

## Hatékony vízfelhasználás a fenntartható gabonatermesztés kulcsa

*A szántóföldi termesztés egyik legfontosabb limitáló tényezője az időjárás, mely meghatározza a termésmennyiséget és annak minőségét is, ezen keresztül a termelői munka jövedelmezőségét.*

*A csapadék mennyisége és a hőmérséklet alakulása az a két legfontosabb éghajlati tényező, melynek hosszú távú módosulásai, valamint szélsőséges értékei befolyásolhatják leginkább a szántóföldi gazdálkodást.*

**A**növények rendelkezésére álló vízkészletekkel való gazdálkodást egyrészt meteorológiai és termésmutatók összevetésével, másrészt kísérletes úton vizsgáltuk. A 20. században mért adatsorok alapján évi és havi bontásban elemeztük, hogy milyen módosulások mutathatók ki a csapadék és a hőmérséklet alakulásában, illetve a rendelkezésre álló forrásokat, adottságokat. A vizsgálat második részében a legfontosabb szántóföldi növényeink, az őszi búza és a kukorica országos termésátlagának alakulását vizsgáltuk meg, hogy meghatározzuk, milyen szerepe lehetett a vízellátottságnak az egyes periódusokban, melyeket a termesztéstechnológia jelentős változásainak időpontjaihoz kötöttünk. Statisztikai vizsgálataink alapján a modern fajták alkalmazása ellenére, napjainkban a korábbiaknál is nagyobb mértékben az időjárási hatások, elsősorban a csapadékjellemzők befolyásolják az elérhető termés mennyiségét. Üvegházi modellkísérletekben őszi búza genotípusok CO<sub>2</sub>-reakcióját vizsgáltuk optimális vízellátásnál, valamint a fejlődés vízigény és a termésképzés tekintetében is kritikus fázisaiban szimulált aszályhelyzetben. A növények vízfogyasztását (WU; m<sup>3</sup>) öntözésről-öntözésre mérlegeléssel határoztuk meg hetente három alkalommal és ezt a szemtermés mennyiségéhez (kg) viszonyítva számítottuk ki a transpiráció produktivitását (WUE; kg/m<sup>3</sup>). Jelentős különbségeket tapasztaltunk a fajták vízmegvonással szembeni érzékenységében, valamint abban, hogy az átmeneti vízhiány hogyan befolyásolta a teljes tenyészidőszakban felvett vízmennyiség hasznosulását. A 700 és 1000 ppm szintre emelt légköri CO<sub>2</sub>-koncentráció a fajták egy részénél jelentősen javította a vízhasznosító képességet mind a kontroll állományban, mind pedig a kezelt növényeknél. Eredményeink alapján az emelt CO<sub>2</sub> kedvezőbb vízhasznosítást eredményezett, ezáltal csökkentette a vízhiány okozta termésvesztéséget.

### Bevezetés

Az egyik legnagyobb kihívás, mellyel a jövő mezőgazdaságának szembe kell néznie az, hogy folyamatosan növekvő népességet kell ellátni étellemmel, miközben ehhez egyre csökkenő vízkészletek állnak rendelkezésre (Pask és Reynolds, 2013). Az előjelzett tren-

dek alapján melegebb és szárazabb nyarak várhatók Európában különösen a kontinens déli és középső részén (IPCC, 2007) és ez az aszály egyre gyakoribb kialakulásához vezethet (Lehner és mtsai, 2006). A limitált vízkészletekkel történő gazdálkodás miatt kiemelkedő jelentőségű, hogy a növények a talajban rendelkezésre álló vízkészletekkel a leghatékonyabban gazdálkodjanak. A hőhullámokkal párosuló aszályhelyzetek és az extrémításokból eredő, növekvő termés-variabilitás (Jones és mtsai, 2003) várhatóan a potenciális termésmennyiség elérését jelentősen csökkentik (Trnka és mtsai, 2004). A hőmérsékletemelkedés várhatóan csökkenti a tenyészidőszak hosszát, ennek hatása nemcsak a termésmennyiség csökkenésében, hanem a felhasznált vízkészletek hasznosulásában is változásokat fog okozni. Az átlaghőmérséklet emelkedésének elsődleges oka a légköri CO<sub>2</sub> szint növekedése. A nagyobb koncentrációban rendelkezésre álló CO<sub>2</sub>, az abiotikus stresszhatások, így a vízhiány terméscsökkentő hatását is mérsékelheti (Varga és Bencze, 2009). Számos szerző, a világ különböző pontján kimutatta, hogy jelentős különbség van az egyes őszi búzafajták transpirációs produktivitása között (Dong és mtsai, 2011; Miranzadeh és mtsai, 2011), azonban annak ismerete is fontos, hogy a WUE értéke hogyan változik, ha a növény vízellátása limitált (Varga és mtsai, 2013; Varga és mtsai, 2014). Aszályos körülmények között Xue és munkatársai (2006) azt tapasztalták, hogy a WUE értékei a nagyobb termőképességű genotípusoknál relatív magasabbak.

A mezőgazdasági termelés hatékonyságát és jövedelmezőségét a mikro- és makrogazdasági környezet alapozza meg, melyhez a termelők a megfelelő gazdasági stratégia megválasztásával tudnak alkalmazkodni. A szántóföldi növénytermesztés során különösen fontos a megfelelő természetstechnológia kiválasztása, mely az agrotechnika helyes alkalmazásán túlmenően magában foglalja a megfelelő vetésszerkezet kialakítását, valamint a terület adottságaihoz leginkább alkalmazkodni képes fajta kiválasztását. A termelés sikerességét azonban egyéb hatások is befolyásolják, melyekre fel lehet készülni, lehet hozzájuk alkalmazkodni, az okozott károkat lehet enyhíteni. A környezeti hatások közül a meteorológiai tényezők alapvetően befolyásolják a termelést. Kedvező körülmények között a megfelelő fajták kiemelkedő termés elérésére képesek, abban az esetben viszont, ha a környezeti feltételek nem optimálisak, vagy egyenesen kedvezőtlenek, a termésmennyiség csökkenésével, a minőség romlásával kell számolni. Az utóbbi két-három évtizedben az időjárási eredetű káresemények száma és az okozott kár mértéke is drasztikusan növekedett.

### **Az alkalmazkodóképesség szerepe a martonvásári búzanesemítésben**

Martonvásáron a búzafajták nemesítésénél az elmúlt évtizedekben kiemelt figyelmet fordítottunk a genotípusok különböző környezeti hatásokra adott reakcióinak vizsgálatára. A nemesítési munka eredményeként olyan genotípusok kerültek be a fajtaválasztékba, melyek jól alkalmazkodnak a szélsőségesre forduló környezeti hatásokhoz, és a tőlük elvárt termésmennyiséget és minőséget megbízhatóan teljesítik.

### **Extrém meteorológiai események és növénytermesztési hatásaik**

A szélsőséges környezeti tényezők termésmennyiségre és termésminőségre kifejtett kedvezőtlen hatásai részben ellensúlyozhatók megfelelő fajta és agrotechnika alkalmazásával. Az 1980-as éveket követően az időjárásnak a termésmennyiség alakulásában játszott szerepe látványosan növekedett, ami azt jelzi, hogy a meteorológiai és vízgazdálkodási tényezők a növénytermesztés első számú limitáló tényezőivé léptek elő. Ez egyrészt

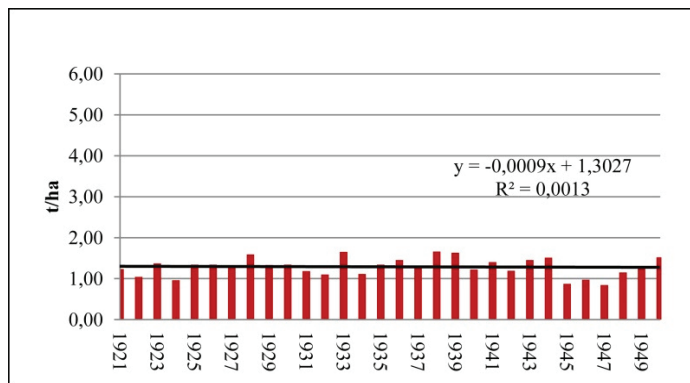
a szántóföldi növénytermesztés intenzitás-csökkenésének tudható be, mely magába foglalja a tápanyag-utánpótlás színvonalának, a növényvédelmi beavatkozások számának, valamint a fémzárolt vetőmag felhasználásának csökkenését. Másrészt viszont a termés variabilitásának növekedéséhez hozzájárul a környezeti tényezők, elsősorban az extrém, de sok esetben csupán az átlagostól jelentősebb mértékben eltérő meteorológiai események számának növekedése is. A meteorológiai elemek közül a léghőmérséklet és a csapadékeloszlás szélsőségei kapcsolódnak legszorosabban a szántóföldi termeléshez, de jelentős hatása van a szélviszonyok változásainak is.

Az elmúlt évtizedekben bekövetkezett extrém meteorológiai és vízgazdálkodási szélsőségek tételes számba vétele hosszú listát eredményezne, elegendő csupán a 2007. július végi hóhullásra gondolnunk, a 2003-as és a 2009-es aszályokra, vagy a 2010-es év extrém csapadékos időjárására, amikor a betakarításnál és a vetésnél is sok helyen okozott problémákat a vízborítás.

### A környezeti hatások szerepe a szántóföldi gazdálkodás eredményességében

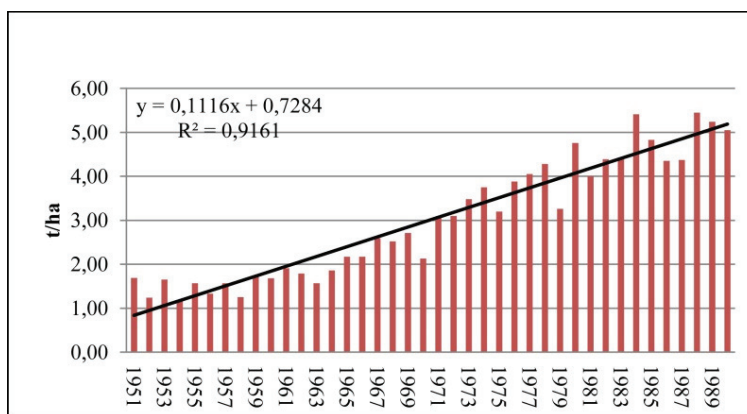
Az őszi búza és a kukorica országos termésátlagának alakulását vizsgáltuk meg abból a szempontból, hogy a rendelkezésre álló 90 éves periódusban mely tényezők határozták meg a termésszintek alakulását, és ezen belül milyen szerepe lehetett a környezeti hatásoknak az egyes időszakokban. Elkülönítettünk időpontokat, amikor a terméseredmények tendenciái gyökeres változásokon mentek át. Elemzésünk során a növénynevelési munka főbb állomásait, valamint a gazdaságpolitikai háttér gyökeres változásait vettük figyelembe, és az 1921-től napjainkig rendelkezésre álló termés idősorokat három részre bontottuk.

Az első periódusnak a nyilvántartások indulásától az intenzív növénynevelési munka kezdetéig tartó időszakot választottuk, amikor a régi magyar fajták adták az őszi búzatermés zömét. Ezt az időszakot az alacsony termésszintek mellett az évjáratok közötti jelentős terméskülönbségek jellemezték (1. ábra). Ez a tendencia az agrotechnikai beavatkozások alacsony színvonalából, a betakarítás gyakori elhúzódságából, a munkafolyamatok alacsony szintű gépesítettségéből, valamint a fajták rossz állóképességéből adódhatott; de a jelentős évjáratathatást az időjárási tényezők okozhatták.



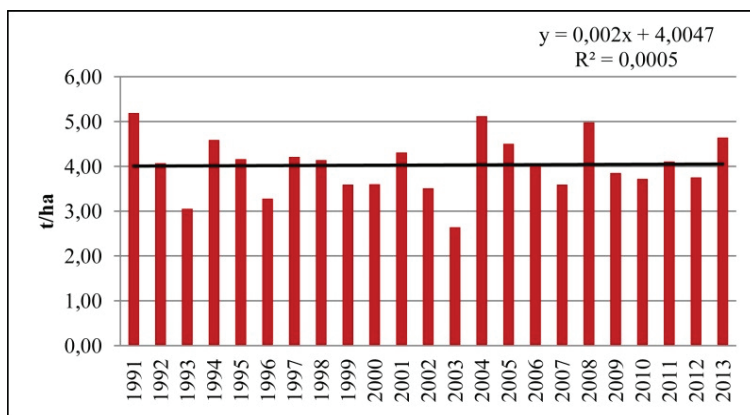
1. ábra. Az őszi búza országos termésátlagai 1921–1950 között.

Az '50-es évek elején hazánkban is elindultak az intenzív búzanemesítési programok, majd a '60-as évek elején állami fajtaelismerésben részesültek azok a külföldi fajták (például: Bezosztaja 1), melyek később meghatározóak lettek a termesztésben. Az első martonvásári búzafajta 1971-es állami fajtaelismerését követően szinte minden évben új fajtával bővítette intézetünk a fajtakinálatot, ami hozzájárult ahhoz, hogy a Bezosztaja 1 a '80-as évekre kiszorult a piacról. Ebben az időszakban a termésátlagok folyamatosan, éves szinten több, mint 110kg/ha-ral növekedtek (2. ábra). Az ötvenes évektől szembe-tűnő az éjárathatás csökkenése, melynek fő oka az intenzív gazdálkodásban keresendő. A szerves és műtrágyák nagymennyiségű használata mérsékelte a kedvezőtlen környezeti hatásokból adódó esetleges termésveszteség nagy részét. Az időszak első felében a termésszintek limitáló tényezője azonban még mindig a fajta maradt, majd a '70-es, '80-as évekre egyre inkább a termelés intenzitása határozta meg a szemtermés mennyiségét.



2. ábra. Az őszi búza országos termésátlagai 1951–1990 között

Az 1989-es rendszerváltás új helyzetet eredményezett a szántóföldi növénytermelésben is. Az ezt követő időszak a legérdekesebb a környezeti hatásoknak a terméseredmények alakulásában játszott szerepének vizsgálatában (3. ábra), ugyanis a termelés intenzitása, a tápanyag-utánpótlás színvonala drasztikusan csökkent.

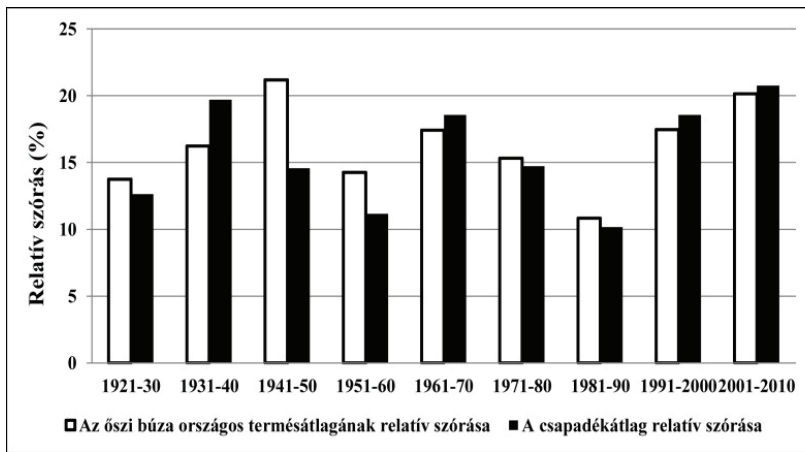


3. ábra. Az őszi búza termésátlagai 1991–2013 között

Az agrotechnikai és növényvédelmi beavatkozások kisebb száma következtében a terméshibiztonság csökkenése figyelhető meg ebben az időszakban. Az évjáráthatást a termésátlagok variációs koefficiensével (CV%) jellemeztük 10 éves periódusonként. A CV% az adott időszaki átlagnak és a szórásnak a hányadosa, azt mutatja meg, hogy az egyes évjáratok mennyire térnek el az időszaki átlagértéktől.

$$CV\% = \frac{\text{szórás}}{\text{átlag}} * 100$$

A búza termésátlagának alakulásában az 1920-as évektől a '40-es évekig fokozatosan növekvő évjáráthatás mutatató ki, majd az ezt követő időszakban az időjárás terméseredményekre gyakorolt hatása csökkent (4. ábra). A 10 éves adatsorok alapján kimutatható évjáráthatás az 1980-as évekre a '40-es években tapasztalt érték felére, 10 százalék körülire csökkent le.



4. ábra. Az őszi búza termésátlagainak és az országos csapadékátlagok variációs koefficiens értékei dekádonként 1921–2010 között

A '90-es években, de még szembetűnőbben a 21. század első évtizedében az időjárás események szerepe ismét jelentősen növekedett, a variációs koefficiens meghaladta a 18 százalékot, ami azt mutatja, hogy a folyamatosan megújuló fajtaválaszték és a potenciálisan rendelkezésre álló agrotechnikai információbázis ellenére az időjárás tényezők szerepe növekedni látszik. Ha a '40-es évektől eltekintünk, amikor a történelmi eseményeknek jelentős hatása volt a terméseredmények ingadozására, akkor a teljes időszorban a 2001–2010 közötti időszakban volt a legnagyobb a termés variabilitása (4. ábra).

Az éghajlati előrejelzéseket figyelembe véve az elkövetkezendő évtizedekben is hasonló tendenciákra kell felkészülni. Annak érdekében, hogy a klíma minél kisebb mértékben érintse negatívan a termelés gazdaságosságát egyrészt széles stressz-rezisztenciával rendelkező fajtákra, másrészt pedig okszerű, hatékony gazdálkodásra van szükség.

### Az őszi búza vízhasznosítása

Magyarországon évente mintegy 1 000 000 hektáron termesztenek őszi búzát, melynek termésátlaga 4 t/ha körül alakult az elmúlt években. Annak tükrében, hogy a búzafajták jelenleg a köztermesztésben a környezeti hatások függvényében 1,0–1,2 kg szemtermést állítanak elő 1 m<sup>3</sup> víz felhasználásával, a búzatermesztés sikerességéhez átlagosan évente

mintegy 3 600 millió m<sup>3</sup> vízkészletre van szükség. Ha a vízfelhasználás hatékonysága javulna, az azt jelentené, hogy a talajok vízkészletének egy része megőrizhető lenne, ami az aszályos időszakban jelentkező károk egy részét képes lenne ellensúlyozni. Annak ellenére, hogy Magyarország felszíni és felszín alatti vizekben gazdag, a mezőgazdaságban a problémák abból adódnak, hogy sok esetben, a víz térben és időben nem ott és nem akkor van jelen, amikor arra szükség lenne. Mivel az őszi búza esetén a jövőben sem várható hogy az öntözés gazdaságossá váljon, kiemelkedő jelentőségű, hogy a termelők mellett a növények is hatékonyan gazdálkodjanak a vízkészletekkel. A növények vízhasznosító képességének egyik legfontosabb meghatározója a fajta genetikai adottsága, amit a rendelkezésre álló vízkészlet mennyiségén túl számos környezeti és agrotechnikai tényező is befolyásol.



5. ábra. Modellkísérlet a vízhasznosítás hatékonyságának meghatározására az MTA ATK üvegházában

Az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Kalászos Gabona Rezisztencia Nemesítési Osztályán vizsgálatsorozatot indítottunk az őszi kalászosok, elsősorban az őszi búza-fajták vízhasznosításának meghatározására (5. ábra). A fajta tenyésztésidőszak teljes vízfelvételét a szemtermés mennyiségéhez viszonyítottuk, valamint meghatároztuk azt is, hogy a tenyésztésidőszak különböző szakaszaiban jelentkező vízhiányos időszakoknak milyen hatása van a felvett vízkészletek hasznosulására.

A vizsgálataink célja modellkísérletek eredményei alapján annak meghatározása volt, hogy az őszi búza fejlődésének különböző, a vízfelvétel és a termésképződés tekintetében jelentős periódusaiban jelentkező aszályhelyzetek hogyan befolyásolják a növények vízfelvételének dinamikáját és a vegetációs periódusban felhasznált vízmennyiség hasznosulását. Vizsgálatokat folytattunk annak meghatározására is, hogy a különböző szintekre emelt légköri CO<sub>2</sub> koncentráció hogyan befolyásolja a vízforgalmi paraméterek alakulását.

### Anyag és módszer

Öt őszi búza (*Triticum aestivum* L.) genotípust (Mv Toborzó /TOB/; Mv Mambó /MAM/; Bánkúti 1201 /BKT/; Plainsman /PLA/ és Cappelle Desprez /CAP/) vizsgáltunk üvegházi modellkísérletben az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetben, Martonvásáron. Ezek közül a Plainsman fajta szárazságtűrő, míg a Cappelle Desprez fajta szárazságra érzékeny kontrollként szerepel a kísérletben. A Bánkúti

1201 régi magyar fajta, az Mv Toborzó a martonvásári fajtasortiment legkorábban érő tagja, míg az Mv Mambó egy keményszemű, nagy termőképességű fajta, mely már számos kísérletben bizonyította kiváló stressztoleranciáját. 42 napos vernalizációt követően 10 literes tenyészedenyekbe 8–8 növényt ültettünk (1. kép). A növényeket hetente háromszor locsoltuk súlyra öntözéssel, a tápanyag-utánpótlást hetente végeztük a szárazságstressz kezdetéig Volldünger komplex műtrágya alkalmazásával. A vízhiányt három fejlődési fázis elérésekor, a szárbainduláskor (SZ), kalászoláskor (KAL) és tejeséréskor (E) szimuláltuk, 7–10 napig tartó teljes vízmegvonással. A tenyészedenyek talajának víztartalmát a szántóföldi vízkapacitás 60 százalékos szintjére állítottuk be a kontroll (K) kezelésben és a teljes tenyészidőszakban ezen a szinten tartottuk, mely 20–25 v/v%-os víztartalomnak felelt meg. A talaj víztartalma a stresszkezelés végére 3–5 v/v%-ra csökkent. A stresszállapotot követően a növények vízpótlását helyreállítottuk és a teljes érésig optimális szinten adagoltuk a vizet. A tenyészedenyeket folyamatosan mérlegeltük, így határoztuk meg a két öntözés közötti időszakban a vízfelhasználást. Az evaporáció kiküszöbölésére a tenyészedenyek talaját fóliával borítottuk. A teljes érést követően minden kezelésben 3 ismétlésben elvégeztük a teljes növényanalízist. Meghatároztuk a tenyészedenyekben felnevelt növények összes szemtermését, valamint kiszámítottuk a tenyészidőszak kumulált vízfogyasztását, a transpirációs produktivitást (WUE, kg/m<sup>3</sup>) a szemtermés és a vízfogyasztás hányadosaként számítottuk. A növénynevelést három azonos módon beállított üvegházi kamrában végeztük, eltérést csak a légköri CO<sub>2</sub> koncentráció jelentett, melyet rendre 400, 700 és 1000 ppm-re állítottunk be.

## Eredmények és következtetések

### *A terméskomponensek vizsgálata:*

Optimális vízellátásnál a vizsgált genotípusok közül az Mv Mambó termésereedménye volt a legnagyobb, míg a legkevesebb termést a szárazságra érzékeny kontroll (CAP) esetében mértük. A régi magyar tájfajta (BKT) kivételével a szárbaindulás kori vízmegvonás minden fajtánál szignifikánsan csökkentette a termésmennyiséget, mely a legrövidebb tenyészidejű TOB fajtánál csökkent legnagyobb mértékben (44,7 százalék). A kalászolás időszakában szimulált vízhiány jellemzően csökkentette a termésereedményeket még a szárbaindulás kori kezeléshez viszonyítva is, azonban a TOB esetében a fejlődés korai szakaszában jelentkező szárazság hatásánál kedvezőbb termésereedményeket mértünk.

1. táblázat. Őszi búzafajták szemtömeg (g/tenyészedeény) alakulása a különböző kezeléseken

Fenofázis	MAM	BKT	CAP	PLA	TOB	SD <sub>5%</sub>
K	48,87	39,37	25,43	37,65	30,16	8,45
SZ	37,23	38,69	19,12	24,61	16,66	4,96
KAL	17,30	8,57	8,69	16,03	22,49	3,93
E	22,70	5,00	4,89	11,30	23,03	7,08
SZD <sub>5%</sub>	8,00	7,66	5,00	7,21	6,49	

A hosszabb tenyészidejű fajták esetében a legnagyobb mértékű terméscsökkenés (70–80,3 százalék) a szemtelítődéskor jelentkező vízhiánynál volt tapasztalható. A modern fajtáknál, az érési időszakban indukált stresszállapot a kalászolás kori vízmegvonáshoz képest már nem csökkentette tovább a termésmennyiséget. A modellfajtáknál és a régi tájfajtá-

nál azt tapasztaltuk, hogy minél később jelentkezett az aszály, annál nagyobb mértékű volt a termésnövekedés (1. táblázat).

2. táblázat. Őszi búzafajták ezerszemtömegének (g) alakulása a különböző kezelésekben

Fenofázis	MAM	BKT	CAP	PLA	TOB	SD <sub>5%</sub>
K	47,1	38,7	25,5	29,1	42,6	4,06
SZ	44,0	38,1	21,1	29,7	37,9 <sup>a</sup>	4,12
KAL	33,2	28,7	19,5	24,3	32,5	2,79
E	29,7	19,3	13,9	20,3	32,1	5,15
SZD <sub>5%</sub>	3,94	3,84	2,40	3,57	6,51	

Az ezerszemtömeg a CAP-érzékeny kontrollfajta kivételével nem különbözött szignifikánsan a kontroll állományokban és a szárbainduláskor stresszkezelt növényeknél, így ebben az időszakban a termésnövekedés elsősorban a produktív hajtások számának és számszám csökkenéséből eredt és nem a kifejlődött szemek méretcsökkenése okozta. A kalászlás kori vízhiány minden fajtánál szignifikánsan csökkentette az ezerszemtömeg értékeit a kontroll és szárbaindulás kori kezeléshez viszonyítva, kivétel a CAP mely fajtánál a kalászlás kori vízmegvonás hatására nem csökkent az ezerszemtömeg a szárbaindulás kori kezelésben mért értékekhez képest. Az érskori vízmegvonás hatására a kontroll fajtánál és a régi magyar fajtánál a szemtelítődés megállt, a növények kényszerítettek lettek. A modern fajtáknál (MAM, TOB) a szemtelítődésre nem volt hatása a fejlődés késői szakaszában jelentkező vízhiánynak, az ezerszemtömeg nem csökkent tovább szignifikáns mértékben (2. táblázat).

A kalászláskor és az érskor jelentkező vízhiány az Mv Toborzó kivételével szignifikáns Harvest-index csökkenést okozott (3. táblázat). A legalacsonyabb HI értékeket a BKT és a CAP fajták esetében kaptuk, és a vízmegvonás is ezeknél a fajtáknál járt a föld feletti biomassza arányában a legnagyobb mértékű termésnövekedéssel. A rövidebb tenyészidejű fajtáknál a fejlődés korai fázisában jelentkező csökkenés a Harvest-index értékében, párhuzamosan a WUE értékekkel, míg a hosszabb tenyészidőszak a fejlődés későbbi szakaszaiban jelentkező vízhiány erőteljesebb negatív hatásaival társult. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a Harvest-index alakulása lényeges összetevője a kalászosok szárazságtűrésének és vízhasznosításának, azonban egy fajta alkalmazkodóképességének megállapításához azt is vizsgálni kell, hogy a Harvest-index mennyire stabil az optimálistól eltérő környezeti feltételek mellett (3. táblázat).

3. táblázat. Őszi búzafajták Harvest-indexének (%) alakulása a különböző kezelésekben

Fenofázis	MAM	BKT	CAP	PLA	TOB	SD <sub>5%</sub>
K	38,18	26,03	17,53	38,26	38,02	3,18
SZ	38,68	26,93	15,06	30,45	27,5	1,89
KAL	23,91	8,60	7,41	20,02	35,99	6,63
E	26,28	5,13	4,14	16,25	30,77	6,74
SZD <sub>5%</sub>	4,91	4,28	3,30	10,45	8,54	

A fajták optimális vízellátás mellett is jelentős különbségeket mutattak a teljes tenyészidőszakban a vegetatív és generatív fejlődéshez felhasznált vízmennyiségben (24,16–36,38 dm<sup>3</sup>/tenyészedeny). A legmagasabb vízfogyasztás a hosszú tenyészidejű fajtákat jellemezte, míg a rövidebb fejlődési periódus kisebb vízfogyasztással társult. A szárbainduláskori stressz hatására a hosszú tenyészidejű fajták vízfelvétele nem módosult szignifikánsan – a fejlődés késői szakaszában a fokozott sarjképződés miatt a kontroll



növényeknél magasabb vízfelvételt mértünk –, míg a rövid tenyészidejű fajtáknál szignifikánsan (16,3 és 21 százalék) visszaesett a korai fázisban stresszelt növények vízfelvétele az optimális körülmények között fejlődött egyedekéhez képest.

4. táblázat. Őszi búzafajták tenyészidőszaki vízfelhasználásának ( $\text{dm}^3$ ) alakulása

Fenofázis	MAM	BKT	CAP	PLA	TOB	$SD_{5\%}$
K	30,39	36,23	36,38	25,48	24,16	3,405
SZ	27,39	35,08	35,57	21,34	19,09	5,16
KAL	17,39	25,71	31,02	16,22	17,63	2,83
E	19,84	21,02	30,95	17,38	19,18	2,53
$SZD_{5\%}$	4,3	4,002	4,483	4,48	2,732	

A kalászolást követően már a vízmegvonás idejétől függetlenül nagyjából azonos mértékben csökkent a növények vízszükséglete. A legnagyobb mértékben a BKT vízfelhasználása esett vissza. Az érési periódusban stressz-kezelt növények vízfelhasználása néhány nap alatt teljesen leállt, majd nem is állt helyre. Az éréskor vízmegvonással kezelt növények teljes tenyészidőszaki vízfelhasználása a CAP fajta kivételével azonos szintre esett vissza (4. táblázat).

A felvett vízkészletek hasznosulásában még optimális vízellátás mellett is szignifikáns különbség volt a fajták között. A kontroll-állományokban a vízhasznosítás hatékonysága  $0,7\text{--}1,6 \text{ kg/m}^3$  között alakult a MAM-PLA-TOB-BKT-CAP csökkenő sorrendben (5. táblázat). A szárbainduláskor szimulált vízhiány jellemzően csökkentette a kezelt növények vízhasznosító képességét,  $0,53\text{--}1,39 \text{ kg/m}^3$ -es értékeket mértünk a MAM-PLA-BKT-TOB-CAP sorrendben. A kalászoláskor jelentkező aszályhelyzet a kontroll állományhoz képest szignifikánsan csökkentette a WUE értékeit, kivételt a Toborzó jelentett, melynél a kontroll értékkel azonos vízhasznosítást határoztunk meg. Ez abból adódott, hogy bár a vízfelvétel csökkent a kontroll és a szárbaindulás kori kezelésekhöz képest, a szenttömeg nem változott ezzel párhuzamosan. A kalászoláskor a fajták sorrendje TOB-MAM-PLA-BKT-TOB volt  $0,28\text{--}1,28 \text{ kg/m}^3$  értékekkel. Az éréskor szimulált vízhiányos állapot a kalászolás kori kezeléshez képest további szignifikáns WUE csökkenést csak a Planisman fajtánál okozott. A BKT és a CAP WUE értéke már a kalászolás kori vízmegvonás hatására is minimális szintre esett vissza, a modern fajtáknál viszont már az éréskor jelentkező vízhiány a termésmennyiség vizsgálatánál tapasztalt tendenciáknak megfelelően már nem csökkentette a WUE értékét (5. táblázat).

5. táblázat. Őszi búzafajták transzpirációs produktivitása ( $\text{kg/m}^3$ ) alakulása

Fenofázis	MAM	BKT	CAP	PLA	TOB	$SD_{5\%}$
K	1,6	1,08	0,7	1,47	1,25	0,15
SZ	1,39	1,1	0,53	1,15	0,87	0,08
KAL	1,0	0,34	0,28	0,97	1,28	0,15
E	1,12	0,24	0,16	0,64	1,18	0,29
$SZD_{5\%}$	0,18	0,19	0,12	0,23	0,33	

Megvizsgáltuk, hogy a teljes kísérletben és a különböző időpontban vízmegvonással szimulált aszályhelyzetekben mely növényfenológiai és produkcióbiológiai paraméterek befolyásolják a tenyészidőszaki vízfelvételt és a felhasznált vízkészlet hasznosulását. A teljes kísérlet esetében azt az összefüggést tapasztaltuk, hogy a növény habitusát meghatározó tulajdonságok, mint a hajtás és a kalászszaám, valamint a növénymagasság egyenes arányosságban vannak a vízigénnyel. A vízfogyasztással a levél- és a szár-

*Megvizsgáltuk, hogy a teljes kísérletben és a különböző időpontban vízmegvonással szimulált aszályhelyzetekben mely növényfenológiai és produkcióbiológiai paraméterek befolyásolják a tenyészidőszaki vízfelvételt és a felhasznált vízkészlet hasznosulását. A teljes kísérlet esetében azt az összefüggést tapasztaltuk, hogy a növény habitusát meghatározó tulajdonságok, mint a hajtás és a kalászs szám, valamint a növény magasság egyenes arányosságban vannak a vízigénnyel. A vízfogyasztással a levél- és a szártömeg mennyisége mutatta a legszorosabb összefüggést, míg a szenttömeg esetén is szignifikáns pozitív kapcsolatot tapasztaltunk, melynek mértéke azonban jelentősen elmaradt a szár- és levéltömeghez képest.*

a WUE között a vízmegvonás időpontjától függetlenül. A WUE és a WU összefüggését vizsgálva megállapítottuk, hogy a kalászolási időszakában volt a legszorosabb az összefüggés a két mutató között, vagyis ez az időszak volt a legkritikusabb a vízforgalom szempontjából.

tömeg mennyisége mutatta a legszorosabb összefüggést, míg a szenttömeg esetén is szignifikáns pozitív kapcsolatot tapasztaltunk, melynek mértéke azonban jelentősen elmaradt a szár- és levéltömeghez képest.

A WUE alakulására nem volt hatása a kalászs számnak, viszont abban az esetben, ha nemcsak a produktív hajtásszámot vizsgáltuk, szignifikáns eredményt kaptunk. A WUE értékei szoros összefüggést mutattak az ezerszenttömeggel, valamint a Harvest-indexszel. Az összes kezelésben a növény magasság és a szár, valamint a levéltömeg alakulása pozitívan korrelált a WU és negatív összefüggést mutatott a WUE értékeivel. A szenttömeg a kontroll állományokban nem befolyásolta a vízfelvételt, azonban a szárbainduláskor kezelt növények esetén pozitív korrelációt tapasztaltunk, ami annak a jele, hogy azok a növények melyek kevésbé károsodtak a korai fejlődési fázisban szimulált vízmegvonás eredményeként, több termést fejlesztettek és ehhez több vizet használtak fel. A kalászoláskor és az érési periódusban kezelt növényeknél azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb szenttömeg alacsonyabb vízfelvétellel párosult, mert a nagyobb szenttömeggel rendelkező növények vízfelvételét a vízmegvonás drasztikusabban érintette.

A Harvest-index és a WU értékei között jellemzően minden kezelésben negatív összefüggést tapasztaltunk, és igen szoros kapcsolatot állapítottunk meg a HI és

6. táblázat. Korrelációs számítás eredményei a különböző kezelésekben

Korreláció	WU		Minden kezelés		Kontroll		SZ		KAL		E	
	WUE	WU	WUE	WU	WUE	WU	WUE	WU	WUE	WU	WUE	WU
WU	Pearson korreláció	1.000	-0,125	-0,514*	1.000	-0,292	1.000	-0,832**	1.000	-0,832**	1.000	-0,474*
	Sig. (1-tailed)		0,171	0,025		0,145		0,000		0,000		0,037
	N	60,00	60	15	15.000	15	15.000	15	15.000	15	15.000	15
Kalászsám	Pearson korreláció	,588**	-0,090	-0,222	0,406	-0,186	0,571*	0,580*	0,580*	-0,745**	0,273	-0,293
	Sig. (1-tailed)	,000	0,247	0,213	0,067	0,013	0,013	0,012	0,012	0,001	0,162	0,145
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Hajlásszám	Pearson korreláció	,430**	-0,231*	-0,038	-0,070	-0,496*	0,245	0,856**	0,856**	-0,882**	0,549*	-0,546*
	Sig. (1-tailed)	,000	0,038	0,447	0,402	0,190	0,030	0,000	0,000	0,000	0,017	0,018
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Növ. magasság	Pearson korreláció	,609**	-0,316**	0,696**	-0,371	0,755**	0,708**	-0,770**	0,708**	-0,770**	0,372	-0,574*
	Sig. (1-tailed)	,000	0,007	0,002	0,087	0,001	0,416	0,002	0,000	0,000	0,086	0,013
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Biomassza	Pearson korreláció	,842**	-0,548**	0,927**	-0,730**	0,884**	-0,502*	0,964**	0,964**	-0,919**	0,863**	-0,762**
	Sig. (1-tailed)	,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Szemtermés	Pearson korreláció	,389**	0,846**	0,111	0,791**	0,458*	0,696**	-0,645**	0,950**	-0,334	0,981**	
	Sig. (1-tailed)	,001	0,000	0,347	0,000	0,043	0,002	0,005	0,000	0,112	0,000	
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	
ESZT	Pearson korreláció	,120	0,734**	-0,193	0,595**	-0,214	0,743**	0,054	0,330	-0,497*	0,937**	
	Sig. (1-tailed)	,181	0,000	0,245	0,010	0,222	0,001	0,425	0,115	0,030	0,000	
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	
HI	Pearson korreláció	-,114	0,959**	-0,741**	0,926**	-0,361	0,923**	-0,661**	0,930**	-0,477*	0,995**	
	Sig. (1-tailed)	,193	0,000	0,001	0,000	0,093	0,000	0,004	0,000	0,036	0,000	
	N	60	60	15	15	15	15	15	15	15	15	
WUE	Pearson korreláció	-,125	1.000	-0,514*	1.000	-0,292	1.000	-0,832**	1.000	-0,832**	1.000	-0,474*
	Sig. (1-tailed)	,171		0,025		0,145		0,000		0,000		0,037
	N	60	60,000	15	15.000	15	15.000	15	15.000	15	15.000	15

\* Az összefüggés P= 5%-os szinten szignifikáns, \*\* Az összefüggés P= 1%-os szinten szignifikáns

## Köszönetnyilvánítás

A kutatáshoz szükséges eszközök beszerzése, a kísérletek költségeinek fedezése, valamint a segédszemélyzet foglalkoztatása a TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 számú projekt által biztosított forrásból valósult meg. A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – *Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program* című kiemelt projekt által nyújtott személyi támogatással valósult meg. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## Irodalomjegyzék

- Dong, B., Shi, L., Shi, C., Qiao, Y., Liu, M. és Zhang, Z. (2011): Grain yield and water use efficiency of two types of winter wheat cultivars under different water regimes. *Agricultural Water Management*, 99. sz. 103–110.
- IPCC (2007): *IPCC fourth assessment report-climate change 2007*. <http://www.ipcc.ch>
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J. és Ritchie, J. T. (2003): DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18. 235–265.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T. és Kaspar, F. (2006): Estimating the impact of global change on flood and drought risk in Europe: a continental integrated analysis. *Climatic Change*, 75. sz. 273–299.
- Miranzadeh, H., Emam, Y., Pilesjö, P. és Seyyedi, H. (2011): Water use efficiency of four dryland wheat cultivars under different levels of nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13. 843–854.
- Pask, A. J. D. és Reynolds, M. P. (2013): Breeding for yield potential has increased deep soil water extraction capacity in irrigated wheat. *Crop Science*, 53. sz. 2090–2104.
- Trnka, M., Dubrovsky, M. és Zalud, Z. (2004): Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, 64. sz. 227–255.
- Varga, B. és Bencze, S. (2009) Comparative study of drought stress resistance in two winter wheat varieties raised at ambient and elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Cereal Research Communications*, 37. 209–212.
- Varga, B., Varga, L. E., Bencze, S., Balla, K. és Veisz, O. (2013): Water use of winter cereals under well watered and drought stressed conditions. *Plant Soil Environ.*, 59. sz. 150–155.
- Varga, B., Vida, G., Varga, L. E., Bencze, S. és Veisz, O. (2014): Effect of the simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, DOI:10.1111/jacs.12087.
- Xue, Q.W., Zhu Z. X., Musick, J. T., Stewart, B. A. és Dusek, D. A. (2006): Physiological mechanisms contributing to the increased water use efficiency in winter wheat under different irrigation. *Journal of Plant Physiology*, 163. sz. 154–164.