) gyökéreloszlását mutatjuk be a kedvező vízellátású 1999. évben. A talajszelvény 0–20 cm-es rétegében az N-A gyökérsűrűsége a legnagyobb, a 40–60 cm-es mélységben a Norma, és a 60 cm alatti talajrétegben az Mv 444 gyökérzete a legsűrűbb.

Az N-A szülőtörzs sérülékenysége abból adódik, hogy a felső talajréteg kiszáradásával elveszíti a megfelelő sebességű vízellátás lehetőségét. A transzpirációs áramban mozgó tápanyagok felvehetősége csökken, és minthogy a kiszáradó talajban a diffúzió jelentősen lelassul, a talaj szilárd felületein könnyen megkötődő tápanyagok (pl. P, K) sem kerülnek megfelelő sebességgel a gyökérre.

A Norma gyökérsűrűsége a legnagyobb a 20–60 cm mély talajrétegben. A gyökéreloszlást és a gyökérsűrűség eloszlását megfigyelt nedvességeloszlásokat figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a Norma jó szárazságtűrési adottságainak

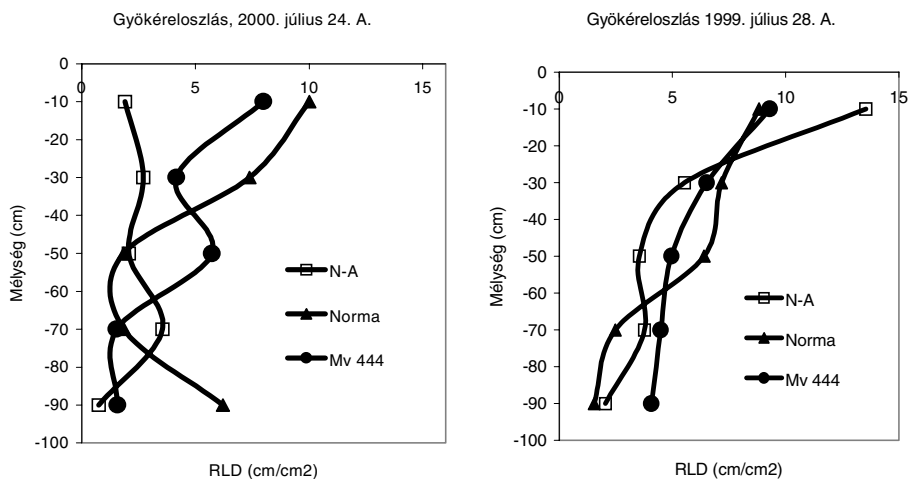


8. ábra

Három, nagy gyökérzetű genotípus gyökéreloszlása a kedvező vízellátású 1999-es évben, 0–100 cm mélységben, 20 cm-enként. RLD: gyökérsűrűség

kialakításához a vízfelvétel hatékonyságán kívül más tulajdonságai is hozzájárulnak, mint pl. a vízhasznosítás határfoka és a sztómazáródással kapcsolatos sajátosságai (ANDA, 2001).

Az Mv 444 jó vízhasznosítási határfoka mellett erőteljes mélységi gyökérnövekedése, a mélyebb (60–100 cm) talajhorizont víztartalmának kiaknázása is lehetővé teszi nagy vízigényének kielégítését. Az 5. ábra nedvességprofiljai az



9. ábra

A három intenzív gyökérnövekedésű genotípus gyökéreloszlása a 0–100 cm-es talajszelvényben nedves (1999) és száraz (2000) évben

Mv 444 gyökérszónájában kisebb felvehető víztartalmakat mutatnak, mint a többi genotípusában. A száraz 2000. évben a talajszelvény felvehető vízkészlete az Mv 444 hibrid állománya alatt volt a legkisebb. (Adott réteg felvehető vízkészlete = a réteg térfogatos víztartalma csökkentve a hervadásponton mért víztartalommal, majd rétegenként összegezve.) A talajfelszínre számított gyökérsűrűség-eloszlás elsősorban a szülőtörzseknél változott meg a szárazság hatására (9. ábra).

2000-ben az N-A gyökérsűrűsége a talajszelvény minden mélységében kicsiny. Nemcsak az Mv 444, hanem a Norma is jelentős sűrűségű gyökérszónával bír a gyökérszóna mélyebb rétegeiben. A gyökérszóna növekedése és pusztulása felgyorsul a talaj száradási–nedvesedési ciklusában.

Terméshozam és vízhasznosítási paraméterek

A legkedvezőbb 1998-as évben a hibridek szemtermése – egyedi produkciója – mintegy kétszerese volt a szülőtörzsek termésének. A nagymértékben

3. táblázat

Egyedi szemtermés-produkció (g/növény) a szabadföldi kísérlet három évében

(1) Év	(2) Termés g/növény	CV	(3) Évhatás, %		
			(4) Összes genotípus	Norma	Mv 444
1998	153,42	42,0	100	100	100
1999	137,08	30,6	89,4	77,7	81,8
2000	84,96	39,3	56,4	55,3	51,5
LSD év	7,1965				

4. táblázat

Az évjárat hatása a szemtermésre (g/növény)

(1) Év	444-B	N-B	N-A	444-A	Norma	Mv 444
1998	100,25	105,50	104,25	135,00	220,75	254,75
1999	91,25	116,75	122,25	112,00	171,75	208,50
2000	85,25	51,00	50,00	70,25	122,00	131,25
LSD év*fajta	17,6277					

homozigóta és eleve kis hozamú szülőtörzsek szemtermése minden évben jóval kevesebb volt, mint a hibrideké (3. táblázat).

A 4. táblázatban látható, hogy a hibrideknél 1999-ben az 1998-as terméshez képest kb. 20%-os, 2000-ben mintegy 50%-os terméseszkökenés következett be. Ez utóbbi az aszály hatására.

A vízhasznosulási érték (VH) vagy a vízhasznosítási együttható (WUE) széles körben használatos paraméterek a növényi vízgazdálkodás jellemzésére. Definiálhatók egyetlen levél gázcsereje alapján és egy teljes vegetációs ciklus terméseredményét alapul véve is: azaz mint a biomassa-felhalmozás (széndioxid-asszimiláció, összes biomassa, szemtermés) az elfogyasztott vízre (transzspiráció, evapotranszspiráció, vagy teljes vízbevitel: csapadék + öntözővíz mennyisége) vonatkoztatva.

$$VH \cong WUE = P/Y, \text{ vagy reciproka, és}$$

$$VH \cong WUE = ET/Y$$

ahol: VH: csapadékhasznosítás; WUE: vízhasznosítási együttható; P: csapadék (+öntözővíz) mennyisége; Y: termés; ET: evapotranszspiráció.

SZÁSZ (1998) a vízhasznosítási együttható becslésére a következő számítást javasolja:

$$WUE = Y/\sum P + (FVK_o - FVK_i)$$

ahol: FVK_o–FVK_i: a gyökérzóna felvehető vízkészletének csökkenése a tenyészidőszak alatt.

Az összefüggés alapján – mért talajnedvesség-eloszlás értékeink felhasználásával – számítottuk ki az 5. táblázatban bemutatott WUE értékeket.

Az egyes genotípusokra vonatkoztatott csapadékhasznosulások, valamint a genotípusok vízhasznosítási együtthatói között szignifikáns különbségeket mutattunk ki. A csapadékhasznosulás az adott élőhely és a növény kapcsolatára

5. táblázat
Csapadékhasznosulás és vízhasznosítási együttható 1998–2000-ben

	444 B	N-B	N-A	444 A	Norma	Mv 444
<i>A. Csapadékhasznosulás, mm·g⁻¹</i>						
1998	0,48	0,46	0,47	0,37	0,22	0,19
1999	0,49	0,38	0,36	0,40	0,26	0,21
2000	0,30	0,51	0,52	0,36	0,21	0,19
<i>P-érték</i>						
a) Év	0,34489					
b) Oszlop	5,21E-23					
c) Kölcsönhatás	2,17E-08					
<i>B. Vízhasznosítási együttható, g·mm⁻¹</i>						
1998	0,18	0,20	0,19	0,25	0,40	0,47
1999	0,19	0,24	0,25	0,23	0,35	0,41
2000	0,29	0,17	0,17	0,23	0,41	0,44
<i>P-érték</i>						
a) Év	0,427829					
b) Oszlop	1,37E-32					
c) Kölcsönhatás	8,92E-09					

jellemző, és ebben a vízfelvételi hatékonyság jelentős szerepet játszik. Külön célszerű értékelni a kishozamú vonalak és a hibridek paramétereit. A hibridek jóval több vizet használtak fel, mint a szülőtörzsek (5. ábra), ugyanakkor termésük is sokkal nagyobb volt. Vízhasznosításuk, elsősorban az Mv 444-é, hatékonyabb volt, vízhasznosítási együtthatójuk értéke többnyire elérte, vagy meghaladta a szülőtörzsekének összegét.

Összefoglalás

Erdőmaradványos csernozjom talajon beállított szabadföldi kísérletben három éven át vizsgáltuk hat kukorica genotípus – két hibrid és szülőtörzseik – vízellátottságát és vízhasznosítását. Megállapítottuk, hogy a vizsgált genotípusok jelentősen eltérő vízgazdálkodásúak. A hibridek vízfelvételi hatékonyságában és vízhasznosításában eltérő mechanizmusok is szerepet játszanak. Főbb megállapításaink az alábbiak:

- A talajnedvesség- és gyökérprofilok eltérnek a különböző genotípusoknál.
- Az Mv 444 nagy gyökérsűrűsége a mélyebb talajrétegekben előnyös a felső talajrétegek kiszáradása esetén.
- A vízhasznosítási együttható legmagasabb értékeit a két hibridnél mutattuk ki.
- Alacsony vízellátottságon egyéb mechanizmusok is közrejátszanak az alkalmazkodásban, úgymint különbségek a növekedési sebességben, tápanyagigényben és transzspirációban, valamint a biomassza és tápanyag allokációban.

A kutatómunka az OTKA (T 25399 sz. téma) támogatásával folyt.

Kulcsszavak: Aszály, talajnedvesség-eloszlás, gyökérzet, növekedés, vízhasznosítás

Irodalom

- ANDA, A., 2001. Influence of crop water stress index on the development of different maize hybrids. *G. Agric.* **12.** 40–55.
- ANDA A., 2002. A kukorica állomány légnedvesség és sztóma ellenállás becslése Goudriaan (1977) mikroklima szimulációs modelljével. In: *Levegő–növény–talaj rendszer.* 71–76. DATE. Debrecen.
- BOYER, J. S., 1996. Advances in drought tolerance in plants. *Adv. Agron.* **56.** 187–218.
- BUSSAY A., SZINELL CS. & SZENTIMREY T., 1999. Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. *Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok.* **7.** 5–77.
- BÚZÁS I. (szerk.), 1993. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. I. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. INDA 4321 Kiadó. Budapest.
- CRATA, O. R. & COX, W. J., 1996. Temperature and soil water effects on maize growth, development yield, and forage quality. *Crop Sci.* **36.** 341–348.
- JORDAAN, J. et al., 1993. *Water in Our Common Future: A Research Agenda for Sustainable Development of Water Resources.* International Hydrological Programme. UNESCO. Paris.
- KIRK, G. J. D., 1994. Rice root traits for drought resistance and their genetic variation. In: *Rice Roots: Nutrient and Water Use.* (Ed.: KIRK, G. J. D.) 1–12. Intern. Rice Research Institute. Manila, The Philippines.
- O'TOOLE, J. C. & BLAND, W. L., 1987. Genotypic variation in crop plant root system. *Adv. Agron.* **41.** 91–145.
- O'TOOLE, J. C. & CHANG, T. T., 1979. Drought resistance in cereals rice: a case study. In: *Stress Physiology in Crop Plants.* (Eds.: MUSSEL, H. & STABLES, R. C.) 373–406. John Wiley and Sons. New York.
- PÁLFAI I., BOGA T. L. & SEBESVÁRI J., 1999. Adatok a magyarországi aszályokról 1931–1998. *Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok.* **7.** 67–91.
- PETHŐ M., 1993. Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- PETRASOVITS I., 1989. Integrált küzdelem az aszály ellen. In: *Aszály.* (Szerk.: HANYECZ V.) 5–14. Öntözési Kutató Intézet. Szarvas.

- SULLIVAN, C. Y. & ROSS, W. M., 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: *Stress Physiology in Crop Plants*. (Eds.: MUSSEL, H. & STABLES, R. C.) 263–282. John Wiley and Sons. New York.
- SZÁSZ G., 1988. *Agrometeorológia*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SZÁSZ G., 1998. A természetes vízhasznosulás agrometeorológiai vizsgálatának eredményei. *Növénytermelés*. **47**. 289–300.
- TENNANT, D., 1975. A test of modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* **63**. 995–1001.
- URBÁN L., 1993. Az aszály fogalma és jelentősége. *Beszámolók 1989*. 113–135. OMSz. Budapest.
- VARGA-HASZONITS Z., 1989. A vegetációs periódus alatti vízellátottság mértékének éghajlati jellemzői. In: *Aszály*. (Szerk.: HANYECZ V.) 28–41. Öntözési Kutató Intézet. Szarvas.
- VÁRALLYAY GY., 1988. Talaj, mint a biomasszatermelés aszályérzékenységének tényezője. *Vízügyi Közlemények*. **70**. (3) 46–68.
- VÁRALLYAY, GY., 2002. Climate change and soil processes. *Időjárás*. **106**. 113–121.
- VERMES L., 1993. Az ICID 16. Európai Regionális Konferenciájának az aszály jelenségével foglalkozó záróközleménye, következtetése és ajánlásai. In: *Az 1992 évi aszály értékelése*. (Szerk.: PÁLFAI I. & VERMES L.) 100–104. FM–MAE–MHT. Budapest.
- VERMES L., 2002. A nemzeti aszálystratégia kialakulása és tartalma. In: *Ötven éves az Acta Agronomica Hungarica. Jubileumi Tudományos ülés, Martonvásár, 2002*. (Szerk.: BARNABÁS B. et al.) 348–354.
- DE WILLIGEN, P. & VAN NOORDWIJK, M., 1987. *Roots, Plant Production and Nutrient Use Efficiency*. PhD Thesis. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Haren, The Netherlands.

Érkezett: 2004. március 22.

Water Supplies and Water Use Efficiency of Maize Genotypes

K. R. VÉGH and T. SZUNDY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár (Hungary)

Summary

Water deficiency and the uneven distribution of precipitation are the main causes of yield instability in Hungary. Breeding strategies involve the identification of component traits that are related to drought resistance. The aim of this study was the evaluation and quantification of the relationships between the growth, water use and water use efficiency (WUE) of six maize genotypes: two single-cross hybrids *Norma* and *MV 444*, and their parental inbred lines *N-A*, *N-B*, *444-A* and *444-B*.

The genotypes were grown in a three-year field experiment on nutrient-rich loam soil in Martonvásár. Meteorological variables were observed on a daily basis. The physical and hydrological properties of the different soil layers were determined. The BR 150 capacitive moisture probe was used to detect the vertical distribution of soil moisture along the 0–150 cm soil profile on 5–7 occasions in the growing seasons. The vertical distribution of root length density was observed during the anthesis to silking period. Crop dry mass and leaf area were measured several times in the cropping season. The WUE values were estimated on the basis of grain yield and soil water storage using the function developed by SZÁSZ (1998).

Clear significant genotype differences were found for the dynamics of both the rooting pattern and the moisture distribution along the soil profile. Compensatory root growth and deep root extension were found to be the adaptive strategies adopted by the genotypes under limited water conditions. The roots of the hybrids grew primarily in the deeper soil horizons to utilize reserved water. Hybrid *Mv 444* depleted the soil water steadily and strongly, while *Norma* consumed a lower amount of water. The genotypes differed significantly in their WUE values, which proved to be highest for the hybrids.

Table 1. Absolute and relative precipitation during the experiment. (1) Period. (2) Absolute quantity, mm. (3) 50-year average. (4) Relative, %.

Table 2. Available water storage (mm) at different soil depths, 1999–2000. (1) Soil depth.

Table 3. Grain yield (g per plant) in the field experiment. (1) Year. (2) Grain yield, g/plant. (3) Year effect (4) all 6 genotypes.

Table 4. Effect of year on grain yield (g per plant). (1) Year.

Table 5. Precipitation efficiency (A) and WUE (B) in 1998–2000. A) Year; b) column; c) interaction.

Fig. 1. Time series of Pálfaí drought indexes for the experimental site, 1931–1998. The degree of drought: extremely droughty: 3 years; strongly droughty: 11 years; droughty: 8 years; moderately droughty: 14 years; no drought: 32 years.

Fig. 2. Hot days (max. temp. above 30 °C) in the experimental field. Legend: in vegetative phase; at flowering, during grain filling and total.

Fig. 3. Number of days with relative air humidity less than 60%.

Fig. 4. Dynamics of daily average values of relative air humidity in the experimental field.

Fig. 5. Depth distribution of soil moisture during flowering. Arrows show moisture content at wilting point.

Fig. 6. Leaf area of three-week-old plants and during the grain filling phase in 1998.

Fig. 7. Leaf area (cm per plant) (A) and dynamics of leaf mass (g per plant) (B) in plants grown with sufficient water supplies, 1999.

Fig. 8. Root length density (RLD) of 3 genotypes with large root systems in the 0–100 cm soil profile for plants grown with sufficient water supplies.

Fig. 9. Root length density (RLD) of 3 genotypes with large root systems in the 0–100 cm soil profile in wet (1999) and dry (2000) years.