SZENT ISTVÁN EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- és KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR

A SZÁRAZSÁGTŰRŐ ŐSZI BÚZA *(Triticum aestivum* L.*)* NEMESÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Cseuz László

Gödöllő
2009.

A doktori iskola megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

Vezetője:

Dr. Virányi Ferenc
Egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság - és Környezettudományi Kar,
Növényvédelmi Intézet

Témavezető:

Dr. Heszky László
Igazgató, az MTA rendes tagja
SZIE, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar,
Genetika és Biotechnológiai Intézet

....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés…….…….……5

1.1. A szárazság hatása világviszonylatban és Magyarországon…….…….……5

1. 2. Célkitűzések……..……8

2. Irodalmi áttekintés…….…….9

2.1. Szárazságstressz, szárazságtűrés……9

2.2. A szárazságtűrő növény stratégiája a szárazsággal szemben, a szárazságstressz élettana…….…….10

2.3. A szárazságtűrés élettana, tesztelési módszerek…….……...13

2.4. A szárazságtűréssel kapcsolatos morfológiai tulajdonságok, az ideális genotípus……..18

2.5. A szárazságtűrés genetikája…….....19

2.6. Legújabb eljárások, szárazságtűrésben szerepet játszó gének felkutatása….....22

2.7. Genetikai előrehaladás, alkalmazkodóképesség, termésbiztonság……...……...24

3. Anyag és módszer…….…….....27

3.1. A szárazságtűrést tesztelő módszerek…….....27

3.1.1. Csírázási próba ozmotikumban……..27

3.1.2. Csíranövény vízkultúra teszt……..27

3.1.3. Levágott levelek víztartó képessége……...29

3.1.4. Élve hervasztott levelek prolin analízise…….....30

3.1.5. Nyomáskamrás vízpotenciál mérések……...…….30

3.1.6. Antitranszspiráns szántóföldi alkalmazása…….31

3.1.7. Vetéssűrűségi teszt szántóföldön…….....32

3.1.8. Deszikkációs teszt szántóföldön…….…33

3.2. Szárazságtűrési szelekciós kerti vizsgálatok..……...33

3.3. Az alkalmazott nemesítési rendszer…….....36

3.4. Több termőhelyes kísérletek, agrometeorológiai adatok és talajviszonyok……..37

3.5. Szegedi nemesítésű genotípusok szántóföldi teljesítménykísérletei…….39

3.6. Statisztikai analízis……...…….40

4. Eredmények……41

4.1. A szárazságtűrést tesztelő módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata őszi búza genotípusokon……...41

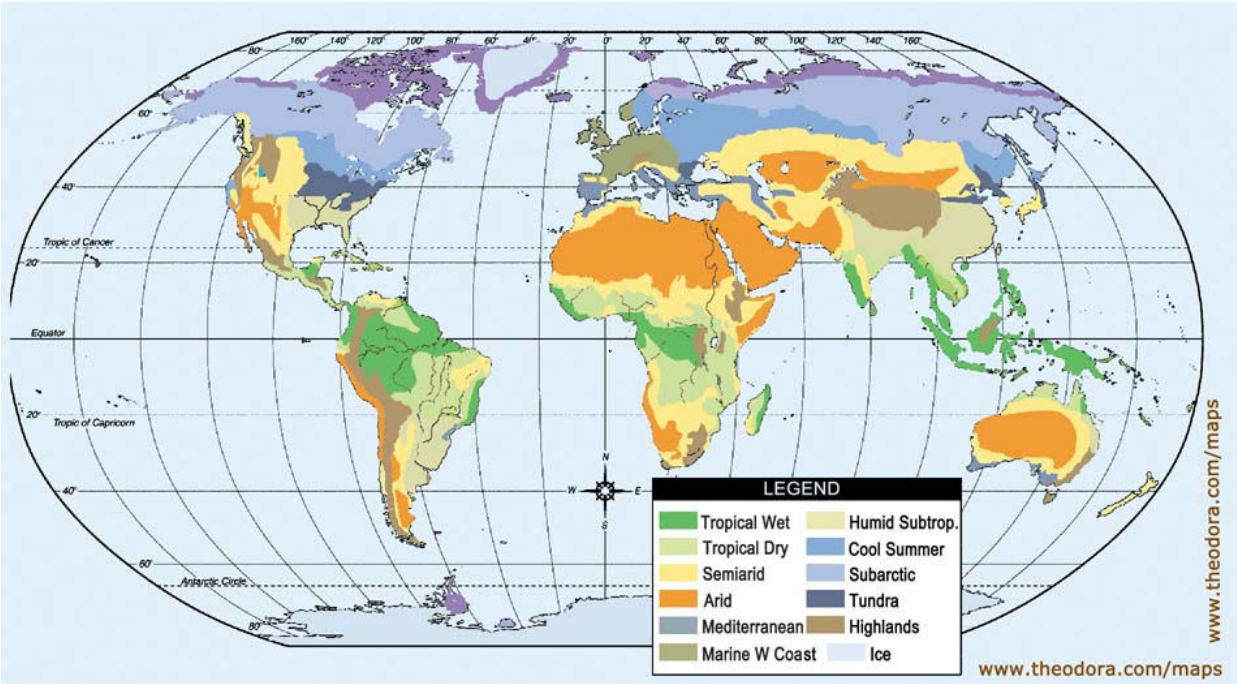
4.1.1. A genotípus, az évjárat és a mesterséges szárazságstressz hatása a csírázásra ozmotikumban.....41

4.1.2. A hajtás- és gyökérnövekedés genotípus függősége csíranövény vízkultúra tesztben……..……..……..…...43
4.1.3. Fajták és genotípusok csoportosítása a levágott levelek …….....44 víztartó képessége alapján
4.1.4. A prolin felhalmozás genotípus függősége élve hervasztott levelekben....…..48
4.1.5. Az ozmotikus potenciál genotípus függősége……..…….…...50
4.1.6. Antitranszpiráns szántóföldi alkalmazásának előnyei és hátrányai….....51
4.1.7. A tőszám hatásának vizsgálata szántóföldön…….……...…...52
4.1.8. Deszikkáció hatása a fajták ezerszemtömegére……....53
4.1.9. Összefüggés az alkalmazott szelekciós módszerek eredményei között……....57
4.2. Szántóföldi szárazságtűrési szelekciós kísérletek...……59
4.2.1. Zászlóslevelek víztartó képességének vizsgálata……...……...59
4.2.2. A deszikkációs teszt eredményei……..60
4.2.3. Öntözési kísérlet…….……...61
4.3. Az egyes terméskomponensek szerepének vizsgálata a búzagenotípusok produktivitásában és stressztoleranciájában……..……...64
4.3.1. A több termőhelyes kísérletek eredményei…….……..64
4.3.2. Összefüggés vizsgálatok a genotípusok produktivitása és stressztoleranciája között.....65
4.3.3. Az évjárat hatása a termésre és a terméskomponensekre……...……..70
4.3.4. A termés és a terméskomponensek alakulása az elmúlt 60 évben minősített fajtákban……74
4.4. A szárazságtoleranciára történő nemesítés módszertana…….…...78
4.5. Az eredmények értékelése és megvitatása...…….....…….....81
4.6. Új tudományos eredmények, az eredmények felhasználása új búzafajták előállításához……..87
5. Következtetések és javaslatok……91
6. Összefoglalás…….……..……...……...93
7. Summary…….....97
Mellékletek…….……101
M1. Irodalomjegyzék……...……102
M2. A témához szorosan kapcsolódó bibliográfia……..…….……118
M3. Ábrák és táblázatok jegyzéke…….…….121
Köszönetnyilvánítás…….…….……...125

1. BEVEZETÉS

1.1. A szárazság hatása világviszonylatban és Magyarországon

A környezeti stresszek a világ növénytermelésének legnagyobb korlátozó tényezői. A szárazság, az egyik legjelentősebb abiotikus stressz, lehetetlenné teszi a növénytermesztést a Föld területének több mint 26 %-án, de a művelésbe fogott területeken is óriási termésingadozást okoz (Dudal 1976). A szárazföld közel harmada aszályos övezetnek minősíthető (**1. ábra**), ugyanakkor a Föld lakosságának több mint egytizede ezen a területen él és folytat mezőgazdasági termelést (Shakoor 1983).



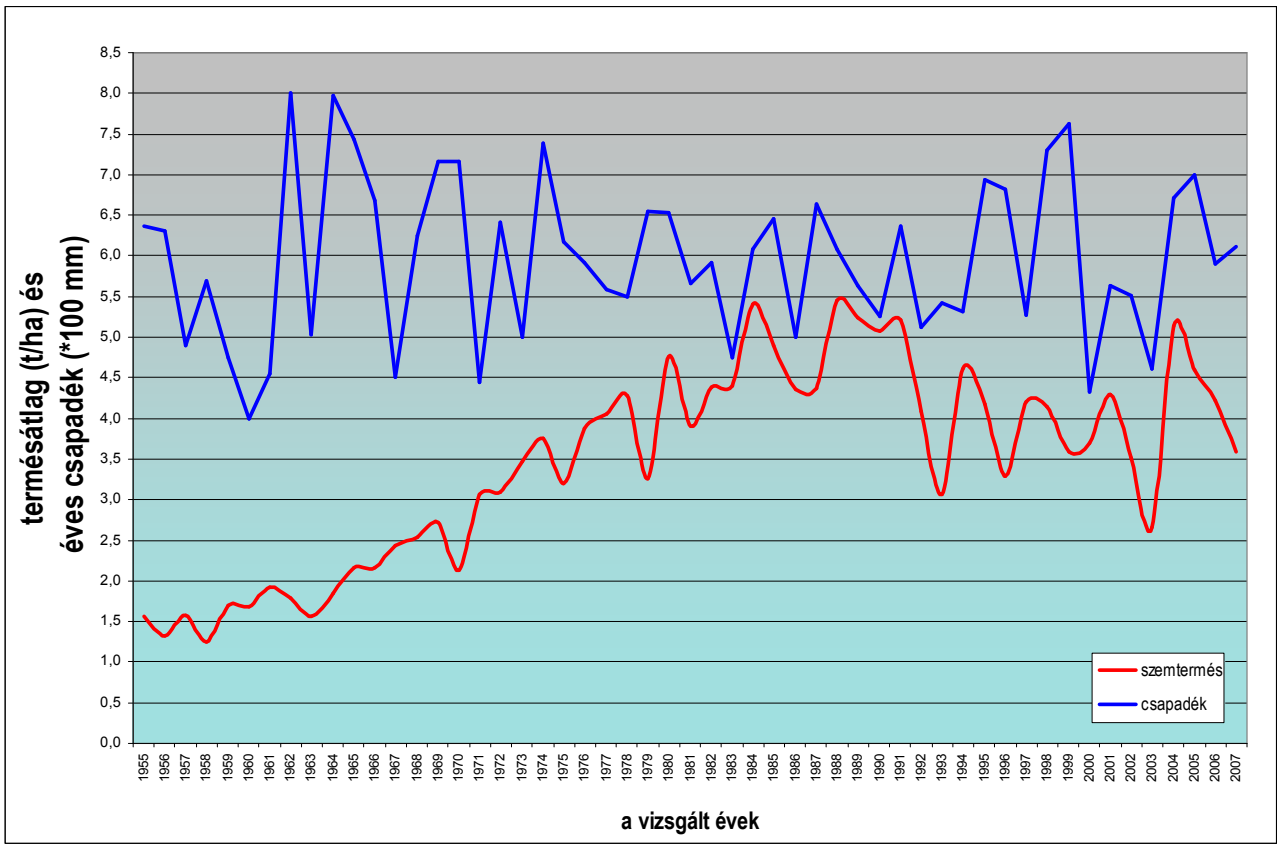
1. ábra

A Föld vízellátottsági térképe, az aszályos (semiarid) övezeteket a képen a citromsárga színnel jelölt terület jelzi (Theodora Maps)

A szárazság nem csak egyes aszályos években okoz károkat. A biztosítók statisztikai elemzése szerint, pl. az Amerikai Egyesült Államokban a biztosítótársaságok - évről évre - a szárazság okozta károkért fizetnek a legtöbbet a mezőgazdaságban. Ha a kontinenseket hasonlítjuk össze a termőföld termékenységét befolyásoló tényezők szempontjából, akkor is azt tapasztaljuk, hogy a legfontosabb limitáló tényező a vízhiány (Pepó, 2007).

Az aszály térségünkben is jelentős, esetenként országrésznyi területeken pusztító terméskorlátozó tényező, ezért tudomásul kell vennünk, hogy hazánkban minden évben számítani lehet hosszabb-

rövidebb ideig tartó szárazságra és annak a termésre gyakorolt negatív hatására. Abban az esetben, ha az utóbbi ötven év hazai búza termésátlagait vetjük össze az éves átlagcsapadék adatokkal egy rendkívül gyenge összefüggést kapunk, mivel ez alatt a hosszú idő alatt az egyéb agrotechnikai tényezők (műtrágya és növényvédőszer használat, talajművelés fejlődése, stb.) nagyobb hatást gyakoroltak az országos termésátlagra, mint a csapadék. Az utóbbi években azonban a csapadék mennyisége egyre szorosabb összefüggést mutat a országos búza termésátlagok alakulásával (**2. ábra**).



2. ábra

A búza országos termésátlaga és az éves átlagcsapadék adatok (1955-2007)

Az őszi búza, mint hosszú tenyészidejű, szárazságtűrő növényfaj általában jól tolerálja a vízhiányt, de termése jelentősen ingadozhat. A szárazság e fajnál is jelentős károkat okoz, amire kitűnő példa volt Magyarországon a 2003. évi és a 2004. évi búza termésátlag változása. A rendkívüli meleg nyár és az alacsony éves csapadék (476 mm) miatt 2003-ban az országos termésátlag 2640 kg/ha volt, az azt követő esős évben (686 mm) 5120 kg volt hektáronként.

Mivel hazánk éghajlatára legnagyobb mértékben a kontinentális tényezők hatnak, a csapadékhiány elleni védekezésnek hosszú története van Magyarországon (Gyárfás 1925). A védekezés legegyszerűbb módja a vízpótlás lenne, de a kalászosok öntözése a jelenlegi költség/ár kondíciók

miatt nem gazdaságos. Nagy tartalékok vannak még a vízmegőrző talajművelési eljárásokban is. Általánosan elmondható, hogy az okszerű talajművelés és a tápanyaggazdálkodás nagy mértékben csökkenti a vízhiány káros hatásait.

A szárazság elleni védekezés legkézenfekvőbbnek tűnő lehetősége a szárazságtűrésre történő nemesítés.

Braun és munkatársai (1998) valamint Láng (2006) tanulmánya szerint a jelen és jövő búzanemesítésének legfontosabb prioritásai közé tartozik a szárazságtűrésre történő nemesítés. A különböző fenofázisokban jelentkező, különböző erősségű és időtartamú szárazságstressz más és más fiziológiai vagy morfológiai tulajdonságokat érint, ezért a mi viszonyaink között olyan fajta nemesítése a cél, amely a fejlődés minden fázisában tűri a szárazságot (Lelley 1963). Hazánkban az időjárás évről évre jelentősen változik, ezért szántóföldi adatok elemzése alapján nehéz megítélni a köztermesztésben lévő fajták szárazságtűrésének mértékét. A szárazságtűrést olyan szántóföldön és laboratóriumban elvégezhető tesztvizsgálatokkal kell értékelni, amelyek az időjárástól függetlenül elvégezhetők, gyorsak, kevéssé költségesek, ugyanakkor megbízható eredményekkel szolgálnak.

Az 1989 és 1992 közötti időszakban őszi búzában különböző, szárazságtűrést tesztelő módszerek nemesítésben való alkalmazhatóságát tanulmányoztuk. A szakirodalomban talált gyors és használható tesztelési módszerek közül megvizsgáltuk az ozmotikumban végzett csírázási próbák, a csíranövény vízkultúra tesztek, levágott levelek víztartó képességén, élve hervasztott levelek prolin analízisén alapuló módszerek, antitranszspiráns szántóföldi alkalmazásának, szántóföldön elvégzett vetéssűrűségi és deszikkáns tesztek, valamint a nyomáskamrás vízpotenciál mérések használhatóságát.

2001 és 2004 között a fenti módszerek közül kiválasztott két leghasznosabbnak ítélt módszerrel, a tápanyag transzlokációt tesztelő kémiai deszikkálással és a zászlóslevelek víztartó képességének vizsgálatával szelektáltunk a szárazságtűrésre egy nemesítési programban.

Vizsgálati módszereink köre az utóbbi évben tovább bővült, így az eddig említetteken kívül lehetőségünk nyílt öntözéses kísérletek beállítására, levélfelület hőmérsékletének mérésére, valamint a relatív klorofill tartalom meghatározására is.

Fentieken kívül két egymást követő évben vizsgáltuk a szegedi búzanemesítési programból származó 70 régi és új fajta termőképességét és a terméskomponensek változását. A két évjárat szélsőségesen eltért egymástól, így lehetőségünk nyílt a genotípusok abiotikus stressztoleranciáját is összehasonlítani. A vizsgálatban választ kerestünk arra, hogy a megváltozott környezeti feltételek között mely terméskomponenseknek van legnagyobb szerepük az általános alkalmazkodó képesség kialakításában, továbbá melyek a fajták termésstabilitásának legfontosabb elemei.

1.2. Célkitűzések

Jelen értekezés célja:

- a szárazságtűrés tanulmányozására alkalmas - élettani alapokon kidolgozott - módszerek alkalmazhatóságának tesztelése az őszi búza genotípusokon
- a szárazságtűrést tesztelő módszerekkel történő szelekció értékelése a búzanemesítési programban
- az egyes terméskomponensek szerepének tisztázása a szegedi búzanemesítési programból származó régi és új genotípusok produktivitásában és stressztoleranciájában
- az összefüggés mértékének meghatározása a kiválasztott tesztmódszerekkel meghatározott, laboratóriumi és a szántóföldi körülmények között mért aszálytűrés között
- az eredményeink alapján kiválasztott módszerek felhasználása az őszi búza szárazságtűrésének és alkalmazkodóképességének javítására irányuló nemesítésében.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Szárazságstressz, szárazságtűrés

Szárazságstressz (vízhiány) akkor alakul ki a növényben, ha a növény vízigénye nagyobb, mint a környezet vízszolgáltató képessége (Blum 1988). A vízhiány lehet abszolút, amikor a növény - környezet kapcsolatban nincs elegendő víz, és relatív, például amikor a gyors evapotranszspiráció miatt a növény vízutánpótlás mellett sem képes vízegyensúlyát megőrizni.

A szárazságstressz rendkívül összetett jelenség. A stressz erőssége, időtartama, előfordulásának időpontja valamint együttes előfordulása más abiotikus stresszekkel (hőstressz, sóstressz), évről évre változik, ezért a toleráns növénynek is többféle ellenállási stratégiával kell rendelkeznie.

A **szárazságtűrést** vagy **szárazságtoleranciát** sokáig úgy jellemezték, mint a növények azon képességét, mellyel a súlyos vízhiányt át tudják „vészelni", a szemtermés csökkenése nélkül. Az agronómiai értelemben vett szárazságtűrés az optimális és száraz körülmények között mért termés arányával fejezhető ki (Clarke és McCaig 1982a).

Magyarországon mások az elvárások a szárazságtűrő növényekkel szemben, mint a folyamatosan szárazság sújtotta fejlődő országokban. Itt azt a növényt nevezzük szárazságtűrőnek, amely száraz, aszályos években is viszonylag nagy termést ad, azaz a szárazságstressz hatására termése nem, vagy csak kis mértékben csökken. A cél tehát nem a szélsőséges vízhiányt is túlélő genotípus, hanem a száraz viszonyok között is gazdaságos hozamot produkáló nagy termőképességű fajta előállítása. A konvencionális nemesítés nehézségei között meg kell még említenünk azt, hogy a termőképesség és a szárazságtűrő képesség között általában negatív korreláció áll fenn, a szárazságtűrés komplexitása miatt az egyes tulajdonságokra történő szelekció legtöbbször nem vezet eredményre és mind a mai napig nincs olyan általánosan elfogadott szelekciós módszer amivel biztosan lehet tesztelni ezt a tulajdonságot (Heszky, 2007).

Az őszi búza szárazságtoleranciája rendkívül értékes tulajdonság. E tulajdonságra történő nemesítés azonban a megfelelő tesztelési módszerek hiánya miatt nehézségekbe ütközik. Nehezíti a szelekciót továbbá, hogy a szemtermés - mint legfontosabb nemesítői cél - önmagában nem alkalmas a szárazságtűrés mérésére, hiszen sok szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyeg (túlzott koraiság, kis zöldtömeg, gyenge bokrosodó-képesség, stb.) optimális körülmények között terméscsökkentő tényező is lehet.

A globális felmelegedés tovább erősíti a szárazságtűrés és a hőtűrés jelentőségét és fontosságát. Az előrejelzések szerint az üvegházhatást elősegítő CO_2 és egyéb gázok koncentrációjának emelkedésével emelkedik bolygónk hőmérséklete, és a természeti anomáliák (meteorológiai

jelenségek) gyakorisága. A szárazságstressz ezért legtöbbször egyéb abiotikus stresszekkel (hőstressz, ásványi stressz stb.) együtt jelentkezik.

2.2. A szárazságtűrő növény stratégiája szárazsággal szemben, a szárazságstressz élettana

A szárazságtűrő növény (*xerofiton*) az elégtelen vízellátást, és az alacsony páratartalmú levegőt tartósan, hosszabb időn át elviselő növény (Magyar Nagylexikon 2003).

Levitt (1980) a növényeket a vízhiányra való reakcióik alapján a következőképpen csoportosította:

I. menekülők vagy álrezisztensek (*escapers*)

II. vízvesztést elkerülők (magas vízpotenciál)

III. vízvesztést tűrők (alacsony vízpotenciál)

Az első csoportba (I.) tartozó álrezisztens növények tulajdonképpen nem szárazságtűrők, hiszen rövid tenyészidejükkel elkerülik a szárazságot. Világszerte megfigyelhető, hogy a száraz vidékeken termesztett fajták általában szélsőségesen koraiak. Lelley (1963) szerint azok a búzafajták, amelyeknek a fényszakasza rövid, tavasszal hamar szárba indulnak, kevésbé szenvednek a tavaszi szárazságtól. A korán érő, gyors szemtelítődésű fajták általában toleránsak a késői - virágzást követő – szárazságstresszre is, ezért a koraiságra való szelekció Magyarországon is többnyire előnyös.

A vízvesztést elkerülő növények (II.) azok, amelyek képesek víztartalmuk fenntartására a talajban illetve a levegőben fellépő vízhiány mellett is. A szárazságot úgy vészelik át, hogy rendkívül hatékonyan hasznosítják a felvett vizet. Levitt (1980) e csoportot két alcsoportra osztotta fel: *víztartalékolók*ra és *vízhasznosítók*ra.

A *víztartalékolás* elsősorban morfológiai jegyekkel van összefüggésben. Ez általában azoknak a növényeknek a sajátja, amelyeknél a túlélés az elsődleges cél. A kultúrnövények egyes külső morfológiai jegyei is segítenek a vízvesztés elkerülésében. A levelek mérete és orientációja, a sztómák elhelyezkedése, a növény külső felületének viaszoltsága, illetve szőrözöttsége mind a víztartalékolást segítik. Innes és munkatársai (1981) szerint a kis felületű, felálló levelű búzák száraz körülmények között azért szerepelnek jobban, mert a levelek kevesebb sugárzást kapnak, így kevesebb vizet kell párologtatniuk.

A viaszoltság, illetve a szőrözöttség szintén gátolja a növény felmelegedését, valamint módosítja a növényt érő sugárzás spektrális összetételét (Johnson és mtsi. 1983, Blum 1988, Clarke és Richards 1988). Száraz körülmények között a viaszoltság a termésveszteséget is csökkentheti (Ross 1972, Webster 1977, Fischer és Wood 1979).

Clarke és McCaig (1982b) olyan módszert fejlesztett ki, amellyel a levágott búzalevelek víztartó képességét hasonlította össze. Hasonló vizsgálatok alapján mások is jól ismételhető különbségeket

kaptak a kísérletbe vont genotípusok között (Jaradat és Konzak 1983, Winter és mtsi. 1988, Cseuz 1990a). McCaig és Romagosa (1991) a módszer hibáit vizsgálta és megállapította, hogy a mintavételnél nagy figyelmet kell fordítani a levelek pozíciójára és korára, különben az eredmények gyökeresen eltérőek lehetnek akár egy adott növénynél is. Ez viszont nagyszámú genotípus tesztelésekor nehézséget okozhat.

A Levitt (1980) által *vízhasznosítók*nak nevezett növények úgy védekeznek a kiszáradás ellen, hogy gyökérzetük fejlesztésével megpróbálnak több vizet fölvenni. Sajnos, a gyökérzet megfigyelése rendkívül idő- és munkaigényes feladat, ezért széleskörű alkalmazása szelekciós indexként a növénynemesítésben nehéz (Derera és mtsi. 1969, Weir és Barraclough 1986), és jelentős felszereltséget igényel. Ehdaie és munkatársai (2003) igazolták a Pavon tavaszi búza fajtában az 1 és 2 kromoszómán található rozs tanszlokációk gyökértömeg-növelő, és ezen keresztül vízhasznosítást javító hatását.

Levitt (1980) harmadik csoportjába (III.) a vízvesztést tűrő növények tartoznak. A vízvesztés sejtszinten általában a sejtmembránok károsodását okozza. Ennek mértékében viszont jelentős különbségek lehetnek az egyes genotípusok között. A sejtmembránok stabilitását mérő tesztek (Flagella és mtsi. 1987, Premachandra és Shimada 1987, Borghi és mtsi. 1990), általában az ozmotikus stressznek kitett növényi részekből (pl. levél-korongokból) mérték az ionkiáramlást, az oldat elektromos vezetőképessége alapján. A módszer használatos egyéb abiotikus környezeti stressz hatásának vizsgálatára is (só-, hideg-, illetve hőstressz).

Meg kell említenünk az **aquaporinok**at, amelyek a vakuolum- és a plazmamembránokban található vízszállító fehérjék (water channels; pl. Tonoplast Intrinsic Proteins =TIP). A növényi sejtekben jelentős mennyiségben fordulnak elő, például bab sziklevélben az összes kivonható fehérjetartalom 2 %-át teszik ki. Jellemzőjük a kis aktivációs energia (E_a), az 1-nél nagyobb Pf/Pd érték (Pf: ozmotikus vízpermeabilitás, Pd: diffúziós permeabilitási együttható). Az aquaporinok számottevő tényezői a növényi membránok ozmotikus vízpermeabilitásának, megkönnyítik a xilém és a sejtek közötti ion- és vízáramlást, és hozzájárulnak vízhiányos növényben is a vízszállítás fenntartásához (Kavalkó és mtsi. 2003). A vízhiány szabályozza az aquaporinok hidraulikus vízvezető képességét: egyesek transzkripciójának csökkentése, másokénak megőrzése révén. Az ozmotikus stressz megszűnése után a normális aquaporin transzkripció helyreáll. Borsóban és *Arabidopsisban* azonosítottak olyan cDNS-t, amely aquaporint kódol (Guerrero és mtsi. 1990, Shinozaki és Shinozaki 1993). Szárazságstresszben fokozott fehérjeszintézist előidéző géneket árpában és búzában is leírtak, de ezek között nem volt aquaporint kódoló (Ingram és Bartels, 1996).

Az ozmotikus stressz ellen a sejt ozmoregulációval védekezik, azaz különböző ionos és nem ionos vegyületek aktív akkumulációjával növeli a sejtnedv ozmotikus nyomását. Általánosan ismert, hogy ozmotikus stressz esetében a növények poliaminokat halmoznak föl (Flores és Galston 1984, Smith

1985). A poliaminok felhalmozódása búza esetében fajtafüggőnek bizonyult, a legintenzívebb felhalmozódást a só- illetve szárazságtűrő tájfajták esetében mérték (Erdei és mtsi. 1990, Foster és Walters 1991). Fontos szerepet játszanak a növekedési és fejlődési folyamatokban, a membránok és nukleinsavak épségének megőrzésében (Galston 1983, Slocum és mtsi. 1984, Smith 1984, Sankhla és mtsi. 1988). Galiba és munkatársai (1991) különböző búza genotípusokból indított kalluszokon vizsgálta a poliaminok felhalmozódását só- és ozmotikus stressz hatására. A mannittal illetve PEG-gel előidézett ozmotikus stressz hatására, elsősorban a kalluszok putreszcin és kadaverin tartalma változott.

A LEA (Late Embryogenesis Abundant) fehérjék a sejtstruktúra megőrzését szolgálják vízhiány mellett is. Vízstressz esetén egy csoportjuk szerkezete ionok megkötését teszi lehetővé, másik csoportjuk erős vízkötési képességgel rendelkezik (Cleming 1999).

Hasonló módon járulnak hozzá az ionos és nem ionos ozmoregulációhoz a fotoszintézis egyes termékei (Acevedo és mtsi. 1979, Munns és Weir 1981, McDonnel és Wyn Jones, 1988, Al Hakimi és mtsi. 1995, Kerepesi és Galiba 2000, 2002, Szegletes és mtsi. 2000, Erdei és mtsi. 2002a), valamint egyes aminosavak (Pálfi és mtsi. 1988, Pálfi-Deim és mtsi. 1989) és szervetlen ionok is (Galiba és Erdei 1986, Erdei és Trivedi 1989, Gorham és mtsi. 1990, Trivedi és mtsi. 1991).

Erdei és munkatársai (2002b) a szárazságtűrő Kobomugi és a GK Öthalom fajták stresszreakcióját hasonlították össze. A két fajta között jelentős különbségeket találtak szénhidrát akkumulációban, vízpotenciálban és a klorofill fluoreszcencia paraméterekben.

A növények különböző stresszek hatására **abszcizinsavat (ABA)** termelnek. A megnövekedett ABA szint egy sor fiziológiai, növekedési és fejlődési változáshoz vezet, melyek következtében a növény adaptálódni tud a megváltozott környezeti feltételekhez. Ezek a változások nem feltétlenül vezetnek a növényi produkció növekedéséhez, inkább a túlélést célozzák. Többek között, az ABA koncentráció növekedése olyan adaptív morfológiai és fiziológiai változásokat okoz, mint a csökkenő transzspirációs ráta, kisebb levélméret, dúsabb levélszőrzet, vastagabb viaszréteg, vagy a csökkent bokrosodás és korábbi kalászolás (Quarrie és Jones 1977, Baker és Hunt 1981, Hall és McWha 1981, Quarrie 1982). Alacsony vízpotenciál mellett az ABA fokozza a gyökérnövekedést, ugyanakkor gátolja a hajtásnövekedést és így javítja a gyökér/hajtás arányt, ami szárazság esetén rendkívül előnyös. Az ABA mennyiségének vizsgálata a stresszhatáson átesett növényeken alkalmas arra, hogy az adaptációs képességet előre jelezze. Az ABA méréséhez gázkromatográfra van szükség. Emellett mérhető az ABA stresszbeli felhalmozódásának, majd a stressz megszűnése után a normális szintre való visszaállásának sebessége is. Az abszcizinsav bioszintézise a kloroplasztiszokban és más egyéb plasztiszokban, így a gyökérben is, elsősorban a gyökércsúcsban és a megnyúlási zónában történik. A gyökérrendszeren belül a korábban kiszáradó talajrétegekben

elhelyezkedő gyökerekben szintetizálódó ABA már akkor is jelzi a stressz kezdetét a hajtás felé, amikor a mélyebben elhelyezkedő gyökerek még ellátják vízzel a növényt, ezért nagy szerepet játszik az adaptációban. Emellett vízhiány mellett az ABA-függő vízcsatorna-gének fokozott expressziója révén, fokozza a xilém konduktivitását és fokozza a víztranszportot (Zhiponova és mtsi. 2002). Schramm és mtsi. (2008) szelekciós módszerében olyan ABA szenzitív mutánsokat alkalmaznak, amelyek emelt szintű dormanciával (kalászban csírázás ellenálló képesség) és szárazságtűrő képességgel is rendelkeznek.

Nem bizonyított azonban, hogy a növényekben szárazság hatására fölhalmozódó **prolin** az adaptációs folyamat része, vagy a fehérjék degradációjának következménye. Tény, hogy ozmotikus vagy hőstressz esetén, a prolin a többi aminosavhoz képest nagyságrendekkel nagyobb mennyiségben fordul elő (Pálfi és mtsi. 1988, Pálfi-Deim és mtsi. 1989), és így az ozmoregulációt segíti. Feltehetően egyes enzimek ozmotikus stresszel szembeni védelmében is szerepet játszik (Handa és mtsi. 1983, Naidu és mtsi. 1990, Dib és mtsi. 1994).
Hasonlóan a prolinhoz, a glicinbetainok is a vízpotenciált csökkentik a sejtnedvben való akkumulációjukkal ozmotikus stressz (Naidu és mtsi. 1990), illetve sóstressz esetén különböző fajokban. Egyes esetekben a sejt nitrogéntartalmának 10-30 %-át is glicinbetainok adják. Gabonafélékben a glicinbetain mind a szárazságstressz (Hitz és Hanson 1980), mind a sóstressz jó stressz indikátorának tűnik (Szegletes és mtsi. 2000).

2.3. A szárazságtűrés élettana, tesztelési módszerek

Fischer és Maurer (1978) szárazság fogékonysági indexet (**S**) vezetett be, amellyel az adott körülmények között elérhető termést lehet kifejezni. A képlet a következő:

$$S = (1 - Y_d/Y_i) / D$$

ahol Y_d = szárazságstressz körülmények közti hozam, Y_i = stresszmentes illetve öntözés melletti hozam, D = a szárazság súlyosságát kifejező index ($D = 1-(X/X_p)$ ahol X illetve X_p = az összes kísérletben szereplő genotípus átlagteljesítménye stresszmentes illetve stresszkörülmények mellett). A fogékonysági index alapján a növényfajták szárazságtűrésének mértéke összehasonlítható. Ha a szárazságtűrést a praktikus oldaláról (minimális termésveszteség) közelítjük meg, az egyoldalú S-értékre irányuló szelekció nem vezet eredményre, hiszen olyan genotípusokhoz jutunk, amelyeknek esetleg alacsony a termőképessége (Clarke és mtsi. 1992).

A Lin és Binns (1981) által bevezetett **P** „kiválósági mutató” (superiority index) talán egy fokkal jobban megközelíti a nemesítési célt, hiszen ez a számítás a mindenkori legmagasabb teljesítményű genotípust használja összehasonlítási alapul a különböző termőhelyeken:

$$P_i = ({}^{n}\Sigma_{j=1} (X_{ij} - M_j))^2/(2n)$$

ahol n a termőhelyek száma, X_{ij} az i-edik genotípus teljesítménye a j-edik termőhelyen, M_j pedig a j-edik termőhelyen maximális termést adó genotípus teljesítménye.
Passioura (1996) szerint a gazdaságos termést (Y_e) leginkább három dolog befolyásolja: az evapotranszspiráció, vagyis az elpárologtatott víz mennyisége (T), a vízhasználat hatékonysága (WUE), és a harvest index, azaz a szemtermés tömegének és az összes föld feletti növényi rész tömegének a hányadosa (HI). A képlet a következő:

$$Y_e = T \times WUE \times HI$$

Az egyenletből látható, hogy szárazság esetén, amikor az elpárologtatott víz mennyisége (T) korlátozott, a gazdaságos termést a vízfelhasználás hatékonyságának fokozásával (Condon és mtsi. 2002), illetve a harvest index növelésével emelhetjük. A HI növelésének a szárazságtűrésre történő nemesítésben kiemelt fontossága van (Richards 1996, Bedő és mtsi. 2002).
A harvest index megfelelő örökölhetősége, eltérő környezeti viszonyok melletti viszonylagos stabilitása, és a szemterméssel való pozitív korrelációja miatt jó szelekciós kritérium (Passioura 1977, Kertész 1984), ha a cél a nagy termőképesség. A HI emelése ezért általános nemesítői cél.

A szárazságtűrésre történő nemesítés legfontosabb megközelítési lehetősége a vízfelhasználás hatékonyságának növelése. A növényi sejtek anyagcseréje zavartalan fenntartásához járul hozzá az ozmoreguláció. Ez az adaptációs élettani folyamat a szerves és szervetlen vegyületek aktív akkumulációja útján megvédi a sejteket a szélsőséges vízvesztéstől és így fenntartja a gázcsere lehetőségét szárazságstressz esetén is. Az ozmoprotektáns szerves komponensek akkumulációja révén a sejt vízpotenciálja a talajoldaténál negatívabbá válik, ami a vízfölvétel és a turgor – és ezzel együtt a fotoszintézis – megőrzésének, fönntartásának feltétele (Morgan 1984). Az ozmoreguláció fokának precíz és közvetlen meghatározása (pszikhometria) hosszadalmas, így szelekciós módszernek kevéssé alkalmas. A nyári meleg és szárazság hatására bekövetkező levélvég elhalás, csúcsszáradás azonban a transzspiráció csökkenésének mutatója, így egyben közvetett szelekciós módszer az ozmoreguláció intenzitására (Castleberry 1983, Fischer és mtsi. 1983, Rosenow és mtsi. 1983).

Hasonlóan a levélperzselődéshez, a levélsodródás megfigyelése a gabonafélékben a turgor csökkenésére, így az ozmoreguláció gyengeségére (Hsiao és mtsi. 1984) illetve a levél ennek következtében kialakuló alacsony vízpotenciáljára utalhat (O`Toole és Moya 1978, Jones 1979, Loresto és Chang 1981, Chang és Loresto 1986). Ugyanakkor a levélsodródás lehet adaptációs mechanizmus is, amely csökkenti a növény vízvesztését, így bizonyos körülmények között termésnövelő tényező is lehet (Sirault és mtsi. 2008).

A növényekben kialakult vízhiány két fontos paraméterrel jellemezhető: a növény vagy növényi rész víztartalmával, valamint a növényben lévő víz energiaállapotával (Turner 1981). A víztartalmat a teljes víztelítettségi víztartalom százalékával (relatív víztartalom, illetve relatív vízhiány), a víz energia állapotát pedig a vízpotenciállal fejezhetjük ki. A két fogalom szoros kapcsolatban áll egymással és ez lehetővé teszi a ***nyomás-térfogat görbék*** használatát a növények vízállapotának jellemzésére illetve összevetésére (Wilson és mtsi. 1979, Rascio és mtsi. 1988, Cseuz és Erdei 1994).

A nyomás-térfogat görbék alkalmazásához először is a növény vagy növényi rész relatív víztartalmát, majd az ehhez a víztartalomhoz tartozó vízpotenciált kell meghatároznunk. A relatív víztartalmat vagy a relatív vízhiányt a friss tömeg, a nedves (víztelített) tömeg, és a száraz tömeg ismeretében ki lehet számolni. A vízpotenciált legegyszerűbben nyomáskamrával mérhetjük meg. A mérési eredmények ismeretében ezután megszerkeszthetők a nyomás - térfogat görbék, amelyekről leolvasható a növényi rész ozmotikus potenciálja teljes - és nulla turgornál, valamint kiszámolható, hogy a nulla turgor hány százalékos relatív víztartalomnál alakul ki. A módszer relatíve egyszerű és gyors, óránként 20-30 minta mérését lehet vele elvégezni.

Az ozmoreguláció mellett a növények gyökérzetének felülete, elhelyezkedése és a benne található nyomásviszonyok szintén kritikusak a növény szempontjából, hiszen a megfelelő gyökérzet segíti a növényt a turgor (és a gázcsere) fenntartásában akkor is, amikor a talaj nedvességtartalma csökken.

A ***gyökérzet közvetlen megfigyelése*** munkaigényessége miatt nem alkalmas szelekciós indexként való alkalmazásra, ha nagy populációkat kell értékelnünk. Ezen kívül a gyökérzet mérete erősen függ a környezeti tényezőktől, így a talajtól is (Mian és mtsi. 1993). A gyökérzet értékelését azonban közvetett módszerekkel is el lehet végezni. Fischer és munkatársai (1983) szerint a száraz körülmények közötti vízpotenciál mérés jó mutatója lehet a gyökér fejlettségének.

Az ***infravörös távhőmérés*** gyors és pontos különbségeket mutathat ki a különböző törzsek transzspirációs aktivitásában. A módszer hátránya, hogy csak speciális körülmények (hosszantartó, nagy meleggel párosult szárazság, teljes szélcsend, teljesen felhőtlen ég) mellett végezhető, így alkalmazásának, mint szelekciós indexnek a használhatóságáról megoszlanak a vélemények (Blum és mtsi. 1982, Blum 1983, Fischer és mtsi. 1983, Harris és mtsi. 1984, Turner és mtsi. 1986, Blum 1988, Winter és mtsi. 1988, Cseuz és mtsi. 2002a, 2002b, 2008, Inagaki és Nachit 2008). A

mérések pontosságát befolyásolja továbbá a beeső fény szöge, az egyes parcellák beállottsága, a növényfelület színe és viaszoltsága is.

A stresszfiziológia egyik legjelentősebb területe a ***fotoszintézis aktivitásának tanulmányozása*** stresszkörülmények között. A szénasszimiláció és a sztómafiziológiai folyamatok vizsgálata egymástól elválaszthatatlan, hiszen a sztómákon keresztül zajlik le a transzspiráció és a szén-dioxid felvétele. Mivel a növények nem rendelkeznek olyan membránnal, amely a szén-dioxid számára átjárható, ugyanakkor a vízgőz számára átjárhatatlan, a szén-dioxid felvétele mellett nagyságrendekkel nagyobb vízveszteséget kell elviselniük. Egyes növényfajoknál a levél saját tömegének tízszeresét is képes naponta elpárologtatni (Boyer 1985).

A fotoszintézis mérése az újabban elterjedő, hordozható, infravörös gázanalizátort tartalmazó készülékekkel egyre könnyebben és gyorsabban elvégezhető, nagyszámú vonal esetén azonban nehezen megoldható, így a nemesítők kezében szelekciós indexeként praktikusan nem használható (Blum, 1988). Ismail és Hall (1993) továbbá Morgan és munkatársai (1993) a módszert alkalmasnak találták a szárazságtűrésre irányuló szelekcióban. Molnár és munkatársai (2002) gázanalizátorral és klorofill fluoreszcencia mérésekkel mutatták ki az *Aegilops biuncialis* genotípusok fölényét az ozmotikus stressztoleranciában. A $^{13}C/^{12}C$ izotópok arányának vizsgálata és a vízfelhasználás hatékonyságának mérése szintén fontos bélyegek a szelekcióban (Farquhar és Richards 1984). Szőke és munkatársai (1991) a nettó fotoszintézis vízhasznosítási efficienciáját (WUE_{PN}) vizsgálta különböző tápanyagellátottság mellett búzában és szójában. Megállapításuk szerint szárazságstressz mellett a végprodukció alakulásában nem magának a fotoszintézis intenzitásának, hanem a limitáló tényező, a víz hasznosítási hatékonyságának van meghatározó szerepe.

A ***klorofill fluoreszcencia mérések*** gyors és megbízható különbségeket mutatnak ki a genotípusok között az ozmotikus stressz hatásáról (Havaux és Lannoye 1985, Pastore és mtsi. 1988, Winterberg és mtsi. 1990, Gallé és mtsi. 2002, Molnár és mtsi. 2002). Ezek a módszerek azonban pontosságuk és megbízhatóságuk mellett időigényesek, ezért a nemesítésben, széles körben valószínűleg nem tudnak elterjedni. Az újabban kapható hordozható készülékekkel sem lehet nagyszámú genotípust tesztelni.

A harvest index (HI) fokozása általában minden gabonanemesítő egyik legfontosabb célkitűzése. A szárazságtűrésre történő nemesítésben is kiemelt fontossága van. A szárazságstressz akkor csökkenti a legnagyobb mértékben a HI-t, ha a virágzást követő fenofázisban következik be. A HI tehát ekkor csak a tartalék tápanyagok rovására növekedhet. A közvetlen szelekció gyakorlatilag lehetetlen a különböző fenofázisban lévő növények tápanyagmobilizáló képességének összehasonlítására, egy közvetett módszerrel azonban megközelítőleg hasonló eredményt kaphatunk.

Ez a módszer a növények kémiai úton történő ***deszikkálása***, azonos fenofázisban. A kezelés a virágzást követő 14. napon történik, mivel a virágzást követő két hét alatt akkumulálódik a szárazanyag több, mint 90 %-a (Sofield és mtsi. 1977, Simmons és Crookston 1979). A mag szénforrása részben a szárban raktározott tápanyagok remobilizációja, részben a virágzást követő fotoszintézis (Austin és mtsi. 1977, Spiertz és Ellen 1978, Regan és mtsi. 1993). A szárban raktározott tartalék szénhidrátok legnagyobb részben fruktánokból, továbbá glükózból, szaharózból és keményítőből állnak. Ha a virágzás után a fotoszintézis hő- vagy szárazságstressz hatására leáll, a raktározott asszimiláták fontossága abszolút és relatív értelemben egyaránt megnő, mivel a mag növekedése csak ezen asszimiláták remobilizációjára támaszkodhat (Wardlaw 1967, Rawson és Evans, 1971, Davidson és Birch 1978, Austin és mtsi. 1980, Blum és mtsi. 1983a, Blum 1988). Davidson és Chevalier (1992) mérései szerint tavaszi búzában a virágzást követő 10-14 napig nőtt, azt követően csökkent a szár vízoldható szénhidrát tartalma. Borrel és munkatársai (1989) tavaszi búzában azt tapasztalták, hogy csak a virágzást követő 19. naptól kezdődött az asszimiláták transzlokációja. Austin és munkatársai (1982) mérései szerint őszi árpában a száraz körülmények között a magba áramló tápanyagoknak akár 50 %-a is származhat a transzlokációból, a nedves években mérhető 17 %-os részaránnyal szemben. Bidinger és munkatársai (1977) ezeket az értékeket 27 %-nak és 13 %-nak írták le búzában és árpában. Sanjeri Pireivatlou és Aliyev (2008) azt tapasztalta, hogy a növény föld fölötti vegetatív részeiből a transzlokáció 60,8 %-kal, a remobilizáció hatékonysága 74 %-kal emelkedett a mesterségesen előidézett szárazságstressz hatására. A szárazanyag transzlokációja a kalásztartó szártagban, a legfölső internódiumban és az alsóbb internódiumokban rendre 51,2 % és 76,9 %, , 106,8 % és 182,3 % illetve 100 % és 208,6 % között változott a vizsgált 11 búza genotípusban. A szárazságstressz mellett a transzlokáció 50,2 %-kal, 70,7 %-kal illetve 111,6 %-kal nőtt a kalásztartó szártagban, az első és az alsóbb internódiumokban.

A deszikkálásra alapozott tesztelési módszer szerint csak a szemtömeget kell összehasonlítani a kezelt és a kezeletlen parcellák között, mivel az ezerszemtömeg az egyetlen terméskomponens, amit a stressz befolyásol (Blum 1983, 1998, Kertész és mtsi. 1998, Hoffmann és mtsi. 2006, Cseuz és mtsai. 2008).

Kukoricában, szárazságtűrő és fogékony fajtán, szárazságstressz hatására a vízoldható fehérjékben bekövetkező változásokról ír Botha (1979). A változások az 5 kDa és a 10 kDa közötti molekulasúly tartományban következtek be. Vizsgálatai szerint a szárazságtűrő fajtában (G556 DT) bekövetkezett változások, sokkal kevésbé voltak kifejezettek, mint a fogékony (A281) genotípusban.

A ***csírázóképesség tesztelése ozmotikumban*** egyszerű kivitelezhetősége, valamint kis hely- és munkaigénye miatt, szintén régóta és kiterjedten alkalmazott módszer (Fleischmann 1928, Villax

1944). Hasznosságáról azonban megoszlanak a vélemények (Williams és mtsi. 1967, Ashraf és Shakra 1978, Clarke 1983a, Eddleman és Romo 1988, Cseuz 1990b).

A fiatal növények tesztelésére stresszkörülmények között különböző értékelési módszereket dolgoztak ki. Egy részük a viszonylag mérsékelt stressz melletti produkció (gyökér- és hajtásnövekedés stb.) csökkenését értékeli, más részük az extrém stresszen átesett csíranövények regenerálódó képességét teszteli (Williams és mtsi. 1967, Blum és mtsi. 1980, Cseuz 1990b, Dhanda és mtsi. 2002, Tomar és Kumar 2004).

2.4. A szárazságtűréssel kapcsolatos morfológiai tulajdonságok, az ideális genotípus

A 2.1. fejezetben már említésre került a morfológiai bélyegek fontossága a vízvesztés elkerülésében. A legtöbb morfológiai bélyeg egyszerű öröklődést követ, így könnyen szelektálható.

A száraz körülmények közötti optimális növénymagasságról megoszlanak a vélemények. Az *rht* (*reduced height* v. törpésítő) géneket többen kapcsolatba hozták a szárazság fogékonysággal (Fischer és Wood 1979), míg mások (Holbrook és Welsh 1980) ezt nem tudták bizonyítani. Rose és Kirkham (1982) rizotronban hasonlította össze törpeség génnel rendelkező, illetve nem rendelkező (*Rht/rht*) közel izogén vonalak gyökérjellemzőit. Szignifikáns különbséget nem kaptak, és ebből arra a következtetésre jutottak, hogy a kapcsolat a törpe szár és a csökkent gyökérnövekedés között nem minden esetben áll fenn. Borrel és munkatársai (1993) szerint optimális körülmények között a magas szárnak (*rht*) semmilyen előnye nincs, hiszen a *sink/source* arányban a *sink* a limitáló tényező. Ha azonban a fotoszintézis külső körülmények miatt gátolva van (szárazság miatti sztómazáródás, fényszegény körülmények, vagy külső okból bekövetkezett levélfelület csökkenés), a magas szárú *rht* növények az Rht_1 és Rht_2 törpe közel-izogénekkel szemben nagyobb mennyiségben tudnak a tartalékkeményítők transzlokációjával hozzájárulni a szemtelítődéshez. Másrészről a magas szár, mint raktározó szerv ugyan előnyös lehet a tápanyagok transzlokációja szempontjából, de Magyarországon, ahol az évi csapadék mennyisége szélsőségesen ingadozik, egyéb agronómiai okokból (dőlés, alacsony harvest index) inkább a szár vastagságára, mint a magasságára célszerű szelektálni, az optimális növénymagasságot inkább az agronómiai igények szerint kell meghatározni.

A kis levélfelület, a levelek állása, viaszoltsága illetve szőrözöttsége már tárgyalásra került a 2.1. fejezetben. A levélsodródás és a csúcsszáradás a növény vízállapotáról ad tájékoztatást.

A mérsékelt bokrosodás ugyan csökkenti a kalászok számát, viszont gazdaságos vízfelhasználást tesz lehetővé. Jó, ha egy növény a bokrosodásának mértékét a környezeti körülményeknek megfelelően rugalmasan tudja változtatni. A gyenge bokrosodás előnyösen befolyásolta a termést, amikor a szárazságstressz korai fenofázisban fordult elő (Islam és Sedgley 1981).

A ***xilém*** átmérője a gyökerekben és a szárban szintén nagy fontossággal bír a vízfelhasználás szempontjából (Richards és Passioura 1981, Venora és Calcagno 1991). Tény, hogy a gyökér hidraulikus konduktivitása szempontjából előnyös lehet a nagyobb átmérőjű xilém, hiszen ennek az ellenállása kisebb. Ugyanakkor a nagy átmérőjű xilém száraz viszonyok között hátrányos. Venora és Calcagno (1991) mérései szerint a szárazsághoz adaptálódott Capeiti durumbúza fajta gyökerében a xilém metszetének felülete 1422,9 μm^2 volt, míg a nem szárazságtűrő Karel-é ennek több mint másfélszerese (2276,6 μm^2). Szárazság esetén a nagyobb átmérőjű faedényekben a lecsökkent gyökérnyomás és a nagy mértékű transzspiráció következtében könnyebben szakad meg a vízoszlop, ami zavarokat okoz a növény vízellátásában.
A ***szálkák*** jelenléte a kalászon több szerző szerint segíti a szemtelítődést (Johnson és Moss 1976, Morgan 1984), mivel a magas ozmoreguláció miatt a fotoszintézis a kalászban tart a legtovább. Száraz körülmények között a kalász, mint fotoszintetizáló felület jelentősége a szemtelítődésben megnő. A szárazságtűrés szempontjából ezért előnyös tulajdonság a szálkás kalász.

Összefoglalva, az ideális szárazságtűrő búza kiterjedt, mélyre hatoló gyökérzettel, középmagas szárral, a körülményekhez igazodó bokrosodási képességgel, viaszolt vagy szőrözött, felálló és kis felületű levélzettel, valamint szálkázott kalásszal rendelkezik. Előnyös, ha korai érésű és a szár edénynyalábjai vékonyak.

2.5. A szárazságtűrés genetikája

Az előzőekből világosan kiderül, hogy a "szárazságtűrés", mint önálló tulajdonság nem létezik. Ez az oka annak, hogy valószínűleg a géntranszfer technikák sem hoznak gyors javulást a szárazság tolerancia javításában. A tulajdonság genetikai szabályozását és öröklődését csak az egyes különálló, szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyegek vizsgálatával lehet tanulmányozni.
Bőséges az irodalma a termés és a szárazságstressz kapcsolat genetikai változékonyságának (Clarke és McCaig 1982a, 1982b, Dodig és mtsi. 2002, Nachit és Elouafi 2002). Ezekben a publikációkban általában stresszkörnyezetben, illetve közel optimális körülmények között tartott növények terméscsökkenését vizsgálták. Termésstabilitásban a vizsgált fajták között jelentős variabilitást írtak le búza illetve durumbúza esetében (Laing és Fischer 1977, Keim és Kronstad 1981, Blum és mtsi. 1983b, Dodig és mtsi. 2002, Nachit és Elouafi 2002) és más kultúrnövényekben (Seetharama és mtsi. 1982, Fischer és mtsi. 1982, 1983, Rizza és mtsi. 2002).
A levél vízpotenciáljának stabilitásában is nagy genetikai variabilitást találtak több növényben és búzában is (Quarrie és Jones 1977, Fischer és Sanchez 1979, Sojka és mtsi. 1981). A szárazságstressz hatására a levél vízpotenciálja fajtánként eltérő mértékben változott, és a bélyeg

kapcsolata a stresszkörülmények között mért hozammal, fajta (genotípus) függő volt (Sojka és mtsi. 1981).

A gyökérnövekedés és a gyökérzet mérete a legnehezebben tanulmányozható növényi karakterek egyike. Genetikai variabilitását mégis sokan vizsgálták, hiszen ez a bélyeg szoros kapcsolatban áll az előzővel is és minden bizonnyal jelentős szerepe van a növényi szárazságtűrésben. Cirokban (Jordan és Miller 1980), rizsben (Chang és Loresto 1985), kukoricában (Fischer és mtsi. 1976, Sharp 1990), zabban (Barbour és Murphy 1984), árpában és búzában (Derera és mtsi. 1969, Hurd 1968, O`Brian 1979, Richards és Passioura 1981, Leucci és mtsi. 2002) jelentős variabilitást írtak le a vizsgált genotípusok között a stresszkörülmények között mért gyökérnövekedésben illetve a gyökérben képződő hemicellulóz szintézisben. Rogers és Bottomley (1987) NMR-en alapuló gyökérvizsgálati módszert dolgozott ki. Armenta-Soto és munkatársai (1983) egy 8x8-as diallél kísérletben vizsgálták a gyökérhossz, a gyökércsúcs vastagság, a gyökérszám és a gyökér : hajtás arány öröklődését vízkultúrában. A hosszú gyökér és a nagy gyökérszám elsősorban dominánsan öröklődött egy szülőnél. A gyökér : hajtás arány öröklődését domináns és recesszív allélok is szabályozták a szülőpártól függően. Az összes vizsgált tulajdonság gyengén öröklődött.

Ekanayake és munkatársai (1985) eredményei megerősítették a fentieket, azaz hogy a legfontosabb gyökérjellemzők (gyökérhossz, gyökértömeg, gyökérzet sűrűsége stb.) öröklődésében domináns és additív genetikai variációt találtak rizsben, továbbá egyes gyökérjellemzők és a hajtáson megfigyelhető, szárazságtűréssel összefüggésbe hozható bélyegek (levélsodródás) között szoros összefüggést fedeztek fel. Dhanda és munkatársai (2002) csíranövényeken felvételezhető szárazságtűrési bélyegek (csírázási %, gyökérhossz : hajtáshossz arány, sejtmembrán stabilitás, gyökérhossz, magvigor) öröklődését kísérték figyelemmel. Megállapították, hogy a felsorolt bélyegek kialakulásában additív génhatás érvényesül.

Derera és munkatársai (1969) szoros, pozitív korrelációt írtak le a száraz környezetben mért termés és a másodlagos gyökerek száma között. Ehdaie és munkatársai (2003) a Kavkáz búzafajtából származó 1RS rozs transzlokáció gyökértömeg növelő hatását vizsgálták.

Richards és Passioura (1981), valamint Venora és Calcagno (1991) a gyökérben mért xilém belméretében széles genetikai variabilitásról tett említést. A szülő : utód regresszió szerint jól szelektálható, jól öröklődő bélyegről van szó.

Fajon belüli, fajták közötti genetikai variabilitást figyeltek meg az ozmoregulációban is (Ludlow 1980, Blum és mtsi. 1983b, Johnson és mtsi. 1983, Morgan 1984). Az ozmoregulációra történő szelekciót egyes szerzők célravezetőnek (Morgan 1984) míg mások (Handa és mtsi. 1983, Quisenberry és mtsi. 1984) kevésbé használhatónak ítélik meg. Morgan (1984) szerint a bélyeg egyszerű öröklésmenetet mutat. Zhiponova és munkatársai (2002) PEG-gel előidézett ozmotikus stressz és optimális körülmények között nevelt búzanövényekben különbözően expresszált géneket

találtak. A stressz hatására bekapcsoló gének nagy része a membránranszport fehérjéket, ABA- és stresszválasz fehérjéket kódolt.

A levél diffuzív rezisztenciájának öröklésmenetét több fajban (cirok, búza, angolperje) is tanulmányozták (Blum 1973, Shimshi és Ephrat 1975, Fischer és Sanchez 1979, Gay 1986). Roarke és Quisenberry (1977) gyapot esetében megállapították, hogy a bélyeg öröklődésében additív és domináns génhatások is szerepet játszanak, az örökölhetőséget 25 %-osnak írták le.

A sztóma aktivitás nagymértékben függ az abszcizinsav (ABA) felhalmozó képességtől is. Az ABA felhalmozódása a növényben azonban függ a növény környezetétől, a stressz időpontjától és erősségétől is. Az ABA termelődése fokozódik a turgor csökkenés hatására, ami üvegházban tartott növények esetében sokkal nagyobb mértékű (Quarrie 1993). Az ABA felhalmozásban nagy genetikai variációt mutattak ki búzában (Quarrie és Jones 1977), kölesben (Henson és mtsi. 1981) és cirokban (Durley és mtsi. 1983). Quarrie (1982) és Innes és munkatársai (1984) az ABA akkumuláló képességet, mint szelekciós indexet használva búzában kis hozamnövekedést értek el száraz és optimális körülmények között is. Az ABA akkumulációt egyszerűen öröklődő bélyegként jellemezték.

A bőrszövet viaszborítottságának öröklődését is több fajban vizsgálták. Cirokban bizonyították, hogy a *Bm1* és a *Bm2* lokuszon lokalizált gének felelősek a viaszborítottságért (Peterson és mtsi. 1982), míg a gyenge viaszoltságot három lokuszon (*h1, h2, h3*) található homozigóta recesszív allélok szabályozzák. A *Bm* (bloomless) és a *h* (sparse bloom) gének egymástól függetlenül hasadtak, és a különböző kombinációk különböző erősségű viaszborítottságot eredményeztek. Jordan és munkatársai (1983) harminc cirok hibrid vizsgálata alapján az általános kombinálódó képességet szignifikánsnak találták, míg a speciális kombinálódó képességet nem. Ebben a tekintetben az anyanövények hatása az apanövényekének háromszorosa volt. Búzában a viaszoltságot egy sor allélikus viasztermelő és inhibitor gén szabályozza. A "B" illetve "D" genomban lévő recesszív és domináns gének a következőek: *w1, W1, W1I, W2a, W2b, W2I* továbbá $W1^I$, $W2^I$, $W3^I$, *Iw1, lw2, lw3, W2, w1w2*, (McIntosh 1983, Komugi, Catalogue of gene symbols, 2007). A viaszborítottságot a viasz bioszintézise, illetve annak gátlása útján szabályozzák. A viaszmentes genotípusokban a béta-diketon termelődése volt gátolva (Bianchi és mtsi. 1980).

A levelek víztartó képességében nagy genetikai varianciát mutattak ki (Nass és Sterling 1981, Clarke és McCaig 1982a, 1982b, Jaradat és Konzak 1983, Premachandra és Shimada 1988). Clarke és Townley-Smith (1986) szerint nyolc durum búza keresztezéséből származó 50 törzs vizsgálata alapján a bélyeg egyszerű öröklésmenetet követ. Dedio (1975) szerint a több mint 30 éve elismert Pitic 62 fajta a jó víztartóképességért felelős domináns gént hordoz.

A stresszkörülmények között mérhető állományhőmérsékletben heterózist mutattak ki (Hofmann és mtsi. 1984). Blum és munkatársai (1982) búzában 4-8 ^{o}C-os különbséget figyeltek meg a

növényállományok felületi hőmérséklete között. A bélyeget rekurrens szelekcióban is használták kukoricában (Fischer és mtsi. 1976) és búzában is (Blum 1988). Az ausztráliai CSIRO 2007-től többek között ezzel a szelekciós módszerrel állít elő szárazságtűrő prebreeding törzseket. Az izraeli szárazságtűrő Bethlehem fajta előállítását nagymértékben erre a szelekciós bélyegre alapozták.
A stresszhatást követő regenerációt domináns vagy recesszív genetikai varianciával hozták kapcsolatba kukoricában (Williams és mtsi. 1967). Ebben a bélyegben a speciális kombinálódó-képesség fontosabbnak bizonyult, mint az általános kombinálódóképesség.
A szelekció a magas, illetve alacsony prolin akkumulációra mindkét irányban sikeres volt (Hanson és mtsi. 1979). Pálfi és munkatársai (1988) több növényfaj mellett, búzában is vizsgálták a prolinakkumuláló képességben mérhető genetikai variabilitást. A bélyeg valószínűleg szintén egyszerű öröklésmenetet követ. Dib és munkatársai (1994) a prolinakkumulációt hasznos szelekciós bélyegnek írták le durum búzában, ami negatív korrelációban áll a termésre, biológiai termésre, szemtömegre és a bokrosodási indexre számolt szárazság érzékenységi indexszel.

2.6. Legújabb eljárások, szárazságtűrésben szerepet játszó gének felkutatása

QTL analízissel nagyszámú, szárazságtűréssel kapcsolatban álló tulajdonság (fejlett gyökérrendszer, bokrosodás, levél vízpotenciál, ABA akkumuláció, viaszoltság, stb.) vizsgálatát végezték el. A térképezés alapján két fontos régió léte valószínűsíthető durum búzában a 7A és az 5A kromoszómán (Cattivelli és mtsi. 2002). Az 5A kromoszómán foglal helyet a „hidegadaptációs génkomplex” is, (Galiba és mtsi. 2001) ami az ozmoregulációt kódoló gének jelenlétét valószínűsíti. Quarrie és munkatársai (1994) egy magas ABA akkumulációs képességű tavaszi búza (SQ1) és a Chinese Spring keresztezéséből származó DH F_2 populációban magas ABA akkumulációt kódoló QTL-t térképeztek az 5A kromoszóma hosszú karjára, az Xpsr575 és az Xpsr426, közé mintegy 8 cM távolságra a Xpsr426-tól. Dodig és munkatársai (2002) 90 búza genotípus előzetes SSR analíziséről számolt be. Öt SSR lokusznál talált szignifikáns kapcsolatot a legfontosabb terméskomponenssel, az ezerszemtömeggel. Ebből három, öntözött körülmények között volt szignifikáns az 1B, az 5B és a 7D kromoszómán, kettő száraz körülmények között a 6D és a 7B kromoszómán. Farshadfar és munkatársai (2002) *Agropyron elongatum* addíciós vonalaival végzett vizsgálataik alapján a szárazságtűrési index (stressz tolerancia index, csírázási stressz index) QTL-jeit a 3E, az 5E és a 7E kromoszómán lokalizálták.
Mastrangelo és munkatársai (2003), továbbá Zhang és munkatársai (2004) rámutattak, hogy a szárazságtűrési mechanizmusok nagy része a különböző fajokban is azonos, tehát a géntechnológia eszközeivel a modellnövényekből a tulajdonságok átvihetők a haszonnövényekbe. Maccaferri és munkatársai (2008) nagyhatású, különböző vízellátottság mellett is termésstabilitást fokozó QTL-

eket találtak durum búzában egy 249 törzsből álló, Kofa x Svevo keresztezésből származó térképezési populációban. A két QTL-t a 2BL és a 3BS kromoszómára térképezték. A széles multidiszciplináris együttműködésre épülő TRITIMED projekt (Habash és mtsi. 2008) úgy kíván nagyhatású validált QTL-ek nyomára találni szintén durum búzában, hogy a kvantitatív genetika, a növényélettan, a transzkriptoma analízis és egy biokémiai hálózaton keresztül több termőhelyes kísérletekben vizsgálja a Cham 1 (rezisztens) és a Lahn (nagy termőképességű) fajtákból származó térképezési populációt. A több mint 30 termőhelyen végzett vizsgálatok alapján talált QTL-ekből (termőképesség, terméskomponensek, a növény fejlődése, fotoszintézis) genotípus x környezet interakcióját vizsgálják, hogy kiszűrjék a csak helyi környezetben jelentkező lókuszokat és megfelelő ideotípusokra találjanak.

A legújabb nemesítési eljárások körébe tartoznak a **transzgénikus technikák**. Noha az így előállított növényi genotípusok száma világszerte egyre nő, és a nemesítési folyamat is lerövidülhet (Sinclair és mtsi. 2004, Fehérné és mtsi. 2006) az abiotikus stresszekkel szembeni ellenállóságban ennek ellenére mindeddig áttörést nem sikerült elérni, valószínűleg a megfelelő gén/gének hiánya miatt. Kutatási szinten a lucerna eredetű aldózreduktáz (ALR) és ferritin (FER) géneket sikerült dohányba és búzába átvinni (Oberschall és mtsi. 2000, Pauk és mtsi. 2002a, 2002b). Dohányban, üvegházi tesztben az idegen gén javította a szárazságtűrést, búza kalluszban az ALR megváltoztatta a szénhidrát akkumulációt. Lényeges előrelépés valószínűleg csak a szárazságtűrést támogató több gén piramidálása révén várható. Ausztráliában beszámoltak két transzgénikus búza vonal sikeréről, azonban a közlés nem tudományos lapokban történt (ABC news 2008. 06. 18.). A közölt 20 %-os terméstöblettől azt várják, hogy áttörje a jelenleg világszerte létező masszív ellenállást a transzgénikus búzák bevezetése ellen.

A legfontosabb területek, ahol a transzgénikus technikák sikerrel kecsegtetnek a sejtstruktúra megőrzéséért felelős fehérjék (LEA, chaperon fehérjék) szintézisében, az ozmolitok túltermelésében, továbbá a stresszhatást kísérő károsító molekulák hatástalanítását biztosító mechanizmusokban (pl. reduktáz túltermelés) van (Dudits és Heszky 2000). Egy példa: a LEA szintézis javításával szárazságtűrésben előrelépést történt: az árpa *HVA1* génjét vitték át tavaszi búzába és a vízhasznosítás hatékonysága javult (Sivamani et al. 2000). Talán mindezideig egyik legsikeresebb ozmotikus stressztoleranciát mutató transzgénikus növények azok a DREB1A és DREB2A transzformáns *Arabidopsis* növények voltak, ahol a megfelelő cDNS-eket 35S promóter kontrollja alatt expresszáltattak (Liu et al. 1998). A stressztűrés szoros korrelációt mutatott a DREB1A célgének expressziójával, a növények azonban csökkent növekedést mutattak. A célgének között találták az rd29A gént, amelynek expressziója fokozódott a 35S:DREB1A transzformánsokban, de nem emelkedett meg a 35S:DREB2A transzgént hordozó transzformánsokban, amiből arra következtettek, hogy a DREB2A fehérje esetén még

posztranszlációs módosulás (foszforiláció?) is szükséges ahhoz, hogy a dehidráció során eredményesen funkcionáljon. A növekedésgátlást elkerülendő, a DREB1A proteint rd29A stressz-indukált promóter kontrollja alatt expresszáltatták, amit maga a dehidráció indukál. Az rd29A: DREB1A-t expresszáló növények jelentős fagy- és szárazságstressz toleranciát mutattak, anélkül, hogy növekedési zavarok alakultak volna ki a transzformánsokban (Yamaguchi-Shinozaki et al. 2002).

2.7. Genetikai előrehaladás, alkalmazkodóképesség, termésbiztonság

Mióta az ember tudatos növénytermelést végez, minden termesztett növényfaj hozama jelentős mértékben növekedett. A növényi produkció emelkedése csak részben köthető a nemesítéshez, azaz a genotípus megváltozásához, mert a hozamok emelkedéséhez az agrotechnikában végbement forradalmi változások is nagyban hozzájárultak. Ezért többen (Austin és mtsi., 1980, Canevara és mtsi. 1994, Balla és mtsi. 1986, Waddington és mtsi. 1986, Sayre és mtsi. 1997, Shearman és mtsi. 2005, Cseuz és mtsi. 2006) szerették volna tisztázni, hogy a növényi produkció emelkedésének hány százaléka köszönhető a nemesítésnek, továbbá melyek azok a termésösszetevők, amelyek a termőképesség javításához legnagyobb mértékben járultak hozzá. Canevara és munkatársai (1994) az elmúlt 90 év fajtáit hasonlították össze, amelyeket 7 csoportba rendeztek. Eredményeik szerint a legnagyobb genetikai előrehaladást a hozamokban a 90-es évek fajtái érték el, amelyek 830 kg/ha-os termőképesség bővülést hoztak, ami feltételezi, hogy még nem értük el a termőképesség növelésének felső határát. A termőképesség növekedése együtt járt a növénymagasság és vegetatív növekedés csökkenésével, és ezen keresztül a HI emelkedésével. Austin és munkatársai (1980) szerint az új, nagy termőképességű fajták jellemzője a rövid szár és a korai virágzás volt. A termőképességre való nemesítés együtt járt a HI emelkedésével. A HI további, 50 %-ról 60 %-ra történő emelkedése akár 25 %-os szemtermés növekedést is eredményezhet. A sokkal szárazabb éghajlatú Mexikóban Waddington és munkatársai (1986) számításai alapján 1950 óta mintegy 59 kg/ha/év volt a termés növekedésének mértéke. A termésnövekedés legnagyobb mértékben a területegységre eső szemszámnak és a kalászonkénti szemszám növekedésének volt köszönhető. A modern fajták ezerszemtömege azonban alacsonyabb volt, mint az 1950-es években elismert fajtáké. A szegedi fajták vizsgálata is ehhez hasonló eredményre vezetett (Cseuz és mtsi. 2006). A 70 fajtán végzett kísérletben az 1990-es évektől nemesített fajták termőképessége 50 %-kal haladta meg az 1960 előtt nemesített, 10 %-kal az 1970-es években nemesített és 5 %-kal a 80-as években nemesített fajták termésátlagát, két egymástól igen eltérő évjárat átlagában. Ez a tény évi 27,2 kg termésgyarapodásnak felel meg. Ugyanebben az időszakban az országos termésátlagok évi 35

kilogrammal emelkedtek. A terméseredmények emelkedésének mintegy 40 %-a származott a genetikai előrehaladásból.

Bocz (1973) 30-40 %-ra, Austin (1978) 60%-ra, Lupton (1982) 50%-ra becsülte a terméseredmények növekedéséből az új fajták szerepét.

Balla és munkatársai (1986) 1961 és 1983 között vizsgálták a martonvásári búzafajták genetikai előrehaladását. Huszonhárom év alatt 135 kg/ha termésnövekedést állapítottak meg évente, amiből 45,6 %-ot tulajdonítottak a genetikai előrehaladásnak. A magasabb szintű genetikai termőképesség a szerzők megállapítása szerint a biológiai termés (20-23 %) és a harvest index növekedésének (20-30 %) eredőjeként alakult ki.

Az elmúlt évtizedekben elért terméspotenciál további növelésének lehetősége nagymértékben a biotikus és abiotikus stresszorokhoz való sikeres adaptációtól függ. Az abiotikus stressztolerancia legfontosabb eleme a szárazságtűrés. A globális méretű fölmelegedés miatt egyre inkább sürgető feladat a szárazságtűrésben javított fajták előállítása.

3. ANYAG és MÓDSZER

3.1. A szárazságtűrést tesztelő módszerek

3.1.1. Csírázási próba ozmotikumban

Az 1989. évben 10, (Jubilejnaja-50, GK Kalangya, GK Kincső, Mv 8, Mv 15, Mv 16, GK Öthalom, GK Szőke, Vitka, GK Zombor) 1991-ben 46, 1992-ben 74 őszi búza (*Triticum aestivum* L. és *T. turgidum var. durum* Desf.) fajtával (**1. táblázat**) végeztünk csírázási próbát ozmotikumban. A kiválasztott fajták vetőmagja a GK Kht. kecskés-telepi tenyészkertjéből származott. Az ozmotikus stresszt polietilén-glikol (PEG Karbowax 6000 Fluka AG.) 6000-es oldattal idéztük elő. Az 1989-ben elvégzett kísérletben három (kontroll, 25 %-os illetve 30 %-os PEG oldat), 1991-ben és 1992-ben két kezelésben (kontroll és 25 %-os PEG oldat) vizsgáltuk a fajták csírázásának változását az ozmotikus stressz hatására. A 25 %-os és a 30 %-os stresszközeg ozmotikus nyomása -0,82 MPa, illetve -1,0 MPa volt.

A csíráztatás 1 %-os hypo oldatban fertőtlenített szemekkel történt. A szemeket 24 órás hidegkezelés után, 25° C-on, négy napig értékeltük. A csíráztatás Petri-csészében történt csapvízzel (kontroll), illetve a PEG oldattal nedvesített szűrőpapíron. A 11 cm átmérőjű Petri-csészékbe 8-8 ml folyadékot juttattunk. Kicsírázottnak azt a szemet számítottuk, amelynél a primer gyököcske hossza a 2 mm-t elérte. A csírázási százalékot a négy ismétlésben, 4 x 25 szem alapján számítottuk és a vizes kontroll százalékában fejeztük ki.

3.1.2. Csíranövény vízkultúra teszt

Tíz búzafajtával (GK Kincső, GK Kalangya, Jubilejnaja-50, Vitka, GK Szőke, GK Zombor, GK Öthalom, Martonvásári 8, Martonvásári 15, Martonvásári 16) végeztük el a három ismétléses, három kezeléses vízkultúrás tesztet 1989-ben. A kiválasztott búzafajták szemtermése a GK Kht. kecskési telepéről származott. Az ozmotikus stresszt PEG 6000-es oldattal idéztük elő. A három stresszközegben alkalmazott ozmotikus potenciál kezelésenként 0 (kontroll), -0,6 MPa és -0,82 MPa volt. A kezeléssel így szárazságstresszt szimuláltunk, azaz a csíranövények számára megnehezítettük a víz felvételét a fenntebb jelzett ozmotikus nyomású oldatokból. A növényeket 600 cm^3-es műanyag tartályokban, vízkultúrában tartottuk. A tartályok tetejére műanyag öntött szúnyogháló került, amelyekre előzőleg 3-3 db 35 mm hosszú, 36 mm belső átmérőjű, műanyag csövet ragasztottunk. Hypo 1 %-os oldatában fertőtlenített búzaszemeket előcsíráztattuk, azok megpattanásáig (24 h) és hasi barázdájukkal lefelé az előzőleg KNOP (0,2 g/l KNO_3, 0,8 g/l

$Ca(NO_3)_2$, 0,2 g/l KH_2PO_4, 0,2 g/l $MgSO_4x7H_2O$; 0,1 g/l $FePO_4$) oldattal peremig feltöltött edényeket fedő szúnyoghálóra helyeztük. Egy ismétlést egy edény reprezentált, amelyben a három műanyag gyűrű alján 5-5 búzaszem volt. Így ismétlésenként és kezelésenként 15 csíranövényünk volt. A tápoldat a szúnyogháló fölé emelkedett, így a növények hamar kicsíráztak, gyökerük átnőtt a hálón. A párolgási veszteséget ioncserélt vízzel pótoltuk.

1. táblázat A csírázási kísérletekben szereplő búzafajták (46/1991; 74/1992) neve, származása és rövidítése

Név	rövidítés	származás	Csírázási teszt	
			1991	1992
GK 32 82	32	GKI	*	*
GK 44 87	44	GKI	*	*
GK 47 89	47	GKI	*	*
Siete Cerros (tav.)	7C	Mexikó	*	*
Abu Ghraib	Abu	Irak	*	*
Adriana	Adr	HR	*	*
Alföld	Alf	Komp.	*	*
GK Ambitus	Amb	GKI		*
GK Barna	Ba	GKI		*
GK Basa	Basa	GKI		*
GK Bence	Be	GKI	*	*
GK Belladur	Bel	GKI		*
GK Borzó	Bor	GKI		*
Bucsányi 20	Bu 20	SK	*	*
GK Csaba	Csb	GKI		*
GK Csörnöc	Csö	GKI		*
GK Csűrös	Csű	GKI	*	*
Danka	Danka	HR		*
GK Délibáb	Db	GKI		*
Fertődi 293	F 293	GKI	*	*
Fatima	Fat	MV - RO	*	*
FD5	FD5	GKI		*
Guvvali 116	G 116	Azerb.	*	*
Gizah 162 (tav.)	G 162	EGY		*
GK Gereben	Gb	GKI		*
GK Góbé	Gó	GKI		*
GK Hetés	Het	GKI		*
Impuls	Imp	BG	*	*
GK István	In	GKI		*
Jubilejnaja-50	Jbj	GKI-UA	*	*
GK Kata	Kata	GKI	*	*
GK Kalangya	Kgy	GKI	*	*
GK Kaláka	Kk	GKI	*	*
GK Korond	Knd	GKI		*
Kooperáció	Koop	GKI-MV	*	*
GK Kincső	Kő	GKI	*	*
Korona	Krn	HR	*	*

Név	rövidítés	származás	Csírázási teszt	
			1991	1992
GK Metőc	Met	GKI		*
GK Minaret (T. durum)	Mi	GKI		*
GK Mini Manó	MM	GKI		*
MMs/TxGH	MMS	GKI		*
Moro	Moro	USA	*	*
Martonvásári 12	Mv 12	MV	*	*
Martonvásári 14	Mv 14	MV	*	*
Martonvásári 15	Mv 15	MV	*	*
Martonvásári 16	Mv 16	MV	*	*
Martonvásári 17	Mv 17	MV	*	*
Martonvásári 18	Mv 18	MV		*
MvGK 07.89	07.89	MV-GK		*
NE 835/2 (tav.)	NE	CDN	*	*
Neepawa (tav.)	Nee	CDN	*	*
OK 84343	OK	USA	*	*
GK Olt	Olt	GKI		*
Osage	Osa	USA	*	*
GK Őrzse	Ör	GKI	*	*
GK Őrség	Őrs	GKI	*	*
GKÖthalom	Öth	GKI	*	*
GKPannondur (T. durum)	Pd	GKI		*
GK Perint	Per	GKI		*
GK Pinka	Pin	GKI		*
Ringo star	Ri	GKI	*	*
Sakha 69 (tav.)	S 69	EGY		*
Sakha 8 (tav.)	S8	EGY		*
Sabir Beg (tav.)	Sab	Irak	*	*
Score	Scor	F	*	*
Scout 66	Scou	USA	*	*
GK Ságvári	Sgv	GKI	*	*
GK Szőke	Sző	GKI	*	*
GKTiszadur(T. durum)	Td	GKI		*
Thesee	Thes	F	*	*
Tiszatáj mut.	Ttjm	GKI	*	*
Turkey	Turk	USA	*	*
Vitka	Vi	F	*	*
GK Zombor	Zo	GKI	*	*

Az első tizenegy napon minden edényben KNOP oldat volt. 11 nap után (a növények kétleveles állapotában) az első kezelés növényeit friss KNOP oldatba, a 2. és 3. kezelés növényeit KNOP oldatban oldott 20 %-os PEG oldatba helyeztük át. Egyidejűleg mintát vettünk, s minden kezelésből ismétlésenként 5-5 növényt dolgoztunk fel. 7 nap után az első kezelés növényeit újra friss KNOP oldatba, a 2. kezelés növényeit újra KNOP + 20%-os PEG oldatba, míg a harmadik kezelés növényeit KNOP + 25 %-os PEG oldatba ültettük át. Egyidejűleg ismét mintát vettünk az előbb

leírt módon. Újabb 7 nap elteltével az összes megmaradt növényt (kezelésenként és ismétlésenként 5-5) értékeltük.

Feldolgozáskor növényenként hajtáshosszúságot, gyökérhosszúságot, hajtás- és gyökértömeget mértünk. A különválasztott hajtásokat és gyökereket ezután szárítószekrényben 60° C-on 4 napig szárítottuk, majd mértük a száraz tömeget. A mért adatokat és a számított víztartalom adatokat a kontrollhoz (PEG mentes tápoldat) hasonlítottuk, annak százalékában fejeztük ki, majd variancia analízissel értékeltük.

3.1.3. Levágott levelek víztartó képessége

Az **1. táblázatban** már ismertettett 46 búzafajtából álló, 6,5 m^2-es parcellaméretű, négy ismétléses, véletlen blokk elrendezésű szántóföldi teljesítménykísérlet növényeiről közel azonos méretű, sérüléstől és betegségtől mentes leveleket gyűjtöttünk a kora reggeli órákban. Fajtánként mind a négy ismétlés parcellájáról 5-5 fiatal, de már teljesen kifejlődött levelet választottunk. A leveleket a levélalap fölött elvágtuk, polietilén fóliába csomagoltuk és a laboratóriumba szállítottuk.

Itt azonnal megmértük a friss tömegüket majd a leveleket vízzel telt Petri-csészékben 24 órán keresztül inkubáltuk. A 24 óra elteltével meghatároztuk a levelek nedves tömegét (*TM=turgid mass*), miután a levelek felületét és a Petri-csészéket szárazra töröltük. A leveleket ezután saját nyitott Petri-csészéjükben 8 órán keresztül ellenőrzött körülmények között tartottuk (24 ºC $\pm$ 2 ºC, 65 % rel. páratartalom), majd a mérést megismételtük.

A levélmintákat ezután szárítószekrényben 70 ºC-on súlyállandóságig szárítottuk, majd meghatároztuk a száraz tömeget (*DM=dry mass*). A közvetlenül a mintavétel után mért tömeg (FM_1=*fresh mass*) és a száraz tömeg segítségével meghatároztuk a levelek kezdeti relatív víztartalmát (*relative water content*=RWC_1), a kezelésen átesett (deszikkált) levelek tömegéből (FM_2) és a száraz tömegből a deszikkált levelek relatív víztartalmát (RWC_2). A víztartó képességet (*WRA= water retention ability*) a friss levelek relatív víztartalmának százalékában fejeztük ki:

$$RWC_1 = \frac{FM_1 - DM}{TM - DM} * 100(\%) \qquad RWC_2 = \frac{FM_2 - DM}{TM - DM} * 100(\%) \qquad WRA = \frac{RWC_2}{RWC_1} * 100(\%)$$

A kapott adatokat varianciaanalízissel értékeltük. A mintavételt és a méréseket a bokrosodás fenofázisától a kalászolást követő fenofázisig kétszer végeztük el. A kísérletet 1991-ben és 1992-ben is elvégeztük 74, illetve 110 genotípuson.

A tesztet 2001-től a szárazságtűrő tenyészkertben szelekciós célra alkalmaztuk. Az 1. táblázaton kívüli genotípusok tenyészkertünk C-törzseiből (F_5-F_8 generáció) kerültek ki.

3.1.4. Élve hervasztott levelek prolin analízise

A prolin a növényekben a különböző stresszek hatására halmozódik föl. Ha elfogadjuk azt a tételt, hogy a nagyobb mennyiségű prolint felhalmozó növények stressztűrőbbek, uniformizálnunk kell az őket ért stresszhatást, azaz el kell azt érnünk, hogy a vizsgálatba vont fajtákat azonos mértékű belső vízhiány sújtsa. Erre a célra dolgozták ki Pálfi és munkatársai (1988) az élve hervasztásos prolinakkumuláció módszerét. A módszer lényege az, hogy a levágott búzaleveleket ellenőrzött körülmények között, azonos idő alatt éri a letális szárazságstressz.

1988-ban két csoportban 11 búza genotípus (GK Bence, GK Kalangya, GK Kincső, GK Öthalom, GK Ságvári, és GK Zombor, valamint GK Bence, Bucsányi 20, GK István, Jubilejnaja-50, GK Örzse és GK Szőke) prolin akkumulációját vizsgáltuk. Az azonos fenofázisban lévő (éppen kalászoló) friss hajtásokat a kora reggeli órákban gyűjtöttük be a kecskés-telepi tenyészkertből, majd azonnal polietilén tasakokba csomagoltuk és a laboratóriumba szállítottuk. Fajtánként 24 hajtást szedtünk. Levágtuk a leveleket, és ragasztószalaggal a műanyag tálcákat borító szűrőpapírra ragasztottuk. Az élvehervasztást és a prolintartalom meghatározását a Szegedi Tudományegyetem Növényélettani Tanszékén végeztük.

Az élvehervasztást a következőképpen végeztük: a levágott búzaleveleket 26-28 ºC-on, 5000 m^{-2} cd sr konstans megvilágítás mellett 90 %-os relatív páratartalmon tartottuk 60 órán keresztül, majd a páratartalmat az utolsó 12 órában 60 %-ra csökkentettük. Ezzel a módszerrel a búzalevelek közel azonos ütemben vesztették el víztartalmukat, azaz a harmadik nap végére azonos, letális belső vízhiányt értek el. Az élve hervasztás után a leveleket apróra vágtuk, majd 90 ºC-on megszárítottuk, és porrá őröltük. A port 105 ºC-on tovább szárítottuk, majd légmentesen lezárt üvegekben tároltuk. A kalászokkal ugyanezt az eljárást alkalmaztuk.

A prolintartalom meghatározását papírkromatográfiával, Paleg és Aspinall (1981) szerint végeztük. Az aminosav tartalmat Rosen (1957) leírása szerint határoztuk meg.

3.1.5. Nyomáskamrás vízpotenciál mérések

Kísérletünkben 15 kenyérbúza és egy tritikálé (NE 83/T) genotípus levágott zászlóslevelein végeztünk nedvességtartalom és vízpotenciál méréseket. A kiválasztott fajták között a hazai genotípusok (GK 47-89, GK Csűrös, GK Kata, GK Öthalom, GK Őrség, Martonvásári 8, Tiszatáj m.) mellett, arid vidékekről származó típusok (Guvvali 116, Kobomugi, Karchia, Pitic 62, T-79, OK 84343) és nyugat-európai típusú fajták (Score, GK Kata) egyaránt szerepeltek. A mérésekhez egész növényeket szedtünk a GK Kht. tenyészkertjéből a kora reggeli órákban. A növényeket polietilén tasakba csomagoltuk, hogy elkerüljük a vízvesztést és azonnal a laboratóriumba szállítottuk. A méréseket az MTA Biológiai Központjának Biofizika Intézetében végeztük.

A kiválasztott leveleket a laboratóriumban levágtuk és analitikai mérlegen mértük (friss tömeg). A mérés után mértük a vízpotenciál értékét, majd újra a tömegét. A vízpotenciál értékét nyomáskamrával (P.M.S. Instruments Co., Corvallis, Oregon) határoztuk meg, fajtánként három ismétlésben. A vízpotenciál és a tömeg méréseket ezután felváltva addig folytattuk, amíg értékelhető nyomásértékeket kaptunk, majd új levelet választottunk, és folytattuk a mérést. Arra törekedtünk, hogy levelenként legalább 7-8 adatpárunk legyen a lemetszett búzalevél vízvesztésének dinamikájáról. A leveleket ezután 24 óráig nedves szűrőpapír között tároltuk, majd mértük a nedves tömegét, majd szárítószekrényes szárítás után a száraz tömegét is. A kapott adatokból a relatív víztartalom, illetve relatív vízhiány értékét a következő képletek alapján számítottuk ki:

$$RWC = \frac{FM - DM}{TM - DM} * 100(\%); \quad WSD = \frac{TM - FM}{TM - DM} * 100(\%) \text{ tehát: } WSD = 100 - RWC$$

RWC = relatív víztartalom; *WSD* = relatív vízhiány; *FM* = friss tömeg; *DM* = száraz tömeg; *TM* = víztelített tömeg. Ezután a mért nyomásértékek és a hozzájuk tartozó számolt relatív víztartalom, illetve relatív vízhiány értékek birtokában nyomás-térfogat görbéket szerkesztettünk, majd regressziós egyenes illesztésével meghatároztuk a minták ozmotikus potenciálját teljes turgornál, és a vízpotenciált a turgor elvesztésekor. Kifejeztük a relatív vízhiány mértékét nulla turgornál, valamint a vizsgálatba vont fajták zászlósleveleinek nedvestömeg : száraztömeg arányát is. A kapott adatokat varianciaanalízissel értékeltük.

3.1.6. Antitranszspiráns szántóföldi alkalmazása

Szántóföldi körülmények között vizsgáltuk a Phytowax (MAFKI, Veszprém) párolgáscsökkentő szer hatását az ezerszemtömegre és a vizuálisan elbírálható morfológiai és fenológiai bélyegekre. A kísérletben 19 őszi kenyérbúza (GK Bence, Bucsányi 20, GK Csűrös, GK István, Jubilejnaja-50, GK Kata, GK Kalangya, GK Kaláka, GK Kincső, Korona, GK Őrség, GK Örzse, GK Öthalom, Score, GK Ságvári, GK Szőke, GK Zombor, GK 32.82 és GK 44.87), 2 tavaszi kenyérbúza (Abu Ghraib, Sabir Beg) és 3 őszi durum búza (GK Basa, GK Minaret, GK Pannondur) genotípus szerepelt.

A kísérletet 1990. október 27-én vetettük el, négyismétléses véletlen blokk elrendezésben, a GK Kht. kiszombori tenyészkertjében. A 6,5 m^2-es parcellákat Wintersteiger ∅jyord Plot Drill nyolcsoros vetőgéppel vetettük, majd a parcellákat kettéosztottuk.

A Phytowaxos kezelést a kertészetekben előírt töménységben, tízszeresen hígított oldattal végeztük úgy, hogy az egyik parcellafelet háti permetező segítségével lepermeteztük. A kezelést az egész tenyészidőszak folyamán, ötször ismételtük meg. Kezelésünkkel célunk az volt, hogy a feltételezett, természetes körülmények között előforduló szárazságstressz hatását csökkentsük, és így a kezelt parcellafélen gyarapodást tudjunk kimutatni egyes agronómiai paraméterekben. A kísérlet értékelésekor a következő morfológiai és agronómiai értékmérőket hasonlítottuk össze: növénymagasság, ezerszemtömeg, szemtermés, valamint a kalászolás ideje. Az adatokat az összehasonlíthatóság érdekében kontroll százalékra számítottuk. Értékeléskor, az egytényezős varianciaanalízist a kezelt és kezeletlen parcellafél között számolt kontroll százalék adatokkal végeztük el.

3.1.7. Vetéssűrűségi teszt szántóföldön

Az 1990. évben két vetési normával 12 búzafajtát (Abu Ghraib, Bucsányi-20, Jubilejnaja-50, GK Kincső, Mv 15, Mv 16, Mv 17, GK Öthalom, Sabir Beg, GK Ságvári, GK Szőke, GK Zombor) vizsgáltunk, négy ismétlésben a GK Kht. kiszombori tenyészkertjében. A parcellák mérete 6,5 m^2 volt. A vetett csíraszám az első kezelésben (kontroll) az általánosan elfogadott 550 csíra m^{-2}, míg a második kezelésben ennek háromszorosa, 1650 csíra m^{-2} volt. A parcellákat nyolcsoros, ∅jyord vetőgéppel vetettük el. A magas tőszám a szárazságstressz mellett számos egyéb mellékhatással is jár, ezért itt együttes stresszhatással kell számolnunk. Célunk a stressztűrő képesség elbírálása volt, amelynek a sűrű növényállományban jelentős szárazságtűrési komponense is van. A növényállományon belül megnövekedett magas páratartalom például kedvez a gombabetegségek elterjedésének, ezért különösen nagy súlyt fektettünk a növényvédelemre. Az etioláltság miatt a várhatóan nagyobb mértékű megdőlést felvételeztük, és a parcella százalékában adtuk meg. Tavasszal tőszámlálással ellenőriztük a tényleges tőszámot a normál és a sűrű vetésben egyaránt.
A tenyészidő folyamán vizsgáltuk a legfontosabb agronómiai paraméterek változását (pl. kalászolás, növénymagasság, stb.) az extrém magas tőszám hatására. A gépi aratást megelőzően a parcellákról mintát szedtünk, és meghatároztuk az ezerszemtömeget. Az ezerszemtömeg változást a kontroll százalékában fejeztük ki.

3.1.8. Deszikkációs teszt szántóföldön

A kísérletet 1990-ben, 1991-ben és 1992-ben végeztük el. A kísérlet helye a GK Kht. kecskés telepi tenyészkertje volt. Az 1990. és az 1991. évben a parcellákat Seedmatic (Wintersteiger), 6 soros vetőgéppel vetettük el, míg 1992-ben minden fajtát egy, négy ismétlésben szemenként elvetett (Wintersteiger Plotspider precision planter) egysoros parcella képviselte.

A tesztelésbe vont fajták körét folyamatosan növeltük. 1990-ben 46 (**1. táblázat**), 1991-ben 74, míg 1992-ben már 110 fajtát teszteltünk ezzel a módszerrel (az 1. táblázaton kívüli genotípusok tenyészkertünk fejlett törzseiből kerültek ki). A négyismétléses véletlen blokk elrendezésű szántóföldi kísérlet parcelláit kettéosztottuk. A fajták kalászolását és virágzását pontosan regisztráltuk és a perzselőszeres kezelést minden genotípus esetében azonos fenofázisban, a virágzást követő 14. napon végeztük el.

Deszikkálásra 2 %-os, ioncserélt vízben oldott nátrium-klorát oldatot ($NaClO_3$, Fluka A.G.) használtunk, amelyet 80 ml m^{-2} dózisban, kézi permetezőgéppel juttattunk ki a kettéosztott parcellák egyik felére úgy, hogy a permet az egész növényállomány levélzetét befedje, mivel a szer kontakt úton hat. Az oldatot a kora reggeli órákban a harmat fölszáradása után juttattuk ki, hogy elősegítsük a szer gyors behatolását a fotoszintetizáló szövetekhez. A kezelést eső esetén megismételtük, ha a csapadék a permet beszívódása előtt (120 perc) hullott.

A parcellafelek termését a kezeletlen (kontroll) parcellafél teljes érésekor, parcellakombájnnal (Wintersteiger Hydrostatic) arattuk le, előzőleg azonban kalászmintát szedtünk, minden ismétlés mindkét parcellafeléről. Az ezerszemtömeg méréshez szedett kalászmintákat kalászcséplővel csépeltük. Az ezerszemtömeg csökkenést a kezeletlen parcellafél (kontroll) százalékában fejeztük ki.

A tesztet 2001-től, a szárazságtűrő tenyészkertben szelekciós célra alkalmaztuk.

3.2. Szárazságtűrési szelekciós kerti vizsgálatok

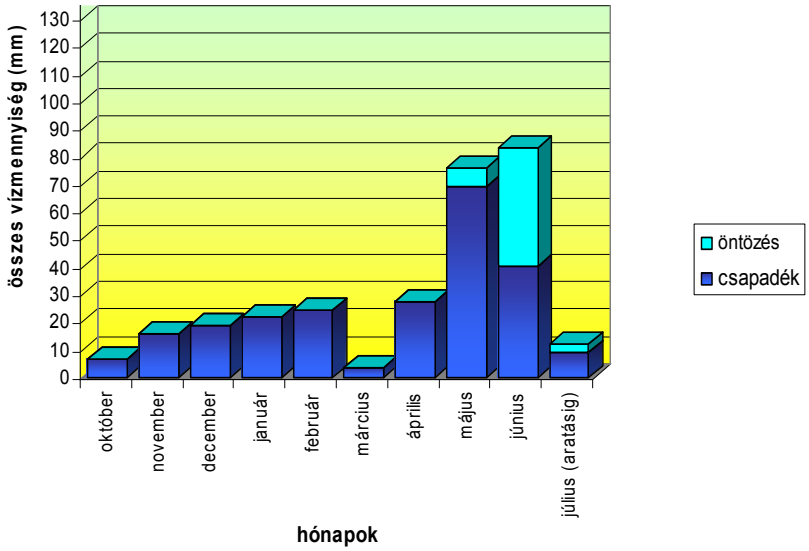
A tenyészkerti tesztjeinket minden évben hasonlóan, egy háromismétléses, véletlen blokk elrendezésű szántóföldi szelekciós kísérletben végezzük. Ezek a vizsgálatok a Szegeden folyó nemesítési program részét képezik, beépültek a szelekció folyamatába. A teszteket a bejelentés előtt álló törzseken és a még elismerés előtt álló fajtajelölteken (55 genotípus) végeztük el. A kísérlet során 2001-ben 55, 2002-ben 70, 2003-ban és 2004-ben 100 genotípust vizsgáltunk. A kísérletben kétsoros parcellákat vetettünk el, kezelésenként három ismétlésben. A vetés Wintersteiger Seedmatic vetőgéppel október első dekádjában történt. A kétsoros parcellák mérete 0,5 m^2 volt. A 2001. évben kettő, 2002-től három kezelést alkalmaztunk. A kontroll mellett öntözött körülmények

között és deszikkáns szerrel ($NaClO_3$) kezelve vizsgáltuk a fajták reakcióit a különböző szintű vízhiánystresszre. A háromkezeléses, háromismétléses, száz genotípust tesztelő kísérletben így összesen 900, egyenként kétsoros parcellát vizsgáltunk. Az öntözött parcellákat a kontroll parcelláktól puffer parcellákkal választottuk el.

Egy héttel kalászolás előtt és egy héttel kalászolás után mértük a kísérletben vizsgált **genotípusok zászlósleveleinek víztartó képességét.** A parcellákról ismétlésenként zászlósleveleket gyűjtöttünk be. Meghatároztuk a friss tömegüket, víztelített tömegüket, 8 (24 órás 2001-ben) órás deszikkálás utáni vízvesztésüket, majd száraz tömegüket. A közvetlenül a mintavétel után mért tömeg (FM_1) és a száraz tömeg (DM) segítségével, valamint a víztelített tömeg (TM) ismeretében meghatároztuk a levelek kezdeti relatív víztartalmát (RWC_1), majd a deszikkálás utáni relatív víztartalmát (RWC_2) a korábban (3.1.3.) leírt módon. A 2001. évben még 24 órás szárítást alkalmaztunk, majd 2002-től bevezettük a 8 órás szárítást.

A **tápanyag transzlokációs képességet** a tenyészkerti deszikkációs teszt alapján határoztuk meg, a 3.1.7. fejezetben írtaknak megfelelően.

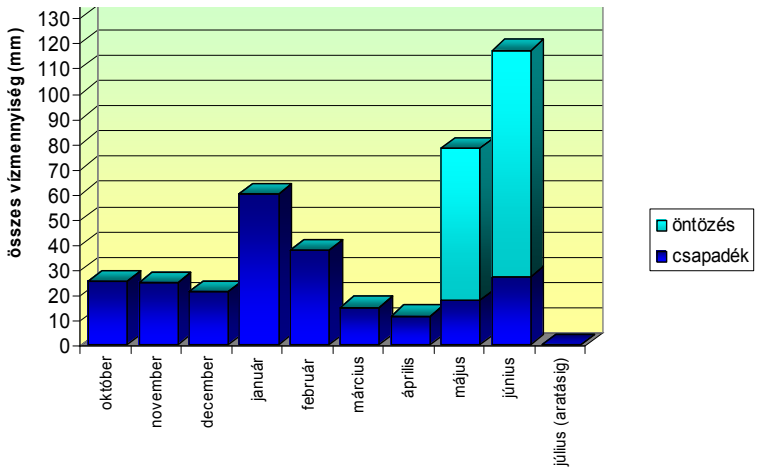
Csapadékpótló öntözéses kezelést 2002-től alkalmaztunk. Az öntözést kalászolás előtt kezdtük el, és egészen viaszérésig folytattuk (május 5. – június 3.). A három év csapadékviszonyait és a vízutánpótlás mennyiségét a **3., 4.** és **5. ábra** mutatja be.



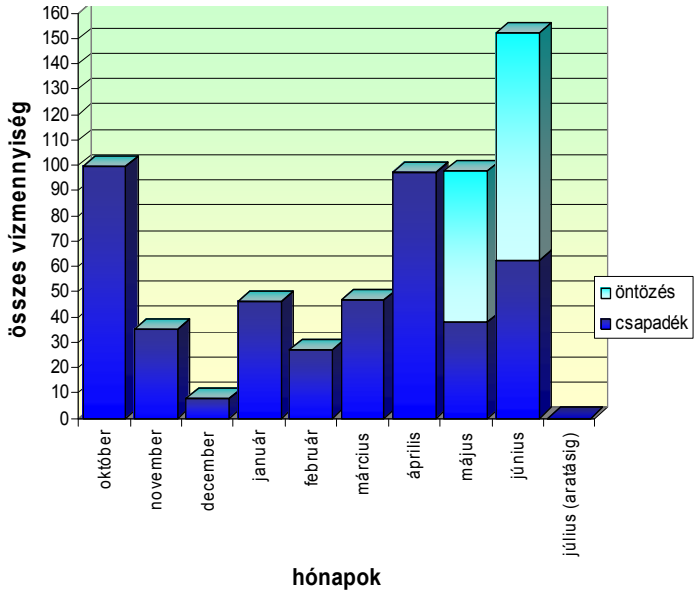
3. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés (Szeged, 2002)

A csapadék mennyisége miatt 2002-ben csak 50 mm, 2003-ban 140 mm, 2004-ben 150 mm vizet juttattunk ki, összesen öt-öt részletben. Mértük a különböző **agronómiai bélyegek** (növénymagasság, kalászolás, ezerszemtömeg), a **levélfelület hőmérséklet,** és a **klorofill tartalom**

változását. A növénymagasságot mérőrúddal határoztuk meg úgy, hogy a talajfelszín és a főkalász csúcsa (szálkák nélkül) közt mért távolságot rögzítettük.



4. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés (Szeged, 2003)



5. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés (Szeged, 2004)

A kalászolást a január elsejétől eltelt napok számával fejeztük ki. A ezerszemtömeget 2x100 szem tömegének méréséből számítottuk ki.

A **parcellák felületi hőmérsékletét** kézi infravörös hőmérővel (Crop-Track, Spectrum Inc.) mértük. Szelekciós szempontból azok a genotípusok értékesek, amelyek a legnagyobb stressz mellett is fenntartják a fotoszintézist, mert ezekben – valószínűleg fejlettebb ozmoregulációs képességük, vagy nagyobb, hatékonyabb gyökérrendszerük miatt – később alakul ki a belső vízhiány (vízvesztés-ellenállóság). Ezek a növények a fotoszintézis mellett párologtatnak, így levelük hőmérséklete alacsonyabb. A felületi hőmérsékletet az öntözött és a kontroll kezelés minden ismétlésében elvégeztük. Ügyeltünk arra, hogy az öntözött területen a mérést mindig

legalább 3 nappal az utolsó öntözés után végezzük el. A felületi hőmérséklet meghatározásakor minden parcellát azonos szögből mértünk, a parcella leginkább beállott részén.
A **klorofill tartalmat** a Fieldscout CM-1000 típusú (Spectrum Inc.) fényvisszaverődésen alapuló klorofill tartalom mérő műszerrel határoztuk meg.

3.3. Az alkalmazott nemesítési rendszer

Nemesítési rendszerünk a klasszikus Pedigré módszeren alapszik, gépparkunkra és speciális adottságainkra adaptált változata. A genetikai változékonyságot keresztezéssel, a kiegyenlítettséget többszöri egyedkiválogatással érjük el.
A keresztezéseket kézi megporzással üvegházban, illetve tenyészidőben a tenyészkertben végezzük. Az F_1 nemzedéket legtöbbször üvegházban neveljük föl, így a keresztezéstől számított egy éven belül földbe kerülhet az F_2 generáció. Az F_2 nemzedéket tág térállásban vetjük el és az alapvető morfológiai és kórtani követelményeknek megfelelő növényekről kalászt szedünk. A kalászok termését kalászutódsorokba vetjük. A kiegyenlítettnek látszó kalászutódsorok (F_3-F_5) termését ismétlés nélküli, információs teljesítménykísérletbe vetjük (parcellaméret 6,5 m^2), de ezzel párhuzamosan a genetikai tisztaságot kalászutódsorokban tartjuk fenn. A legjobban szereplő törzseket ezután négyismétléses kísérletben vizsgáljuk. Ekkor már minden törzsnek van vetőmagszaporítása és minimálisan 48 kalászutódsora. A tesztelés ezután, az ország kilenc-tíz, ökológiailag eltérő termőhelyén elhelyezett "tájtörzs" kísérletben folytatódik (lásd 3.4. fejezet). A legjobbakat jelentjük be fajtajelöltként az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet (OMMI), jelenleg Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MgSzH) vizsgálataiba. A szelekciós munkát kórtani tesztek, télállósági, szárazságtolerancia és minőségi vizsgálatok segítik.
A nemesítés nagy számú törzssel dolgozik. Az F_3-F_5 nemzedékben lévő kalászutódsorok száma meghaladja a 20.000-et, de még az F_5-F_6 nemzedékben (információs kísérletek) is közel kétezer törzset vizsgálunk évente.
Ez a tény erősen korlátozza a szárazságtűrést tesztelő módszerek körét. A cél nem lehet az egész genetikai anyag tesztelése, hanem csak egy szűkebb köré. Célszerűnek látszik ezért a keresztezési alapanyag, illetve a tájtörzskísérletbe kerülő jelöltek tesztelése.
Még ez is közel száz genotípus vizsgálatát jelenti évente, ezért a tesztelési módszereknek a megbízhatóságon túl egyszerűeknek, kis munkaigényűeknek és nem utolsó sorban olcsóknak kell lenniük.

3.4. Több termőhelyes kísérletek, agrometeorológiai adatok és talajviszonyok

Évente 9-11 helyen állítjuk be a négyismétléses teljesítmény kísérleteket, abból a célból, hogy a bejelentés előtt álló búzatörzsek alkalmazkodóképességéről kapjunk információt. A teljesítménykísérletekben a bejelentés előtt álló törzsek (évente mintegy 44 - 66 törzs + kontroll fajták) vesznek részt. A szárazságtűrési vizsgálatok szempontjából a különböző termőhelyek közül a legjellemzőbb nyári időjárás alapján az alábbi négyet választottunk ki:

Szeged Kecskés-telep	száraz és meleg
Szarvas	száraz és meleg
Táplánszentkereszt I. vetésidő	kevésbé száraz és kevésbé meleg
Bóly	csapadékosabb és meleg

Négy, egymást követő évet vizsgáltunk, amelyek közül 2001 és 2004 jórészt stresszmentes volt, 2002-ben elsősorban kora tavaszi szárazság fordult elő, a szemtelítődés végére már csapadékosabbá vált az időjárás. A 2003. év rendkívül száraz és forró volt, a szárazság a virágzást követő, szemtelítődés fenofázisban is folytatódott. Ha elfogadjuk azt a tételt, hogy vannak szárazsággal erősen és kevésbé sújtott területek, és egy-egy évjáratban a szárazság termésre és a terméskomponensekre gyakorolt hatása jóval meghaladja a többi környezeti tényezőét, akkor itt alkalmazhatjuk a Lin és Binns (1981) képletét a szárazság érzékenység illetve a szárazságtolerancia kifejezése érdekében. Az általuk bevezetett P „kiválósági mutató” megközelíti a nemesítési célt, hiszen ez a számítás a mindenkori legmagasabb teljesítményű genotípust használja összehasonlítási alapul a különböző termőhelyeken (lásd 2.3.).

A kiválasztott termőhelyek (Szeged-Kecskés, Szarvas, Táplánszentkereszt és Bóly) kontrasztosan eltérő ökológiai körülményeket biztosítanak a kísérletbe vont genotípusoknak. Szeged és Szarvas a hőmérsékleti és a csapadék adatok alapján is inkább száraz, míg Táplánszentkereszt a hőmérsékleti adatok alapján, Bóly a csapadék adatok alapján inkább a stresszmentes kategóriába sorolható.

Mind a négy termőhelyen feldolgoztuk a szárazságstressz kialakulásáért felelős meteorológiai tényezőket:

- csapadék adatokat
- hőmérséklet adatokat
- hőösszeget
- napsütéses órák számát.

A csapadék adatokat tíznapos terminusokban mm-ben adtuk meg, az előző év vetésétől aratásig, termőhelyenként és évenként. Kiszámoltuk a búza tenyészkertekre hullott összes csapadékot a vetés és az aratás között, január elseje és az aratás között, április elseje és az aratás között, valamint a kalászolástól az aratásig terjedő időszakban. A hőmérsékleti adatoknál a havi középhőmérsékletet közöljük °C-ban, míg áprilistól aratásig a hőmérsékleti adatokat itt is tíznapos periódusokban mutatjuk be. A hőmérsékleti adatoknál is informatívabbak a hőösszeg adatok, amelyeket április elseje és az aratás közötti időintervallumra számítottunk ki. A hőösszeget a napi középhőmérséklet adatokból és az aratásig eltelt napok számából kalkuláltuk.

A csapadékadatokat Szegeden, Táplánszentkereszten és Bólyban a saját magunk mértük. A szarvasi csapadék adatokat, valamint az összes termőhely hőmérséklet- és napsütéses órák száma adatait pedig a helyi meteorológiai állomások hivatalos kimutatásai alapján állítottuk össze.

Szegeden a kecskés-telepi kísérleti tér talaja karbonátos réti csernozjom vályogtalaj, 2% humusztartalmú, kémhatása 7,2, kötöttségi száma 42-45. Szarvason az Örménykút felé vezető út mentén elhelyezkedő kísérleti tér talaja igen kötött réti öntéstalaj volt, míg a bólyi kísérleteket mélyrétegű, löszön képződött csernozjom talajon állítottuk be. Táplánszentkereszten a kísérleti tér talajtípusa barna erdőtalaj, kötöttsége 42, humusztartalma 2,28 %, pH értéke 6,29, enyhén savanyú.

A kiválasztott termőhelyek meteorológiai tényezőit mutatja be a **2. táblázat**.

2. táblázat Meteorológiai adatok a kiválasztott négy termőhelyen (2001-2004)

	évek	Szeged	Szarvas	Táplán	Bóly	átlag
Csapadék vetéstől aratásig	2001	428,0	394,2	353,0	492,9	**417,0**
	2002	218,0	252,0	229,0	383,0	**270,5**
	2003	283,0	241,0	326,0	304,0	**288,5**
	2004	459,0	467,0	491,0	575,2	**498,1**
	átlag	**347,0**	**338,6**	**349,8**	**438,8**	**368,5**
Csapadék kalászolástól aratásig	2001	203,0	147,8	46,0	228,2	**156,3**
	2002	106,0	115,0	85,0	105,5	**102,9**
	2003	46,0	22,0	65,0	53,7	**46,7**
	2004	100,0	131,0	209,0	157,7	**149,4**
	átlag	**113,8**	**104,0**	**101,3**	**136,3**	**113,8**
Hőösszeg április 1-től aratásig	2001	1749,0	1776,0	1535,0	1734,0	**1698,5**
	2002	1923,0	1951,0	1649,0	1900,0	**1855,8**
	2003	1975,0	2007,0	1811,0	2000,0	**1948,3**
	2004	1376,0	1389,0	1243,0	1392,0	**1350,0**
	átlag	**1755,8**	**1780,8**	**1559,5**	**1756,5**	**1713,1**
Napsütéses órák száma április 1-től aratásig	2001	700,0	702,0	710,0	750,0	**715,5**
	2002	670,0	685,0	671,0	703,2	**682,3**
	2003	816,0	785,0	768,0	777,0	**786,5**
	2004	671,0	805,0	544,0	588,0	**652,0**
	átlag	**714,3**	**744,3**	**673,3**	**704,6**	**709,1**
	évek	Szeged	Szarvas	Táplán	Bóly	átlag

3.5. Szegedi nemesítésű genotípusok szántóföldi teljesítménykísérletei

Két egymást követő évben (2002/2003; 2003/2004) vizsgáltuk a szegedi nemesítési programból származó illetve arra nagy hatást gyakorló 70, régi és modern kenyér- és durumbúza genotípus teljesítményét két eltérő kezelésben egy négyismétléses szántóföldi termésösszehasonlító kísérletben. A kísérletet mindkét évben Szegeden, a kecskés-telepi tenyészkertben két kezeléssel (kontroll és high input) négy ismétléssel állítottuk be.

A kísérletben elvetett fajták (**3. táblázat**) reprezentálták a dél-alföldi búzanemesítési programból származó szegedi, és az arra nagy hatást gyakorló jelentős külföldi fajtákat. A nyolcsoros parcellák mérete a GK Kht. kalászos kísérleteiben konvencionális 6,5 m^2 volt, a parcellákat teljes randomizált blokkban rendeztük el. A teljes kísérlet 24 blokkban volt elhelyezve, blokkonként 24 parcellát tartalmazott. A szegélyhatást szegélyparcellák vetésével küszöböltük ki. Minden 24 genotípust tartalmazó blokkban egy kontroll fajta, a GK Öthalom foglalt helyet. A kísérletet optimális időben, 2002-ben október 8-án, 2003-ban október 18-án vetettük el. Az előnövény mindkét alkalommal tavaszi vetésű fehér mustár (*Sinapis alba*) volt.

A **kontroll kezelésben** részesült parcellák csak alaptrágyát (70+70+70 kg NPK őszi alaptrágya hatóanyag) és rovarirtószeres növényvédelmet kaptak (Enduro, Fendona, Sumi Alfa). Az intenzív agrotechnikai (**high input**) kezelésben 120 kg N fejtrágya, és teljes körű növényvédelem (fungicides védelem 2x) egészítette ki a kontroll technológiát. Mindkét kezelés parcelláit optimális időben, teljes érésben, parcellakombájnnal takarítottuk be. Betakarítás előtt a parcellákról növénymintát szedtünk a terméskomponensek meghatározásához.

A szemtermés mennyiségének meghatározásán kívül felvételeztük a kalászonkénti termést és szemszámot, a kalászszámot, a növénymagasságot, az ezerszemtömeget, a biológiai termést. A mért adatokból harvest indexet számoltunk. A fenti tulajdonságokat 50-50 hajtás földolgozása alapján határoztuk meg.

Minden parcelláról szedtünk magmintákat és NIR gyorsmódszerrel meghatároztuk a minták fehérjetartalmát, nedvessikér tartalmát és a szemkeménységét.

3. táblázat A genetikai előrehaladás vizsgálatában részt vevő fajták legfontosabb jellemzői

Név	Kombináció	Származása, elismerés éve
GK Öthalom	2*Szg / Jbj 50	GK Kht. 1985
Bánkúti 1201	Bánkúti 5 / Marquis	Bánkút. 1942
Fertődi 293	2*Bánkúti 1201 / Kawvale	GK Kht. 1955
Bezosztaja 1	Lutescens 17/ Skorospelka	Oroszo. 1960
Jubilejnaja-50	Mironovszkaja 808 / Bzt 1	Ukrajna, 1970
GK Tiszatáj	Bzt1 x Fiorello	GK Kht. 1976
GK Szeged	Stampelli / MM // Bzt1	GK Kht. 1978
GK Boglár	GT 76150 / Sanja	GK Kht. 1981
GK Ságvári	Au / GT 76.150	GK Kht. 1982
GK Kincső	Atr / Sv	GK Kht. 1983
Bucsányi 20	Norim 64 / Alba // Iljicsovka	Szlovákia, 1983
GK Zombor	Kavkáz / Produttore // Sava	GK Kht. 1985
GK István	Kremena / Aurora	GK Kht. 1987
GK Csongor	GT 76.150 / Pdj 2	GK Kht. 1980
GK Szőke	Tobari66 / 8156R // Bzt1	GK Kht. 1987
GK Örzse	Sava / MarisHunstman	GK Kht. 1987
GK Kata	Zg884 / Mv4 // GK3282	GK Kht. 1991
GK Csűrös	Arthur – Ttj2	GK Kht. 1991
GK Őrség	GK F2 / Hays 59	GK Kht. 1991
GK Olt	Lilla / Mv8	GK Kht. 1992
GK Góbé	MM / Kő	GK Kht.1992
GK Délibáb	MM // Jbj50 / SadovoS /3/ MM / Mv12	GK Kht. 1992
Thesée	Horace / M.Hunstman	Fr.o.-ból 1992
GK Zugoly	Kő / In	GK Kht. 1995
GK Öthalom	2*Szg / Jbj50	GK Kht. 1985
GK Barna	D1 / Sava // Aquileja	GK Kht. 1990
GK Csörnöc	F3 pop-ból 6077 sz. Törzs	GK Kht. 1995
GK Marcal	81579 // MM	GK Kht. 1995
GK Hattyas	Ild / Mv4 // Ild / Bgdw	GK Kht. 1996
GK Kende	Mv8 / Ré	GK Kht. 1996
GK Szivárvány	Zg241 / Öth // Mv17 / Öth	GK Kht. 2000
GK Élet	Öth // Sgv / Bounty /3/ Mv4 / Brj	GK Kht. 1997
GK Kalász	MM / Kő // Lovrin24 / Ko	GK Kht. 1997
GK Malmos	Zo / Katja	GK Kht. 1997
GK Véka	Lovrin24 / MM // MM / Kő	GK Kht. 1997
GK Tavasz	Cimmyt törzs sel.	Cimmyt t.1996

Név	Kombináció	Származása, elismerés éve
GK Garaboly	D12 / MM	GK Kht. 1998
GK Dávid	MM / In	GK Kht. 1998
GK Cipó	Mv15 / In	GK Kht. 1998
GK Favorit	GK34-82 / MM	GK Kht. 1998
GK Mérő	Sző / Zo	GK Kht. 1998
GK Mura	T3184 / GKT5	GK Kht. 1998
GK Sára	GK54.91 / Kata	GK Kht. 1998
GK Miska	GK44.87 / Öth	GK Kht. 1998
GK Jászság	Kő / 2*MM	GK Kht. 1999
GK Verecke	Bzt1 / Pu	GK Kht. 1999
GK Tenger	2*Kő / Mv4	GK Kht. 1999
GK Forrás	Kő / Mv4	GK Kht. 1999
GK Öthalom	2*Szg / Jbj50	GK Kht. 1985
GK Petur	The / Öth	GK Kht. 1999
GK Bagoly	Mv16 / Zg241	GK Kht. 2000
GK Sas	Mv16 / Zg241	GK Kht. 2000
GK Szálka	Galy / Mv119.88	GK Kht. 2000
GK Szivárvány	Zg241 / Öth // Mv17 / Öth	GK Kht. 2000
GK Rába	Bu20 / HE82	GK Kht. 2000
GK Csongrád	Kő / 2*MM // Kő / In	GK Kht. 2001
GK Ati	2*Mv4 /3/ Jkm / Rna2 // Grn / D1 /4/ MM	GK Kht. 2001
GK Héja	Mv16 / Zu	GK Kht. 2001
GK Margit	Ck983 / Gb // MM / Ré	GK Kht. 2001
GK Rubintos	2*Mv4 /3/ Jkm / Rna2 // Grn / D1 /4/ MM	GK Kht. 2002
GK Smaragd	In / Gó	GK Kht. 2002
GK Cinege	Zu / Él	GK Kht. 2002
GK Ledava	(E34*76.1/142)*(ZG 5007*GK 020684)	GK Kht. 2002
GK Hattyú	Gó // Öth / MM	GK Kht. 2002
GK Minaret	Fata-sel / 185.1 // 61.300 / Leeds	GK Kht. 1980
GK Basa	Karabasah // 61.300 / Leeds	GK Kht. 1980
GK Pannondur	Sz-D7 F3 populációból	GK Kht. 1985
GK Tiszadur	Leukomeljan2 / Min	GK Kht.1992
GK Novodur	Pa / 2*Min	GK Kht. 1993
GK Bétadur	Bd 546 / Pnd	GK Kht. 1996
GK Diadur	S. Basa / 2*Basa // Min	GK Kht. Nem
GK Selyemdur	Nvd / Coopdur	GK Kht. 2001

3.6. Statisztikai analízis

Mind a laboratóriumi, üvegházi, mind a szántóföldi kísérleteket három illetve négy ismétléses, véletlen blokk elrendezésben állítottuk be. Az eredmények kiértékelésekor egy-, két- és háromtényezős varianciaanalízist, valamint korreláció számításokat végeztünk. A legtöbb számításhoz az MS Excel programot, a többváltozós számításokhoz az SPSS szoftvert használtuk.

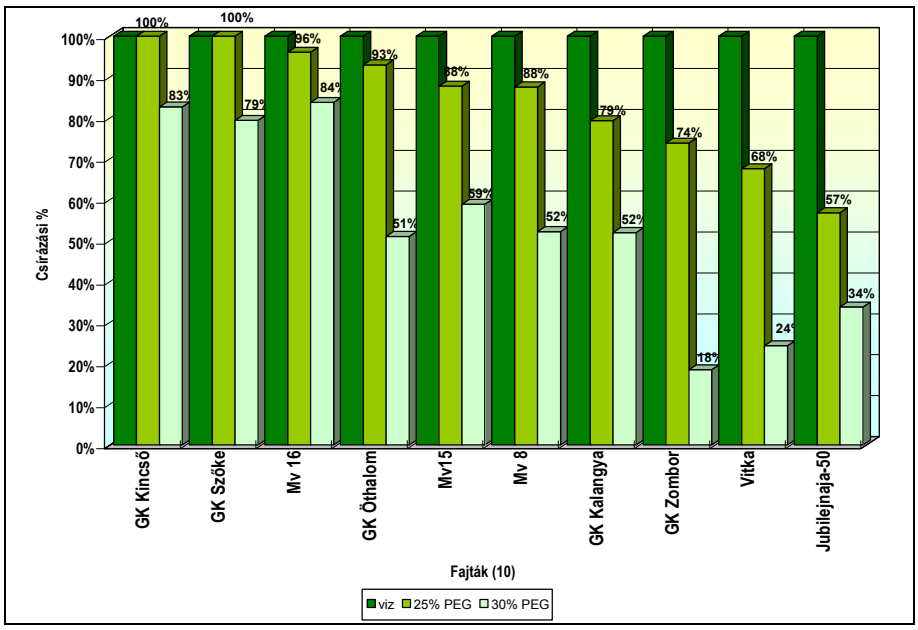
4. EREDMÉNYEK

4.1. A szárazságtűrést tesztelő módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata őszi búza genotípusokon

4.1.1. A genotípus, az évjárat és a mesterséges szárazságstressz hatása a csírázásra ozmotikumban

Az első három évben beállított kísérletünkben a búzaszemek az ozmotikumban sokkal vontatottabban csíráztak, mint a csapvízben. A vízben a legtöbb genotípus már az első 24 óra után kicsírázott, a PEG oldatban ez csak a 3.- 4. napon következett be. A vizsgálatba vont fajták eltérően reagáltak az ozmotikus stresszre.

Az 1989-ben beállított kísérletben a 25 %-os PEG-oldat átlagosan 15,8 %-kal, a 30 %-os oldat 46,4 %-kal csökkentette a csírázási százalékot, a csapvizes kontrollhoz képest. A GK Kincső és a GK Szőke fajták a 25 %-os stresszközegben is 100 %-osan csíráztak. A 30 %-os közegben a Martonvásári 16 és a GK Kincső csírázási százaléka volt a legmagasabb (83,78 % illetve 82,67 %). A 25 %-os oldatban a Jubilejnaja-50 és a Vitka, a 30 %-os töménységű oldatban a Vitka és a GK Zombor csírázási százaléka volt a legalacsonyabb. Az eredmények azt mutatják, hogy a csírázási közeg változtatásának hatására megváltozott a fajták sorrendje (**6. ábra**).



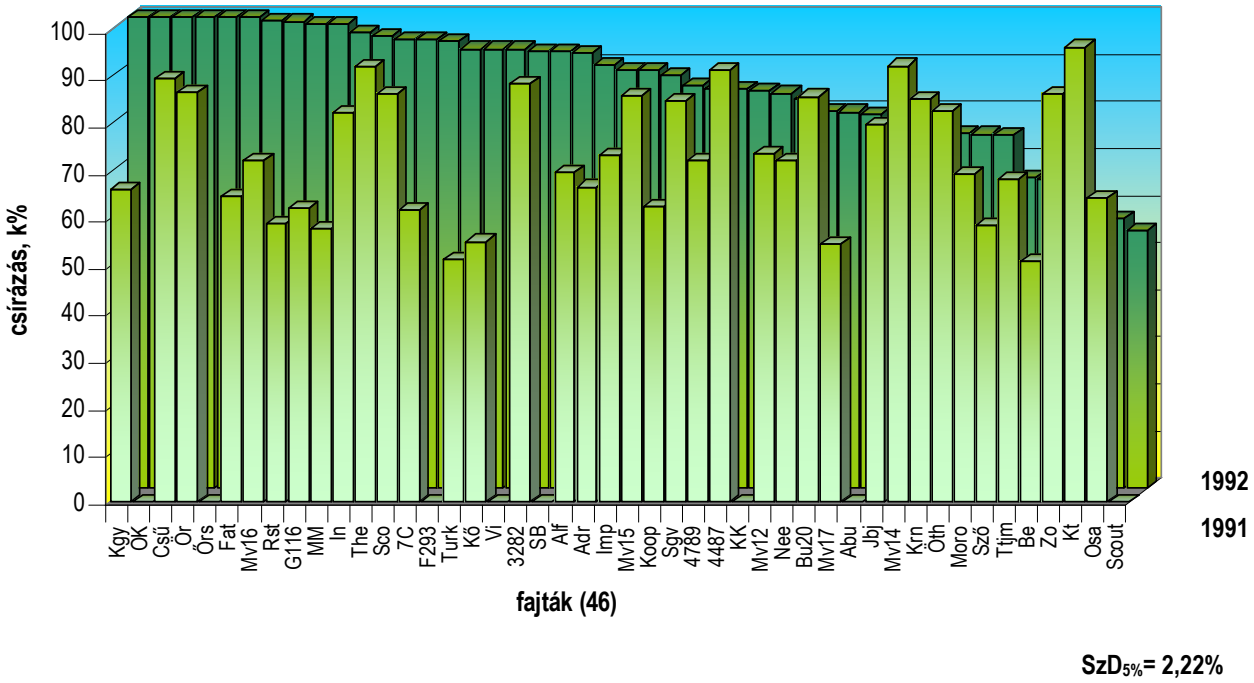
$SzD_{5\%}$= 9,52%

6. ábra Az ozmotikus stressz hatása a búzaszemek csírázóképességére (Szeged, 1989)

Az 1991-ben elvégzett kísérletben a csírázási százalék 0–44 %-kal volt alacsonyabb az ozmotikumban (25 %-os PEG 6000-oldat), mint a csapvizes kontrollban. A kezelés a fajták

átlagában 15 %-kal csökkentette a csírázási százalékot. A GK Kalangya, az OK 84343, a Fatima 2, a GK Csűrös, a GK Őrség és a GK Örzse fajták csírázási százaléka a kontrollhoz képest lényegében nem csökkent.

Ezzel ellentétben a GK Kata, az Osage és a Scout 66 fajták több mint 40 %-kal gyengébben csíráztak a -0.82 MPa ozmotikus nyomású oldatban, mint a csapvízben (SzD $_{5\%}$=9,04).



7. ábra Az évjárat hatása a búzafajták (46) csírázási százalékára
25 %-os PEG oldatban (Szeged, 1991-1992)

A kísérletet 1992-ben megismételtük (kontroll illetve 25 %-os PEG oldatban), azonban a két év eredményei között jelentős eltéréseket figyeltünk meg (**7. ábra**). Ha a két évben azonos fajták (46) adatsorait hasonlítjuk össze, a korrelációszámítás nem mutat összefüggést az adatok között (r=0,1196). Ennek oka az, hogy az aratást megelőző időjárás a két évben igen eltérő volt, s egy genotípus x évjárat kölcsönhatás következtében az azonos szárazságstressz a fajták csírázóképességére eltérően hatott.

1992-ben a csírázási tesztet elvégeztük az 1991 nyarán learatott deszikkáns teszt kontroll parcelláiról vett vetőmagmintákon, valamint a deszikkánssal kezelt, mesterséges szárazságstresszen átesett parcellák mintáin is. A kezelt parcellafelekről származó minták átlagos ezerszemtömege mintegy 30 %-kal volt alacsonyabb volt.

Az ozmotikus stressz hatására a csírázási százalék a kontroll parcellákról származó minták átlagában 36,7 %-kal, a kezelt parcellákról származó minták átlagában 57,2 %-kal csökkent a csapvizes kontrollhoz képest. Ez a megállapításunk ellentétben áll Vieira és munkatársai (1992)

által közöltekkel, akik nem tapasztaltak csökkenést sem a csírázási százalékban, sem a magvigorban szárazságstresszen illetve kémiai deszikkáláson átesett szójanövények magmintáiban.

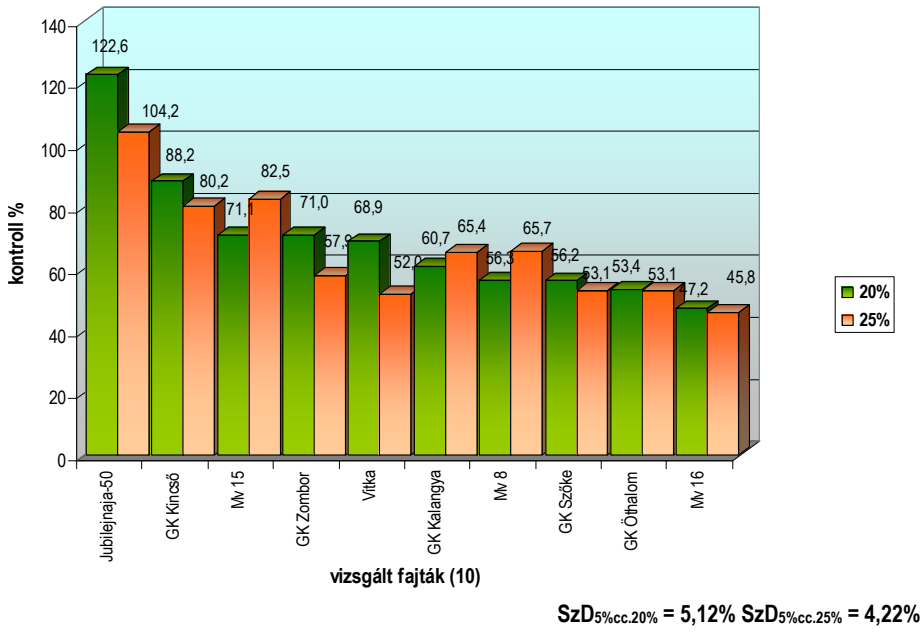
Tapasztalatunk szerint a csírázási tesztek eredményei nagymértékben függnek a magminták állapotától, azaz a mesterséges szárazságstressz jelentősen csökkentette a szemek csírázóképességét. Ha egymás mellé állítjuk a két magminta eredményeit, azt tapasztalhatjuk, hogy a csírázási százalék fajtasorrendje teljesen megváltozik, a regresszió számítás csak gyenge kapcsolatot tud kimutatni a két adatsor között (r = 0,3020** szignifikáns P=5%-on).

4.1.2. A hajtás- és gyökérnövekedés genotípus függősége csíranövény vízkultúra tesztben

Az elvégzett teszt módot adott arra, hogy összehasonlítsuk a kísérletben vizsgált 10 fajta reakcióját az ozmotikus stresszre a gyökér és hajtás fejlődési üteme alapján. Egyidejűleg megfigyelhettük a hajtás és a gyökérzet fejlődését is a tápoldatban tartott (kontroll) növényeknél, azoknál, amelyek a kétleveles állapotot követően végig 20 %-os PEG oldatban voltak és azoknál, amelyeknél az első ozmotikus stresszt (20 % PEG) egy erősebb (25 % PEG) követett.

A végig tápoldatban tartott növények hajtáshosszúsága között nem fedeztünk fel lényeges különbséget. A stresszkezelésre azonban a fajták szignifikánsan eltérő mértékben reagáltak. A 20 %-os, illetve a 25 %-os stresszközegben 24,4 %-kal, illetve 30,6 %-kal rövidebb hajtást fejlesztettek. Mind a 20, mind a 25 %-os PEG oldat hatását a Jubilejnaja-50 és a Martonvásári 8 fajták tolerálták a legjobban. Az átlagosnál jobban visszaesett a hossznövekedésben a Vitka és a GK Szőke.

Jelentősebb volt a különbség a fajták között a gyökérhossz növekedésében (átlagosan 29,3 illetve 34,1 %).



8. ábra A 20 és 25 %-os PEG oldat hatása a búzafajták gyökérnövekedésére

4. táblázat A 20 és 25 %-os PEG oldat hatása a búzafajták gyökérnövekedésére

Fajták	**Gyökérhossz (cm)**			**Gyökérhossz kontroll %**	
	kontroll	**20%**	**25%**	**20%**	**25%**
Jubilejnaja-50	8,30	10,17	8,65	122,58	104,21
GK Kincső	16,00	11,37	13,20	88,24	80,23
Mv 15	15,60	10,75	8,11	71,06	82,50
GK Zombor	19,77	11,13	12,99	71,02	57,86
Vitka	23,49	14,27	15,33	68,93	52,00
GK Kalangya	19,39	10,91	10,27	60,74	65,38
Mv 8	9,10	8,03	7,30	56,30	65,73
GK Szőke	24,00	11,32	11,00	56,19	53,06
GK Othalom	20,37	10,87	10,80	53,43	53,12
Mv 16	18,90	13,41	10,93	47,20	45,85
Átlag	**17,49**	**11,22**	**10,86**	**69,57**	**65,99**
Szd 5%	1,10	0,95	0,57	5,05	4,22

A 10 kiválasztott fajta között voltak gyorsan, erőteljes gyökérzetet nevelők (GK Kalangya, Martonvásári 16), de olyanok is, amelyek a kontroll (KNOP) oldatban is kis gyökértömeget fejlesztettek a vizsgált 25 nap alatt (GK Kincső, Jubilejnaja-50). A kontrollhoz viszonyítva a GK Kincső és a Martonvásári 15 fajták csökkentették legkevésbé gyökérzetük növekedési ütemét (**8. ábra, 4. táblázat**).

A Jubilejnaja-50 gyökérzetének növekedésére mindkét koncentráció stimulálólag hatott, ami valószínűleg egy adaptív mechanizmus eredménye. Legérzékenyebben a Martonvásári 16, a GK Öthalom, és a GK Szőke reagált a stresszre.

Az ozmotikus stressz csökkentette a hajtás és a gyökér víztartalmát is. A vizsgált fajták között nem volt szignifikáns különbség ebben a tekintetben.

4.1.3. Fajták és genotípusok csoportosítása a levágott levelek víztartó képessége alapján

A mintavétel helyén, a GK Kht. Kecskés-telepén 1990 május elejétől az utolsó mintavétel időpontjáig 111 mm csapadék hullott (május: 33,6 mm, június: 77,3 mm), ezért jelentős szárazságstressz nem érte a növényeket. A kora reggeli mintavétel alkalmával a lemetszett levelek minimális víztelítettségi hiányt mutattak.

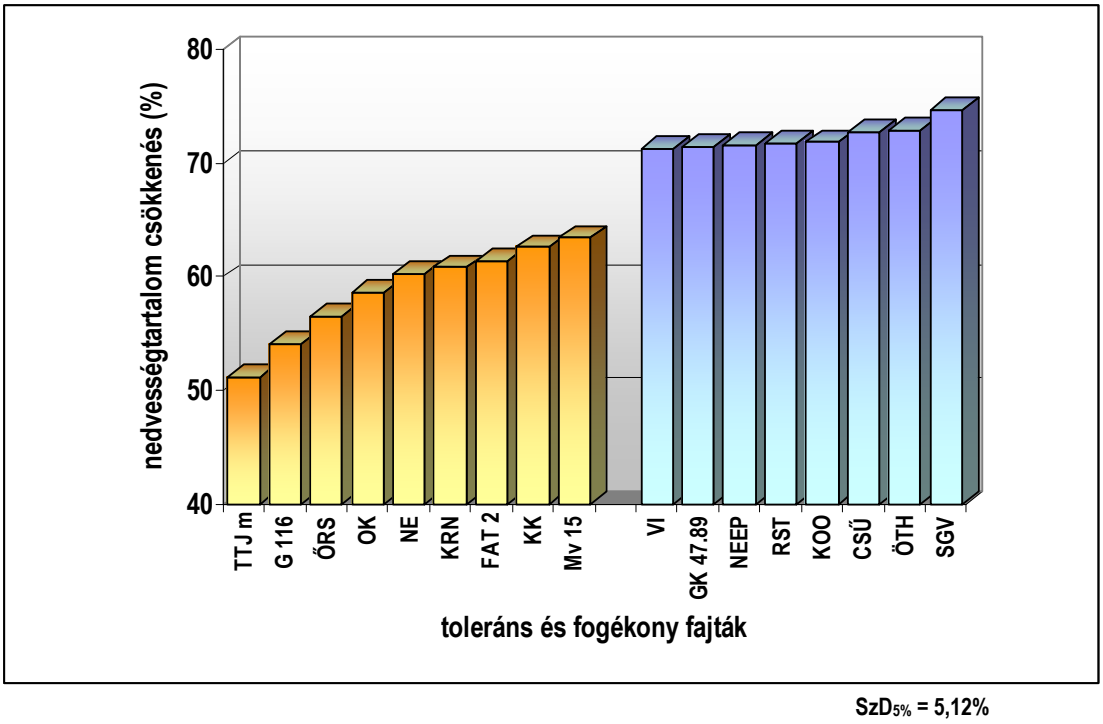
Az 1991-ben mért csapadékadatok szintén azt mutatják, hogy a mintavétel idején a szárazságstressz mértéke nem volt súlyos. Jelentősebb, nagy meleggel párosult vízhiány csak a virágzást követő fenofázisokban alakult ki (május: 95,3 mm, június: 15,7 mm).

Az 1992-es év e tekintetben sokkal súlyosabb stresszt okozott a növényeknek, májusban mindössze 4,5 mm hullott, míg júniusban 188,7 mm. A júniusi csapadékadat nagy része három, rendkívül bőséges esőből állt össze (6-án 49 mm, 9-én 26 mm, 25-én 45,5 mm).

Az első mérés alkalmával a levelek nedvességtartalma átlagosan 75 % és 85 % között alakult, a tenyészidő vége felé a nedvességtartalom egyre csökkent. Vizsgálataink szerint a fajták közötti legnagyobb különbségeket a kalászolás fenofázisa előtt kaptuk, ezután párhuzamosan a levelek víztartalmának csökkenésével a genotípusos variabilitás lecsökkent.

1990-ben a 24 órás deszikkálást követően a vizsgált 46 fajta között jelentős különbségeket találtunk a vízvesztés mértékében. A vízvesztést a friss levelek víztartalmának százalékában fejeztük ki.

Az átlagos vízvesztés 74 %-os volt, ami nagyságrendjében megegyezik Clarke és munkatársai (1982b) megfigyelésével. A vizsgált fajták közül a legkevesebb vizet a Tiszatáj m. veszítette, amely víztartalmának 45 %-át adta le, de a GK Őrség, a Guvvali 116, az OK 84343-as oklahomai törzs, a Korona, az Ne 83/2 és a Fatima 2 szignifikánsan kevesebb vizet veszítettek, mint a kísérlet átlaga.



9. ábra Búzafajták leveleinek vízvesztése a 24 órás deszikkálás után (Szeged, 1990-1992)

A legnagyobb mértékű vízvesztést a GK Ságvári, a GK Öthalom, a GK 47-89, a GK Csűrös, a Siete Cerros, a GK Kooperáció, a Score és a Sabir beg esetében mértük. A levágott levelek víztartása fontos tulajdonság a szárazságtűrésben. E tulajdonság nagyrészt független a leveleken található sztómák számától, hiszen azok a levelek lemetszése után a turgor elvesztése miatt bezárulnak. Ez a teszt a bőrszövet vízáteresztő képességét teszteli. E tulajdonság szempontjából nagy jelentősége van a levelek viaszoltságának, illetve szőröztettségének. A GK Őrség, a Guvvali 116, az OK 84343 és az Ne 83/2 valószínűleg elsősorban viaszolt levélzetének köszönheti átlagosnál jobb víztartó képességét.

A kísérletet 1991-ben, és 1992-ben is megismételtük. A három év eredményeit szemlélteti a **5. táblázat.** A vízvesztés átlagos mértéke 1991-ben 64,6 %, 1992-ben 62,7 % volt. A korreláció számítás szoros összefüggést jelez, az 1990-es és az 1991-es, valamint az 1990-es és az 1992-es évek eredményei között, ha összehasonlítjuk a három év azonos fajtáinak eredményét. Az *r* értékek a következők: az 1990-es és az 1991-es év eredményei között 0,7223**, az 1990 és az 1992 év eredményei között 0,6276**, az 1991 és az 1992 év közötti eredmény pedig 0,3885*.

A vizsgált 46 fajtát 3 csoportba soroltuk:

a.) toleránsaknak neveztük azokat a genotípusokat (9 fajta: Tiszatáj m, Guvvali 116, GK Őrség, OK 84343, Ne83/T, Korona, Fatima 2, GK Kaláka, Martonvásári 15) amelyek vagy erősen viaszolt levélzetük, vagy adaptív mechanizmusaik révén a kísérleti átlagnál szignifikánsan ($SzD_{5\%}$=5,16) kisebb mértékben veszítettek vizet.

b.) Fogékonyaknak azokat a fajtákat (8 fajta: Vitka, GK 47.89, Neepawa, Rst, Kooperáció, GK Csűrös, GK Öthalom, GK Ságvári) neveztük, amelyek levágott zászlóslevelei a kísérleti átlagnál szignifikánsan nagyobb mértékben dehidratálódtak.

c.) Az átmeneti csoportba azokat a fajtákat (29 genotípus) soroltuk, amelyek jelentős mértékben nem tértek el a kísérleti átlagtól. A toleráns és a fogékony csoportba sorolt fajták 3 éves átlagadatait a **9. ábrán** mutatjuk be.

5. táblázat Búzafajták zászlósleveleinek kezdeti víztartalma, 24 órás deszikkálás utáni víztartalma és vízvesztesége (Szeged 1990, 1991, 1992)

Év	1990			1991			1992			3 év átlaga
Fajta	kezdeti víztart. (%)	víztart. 24h m. (%)	Kontr. % (%)	kezdeti víztart. (%)	víztart. 24h m. (%)	Kontr. % (%)	kezdeti víztart. (%)	víztart. 24h m. (%)	Kontr. % (%)	
TTJm	76,47	42,08	**44,97**	71,07	32,26	**54,61**	71,62	32,92	**54,03**	**51,20**
G116	73,96	27,51	**62,81**	73,89	39,51	**46,53**	75,43	35,57	**52,85**	**54,06**
ŐRS	76,41	30,09	**60,62**	77,22	35,48	**54,05**	76,11	34,35	**54,87**	**56,51**
OK	70,00	24,62	**64,83**	73,88	33,11	**55,19**	73,23	32,30	**55,89**	**58,64**
NE	75,98	26,05	**65,72**	76,82	34,78	**54,72**	78,96	31,30	**60,36**	**60,27**
KRN	75,68	25,98	**65,67**	79,96	38,24	**52,18**	77,68	27,51	**64,59**	**60,81**
FAT	73,56	24,36	**66,88**	80,90	33,08	**59,11**	77,46	32,34	**58,25**	**61,41**
KK	72,65	20,22	**72,17**	76,67	32,86	**57,15**	76,85	31,89	**58,50**	**62,61**
MV15	72,35	23,40	**67,66**	77,71	27,46	**64,66**	73,34	30,91	**57,86**	**63,39**
IMP	72,16	15,50	**78,52**	76,53	36,57	**52,21**	76,36	29,90	**60,84**	**63,86**
F293	74,18	21,25	**71,35**	71,50	28,00	**60,84**	70,33	27,62	**60,73**	**64,31**
MV16	75,99	19,95	**73,75**	77,65	29,73	**61,71**	74,85	30,72	**58,96**	**64,81**
ÖR	74,50	20,62	**72,33**	79,07	25,63	**67,58**	77,38	32,34	**58,21**	**66,04**
44	72,98	18,92	**74,07**	78,13	30,00	**61,60**	74,64	26,99	**63,84**	**66,50**
MV14	73,95	22,30	**69,84**	79,02	27,12	**65,68**	74,72	26,85	**64,06**	**66,53**
MV17	73,52	18,08	**75,41**	75,65	26,95	**64,38**	76,03	29,81	**60,79**	**66,86**
TURK	68,69	16,44	**76,07**	75,38	21,95	**70,88**	75,75	35,09	**53,68**	**66,88**
SABIR	62,34	13,13	**78,93**	69,74	26,60	**61,86**	73,87	29,35	**60,26**	**67,02**
ADR	76,40	18,76	**75,44**	78,14	32,22	**58,76**	75,66	24,98	**66,98**	**67,06**
IN	73,58	17,09	**76,77**	77,47	21,79	**71,88**	76,75	35,55	**53,68**	**67,44**
OSA	73,37	17,28	**76,45**	75,46	24,72	**67,24**	76,39	30,59	**59,96**	**67,88**
MORO	71,38	18,79	**73,67**	81,23	28,30	**65,16**	79,10	27,20	**65,61**	**68,15**
MV12	78,49	17,73	**77,41**	76,06	24,04	**68,40**	73,39	29,13	**60,31**	**68,71**
32	72,73	16,01	**77,99**	79,24	24,31	**69,32**	77,97	31,69	**59,35**	**68,89**
BE	74,47	18,38	**75,32**	78,88	25,76	**67,35**	75,60	27,16	**64,07**	**68,91**
BU20	74,31	17,97	**75,82**	79,08	23,89	**69,78**	76,35	28,90	**62,15**	**69,25**
ABU	71,63	17,56	**75,48**	74,32	21,80	**70,66**	73,05	27,94	**61,76**	**69,30**
THE	74,36	18,90	**74,58**	81,10	29,37	**63,79**	75,73	22,80	**69,89**	**69,42**
KÖ	74,14	16,64	**77,55**	80,67	29,55	**63,37**	76,81	24,42	**68,21**	**69,71**
JBJ	72,45	16,04	**77,86**	76,20	21,24	**72,13**	75,28	30,64	**59,30**	**69,76**
KGY	73,73	18,57	**74,81**	79,28	24,24	**69,42**	74,85	25,90	**65,40**	**69,88**
KATA	76,03	13,57	**82,15**	78,80	32,50	**58,75**	75,06	23,34	**68,90**	**69,93**
SCOR	74,31	15,46	**79,19**	76,87	26,80	**65,13**	73,10	24,97	**65,84**	**70,05**
SCO	74,31	18,74	**74,78**	77,91	25,20	**67,66**	76,71	24,10	**68,59**	**70,34**
SZŐ	73,70	17,25	**76,59**	78,79	22,22	**71,79**	76,42	28,00	**63,36**	**70,58**
ZO	72,27	16,71	**76,88**	73,52	25,77	**64,95**	74,39	21,39	**71,25**	**71,03**
SIETE	75,41	15,00	**80,11**	77,70	26,19	**66,29**	75,41	25,07	**66,76**	**71,05**
ALF	73,85	17,10	**76,85**	76,47	25,49	**66,67**	71,62	21,49	**69,99**	**71,17**
VI	74,06	17,63	**76,19**	78,62	23,02	**70,72**	79,26	26,14	**67,02**	**71,31**
47	73,42	14,01	**80,92**	73,98	22,73	**69,28**	75,52	27,03	**64,21**	**71,47**
NEEP	73,74	15,71	**78,69**	78,82	22,78	**71,09**	76,98	26,93	**65,02**	**71,60**
RST	75,69	16,78	**77,83**	75,65	21,68	**71,34**	71,66	24,29	**66,10**	**71,76**
KOO	71,47	14,49	**79,73**	79,03	25,50	**67,73**	74,87	23,92	**68,05**	**71,84**
CSŰ	72,66	14,20	**80,45**	78,48	23,48	**70,09**	75,72	24,53	**67,60**	**72,71**
ÖTH	74,24	13,35	**82,02**	75,07	23,14	**69,17**	76,09	24,81	**67,40**	**72,86**
SGV	72,49	8,43	**88,37**	79,84	25,93	**67,53**	76,37	24,26	**68,23**	**74,71**
Átlag	**73.56**	**18.88**	**73.99**	**73.100**	**27.45**	**64.63**	**75.45**	**28.15**	**62.69**	**67,14**
SzD 5%			**5,16**			**5.65**			**10.59**	**8,24**

4.1.4. A prolinfelhalmozás genotípus függősége élve hervasztott levelekben

Az élve hervasztást két fajtacsoporton végeztük el a növények virágzásának fenofázisában. A levágott hajtások a nagy páratartalom ellenére már az első nap után is jelentős mennyiségű vizet veszítettek. A levelek és a kalászok a kialakult szárazságstressz hatására prolint akkumuláltak, ami lassította a további vízvesztésüket (Pálfi-Deim és mtsi. 1989). Az **6.** és **7. táblázat** mutatja be a vizsgált búzafajták leveleiben és kalászaiban felhalmozódott prolin mennyiségét a szárazanyag, illetve a legkisebb mennyiséget akkumuláló fajta (mint kontroll) százalékában.

6. táblázat Az élve hervasztott búzalevelekben illetve búzakalászokban akkumulált prolin mennyisége a szárazanyag és a legkisebb prolinfelhalmozó fajta százalékában - **korai fajták** (Szeged, 1988)

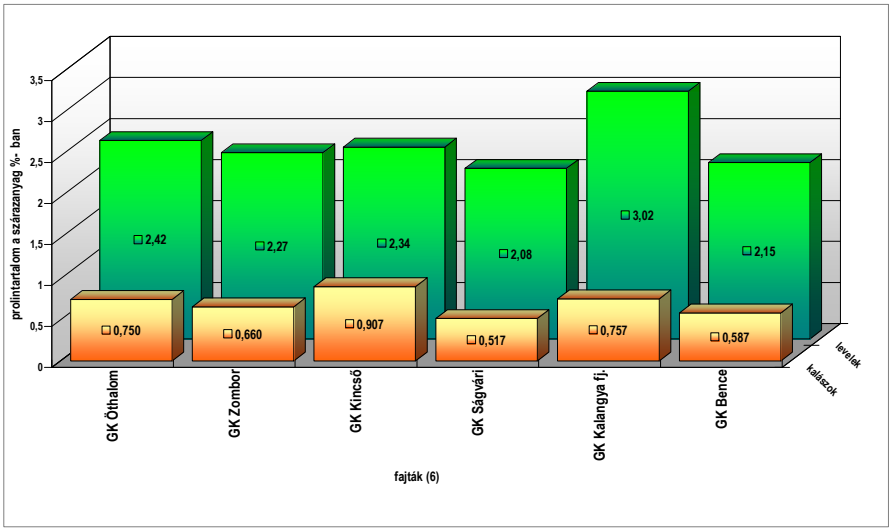
SSZ.	Fajtanév	Búzalevelekben akkumulált prolin		Búzakalászokban akkumulált prolin	
		sza. %	a legkisebb %	sza. %	a legkisebb %
1	GK Öthalom	2,42	116,35	0,75	144,23
2	GK Zombor	2,27	109,13	0,66	126,92
3	GK Kincső	2,34	112,50	0,91	175,00
4	GK Ságvári	2,08	100,00	0,52	100,00
5	GK Kalangya	3,02	145,19	0,76	146,15
6	GK Bence	2,13	102,40	0,59	113,46
	Átlag	**2,38**	**114,26**	**0,70**	**134,29**
	SzD 5%	0,12	5,78	0,01	2,69

7. táblázat Az élve hervasztott búzalevelekben illetve búzakalászokban akkumulált prolin mennyisége a szárazanyag és a legkisebb prolinfelhalmozó fajta százalékában - **középérésű fajták** (Szeged, 1988)

SSZ.	Fajtanév	Búzalevelekben akkumulált prolin		Búzakalászokban akkumulált prolin	
		sza. %	a legkisebb %	sza. %	a legkisebb %
1	Bucsányi 20	2,55	109,44	0,94	154,10
2	GK István	2,63	112,88	0,65	106,56
3	GK Szőke	3,17	136,05	1,15	188,52
4	Jubilejnaja-50	3,10	133,05	1,19	195,08
5	GK Bence	2,46	105,58	0,86	140,98
6	GK Örzse	2,33	100,00	0,61	100,00
	Átlag	**2,71**	**116,17**	**0,90**	**147,54**
	SzD 5%	0,17	7,42	0,01	2,13

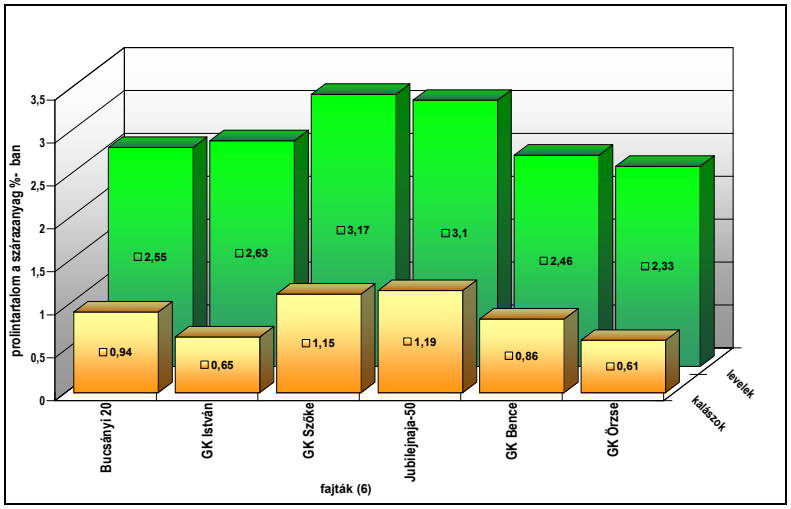
A táblázatokból jól látható, hogy a kalászok prolinakkumulációjában nagyobb különbséget találtunk, mint a levelekben, annak ellenére, hogy a levelek 3-4-szer nagyobb mennyiségben halmoztak fel prolint.

Az első csoportban a 6 fajta közül a legnagyobb prolinfelhalmozást a GK Kincsőnél mértünk, amely 46,1 %-kal akkumulált több prolint a kalászban, mint a legkisebb prolinfelhalmozó GK Ságvári. A vizsgált második hat fajta közül a Jubilejnaja-50 és a GK Szőke fajták mutatták a legjelentősebb prolinakkumulációt a levelekben: 33 %-kal illetve 36,1 %-kal múlták felül a legkevesebb prolint felhalmozó fajtát (GK Örzse).



SzD5%kal= 0,12% SzD5%lev=0,01%

10. ábra Élve hervasztott búzalevelek és kalászok prolintartalma a szárazanyag %-ában - korai fajták (Szeged, 1988)



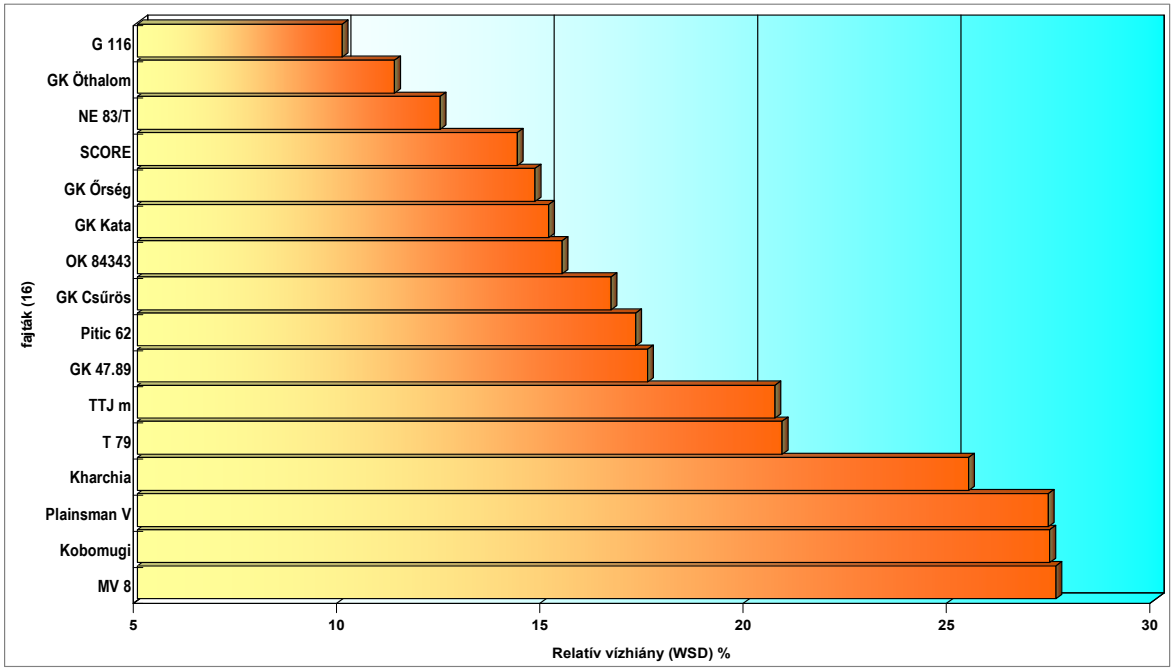
SzD5%kal= 0,17% SzD5%lev=0,01%

11. ábra Élve hervasztott búzalevelek és kalászok prolintartalma a szárazanyag %-ában - középérésű fajták (Szeged, 1988)

A szárazanyag százalékában kifejezett prolintartalmat a **10.** és **11. ábra** szemlélteti. A GK Kalangya (Kgy) esetében a prolintartalom a szárazanyag 3,02 %-át érte el. A GK Szőkénél 3,17 %, a Jubilejnaja-50-nél 3,10 % volt, szemben a GK Örzse 2,33 %-ával.

4.1.5. Az ozmotikus potenciál genotípus függősége

A kiválasztott fajták között jelentős különbségeket figyeltünk meg a vizsgált bélyegekben. Az arid vidékekről származó fajták (Plainsman V., Pitic 62, T79), illetve a hazai fajták közül a szántóföldi adatok és a tesztek alapján szárazságtoleránsnak ismert Tiszatáj m. nagyobb ozmotikus potenciállal rendelkeztek. A számított ozmotikus potenciál a Kínából származó Kobomugi, az Mv-8 és az NE 83/T fajtáknál volt a legalacsonyabb, és a szárazságtűrőnek ismert Plainsman V., Pitic 62, T 79 és a Tiszatáj m. esetében volt a legmagasabb teljes turgornál.
A turgor elvesztésekor az ozmotikus potenciál a Kobomugi, a GK Őrség és a GK Öthalom esetében volt a legalacsonyabb és a Plainsman V., a Pitic 62, a T79 és a Tiszatáj m. esetében a legnagyobb.



12. ábra Relatív vízhiány a búzafajták zászlóslevél turgorának elvesztésekor

Ha összehasonlítjuk az ozmotikus potenciál értékeket a levél teljes turgoránál és a nulla turgornál, láthatjuk, hogy a fajták eltérő mértékben növelték szívóerejüket. Az ozmotikus potenciál a turgor csökkenésének hatására a legnagyobb mértékben a Kobomugi, az NE 83/T, az Mv 8 és a Pitic 62-nél nőtt (27-42 %). Az ozmotikus potenciál azonban abszolút értékben a Plainsman V., a Pitic 62, a T 79 és a Tisztáj m. fajtáknál volt a legmagasabb. A legkisebb növekedést a G 116, Kharchia és a

GK Őrség mutattak (9-11 %). Fontos bélyeg a vízpotenciál mellett az is, hogy a levelek milyen mértékű vízhiány mellett veszítik el turgorukat. A legnagyobb vízdeficit mellett az Mv 8, a Kobomugi, a Plainsman V. és a Kharchia fajták veszítették el turgorukat (**12. ábra**). A nedves: száraz tömeg arányban, az előzőeknél sokkal kisebb volt a variabilitás. A vizsgált fajták legnagyobb része lényegesen nem tért el ebben a tulajdonságban egymástól. Az eredmények részben igazolni látszanak a szántóföldi tapasztalatokat és a víztartóképesség teszt, valamint a deszikkáns teszt eredményeit. Az említett tesztek eredményei alapján stresszre fogékonynak bizonyult genotípusok (GK Öthalom, GK Kata, Score) a nyomás-térfogat görbék elemzése útján nyert adatok szerint kevésbé hatékony ozmoregulációval rendelkeznek, mint a legtöbb tesztben toleránsnak bizonyult Tiszatáj m. Az ozmoreguláció teszi ugyanis lehetővé a produkciót a szárazságstressz esetén. Egyedül az OK 84343 törzs volt, amely a korábbi tesztekkel ellentétben fogékonynak bizonyult a nyomás-térfogat görbék elemzése alapján.

4.1.6. Antitranszspiráns szántóföldi alkalmazásának előnyei és hátrányai

Az antitranszspiráns teszt sikere azon múlik, hogy természetes körülmények között milyen mértékű szárazságstressz éri a növényeket. A kezelés ugyanis a bekövetkező szárazságstressz hatását hivatott csökkenteni. A stressz mértékének meghatározásánál csak a tenyészidőszak csapadékadataira, valamint a vizuálisan megfigyelhető bélyegekre (csúcsszáradás, levélsodródás, elszíneződés) támaszkodhattunk. A kiszombori tenyészkert adatai szerint összesen 300,2 mm csapadék hullott a tenyészidőszak folyamán (1990. október 15. és 1991. június 30. között) amelyből 96 mm a szemtelítődés szempontjából kritikus, kalászolást követő időszakban. Levélvég száradást egyik fajtánál sem tapasztaltunk. Levélsodródást több alkalommal is megfigyeltünk a déli órákban a GK Öthalom, GK Ságvári, GK Kata és Score fajtáknál. A csapadék adatok és a morfológiai megfigyelések arra engednek következtetni, hogy a kísérlet évében csak mérsékelt szárazságstressz fordult elő a kiszombori tenyészkertben.

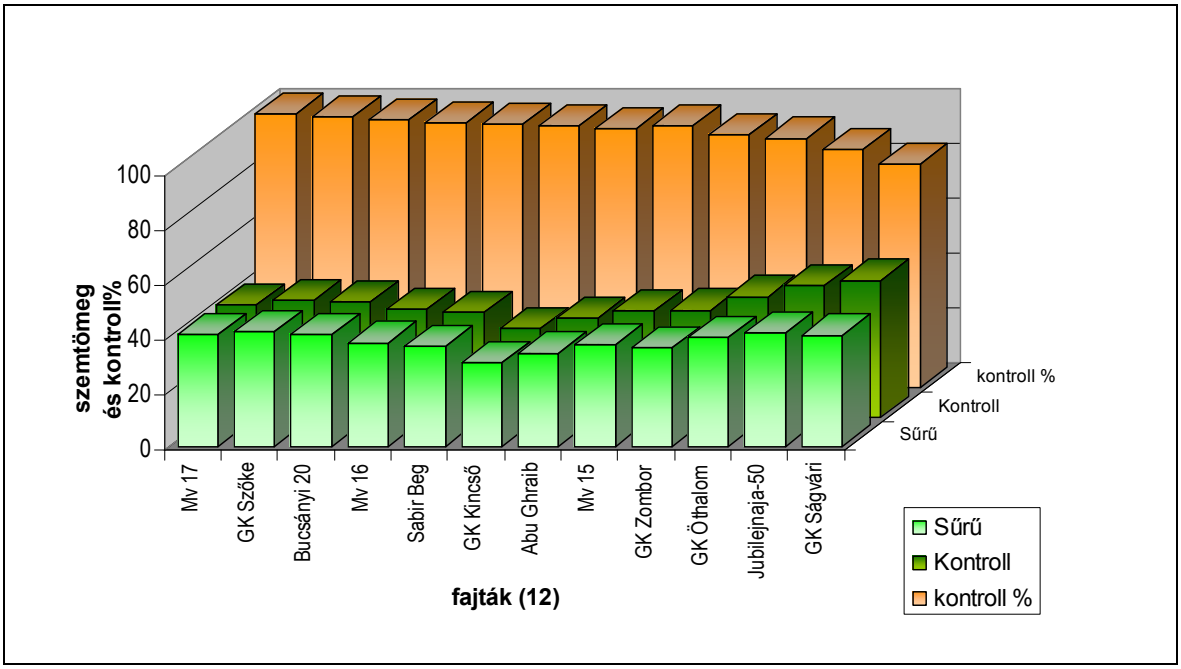
A kísérletbe vont fajták között ezért elenyésző különbségek voltak a vizsgált bélyegekben. A mérések alapján a növénymagasságban, a kontroll parcellafélen a legnagyobb magasságot a Jubilejnaja-50, a GK István és a GK Zombor esetében mértünk (117,5, 108,8 és 108,8 cm), a legalacsonyabb a GK 32-82, a Korona és a GK Kalangya volt (86,3, 90 és 90 cm). A kezelt parcellafélen szignifikánsan nem (0,57 cm-rel) nőtt a növénymagasság, ami gyakorlatilag elhanyagolható ($SzD_{5\%}$=4,65). A legnagyobb növénymagasságot itt is a Jubilejnaja-50 (121,3 cm), a GK István (108,8 cm), valamint a GK Csűrös (108,8 cm) parcelláján mértük, míg a legalacsonyabb három fajta a GK 32-82, a GK Pannondur és a GK Kalangya volt. A számolt kontroll százalék értékek vizsgálata alapján a kezelés a kísérletben résztvevő fajtákra ellentétesen hatott. A fajták egy

részének növénymagassága nőtt (Jubilejnaja-50, GK Őrség, Korona, GK 45-87), másoké (GK Basa, GK Bence, Sabir Beg) csökkent. Ugyanezt tapasztaltuk a másik két vizsgált tulajdonság, az ezerszemtömeg és a parcellafelek termésének vizsgálatakor is.

A kezelt parcellafélen a várt növekedés helyett az ezerszemtömeg csökkent, azonban a csökkenés olyan kis mértékű (1,9 %), ami alapján kijelenthetjük, hogy a Phytowax kezelés nem gyakorolt említésre méltó hatást a kísérletben vizsgált fajták ezerszemtömegére. Ugyanezt tapasztaltuk a parcellafelek termésének összehasonlításakor is. Kísérletünk valószínűsíti, hogy ennek a módszernek a használhatósága korlátozott, erősen évjárat-függő. Normális viszonyok, vagy gyenge szárazság esetén az antitranszspiráns csökkenti a növény párologtatását, ezzel a vízforgalmát és a fotoszintézist a kontrol növényekhez képest. Emiatt csökken a termés és az ezerszemtömeg.

4.1.7. A tőszám hatásának vizsgálata szántóföldön

A tenyészidőszakban hullott csapadék mennyiségét a 4.1.6. pontban ismertettük. A vizsgált morfológiai bélyegek közül a sűrű vetés csak a növénymagasságra hatott, azt kissé növelte. Ennek ellenére, a sűrű vetés nem okozott jelentős megdőlést. A terméskomponensek közül a sűrű vetés csökkentette az ezerszemtömeget, a kísérlet átlagában a csökkenés mértéke 6,3 %-os volt (**13. ábra**). Normál vetésben 1990-ben a legnagyobb ezerszemtömege a GK Ságvárinak (49,70 g), a legkisebb a GK Kincsőnek (33,00 g) volt. A sűrű vetésben a legnagyobb szemtömeget a GK Szőke (41,65 g), a legalacsonyabbat a GK Kincső (31,50 g) érte el. A normál vetésben az ezerszemtömeg átlagosan 40,32 g, a sűrű vetésben 37,47 g volt.



$SzD_{5\%}$= 4,86 %

13. ábra Állománysűrítés hatása a búzafajták ezerszemtömegére (Szeged, 1990)

Az ezerszemtömeg csökkenés a legkisebb mértékűnek a GK Szőke és a Mv-17 esetében, (0,3 %, 1,1 %), a legnagyobbnak pedig a Jubilejnaja-50 és a GK Ságvári esetében bizonyult (14,5 % és 18,7 % , az $SzD_{5\%}$= 4,86 %).

4.1.8. Deszikkáció hatása a fajták ezerszemtömegére

A perzselőszeres kezelést követően a zöld növényi részek kifehéredése már a kezelést követő napon láthatóvá vált, mely három - négy napon belül, genotípustól függetlenül az egész növényállományban végbement (**14. ábra**).

Érzékenységbeli különbséget vizuálisan nem tapasztaltunk. Ha a különböző növényi szervek érzékenységét vesszük figyelembe, a száradás először a levelekben, majd a száron, legvégül a kalászon következett be.

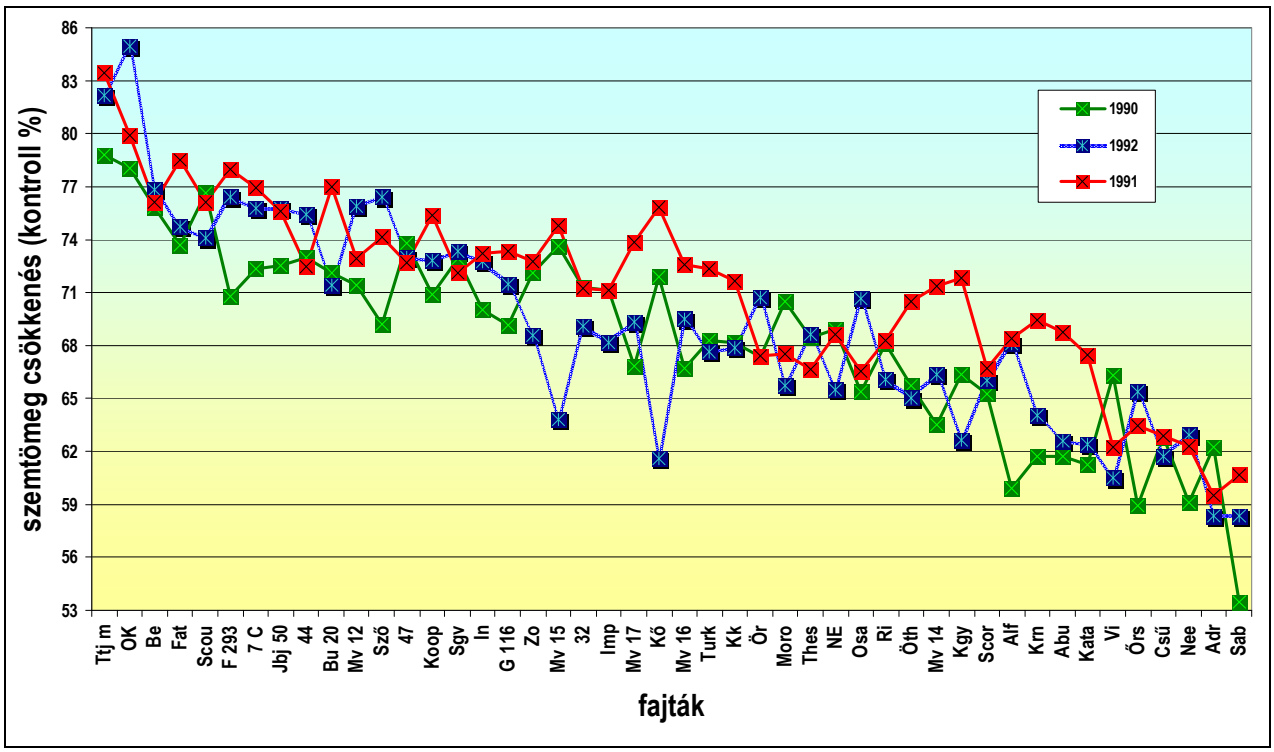
14. ábra Deszikkációs teszt (Szeged, Kecskés-telep, 2001)

Üvegházban végzett előkísérletünk szerint, melyben a szemtelítődés mértékét vizsgáltuk 44 fajtán, a nátrium-kloráttal kezelt növények a kezelés időpontjában meglévő szemtömegükhöz képest átlagosan mintegy 27 %-kal, míg a kontroll növények közel 68 %-kal növelték ezerszemtömegüket.

Az üvegházi körülmények között a kezelt növények szemtömege átlagosan 55 %-kal volt alacsonyabb az optimális vízellátásban részesülő kontrollhoz képest.

Szántóföldi kísérletünkben az ezerszemtömeg átlagosan, évjárattól függően 29-32 %-kal csökkent a kezelés hatására. A különbséget minden valószínűség szerint a szántóföldön fellépő szárazságstressz (illetve az annak következtében lecsökkent aktív levélfelület) okozta. Az 1990. évben 77,3, 1991-ben mindössze 15,7 mm csapadék hullott június hónapban Kecskés-telepen. Az 1992. évi, átlagosan 30,85 %-os depresszió oka - a bőségesnek mondható júniusi csapadék ellenére - a megelőző hónapok rendkívül száraz időjárása volt. Ebben az évben január 1-től júniusig mindössze 48,1 mm csapadék hullott. A szárazsággal párosult nagy meleg elpusztította a búza levélzetének jelentős részét, és a szemtelítődéskor már a kontroll növények is csak korlátozott asszimiláló felülettel rendelkeztek. A levélzetük jó részét elvesztett növények ezért már nem tudták kihasználni a június hatodikától lehulló csapadékot (188,7 mm). A szemtelítődés mindezek ellenére - a deszikkáns kezelés hatására - jelentős mértékben csökkent. Az 1990-ben a kezeletlen parcellafélen mért ezerszemtömeg adatok 32,65 g és 50,55 g között alakultak, a legnagyobb ezerszemtömeget a GK Kooperáció, a legkisebbet az Adriana fajta mutatta. Az átlagos ezerszemtömeg itt 42,15 g volt. A nátrium-klorát oldattal kezelt parcellafélen az átlagos szemtömeg 29,02 g volt, tehát a perzselőszeres kezelés átlagosan 32,2 %-os ezerszemtömeg csökkenést okozott. A kezelt parcellafélen a legalacsonyabb ezerszemtömeget a Sabir Beg (18,88 g), a legmagasabbat pedig az OK 84343 (37,38 g) érte el.

A kísérletben szereplő fajták eltérően reagáltak a stresszhatásra. A kezelés az ezerszemtömeget 21 - 46 % közötti mértékben csökkentette, a szignifikáns különbség 5,23 % volt.



$SzD_{5\%}$= 8,43 %

15. ábra Kémiai deszikkálás hatása a búzafajták ezerszemtömegére

Különösen kismértékben csökkent a Tiszatáj m., az OK 84343 oklahomai törzs, a Fatima 2, a Fertődi 293, a Bucsányi 20, a Siete Cerros és a Scout 66 ezerszemtömege, míg az Ne 83t/2, a Sabir Beg, a Vitka, a Neepawa, és a GK Csűrös 38-41 %-os depresszióval reagált a nátrium-klorát által előidézett stresszre.

Az 1991-ben és 1992-ben elvégzett kísérletek hasonló eredménnyel zárultak. 1991-ben a deszikkáns kezelés átlagosan 29 %-os, 1992-ben 31 %-os szemtömeg csökkenést eredményezett. A három év adatait mutatja be a **8. táblázat** és a **15. ábra**. Az ábrán látható, hogy a három évben végzett vizsgálatokban a fajták sorrendje hasonlóan alakult. A korreláció számítás a három év azonos fajtáinak adatai között erős összefüggést jelez. 1990 és 1991 között r=0,8151***, 1990 és 1992 között r=0,7512**, 1991 és 1992 között r=0,7834**.

8. táblázat A nátrium-klorátos deszikkálás hatása a búza genotípusok ezerszemtömegére

Et. K: kontroll ezerszemtömeg; Et. Kezelt: kezelt (deszikkált) ezerszemtömeg; K %: kontroll %

		1990			1991			1992			3 év átlaga
ssz.	fajta	ezerszemt.	ezersz kez.	K %	ezerszemt.	ezersz kez.	K %	ezerszemt.	ezersz kez.	K %	
1	**Tiszatáj m**	37,68	29,69	**78,80**	42,25	35,26	**83,46**	34,98	28,75	**82,19**	**81,48**
2	**OK84343**	48,85	38,13	**78,06**	53,23	42,53	**79,90**	44,44	37,74	**84,92**	**80,96**
3	**Bence**	40,80	30,95	**75,86**	41,31	31,44	**76,11**	43,44	33,38	**76,84**	**76,27**
4	**F 293**	41,05	30,27	**73,74**	40,98	31,96	**77,99**	38,53	29,44	**76,41**	**76,05**
5	**Fatima**	45,08	33,20	**73,65**	43,96	34,50	**78,48**	38,84	29,03	**74,74**	**75,62**
6	**Scout**	47,60	36,47	**76,62**	41,76	31,78	**76,10**	36,84	27,30	**74,10**	**75,61**
7	**7C**	38,45	27,83	**72,38**	35,49	27,29	**76,89**	35,25	26,71	**75,77**	**75,02**
8	**Jbj-50**	47,18	34,21	**72,51**	53,53	40,46	**75,58**	43,12	32,68	**75,79**	**74,63**
9	**GK 44.87**	50,18	36,62	**72,98**	49,76	36,07	**72,49**	42,81	32,29	**75,43**	**73,63**
10	**Bu 20**	46,73	33,70	**72,12**	48,35	37,23	**77,00**	42,90	30,63	**71,40**	**73,51**
11	**Mv12**	45,70	32,65	**71,44**	47,76	34,82	**72,91**	38,59	29,29	**75,90**	**73,42**
12	**Szőke**	46,33	32,05	**69,18**	48,69	36,10	**74,14**	43,08	32,91	**76,39**	**73,24**
13	**GK 47.89**	49,95	36,87	**73,81**	47,61	34,61	**72,69**	43,54	31,78	**72,99**	**73,17**
14	**Koop**	50,55	35,82	**70,86**	42,41	31,97	**75,38**	46,11	33,57	**72,80**	**73,02**
15	**Ságvári**	50,10	36,55	**72,95**	50,25	36,24	**72,12**	29,40	21,57	**73,37**	**72,81**
16	**István**	40,90	28,65	**70,05**	41,31	30,24	**73,20**	35,17	25,58	**72,73**	**71,99**
17	**G 116**	39,88	27,58	**69,16**	40,18	29,48	**73,37**	39,16	27,99	**71,48**	**71,33**
18	**Zombor**	43,18	31,13	**72,09**	42,76	31,10	**72,73**	33,80	23,18	**68,58**	**71,13**
19	**Mv15**	43,65	32,13	**73,61**	40,68	30,43	**74,80**	39,55	25,25	**63,84**	**70,75**
20	**GK 32.82**	45,20	32,22	**71,28**	43,91	31,27	**71,21**	38,79	26,80	**69,09**	**70,53**
21	**Impuls**	45,60	32,43	**71,12**	46,00	32,73	**71,15**	41,85	28,53	**68,17**	**70,15**
22	**Mv17**	42,00	28,08	**66,86**	43,58	32,18	**73,84**	40,64	28,17	**69,32**	**70,00**
23	**Kincső**	35,78	25,73	**71,91**	35,12	26,64	**75,85**	29,92	18,44	**61,63**	**69,80**
24	**Mv16**	40,63	27,10	**66,70**	40,68	29,53	**72,59**	38,18	26,54	**69,51**	**69,60**
25	**Turkey**	37,83	25,82	**68,25**	36,85	26,66	**72,35**	29,37	19,86	**67,62**	**69,41**
26	**Moro**	32,80	24,52	**74,76**	34,59	23,36	**67,53**	25,42	16,65	**65,50**	**69,26**
27	**Örzse**	42,65	28,73	**67,36**	47,19	31,82	**67,43**	38,26	27,06	**70,73**	**68,51**
28	**Kaláka**	40,68	27,73	**68,17**	43,75	31,34	**71,63**	35,49	23,09	**65,06**	**68,29**
29	**Thes**	50,10	34,28	**68,42**	47,72	31,81	**66,66**	36,28	24,89	**68,61**	**67,90**
30	**Ne83t**	39,48	27,21	**68,92**	45,13	30,98	**68,65**	35,09	22,97	**65,46**	**67,68**
31	**Osage**	41,20	26,93	**65,36**	41,31	27,49	**66,55**	36,01	25,44	**70,65**	**67,52**
32	**Ringo**	32,68	22,13	**67,72**	35,78	24,43	**68,28**	33,39	22,05	**66,04**	**67,34**
33	**Kata**	40,05	28,72	**71,71**	41,06	27,69	**67,44**	37,41	23,36	**62,44**	**67,20**
34	**Mv14**	41,20	26,18	**63,54**	45,45	32,43	**71,35**	37,59	24,95	**66,37**	**67,09**
35	**Öthalom**	44,35	29,15	**65,73**	45,76	32,26	**70,50**	40,98	26,65	**65,03**	**67,09**
36	**Kalangya**	40,93	27,15	**66,33**	43,88	31,51	**71,81**	39,89	24,99	**62,65**	**66,93**
37	**Score**	47,60	31,07	**65,27**	48,23	32,16	**66,68**	38,78	25,61	**66,04**	**66,00**
38	**Alf**	42,40	25,40	**59,91**	44,08	30,15	**68,40**	39,36	26,82	**68,14**	**65,48**
39	**Korona**	40,85	25,20	**61,69**	42,14	29,26	**69,44**	37,44	23,97	**64,02**	**65,05**
40	**Abu**	37,58	23,20	**61,73**	39,08	26,87	**68,76**	33,50	20,97	**62,60**	**64,36**
41	**Vitka**	41,88	27,78	**66,33**	39,76	24,75	**62,25**	35,54	21,49	**60,47**	**63,02**
42	**Őrség**	41,15	24,25	**58,93**	42,50	26,97	**63,46**	33,80	22,01	**65,12**	**62,50**
43	**Csűrös**	45,03	28,28	**62,80**	45,15	28,39	**62,88**	36,99	22,83	**61,72**	**62,47**
44	**Neep**	34,30	20,27	**59,10**	33,99	21,17	**62,28**	26,26	16,52	**62,91**	**61,43**
45	**Adriana**	32,65	20,31	**62,21**	38,96	23,18	**59,50**	31,47	18,35	**58,31**	**60,00**
46	**Saber Beg**	35,30	18,88	**53,48**	37,02	22,47	**60,70**	33,16	19,35	**58,35**	**57,51**
	Átlag	**42,30**	**29,20**	**68,81**	**43,06**	**30,72**	**71,19**	**37,18**	**25,81**	**69,07**	**69,69**
	SzD $_{5\%}$			**5,23**			**4,39**			**12,65**	**8,43**

4.1.9. Összefüggés az alkalmazott szelekciós módszerek eredményei között

Az elvégzett vizsgálatok eredményei között, a legtöbb esetben nem találunk korrelációt, vagy igen gyenge korrelációt kaptunk. Az 1990-ben elvégzett vizsgálatok (illetve a csírázási teszt esetében az 1990-ben learatott szemeken végzett teszt) eredményei közti összefüggéseket mutatja be a **9. táblázat**. A különböző tesztek eredményeit kontroll százalékban fejeztük ki és így végeztük el a korrelációszámításokat.

9. táblázat A különböző szárazságtűrési tesztek adatsorai közötti összefüggések korrelációs koefficiensei

	Csíra teszt	Víztartó kép.	Phytowax	Sűrítési teszt
Csíra teszt	X			
Víztartó kép.	0,1194	X		
Phytowax	0,0929	0,3541*	X	
Sűrítési teszt	0,0849	0,0745	0,7122***	X
Deszikkáns t.	0,1815	0,2382	0,0049	0,0155

*, **,*** szinifikáns a 10%-os, 5 %-os illetve1%-os valószínűségi szinten

A legszorosabb összefüggést az antitranszspiráns hatására bekövetkező szemtömeg változás és a sűrítés hatására tapasztalt szemtömeg csökkenés eredményei között találtuk (r=0,7122***). Ebben az esetben azonban mindkét tényezőnek csekély hatása volt az ezerszemtömegre. A korrelációs koefficiensek gyenge pozitív kapcsolatot mutatnak még a víztartó képesség és az antitranszspiráns alkalmazása, valamint a víztartó képesség és a kémiai deszikkálás hatására mutatkozó tápanyag - transzlokáció eredményei között is (r=0,3541* és r=0,2382).

A szemek vízfelvevő képessége, a levelek víztartó képessége, a sűrű vetésben jelentkező stresszekkel szembeni tolerancia, valamint a jó tápanyag mobilizációs képesség, mind egymástól teljesen függetlenül létező és nagy valószínűséggel egymástól függetlenül öröklődő tulajdonságok. Ezért nem meglepő, hogy egy sok fajtát tesztelő kísérletsorozatban - amelyben a fenti tulajdonságok megléte, hiánya és különböző erőssége igen sokféle variációban fordulhat elő - e tulajdonságok nem mutatnak szoros korrelációt.

Az elvégzett tesztekkel célunk az volt, hogy olyan fajtákat és genotípusokat azonosítsunk, amelyekben a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyegek közül több is megtalálható.

Vizsgálataink alapján **szárazságtoleráns**nak tartjuk a Tiszatáj m., az OK 84343, és a Fatima 2 fajtákat. Ezek két, általunk megbízhatónak ítélt teszt (levágott levelek víztartó képessége, kémiai deszikkáns teszt) alapján is bizonyították szárazságtűrő képességüket, és morfológiai felépítésük és szántóföldi adataik is alátámasztják e feltevést. Közülük a Tiszatáj m. a vízpotenciál mérések

alapján is bizonyította a szárazsággal szembeni jó adaptálódó képességét. A GK Őrség, a Guvvali 116, a Korona, az NE 83/T és az Martonvásári 15-ös a levél víztartó képességben múlta fölül a genotípusok nagy részét, feltehetően erősen viaszolt levélzetüknek köszönhetően. Az NE 83/T, a Kobomugi és az Martonvásári 8 kiváló víztartóképessége mellett a legnagyobb mértékben emelte ozmotikus potenciálját a víztartalom csökkenés hatására. A Scout 66, a Bucsányi 20, a Siete Cerros és a Fertődi 293 transzlokációs képessége alapján mondható stressztoleránsnak a már említett Tiszatáj m., OK 84343 és a Fatima 2 fajták mellett.

10. táblázat Néhány fajta teljesítménye az elvégzett tesztekben x = nincs adat

	csíra %	**vízkult. teszt**	**prolin analízis**	**víztartó kép.**	**phytow. teszt**	**sűrű vetés**	**deszikk. teszt**	**vízpot.**
fajta/év	1990	1989	1988	1990	1990	1990	1990	1992
Bucsányi 20	közepes	x	közepes	közepes	közepes	közepes	közepes	x
GK Csűrös	jó	x	x	közepes	közepes	x	gyenge	közepes
Fertődi 293	közepes	x	x	közepes	x	x	jó	x
Fatima 2	jó	x	x	jó	x	x	jó	x
Guvvali 116	közepes	x	x	jó	x	x	közepes	gyenge
GK 47.89	közepes	x	x	gyenge	x	x	közepes	közepes
Jubilejnaja- 50	közepes	jó	jó	közepes	közepes	gyenge	közepes	x
GK Kata	gyenge	x	x	gyenge	közepes	x	gyenge	gyenge
GK Kincső	közepes	jó	közepes	közepes	közepes	közepes	közepes	x
Kobomugi	x	x	x	x	x	x	x	jó
Korona	közepes	x	x	jó	közepes	x	közepes	x
Martonvásári 15	közepes	közepes	x	jó	x	közepes	közepes	x
Martonvásári 8	jó	közepes	x	x	x	x	x	jó
NE 83/T	közepes	x	x	jó	x	x	közepes	közepes
OK 84343	jó	x	x	jó	x	x	jó	közepes
GK Őrség	jó	x	x	jó	x	x	gyenge	gyenge
GK Öthalom	gyenge	gyenge	közepes	gyenge	közepes	közepes	közepes	gyenge
Score	közepes	x	x	közepes	közepes	x	közepes	gyenge
Scout 66	gyenge	x	x	közepes	x	x	jó	x
Siete Cerros	közepes	x	x	közepes	x	x	közepes	x
GK Szőke	közepes	gyenge	jó	közepes	gyenge	jó	közepes	x
Tiszatáj m.	gyenge	x	x	jó	x	x	jó	jó
GK Zombor	gyenge	közepes	közepes	közepes	közepes	közepes	közepes	x

Az általunk tesztelt módszerek közül tehát a levágott levelek víztartó képességének mérése és a tenyészkertben alkalmazott módszerek közül a késői vízhiánystresszt modellező perzselőszeres teszt szolgáltatta a legjobban használható eredményeket. Ha különböző fajták relatív teljesítményét akarjuk összehasonlítani a dolgozatban ismertetett vizsgálatokban, ismét arra a következtetésre jutunk, hogy a vizsgált tesztek - noha olyan fiziológiai tulajdonságokat értékelnek amelyek kapcsolatban állnak a szárazságtűréssel - egymással kapcsolatban nem álló tulajdonságokat tesztelnek (**10. táblázat**).

4.2. Szántóföldi szárazságtűrési szelekciós kísérletek

A szárazságtűrési szelekciós kertben 2001-2004 között a vizsgált tulajdonságokban minden évben jelentős különbségeket találtunk a tesztelt genotípusok között.

4.2.1. Zászlóslevelek víztartó képességének vizsgálata

2001-ben mind a kezdeti víztartalomban, mind a vízvesztésben a vizsgált 22 fajta és az 55 törzs között jelentős különbségeket tapasztaltunk (**11. táblázat**).

A legnagyobb különbséget a frissen lemetszett zászlóslevelek relatív víztartalmában találtuk. Itt általában a késői fajták rendelkeztek a legnagyobb víztartalommal. A 24 órás deszikkálás (25 ºC; 65 % rh) a relatív víztartalom 90 %-ának elvesztésével járt, legkevésbé a korai fajták és törzsek relatív víztartalma csökkent. A különbségek a nagy vízvesztés miatt nem voltak nagyok a fajták között. A szárazságtűrő fajták közül a legnagyobb mértékben a belső Góbiból származó Kobomugi tudta megőrizni víztartalmát.

A 2002. évben 70, bejelentés előtt álló genotípus és 26 fajta vizsgálatát végeztük el (**11. táblázat**). Ebben az évben a sokkal szelektívebb, 8 órás szárítást alkalmaztuk az előző évivel megegyező hőmérséklet – és páraviszonyok mellett, így kontrasztosabb különbségeket kaptunk a fajták víztartóképességében.

11. táblázat Levágott zászlóslevelek kezdeti és deszikkált relatív víztartalma és víztartó képessége

	2001			2002			2003			2004		
	RWC.I.	RWC.II	WRA	RWC.I.	RWC.II	WRA	RWC.I.	RWC.II	WRA	RWC.I.	RWC.II	WRA
Átlagérték	77,930	1,461	1,900	80,778	40,497	50,318	90,575	36,992	40,838	98,245	34,668	35,253
Standard hiba	0,859	0,057	0,080	0,594	1,164	1,468	0,386	0,984	1,078	0,427	0,973	0,971
Szórás	0,075	0,006	0,864	5,821	11,408	14,382	3,865	9,845	10,777	4,267	9,734	9,706
Minta varianciája	56,812	0,250	0,495	33,885	130,151	206,844	14,938	96,919	116,143	18,207	94,748	94,205
Minimum	29,516	0,850	1,072	69,255	15,201	19,710	80,596	15,973	16,730	81,312	4,167	4,478
Maximum	91,479	3,553	4,573	111,735	64,747	80,433	105,061	59,635	67,847	113,185	58,719	59,315
Darabszám	77	77	77	96	96	96	100	100	100	100	100	100
Konfidenciaszint (95,0%)	1,711	0,113	0,160	1,179	2,312	2,914	0,767	1,953	2,138	0,847	1,931	1,926

RWC I. a kezdeti rel. víztartalom
RWC II. a szárított rel. víztartalom
WRA=RWC II / RWC I*100

A kezdeti víztartalomhoz képest a genotípusok átlagosan közel 20 % vizet tudtak fölvenni, és a kezelés hatására átlagosan kezdeti víztartalmuk 55 %-át őrizték meg. A legjobb genotípusok víztartalmuk 80 %-át, (Zg167.86/Mv16//Szin) a legrosszabbak csak 21 %-át (1086/Open) tartották meg a deszikkálás hatására ($SzD_{5\%}$= 19,95).

A harmadik évben mind a kezdeti víztartalomban mind a vízvesztésben jelentős különbségeket találtunk a vizsgált 100 genotípus között. A kezdeti víztartalomhoz képest a genotípusok átlagosan 7 % vizet tudtak fölvenni, és a kezelés hatására átlagosan kezdeti víztartalmuk 57 %-át őrizték meg. A toleráns genotípusok zászlóslevelei víztartalmuk 77, a legrosszabbak csak 21 %-át tartották meg a deszikkálás hatására.

A 2004. esztendőben az előző évhez hasonlóan mind a kezdeti víztartalomban, mind a vízvesztésben jelentős különbségeket tapasztaltunk a vizsgált 100 genotípus között. Az évjárattól és a mérés időpontjától függően a kezdeti víztartalomhoz képest a genotípusok átlagosan 7 – 20 % vizet tudtak fölvenni, és a kezelés hatására átlagosan kezdeti relatív víztartalmuk 40 – 50 %-át őrizték meg. A toleráns genotípusok zászlóslevelei víztartalmuk 65 – 80 %, a legrosszabbak csak 17 – 21 %-át tartották meg a deszikkálás hatására.

4.2.2. A deszikkációs teszt eredményei

Ezt a szelekciós tesztet mind a négy évben az előző kísérlettel azonos fajtakörön végeztük el. A 2001. évben, a kontroll kezelésben az átlagos ezerszemtömeg 41,57 g, a leperzselt parcellák átlagos ezerszemtömege 30,2 g volt, azaz a kezelés 27,02 %-os szemtömeg csökkenést okozott a fajták átlagában ($SzD_{5\%}$= 9,47) (**12. táblázat**). A legkisebb mértékben a GK Véka/GK Kalász és a GK

Szálka fajta altörzseinek szemtömege csökkent (11,18-15,07 %), míg a 80.60./NB//GK Kincső törzs szemvesztesége megközelítette a 40 %-ot.

2002-ben az ezerszemtömeg 34,6 %-kal csökkent átlagosan. A legjobban a (Ttj/Zo T) törzs szerepelt, amelynek szemtömege csak mintegy 16,7 %-kal, míg a Zg 167.86/Mv16//GK Szindbád törzsnek több mint 55 %-kal csökkent az ezerszemtömege a stressz hatására. A pozitív kontroll teljesítményét 13 törzs múlta fölül. A 2003. évben levélzet leperzselése hatására az ezerszemtömeg átlagosan 38,8 %-kal csökkent. A legjobban a CY-45 és a Kharchia fajták szerepeltek, amelyek szemtömege csak mintegy 12,5 %-kal, míg a legérzékenyebb törzsnek több mint 42,5 %-kal csökkent az ezerszemtömege a stressz hatására.

A 2004. évben a különbség jóval nagyobb volt a perzselőszeres és a kontroll kezelésben mért között. Átlagosan 34,1 %-kal csökkent a szemtömeg. A kontroll kezelésben a legmagasabb ezerszemtömeg 53,2 g, a legalacsonyabb 32,7 g volt. A kezelt parcellákon a legmagasabb a 40,35g, a legalacsonyabb 18,96 g volt.

12. táblázat Az ezerszemtömeg csökkenése a deszikkációs stressz hatására (Szeged, 2001-2004)

Ezerszemtömeg csökkenése a perzselőszeres stressz hatására Szeged, 2001-2004

Összefoglaló táblázat	2001			2002			2003			2004		
	kontroll et. (g)	deszikk et (g)	kontroll %	kontroll et. (g)	deszikk et (g)	kontroll %	kontroll et. (g)	deszikk et (g)	kontroll %	kontroll et. (g)	deszikk et (g)	kontroll %
Átlagérték	41,57	30,21	72,98	43,96	29,04	66,29	39,51	28,06	71,15	45,49	29,92	65,82
Standard hiba	0,64	0,45	0,85	0,40	0,40	0,94	0,38	0,35	0,72	0,41	0,49	0,94
Szórás	4,78	3,35	6,30	3,37	3,35	7,88	3,78	3,52	7,23	4,07	4,91	9,42
Minta varianciája	22,88	11,20	39,65	11,38	11,19	62,02	14,30	12,37	52,25	16,55	24,11	88,70
Minimum	30,20	21,80	11,18	34,70	21,27	47,65	29,83	21,82	57,44	32,67	18,97	39,87
Maximum	50,68	41,35	39,85	50,23	36,43	82,93	48,98	36,72	87,60	53,20	40,35	87,60
Darabszám	55	55	55	70	70	70	100	100	100	100	100	100
Konfidenciaszint (95,0%)	1,29	0,90	1,70	0,80	0,80	1,88	0,75	0,70	1,43	0,81	0,97	1,87

Kontroll et. =a kezeletlen kontroll ezerszemtömege grammban
Deszikk et. =a perzselt kezelésben mért ezerszemtömeg grammban
Kontroll %.= Deszikk et./Kontroll et. X100 %

Ha a vizsgált 4 évet összehasonlítjuk, látható, hogy az eltérő genotípus összetétel és időjárás ellenére az átlagos ezerszemtömeg csökkenés hasonló mértékű volt (27, 34, 38 és 34 %). A toleráns genotípusok mind a négy évben hasonló kismértékű szemtömeg depressziót mutattak.

4.2.3. Öntözési kísérlet

A 2002. évben, a májustól relatíve nagy mennyiségű csapadék miatt, jelentős öntözési reakciót nem tudtunk mérni. Az öntözés nem okozott változást a kalászolásban, a **növénymagasság**ot igen kis mértékben (5,1 %) emelte. A fentiek miatt az öntözés szignifikáns mértékben nem növelte az

ezerszemtömeget, viszont a **szemtermés** mennyiségét igen, mintegy 10 %-kal. Ennek a magyarázata a nagyobb számú, eredményesen termékenyült sarjkalász lehetett.
Az öntözési kísérletben mért bélyegek alakulását mutatja be a **13. táblázat**.

13. táblázat Az öntözés hatása egyes agronómiai bélyegekre, a levélfelület hőmérsékletére és a klorofill tartalomra (Szeged, 2002-2004)

vizsgált bélyegek / év	mérték-egység	2002	*Szd 5%*	2003	*Szd 5%*	2004	*Szd 5%*
növénymagasság	K%	94,94	*6,30*	92,84	*6,50*	105,10	*6,30*
kalászolás	K%	99,91	*3,56*	99,61	*1,56*	99,54	*1,60*
ezerszemtömeg	K%	99,41	*3,20*	95,24	*2,30*	98,68	*6,30*
szemtermés	K%	90,53	*9,50*	81,53	*8,20*	100,83	*8,90*
levélhőmérséklet	K%	x	*x*	86,35	*4,60*	96,53	*6,80*
klorofill tartalom	K%	x	*x*	90,04	*x*	91,04	*x*

A 2003. évben mértük a különböző agronómiai bélyegek változását, valamint a **levélfelület hőmérsékletét** és a **klorofill tartalmat** is. Az öntözést kalászolás előtt kezdtük el, és egészen viaszérésig folytattuk (május 5. – június 3.). Mintegy 140 mm vizet juttattunk ki, összesen öt alkalommal.
A növénymagasság az öntözött körülmények között a genotípusok átlagában 5,12 cm-rel, azaz 7,16 %-kal volt nagyobb, mint a kontroll parcellák esetében. A kontroll parcellák átlagos növénymagassága 64,75 cm, az öntözött parcelláké 69,77 cm volt a 100 genotípus átlagában. A változás átlaga a szignifikancia szintjét ($SzD_{5\%}$=8,30) nem érte el. A legnagyobb százalékos változás 19,5 % volt, míg 14 genotípus magassága nem változott. Az ezerszemtömeg az öntözés hatására 4,76 %-kal emelkedett. Az átlagos ezerszemtömeg a kontroll kezelésben 39,51 g, az öntözött kezelésben 41,37 g volt. A csekély különbség ellenére a kísérlet megbízhatónak bizonyult ($SzD_{5\%}$=2,30). A genotípusok ezerszemtömege 0-23 % közötti mértékben nőtt.

A 2003. év nyarán a kézi infravörös hőmérővel végzett mérések jelentős hőmérséklet különbséget mutattak ki a vizsgált törzsek között. A méréseket az öntözés után minimum 3 nappal végeztük. Az optimális vízellátottságú (öntözött) parcellák átlagos levélfelület hőmérséklete 22,8 ^{o}C, míg a kontroll parcellák átlagos hőmérséklete 26,5 ^{o}C volt. Az öntözött állományban a hőmérsékleti szélsőértékek (20,6 – 25,0 ^{o}C) kissé szűkebb intervallumban változtak, mint a kontroll parcellákon (25,1 – 30,1 ^{o}C). A szárazság a növényfelület hőmérsékletét átlagosan 3,6 ^{o}C-kal (13,6 %) emelte.

A klorofill tartalmat június második felében határoztuk meg. Annak ellenére, hogy az öntözött parcellák szemlátomást nagyobb klorofill tartalommal rendelkeztek, a mérések ismételhetősége igen rossz volt, a szórások nagysága miatt a nagyszámú mérés ellenére megbízható különbséget nem tudtunk mérni a vizsgált törzsek között. Ennek legvalószínűbb oka a mérőberendezés kis látószöge. A műszer elsősorban egyes levelek klorofill tartalmának meghatározására alkalmas, a nem homogén növényállományok (parcellák) összehasonlítására alkalmatlan. A kontrollkezelésben a klorofill tartalom átlagosan mintegy 9,96 %-kal alacsonyabbnak bizonyult, mint az öntözött, optimális vízellátottságú parcellákon.
Az öntözéses kísérletet 2004. évben is beállítottuk, de a csapadékos időjárás miatt öntözési reakciót nem tudtunk mérni sem növénymagasságban, sem a szemtermésben.

Összegezve eredményeinket megállapítható, hogy száraz évjáratban az öntözött területen a növényállomány felületi hőmérséklete alacsonyabb, a klorofill tartalom magasabb volt, nőtt a növénymagasság, nem szignifikáns mértékben késett a kalászolás és az érés, nőtt az ezerszemtömeg és a szemtermés mennyisége. A három vizsgált évből csak egy évjárat volt, amikor értékelhető különbségeket tudtunk mérni a felvételezett tulajdonságokban.

4.3. Az egyes terméskomponensek szerepének vizsgálata a búzagenotípusok produktivitásában és stressztoleranciájában

4.3.1. A több termőhelyes kísérletek eredményei

A kiválasztott négy termőhelyen (Szeged, Szarvas, Táplánszentkereszt, Bóly) a legfontosabb meteorológiai adatokat a 3.4. fejezetben ismertettük. A négy hely átlagában a legtöbb **csapadék** vetéstől aratásig 2004-ben (498 mm), a legkevesebb 2002-ben (270,5 mm) hullott. Ha a legtöbb fajta kalászolása és az aratás közötti időszakot nézzük, látható, hogy ebben az időszakban a 2003. év volt a legszárazabb esztendő. Míg 2001-ben a négy hely átlagában 156,25 mm, addig 2003-ban ugyanezen idő alatt csak 46,68 mm csapadék hullott. **Hőösszeg** tekintetében a legalacsonyabb értéket (1350 C^o) 2004-ben, a legmagasabbat (1948 C^o) 2003-ban találjuk. A **napsütéses órák** száma is 2003-ban volt a legmagasabb (786,5 h). Ha a négy termőhely átlagát nézzük, a négy év közül a 2004. év nevezhető leginkább stresszmentesnek, és a 2003. év a legsúlyosabb stresszel terheltnek.

Ha a négy termőhelyet hasonlítjuk össze, a négy év átlagában a vetéstől a viaszérésig lehullott csapadék Bólyban volt a legtöbb (438,7 mm), és Szarvason a legkevesebb (338,6 mm). A legtöbb fajta kalászolása és az aratás között eltelt időben a legkevesebb csapadék Táplánszentkereszten és Szarvason (101,3 mm és 103,9 mm), a legtöbb szintén Bólyban volt (136,3 mm).

Ha a hőösszeget nézzük a négy év átlagában, április 1. és az aratás között eltelt időben Szarvason volt a legnagyobb és Táplánszentkereszten a legkisebb hőösszeg (1780,7 C^o és 1559,5 C^o). A napsütéses órák száma ugyanebben az időszakban is Szarvason volt a legmagasabb (744,25 h) és Táplánszentkereszten a legkevesebb (673,25 h). A termőhelyek közül a négy év átlagadatait figyelembe véve Szarvas nevezhető a szárazságstresszel leginkább sújtott termőhelynek. Ugyanebben az időszakban a négy termőhely közül Bólyban érte a legenyhébb szárazságstressz a növényeket.

Terméseredmények tekintetében a 2004. évben voltak a legnagyobb termések, a négy termőhelyen a fajták átlagában 7,58 t/ha szemtermést mértünk. A legkisebb termés a szárazságstresszel leginkább sújtott 2003-ban volt, ebben az évben a kísérleti átlag 4,61 t/ha szintet ért el, ami alig több mint a 2004. évi szint 61 %-a. A négy év terméseredményeit a négy termőhelyen a **14. táblázat** mutatja be. 2001-ben a szemtermés a négy termőhely átlagában 6,42 t/ha volt, a legmagasabb termésátlagot Táplánszentkereszten, a legalacsonyabbat Szeged-Kecskésen értük el. 2002-ben a legmagasabb termésátlag Bólyban, a legalacsonyabb Szarvason és Táplánszentkereszten volt. 2003-ban a legmagasabb szemtermést Bólyban, a legalacsonyabbat Szarvason regisztráltuk.

14. táblázat A kiválasztott négy év (2001-2004) szemtermés eredményei négy termőhelyen

évek	Bóly	Szarvas	Szeged	Táplán	átlag	SzD 5%
	t/ha					
2001	6,95	5,52	5,34	7,85	6,42	*0,81*
2002	7,18	5,22	6,42	5,21	6,01	*0,66*
2003	6,31	3,24	4,32	4,71	4,61	*0,66*
2004	7,84	7,05	8,1	7,32	7,58	*1,00*
átlag	**7,07**	**5,26**	**6,05**	**6,27**	**6,16**	

2004-ben a legnagyobb termést Szegeden, a legalacsonyabbat ugyancsak Szarvason mértük. A kontroll fajták átlaga ebben az évben 7,91 t/ha, 2003-ban 4,80 t/ha volt. Termőhelyenként a négy év átlagában a legnagyobb termést Bólyban (7,07 t/ha), a legalacsonyabbat Szarvason (5,26 t/ha) mértük. A kontroll fajták termésátlaga ugyanitt 7,27 t/ha és 5,53 t/ha volt. A búzafajták és -törzsek terméseredményei között mind a négy évben, mind a négy termőhelyen szignifikáns különbségeket figyeltünk meg.

4.3.2. Összefüggés vizsgálatok a genotípusok produktivitásában és stressztoleranciájában

Abból a célból, hogy objektíven értékelni tudjuk a szárazságtűrési tesztek eredményeit és a számunkra legfontosabb tulajdonságok kapcsolatát, meg kellett határozni egy relatív értéket, a szárazság érzékenységi indexet (S érték), amelyet Fisher és Maurer (1978) vezetett be a genotípusok szárazságtűrésének összehasonlítására. Az S érték kiszámolását korábban (2.3.) ismertettük. Mivel öntözéses kísérletet csak 2002-től állítottunk be, S értéket csak a 2002., 2003. és 2004. években lehetett számolni. A 2002. és a 2004. évi adatokat az is bizonytalanná teszi, hogy az öntözés időszakában többször is jelentős mennyiségű csapadék hullott, csökkentve az öntözés hatékonyságát. Ezzel magyarázható, hogy az érzékenységi index és a többi mért tulajdonságok között csak elvétve tudtuk statisztikailag igazolni a korrelációt. A számított S érték és a perzselőszerrel kezelt parcellán számított S érték között az összefüggés laza (r=0,2653) volt.

Ha elfogadjuk azt a tételt, hogy a vizsgált négy évben a legnagyobb hatást a csapadék gyakorolta a szemtermésre, akkor az érzékenységi mutatót ki lehet számolni a stresszkörnyezet és a stresszmentes környezet termésadataiból is. Természetesen, számolni kell azzal, hogy a legfontosabb időjárási körülmények mellett sok egyéb hatás is torzítja ezt az összefüggést (talaj, mikroklimatikus tényezők, stb.). Az előzőekben (4.3.1. fejezet) ismertetett meteorológiai adatok alapján a stresszkörnyezetben mért termésadatoknak a szarvasi, az optimális adatoknak a bólyi eredményeket vettem. Az S értékek és a szarvasi termésadatok az első három évben igen szoros

korrelációt mutattak és csak a csapadékos 2004. évben volt laza a kapcsolat, (r_{2001}=0,8635***; r_{2002}= 0,8538***; r_{2003}= 0,8544***, r_{2004}= 0,1444), ugyanakkor a bólyi eredményekkel való korrelációjuk mind a négy évben sokkal gyöngébb volt (r_{2001}=0,1843; r_{2002}= 0,1735; r_{2003}= 0,2244*; r_{2004}= 0,1641*).

A 2001. évben az átlagos szemtermésből számított S érték 1,038, 2002-ben 1,046; 2003-ban 1,113 2004-ben pedig 1,036 volt, azaz a vízhiány-stresszel együtt nőtt. A kontroll fajtáknál hasonló tendencia érvényesült: átlagos S-értékük 2001-ben 0,803, 2002-ben 1,139, 2003-ban 1,153, 2004-ben pedig 1,014 volt.

2001. évben a korreláció analízissel nem találtunk kapcsolatot a terméseredmények és a legfontosabb szárazságtűrést tesztelő módszerek eredményei között (**15. táblázat**). A perzselőszeres kísérletben mért szemtömeg depresszió és a termés alapján számított S érték között csak mintegy r=0,0139 értéket kaptunk. A zászlóslevél víztartóképessége és az érzékenységi index között sem volt kimutatható kapcsolat. A két szárazságtűrési teszt eredményei között gyakorlatilag nincs összefüggés (r=0,1142).

15. táblázat A stresszérzékenységi mutató, a kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció (Szeged, 2001)

Korrelációs mátrix 2001

	$S_{termés}$	$P_{i\ termés}$	termésátlag	víztartóképesség K%	perzselőszeres teszt et. K%
$S_{termés}$	1				
$P_{i\ termés}$	0,1194	1			
termésátlag	0,1822	0,9748***	1		
víztartóképesség K%	0,3281**	0,0344	0,0355	1	
perzselőszeres teszt et. K%	0,0139	0,1486	0,1474	0,1142	1

***p=0,1 %, **p=1%; *p=5 %

Csak a leggyengébb és legjobb termőhely között számolt stresszindex (S) és a zászlóslevél víztartó képesség között találtunk gyenge kapcsolatot (r=0,3281*). Ahogy az várható volt, a genotípusok termésátlagai és a termésátlagokból számolt kiválósági mutató (P) között szoros volt a korreláció (r=0,9748***). A kiválósági mutató és a stresszindex között nem találtunk összefüggést ebben az évben.

A **2002-ben** beállított öntözési kísérletben hasonló eredményeket kaptunk (**16. táblázat**). A perzselőszeres kísérlet eredményei és a stresszérzékenységi index között az összefüggés (r=0,1644),

a levél víztartóképesség és az S-értékek között r=0,0035 volt. Ebben az évben sem találtunk kapcsolatot a víztartóképesség és a tápanyag transzlokációs teszt eredményei között. A szárazságtűrési kísérletben mért számsorok összevetésekor sem tudtunk kimutatni szoros kapcsolatot az egyes tesztek eredményei között.

16. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi mutató, és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció r értékei (Szeged, 2002)

Korrelációs mátrix 2002

	$S_{termés}$	$P_{i\ termés}$	termésátlag	víztartóképesség K%	perzselőszeres teszt et. K%	öntözési reakció K%
$S_{termés}$	1					
$P_{i\ termés}$	0,6009***	1				
termésátlag	0,4098**	0,9529***	1			
víztartóképesség K%	0,0159	0,0761	0,0495	1		
perzselőszeres teszt et. K%	0,2194*	0,1149	0,0422	0,1292	1	
öntözési reakció K%	0,1909	0,0147	0,0044	0,1429	0,2468*	1

***p=0,1 %, **p=1%; *p=5 %

Az ugyanabban a kísérletben az öntözés hatására kapott termésnövekedés és a deszikkánssal előidézett terméscsökkenés között találtunk gyenge, 10%-on szignifikáns kapcsolatot (r= 0,2468*).

A szárazságtűrési kísérletekben kapott adatokat és a 9 termőhelyen mért termésadatokat értékelve bizonyítható volt, hogy 2002-ben közepesnél erősebb kapcsolat volt a termésből számolt stresszindex és a kiválósági együttható (P_i) között, továbbá a termés és a kiválósági együttható között. A levágott zászlóslevelek víztartó képességének és a perzselőszeres kísérletben mért tápanyag transzlokációs képességnek gyakorlatilag nem volt jelentős hatása a termés kialakulására és a számolt mutatókkal sem találtunk kapcsolatot.

A 2003. év aszályos év volt hazánkban. Valószínűleg ez az oka, hogy ebben az évben találtuk a legszorosabb kapcsolatot a Szegeden végzett fiziológiai tesztek eredményei és a több termőhelyes kísérletekben mért terméseredmények között (**17. táblázat**). Ebben az esztendőben a közepesnél szorosabb kapcsolat volt a több termőhelyes tájkísérlet termésadataiból számolt stresszindex és a kiválósági mutató között (r=0,6247***). A tesztvizsgálatok közül szoros volt a kapcsolat az ezerszemtömeg és szemtermés változás tekintetében a perzselőszerrel kezelt és az öntözött parcellák adatai között is (r= 0,6278*** és r=0,8363***). A tájkísérletben mért P érték és a szegedi tesztben mért perzselőszeres termésdepresszió illetve öntözési reakció között, továbbá a szegedi kísérletben számolt stresszindex között is a közepesnél szorosabb kapcsolat volt kimutatható. A levágott zászlóslevelek víztartó képessége a korrelációszámítás szerint nem gyakorolt hatást a stressztűrő képességre, azaz elsősorban a késői vízhiány okozta a terméscsökkenést.

17. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei (termésre és ezerszemtömegre) között számolt korreláció r értékei (Szeged, 2003)

Korrelációs matrix 2003	$S_{termés}$	$P_{itermés}$	Termés (kg)	Víztartó képesség (k%)	Perzselőszer es teszt (k%)	Öntözési reakció (k%)	Hőmérséklet (k%)	Termés kont/önt %	Termés per/önt %	Termés per/kont %
$S_{termés}$	1									
$P_{itermés}$	0,6247***	1								
Termés (kg)	0,4791***	0,9544***	1							
Víztartó képesség (k%)	0,0745	0,1535	0,1632	1						
Perzselőszeres teszt (k%)	0,2498**	0,0560	0,1104	0,1935	1					
Öntözési reakció (k%)	0,1811	0,0905	0,1297	0,1171	0,6377***	1				
Hőmérséklet (k%)	0,1210	0,2002*	0,1493	0,2863**	0,0946	-0,0274	1			
Per. termés kont/önt	0,4557***	0,6728***	0,6002***	0,0007	-0,0380	0,2005*	0,2191*	1		
Per. termés per/önt	0,2211*	0,1323	0,1100	0,0987	0,6278***	-0,0213	0,1394	0,1384	1	
Per. termés per/kont	0,4638***	0,6080***	0,5067***	0,1018	0,2840**	0,1225	0,2474**	0,8363***	0,3482***	1

***p=0,1 %, **p=1%; *p=5 %

A **2004.** év az elmúlt évek egyik legcsapadékosabb éve volt és az utóbbi évek rekordtermését hozta országszerte (lsd. Bevezetés **2. ábra**). A tájkísérletek közötti termésszint különbségek legfőbb oka nem az eltérő csapadék- illetve napfénytartam volt, hanem elsősorban a talaj illetve az agrotechnikai színvonal. Ezzel magyarázható, hogy az eltérő tájkísérletekben számolt stresszindex, a P érték és a 9 termőhelyen mért termésadatok között gyakorlatilag nem találtunk kapcsolatot (**18. táblázat**).

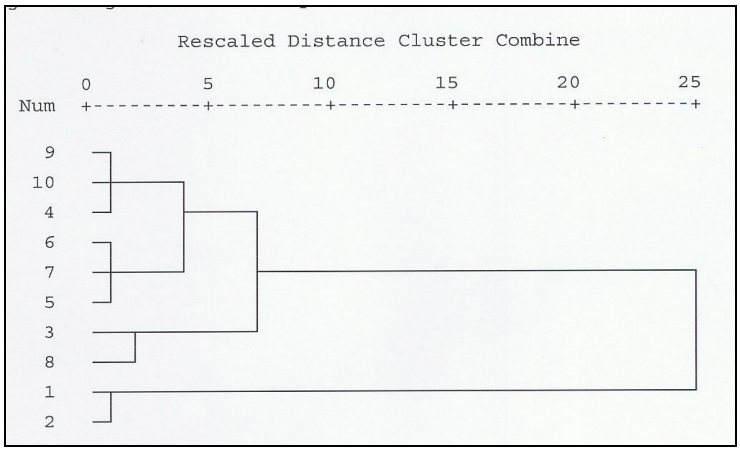
18. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi mutató, és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció r értékei (Szeged, 2004)

Korrelációs matrix 2004	$S_{termés}$	$P_{itermés}$	Termés (kg)	Víztartó képesség (k%)	Perzselőszeres teszt (k%)	Öntözési reakció (k%)	Hőmérséklet (k%)	Termés kont/önt %	Termés per/önt %	Termés per/kont %
$S_{termés}$	1									
$P_{itermés}$	0,1642	1								
Termés (kg)	0,1556	0,9801***	1							
Víztartó képesség (k%)	0,0399	0,2872**	0,2911**	1						
Perzselőszeres teszt (k%)	0,0402	0,1394	0,1192	0,0344	1					
Öntözési reakció (k%)	0,1811	0,0905	0,1297	0,1171	0,6377***	1				
Hőmérséklet (k%)	0,1651	0,0532	-0,0530	0,2863**	0,0946	-0,0274	1			
Per. termés kont/önt	0,1380	0,1198	-0,1166	0,0007	0,0380	0,2004*	0,2191*	1		
Per. termés per/önt	0,1308	-0,0777	0,0660	0,0987	0,6278***	-0,0213	0,1394	0,1384	1	
Per. termés per/kont	0,2679**	0,2429**	0,2283*	0,1018	0,2840**	-0,1225	0,2474**	0,3787***	0,6057***	1

***p=0,1 %, **p=1%; *p=5 %

A szegedi tesztkísérletekben (levél víztartóképesség és transzlokációs képesség) kapott terméseredmények és a stresszindex között sem találtunk összefüggést. Közepesnél gyengébb kapcsolatot találtunk a perzselőszeres tesztben mért transzlokációs képesség (ezerszemtömeg depresszió) és a lemetszett zászlóslevelek víztartó képessége között. A perzselőszeres kísérletben mért ezerszemtömeg depresszió és az ugyanabban a kísérletben mért termésdepresszió között is közepes kapcsolatot találtunk (r=0,6278***). Gyenge korrelációt találtunk a zászlóslevél víztartó képessége és a stressz mellett mért levélhőmérséklet között (r=0.2863**).

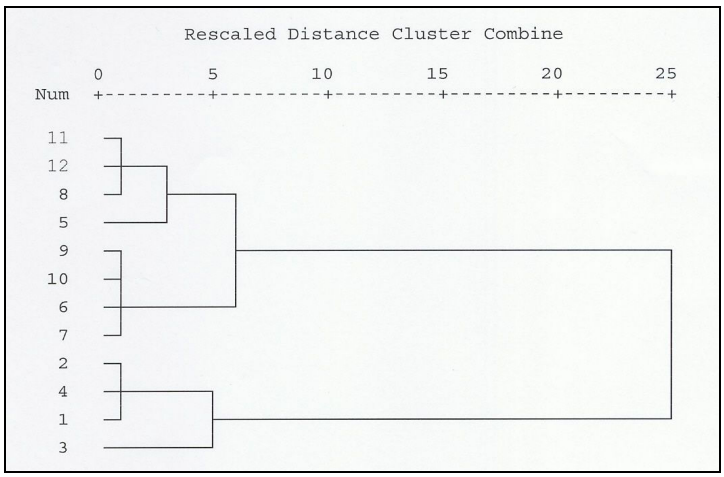
A 2003. és 2004. évben 9 termőhelyen mért termésátlagát, a szemtermésből számolt érzékenységi mutatót, továbbá a szárazságtűrési kísérletben elvégzett tesztek eredményeit (kontroll százalék eredmények) klaszteranalízissel elemeztük. A két évben hasonló eredményt kaptunk, pedig a két év meteorológiai hatásai és a vizsgált genotípusok is erősen eltértek egymástól. A **16. ábra** a 2003. év szárazságtűrési tesztjeinek, szemtermésből számolt S értékének és szárazságtűrési tesztjeinek eredményét mutatja be. Ebben az évben az analízis négy kisebb klaszterbe sorolta a vizsgált tulajdonságokat. Az első csoportba a szemtermés és a termésből számolt érzékenységi mutató került. A második klaszterbe a levágott zászlóslevek víztartóképessége és a tápanyag transzlokációt tesztelő kísérlet öntözött és deszikkált kezelése közti különbség eredménye, a harmadik klaszterbe az öntözéssel kapcsolatba hozható tulajdonságok tesztjeinek eredményei és a levélfelület hőmérséklet adatai kerültek. A negyedik klaszterbe a tápanyag transzlokációs kísérlet három mérési adata került.



16. ábra Klaszteranalízis. A szemtermés, az érzékenységi mutató és a szárazságtűrési tesztek eredményeinek csoportosítása (Szeged, 2003)

Jelmagyarázat: 1. S (érzékenységi mutató), 2. szemtermés, 3. víztartóképesség, 4. tápanyag transzlokációs teszt, ezerszemtömeg, 5. öntözési reakció (ezerszemtömeg), 6. levélfelület hőmérséklete, 7. öntözési reakció (termés), 8. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/öntözött termés), 9. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/kontroll termés), 10. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/kontroll ezerszemtömeg)

A 2004. évben két-két víztartóképességi vizsgálat és levélfelület hőmérséklet mérési adat került a klaszteranalízisbe. A **17. ábra** a 2004. év szárazságtűrési tesztjeinek, szemtermésből számolt S értékének és szárazságtűrési tesztjeinek eredményét mutatja be. Ebben az évben a szemtermés és a termésből számolt érzékenységi mutató mellett a második víztartóképességi teszt eredménye, került egy klaszterbe. Az első víztartóképességi teszt eredménye szintén közel helyezkedik el az előzőekhez. Egy klaszterbe került a perzselőszeres kísérlet négy mutatója (6, 7, 9, 10), valamint az öntözési reakció (ezerszemtömeg) és a kétszer elvégzett levélfelület hőmérsékleti adat is. A termésből számolt öntözési reakció szintén közel került ez utóbbi csoporthoz.



17. ábra Klaszteranalízis. A szemtermés, az érzékenységi mutató és a szárazságtűrési tesztek eredményeinek csoportosítása (Szeged, 2004)

Jelmagyarázat: 1. S (érzékenységi mutató), 2. szemtermés, 3. és 4. víztartóképesség, 5. öntözési reakció (termés), 6. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/öntözött termés), 7. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/kontroll termés), 8. öntözési reakció (ezerszemtömeg), 9. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/öntözött ezerszemtömeg), 10. tápanyag transzlokációs teszt (deszikkált/kontroll ezerszemtömeg), 11. és 12. levélfelület hőmérséklete

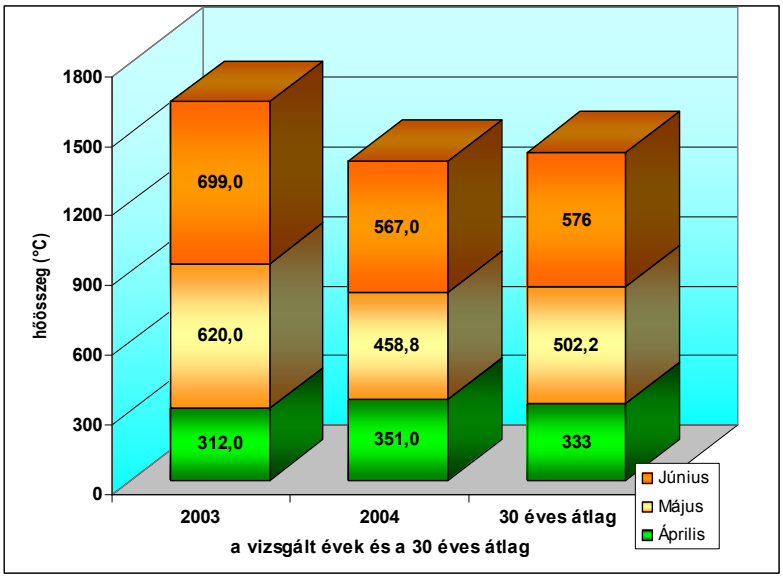
A tesztelési módszerek annak ellenére konzekvensen azonos klaszterbe kerültek, hogy a vizsgált két év rendkívül eltérő környezeti feltételeket teremtett, továbbá a vizsgált fajták köre teljesen más volt.

4.3.3. Az évjárat hatása a termésre és a terméskomponensekre

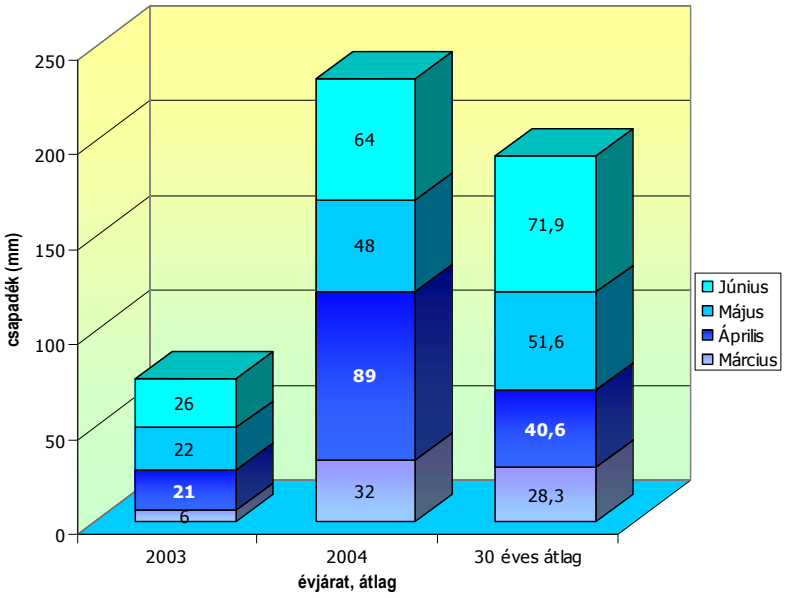
A 2002/2003 és a 2003/2004 években beállított, régi- és mai szegedi búzafajtákat összehasonlító teljesítménykísérletek (**18. ábra**) célja a fajták genetikai előrehaladásának elemzése volt a legfontosabb agronómiai bélyegek és a terméskomponensek tekintetében.

18. ábra A genetikai előrehaladást vizsgáló kísérlet (Szeged, 2003)

A kísérlet két évét rendkívül eltérő időjárási körülmények jellemezték (**19.** és **20. ábra**).



19. ábra A 2003. és 2004. év hőösszeg adatai valamint a 30 éves átlag áprilistól júniusig, Szegeden



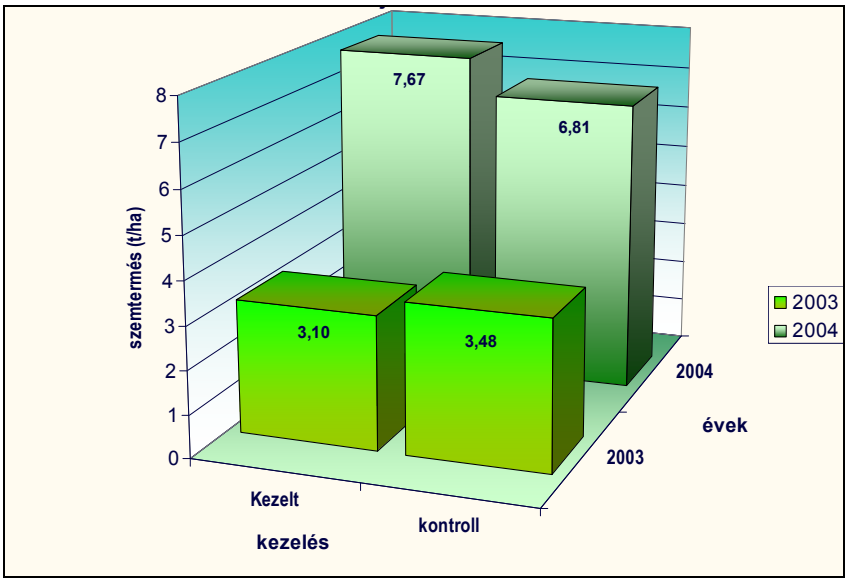
20. ábra Havi csapadékadatok március és az aratás között (Szeged, 2003-2004)

Ezért az eredmények alkalmassá váltak arra, hogy a szárazság szemtermésre és terméskomponensekre gyakorolt hatását tanulmányozzuk, valamint következtetéseket vonjunk le a kísérletben szereplő kenyér- és durumbúza genotípusok szárazságtoleranciájáról is.

A száraz és forró nyarú 2003. évben a hőösszeg jelentősen magasabb volt, mint a 30 éves átlag, míg a csapadék a tenyészidőszakban a sokéves átlag felét sem, a 2004. évinek még az egyharmadát sem

érte el. A hideg téllel és nyári szárazsággal sújtott 2003. évben a pótlólagosan befektetett agrotechnikai beavatkozások nem térültek meg, termésnövekedés nem, sőt hibahatáron belüli termésdepresszió volt kimutatható. Ezzel ellentétben a 2004. évben a „high input" kezelés átlagosan 860 kg/ha (12,6 %) termésnövekedést hozott. Az évjárat (a bőséges csapadék) sokkal nagyobb hatást gyakorolt a mért tulajdonságokra, mint az agrotechnikai kezelések. A szemtermés mennyisége az évjárat hatására 3,13 t/ha értékről 7,58 t/ha értékre nőtt a 70 genotípus átlagában, ami 142 %-os termésnövekedésnek felelt meg (**21. ábra**).

Ha külön választjuk a 2002/2003. év hosszú és kemény tele miatt kiritkult durum búzák termésátlag növekedését a kenyérbúzákétól, azt tapasztaljuk, hogy a kenyérbúzák termésátlaga 127 %-kal, a durum búzáké több mint 300 %-kal emelkedett, köszönhetően a fagyra leginkább érzékeny fajták első évben történt nagyarányú kiritkulásának. Ezt az adatot a kalászszám adatok is megerősítik: míg a kenyérbúzák négyzetméterenkénti produktív kalászszáma 310-ről 446-re nőtt, addig a durum búzák esetében 139-ről 407-re (44 %-os illetve 193 %-os emelkedés). A kalászszám mellett jelentősen változott a búzafajták kalászonkénti szemszáma (33 %-os emelkedés) és ezerszemtömege (21 %-os emelkedés) is (**19. táblázat**). A kalászonkénti szemtermés tömege a 2003. évi 1,12 g-ról 1,41 g-ra nőtt 2004-ben (26 %-os emelkedés).



21. ábra Búzafajták szemtermés eredményeinek változása a kezelés (high input) és az évjárat hatására (Szeged, 2003-2004)

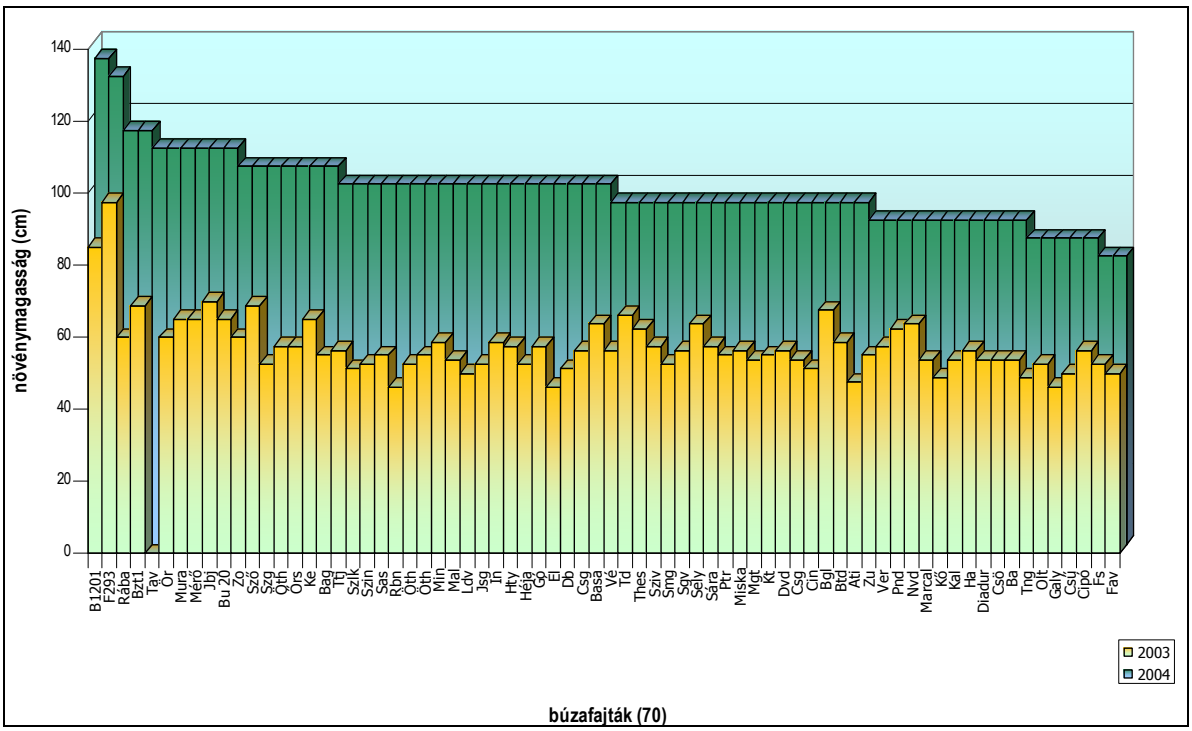
19. táblázat Az évjárat hatása a szemtermés, a terméskomponensek és egyes beltartalmi tulajdonságok változására a kezelt állományban (Szeged, 2003-2004)

Tulajdonság / Év	**2003**	**2004**	**SzD $_{5\%}$**
szemtermés (t/ha)	***3,10***	***7,67***	*0,656*
ezerszemtömeg (g)	***37,60***	***45,50***	*3,561*
szem/kalász (db)	***30,00***	***39,90***	*4,133*
szemtermés (g /kalász)	***1,12***	***1,41***	*0,190*
kalászszám (db/m ^{2})	***291,00***	***442,00***	*35,054*
aestivum kalászszám (db/m ^{2})	***310,60***	***446,50***	*35,807*
durum kalászszám (db/m ^{2})	***139,20***	***407,50***	*28,433*
növénymagasság (cm)	***56,61***	***94,29***	*2,826*
biológiai term.(g/hajtás)	***66,60***	***181,00***	*13,554*
szemtermés (g/hajtás)	***33,50***	***89,20***	*8,624*
HI (%)	***50,40***	***49,80***	*4,186*
nedvessikér tart. (%)	***31,90***	***31,70***	*0,600*
fehérje tart. (%)	***13,30***	***13,00***	*0,162*
szemkeménység (Perten é.sz.)	***46,70***	***81,30***	*2,797*

Természetesen nem csak a szemtermés és annak összetevői változtak az eltérő évhatás következtében. Jelentősen nőtt a növénymagasság és a biológiai termés mennyisége is. Amíg a 2003. évi kísérlet high-input kezelésében az átlagos növénymagasság 56,6 cm volt, addig a 2004. évben ez az érték 98,3 cm-t ért el. Ez azt jelenti, hogy a növénymagasság átlagosan mintegy 66,5 %-kal nőtt 2004-ben (**22. ábra**).

Talán a biológiai termés (az egy tőhöz tartozó összes föld fölötti növénytömeg) növekedése volt a legnagyobb a vizsgált bélyegek között a 70 genotípus esetében. Míg 2003-ban egy hajtás össztömege 66 g volt, addig a következő évben 181 g. Ez közel 172 %-os növekedésnek felel meg és mivel ez a növekedés nagyobb mértékű volt, mint az egy hajtáshoz tartozó szemtermés gyarapodás, a harvest index érték valamelyest csökkent a 2004. évben.

A kísérletbe vont kenyér- és durumbúzák átlagos HI értéke 2003. évben 50,4 %, 2004-ben 49,8 % volt.



$SzD_{5\%2003}$=3,01 $SzD_{5\%2004}$=2,62

22. ábra Az évjárat hatása a búzafajták növénymagasságára (Szeged, 2003-2004)

4.3.4. A termés és a terméskomponensek alakulása az elmúlt 60 évben minősített fajtákban

A fajtákat elismerésük és köztermesztésbe kerülésük ideje alapján öt csoportra oszthatjuk:

1. az 1970 előtt regisztrált vagy „régi” búzafajták (3 genotípus)
2. a hetvenes évek fajtái (3 genotípus)
3. a nyolcvanas évek fajtái (19 genotípus)
4. a kilencvenes évek fajtái (23 genotípus)
5. a legújabb genotípusok (2000-2002) (14 genotípus)

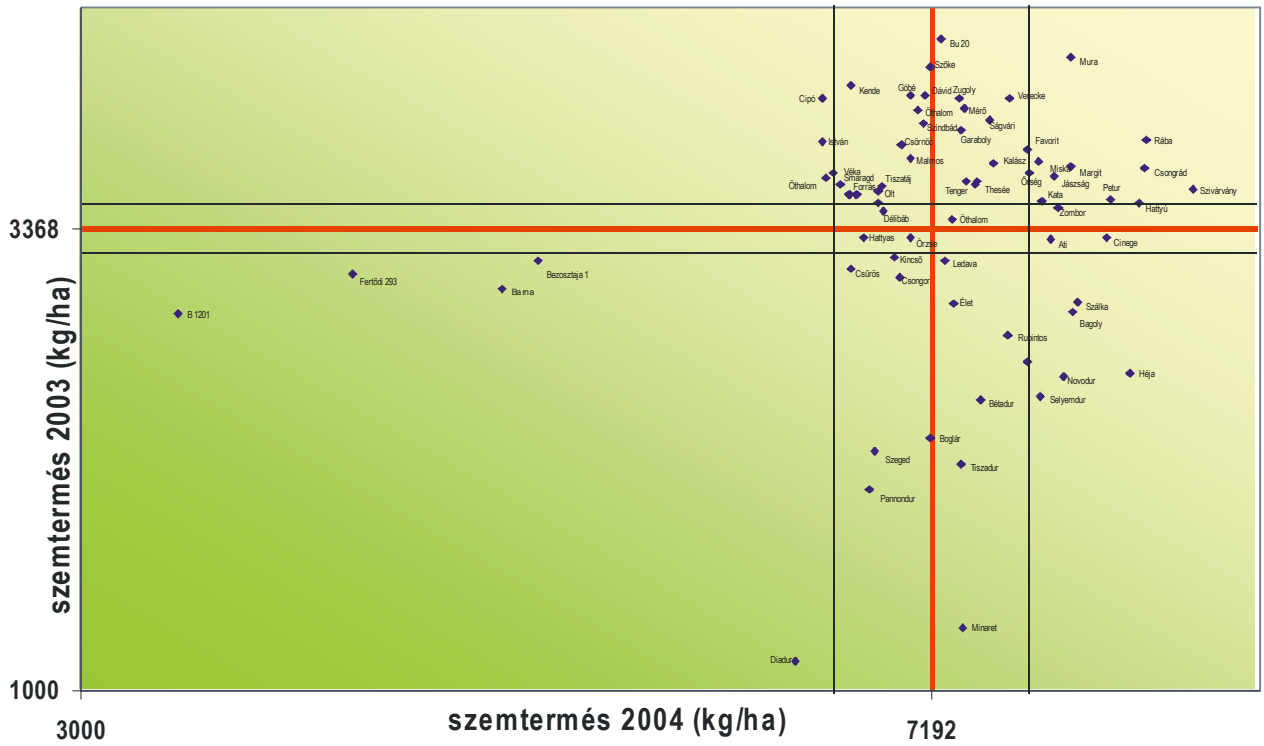
Összevetve a csoportátlagokat, következtetéseket tudunk levonni a fajták termőképességének és termésösszetevőinek időbeli változásáról (**20. táblázat**). Az összehasonlítása alapján a nemesítés hatására jelentős mértékben nőtt a modern fajták szemtermés mennyisége. Ezzel egyező tendenciát tapasztaltunk a durum búzák esetében is. Míg az 1970-es éveket megelőzően elismert búzafajták termésátlaga 3,75 t/ha volt addig a 90-es évek fajtái és a legújabb fajták 5,59 t/ha-os értéket értek el. Hasonlóképpen nőtt a biológiai termés, de mivel a szemtermés aránya nagyobb lett, a harvest index (HI) is emelkedett.

20. táblázat A szemtermés, a terméskomponensek és minőségi bélyegek alakulása fajtacsoportok szerint a két eltérő évjárat átlagában (Szeged, 2003-2004)

		Fajtacsoportok				
Termés, termés-komponensek	Mérték-egység	1940-1960	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2002
szemtermés	t/ha	3,75	5,06	5,31	5,59	5,59
ezerszemtömeg	g	39,18	40,70	39,08	39,29	38,09
kalászonkénti szemszám	db / kalász	21,63	30,11	34,78	33,77	35,40
kalászonkénti termés	g / kalász	0,87	1,23	1,34	1,34	1,36
Kalászszám	db / m2	456,20	435,80	427,08	461,50	490,07
harvest index (HI)	%	36,80	44,34	48,15	49,04	48,02
Minőségi bélyegek (NIR)						
szemkeménység	perten ért.	71,76	65,70	51,16	57,54	65,25
nedvessikér tartalom	%	36,62	32,35	29,43	30,16	31,44
fehérje tartalom	%	14,27	13,30	12,61	12,76	13,04

A terméskomponensek vizsgálata szerint legnagyobb mértékben a területegységre eső kalászszám, és a kalászonkénti szemszám emelkedett. Az ezerszemtömeg azonban a régi fajtákhoz viszonyítva csökkent. A NIR technikával meghatározott három minőségi paraméter közül a régi búzafajták szemkeménysége bizonyult a legjobbnak és a nyolcvanas években elismert fajták szemkeménysége pedig a legalacsonyabbnak. A kilencvenes években elismert fajták, és az új fajták szemkeménysége már megközelíti a régi fajtákét. Hasonló tendencia figyelhető meg a nedvessikér tartalomban és a fehérje tartalomban is. E három minőségi bélyeg alapján megállapítható, hogy a nyolcvanas években elismert fajták technológiai minősége volt a leggyengébb és a régi fajtáké a legjobb. Az új fajták minősége mindhárom minőségi bélyeg tekintetében jobb volt a húsz évvel ezelőtt elismerteknél. Ha regressziót számolunk a két év terméseredményei között, nem találunk összefüggést (r=0,0021).

A **23. ábrán** a termőképesség adatok alapján (high input mindkét évben) csoportosítottuk a fajtákat a stressztoleranciájuk alapján. A jobb fölső négyszögbe eső fajták rendelkeznek a legjobb tulajdonságokkal: nagy termőképességük és kiváló alkalmazkodóképességük van, hiszen a mindkét évben az átlag körüli, vagy azt meghaladó termést adtak.



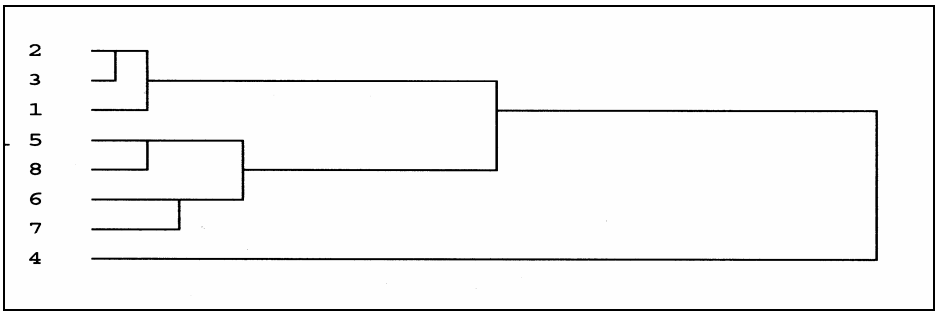
23. ábra Stabilitás analízis: Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban (Szeged, 2003-2004)

Ha a praktikus alkalmazkodó képességet nézzük, azaz a legnagyobb szemtermést a két év átlagában, ebbe a csoportba a kilencvenes évek fajtái és a legújabb fajták kerültek legnagyobb számban (*GK Mura, GK Rába, GK Csongrád, GK Jászság, GK Szivárvány, GK Hattyú, GK Verecke, GK Favorit, GK Petur, GK Kalász*). Az alacsonyabb termőképességű, de száraz körülmények között is megfelelő termést adó csoport stressztoleráns genotípusokat tartalmazó bal felső negyed, ahová azok a genotípusok kerültek, amelyek termőképessége ugyan nem maximális, de száraz körülmények között kiválóan teljesítettek (*GK Cipó, GK Öthalom, GK Kende, GK István*). A jobb alsó sarokba azok a szuperintenzív fajták kerültek, amelyek nagy termőképességűek ugyan, de csak szűk ökológiai körülmények között termeszthetők eredményesen (*GK Élet, GK Szálka, GK Bagoly, GK Héja*). A bal alsó negyedbe eső genotípusok (nagyrészt régi fajták) egy része stressztoleráns, de alacsony termőképességű (*B1201, F293, GK Barna, Bezosztaja 1*). Ide kerültek még a fagyérzékeny (és emiatt 2003-ban kiritkult) durum búzafajták (*GK Diadur, GK Minaret*) és a kifejezetten gyenge alkalmazkodó képességű kenyérbúza fajták egy része (*GK Szeged*) is. A variancia táblázat azt mutatja, (**21. táblázat**) hogy mind a fajta, az év és a kölcsönhatás is szignifikáns, de a legnagyobb hatást az évjárat gyakorolta a szemtermésre a vizsgált két évben.

21. táblázat Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban (Szeged, 2003-2004), variancia táblázat

VARIANCIAANALÍZIS			
Tényezők	***SQ***	***df***	***MQ***
Fajta	209,273	70	2,989***
Év	2375,910	1	2375,910***
F x É	140,249	70	2,003***
Hiba	94,395	423	0,222
Összesen	2819,827	567	
***p=0,1%			

Ha a két egymástól igen eltérő évjáratban mért terméskomponensek és a parcellán mért szemtermés változását klaszteranalízissel értékeljük, (**24. ábra**) azt tapasztaljuk, hogy az analízis a mért tulajdonságok közül a biológiai termést, a hajtásonkénti szemtömeget és a parcellán mért termőképességet rendezi egy csoportba. Hasonlóképpen egy klaszterbe kerül a kalászonkénti szemtermés és a növénymagasság, továbbá az ezerszemtömeg változása és a kalászonkénti szemszám is. A harvest index változása nem követi a terméskomponensek változását, külön csoportba kerül.

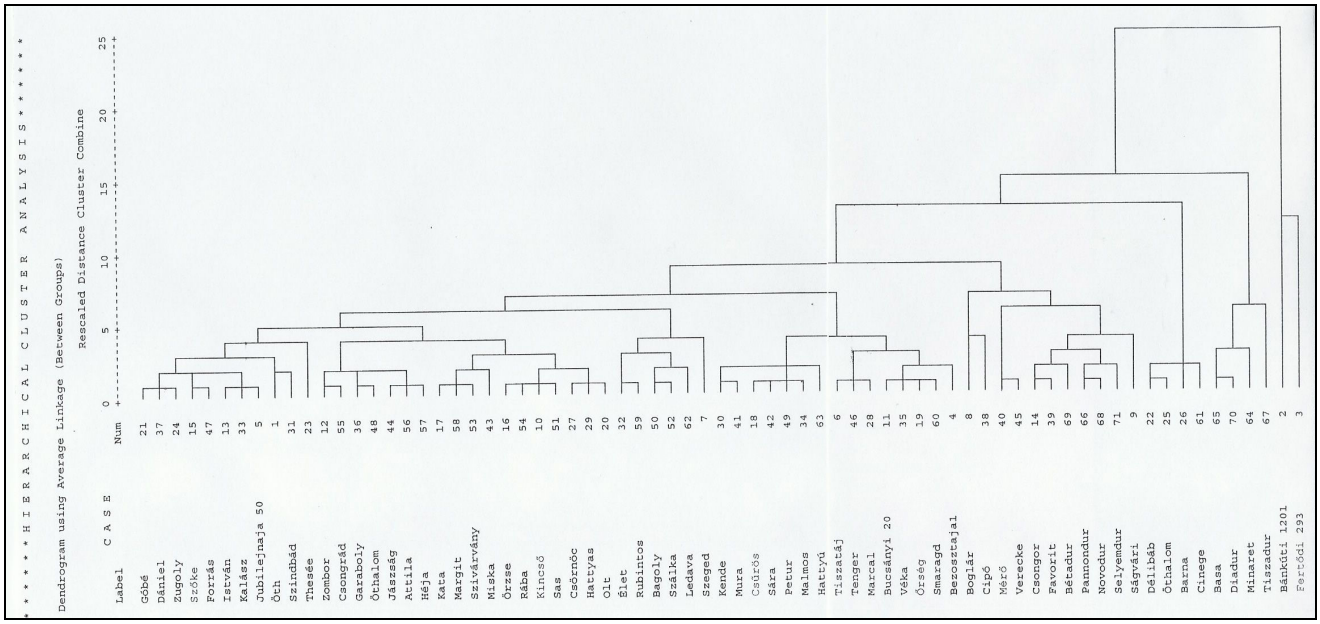


24. ábra Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban. Terméskomponensek csoportosítása (Szeged, 2003-2004), klaszteranalízis

Jelmagyarázat: 1. szemtermés (parcellán mért), 2. hajtás össztömege (biológiai termés), 3. hajtásonkénti szemtömeg, harvest index (HI), 5. kalászonkénti termés, 6. ezerszemtömeg, 7. kalászonkénti szemszám, 8. növénymagasság

Ha a fajtákat próbáljuk a fenti értékelési módszerek standardizált átlagadatai alapján csoportosítani, csak kevés, egymástól karakteresen eltérő fajtacsoportot találunk (**25. ábra**). A vizsgált módszerek alapján a különböző korú fajtacsoportokat a klaszteranalízis nem tudja szétválasztani. Ennek legvalószínűbb oka a különböző fajtacsoportokon belüli viszonylag nagy változatosság.

Két külön klaszterbe kerül két régi búzafajta, a *Bánkúti1201* és a *Fertődi 293*. A durum búzák két, egymástól jól elkülönülő csoportba kerültek, aminek egyik fő oka a már említett télállóságban tapasztalható különbség lehet. A gyengébb télálló képességű genotípusok (*GK Basa, GK Minaret, GK Diadur és GK Tiszadur*) jól elkülönülnek a náluk sokkal télálóbb új fajtáktól (*GK Bétadur, GK Pannondur, GK Novodur, GK Selyemdur*). A három belépőszámon is szereplő *GK Öthalom* két esetben relatíve közel, egy esetben távol helyezkedik el, ami mutatja a kiválasztott módszerekkel való csoportosítás korlátait.



25. ábra Búzafajták (71) csoportosítása a szemtermés és a terméskomponensek változása alapján (Szeged, 2003-2004), klaszteranalízis

4.4. A szárazságtoleranciára történő nemesítés módszertana

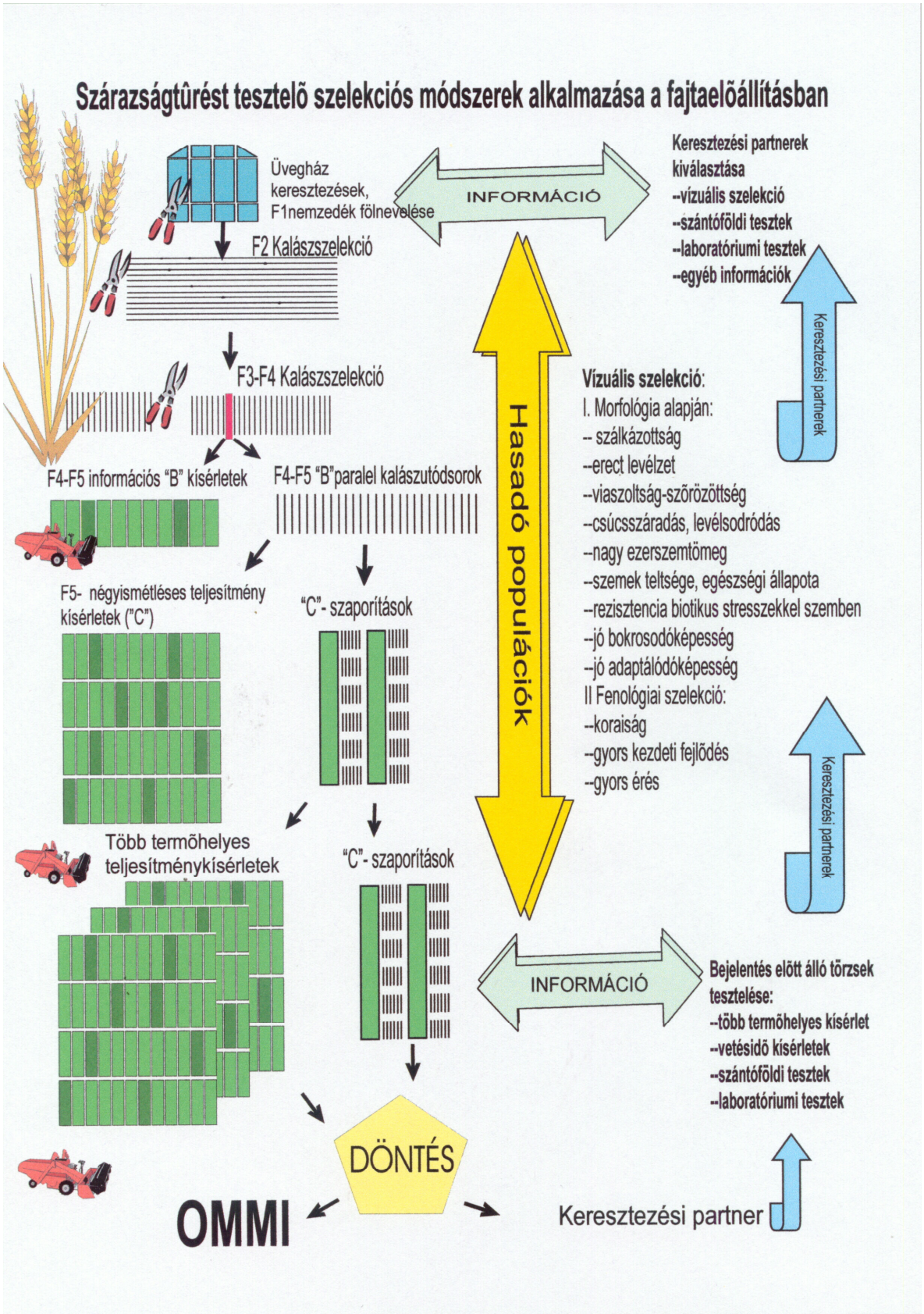
A szárazságtűrésre történő nemesítésben a nagy termőképességre való kizárólagos szelekció nem ígér gyors előrehaladást, ezért a szelekciónak fiziológiai tulajdonságokra kell irányulnia. Másrészt, mivel a termőképesség természetesen hatással van a stresszkörülmények közötti teljesítményre is, az ideális genotípusnak nem csak szárazságtűrőnek, hanem nagy termőképességűnek is kell lennie.
A termőképesség és a szárazságtolerancia között kompromisszumot kell találnunk. Mivel hazánk éghajlata nem szélsőségesen száraz és a szárazság mértéke előre kiszámíthatatlan, a keresztezési program összeállításakor elsősorban olyan genotípusokat kell keresnünk, amelyek nagy potenciális termőképességgel rendelkeznek és emellett a száraz körülményekhez is jól adaptálódnak. A szárazságtűrési tesztek és a konvencionális nemesítés lehetséges kapcsolatát a **26. ábra** mutatja be.

A szárazságtűrésre történő nemesítés fő módszertani lépései megegyeznek a fajtaelőállító nemesítésével: szelekció a legfontosabb agronómiai paraméterek alapján. Az egyes fiziológiai bélyegekre történő közvetlen szelekció azonban nem ígér gyors előrehaladást, ezért a már említett szelekciós kritériumok együttes alkalmazását kell megvalósítani az alábbiak szerint:

- A keresztezési partnerek megválasztása. Jó adaptálódóképességű, illetve az általunk már korábban említett ideális genotípushoz legközelebb álló típusokat, törzseket kell kiválogatnunk. A poligénikusan öröklődő előnyös tulajdonságokat hasadó populációkban rekurrens szelekció alkalmazásával kombinálhatjuk, míg az általunk fontosnak ítélt, egyszerűen öröklődő (pl. morfológiai) bélyegeket *back cross* alkalmazásával vihetjük át.
- Az F_2 generációban a megszokott agronómiai paramétereken kívül a szárazsághoz való adaptálódást segítő, vízuálisan felvételezhető morfológiai tulajdonságok (2.4. fejezet) figyelembevétele is fontos. Előnyben részesítjük a szálkázottságot, az egészséges kitelt szemtermést, a felálló levélzetet és a viaszoltságot illetve szőrözöttséget. Kizárjuk a további kísérletekből azokat, amelyek súlyos stressztüneteket mutatnak (levélvég elhalás, csúcsszáradás, turgorvesztés, levélsodródás, gyors felszáradás, szemek megszorulása, stb.).

- A kalászutódsorokban (F_3-F_5) a kiegyenlítettségre való szelekciós munkával párhuzamosan regisztráljuk és a populációból eltávolítjuk a vízuálisan felvételezhető bélyegek (csúcsszáradás, levélsodródás, kisülés, megszorult szem stb.) alapján szárazságra érzékeny törzseket.

- A későbbi generációkban (F_5 -) a teljesítmény tesztekkel párhuzamosan végezzük a szárazságtűrési teszteket (perzselőszeres kísérlet, levél víztartóképesség mérés, déli levélhőmérséklet mérések), valamint egyes, vízuálisan felvételezhető tulajdonságok (csúcsszáradás, levélsodródás) regisztrálását. A fajtajelöltek állami kísérletekbe való bejelentéséig a termőképesség, rezisztencia, minőség, főbb agronómiai jellemzők mellett a döntéshozatalhoz elegendő információ fog így rendelkezésre állni a jelöltek szárazságtoleranciájáról is.



26. ábra A szárazságtűrést tesztelő szelekciós módszerek alkalmazása a fajtaelőállításban

4.5. Az eredmények értékelése és megvitatása

A nemesítésben a szárazságtűrő ideotípust célzó morfológiai szelekción kívül, olyan **közvetett tesztelési módszerek**et kell alkalmaznunk, amelyekkel a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható tulajdonságokra szelektálhatunk. E módszereknek - mivel nagy számú törzs tesztelését kell elvégezni - gyorsaknak, kis munkaigényűeknek, könnyen elvégezhetőeknek, a nagy számú törzs miatt olcsóknak, de a lehetőségekhez mérten megbízhatóaknak kell lenniük.

A **csírázási tesztek** eredményei azt mutatják, hogy ezek a vizsgálatok nem alkalmasak arra, hogy segítségükkel eredményes szelekciót végezhessünk a szárazságtoleranciára. Ez a megállapítás egyezik Blum és munkatársai (1980) PEG-gel, Clarke (1983b), valamint Winter és munkatársai (1988) mannitollal végzett vizsgálatainak konklúziójával. Az eredmények szerint a búzaszemek csírázását sok környezeti tényező befolyásolja. A fajtasorrend megváltozik az ozmotikus stressz fokozásának hatására, illetve a magok származási helyétől és az évjárat hatásától függően is. Az irodalomban fellelhető szerzők pozitív tapasztalatai, akik a módszert hasznosnak találták a szelekciós célokra (Williams és mtsi. 1967, Ashraf és Shakra 1978) valószínűleg csak az általuk vizsgált fajtákra érvényesek.

A fiatal növényeken végzett **vízkultúrás tesztek** elvégzése során kapott információk azt bizonyították, hogy alkalmazásuk hasznossága nem áll arányban a vizsgálat munkaigényességével és költségességével. A hajtás hossznövekedésben tapasztalt depresszió hasonló mértékű volt a vizsgált fajták között. A gyökérnövekedésben viszont sokkal nagyobbak voltak a különbségek. A Jubilejnaja-50 esetében tapasztalt fokozott gyökérnövekedés minden bizonnyal egy adaptációs mechanizmus révén tapasztalható. Meg kell jegyezni azonban, hogy a vízkultúrában, illetve a szántóföldi kísérletben nevelt növények az egészen más körülmények miatt eltérően fejlődnek, gyakran más morfológiát mutatnak. Az így kapott eredményeket ezért nem lehet közvelenül felhasználni, azok tényleges kapcsolatát a növények szántóföldön megnyilvánuló tulajdonságaival meg kell vizsgálni. Hasonló következtetésre jutottak Mian és munkatársai (1993) is, aki szerzőtársaival a gyökérnövekedési potenciált vizsgálták különböző vízellátottság mellett talajban és vízkultúrában. Szerintük, a vízkultúrában mért gyökérjellemzők nem állnak szoros kapcsolatban a száraz körülmények közötti gyökérnövekedéssel. Blum és munkatársai (1980) megállapításához hasonlóan nem találtunk összefüggést a búzaszemek csírázási százalékban bekövetkező változása és az adott fajta vízkultúrában mért stresszreakciói között.

A **levágott levelek víztartó képességének mérése** - mivel a levágott leveleken a gyors turgorváltozás miatt a sztómák rögtön becsukódnak - a kutikulán keresztüli vízvesztést értékeli. A vízvesztést tehát a bőrszövet minősége befolyásolja, bár egyes fajtáknál előfordul, hogy a sztómák nem teljesen záródnak (Sinclair és Ludlow 1988). 1990-ben beállított kísérletünkben a 24 órás

szárítás átlagosan 74 %-os vízveszteséget okozott, ami nagyságrendjében megegyezik Clarke és McCaig (1982b), valamint Premachandra és Shimada (1987) megfigyelésével. A GK Őrség, a Guvvali 116, az OK 84343, és az Ne 83/2 valószínűleg elsősorban viaszolt levélzetének köszönheti átlagosnál jobb víztartó képességét. A levelet borító viaszréteg a vízveszteséget 10 % -kal is mérsékelheti (Clarke és Richards 1988).

A vizsgálatok bármely fenofázisban elvégezhetőek, az eredmények gyorsan rendelkezésre állnak. A korai fenofázisokban, pl. kalászolás előtt a kísérlet informatívabb, a különbségek jelentősebbek a genotípusok között. Ez a megfigyelés egyezik Clarke (1983a) tapasztalataival, aki kenyér- és durum búzában kutatta a legmegfelelőbb fenofázist hasonló vizsgálatok elvégzése szempontjából. Ennek a magyarázata az, hogy genotípustól függetlenül a levelek és az egész zöld tömeg öregedésével párhuzamosan csökken a sejtek víztartalma, ugyanakkor relatíve nő a szárazanyag tartalom. A levelek korának előrehaladtával továbbá csökken a víztartó képesség is, ami a levelet ért sérülésekkel illetve a viaszréteg elvékonyodásával magyarázható (Clarke és Richards 1988). McCaig és Romagosa (1991) arra figyelmeztetett, hogy a módszer alkalmazhatóságának kulcskérdése a mintavétel: nagy figyelmet kell fordítani a levelek pozíciójára és korára, különben az eredmények eltérőek lehetnek akár egy adott növénynél is. Ez nagyszámú genotípus tesztelésekor nehézséget okozhat.

Az **élve hervasztott levelek prolin analízise** jól használható teszt lehet a szelekcióban. A második mérésben vizsgált 6 fajta közül a Jubilejnaja-50 és a GK Szőke fajták mutatták a legjelentősebb prolinakkumulációt: 33 %-kal illetve 36 %-kal múlták felül a legkevesebb prolint felhalmozó fajtát (GK Örzse). A szárazanyag százalékában kifejezett prolintartalom a GK Szőkénél 3,2 %, a Jubilejnaja-50-nél 3,1 % volt, szemben a GK Örzse 2,3 %-ával. Ezek az eredmények egybeesnek a szántóföldi tapasztalatokkal. Ugyanebben az évben Harmati István (1988, szóbeli közlés) a GK Kht. Agrotechnikai Osztályának munkatársa termésösszehasonlító vizsgálatai szerint a GK Szőke rossz vízgazdálkodású homoktalajon, száraz viszonyok között a legnagyobb termést adta a kísérletbe vont genotípusok között. A Jubilejnaja-50, mint közepes termőképességű fajta az ötödik volt a rangsorban. Monneveux és Nemmar (1986) *durum* és *aestivum* búzákon végzett méréseket. Eredményeik szerint a prolintartalom a szárazság és magas hőmérséklet hatására jelentősen emelkedett. A vizsgált fajtákat 3 csoportra osztották a prolinakkumuláció alapján. Mivel vizsgálataikat nem élve hervasztott leveleken, hanem a természetes szárazságstresszen átesett növényekről szedett leveleken végezték, alacsonyabb (150 - 280 $\mu g\ g^{-1}$) prolintartalmat mértek. Méréseik szerint a Bezosztaja 1 fajta akkumulált a legnagyobb mennyiségű prolint, ami a mi mérésünkben jól szereplő Jubilejnaja-50 pedigréjében is szerepel.

A prolin mint ozmotikum, szerepet játszik az ozmoregulációban, ezzel az enzimek és a sejtmembránok védelmében (Paleg és mtsi. 1984). A teszt gyakorlati használhatóságát az

élvehervasztás és az analízis minta előkészítésének munkaigényessége korlátozza. A prolin mennyiségének kimutatását folyadék kromatográfiás (HPLC) vizsgálatokkal gyorsan és nagy pontossággal lehet elvégezni.

A **nyomáskamrás vízpotenciál mérések** és a **nyomás-térfogat görbék elemzése** szerint a nulla turgornál mért ozmotikus potenciál a Kobomugi, a GK Őrség és a GK Öthalom esetében volt a legalacsonyabb és a Plainsman V., a Pitic 62, a T79 és a Tiszatáj m. esetében a legmagasabb. Ez megerősítette a korábbi tesztek eredményein alapuló feltevésünket, hogy a Tiszatáj m. az arid vidékekről származó és szárazságtűrőnek ismert fajták közé sorolható.

A Kobomugi, amely egy szárazságtűrőként ismert fajta, láthatólag más stratégiát követ, mint a kísérletben lévő többi genotípus. Dús levélszőrzetének és rendkívüli levélsodródásának köszönhetően az összes többi fajtánál lassabban veszíti el víztartalmát. Ozmotikus potenciál értéke alacsony, de már viszonylag enyhe mértékű vízvesztés hatására is jelentősen megnő. Adaptációját jelzi az is, hogy turgorát csak nagy vízveszteség esetén veszíti el.

A legnagyobb vízdeficit mellett a már említett Kobomugin kívül az Mv 8, a Plainsman V., a Karchia, a T 79 és a Tiszatáj m. fajták veszítették el turgorukat. Ez a tulajdonság szintén előnyös, hiszen azt mutatja, hogy ezek a növények - hatásos ozmoregulációjuk következtében - tartásukat a végsőkig megőrzik, viszonylag nagy vízvesztés mellett is képesek a fotoszintézisre.

A nedves tömeg : száraz tömeg (TW/DW) rátában az előzőeknél sokkal kisebb volt a variancia. A vizsgált fajták legnagyobb része lényegesen nem tért el ebben a tulajdonságban egymástól annak ellenére, hogy a csökkent TW/DW arány a szárazsághoz adaptálódott fajták jellemző tulajdonsága (Rascio és mtsi.1988).

E mérésekkel jól jellemezhető a vizsgálatba vont fajták tolerancia szintje. A nyomáskamrás mérések rendkívül egzaktak és a pszikhometriás mérésekhez képest kevésbé szórnak (Wilson és mtsi. 1979).

Az **antitranszspiránsok** alkalmazásának három fő célja lehet: a sztómák zárása, amelyet hormonhatású készítményekkel lehet elérni, filmképzés, amely részben fizikai úton csökkenti a növény sztómás és kutikuláris vízvesztését, valamint a fényvisszaverő anyagok alkalmazása, amely közvetve növeli a vízfelhasználás hatékonyságát (Begg és Turner 1976). Az általunk alkalmazott Phytowax a filmképző anyagok közé sorolható. Alkalmazásuk általában a kertészeti palántázás gyakorlatában, illetve szövettenyészetből üvegházba vagy a szabadba kiültetéskor alkalmazott, ismert módszer (Selvapandiyan és mtsi. 1988). Segítségével csökkenthető a fiatal, illetve nem megfelelő sztómaműködésű növények vízvesztesége azaz fokozható a vízhasználat hatékonysága. A korrelációs számítások szerint közepesen gyenge kapcsolat (r=0,3541) áll fenn az antitranszspiráns teszt és a levágott levelek víztartóképessége között.

Szelekciós célra való alkalmazása mégsem ajánlható, hiszen a teszt nem nyújtott hasznosítható információt a kísérletbe vont búzavonalak stressztűrő képességéről. A kísérletet azért végeztük el, hogy mérjük a levélzetet beborító párolgást csökkentő szer hatását. Mindeddig nem találtak olyan filmképző anyagot, amely a szén-dioxidot nagyobb mértékben engedné át, mint a vízgőzt. A kezelés ezért minden bizonnyal csökkenti a fotoszintézist is. A csapadékadatok ismeretében kijelenthetjük, hogy 1990-ben a kiszombori tenyészkertben nem fordult elő olyan mértékű aszály, ami mérhetően nagyobb vízveszteséget okozott volna a kezeletlen parcellafélen. A teszt használata azért sem ajánlható, mivel az nagy mértékben időjárásfüggő. Jelentős szárazságstressz esetén az antitranszspiránsok egy másik csoportjának, a fényvisszaverő anyagoknak (Begg és Turner 1976) az alkalmazása esetleg eredményes lehet.

Hasonlóan az antitranszspiráns teszthez, a szántóföldön elvégzett **vetéssűrűségi teszt** is csak szárazságstressz mellett lehet eredményes. A tesztet általános stressztűrőképesség vizsgálatára ajánlották (Barabás 1987). Nyilvánvaló, hogy itt a szárazságstressz mellett számos, egyéb stresszhatás is érvényesül (kompetíció, etiolált viszonyok, stb.), a kezelés mégsem okozott jelentős depressziót a vizsgált bélyegekben. Ennek legvalószínűbb oka az, hogy a kísérlet évében nem lépett fel jelentős szárazság, a lehullott csapadék elegendőnek bizonyult a sűrű növényállományban is. Ebből is látható hogy a vizsgálati módszer erősen függ az időjárástól, ami használhatóságát korlátozza.

A virágzást követő fenofázisban bekövetkező szárazságstressz hatását teszteltük a **kémiai deszikkálással**. A perzselőszeres kezelés 3-4 nap alatt elpusztította a asszimiláló felületet, így a növények csak a szárban raktározott tápanyagaikat tudták mobilizálni. Nicolas és Turner (1993) mérései szerint búzában a KI-os kezelést követő 5 nap alatt a szárban található vízoldható szénhidrátok 10-46 %-a mobilizálódott.

Kísérletünkben az ezerszemtömeg átlagosan, évjárattól függően 29-32 %-kal csökkent a kezelés hatására. A fajták között jelentős eltéréseket figyeltünk meg. A kontroll parcellafélhez képest az ezerszemcsökkenés 16 és 42 % között alakult. Blum (1985) szántóföldi körülmények között 5 és 55 % közti ezerszemtömeg csökkenésről írt magnézium-klorátos kezelés hatására.

Méréseink alapján nem fedeztünk fel igazolható összefüggést a fajtára jellemző ezerszemtömeg és a depresszió mértéke között, mind a toleráns, mind a fogékony fajták között voltak nagy- és kis ezerszemtömegű genotípusok. Ez a megfigyelésünk ellentétben áll a Blum és munkatársai (1983a) által közölt adatokkal, ellenben megegyezik Nicolas és Turner (1993) eredményeivel, akik szintén nem tudtak összefüggést felfedezni a KI-os kezelés alapján toleráns genotípusok és a genetikailag meghatározott alacsony szemtömeg között.

A nátrium-klorátos kezelés megítélésünk szerint alkalmas szelekciós technika a virágzást követő szárazságstresszre toleráns genotípusok kiválogatásában. Haley és Quick (1993) hasonló

következtetésre jutott, miután hasonló tesztelési módszert alkalmazva eredményes korai szelekciót tudtak végezni őszi búzában a késői szárazságstressz toleranciára. Tömegszelekciós módszerrel egy olyan populációhoz jutottak, ami jelentősen felülmúlta a kiindulási populációt ezerszemtömegben, szemtermésben és hektoliter tömegben is. Blum (1988) nemesítési rendszerében évek óta sikeresen alkalmazza ezt a tesztelési módszert.

A teszt jól ismételhető, segítségével jelentős különbségek mérhetők az egyes búzatörzsek tápanyag transzlokációs képességében. A teszt gyakorlatilag az időjárástól függetlenül elvégezhető (ha a szer felszívódása előtt eső esik, természetesen a kezelést meg kell ismételni), és az évjárat nem gyakorol jelentős hatást az eredményekre.

A teszt tehát jól használható a búzanemesítésben a következő megszorításokkal:

- A szelekció akkor adja a legjobb eredményeket, ha viszonylag gyenge a tenyészkertben természetesen előforduló szárazságstressz.
- A kezelést rendkívül precízen kell elvégezni úgy, hogy a szer az egész levélfelületet befedje.
- Fontos a kezelés időpontjának pontos megválasztása (a virágzást követő 15. nap), amit genotípusonként kell meghatározni.

A teszt viszont önmagában nem alkalmas arra, hogy segítségével elbíráljuk az egyes genotípusok szárazságtűrő képességét, viszont lehetőséget ad arra, hogy a transzlokáció szempontjából legjobb illetve leggyengébb egyedeket kiválaszthassuk.

A **klorofill tartalom meghatározása** során a mérések ismételhetősége igen rossz volt, a szórások nagysága miatt a nagyszámú mérés ellenére megbízható különbséget nem tudtunk mérni a vizsgált törzsek között. A műszer elsősorban egyes levelek klorofill tartalmának meghatározására lehet alkalmas, a nem homogén növényállományok (parcellák) összehasonlítására alkalmatlan.

A **levélfelület hőmérséklet meghatározása** rendkívül gyors módszer, a mérések parcellánként néhány másodperc alatt elvégezhetők. Több száz genotípusból álló kísérlet mérése is könnyen kivitelezhető. Mivel azonban a mérések eredményét sok tényező befolyásolja, az eredményeket sok ismétlésben lehet csak figyelembe venni, illetve nagy számú kontrollmérést kell alkalmazni. A leginformatívabb, ha rendelkezünk egy öntözéses kísérlettel, és össze tudjuk vetni minden egyes genotípus hőmérsékletét (fontoszintetikus aktivitását) stresszmentes és vízhiány-stresszel sújtott körülmények között.

A **szántóföldi szelekció**ban azokat a tesztelési módszereket alkalmaztuk, (levágott zászlóslevelek víztartó képessége, perzselőszeres teszt) amelyek a korábbi kísérleteinkben megbízhatónak bizonyultak és eredményeiket az évjárathatások viszonylag kis mértékben befolyásolták. Mindezek ellenére a korrelációszámításokkal csak igen gyenge kapcsolatot találtunk a szárazságtűrési szelekciós kertben beállított tesztek és a tájkísérletekben tapasztalt terméscsökkenés között. Ennek

igen sok oka lehet. Az első és legfontosabb, hogy a gyakorlati szárazságtűrés, azaz termésstabilitás az eltérő vízellátottság mellett – egy igen nehezen megfogható tulajdonság, hiszen a termésmennyiségre ható tényezők száma minden évben sok. Ez az oka annak, hogy a szárazságtűrésre történő nemesítés célja a termésbiztonság, a szemtermés mennyisége - eltérő vízellátottság mellett - nem alkalmas a szárazságtűrés jellemzésére. Másrészt mivel végső célunk mégis nagy termőképességgel együtt járó termésbiztonság, a szárazságtűrési tesztekben talált toleráns genotípusokat csak akkor választjuk ki, ha ez a tulajdonságuk megfelelő termőképességgel is együtt jár. A gyenge termőképességű, de szárazságtűrő genotípusokat csak keresztezési forrásként tudjuk hasznosítani a továbbiakban.

A **korreláció számítások eredmény**ként azt találtuk, hogy azokban az évjáratokban (2003., és részben 2002.) amikor természetes szárazságstressz jelentkezett, a termésből számolt stresszindex és a tesztkísérletek eredményei, továbbá a szemtermés és a tesztek eredményei között szorosabb kapcsolatot találtunk, mint a szárazságstressz mentes 2001. és 2004. években. Ez azt mutatja, hogy az alkalmazott tesztek olyan tulajdonságokat vizsgálnak, amelyek mindenképpen kapcsolatba hozhatók a szárazságstressz toleranciával. A kiválósági mutató alkalmazása nem jelent áttörést a növények szárazságtűrésre történő nemesítésében amennyiben a mutatót a több termőhelyen tapasztalható termésből számítjuk ki. A mutató és maga a terméseredmények korrelációja rendkívül szoros, így e mutatót maga a termőképesség adat is reprezentálja.

Munkánk eredményességét leginkább a 2003-ban és 2004-ben beállított **genetikai előrehaladást vizsgáló kísérlet** eredményei mutatják. E két egymást követő évben a szegedi búzanemesítési programból származó 70 régi és új fajta termőképességét és a terméskomponensek változását vizsgáltuk. A két évjárat szélsőségesen eltért egymástól, így lehetőségünk nyílt a genotípusok abiotikus stressztoleranciáját is összehasonlítani. A szegedi programból született genotípusok szárazságtűrő képessége javult. A két éves kísérletben néhány régi fajta mellett (GK Tiszatáj, Fertődi 293) számos új fajta is a legjobb szárazságtűrők csoportjába került. A GK Verecke, a GK Kalász, a GK Garaboly és a GK Csongrád korszerű, nagy termőképességű fajták, ugyanakkor már kitűnő szárazságtűrő képességgel rendelkeznek. Termésstabilitásban is jobbak a hetvenes és nyolcvanas évek fajtáinál.

A 2003. és a 2004. év közti **évjárathatás-különbség** fontos információkhoz juttatott bennünket a praktikus szárazságtűrésről. A **21. ábrán** (4.3.3.) látható, hogy az évjárathatás sokkal nagyobb mértékben befolyásolta a szemtermést, mint az eltérő agrotechnikai színvonal, és mivel egy súlyosan aszályos évet egy igen csapadékos év követett, megállapíthatjuk, hogy az évjárathatás elemei közül a vízellátottság okozta a legnagyobb különbséget a kísérletben szereplő 70 genotípus szemtermésében. Ha a fajtacsoportok teljesítményét hasonlítjuk össze, elmondhatjuk, hogy a legnagyobb termést mind a két évben az 1980-as és az 1990-es évek fajtái adták.

4.6. Új tudományos eredmények, az eredmények felhasználása új búzafajták előállításához

- Megvizsgáltuk több tesztelési módszer hatékonyságát és alkalmazhatóságát a szárazságtűrésre történő szelekcióban. A fenti kritériumok alapján a szelekcióra alkalmasnak találtuk és kiválasztottuk a levágott zászlóslevelek víztartó képességét, a deszikkálással tesztelhető tápanyag transzlokációs képességet, és a levélfelület hőmérsékletmérést.

- Kidolgoztuk a kiválasztott szelekciós módszerek adaptálását és nemesítési rendszerünkbe való beillesztését.

- Tisztáztuk a legfontosabb terméskomponensek szerepét régi és újonnan elismert őszi búza genotípusok produktivitásában és stressztoleranciájában.

- Eltérő évjáratokban vizsgáltuk a laboratóriumi tesztek eredményeinek és a több termőhelyes kísérletek terméseredményeinek összefüggéseit. Kimutattuk, hogy száraz évjáratokban a kiválasztott szárazságtűrési tesztvizsgálatok szorosabb korrelációban állnak a több termőhelyes termésösszehasonlító szántóföldi kísérletek eredményeivel.

- Mindezen tesztmódszerek alkalmazásával olyan nemesítési programot működtetünk, melynek segítségével szárazságtűrésre tudunk szelektálni úgy, hogy az alkalmazott tesztelési módszerek rutinszerűen elvégezhetők és jól illeszkednek a már működő nemesítési rendszerünkhöz. E munka eredményességét bizonyítja, hogy a közelmúltban új szárazságtűrő fajtajelölteket jelentettünk be, amelyek közül 2005-ben a GK Hunyad, a GK Békés és a GK Csillag állami elismerésben részesült. E fajtáink a hazai és nemzetközi piacon egyaránt sikeresek.

Búzanemesítői tevékenységemet 1987-ben kezdtem el. Eddig 97 kenyérbúza (*Triticum aestivum* L.) fajtajelölt és 31 elismert fajta (**22. táblázat**) előállításában vettem részt. Durum búza (*Triticum turgidum* L. *var. durum* Desf.) vonatkozásában 1 elismert fajta és 6 fajtajelölt, továbbá 2 tritikálé (*Triticosecale sp.*) fajta társnemesítője vagyok. A regisztrált fajták mind szabadalmi oltalmat kaptak, illetve jelenleg szabadalmaztatási eljárás alatt állnak. A három állami elismerést nyert kenyérbúza fajta, amelynek vezető nemesítője vagyok a GK Hattyas, a GK Verecke és a GK Hunyad.

22. táblázat A közreműködésemmel előállított elismert kalászos fajták listája

Ssz.	növényfaj	életforma	fajta név	elismerés éve	Szabadalmi lajstromszám	nemesítési részarány	közreműködés
1	kenyérbúza	őszi	**GK Hattyas**	1996	216.058	25%	vez. nemesítő
2	kenyérbúza	őszi	**GK Verecke**	1999	221.325	30%	vez. nemesítő
3	kenyérbúza	őszi	**GK Hunyad**	2005	folyamatban	25%	vez. nemesítő
4	kenyérbúza	őszi	**GK Élet**	1996	214.538	5%	társnemesítő
5	kenyérbúza	őszi	**GK Kalász**	1996	214.541	5%	társnemesítő
6	kenyérbúza	tavaszi	**GK Tavasz**	1996	-	15%	társnemesítő
7	kenyérbúza	őszi	**GK Malmos**	1997	215.021	5%	társnemesítő
8	kenyérbúza	őszi	**GK Véka**	1997	215.022	5%	társnemesítő
9	kenyérbúza	őszi	**GK Favorit**	1998	215.474	5%	társnemesítő
10	kenyérbúza	őszi	**GK Mérő**	1998	215.476	8%	társnemesítő
11	kenyérbúza	őszi	**GK Dávid**	1998	215.478	5%	társnemesítő
12	kenyérbúza	őszi	**GK Bagoly**	2000	223.671	5%	társnemesítő
13	kenyérbúza	őszi	**GK Tenger**	2000	221.324	5%	társnemesítő
14	kenyérbúza	őszi	**GK Forrás**	2000	221.326	5%	társnemesítő
15	kenyérbúza	őszi	**GK Sas**	2000	-	5%	társnemesítő
16	kenyérbúza	őszi	**GK Szálka**	2000	-	5%	társnemesítő
17	kenyérbúza	őszi	**GK Héja**	2001	000.008	5%	társnemesítő
18	kenyérbúza	őszi	**GK Margit**	2001	-	10%	társnemesítő
19	kenyérbúza	őszi	**GK Jutka**	2001	-	10%	társnemesítő
20	durumbúza	őszi	**GK Selyemdur**	2001	000.006	10%	társnemesítő
21	durumbúza	őszi	**GK Diadur**	2001	-	10%	társnemesítő
22	kenyérbúza	őszi	**GK Holló**	2001	000.007	5%	társnemesítő
23	kenyérbúza	őszi	**GK Ati**	2001	223.567	5%	társnemesítő
24	kenyérbúza	őszi	**GK Tündér**	2001	-	5%	társnemesítő
25	kenyérbúza	őszi	**GK Smaragd**	2002	-	5%	társnemesítő
26	kenyérbúza	őszi	**GK Hattyú**	2002	000.020	5%	társnemesítő
27	kenyérbúza	őszi	**GK Cinege**	2002	000.019	5%	társnemesítő
28	kenyérbúza	őszi	**GK Hargita**	2003	-	10%	társnemesítő
29	kenyérbúza	őszi	**GK Csillag**	2005	45	5%	társnemesítő
30	kenyérbúza	őszi	**GK Békés**	2005	42	5%	társnemesítő
31	kenyérbúza	őszi	**GK Nap**	2006	folyamatban	5%	társnemesítő
32	kenyérbúza	őszi	**GK Fény**	2006	folyamatban	5%	társnemesítő
33	tritikálé	őszi	**GK Rege**	2008	folyamatban	10%	társnemesítő
34	tritikálé	tavaszi	**GK Idus**	2008	folyamatban	10%	társnemesítő
35	kenyérbúza	tavaszi	**GK Március**	2008	folyamatban	10%	társnemesítő

A **GK Hattyas** a *GK Ildikó/Mv4//GK Ildikó/BgDW* kombinációból származik. Az OMMI 1995-ben ismerte el, szabadalmaztatása 1999-ben történt meg. Malmi minőségű, bőtermő, kiváló télállóságú szárszilárd őszi búzafajta. Nyolcévi köztermesztés után 2003 évben visszavonásra került.

A **GK Verecke** a *Bezosztaja 1/GK Pusztaszer* kombinációból származik. Regisztrációja 1999-ben történt. A korai fajtaszortiment egyik legjobban adaptálódó, kiemelkedően magas eséssámot és

glutén indexet mutató, nagy ezerszemtömegű fajtája. Sztyeppi típusú, kezdeti fejlődése lassú, őszi növekedési típusa elterülő-félig fölálló. Télállósága és szárazságtűrő képessége kiváló. Kalásza tar, levélzete eleinte sötétzöld középkeskeny, kalászoláskor széles, erősen viaszolt. Bokrosodó képessége közepes. Zászlóslevele félig elhajló, viaszolt. A levélrozsdával szemben ellenálló. Magyarországon kívül Romániában és Szlovákiában is termesztik.

A **GK Hunyad** a *GK Mura/GK Kende* kombinációból származik. Regisztrációja 2005-ben történt. A középérésű fajtaszortiment kitűnő alkalmazkodóképességű, szárazságtűrő, keményszemű, nagy ezerszemtömegű, és az OMMI vizsgálatok szerint stabilan A_2 sütőipari minőségű fajtája. Őszi növekedési típusa elterülő-félig fölálló. Kalásza oszlopos, szálkás, igen produktív. Levélzete eleinte középzöld középkeskeny, kalászolás után széles, erősen viaszolt. Jól bokrosodik. Zászlóslevele viaszolt.

Szárazságtűrő nemesítési programot dolgoztunk ki, mely illeszkedik a Szegeden folyó pedigré búzanemesítés rendszeréhez. A szárazságtűrés rutinszerűen és megbízhatóan használható tesztelési módszereit adaptáltunk a nemesítési rendszerünkbe.

E munka eredményességét bizonyítja, hogy új szárazságtűrő fajtajelöltek kerültek bejelentésre és elismerésre:

GK Békés, GK Csillag, GK Hunyad 2005. évben elismert fajták.

GK Szörény 2. éves fajtajelölt (a 2005. évi terméseredménye alapján visszavonásra került).

GK Rábé 3. éves fajtajelölt (2007-ben visszavonásra került).

GK Berény 2. éves fajtajelölt

GK Buda 1. éves fajtajelölt

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szegedi GK Kht-ban folyó búzanemesítési programunk kiemelt célja a szárazságtűrés és a vízhasznosítás javítása. A növényeket sújtó szárazság, vagy vízhiány egy rendkívül összetett, továbbá erősségben, térben és időben évről-évre eltérő stresszor, ezért a toleráns növényeknek is többféle ellenállási stratégiával kell rendelkezniük. Programunkban azt a növényt nevezzük szárazságtűrőnek, amely száraz, aszályos években is viszonylag nagy termést ad, azaz a szárazságstressz hatására termése nem, vagy csak kis mértékben csökken. Célunk tehát nem a szélsőséges vízhiányt is túlélő extenzív genotípus, hanem a száraz viszonyok között is gazdaságos hozamot produkáló nagy termőképességű „intenzív" fajta előállítása. Az új fajták nemesítésekor ezért a kiemelkedő terméspotenciált kell kombinálnunk egy (vagy több) olyan speciális tulajdonsággal, melyek képesek megvédeni a termést a szélsőséges körülmények között is.

A szántóföldi tenyészkertben a szárazságtűrésre történő szelekció az új keresztezési kombinációk szülőpartnereinek kiválasztásával kezdődik. Az F_2 generációt követően kalászutódsorokba vetett szegregáló populációk szelekcióját vizuális megfigyelésére alapozzuk, hiszen ebben a stádiumban lehetetlen a fiziológiai tesztek elvégzése. Az élettani teszteken alapuló szántóföldi szelekciós módszerekkel végzett kísérleteinkben a bejelentés előtt álló törzseinket és fajtajelöltjeinket vizsgáljuk közvetett módszerekkel szárazságtűrésre, illetve olyan tulajdonságokra, amelyek a szárazságban előnyt jelenthetnek a növények számára.
A tenyészkerti tesztkísérletben 0,5 m^2-es parcellákon késői szárazságstresszt modellezzük deszikkáns kezelésekkel. Az öntözéses kezelésben mérjük a különböző agronómiai bélyegek változását, és a levélfelület hőmérsékletét. Laboratóriumi körülmények között pedig a zászlóslevelek víztartó képességét tudjuk meghatározni. Mindezen tesztelési módszerek eredményei nagymértékben hozzájárulnak a sikeres szelekcióhoz.

A tesztkísérletekben szárazságtűrőnek bizonyult genotípusok közül csak azokat jelentjük be az MgSzH fajtakísérleteibe, amelyek a tájkísérletben bizonyították termőképességüket és termésstabilitásukat. A 2005-ben állami elismerést nyert GK Hunyad (*GK Mura/GK Kende*), elsősorban kiváló víztartó képessége alapján, valamint a 2003. és 2004. évben mért levélfelületi hőmérséklet alapján nevezhető szárazságtűrőnek. A szintén 2005-ben regisztrált GK Békés (*GK Kalász/GK Garaboly*) és a GK Csillag (*GK Véka/GK Kalász*) fajták szárazságtűrésük mellett kiváló termésstabilitásúak.

A szántóföldi tesztmódszerek palettáját bővítettük a 2006. év tavaszán üzembe helyezett saját terveink alapján készült automata esőárnyékoló berendezéssel, mely segítségével valódi szárazságstresszt idézhetünk elő. A berendezés esőérzékelőkkel felszerelt és így árnyékolása csak a csapadékhullás idejére korlátozódik. Az *in situ* kísérletet így nagymértékben függetleníteni tudjuk az időjárási viszonyoktól, és a valódi vízhiány hatását tanulmányozhatjuk. A sátor mérete és belmagassága lehetővé teszi a terület gépi művelését és a kísérletek gépi vetését is. Az oldalirányú szivárgást drénárkok akadályozzák meg. Az árnyékolt (száraz) és a kontrollkezelésben elhelyezett automata meteorológiai berendezések óránként regisztrálják a léghőmérsékletet, a páratartalmat, a harmatpontot, a napsugárzást, a csapadékot, továbbá a talaj hőmérsékletét és nedvességtartalmát. A berendezés mellé a sátor alá vetett kísérlet kontroll kezelése kerül. A tesztelt genotípusok köre a szárazságtűrő és szárazság érzékeny példafajták mellett a laboratóriumban szárazságtűrésre szelektált populációkból áll össze. Ide vetjük el a bejelentés előtt álló kiegyenlített törzseket is.

Mindezen tesztmódszerek adaptálásával, alkalmazásával olyan nemesítési programot működtetünk, melynek segítségével szárazságtűrésre tudunk szelektálni úgy, hogy az alkalmazott tesztelési módszerek rutinszerűen elvégezhetők és jól illeszkednek a már működő nemesítési rendszerünkhöz.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a környezeti stresszhatások a világ növénytermelésének legnagyobb korlátozó tényezői. A szárazság elleni védekezés egyik lehetősége a szárazságtűrésre történő nemesítés. Viszonyaink között olyan fajta nemesítése a cél, amely a fejlődés minden fázisában tűri a szárazságot. Jó, ha egy fajta fejlődési ciklusa igazodik a leggyakoribb időjárási viszonyokhoz, pl. korai, hogy elkerülje a késői aszályt. Ugyanakkor az is kívánatos, hogy morfológiai jegyei tegyék lehetővé a száraz körülmények közötti leghatékonyabb vízfelhasználást, tehát a vízveszteségek minimalizálását és a környezetéből kinyerhető víz maximális fölvételét. Mivel hazánkban az időjárás évről évre jelentősen változik, ezért szántóföldi adatok elemzése alapján nehéz megítélni a köztermesztésben lévő fajták szárazságtűrésének mértékét. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a szárazságtűrési mechanizmusok nagy része negatív korrelációban van a termőképességgel. A szárazságtűrést olyan szántóföldön és laboratóriumban elvégezhető tesztvizsgálatokkal kell értékelni, amelyek az időjárástól függetlenül elvégezhetők, gyorsak, olcsók, ugyanakkor megbízható eredményekkel szolgálnak.

Munkánk során különböző *tesztelési módszerek alkalmazhatóságát vizsgáltuk* az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésében.

A **csírázási próbák** gyorsan, egyszerűen, és könnyen elvégezhető vizsgálatok, azonban információs értékük igen csekély. Segítségükkel a magvak vízfelvevő képességét hasonlíthatjuk csak össze akkor, ha a magvak azonos termőhelyről származtak, egészségi állapotuk is azonos. Az azonos magmintából indított kísérletek általában jól megismételhetők, viszont az eredményeket az évjárathatások és a termőhelyi hatások jelentősen módosíthatják.

A csíranövényeken végzett **vízkultúrás vizsgálat** rendkívül munkaigényes és költséges. Értékes információt ad ugyan a vizsgálatba vont genotípusok fiatalkori adaptálódó képességéről az ozmotikus stressz-körülmények között, azonban nem bizonyított a mért tulajdonságok és a felnőttkori tolerancia kapcsolata. Ez a teszt az elmondottak alapján nem alkalmas arra, hogy széles körben alkalmazzuk a nemesítésben.

A **levágott levelek víztartó képességének mérése**, igen gyors és jól használható módszer a szárazságtoleranciára történő nemesítésben, mivel ez fontos mechanizmus a növény vízveszteségének csökkentésében. A levágott leveleken a gyors turgorváltozás miatt a sztómák rögtön becsukódnak, a vízvesztést csak a bőrszövet minősége befolyásolja. Megnő a szerepe a levelet borító viaszrétegnek és levélszőröknek, ezek a vízveszteséget 10 % -kal is mérsékelhetik.

A vizsgálatok bármely fenofázisban elvégezhetőek, gyors eredménnyel szolgálnak.

Az **élve hervasztott levelek prolin akkumulációjának összehasonlítása** szelekcióra alkalmas lehet. A prolin akkumuláció adaptív élettani mechanizmus, ami jelentős szerepet játszik az ozmoregulációban. A teszt használhatóságát azonban munkaigényessége korlátozza. A prolin mennyiségének kimutatását folyadék kromatográfiás (HPLC) vizsgálatokkal gyorsan és nagyobb pontossággal lehet elvégezni.

A számított relatív nedvességtartalom adatok és a mért vízpotenciál adatok segítségével felrajzolt **nyomás-térfogat görbék** elemzése fontos információkkal szolgál a növények vízállapotáról, víztartó képességéről és az ozmoregulációról. E mérésekkel jól jellemezhető a vizsgálatba vont fajták tolerancia szintje.

Az **antitranszspiráns** (Phytowax) alkalmazása nem adott értékelhető információt a kísérletbe vont búzavonalak stressztűrő képességéről. A teszt használata azért sem ajánlható, mivel az nagymértékben függ az időjárástól.

A **vetéssűrűségi teszt**et általános stressztűrő képesség tesztelésére ajánlották. Nyilvánvaló, hogy ebben az esetben a szárazságstresszen kívül, számos, egyéb stresszhatás is érvényesül, mégis ennek a kezelésnek volt a legkisebb hatása a vizsgált bélyegekre. A vizsgálati módszer erősen függ az időjárástól, mely használhatóságát korlátozza.

A virágzást követő fenofázisban bekövetkező szárazságstresszt modellezhetjük a **kémiai deszikkálással**. Ezzel a teszttel a fajták tápanyag transzlokációs képességét hasonlíthatjuk össze. Ez rendkívül fontos tulajdonság, hiszen a búzatermesztésben a június végi - július eleji, a szemtelítődést csökkentő szárazságstressz a leggyakoribb. Ilyenkor már minden terméskomponens kialakult, a szemtömeg kivételével. A nyár közepén bekövetkező aszály a szemtömeg csökkenésén keresztül akár 20 - 50 %-os termésveszteséget is okozhat. A teszt jól ismételhető, segítségével jelentős különbségeket tudunk kimutatni az egyes búzatörzsek tápanyag transzlokációs képességében. A teszt gyakorlatilag az időjárástól függetlenül elvégezhető, és az évjárat sem gyakorol jelentős hatást az eredményekre. Lehetőséget ad arra, hogy a transzlokáció szempontjából legjobb illetve leggyengébb egyedeket kiválaszthassuk.

A **klorofill tartalom meghatározása** során a mérések ismételhetősége igen rossz volt, a szórások nagysága miatt a nagyszámú mérés ellenére megbízható különbséget nem tudtunk mérni a vizsgált törzsek között. A műszer elsősorban egyes levelek klorofill tartalmának meghatározására lehet alkalmas, a nem homogén növényállományok (parcellák) összehasonlítására alkalmatlan.

A **levélfelület hőmérséklet meghatározása** rendkívül gyors módszer, a mérések parcellánként néhány másodperc alatt elvégezhetők. Több száz genotípusból álló kísérlet mérése is könnyen kivitelezhető. Mivel azonban a mérések eredményét sok tényező befolyásolja, az eredményeket sok ismétlésben lehet csak figyelembe venni, illetve nagy számú kontroll mérést kell alkalmazni. Mindezeken túl azt is figyelembe kell vennünk, hogy e mérés is csak a szárazságtűrés egyik

formáját, a szárazság elkerülését értékeli. A leginformatívabb, ha rendelkezünk egy öntözéses kísérlettel és össze tudjuk vetni minden egyes genotípus hőmérsékletét (fontoszintetikus aktivitását) stresszmentes és vízhiány-stresszel sújtott körülmények között.
Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésében az általunk vizsgált módszerek közül jól használható módszernek ítélhetjük a **levelek víztartó képességének mérését és** a **kémiai deszikkálást** továbbá a **levélfelület hőmérséklet mérést.** E módszerek a nemesítésben egy olyan durva szűrő szerepét töltik be, mely információkkal látja el a nemesítőket a kezükben lévő nemesítési anyag olyan tulajdonságairól, amelyek kapcsolatba hozhatók a szárazságstressz toleranciával.

A 2001 és 2004 közötti időszakban a fenti módszerek közül kiválasztott két módszerrel, a tápanyag transzlokációt tesztelő kémiai deszikkálással és a zászlóslevelek víztartó képességének vizsgálatával *szárazságtűrésre szelektáltunk nemesítési programunkban*. Vizsgálati módszereink köre később tovább bővült, így az eddig említetteken kívül lehetőségünk nyílt öntözéses kísérletek beállítására, ahol mértük a különböző agronómiai tulajdonságok, terméskomponensek, továbbá a levélfelület hőmérsékletének változását a vízhiány hatására.
A szántóföldi szelekcióban ezek a tesztelési módszerek bizonyultak a legmegbízhatóbbaknak és az eredményeket az évjárathatások kevésbé befolyásolták. Mindezek ellenére a korreláció számítások alapján csak igen gyenge az összefüggés a szárazságtűrési szelekciós kertben beállított tesztek és a tájtörzs kísérletekben tapasztalt terméscsökkenés között. Ennek igen sok oka lehet. Az első és legfontosabb, hogy a gyakorlati szárazságtűrés, azaz termésstabilitás az eltérő vízellátottság mellett – egy igen nehezen megfogható tulajdonság, hiszen a termésmennyiségre sok tényező hat. Ez az oka annak, hogy a szárazságtűrésre történő nemesítés céljaként jelölt termésbiztonság, a szemtermés mennyisége - eltérő vízellátottság mellett - nem alkalmas a szárazságtűrés jellemzésére. Másrészt mivel végső célunk mégis nagy termőképességgel együtt járó termésbiztonság, a szárazságtűrési tesztekben azonosított toleráns genotípusokat csak akkor visszük tovább, ha ez a tulajdonságuk megfelelő termőképességgel is együtt jár. A gyenge termőképességű, de szárazságtűrő genotípusokat a továbbiakban csak keresztezési partnerként tudjuk hasznosítani.
A *korrelációszámítások eredmény*eként azt találtuk, hogy azokban az évjáratokban (2003. és részben 2002.) amikor természetes szárazságstressz jelentkezett, a termésből számolt stresszindex és a tesztkísérletek eredményei, továbbá a szemtermés és a tesztek eredményei között szorosabb kapcsolatot találtunk, mint a stresszmentes 2001. és 2004. években. Ez azt mutatja, hogy **az alkalmazott tesztek olyan tulajdonságokat vizsgálnak, amelyek mindenképpen kapcsolatba hozhatók a szárazságstressz toleranciával**. A kiválósági együttható alkalmazása tapasztalatunk szerint nem jelent áttörést a növények szárazságtűrésre történő nemesítésében, amennyiben a

mutatót a több termőhelyen tapasztalható termésből számítjuk ki. A mutató és maga a terméseredmények korrelációja rendkívül szoros, így e mutatót maga a termőképesség adat is reprezentálja.

Munkánk eredményességét leginkább a 2003-ban és 2004-ben beállított *genetikai előrehaladást vizsgáló kísérlet* eredményei mutatják. E két egymást követő évben a szegedi búzanemesítési programból származó 70 régi és új fajta termőképességét és a terméskomponensek változását vizsgáltuk. A két évjárat szélsőségesen eltért egymástól, így lehetőségünk nyílt a genotípusok abiotikus stressztoleranciáját is összehasonlítani. A **szegedi programból született genotípusok szárazságtűrő képessége javult**. A két éves kísérletben néhány régi fajta mellett (GK Tiszatáj, Fertődi 293) számos új fajta is a legjobb szárazságtűrők csoportjába került. A GK Verecke, a GK Kalász, a GK Garaboly és a GK Csongrád korszerű, nagy termőképességű fajták, ugyanakkor már kitűnő szárazságtűrő képességgel rendelkeznek. Termésstabilitásban is jobbak a hetvenes és nyolcvanas évek fajtáinál.
A 2003. és a 2004. év közti évjárathatás-különbség egy további fontos információhoz juttatott bennünket a praktikus szárazságtűrésről. Az évjárathatás ugyanis sokkal nagyobb mértékben befolyásolta a szemtermést, mint az eltérő agrotechnikai színvonal. Mivel egy súlyosan aszályos évet egy igen csapadékos év követett, megállapíthatjuk, hogy az évjárathatás elemei közül a vízellátottság okozta a legnagyobb különbséget a kísérletben szereplő kenyérbúza genotípusok szemtermésében. (Itt meg kell jegyezni, hogy a kísérletben szereplő durumbúza fajták gyengébb télállóképességük miatt egy téli kiritkulás hatását is elszenvedték és komplex stresszhatást szenvedtek el.

Az *új fajták nemesítése*kor termőképesség és a szárazságtolerancia között kompromisszumot kell találnunk. Mivel hazánk éghajlata nem szélsőségesen száraz és a szárazság mértéke előre kiszámíthatatlan, a keresztezési program összeállításakor elsősorban olyan genotípusokat kell keresnünk, amelyek nagy potenciális termőképességgel rendelkeznek és emellett száraz körülményekhez jól adaptálódnak.
A nemzetközi irodalomban fellelhető tesztelési módszerek adaptálásával olyan szárazságtűrési **nemesítési programot dolgoztunk ki,** amely segítségével a szárazságtűrésre tudunk szelektálni úgy, hogy az alkalmazott tesztelési módszerek rutinszerűen elvégezhetők és jól illeszkednek a Szegeden folyó búzanemesítés rendszeréhez.
E munka eredményességét bizonyítja, hogy a közelmúltban új szárazságtűrő fajtajelölteket jelentettünk be amelyek közül 2005-ben a GK Hunyad, a GK Békés és a GK Csillag állami elismerésben részesült. E fajtáink a hazai és nemzetközi piacon egyaránt sikeresek.

7. SUMMARY

Environmental stresses are the most limiting factors in plant production around the world. One of the possible defenses against drought is breeding for drought tolerance. Under our conditions the goal is to produce genotypes, which are resistant to drought in every developmental stage of their life cycle. It is a significant advantage if the developmental stages fit the prevailing climatic conditions (e.g. earliness if late drought is frequent). It is also desirable that the morphological traits assist efficient water use and minimize the losses while maximize water uptake from the surrounding environment. Since the weather and natural water supply is changing year by year in Hungary, grain yield data are not suitable to judge the tolerance level of cultivated genotypes. The problem is even more complicated, because most drought tolerance mechanisms are in negative correlation with grain yield capacity. We have to evaluate the tolerance level of genotypes by means of inexpensive, fast but reliable testing methods, which can be applied in the field or even in laboratories and can be performed independently of the weather conditions.

In my thesis I studied *the possibilities of applying various testing methods* in the breeding procedure of winter wheat for drought tolerance.

By means of **germination tests** we can screen a large number of genotypes very easily, but the information value of the results is very poor. By using these tests we can screen the water absorption ability of the varieties' caryopses under osmotic stress, although this characteristic is not related directly to the drought tolerance of plants. Germination percentage is also affected by different heritable and non-heritable effects, such as the seeds' health conditions, dormancy, or special year effects.

Hydroponic tests carried out on wheat plantlets are too expensive, time-consuming and laborious. The test gives us reliable information about the early adaptability of genotypes to osmotic stress, but again we could not find any links between this trait and the adaptability of a mature plant's tolerance to drought. Due to the reasons discussed above the test is not suitable to widespread application in the selection for water stress tolerance.

The **water retention capacity** of the excised flag leaves is an important characteristic under water-prone conditions, so by measuring this trait we can compare hundreds of lines within a short period of time. Since the stomata close immediately after excision, water loss can only be decreased by the cuticle. In this case morphological traits like leaf pubescence or the presence of epicuticular wax will have special importance. The method is fast, very simple and non-laborious. Measurements can be made at any phenophase and the results are fast and informative.

At earlier phases (before heading) the results are more informative, the differences more numerous and articulated among the genotypes.

We must mention that this method evaluates only the resistance of the wheat varieties' cuticle against water loss, which is a morphological trait. This trait probably has a significant role to play in drought tolerance although this is not a special drought tolerance characteristic.

Proline accumulation of live-wilting leaves as an adaptation mechanism plays an important role in osmoregulation, therefore the test can be used very well in the selection process. The large scale application of the test is limited because of the laborious live-wilting procedure and the preparation for analyses. Proline levels can be measured much more precisely by HPLC method.

The analyses of **pressure-volume curves** drawn on the basis of the calculated relative water content and measured water potential data provide important information on the water relations, water retention capacity and osmoregulation of the plant. Based on these measurements, the degree of tolerance of the varieties can be characterized.

The use of **antitranspirants** (Phytowax) did not give us useful information about the stress-tolerance of wheat lines included in the field trials. The aplicability of the test greatly depended on the weather conditions during the growing season.

The **high plant density test** was recommended to evaluate the general adaptability of the wheat genotypes. It is obvious that in this case besides the relative water shortage many other types of stresses affect the plants (e.g. competition, light-prone environment, etc.). As a result, this treatment gave us the least significant results of the traits studied. Also, the effectiveness of the test is highly dependent on the weather conditions, which limits its usefulness.

Late (post-anthesis) drought stress can be modelled by the **chemical desiccation** method. The test is desinged to compare the translocation ability of the stem reserves in different cultivars. This trait is extremely important during post-anthesis water deficiency stress, since in the absence of photosynthesis, plants can rely only on translocated stem reserves during seed filling. In wheat growing the most frequent type of drought stress is the post-anthesis stress at the end of June and the beginning of July. By this time all the yield components are formed except for the thousand kernel mass. Water deficiency may cause as high as 20-50 % depression in grain yield due to seed shriveling. With the help of this highly repeatable test, we are able to find significant differences between certain wheat genotypes in terms of translocation capacity of stem reserves. Practically, this test can be operated independently of weather conditions or different years.

Repeatability **of chlorophyll content determination** was very poor. Deviation was too high and no reliable difference could be found among the tested genotypes even if large numbers of measurements were taken. The equipment is primarily suitable to determine the chlorophyll content of single leaves, whereas it is unfit to compare the non-homogenous plots.

Determining **the canopy temperature** is a very fast screening method, by which single measurements can be made within a few seconds. Even hundreds of genotypes can be measured easily. However, the results can be affected by numerous factors such as wind, moving clouds, the angle of the equipment, the density of the canopy etc. so the results must be based on several replications and a lot of control measurements (on check genotypes). Moreover, we need to take it into account that this measurement only informs us about the drought avoidance, which is only one of the forms of drought resistance. The most informative results can be obtained by carrying out an irrigation trial which enables us to compare the canopy temperature (=photosynthetic activity) of each genotype under both stressed and stress-free conditions.

Among the selection methods tested, we found that measuring the **water retention ability of flag leaves**, testing the **translocation capacity of the stem reserves** and measurement of **canopy temperature** can all be used effectively as field selection tools for breeding winter wheat for drought tolerance.

All these methods can only be additional methods in the breeding procedure besides visual scoring of morphological and phenological traits. Also, important information can be obtained from the multilocation yield trials especially at drier locations and/or in drier years. Significant improvement in drought tolerance of future wheat varieties can only be achieved by the combination of all these data.

Between the years 2001 and 2004, we carried out a *selection programme for drought tolerance* relying on the chemical desiccation method and the water retention ability of flag leaves. Our testing methods were developed after we had the opportunity to set up irrigation tests, which allowed us to start to select for drought tolerance on the basis of different agronomic traits, yield components and the remote thermometry of canopy surface (photosynthetic activity during drought stress).

Of the field selection methods, these tests proved to be the most reliable, repeatable and stable under different weather conditions. Even so, we could find a very poor correlation between the results of the multilocation yield tests and the results of the drought tolerance tests measured in the drought nursery. This may have many reasons. Practical drought tolerance, or yield stability under different water supply conditions cannot be characterised easily because of the high number of other factors affecting the amount of yield. This is why grain yield is not a good selection criterion when the final aim is yield stability or drought tolerance. Since our final goal is high level of yield stability the drought tolerant genotypes found in the tolerance tests will only be selected if they have a good yield capacity, too. Drought tolerant lines with poor yielding ability can be used only for crossing partners in later generations.

According to our calculations correlation between the yield tests and the drought tolerance tests was significantly closer in those years, in which natural drought stresses occurred (2002, 2003). This means that **the tests we use for selection effectively evaluate the traits, which play an important role in water shortage tolerance in plants.**

Superiority index (P) did not make a breakthrough in the field of testing plants for resistance to abiotic stresses. If we calculate the index from the data deriving from multilocation tests, the correlation between P index and grain yields is very tight, so the index can be represented by the yield data, too.

The efficiency of our breeding work was best reflected in the results of field trials in which we compared the *performance of different genotypes under different conditions and years*. The two-year trial (2003 and 2004), in which we evaluated the genetic advance of the wheat varieties registered in the late last century, proved that among the latest genotypes there are some drought tolerant ones. We can state that the **drought tolerance of the latest Szeged genotypes has been improved**. A couple of old cultivars (GK Tiszatáj, Fertődi 293) and numerous new varieties can be classified into the most tolerant group. GK Verecke, GK Kalász, GK Garaboly and GK Csongrád are modern high yielding varieties with relatively high level of drought resistance and yield stability. The yield stability of our latest varieties is better than the varieties of the seventies and eighties.

The difference in environmental effects between the year 2003 and 2004 showed us that the year had a significantly stronger effect on the performance of the varieties than the growing conditions (High or low input conditions).

Based on testing methods available in literature we have developed a novel breeding system by which we can routinely select for drought resistance and the testing methods applied can easily be incorporated into our working pedigree breeding system. The successfulness of our research work is best reflected in the new drought tolerant wheat varieties released. GK Hunyad, GK Békés and GK Csillag varieties were registered in 2005 and they have been successfully grown in Hungary and in foreign countries as well.

MELLÉKLETEK

M1. IRODALOMJEGYZÉK

ACEVEDO, E., FERERES, E., HSIAO, T. C. and HENDERSON, D. W. (1979): Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiol.* 64: 476-480.

AL HAKIMI, A. MONNEVEUX, P. and GALIBA, G. (1995): Soluble sugars, proline and relative water content (RWC) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from T. polonicum into T. durum. *J. Genet. Breed*. 49:237-244.

ARMENTA-SOTO, J., CHANG, T. T., LORESTO, G. C. and O'TOOLE, J. C. (1983): Genetic analysis of root characters in rice. *Sabrao J.* 15: 103-106.

ASHRAF, C. M. and SHAKRA, A. (1978): Wheat seed germination under low temperature and moisture stress. *Agr. J.* 70: 135-139.

AUSTIN, R. B., EDRICH, J. A., FORD, M. A. and BLACKWELL, R. D. (1977): The fate of dry matter, carbohydrates and ^{14}C lost from the leaves and stems of wheat during grain filling. *Ann. Bot.* (London). 41 : 1309-1321.

AUSTIN, R.B. (1978): Actual and potential yields of wheat and barley in the United Kingdom. *ADAS Q. Rev*. 29: 76-87.

AUSTIN, R. B., BINGHAM, J. A., BLACKWELL, R. D., EVANS, L. T., FORD, M. A., MORGAN, C. L. and TAYLOR, M. (1980): Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci*., 94: 675-689.

AUSTIN, R. B., MORGAN, C. L., FORD, M. A. and BLACKWELL, R. D. (1982): Contributions to grain yield from pre-anthesis assimililation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Ann. Bot*. (London) 45: 309-319.

BAKER, E. A. and HUNT, G. M. (1981): Cuticle development in stressed plants and response to exogenous growth substances. In: Abstracts of AAB/BPGRG Meeting, March British Plant Growth Regulator Group, Letcombe p. 5-6.

BALLA, L., BEDŐ, Z., LÁNG, L. and SZUNICS, L. (1986): Genetic advance in wheat breeding and its contribution to yield gains. *Acta Agron. Hun*.35 (3-4): 219-225.

BARABÁS, Z. (1987): A genetikai változékonyság növelése In: Barabás Zoltán (szerk.) *A búzatermesztés kézikönyve.* Mezőgazdasági Kiadó Budapest pp. 150-168.

BARBOUR, N. W., and MURPHY, C. F. (1984)**:** Field evaluation of seedling root length selection in oats. *Crop Sci*. 24: 165-169.

BEDŐ, Z., LÁNG, L., VEISZ, O. and SZUNICS, L. (2002): Main trends in bread wheat breeding: from landraces to molecular breeding. Proc. of the EUCARPIA Cereal Section meeting 21-25 November 2002, Salsomaggiore pp.109-114.

BEGG, J.E. and TURNER, N.C. (1976)**:** Crop water deficits. *Adv. Agr*. 28: 161-207.

BIANCHI, G., LUPOTTO, E., BORGHI, B. and CORBELLINI, M. (1980)**:** Cuticular wax of wheat. The effects of chromosomal deficiencies on the biosynthesis of wax components. *Planta* 148: 328-330.

BIDINGER, F. R., MUSGRAVE, R. B. and FISCHER, R. A. (1977): Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature (London)* 270: 431-433.

BLUM, A. (1973): Components analysis of yield responses to drought of sorghum hybrids. *Exp. Agric*. 9: 159-174.

BLUM, A. (1983): Breeding programs for improving crop resistance to water stress. In: Raper, C. D. Jr. and Kramer, P. J. (eds.) *Crop reaction to water and temperature stresses in humid, temperate climates.* Westview Press Boulder pp. 263-274.

BLUM, A. (1985)**:** Breeding crop varieties for stress environments. *C.R.C. Reviews Plant Sci*. 2: 199-238.

BLUM, A. (1988)**:** Drought Resistance In: Blum, A. (ed.) *Plant breeding for environmental stresses*. C.R.C. Press Boca Raton, Florida pp. 43-77.

BLUM, A. (1998): Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. In: H.-J. Braun et al. (eds.) *Wheat: Prospects for Global Improvement.* Kluwer Academic punblishers pp. 135-141.

BLUM, A., SINMENA, B. and ZIV, O. (1980): An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening tests in wheat. *Euphytica* 29: 727-734.

BLUM, A., MAYER, J. and GOZLAN, G. (1982): Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crops Res*. 57: 137-146.

BLUM, A., MAYER, J. and GOZLAN, G. (1983a): Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post - anthesis stress II. Relations to drought stress. *Field Crops Res*. 6: 149-155.

BLUM, A., MAYER, J. and GOZLAN, G. (1983b): Associations between plant production and some physiological components of drought resistance. *Plant. Cell Environ*. 6: 219-225.

BOCZ, E. (1973): Búzatermesztésünk sikere. *Magyar Mezőgazdaság*, 2: 10-11.

BORGHI, B., CORBELLINI, M., GAVUZZI, P., BOGGINI, G. and OUASSOU, A. (1990): Breeding for heat and drought tolerance in bread wheat by means of field and laboratory screening procedures. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 137: 1-9.

BORREL, A. K., INCOLL, L. D., SIMPSON R. J. and DALLING, M. J. (1989)**:** Partitioning of dry matter and the deposition and use of stem reserves in a semidwarf wheat crop. *Annals of Botany* 63: 527-539.

BORREL, A. K., INCOLL, L. D. and DALLING, M. J. (1993)**:** The influence of the Rht1 and Rht2 alleles on the deposition and use of stem reserves in wheat. *Annals of Botany* 71: 317-326.

BOTHA, F. C. (1979): The effect of drought conditions on water soluble proteins of two maize lines. *Z. Pflanzenphysiol.* 95: 371-375.

BOYER, J. S. (1985) : Water transport. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 36: 473-516.

BRAUN, H. J., EKIZ, H., ESER, V., KESER, M., KETATA, H., MARCUCCI, G., MORGOUNOV, A., and ZENCIRCI, N. (1998): Breeding priorities of winter wheat programs. H-J. Braun et al. (Eds.), *Wheat Prospects for Global Improvement*. Kluwer Academic Publishers. pp. 553-560.

CANEVARA, M. G., ROMANI M., CORBELLINI, PERENZIN, M. and BORGHI, B. (1994)**:** Evolutinary trends in morphological, physiological, agronomical and qualitative traits. *Eur .J. Agron*. 3(3): 175-185.

CASTLEBERRY, R. M. (1983): Breeding programs for stress tolerance in corn In: C.D. Raper Jr. and P.J. Kramer (eds.) Crop reactions to water and temperature stresses in humid temperature climates. *Colorado Westview Press* pp. 277-288.

CATALOGUE OF GENE SYMBOLS (2007): www.shigen.nig.ac.jp /**wheat** /komugi /**gene**s /symbol ClassList.jsp

CATTIVELLI, L., BALDI, P., CROSATTI, C., DI FONZO, N., FACCIOLI, P., GROSSI, M., MASTRANGELO, A. M., SECCHIONI, N. and STANCA, A. M. (2002): Chromosome regions and stress-related sequences involved in resistance to abiotic stress in Triticeae. *Plant Molecular Biology* 48: 649-665.

CHANG, T. T. and LORESTO, C. (1985): Screening techniques for drought resistance in rice. Proc. Natl. Semin. Breeding for stress resistance in plants. Haryana Agric. University, India (multilith)

CHANG, T. T. and LORESTO, C. (1986): Screening techniques for drought resistance in rice In: Chopra, V. L. and. Paroda, R. S. (eds.) *Approaches for Incorporating drought and salinity resistance in crop plants.* Oxford and IBH New Delhi pp. 108 -129.

CLARKE, J. M. and McCAIG, T. N. (1982a): Evaluation techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci.* 22: 503-506.

CLARKE, J. M. and McCAIG, T. N. (1982b): Excised - leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can. J. Plant Sci*. 62: 571-578.

CLARKE, J. M. (1983a): Differential excised-leaf water retention capabilities of *Triticum* cultivars grown in field and controlled environments. *Can. J. Plant Sci.* 63: 539-541.

CLARKE, J. M. (1983b): Relationship between field emergence of wheat and laboratory germination in D-mannitol. *Cereal Res. Com*. 11(2): 129-132.

CLARKE, J. M. and RICHARDS R. A. (1988): The effects of glaucoussness, epicuticular wax, leaf age, plant height and growth environment on water loss rates of excised wheat leaves. *Can. J. Plant Sci.* 68: 975-982.

CLARKE, J.M. and TOWNLEY-SMITH T.F. (1986): Heritability and relationship to yield of excised-leaf water retention in durum wheat. *Crop Sci*. 26: 289-291.

CLARKE, A. M., De PAW, R. M, and TOWNLEY-SMITH, T. F. (1992): Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci*. 32: 723-728.

CLEMING, A. C. (1999): LEA proteins. In: Shewry, P. R. and Casey, R. (eds.) *Seed Proteins.* Kluwer Academic. pp. 753-780.

CONDON, A. G., RICHARDS, R. A., REBETZKE, G.J. and FARQUHAR, **G. D.** (2002): Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Sci*. 42:122-131.

CSEUZ, L. (1990a): Őszi búza (*Triticum aestivum L.*) fajták tesztelése szárazságtűrésre egyszerű laboratóriumi módszerekkel. *Növénytermelés* 39(3): 227-233.

CSEUZ, L. (1990b): Testing the drought resistance of winter wheat varieties by laboratory and field methods. In: Panayotov, I. and Pavlova, S. (Eds.) *Wheat Breeding- Prospects and Future Approaches.* Proc. Int. Symp. Albena, Bulgaria. pp. 214-219.

CSEUZ, L. and ERDEI, L. (1994): Plant water status studies and simple field screening methods for selecting drought tolerant genotypes in wheat. In: P. C. Struik et al. (eds.) *Plant production on the threshold of a new century.* Kluwer Academic Publishers. pp. 437-438.

CSEUZ, L., PAUK, J., KERTÉSZ, Z., MATUZ, J., FONAD, P., TARI, I. and ERDEI, L. (2002a)**:** Wheat breeding for tolerance to drought stress at the Cereal Research Non-Profit Co. Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, *Acta Biol. Szegediensis* 46(3-4): 25-26.

CSEUZ, L., PAUK, J., KERTÉSZ, Z., MATUZ, J., FÓNAD, P. and ERDEI, L. (2002b)**:** Breeding drought tolerant wheat genotypes: selection methods *EUCARPIA Cereal Section Meeting 21-25 November* 2002 Salsomaggiore, Italy p: 171.

CSEUZ, L., KERTÉSZ, CS., FONAD, P., KOVÁCS, E., ÓVÁRI, J. MATUZ, J., and KERTÉSZ, Z. (2006)**:** Progress in Yield Components and Yield Potential in Bread Wheat and Durum Wheat Genotypes. *EUCARPIA Cereal Section Meeting* 13-17 November 2006, Lleida, Spain. Abstracts p.169.

CSEUZ, L., PAUK, J., FÓNAD, P., KOVÁCS, E., and MATUZ, J. (2008): Field selection of winter wheat genotypes tolerant to water shortage with a mobile automatic rain shelter (MARS) and chemical desiccation. In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

DAVIDSON, D. J. and CHEVALIER, P. M. (1992)**:** Storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stems of spring wheat. *Crop Sci*. 32: 186-190.

DAVIDSON, J. L., and BIRCH, J. W. (1978): Responses of standard Australian and Mexican wheat to temperature and water stress. *Aust. J. Agric. Res*. 29: 1091-1106.

DEDIO, W. (1975): Water relations in wheat leaves as a screening test for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55: 369-378.

DERERA, N. F., MARSHALL, D. R. and BALAAM, L. N. (1969): Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheats. *Expl. Agric*. 5: 327-337.

DHANDA, S. S., SETHI, G. S. AND BEHL, R. K. (2002)**:** Inheritance of seedling traits under drought stress conditions in bread wheat. *Cereal Res. Com.* 30 (3-4): 293-296.

DIB, T. A., MONNEVEUX, PH., ACEVEDO E. AND NACHIT M. M. (1994): Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat (*Triticum turgidum* L. *var. durum*). *Euphytica* (79) 1-2: 65-73.

DODIG, D., STANKOVIC, S., KOBILJSKI, B., DENCIC, S., PEKIC, S. and QUARRIE, S. A. (2002)**:** Genetic diversity in traits for improving wheat drought resistance and molecular markers associated with them. *Proc. of the EUCARPIA Cereal Section meeting* 21-25 November 2002 Salsomaggiore, Italy. pp. 190-193.

DUDAL, R. (1976): Inventory of the major soils of the world with special reference of to mineral stress. In: Wright, M. J. (ed.) *Plant adaptation to mineral stress in problem soils.* Cornell University Agricultural Experiment Station, 2

DUDITS, D. és HESZKY, L. (2000): Szárazság és ozmotikus stresszrezisztencia a transzformáns növényekben. In: Dudits, D. és Heszky, L. (szerk.) *Növényi biotechnológia és géntechnológia.* Agroinform kiadó Budapest. pp. 240-252.

DURLEY R.C., KANNANGARA, T., SEETHARAMA N. and SIMPSON G. M. (1983): Drought resistance of Sorghum bicolor. 5. Genotypic differences in the concentration of free and conjugated abscisic, phaseic and indole-3-acetic acid in leaves of field-grown drought-stressed plants. *Can. J. Plant Sci.* 63: 131–145.

EDDLEMAN, L. E. and ROMO, J. T. (1988): Spotted knapweed germination response stratification, temperature and water stress *Can. J. Bot.* 66: 653-657.

EHDAIE, B., WHITKUS, R. W. and WAINES, J. G. (2003)**:** Root biomass, water-use efficiency, and performance of wheat-rye translocations of chromosomes 1 and 2 in spring bread wheat "Pavon". *Crop Sci*. 43: 710-717.

EKANAYAKE, I. J., O'TOOLE, J. C., GARRITY, D. P., and MASAJO, T. M. (1985)**:** Inheritance of root characters and their relations to drought resistance in rice. *Crop Sci*. 25: 927-928.

ERDEI, L. and TRIVEDI, S. (1989): Responses to salinity of wheat varieties differing in drought tolerance. In: Tazawa, M.,Katsumi, M., Masuda, Y. and Okamoto, H. (eds.) *Plant water relations and growth under stress.* Proceedings of the Yamada conference XXII, Osaka, Japan, pp. 201-208.

ERDEI, L., TRIVEDI, S., TAKEDA, K. and MATSUMOTO, H. (1990)**:** Effects of osmotic and salt stresses on the accumulation of polyamines in leaf segments from wheat varieties differing in salt and drought tolerance *J. Plant Physiol*. 137:. 165-168.

ERDEI, L., TARI, I., CSISZÁR, J., PÉCSVÁRADI, A., HORVÁTH, F., SZABÓ, M., ÖRDÖG, M. and CSEUZ, L. (2002a)**:** Physiological and biochemical responses to osmotic stress of wheat species and varieties differing in drought tolerance: advices for gene hunting. *Chinese - Hungarian Workshop on Molecular genetics and breeding in wheat*, Martonvásár

ERDEI, L., TARI, I., CSISZÁR, J., PÉCSVÁRADI, A., HORVÁTH, F., SZABÓ, M., ÖRDÖG, M., CSEUZ, L., ZHIPONOVA, M., SZILÁK, L. and GYÖRGYEY, J. (2002b): Osmotic stress responses of wheat species and cultivars differing in drought tolerance: some interesting genes (advices for gene hunting) Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 63-65.

FARQUHAR, G. D. and RICHARDS, R. A. (1984): Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Plant Physiol*. 11: 539-552.

FARSHADFAR, E., MOHAMMADI and SUTKA, J. (2002): Association between field and laboratory predictors of drought tolerance. *EUCARPIA Cereal Section Meeting* 21-25 November 2002, Salsomaggiore, Italy. p. 183-186.

FEHÉRNÉ, J. E., CSEUZ, L., HORVÁTH., V. G., MAI, A., SECENJI, M., SASS, L., HIDEG, É., VASS, I., DUDITS, D. and PAUK, J. (2006)**:** A búzába történő génbeépítés módszerei és a hazai géntechnológiai eredmények a búzaszárazságtűrésének javítására. In.: Dudits Dénes (szerk.) *A búza nemesbítésének tudománya a funkcionális genomikától a vetőmagig.* MTA Szegedi Biológiai Központ Winter Fair Szeged. pp. 99-110.

FISCHER, R. A. and MAURER, R. (1978): Drought resistance in spring wheat cultivars . I. Grain yield responses. *Australian J. Agric. Res*. 29: 897-912.

FISCHER, R. A. and SANCHEZ, M. (1979)**:** Drought resistance in spring wheat cultivars . II. Effects on plant water relations. *Australian J. Agric. Res.* 30: 801-815.

FISCHER, R. A. and WOOD, J. T. (1979): Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morphophysiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30: 1001-1020.

FISCHER, K. S., JOHNSON, E. C. and EDMEADES, G. O. (1976): Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. Mexico. *C.I.M.M.Y.T. Mexico City* 28.

FISCHER, K. S., JOHNSON, E. C. and EDMEADES, G. O. (1982): Breeeding and selection for drought resistance in tropical maize. In: *Drought resistance in crop plants with emphasis on rice.* I.R.R.I., Los Banos, Philippines, p. 377.

FISCHER, K. S., JOHNSON, E. C. and EDMEADES, G. O. (1983): Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. Mexico. *C.I.M.M.Y.T. Mexico City*

FLAGELLA, Z., BALDELLI, G., RASCIO, A., PASTORE, D., WITTMER, G. (1987): Drought resistance of some *Triticum durum* varieties through in vitro test. *Riv. di Agron*. 21: 230-234.

FLEISCHMANN R. (1928) : Újabb megfigyelések a kompolti nemesítő telepen. *Köztelek*. 46: 275.

FLORES, H. E. and GALSTON, A. W. (1984): Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves II.Relation to amino acid pools. *Plant Physiol.* 75: 110-113.

FOSTER, S. A. and WALTERS, D. R. (1991)**:** Polyamine concentrations and arginine decarboxylase activity in wheat exposed to osmotic stress. *Physiol. Plant*. 82: 185-190.

GALIBA, G. and ERDEI, L. (1986): Dependence of wheat callus growth, differentiations and mineral content on carbohydrate supply. *Plant Sci.* 45: 65-70.

GALIBA, G., KOCSY, G. és SUTKA, J. (1991)**:** Összefüggés a környezeti stressztolerancia és a poliamintartalom között búza in vitro tenyészetekben. *IV. Magyar Növényélettani Kongresszus* Szeged, 1991. július 10-12.

GALIBA, G., KEREPESI, I., VÁGÚJFALVI, A., KOCSY, G., CATTIVELLI, L., DUBCOVSKY, J., SNAPE, J. W. and SUTKA, J. (2001): Mapping of genes involved in glutathione, carbohydrate and COR14b cold induced protein accumulation during cold hardening in wheat. *Euphytica* 119: 173-177.

GALLÉ, Á., CSISZÁR, J., TARI, I. and ERDEI, L. (2002): Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 85-86.

GALSTON, A. W. (1983)**:** Polyamines as modulators of plant development. *BioSci*. 33: 382-388.

GAY, A. P. (1986)**:** Variation in selection for leaf water conductance in relation to growth and stomatal dimensions in Lolium perenne L. *Ann. Bot*. 57: 361-364.

GORHAM, J., BRISTOL, A., YOUNG, E. M., WYN JONES, R. G. and KASHOUR, G. (1990): Salt tolerance in the triticeae: K/Na discrimination in barley. *J. Exp. Bot.* 41. (230): 1095-1101.

GUERRERO, F. D., JANES, J. T. and MULLET, J. E. (1990): Turgor-responsive gene transcription and RNA levels increase rapidly when pea shoots are wilted. Sequence and expression of three inducible genes. *Plant Mol Biol* 15: 11-26.

GYÁRFÁS, J. (1925)**:** Sikeres gazdálkodás szárazságban; *Magyar dry-farming. "Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai R.T.*, Budapest 1925 p. 255.

HABASH, D., ARAUS, J. L., LATIRI, K., KADER, A. A., TUBEROSA, R., NACHIT, M. (2008): TRITIMED, a multidisciplinary project to improve drought adaptation in durum wheat In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

HALEY, S. D. and QUICK, J. S. (1993)**:** Early generation selection for chemical desiccation tolerance in winter wheat. *Crop Sci.* 33: 1217-1223.

HALL, H. K. and McWHA, J. A. (1981): Effects of abscisic acid on growth of wheat (*Triticum aestivum L.) Ann. Bot*. 47: 427-433.

HANDA, S., BRESSAN, R. A., HANDA, A. K., CARPITA, N. C. and HASEGAWA, P. M. (1983): Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured cells adapted to water stress. *Plant Physiol*. 73: 834-835.

HANSON, A. D., NELSEN, C. E., PEDERSEN, A. R. and EVERSON, E. H. (1979)**:** Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implication for breeding for drought resistance. *Crop Sci.* 19: 489-492.

HARRIS, D. S., SCAPAUGH, W. T. and KANEMASU, E. T. (1984): Genetic diversity in soybeans for leaf canopy temperature and the association of leaf canopy temperature and yield. *Crop Sci*. 24: 839-842.

HAVAUX, M. and LANNOYE, R. (1985): Drought resistance of hard wheat cultivars measured by a rapid chlorophylle fluorescence test. *J. Agric. Sci. Camb*. 104: 501-504.

HENSON, I. E., MAHALAKSHMI, V., BIDINGER, F. R. and ALAGARSWAMY, G. (1981)**:** Genotypic variations in pearl millet (*Pennisetum americanum L.*) in the ability to accumulate ABA in response to water stress. *J. Exp. Bot*. 32: 899-902.

HESZKY, L. (2007)**:** Szárazság és a növény kapcsolata. *Agrofórum*. 18: 36-41.

HITZ, D. W. and HANSON, A. D. (1980)**:** Determination of glycine betaine by pyrolysys-gas chromatograhy in cereals and grasses. *Phytochemistry*. 19: 2371-2374

HOFMANN, W. C., O'NEILL, M. K. and DOBRENZ, A. K. (1984): Physiological responses of sorghum hybrids and parental lines to soil moisture stress. *Agron J.* 76: 223-225.

HOFFMANN, B., CSEUZ, L. és PAUK J. (2006): Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. In: (Szerk.: Dudits D.) *A búza nemesbítésének tudománya a funkcionális genomikától a vetőmagig.* MTA Szegedi Biológiai Központ Winter Fair Szeged. 5(6): 191-224.

HOLBROOK, F. S. and WELSH, J. R. (1980): Soil water-use by semi-dwarf and tall wheat cultivars under dryland conditions. *Crop Sci*. 20: 244-246.

HSIAO, T.C., O`TOOLE, J. C. and YAMBAO (1984): Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa L.*). *Plant Physiol*. 75: 338-341.

HURD, E. A. (1968): Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. *Agron. J*. 60: 201-207.

INAGAKI, M.N., and NACHIT, M.M. (2008): Visual monitoring of water deficit stress using infrared thermography in wheat In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

INGRAM, J. and BARTELS D. (1996): The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 47: 377-403.

INNES, P., BLACKWELL, R. D., AUSTIN, R. B., MARGARET, M., and FORD, M. A. (1981) : The effects of selection for number of ears on the yield and water economy of winter wheat. *J. Agric. Sci.* 97: 523-531.

INNES, P., BLACKWELL, R. D., and QUARRIE, S. A. (1984): Some effects of genetic variation in drought-induced abscisic acid accumulation on the yield and water-use of spring wheat. *J. Agric. Sci.* 102: 341-343.

ISLAM, T. M. and SEDGLEY, R. H. (1981): Evidence for a 'uniculm' effect in spring wheat (*Triticum aestivum L.*) in a Mediterranean environment. *Euphytica,* 30: 277-282.

ISMAIL, A. M. and HALL, A. E. (1993): Carbon isotope discrimination and gas exchange of cowpea accessions andhybrids. *Crop Sci*. 33: 788-793.

JARADAT, A. and KONZAK, C. F. (1983): Breeding wheat genotypes for drought resistance: I. Excised leaf water retention. *Cereal Res. Com*. 11: 179-186.

JOHNSON, D. A., RICHARDS,R. A. and TURNER, N. C. (1983): Yield, water relations, gas exchange and surface reflectance of near isogenic wheat lines differing in glaucousness *Crop Sci.* 23: 318-325.

JOHNSON, R. R. and MOSS, D. N. (1976): Effect of water stress on $^{14}CO_2$ fixation and translocation in wheat during grain filling. *Crop Sci.* 16: 697-701.

JONES, H. G. (1979) : Visual estimation of plant water status in cereals. *J. Agric. Sci. Camb*. 92.

JORDAN, W. R. and MILLER, F. R. (1980): Genetic variability in sorghum root systems: implication for root tolerance. In: Turner, N. C. and Kramer, P. J. (eds.) *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* Wiley Interscience New York. pp. 383-399.

JORDAN, W. R., MONK, R. L., MILLER, F. R., ROSENOW, D. T., CLARK, R. E. and SHOUSE, P. J. (1983): Environmental physiology of sorghum. I. Environmental and genetic control of epicuticular wax load. *Crop Sci.* 23: 552-558.

KAVALKÓ, K., NAGY, G, ERDEI, L. (2003): A búza szárazságtűrése és az aquaporinok szerepe. *XXXIII. Membrán-transzport Konferencia.* Sümeg, 2003. május 20-23. Procceedings of conference 29: 96.

KEIM, D.L. and KRONSTAD, W.E. (1981): Drought response of winter wheat cultivars under field stress conditions. *Crop Sci.* 21: 11-15.

KEREPESI, I. and GALIBA, G. (2000): Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Sci.* 40: 482-487.

KEREPESI, I. and GALIBA, G. (2002): Fructans in wheat under stress conditions. *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 101-102.

KERTÉSZ, Z. (1984): Improvement of harvest index. In: W. Lange, A. C. Zeven and N. G Hogenboom (Eds.) *Efficiency in plant breeding*. Proc. of the 10th Congress of EUCARPIA . p. 93-104.

KERTÉSZ, Z. MATUZ, J. PAUK, J., MESTERHÁZY, Á., PAPP, M., CSEUZ, L., KERTÉSZ, C. and CSŐSZ, M. (1998): Traditional and novel wheat breeding methods used in Hungary. In:. Braun, H. J. et al. (eds.), *Wheat Prospects for Global Improvement* Kluwer Academic Publishers. pp. 37-45.

LAING, D. R. and FISCHER, R. A. (1977): Adaptation of semidwarf wheat cultivars to rainfed conditions. *Euphytica* 26: 129-139.

LÁNG, I. (2006): II. A stratégiai válaszok elemei: A klímaváltozás kockázatának mérséklése és az alkalmazkodás lehetőségei Globális klímaváltozás program (Vahava project - Előzetes összefoglalás, 29.o.) www.vahava.hu

LELLEY J. (1963): A nemesítés módszerei. In: Lellei J. - Mándy Gy. (szerk.) *A búza Triticum aestivum L.* Kultúrflóra sorozat 19. Akadémiai Kiadó pp. 233-240.

LEUCCI, M. R., MASTRANGELO, L. I., DALESSANDRO, G., PIRO, G. (2002): Effect of water stress on hemicellulose biosynthesis in roots of wheat seedling genotypes varying in drought

tolerance. *Proc. of the EUCARPIA Cereal Section meeting* 21-25 November 2002 Salsomaggiore pp. 179-182.

LEVITT, J. (1980): Response of plants to environmental stresses. *Academic Press, New York, London.* 697 p.

LIN, C. S. and BINNS, M. R. (1981): A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.* 68: 193-198.

LIU Q., SAKUMA Y., ABE H., KASUGA M., MIURA S., YAMAGUCHI-SHINOZAKI K., SHINOZAKI K. (1998): Two transcription factors, DREB1 and DREB2, with an EREBP/AP2 domain, separate two signal transduction pathways in drought- and low temperature-responsive gene expression, respectively, in Arabidopsis. *Plant Cell* 10: 1391-1406.

LORESTO, G. C. and CHANG, T. T. (1981): Decimal scoring systems for drought reaction and recovery ability in rice screening nurseries. *I.R.R.I., IRRN*, 2: 9-10.

LUDLOW, M. M. (1980): Adaptive significance of stomatal response to water stress. in :Turner, N.C. and Kramer, P.J. [eds.] Adaptation of plants to water and high temperature stress. *Wiley Interscience New York*, pp. 123 -138.

LUPTON, F. G. H. (1982): Recent advances in cereal breeding. *Neth. J. Agric. Sci*., Wageningen, 30(1): 11-23.

MACCAFERRI, M., SANGUINETI, M. C., ARAUS ORTEGA, J. L., BEN SALEM, M., EL-AHMED, A., DEL MORAL, L. F. G., DEMONTIS, A., MAALOUF, F., NACHIT, M., NSERALLAH, N., ROYO, C., TUBEROSA, R., (2008): Two major QTLs on chrs. 2BL and 3BS influence grain yield in durum wheat across a broad range of water regimes. In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

Magyar Nagylexikon (2003): „szárazságtűrő növény“ In: Vízi E. Sz . (szerk.) MN vol. XVI. pp. 495.

MASTRANGELO, A. M., BELLONI, S., DALFINO, G., BARILLI, S. M. and DI FONZO, N. (2003): Genetic bases of resistance to abiotic stresses in durum wheat. *EUCARPIA Cereal Section Meeting* 21-25 November 2002 Salsomaggiore, Italy p.:186-189.

McCAIG, T. N., and ROMAGOSA, I. (1991): Water status measurements of excised wheat leaves: Position and age effects. *Crop Sci.* 31: 1583-1588.

McDONNEL, E. and WYN JONES, R. G. (1988): Glycine betain synthesis and accumulation in unstressed and salt stressed wheat. *J. Exp. Bot.* 39: 421-430.

McINTOSH, R. A. (1983): A catalogue of gene symbols for wheat. *Proc. 6th. Int. Wheat Genet. Symp.* 1197.

MIAN, M. A. R., NAFZIGER, E .D., KOLB, F. L. and TEYKER, R. H. (1993): Root growth of wheat genotypes in hydroponic culture and in the greenhouse under different soil moisture regimes. *Crop Sci.* 33: 283-286.

MOLNÁR, I., GÁSPÁR, L., STÉHLI, L., DULAI, S., SÁRVÁRY, É., KIRÁLY, I., GALIBA, G., MOLNÁR-LÁNG, M. (2002): The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and on *Aegilops biuncialis* genotypes originated from various habitats. *Acta Biol. Szeg*. 46(3-4): 115-116.

MONNEVEUX, P. and NEMMAR, M. (1986): Contribution to the study of biochemical mechanisms of resistance to water stress: proline accumulation during the vegetative cycle of bread wheat (*T. aestivum L.*) and durum wheat (*T. durum Desf.*) *Agronomie.* 6(6): 583-590.

MORGAN, J. A., LECAIN, D. R., MCCAIG, T. N. and QUICK, J. S. (1993): Gas exchange, carbon isotope discrimination and productivity in winter wheat. *Crop Sci*. 33: 178-186.

MORGAN, J. M. (1984): Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 35: 299-315.

MUNNS, R. and WEIR, R. (1981): Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficits at two light levels. *Aust. J. Plant Physiol.* 8.

NACHIT, M. M., and ELOUAFI, I. (2002): Twenty-five years of durum breeding in WANA for resistance to drought and improvement in yield stability: From conventional to marker assisted breeding. *Proc. of the EUCARPIA Cereal Section meeting* 21-25 November 2002 Salsomaggiore p. 121-123.

NAIDU, B. P., PALEG, L. G., ASPINALL, D., JENNINGS, A. C. and JONES, G. P. (1990): Rate of imposition of water stress alters the accumulation of nitrogen-containing solutes by wheat seedlings. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 653-664.

NASS, H. G. and STERLING, J. D .E. (1981): Comparison of tests characterizing varieties of barley and wheat for moisture stress resistance. *Can. J. Plant Sci*. 61: 283-292.

NICOLAS, M. E. and TURNER, N. C. (1993): Use of chemical desiccants and senescing agents to select wheat lines maintaining stable grain size during post-anthesis drought. *Field Crops Research,* 31: 155-171.

OBERSCHALL, A., DEÁK, M., TÖRÖK, K., SASS, L., VASS, I., KOVÁCS, I. FEHÉR, A., DUDITS, D., and HORVÁTH, G. V. (2000): A novel aldose/aldehyde reductase protects transgenic plants against lipid peroxidation under chemical and drought stresses. *The Plant Journal* 24: 437-446.

O'BRIAN, L. (1979): Genetic variability of root growth in wheat (*T. aestivum* L.). *Aust. J. Agric. Res.* 30: 587-589.

O`TOOLE, J.C. and MOYA, T. B. (1978): Genotypic variation in maintenance of leaf water potencial in rice. *Crop Sci*. 18: 873-876.

PALEG, L.G., and ASPINALL, D. (1981): The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. *Acad. Press. Sydney, New York, London, Toronto, San Francisco* pp. 206-258.

PALEG, L. G., STEWART, G. R. and BRADBEER, J. K. (1984): Proline and glycine betaine influence protein solvation. *Plant Physiol*. 75: 974-979.

PÁLFI, G., GULYÁS, S., RAJKI, E.S. and CSEUZ, L. (1988): The proline test - a method to the demonstration of the water deficiency and of frost - and to the qualification of pollens. *Acta Biol. Szeg.* 34: 11-25.

PÁLFI-DEIM, G., GULYÁS, S. and CSEUZ, L. (1989): Demonstration of the extent of drought resistance in winter wheat varieties, and study of the proline accumulation ability of 25 cultivated species. *Acta Biol. Szeg*. 35: 81-89.

PASSIOURA, J.B. (1977): Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-121.

PASSIOURA, J.B. (1996): Drought and drought tolerance. Plant Growth regulation 20: 79-83

PASTORE, D., FLAGELLA, Z., CAMPANILE, R.G. and WITTMER, G. (1988): Kautsky effect as drought tolerance indicator in durum wheat (*Triticum durum Desf.*) I. Variations of fluorescence induction curve following dehydration, probing the test. In: G. Wittmer (ed.) *The future of cereals for human feeding and development of biotechnological research.* Chamber of commerce of Foggia, Italy. pp. 265-275.

PAUK, J., ERTUGRUL, F., BARTÓK, T., MIHÁLY, R., KISS, O., CSEUZ, L. and DUDITS D. (2002a): Improvement of wheat abiotic stress resistance via genetic transformation. Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 5-7.

PAUK, J., ERTUGRUL, F., KÓTAI, É., BARTÓK, T., MIHÁLY, R., KISS, O., CSEUZ, L., GYÖRGYEY, J., and DUDITS, D. (2002b): Breeding drought tolerant wheat genotypes: Utilizing alien genes (ALR, Ferritin). *EUCARPIA Cereal Section Meeting*. 21-25 November 2002 Salsomaggiore, Italy p.: 119.

PEPÓ, P. (2007)**:** A klímaátalakulás kedvezőtlen hatásai és az alkalmazkodás termesztéstechnológiai elemei a szántóföldi növénytermesztésben (Lehetőségek és korlátok). *Agrofórum*. 18: 17-26.

PETERSON, G. C., KRITTIKA, S. and WEIBEL, D. E. (1982): Inheritance of bloomless and some sparse-bloom mutants in sorghum. *Crop Sci.* 22: 63-65.

PREMACHANDRA, G. S. and SHIMADA, T. (1987): Measurement of drought tolerance in orchardgrass (*Dactylis glomerata L.*) I. Polyethylene glycol test of measuring cell membrane stability *J. Japan Grassl. Sci.* 33(2): 140-148.

PREMACHANDRA, G. S., and SHIMADA, T. (1988): Genetical variability of excised-leaf water retention capability in wheat. *Japanese J. Crop Sci.* 57(1): 220-224.

QUARRIE, S. A. (1982): The role of abscisic acid in the control of spring wheat growth and development. In: P.F. Wareing (ed.) *Plant Growth Substances.* Academic press London. pp. 609-619.

QUARRIE, S. A. (1993): Implications of genetic differences in ABA accumulation for crop production. In: Davies, W. J. and Jones H. G. (eds.) *Abscisic acid.* Bios. Sci. Publ. Ltd. Oxford Press U.K. pp. 227-243.

QUARRIE, S. A. and JONES, H. G. (1977): Effects of abscisic acid and water stress on development and morphology of wheat. *J. Exp. Bot*. 28: 192-203.

QUARRIE, S. A., GULLI, M., CALESTANI, C., STEED A. and MARMIROLI, N. (1994): Location of a gene regulating drought-induced abscisic acid production on the long arm of chromosome 5A of wheat. *TAG* 89 (6):794-800.

QUISENBERRY, J. E., CARTWRIGHT, G. B. and McMICHAEL, B. L. (1984): Genetic relationship between turgor maintenance and growth in cotton germplasm. *Crop Sci.* 24: 479-486.

RASCIO, A., CEDOLA, M. C., SORRENTINO, G., PASTORE, D. and WITTMER, G. (1988): Pressure-volume curves and drought resistance in two wheat genotypes. *Physiol. Plant.* 73: 122-127.

RAWSON, H. M., EVANS, L. T. (1971): The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. *Aust. J. Agric. Res.* 22: 851-863.

REGAN, K. L., WHAN B. R., and TURNER, N. C. (1993): Evaluation of chemical dessiccation as a selection technique for drought resisitance in a dryland wheat breeding program. *Aust J. Agr. Res.* 44: 1683-1691.

RICHARDS, R. A. (1996): Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20: 157-166.

RICHARDS, R. A. and PASSIOURA, J. B. (1981): Seminal root morphology and water-use in wheat. *Crop Sci.* 21: 253-255.

RIZZA, F., CATTIVELLI, L., BADECK, F. W., ALBERICI, R., LI DESTRI, O. and STANCA, M. (2002): Yield potential and actual yield of barley genotypes grown in South Italy under rainfed and irrigated conditions. *EUCARPIA Cereal Section Meeting* 21-25 November 2002 Salsomaggiore, Italy p.: 223.

ROARKE, B. and QUISENBERRY, J. E. (1977): Environmental and genetic components of stomatal behaviour in two genotypes of upland cotton. *Plant Physiol.* 59: 354-358.

ROGERS, H. H. és BOTTOMLEY, P. A. (1987): In situ nuclear magnetic resonance imaging of roots: influence of soil type, ferromagnetic particle content, and soil water.
Agronomy journal 79(6): 957-965.

ROSE, É. and KIRKHAM, M. B. (1982): Root growth of a tall and short winter wheat. *Kansas Water N.* 24(182): 22-26.

ROSEN, H. (1957): Modified colorimetric analysis of amino acids by ninhydrine. *Arch. of Biochem. and Biophys.* 67: 10-15.

ROSENOW, D.T., QUISENBERRY, J. E. and WENDT, C.W. (1983): Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. *Agric Water Management* 7: 207-222.

ROSS, W. M. (1972): Effects on bloomles (blbl) on yield in combine Kafir 60. *Sorghum Newsl.* 15: 121-134.

SANJERI PIREIVATLOU, A., and ALIYEV, R.T. (2008): Stem reserve and its contribution to grain yield of wheat (*Triticum aestivum L.*) genotypes under drought stress conditions In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.)

Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium. Sydney: Sydney University Press.

SANKHLA, N. A., UPADHYAYA, A. and DAVIS, T. D. (1988): Polyamines in plant growth and development. In: Purohit, S. S. (ed.) *Hormonal regulation of plant growth and development.* IV. Agro-Botanical Publishers, Bikaner, India. pp. 171-204.

SAYRE, K. D., RAJARAM, S. and FISCHER, R. A. (1997): Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. *Crop Sci.* 37: 36-42.

SCHRAMM, E., ABELLERA, J., STRADER, L., CAMPBELL, K.G., and STEBER, C. M. (2008): Can ABA signaling be used to develop drought tolerant wheat? In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

SEETHARAMA, N., SUBBA REDDY, B. V., PEACOCK, J. K. and BIDINGER, F. R. (1982): Sorghum improvement for drought resistance In: *Drought resistance in crop plants with emphasis on rice*. I.R.R.I. Los Banos Philippines. p. 317-325.

SELVAPANDIYAN, A., SUBRAMANI, J., BHATT, P. N. and MEHTA, A. R. (1988): A simple method for direct transplantation of cultured plants to the field. *Plant Science* 56: 81-83.

SHAKOOR, A. (1983): Breeding for moisture stress conditions. In: Holmes, J. C. and Tahir, W. M. (eds.) *More food from better technology*. Proc. of Int. Seminar F.A.O. Rome. pp. 194-200.

SHARP, R. E. (1990): Comparative sensitivity of root and shoot growth and physiology to low water potentials. *Importance of root to shoot communication in responses to environmental stress.* British Soc. Plant Growth Regulation, Oxford, 21: 29-44.

SHEARMAN, V. J., SYLVESTER-BRADLEY, R., SCOTT, R. K. and FOULKES, M. J. (2005): Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Sci.* 45: 175-185.

SHIMSHI, D. and EPHRAT, J. (1975): Stomatal behaviour of wheat cultivars in relation to their transpiration, photosynthesis and yield. *Agron J.* 67: 326 -331.

SHINOZAKI, Y. and SHINOZAKI K. (1993): Arabidopsis DNA encoding two desiccation-responsive rd29 genes. *Plant Physiol.* 101: 1119-1120.

SIMMONS, S. R. and CROOKSTON, R. K. (1979): Rate and duration of growth of kernels formed at specific florets in spikelets of spring wheat. *Crop Sci.* 19 : 690-693.

SINCLAIR, T. R. and LUDLOW, M. M. (1988): Influence of water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 329-341.

SINCLAIR, T. R. PURCELL, L. C. and SNELLER, C. H. (2004): Crop transformation and the challenge to increase yield potential. *Trends Plant Sci*. 9 : 70-75.

SIRAULT, X. R. R., CONDON, A. G., REBETZKE, G. J., and FARQUHAR, G. D. (2008): Genetic analysis of leaf rolling in wheat. In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

SIVAMANI, E., BAHIELDIN, A., WRAITH, J. M., AL-NIEMI T., DYER W. E., DAVID HO, T.H., QU, R. (2000): Improved biomass productivity and water use efficiency under water deficit conditions in transgenic wheat constitutively expressing the barley *HVA1* gene *Plant Science* 155: 1–9.

SLOCUM, R., KAUR-SAWHNEY, R. and GALSTON, A. W. (1984): The physiology and biochemistry of polyamines in plants. *Arch. Biochem. Biophys*. 235: 283-303.

SMITH, T.A. (1984): Putrescine and inorganic ions. *Recent Adv. Phytochem.* 18: 7-54.

SMITH, T.A. (1985): Polyamines. *Annu. Rev. Plant. Physiol*. 36: 117-143.

SOFIELD, I., EVANS, L. T., COOK, M. G. and WARDLAW, I .F. (1977): Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol*. 4: 785-797.

SOJKA, R. E., STOLZY, L. H. and FISCHER, R. A. (1981): Seasonal drought response of selected wheat cultivars. *Agron. J*. 73: 838.

SPIERTZ, J. H. J. and ELLEN, J. (1978): Effects of nitrogen in crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Neth.J. Agric. Sci.* 26: 210-231.

SZEGLETES, ZS., ERDEI, L., TARI, I. and CSEUZ, L. (2000): Accumulation of osmoprotectants in wheat cultivars of different drought tolerance. *Cereal Res. Com.* 28(4): 403-410.

SZŐKE, P., CSINTALAN, ZS., SZENTE, K. és TUBA, Z. (1991): A tápanyagellátás hatása az őszi búza és szója CO_2 gáz- és vízgőzcseréjére. *IV. Magyar Növényélettani Kongresszus* Szeged, 1991. július 10-12

TOMAR, M. S. S. and KUMAR, G.T. (2004): Seedling survivability as an selection criterion for drought tolerance in wheat. *Plant Breeding* 123: 392-394.

TRIVEDI, S., GALIBA, G., SANKHLA, N. and ERDEI, L. (1991): Responses to osmotic and NaCl stress of wheat varieties differing in drought and salt tolerance in callus cultures. *Plant Sci.* 73 : 227-232.

TURNER, N. C. (1981): Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58: 339-366.

TURNER, N. C. (1986): Adaptation to water deficits: A changing perspective *Aust. J. Plant Physiol*. 13: 175-190.

TURNER, N. C., O`TOOLE, J. C., CRUZ, R. T., MANUCO, O. S. and AHMAD, S. (1986): Response of seven diverse rice cultivars to water deficit. I. Stress development, canopy temperature, leaf rolling and growth. *Field Crops Res.* 13: 257-272.

VENORA, D. and CALCAGNO, F. (1991): Influence of the vascular system in *Triticum durum Desf.* on drought adaptation. *Cereal Res. Com.* 19(3): 319-327.

VIEIRA, R. D., TEKRONY, D. M. and EGLI, D. B. (1992): Effect of drought and defoliation stress in the field on soybean seed germination and vigor. *Crop Sci.* 32: 471–475.

VILLAX, Ö. (1944): Növénynemesítés. I. In: Villax, Ö. (szerk.) *Általános növénynemesítés.* Magyaróvár. pp. 296-298.

WADDINGTON, S. R., RANSOM, J. K., OSMANZAI, M. and SAUNDERS, D. A. (1986): Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Sci.* 26: 698-703.

WARDLAW, I. F. (1967): The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I. Effect during grain development in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* 20: 25-29.

WEBSTER, O.J. (1977): Sorghum in Arizona. *Sorghum Newsl.* 20: 81-84.

WEIR, A. H. and BARRACLOUGH, P. B. (1986): The effect of drought on the root growth of winter wheat and on its water uptake from a deep loam. *Soil use and management* 2(3): 91-96.

WILLIAMS, T. V., SNELL, R. S. and ELLIS, J. F. (1967): Methods of measuring drought tolerance in corn. *Crop Sci.* 7: 179-182.

WILSON, J. R., FISHER, M. J., SCHULZE, E. D., DOLBY, G. R. and LUDLOW, M. M. (1979): Comparison between pressure-volume and dewpoint hygrometry techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. *Oecologia (Berl.)* 41: 77-88.

WINTER, S. R., MUSICK, J. T. and PORTER, K. B. (1988): Evaluation of screening techniques for breeding drought resistant winter wheat. *Crop Sci.* 28 (3): 512-516.

WINTERBERG, A., ERNEZ, M. and LANNOYE, R. (1990): Quantification of photosynthetical disorders in stressed plants : conceptual and methodological aspects. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 137: 31-36.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI K., KASUGA M., LIU Q., NAKASHIMA K., SAKUMA, Y., ABE H., SHINWARI Z.K., SEKI, M., SHINOZAKI K. (2002): Biological mechanisms of drought stress response. *JIRCAS Working Report*. 2002: 1-8.

ZHANG, J. Z., CREELMAN, R. A. and ZHU, J. K. (2004): From laboratory to field. Using information from arabidopsis to engineer salt, cold, and drought. *Plant Physiology* 135: 615-621.

ZHIPONOVA, M., SZILÁK, L., ERDEI, L. and DUDITS, D. (2002): Comparative approach for the isolation of genes involved in the osmotolerance of wheat. Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. *Acta Biol. Szeg.* 46 (3-4): 49-51.

M2. A TÉMÁHOZ SZOROSAN KAPCSOLÓDÓ BIBLIOGRÁFIA

CSEUZ, L. (1990a): Testing the drought resistance of winter wheat varieties by laboratory and field methods. In: Panayotov, I. and Pavlova, S. (Eds.) *Wheat Breeding- Prospects and Future Approaches.* Proc. Int. Symp. Albena, Bulgaria. pp. 214-219.

CSEUZ, L. (1990b): Őszi búza (*Triticum aestivum L.*) fajták tesztelése szárazságtűrésre egyszerű laboratóriumi módszerekkel. *Növénytermelés* 39(3): 227-233.

CSEUZ, L. and ERDEI, L. (1994): Plant water status studies and simple field screening methods for selecting drought tolerant genotypes in wheat. In: P. C. Struik et al. (eds.) *Plant production on the threshold of a new century.* Kluwer Academic Publishers. pp. 437-438.

CSEUZ, L. (1995)**:** Breeding Wheat for Drought Tolerance in the Cereal Research Institute. *Proceedings of INTERDROUGHT* Montpellier, France. p. IX/4

CSEUZ, L. and ERDEI, L. (1996): Improving the drought tolerance of winter wheat in a breeding program. *Proceedings of the 5th International Wheat Conference* Ankara pp.176 -177.

CSEUZ L. és MATUZ J. (1998)**:** A Környezeti Tényezők Hatása a Perspektivikus Búzatörzsek Termésmennyiségére. *IV. Növénynemesítési Tudományos Napok.* Összefoglalók p. 37

CSEUZ, L., KERTÉSZ, Z., MATUZ, J., MÓZSIK, L., SZEGLETES, ZS., and L. ERDEI (1998)**:** Wheat breeding system with special attention to tolerance to abiotic stresses. *Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium* Vol.4 1998 Saskatoon, Sask. pp.13-15.

CSEUZ L., KERTÉSZ Z., PAUK J., FÓNAD P., BEKE B. és MATUZ J. (2001)**:** Szárazságtoleráns kenyérbúza *(Triticum aestivum L.)* és durum búza (*Triticum turgidum var. durum*) vonalak előállítása pedigré nemesítési rendszerbe illeszthető szelekciós módszerek alkalmazásával. *VII. Növénynemesítési Tudományos Napok 2001. január 23-24.* Összefoglalók p. 37.

CSEUZ L., PAUK J., BARTÓK T., ERTUGRUL F., KERTÉSZ Z., és MATUZ J. (2002a)**:** Búzanemesítés szárazságtűrésre hagyományos és géntechnológiai módszerekkel *VIII. Növénynemesítési Tudományos Napok 2002. február.* Összefoglalók p. 12-13

CSEUZ, L., PAUK, J., KERTÉSZ, Z., MATUZ, J., FONAD, P., TARI, I. and ERDEI, L. (2002b)**:** Wheat breeding for tolerance to drought stress at the Cereal Research Non-Profit Co. Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, *Acta Biol. Szegediensis* 46(3-4): 25-26.

CSEUZ, L., PAUK, J., KERTÉSZ, Z., MATUZ, J., FÓNAD, P. and ERDEI, L. (2002c)**:** Breeding drought tolerant wheat genotypes: selection methods *EUCARPIA Cereal Section Meeting 21-25 November* 2002 Salsomaggiore, Italy p: 171.

CSEUZ, L., KERTÉSZ, CS., FONAD, P., KOVÁCS, E., ÓVÁRI, J. MATUZ, J., and KERTÉSZ, Z. (2006)**:** Progress in Yield Components and Yield Potential in Bread Wheat and Durum Wheat Genotypes. *EUCARPIA Cereal Section Meeting* 13-17 November 2006, Lleida, Spain. Abstracts p.169.

CSEUZ, L., PAUK, J., FÓNAD, P., KOVÁCS, E., and MATUZ, J. (2008): Field selection of winter wheat genotypes tolerant to water shortage with a mobile automatic rain shelter (MARS) and chemical desiccation. In: R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, P. Sharp (Eds.) *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium.* Sydney: Sydney University Press.

CSŐSZ, M., CSEUZ, L., KERTÉSZ, Z. and PAUK, J. (1994): The effects of biotic environmental factors on the yield of different winter wheat (*T. aestivum L.*) genotypes. In: P. C. Struik et al. (eds.) *Plant production on the threshold of a new century.* Kluwer Academic Publishers. pp. 481-483.

ERDEI, L., TARI, I., CSISZÁR, J., PÉCSVÁRADI, A., HORVÁTH, F., SZABÓ, M., ÖRDÖG, M., CSEUZ, L., ZHIPONOVA, M., SZILÁK, L. and GYÖRGYEY, J. (2002a): Osmotic stress responses of wheat species and cultivars differing in drought tolerance: some interesting genes (advices for gene hunting) Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 63-65.

ERDEI, L., TARI, I., CSISZÁR, J., PÉCSVÁRADI, A., HORVÁTH, F., SZABÓ, M., ÖRDÖG, M. and CSEUZ, L. (2002b)**:** Physiological and biochemical responses to osmotic stress of wheat species and varieties differing in drought tolerance: advices for gene hunting. *Chinese - Hungarian Workshop on Molecular genetics and breeding in wheat*, Martonvásár

FEHÉRNÉ, J. E., CSEUZ, L., HORVÁTH., V. G., MAI, A., SECENJI, M., SASS, L., HIDEG, É., VASS, I., DUDITS, D. and PAUK, J. (2006): A búzába történő génbeépítés módszerei és a hazai géntechnológiai eredmények a búzaszárazságtűrésének javítására. In.: Dudits Dénes (szerk.) *A búza nemesbítésének tudománya a funkcionális genomikától a vetőmagig.* MTA Szegedi Biológiai Központ Winter Fair Szeged. pp. 99-110.

HOFFMANN, B., CSEUZ, L. és PAUK J. (2006): Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. In: (Szerk.: Dudits D.) *A búza nemesbítésének tudománya a funkcionális genomikától a vetőmagig.* MTA Szegedi Biológiai Központ Winter Fair Szeged. 5(6): 191-224.

KERTÉSZ, Z. MATUZ, J. PAUK, J., MESTERHÁZY, Á., PAPP, M., CSEUZ, L., KERTÉSZ, C. and CSŐSZ, M. (1998): Traditional and novel wheat breeding methods used in Hungary. In:. Braun, H. J. et al. (eds.), *Wheat Prospects for Global Improvement* Kluwer Academic Publishers. pp. 37-45.

PÁLFI, G., GULYÁS, S., RAJKI, E.S. and CSEUZ, L. (1988): The proline test - a method to the demonstration of the water deficiency and of frost - and to the qualification of pollens. *Acta Biol. Szeg.* 34: 11-25.

PÁLFI-DEIM, G., GULYÁS, S. and CSEUZ, L. (1989): Demonstration of the extent of drought resistance in winter wheat varieties, and study of the proline accumulation ability of 25 cultivated species. *Acta Biol. Szeg*. 35: 81-89.

PAUK, J., ERTUGRUL, F., BARTÓK, T., MIHÁLY, R., KISS, O., CSEUZ, L. and DUDITS D. (2002a): Improvement of wheat abiotic stress resistance via genetic transformation. Procceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. *Acta Biol. Szeg.* 46(3-4): 5-7.

PAUK, J., ERTUGRUL, F., KÓTAI, É., BARTÓK, T., MIHÁLY, R., KISS, O., CSEUZ, L., GYÖRGYEY, J., and DUDITS, D. (2002b): Breeding drought tolerant wheat genotypes: Utilizing alien genes (ALR, Ferritin) *EUCARPIA Cereal Section Meeting*. 21-25 November 2002 Salsomaggiore, Italy p.: 119.

SZEGLETES, ZS., ERDEI, L., TARI, I. and CSEUZ, L. (2000): Accumulation of osmoprotectants in wheat cultivars of different drought tolerance. *Cereal Res. Com.* 28(4): 403-410.

M3. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

ÁBRÁK

1. ábra A Föld vízellátottsági térképe.....5
2. ábra A búza országos termésátlaga és az éves átlagcsapadék adatok (1955-2007).....6
3. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés (Szeged, 2002)……..34
4. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés. (Szeged, 2003)…….35
5. ábra A csapadék és a kiegészítő öntözés. (Szeged, 2004)…….35
6. ábra Az ozmotikus stressz hatása a búzaszemek csírázóképességére (Szeged, 1989)……..41
7. ábra Az évjárat hatása a búzafajták (46) csírázási százalékára 25 %-os PEG oldatban (Szeged, 1991-1992) ……42
8. ábra A 20 és 25 %-os PEG oldat hatása a búzafajták gyökérnövekedésére……..43
9. ábra Búzafajták leveleinek vízvesztése a 24 órás deszikkálás után (Szeged, 1990-1992)……45
10. ábra Élve hervasztott búzalevelek és kalászok prolintartalma a szárazanyag %-ában - korai fajták (Szeged, 1988)……49
11. ábra Élve hervasztott búzalevelek és kalászok prolintartalma - középérésű fajták (Szeged, 1988)……49
12. ábra Relatív vízhiány a búzafajták zászlóslevél turgorának elvesztésekor……50
13. ábra Állománysűrítés hatása a búzafajták ezerszemtömegére (Szeged, 1990)…….....52
14. ábra Deszikkációs teszt (Szeged, Kecskés-telep, 2001)…….53
15. ábra Kémiai deszikkálás hatása a búzafajták szemtömegére…….……...…..54
16. ábra Klaszteranalízis. A szemtermés, az érzékenységi mutató és aszárazságtűrési tesztek eredményeinek csoportosítása (Szeged, 2003)……...69
17. ábra Klaszteranalízis. A szemtermés, az érzékenységi mutató és aszárazságtűrési tesztek eredményeinek csoportosítása (Szeged, 2004) …….……70
18. ábra A genetikai előrehaladást vizsgáló kísérlet. (Szeged, 2003)…….……..70
19. ábra A 2003. és 2004. évi hőösszeg adatai valamint a 30 éves átlag áprilistól júniusig…….71
20. ábra Havi csapadékadatok március és az aratás között (Szeged, 2003-2004)……71
21. ábra Búzafajták szemtermés eredményeinek változása a kezelés (high input) és az évjárat hatására (Szeged, 2003-2004)……72
22. ábra Az évjárat hatása a búzafajták növénymagasságára (Szeged, 2003-2004)……74
23. ábra Stabilitás analízis: Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban (Szeged, 2003-2004)….76
24. ábra Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban. Terméskomponensek csoportosítása (Szeged, 2003-2004), klaszteranalízis…….……..77

25. ábra Búzafajták (71) csoportosítása a szemtermés és a terméskomponensek változása alapján (Szeged, 2003-2004), klaszteranalízis……...78
26. ábra A szárazságtűrést tesztelő szelekciós módszerek alkalmazása a fajtaelőállításban……80

TÁBLÁZATOK

1. táblázat A csírázási kísérletekben szereplő búzafajták (46/1991; 74/1992) neve, származása és rövidítése……..26
2. táblázat Meteorológiai adatok a kiválasztott négy termőhelyen (2001-2004)……..….35
3. táblázat A genetikai előrehaladás vizsgálatában részt vevő fajták legfontosabb jellemzői……..37
4. táblázat Búzafajták zászlósleveleinek kezdeti víztartalma, 24 órás deszikkálás utáni víztartalma és vízvesztesége. (Szeged 1990, 1991, 1992)……44
5. táblázat Az élve hervasztott búzalevelekben illetve búzakalászokban akkumulált prolin mennyisége a legkisebb prolinfelhalmozó fajta százalékában (korai fajták), (Szeged, 1988)…….....45
6. táblázat Az élvehervasztott búzalevelekben illetve búzakalászokban akkumulált prolin mennyisége a legkisebb prolinfelhalmozó fajta százalékában (középérésű fajták) (Szeged, 1988)……..46
7. táblázat A nátrium-klorátos deszikkálás hatása a búza genotípusok ezerszemtömegére……53
8.táblázat A különböző szárazságtűrési tesztek adatsorai közötti összefüggések korreláció koefficiensei ……54
9. táblázat Néhány fajta teljesítménye az elvégzett tesztekben……...55
10. táblázat Levágott zászlóslevelek kezdeti és deszikkált relatív víztartalma és víztartó képessége ……..……..56
11. táblázat Az ezerszemtömeg csökkenése a deszikkációs stressz hatására (Szeged, 2001-2004)……..……..58
12. táblázat Az évjárat hatása a szemtermés, a terméskomponensek és egyes beltartalmi tulajdonságok változására…….……..64
13. táblázat Az öntözés hatása egyes agronómiai bélyegekre, a levélfelület hőmérsékletére és a klorofill tartalomra (Szeged, 2002-2004)……..……62
14. táblázat A kiválasztott négy év (2001-2004) szemtermés eredményei négy termőhelyen ..…65

15. táblázat A stresszérzékenységi mutató, a kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció (Szeged, 2001)……66
16. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi mutató, és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció r értékei (Szeged, 2002)……67
17. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei (termésre és ezerszemtömegre) között számolt korreláció r értékei (Szeged, 2003)……68
18. táblázat A termésből számolt stresszérzékenységi mutató, és kiválósági mutató, a 9 termőhelyen mért szemtermés, és a szárazságtűrési tesztek eredményei közötti korreláció r értékei (Szeged, 2004)……68
19. táblázat Az évjárat hatása a szemtermés, a terméskomponensek és egyes beltartalmi tulajdonságok változására a kezelt állományban (Szeged, 2003-2004)……73
20. táblázat A szemtermés, a terméskomponensek és minőségi bélyegek alakulása fajtacsoportok szerint a két eltérő évjárat átlagában (Szeged, 2003-2004)……75
21. táblázat Búzafajták szemtermése eltérő évjáratokban (Szeged, 2003-2004), variancia táblázat ……77
22. táblázat A közreműködésemmel előállított elismert kalászos fajták listája……88

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A PhD értekezésben leírt kísérletek a szegedi Gabonatermesztési Kutatóintézet, majd jogutódja a szegedi Gabonatermesztési Kutató Kht. területén, az említett intézmények eszközeit és munkatársainak segítségét felhasználva készülhettek el. Köszönet érte!

Köszönöm Barabás Zoltánnak és Kertész Zoltánnak, hogy elindítottak ezen a pályán és sokat tanulhattam tőlük.

Köszönöm az intézet vezetőinek Szániel Imrének, Erdei Péternek, Frank Józsefnek és Matuz Jánosnak a végzett munkámhoz szükséges feltételek megteremtését. Matuz Jánosnak, közvetlen fölöttesemnek a dolgozat készítéséhez adott segítségért is hálás köszönet jár.

Köszönöm Heszky László akadémikusnak, témavezetőmnek a munkámhoz és a dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítséget, a tanácsokat és a bátorítást.

Köszönöm minden kollégámnak a baráti tanácsokat és az ösztökélő szavakat. Név szerint Bóna Lajosnak, Falusi Jánosnak, Purnhauser Lászlónak, Pauk Jánosnak. Külön köszönöm Beke Bélának, Csősz Lászlónénak, Fónad Péternek, Mesterházy Ákosnak, Sági Ferencnek és Tóth Beátának a dolgozat összeállításához nyújtott önzetlen segítségét.

Köszönet jár még a kitűnő tanácsokért John Clarkenak, Basilio Borghinak és Erdei Lászlónak.

Köszönöm a kétkezi segítséget, a kísérletek összeállításához és kivitelezéséhez való hozzájárulást és a jó ötleteket korábbi és jelenlegi technikusainknak, név szerint Szokol Szilárdnénak, Oltványi Sándornénak, Pusztai Noéminek, Kovács Istvánnénak és Berki László telepvezetőnek.

Köszönöm a kísérletek kivitelezésében nyújtott segítséget a GK Kht. kecskés-telepi dolgozóinak név szerint Tóth Károlynénak, Mityók Sándornénak, Maróti Józsefnének, Vér Zoltánnénak, Selmeczi Istvánnak, Nagyhaska Istvánnak és Vida Zsoltnak.

Köszönöm családomnak a türelmet és a nyugodt hátteret, ami lehetővé tette a dolgozat összeállítását.