

AKADÉMIAI DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**A kukorica és napraforgó fotoszintézisét és vízfelhasználásuk
hatékonyságát befolyásoló tényezők elemzése**

Dr. Csajbók József

**Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és
Környezetgazdálkodási Kar**

**Debrecen
2024**

„...mert akármilyen kérges a paraszt tenyere,
mégis csak abban van mindenki kenyere.”

Móra Ferenc

1. BEVEZETÉS	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. A vízellátottság, aszályhelyzet értékelése szántóföldi növénytermesztésben	8
2.2. A szántóföldi növények asszimilációját és vízhasznosítását befolyásoló tényezők.....	12
2.2.1. A környezeti tényezők és a fotoszintézis rendszer működése közötti összefüggések	12
2.2.2. A környezeti tényezők és a növények vízhasznosításának hatékonysága közötti kapcsolatok	16
2.3. A nitrogén-ellátottság hatása a fotoszintézis rendszer működésére és a vízhasznosításra a szántóföldi növényeknél	19
2.4. A napraforgó vízfogyasztása, vízhasznosítása	22
2.5. A kukorica vízfogyasztása, vízhasznosítása	24
2.6. A gyomirtószerek hatása a napraforgó élettani folyamataira	27
2.7. A biostimulátorok alkalmazási lehetőségei a stresszhatások enyhítésében	29
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	32
3.1. Szántóföldi kísérletek.....	32
3.1.1. A DE AKIT Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep talajának jellemzői	32
3.1.2. A DE AKIT Debrecen, Böszörményi úti kísérleti terület talajának jellemzői	34
3.2. Tenyészedényes kísérletek	36
3.2.1. Klímaszobás napraforgó tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2023	36
3.2.2. Klímaszobás kukorica tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2023	36
3.2.3. Szabadföldi tenyészedényes kísérlet, Debrecen, 2023	37
3.3. Asszimilációs paraméterek mérése	37
3.4. A potenciális (PET) és tényleges (TET) evapotranszspiráció meghatározása	38
3.5. Az ariditási index és a módosított Pálfai-féle aszályindex kiszámítása	39
3.6. Klorofilltartalom mérése	41
3.7. A vízfelhasználás hatékonyságának meghatározása	41
3.8. Alkalmazott statisztikai módszerek.....	42
4. EREDMÉNYEK.....	43
4.1. A vizsgálatba vont évjáratok értékelése (2000-2023).....	43
4.1.1. Párolgási adatok, relatív párolgás index (TET:PET arány) elemzése a vizsgált években ...	43
4.1.2. A levegő CO ₂ koncentrációjának mérési eredményei (1999-2023).....	47
4.2. Egyes ökológiai tényezők hatásának vizsgálata a napraforgó és a kukorica asszimilációjára és vízfogyasztására	48
4.2.1. A fényintenzitás változásának hatása a napraforgó, kukorica, őszi búza és néhány gyomnövény fotoszintézis paramétereire és vízhasznosítására.	48
4.2.2. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja és a vízfelhasználás hatékonysága, extrém száraz évjáratban (2007. évi mérések).....	55
4.2.3. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága száraz évjáratban (2012. évi mérések)	70
4.2.4. A kukorica fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága csapadékos évjáratban (2010. évi mérések).....	74
4.2.5. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága csapadékos évjáratban (2020 évi mérések)	77
4.2.6. A kukorica vízfelhasználása és a fotoszintézis paraméterei közötti összefüggések elemzése eltérő évjáratokban (2010-2013).....	79
4.2.7. A napraforgó vízfelhasználása és a fotoszintézis paraméterei közötti összefüggések elemzése eltérő évjáratokban (2004-2012).	82
4.3. Egyes agrotechnikai tényezők hatásának vizsgálata a napraforgó és a kukorica asszimilációjára és vízfogyasztására	85

4.3.1.	A tápanyagellátás, asszimiláció és a vízfogyasztás közötti összefüggések elemzése kukoricában (2000-2004).....	85
4.3.2.	Gombaölő szerek hatása a kukorica asszimilációjára és vízhasznosítására.	91
4.3.3.	Gyomirtószerek által okozott stressz hatásának csökkentése napraforgóban.	97
4.3.4.	Biostimulátorok szerepe a szárazságstressz enyhítésében kukoricában	111
5.	A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA	116
6.	FELHASZNÁLT IRODALOM	119
	ÁBRÁK JEGYZÉKE	138
	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	144
	MELLÉKLETEK.....	145
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	157

Rövidítések jegyzéke

BS01: Biostimuláns 01 (MTU + pidolsav); kereskedelmi neve Főnix (Danuba)

BS02: Biostimuláns 02 (N: 140 g l⁻¹, P₂O₅: 70 g l⁻¹, K₂O: 70 g l⁻¹, MgO: 2 g l⁻¹, Cu: 600 mg l⁻¹, Zn: 600 mg l⁻¹, Mn: 600 mg l⁻¹, Mo: 40 mg l⁻¹, B: 300 mg l⁻¹, γ-PGA, DPU, DPU-szulfít, DMS, pidolsav); kereskedelmi neve Nutrino Turbo + (Danuba)

Ci: (Intercellular CO₂ level), CO₂ szint a sejtközi járatokban

CID: Carbon Isotope Discrimination

DAT: Days After Treatment-kezeléstől eltelt napok száma

DEV0085: kísérleti biostimuláns anyag, szilíciumot tartalmaz

DMS: dimetil-szulfon

DPU: difenil-urea

DPU-szulfít: difenil urea szulfít

ETR: Elektron Transzport Ráta

K_A: Arany-féle kötöttségi szám

LUE: Light Use Efficiency-a fényhasznosítás hatékonysága

MTU: 1-(2-Methoxyethyl)-3-(1,2,3-thiadiazol-5yl) urea

PaDI: (Palfai Drought Index), módosított Pálfai-féle aszály index

PAR: Photosynthetically Active Radiation-fotoszintetikusán aktív sugárzás

PET: Potenciális evapotranszpiráció

pidolsav: L-Pyroglutamin sav

pikoxistrobin: metil (E)-3-metoxi-2-[2-(6-trifluorometil-2-piridiloximetil)-fenil] akrilát

PNUE: Photosynthetic Nitrogen Use Efficiency

PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density

TET: Tényleges Evapotranszpiráció

WUE: Water Use Efficiency (kg CO₂ m⁻³ H₂O)-a vízhasznosítás hatékonysága

γ-PGA: poli-L-γ-glutaminsav

1. Bevezetés

A növények számára a fény, a tápanyagok és a víz jelentik azokat a legfontosabb tényezőket, melyekre szükségük van a növekedésükhöz és termésképzésükhöz. A növénytermesztési tér három alrendszere (talaj, növény, levegő) igen bonyolult, komplex kölcsönhatásban áll egymással. A kölcsönhatás energia- és anyagforgalmi folyamatokban nyilvánul meg. E folyamatok szabályozzák a tápanyagok és a víz felvételi sebességét, a növény szöveteibe történő beépülésének mértékét és határát. Az egyes alrendszerek tulajdonságai igen széles értékskálát átfogó valószínűségi változóknak tekinthetők.

Az agroökológiai rendszer egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy alrendszerei eltérő érzékenységgűek, vagyis tehetetlenségük időskálája lényegesen eltér egymástól. A levegő változási tehetetlensége a legkisebb, néhány óra vagy nap alatt óriási szélsőségek következhetnek és következnek be különböző tulajdonságai értékében. Az időjárási hatás időbeli változása gyorsan lejátszódó folyamat és igen széles értékskálán zajlik le, melyhez a növényeknek alkalmazkodni kell. Ezzel szemben a talaj, emberi léptékkel mérve, egy rendkívül lassú reakció formájában válaszol a természeti, vagy emberi hatásokra, bár a változás sebessége nagymértékben függ az adott talaj fizikai és kémiai tulajdonságaitól és a hatás mértékétől. A növény genetikai tulajdonságai által meghatározott határok között képes elviselni e különböző időskálán lezajló hatásokat, de ehhez a növénynek igen nagy variációban megnyilvánuló hatásokat kell tolerálni, károsodás nélkül elviselni.

A mezőgazdaságnak, ezen belül a szántóföldi növénytermesztésnek gyorsan kell alkalmazkodnia a változó körülményekhez, amihez alapvetően szükséges az adott területen rendelkezésre álló víz minél hatékonyabb felhasználása. Hazánkban a növénytermesztés termésbiztonságának egyik döntő tényezője a tenyészidőszakban rendelkezésre álló víz mennyisége (a talajban tárolt víz, és az aktuálisan hulló csapadék). A csapadék szeszélyesen, időben és térben nagy szélsőségek között változik, és a bizonytalanág az ország keleti régióiban fokozottan jelentkezik. Az aszály gyakoriságában és mértékében jelentős eltérések tapasztalhatók az ország egyes régiói között. Különösen a Tiszántúl kontinentális térségeiben érezteti hatását, ahol a csapadékhiány okozta aszály fellépése gyakoribb, valamint a légköri aszály hatásaival is szinte minden évben számolnunk kell.

A víz alapvetően befolyásolja a növények anyagcserefolyamatait, többek között az asszimilációt, a légzést, a párologtatást, a különböző transzport folyamatokat. A víz fiziológiai fontosságát mutatja, hogy az egész növényi szervezetben jelen van, a gyökereket körülvevő víztől egészen a levelek víz-pára határfelületéig. A növények növekedési üteme sokkal

érzékenyebben és gyorsabban reagál a vízellátás változására, mint a környezet bármely más tényezőjének változására.

A vízhiány a szántóföldi növényállomány szervesanyag termelési potenciálját jelentősen csökkentheti, a csapadék mennyiségétől, eloszlásától és az egyéb időjárási tényezőktől függően a növény pusztulását is okozhatja. A súlyosan aszálykáros területek aránya 1983-tól jelentősen megnőtt, a növekedés a hagyományosan vízhiányos, keleti - délkeleti térségektől északi és nyugati irányba történt. A növények számára elérhető vízmennyiség minél hatékonyabb felhasználása az egyik legfontosabb kérdése a termesztésnek és a termesztéstechnológiai kutatásoknak.

Hazánkban az aszálykárok bekövetkezési gyakoriságának, illetve a károk nagyságának növekedéséhez, a meteorológiai okok mellett, egyéb tényezők is hozzájárulnak. A vízgazdálkodási feltételek hazánk szántóterületein nagy hányadban kedvezőtlenek vagy közepesek, ráadásul romló tendenciát mutatnak. Az eredendően jó vízháztartású talajok állapota az utóbbi két évtizedben, az egyoldalú és szakszerűtlen talajhasználat, a gépesítési hiányosságok, a mélylazítások elmaradása, az organikus gazdálkodás elhanyagolása miatt a leginkább igénybe vett, felső 50-60 cm-es szelvényben jelentős mértékben romlott. A hidrometeorológiai szélsőségek előfordulásának gyakorisága viszont ezzel együtt megnőtt, következésképpen a szántóföldi növények, a növénytermesztés kitettsége fokozódott, alkalmazkodó képessége romlott.

Munkánk célja, hogy újabb adatokkal szolgáljunk a szántóföldi növények termésképzési folyamatainak jobb megértéséhez, a különböző eredetű stresszfaktorok negatív hatásainak enyhítését célzó kutatásokhoz, ezzel hozzájárulva a növénytermesztési térben hasznosítható vízmennyiség felhasználási hatékonyságának javításához.

Annak, hogy a kukorica és a napraforgó került a vizsgálataink középpontjába, több oka is van. Egyrészt, nyilvánvalóan rendkívül fontos kultúrák hazánkban, akár a vetésterület, akár gazdasági jelentőség tekintetében, így a vízhasznosításukat befolyásoló tényezők elemzése nagy fontossággal bír, melyet még jobban kiemelnek az előzőekben említett, az aszályhajlam fokozódását okozó tényezők. Másrészt a két növényfajban eltérő fotoszintézis rendszer működik (C_3 , C_4), ami jelentős mértékben befolyásolja az asszimiláció és vízfelhasználás hatékonyságát, és a vízhiányos körülményekhez való alkalmazkodás lehetőségeit, formáját és korlátait.

Kutatásaink során célunk volt annak a vizsgálata, milyen eltérések azonosíthatók a napraforgó és a kukorica vízhasznosításában, és az azt befolyásoló tényezők hatása hogyan érvényesül, illetve milyen lehetőségek vannak a negatív hatások enyhítésére.

A következő kérdésekre kerestünk választ a kutatási munka során:

- A vizsgált növények fotoszintézis paramétereit hogyan befolyásolják a fontosabb abiotikus tényezők, kiemelten a vízellátottság, tápanyagellátás, fényintenzitás, illetve különböző növényvédő szerek?
- Igazolható-e a fotoszintézis paraméterek és asszimilációs fénygörbe alapján, a fontosabb szántóföldi C₃-as és C₄-es gyomfajok, kukoricához képest jó kompetíciós képessége?
- A vízellátottság, tápanyagellátás, fényintenzitás, illetve különböző növényvédő szerek hatással vannak-e a kukorica és napraforgó vízhasznosítására?
- Eltérően alakul-e a kukorica vízhasznosításának hatékonysága extrém száraz és csapadékos évjáratokban?
- Eltérően alakul-e a napraforgó vízhasznosításának hatékonysága extrém száraz és csapadékos évjáratokban?
- Milyen különbségek azonosíthatók a genotípusok között a fotoszintézis és vízhasznosítás tekintetében a kukoricában és napraforgóban?
- Biostimulátorok alkalmazásával lehetséges-e enyhíteni a gyomirtószer által okozott stressz hatását napraforgóban?
- Enyhíteni lehet-e a szárazságstressz negatív hatásait kukoricában biostimulátorok alkalmazásával?

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A vízellátottság, aszályhelyzet értékelése szántóföldi növénytermesztésben

A világ élelmezési problémáinak megoldása, az emberiség létszámának folyamatos növekedése mellett, jelentős kihívást jelent a mezőgazdaságban dolgozó szakembereknek. A klímaváltozás hatására tapasztalható változások a növénytermesztési térben nagyon erőteljesen megjelennek, és csökkentik a termelés hatékonyságát (Godfray et al., 2010). A klímaváltozás nagymértékben hatással van a mezőgazdaságra, ezen belül az egyik leginkább kitett terület a szántóföldi növénytermesztés. A becslések szerint 1980 óta az éghajlatváltozás a kukorica és a búza globális terméshozamát 3,8; illetve 5,5%-kal csökkentette a csapadék- és hőmérsékleti trendek figyelembe vétele nélküli adatokhoz képest (Lobell et al., 2011).

A mezőgazdaságban, így természetesen a növénytermesztésben is, a vízzel való gazdálkodás szerves része az ökológiai erőforrások (légkör, földfelszín, hidrológiai ciklus) természetes rendszerének. Az adott ökológiai körülmények között rendelkezésre álló víz tudatos, szakszerű, jó hatékonyságú felhasználása az emberi tevékenység alapvető törekvése kellene, hogy legyen. Ez azonban nem egyszerű feladat, és megvalósítása nagy mennyiségű és széleskörű ismeretanyagot feltételez.

Globálisan az éghajlattal összefüggő vízhiány növekedése várhatóan kétszer akkora területet érint, mint azok a területek, amelyeken a vízhiány enyhülése várható. A következő évtizedekben az éghajlat egyre nagyobb változékonysága nagy valószínűséggel növelni fogja az árvizek és aszályok gyakoriságát és súlyosságát, és növelni fogja a mezőgazdasági termelés kockázatát és csökkenteni fogja a gazdálkodók teherviselő képességét (Dai, 2013; Campbell et al., 2014).

A vízellátottság adott termőhelyen befolyásolja a rizoszférában élő mikroorganizmusok összetételét, szaporodását, életfolyamatait, a tápanyag-szolubilizáló/mobilizáló mikrobák diverzifikációját, a szolubilizáció/mobilizáció mechanizmusokat, a különböző enzimek/auxinok/savak mikrobiális termelését. Ez nyilvánvalóan hatással van az ott termelt növények növekedési ütemére, agronómiai tulajdonságaira, termésképzésére (Kumawat et al., 2017).

A gazdák alkalmazkodó képességével kapcsolatban végzett kutatásai eredményeként Olesen et al. (2011) megállapították, hogy az európai gazdálkodók jelenleg az éghajlatváltozáshoz elsősorban a termelés időzítésének megváltoztatásával, illetve más növényfajok és fajták választásával próbálnak alkalmazkodni. Európa déli részén a vízhiány

különösen súlyosan jelentkezik, és egyre nagyobb problémát jelent a mezőgazdaságban (Tramblay et al., 2020).

A világ vízfelhasználása folyamatosan növekszik. Az emberek által elfogyasztott vízmennyiség körülbelül 80%-át a mezőgazdaság, ezen belül főleg a növénytermesztés igényli (Morison et al., 2008), tehát a mezőgazdasági ágazat messze a legnagyobb vízfelhasználó a világon. A felhasznált vízmennyiség jelentős része nem hasznosul jól, a vízfelhasználás hatékonysága ebben az ágazatban nagyon alacsony, nem haladja meg a 45%-ot (Hamdy et al., 2003). Ezért a fenntartható növénytermesztésben különösen fontos a növények vízhasznosításának a javítása, a transzspiráció és az evaporáció által okozott veszteségek csökkentése. A gyomnövények vízfelhasználása is jelentős veszteséggéént jelentkezik (Lehoczky, 2004; Lehoczky és Márton, 2012) a növénytermesztési térben, de természetesen a hidrológiai ciklus részét képezi.

A csapadék térben és időben is nagyon változékony, ezért nehéz teljesen megbízható tendenciákat kimutatni. A különböző klímamodellek eredményei alapján azonban reális lehetőség, hogy Magyarország éghajlata a jövőben szárazabbá válik és az Alföldön évi 400 mm alatti csapadékösszegek valószínűsíthetők (Koflanovits-Adámy és Szentimrey, 1986; Mika, 1991; Nemes, 1995; Lakatos et al., 2011). Egyre nagyobb jelentősége lesz tehát a víztakarékos gazdálkodásnak hazánkban. Az 1871-1900-as évek átlagához viszonyítva egyre nagyobb a kumulált csapadékhiány (Bartholy et al., 2011).

Hosszú idősorok elemzése alapján úgy tűnik, hogy a Kárpát-medencében az aszály éghajlatunk természetes része, amely hazánk mezőgazdaságát viszonylag nagy gyakorisággal sújtja. Hazánkban az aszályra való hajlam az utóbbi évtizedekben nőtt, bár az ország egyes régióiban eltérő mértékű a változás. A növénytermesztésben tehát arra kell számítanunk, hogy csökkenő vízmennyiséggel kell elérni a kívánt termést (Mika et al., 1995; Molnár, 1996; OMSZ, 2012; Izsák et al., 2022; Szentes, 2023). A probléma orvoslása szempontjából az öntözésre való berendezkedés is csak részben jelenthet megoldást, hiszen felszíni és felszín alatti vízkészleteink végesek.

A felhasználható édesvízkészletek csökkenése globális probléma, melynek jelentőségét az emberiség még nem ismerte fel kellő mértékben. Dai (2013) tanulmányában arra a következtetésre jutott, hogy a 2010-ig megfigyelt globális szárazság változása összhangban van a modelljóslatokkal, amelyek szerint a következő 30-90 évben számos szárazföldi területen súlyos és nagy területet érintő aszályok várhatók a csapadék csökkenése és/vagy a párolgás növekedése miatt. Flint és Flint (2021) megállapította, hogy a jelenleg rendelkezésre álló

globális éghajlati modellekből származó, az éghajlatváltozásra vonatkozó szimulációk adatai leskálázást igényelnek a területek nagy heterogenitása és összetettsége miatt.

A szántóföldi növénytermesztési térben a pillanatnyi vízháztartási helyzetek végtelen számú variációja alakulhat ki, ennek oka abban keresendő, hogy a rendszer igen bonyolult, a befolyásoló és egymással kölcsönhatásban lévő tényezők nagy száma miatt. A tényezők közül a víznek kiemelt szerepe van, mert nagyon szűk időintervallumon belül képes korlátozni a növényi asszimilációs folyamatokat, ezen keresztül a termelés eredményességét. A növények nagyon gyorsan reagálnak a vízhiányra. A víznek ezen kívül integráló szerepe is van, nagymértékben befolyásolni képes a többi természeti és termelési-technológiai tényező hatását, hatékonyságát (Csajbók, 1998). A növénytermesztésben dolgozó szakemberek számára különösen fontosak a szélsőséges vízháztartási helyzetet jelentő állapotok, mivel megoldást kell találniuk rájuk a termelés sikere érdekében.

Az aszályos évjáratok gyakoriságának növekedése szükségessé teszi a növények asszimilációs folyamatainak vizsgálatát vízhiányos körülmények között. A vízhasznosítással az eltérő környezeti feltételek mellett termesztett növények teljesítményét is jellemezhetjük. A növények szintjén a vízhasznosítást (WUE) a nettó fotoszintézis és a transzspiráció hányadosaként értelmezhetjük (Shangguan et al., 2000). Búza és árpa esetében Johnson et al. (1974) megállapította, hogy a vízstressz csökkentette a vízfelvételt és jelentősen csökkentette a fotoszintézis intenzitását.

Magyarországon az összes csapadék 90-92%-a hull a növénytermesztési térbe és ennek 60-90%-a marad ott (Petrasovits, 1988), ezzel lehet gazdálkodni. A víz hasznosulása a növénytermesztésben nagyon változó mértékű, a termelés színvonalától, az alkalmazott agrotechnika minőségétől és megvalósításának pontosságától, illetve a termelési folyamat egyéb feltételeitől függően.

Az egyes években az időjárás és az évjáratok sajátosságok hatása a növénytermesztésben több tényező kölcsönhatásának eredménye. Az egymással kölcsönhatásban lévő tényezők hatását a növénytermesztési beavatkozások, azok fegyelme, a technika és technológia színvonala, valamint a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai fokozhatják, illetve enyhíthetik (Ruzsányi, 1996).

Az aszály fogalmát sokszor meteorológiai jelenséggé kezelik, amikor a csapadékszegény időszakok vízhiányt okoznak a hidrológiai ciklus különböző részein (McKee et al., 1993). Az aszály hatással van a különböző környezeti rendszerekre (Vicente-Serrano et al., 2020) és a növénytermesztésre is (Chaves et al., 2003). Az aszály Szász (1997) megállapítása szerint agronómiai fogalom, mert kialakulásához a szárazság mellett egyéb tényezők is szükségesek,

mint a nem szakszerűen megtervezett és megvalósított agrotechnikai elemek (pl. vízpazarló talajművelés, a nem megfelelő fajtaválasztás, kedvezőtlen elővetemény, elégtelen vagy túlzott tápanyagellátás, nem megfelelő állománysűrűség, stb.).

A vízhiányt a növény szemszögéből értékelve megállapíthatjuk, hogy a növények számára a víz forrása a talaj nedvességekészlete a gyökérzónában, a vízfogyasztás hajtóereje pedig a légkör párahiánya, szárazsága. A növény szempontjából a vízhiány okozta stressz akkor következik be, amikor a kínálat nem képes kielégíteni a keresletet, ami a növényben a szövetek esetleges károsodásához, és ha a károsodás kiterjedt, akkor pusztuláshoz vezet (Swann, 2018).

Az aszály súlyosságát, az okozott kár mértékét is számos tényező befolyásolja. Ezek közül kiemelhető a csapadékhiány (vízhiány) nagysága és időtartama, de az érintett terület nagysága, illetve a növények érzékenysége az adott fenofázisban, és a várható termés pénzben kifejezett értéke is jelentős hatással van rá.

Az aszály bekövetkezéséhez hazánkban általában több tényező együttes megjelenésére van szükség viszonylag hosszú időtartamban. A legfontosabb tényező az átlagosnál kevesebb csapadék, a növények számára rendelkezésre álló víz korlátozott mennyisége, a második tényező a csapadékhiánnyal együtt megjelenő magas hőmérséklet. A harmadik tényező a levegő alacsony páratartalma, mely tulajdonképpen az első kettő következménye, és az aszálykárok súlyosságát nagymértékben képes növelni (Antal, 1991; Bussay, 1996; Bussay et al., 1998).

A klimatikus vízmérleg, a csapadék és a potenciális evapotranszspiráció különbsége, jól jellemzi a terület szárazságra való hajlamát, és jól használható a nem öntözött növényállományok vízellátottságának megítélésére. A csapadék és a potenciális evapotranszspiráció havi összegeinek különbségére nagy ingadozás jellemző, mivel a csapadék és a párolgás is igen változékony időjárási elem. A tenyészidőben a havi értékek általában ariditást mutatnak, de szélsőséges esetben humid jelleg is előfordulhat, még a legszárazabb hónapokban is. A téli félévben általában pozitív a klimatikus vízmérleg, mivel az alacsony szintű potenciális párolgást meghaladó mennyiségű csapadék hull, így az ariditás valószínűsége kicsi (Szász, 2005).

A talaj, mint ökológiai alrendszer tehetetlensége igen nagy, ennél fogva a mély rétegekben történő kiszáradása nagyon hátrányos, mert hosszú időszak (2-4 év) szükséges a feltöltődéséhez, abban az esetben is, ha a vízellátottság kedvező.

A téli félév csapadéka jelentősen képes befolyásolni a következő tenyészidőszak vízellátottsági helyzetét a jó vízgazdálkodású talajokon, melyek képesek tárolni a vizet. A téli félév klimatikus vízmérlege és a kukorica termése között igen szoros pozitív összefüggés mutatható ki (Csajbók, 1998) (1. táblázat), a tenyészidőben nem szignifikáns a kapcsolat.

1. táblázat A klimatikus vízmérleg és a kukorica termése közötti korreláció 1993-1996. között

Látóképen, monokultúrában (Csajbók, 1998)

	Téli félév vízmérlege	Tenyészdő vízmérlege
Termés	0,99*	0,56

A csillaggal (*) jelölt korrelációk $p=5\%$ szinten szignifikánsak

Ennek alapján megállapítható, hogy a téli félév klimatikus viszonyai igen nagymértékben meghatározzák a következő tenyészdő kukoricatermését az olyan években, amikor a nyári csapadék csekély, az összefüggés monokultúra kukorica termesztése esetén még erősebb.

Hazai adatsorok alapján Magyarországon is kidolgoztak a tényleges evapotranszspiráció becslésére, meghatározására számítási módszereket (Antal, 1969; Szász, 1988; Varga-Haszonits et al., 2004). Általában a potenciális evapotranszspirációt felhasználva számolnak, a korlátozó tényezőket figyelembe véve. A korlátot elsősorban a talaj nedvességtartalma és a növényzet állapota jelenti. A különböző módszerek használhatóságának, megbízhatóságának elemzéséről, alkalmazhatóságuk korlátainak meghatározásáról, (pl. területi), validálásának eredményeiről több tanulmányban is olvashatunk (Dunay et al., 1968; Dunkel et al., 1990; Bussay et al., 1998; Collados-Lara et al., 2018).

2.2. A szántóföldi növények asszimilációját és vízhasznosítását befolyásoló tényezők

2.2.1. A környezeti tényezők és a fotoszintézis rendszer működése közötti összefüggések

A környezeti tényezők között, a növények fotoszintézis rendszerére gyakorolt hatás tekintetében kiemelkedő jelentősége van a hőmérsékletnek és a vízellátottnak.

Hőmérséklet

A növények fotoszintézise ezen keresztül a biomassa produkció nagysága érzékenyen reagál a hőmérséklet változására. Mind a túl alacsony, mind a túl magas hőmérséklet hatására romlik az asszimiláció hatékonysága. A fotoszintézis hőmérsékleti hatásgörbéje optimumgörbe, ami növényenként változik. Megkülönböztetnek fiziológiai optimumot, amely hőmérsékleten a növekedés a legnagyobb sebességet mutatja, és a harmonikus optimumot, amikor a legerősebb növények fejlődnek (Pethő, 1993; Szalai, 1994; Werf et al., 1996).

A hőmérséklet hatással van a növények levelén található sztómák nyitottságára is. Raschke, et al. (1970) a kukorica levelén található sztómák nyitottságát vizsgálta a hőmérséklet

változásával összefüggésben. A mérések szerint 7-15 °C között zárva vannak a gázcsere nyílások, ezután a hőmérséklet emelkedésével egyre jobban kinyílnak és 40 °C körül érik el a maximális nyitottságot.

Venzhik et al. (2011) fiatal búza növények reakcióját vizsgálta az alacsony (4 °C) hőmérsékletre, és megállapították, hogy a fotoszintézis ráta 18%-kal csökkent 5 óra alacsony hőmérsékletű kezelés után, és a PSII rendszer kvantumhatékonysága 8%-kal csökkent 24 óra kezelés után. Az alacsony hőmérséklet nagy hatással volt a búza fotoszintézis paramétereire és fejlődésére a bokrosodás időszakában Liu et al. (2019) eredményei alapján is. A hidegkezelés hatását -6 és +6 °C között vizsgálták több lépcsőben. A hőmérséklet csökkenésével csökkent a levélterület-index, a nettó asszimilációs ráta és a harvest index (HI), de a fajták érzékenységeiben eltéréseket igazoltak.

Beltenyésztett kukorica vonalaknál, melyek eltérő hidegtűrő képességgel rendelkeztek, vizsgálták Janda et al. (1998) a növekedési hőmérséklet hatását a nettó fotoszintetikus rátára. Megállapították, hogy optimális hőmérsékleten nevelkedett kukoricánövényeknél nem volt a vonalak között jelentős különbség a nettó fotoszintetikus rátában, azonban a hidegkezelés után a gyengébb hidegtűrő képességű vonalak fotoszintézis intenzitása jelentősen csökkent. A hő- és vízstressz hatását értékelték Balla et al. (2006) eltérő búza genotípusok esetében. A stressztűrő fajták fotoszintézis paraméterei csak kis mértékben változtak.

A legtöbb erre irányuló kutatás eredményei szerint a túl magas hőmérséklet csökkenti a növények fotoszintézis intenzitását, bár a reakció fajonként és akár genotípusonként eltérő mértékű. A magas hőmérséklet általában a fejlődés reprodukív szakaszában gyakorolja a legnagyobb hatást a növényekre. Hatfield és Prueger, (2015), illetve Hatfield, (2016) kutatásai szerint a kukorica szemtermése jelentősen, akár 80-90%-kal is csökkenhet a normál hőmérsékleti rendszerhez képest, a magas hőmérséklet hatására. Crafts-Brandner és Salvucci (2002) eredményei is azt mutatták, hogy a kukorica nettó fotoszintézis intenzitása gátolt volt 38 °C feletti hőmérsékleten, és a gátlást sokkal erősebb volt, ha a hőmérsékletet gyorsan, nem pedig fokozatosan emelték, ugyanakkor a transzspiráció fokozatosan nőtt a levélhőmérséklettel, ami azt jelzi, hogy a gátlás nem járt együtt a sztómák záródásával. A CO₂-asszimilációval ellentétben a 2-es fotokémiai rendszer maximális kvantumhozama (Fv/Fm) viszonylag érzéketlen volt a levélhőmérsékletre 45 °C-ig.

A vízhiány vagy a vízfelesleg fokozza a magas hőmérséklet hatását, ami azt mutatja, hogy a hőmérséklet és a víz kölcsönhatásának jobb megértése szükséges ahhoz, hogy hatékonyabb alkalmazkodási stratégiákat lehessen kidolgozni a változó éghajlattal járó nagyobb hőmérsékleti szélsőségek hatásainak ellensúlyozására a növénytermesztésben. Killi et al.,

(2017) vizsgálataiban a napraforgót a kukoricával összehasonlítva megállapította, hogy a magas hőmérséklet fotoszintézisre gyakorolt negatív hatása a napraforgóban sokkal jelentősebb volt.

Zhao et al. (2007) mérései szerint, a búza levelek nettó fotoszintézis intenzitása és sztóma-konduktanciája jelentősen visszaesett, a transzspiráció pedig nőtt, a hőmérséklet emelkedés hatására. Hasonló eredményeket közölt a magas hőmérséklet hatásáról Yang et al. (2012) kukoricában végzett mérések alapján.

A magas hőmérséklet nagy valószínűséggel vízhiány-stresszt okoz a növényekben, mivel együtt jár légköri párahiány növekedésével, illetve a talajban a gyökérszóna nedvességtartalmának gyors csökkenésével. Ez a növények levelén a sztómák záródásához vezet a kiszáradás elkerülése érdekében, ami nyilván korlátozza a fotoszintézis rendszer működését (Kim et al., 2007; Schauburger et al., 2017). A magas hőmérséklet oxidatív stresszt okozhat, és közvetlenül is károsíthatja az enzimeket és szöveteket (Kadam et al., 2014). Von Caemmerer és Farquhar (1981) megállapította, hogy a CO₂-asszimiláció sebességének a fényre, az O₂ parciális nyomására és a hőmérsékletre adott válasza alacsony és magas intercelluláris CO₂ szint esetén eltérő volt, ami arra utal, hogy a CO₂ beépítés sebességét alacsony és magas intercelluláris CO₂ szint esetén különböző folyamatok szabályozzák. Szerintük a fotoszintézist alacsony fényintenzitásnál a fénymennyiség, míg erős fényben az elektrontranszport kapacitás korlátozza.

Rotundo et al., (2019) szerint a globális felmelegedés kukoricatermésre gyakorolt negatív hatásait valószínűleg túlbecsülik, mivel az általuk vizsgált, eltérő származású kukorica genotípusok fotoszintézis optimuma 40 °C volt. Az eredmények ellentétben állnak az eddigi adatokkal, amelyek a szénasszimiláció csökkenését jelzik 30-33 °C felett (Crafts-Brandner és Salvucci, 2002; Zhao et al., 2013).

Víz

A vízstressz (ebben az esetben vízhiány) azonnali hatással van a növények fotoszintézisének paramétereire, különösen a sztóma-konduktanciára, következésképpen a levelek sejtközi járatainak CO₂-szintjére is (Farquhar és Sharkey, 1982; Vos és Groenwold, 1989; Flexas és Medrano, 2002; Kutasy et al., 2005; Mejri et al., 2016).

A fotoszintézis általában korlátozottan működik szárazságstressz alatt, és a túl sok fényenergia fotoinhibíciót képes előidézni, sőt fotooxidációhoz vezethet, ami a fotoszintézis rendszer membránjainak károsodását okozhatja. A vízhiány korlátozza a fotoszintézis rendszer működését, csökken a fényabszorpció, a fotolízis, a CO₂ beépítés, illetve egyéb folyamatok hatékonysága is romlik, mindez a növények lassabb növekedését és gyengébb szaporodási képességét (virág és magképzést) eredményezi (Edwards et al., 2012). Shao et al., (2021)

kukoricában végzett kutatásai azt mutatták, hogy a vízhiány rontotta a fejlődő nővirágzat szénhidrát-ellátását, a fotoszintézis sebességének, és a szénhidrát-szintézis levél- és növény szintű csökkenésén keresztül.

A növények szárazságra adott válaszában egyik fontos jellemzője a vízfelhasználás hatékonysága (WUE). A vízfelhasználás hatékonyságának fogalmát (WUE) Briggs és Shantz (1913) vezette be több mint 110 évvel ezelőtt. Összefüggést kerestek a növények produkciója és a vízfelhasználás között. Úgy határozták meg a WUE kifejezést, mint a növény által felhasznált vízegységenként termelt biomassza mennyiségének mértékét.

Šafránková et al. (2007) hat árpafajtát vizsgálva megállapította, hogy a vízstressz a fotoszintézis paraméterek csökkenését eredményezte mindegyik genotípusnál, és egy kivétellel csökkent a vízfelhasználás hatékonysága (WUE) is. A vízstressz különböző búza genotípusokra gyakorolt hatásának elemezte Hagyó et al. (2007). A búzafajták vízfogyasztása között alig mértek különbséget a vízhiányos és öntözött kezelések esetében.

Hirasawa és Hsiao (1999) aszályos nyáron vizsgálta Kaliforniában a kukoricánövények fotoszintetikus rátáját. Megállapították, hogy azokon a napokon, amikor légköri aszály volt, a levelek a maximális fotoszintézist a késő reggeli órákban érték el, majd utána a nap előrehaladtával a mért értékek folyamatosan csökkentek, annak ellenére, hogy a növények jó vízellátottságban voltak. Búza és árpa fotoszintézisének és transzspirációjának vízstressz hatására történő megváltozásának vizsgálata során Johnson et al. (1974) megállapította, hogy a vízstressz csökkentette a vízfelvételt és akadályozta a fotoszintézist.

A kutatások alapján megállapítható, hogy általában az aszályban növekszik a WUE, elsősorban azért, mert a sztóma-konduktancia és így a vízveszteség nagyobb mértékben csökken, mint a szénmegkötés (Edwards, 2012).

Fény

A megvilágítás szintje nyilvánvalóan alapvetően meghatározza a fotoszintézis rendszer működését, de a különböző növényfajok eltérően reagálnak a fény összetételének és intenzitásának változására. A növények leveleiben a fotoszintézis rendszer válasza a változó besugárzásra gyors, másodperces vagy perces időskálán történő válaszreakció, de a levél fotoszintézise nem lineárisan reagál a fényintenzitás változásaira. Már néhány perces alacsony megvilágítási szint lefelé szabályozza a Calvin-ciklus enzimaktivitását és a sztómák nyílását, így a fotoszintézis korlátozott lesz (Sun et al., 2016; Sivakumar és Jifon, 2018).

Az eltérő megvilágítás és a fotoszintézis intenzitása közötti összefüggést vizsgálta Vidal et al. (1996) szója növényeken. Méréseik szerint a fényintenzitás emelése $400 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -ről $1200 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -re a fotoszintézis intenzitásának kétszereződését eredményezte.

Az UV-B (312 nm) sugárzás hatását a búza fotoszintézisére Sharma et al. (1998) vizsgálta. Megállapította, hogy az UV-B sugárzás jelentősen csökkentette a nettó fotoszintézist, jobban, mint azt a sztómák átjárhatóságának csökkenése indokolta volna. Három megvilágítási szinten (50, 250, 650 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$) mérte Park et al. (1996) a borsó fotoszintézisét. Az alacsony megvilágításhoz adaptálódott levelekben erős megvilágítás hatására fénystressz alakult ki, melyet a PSII rendszer inaktiválódása okozott.

Wu et al. (2022) különböző tőszámokkal vetett kukoricában végzett mérések eredményei alapján megállapította, hogy a kukoricánövények képesek változtatni fotoszintetikus funkcióik vertikális elosztását, hogy alkalmazkodjanak a fénykörnyezetük változásához, amit az eltérő növényesűrűség jelentett, illetve a felső levelek eltávolításával az árnyékolás csökkenése okozott.

Ábri et al. (2022) akácban (*Robinia pseudoacacia*) végzett mérései azt mutatták, hogy a genotípusok eltérően reagáltak a különböző megvilágítási szintekre. A genotípusok fényreakció-görbéjét 8 lépésben, csökkenő fotoszintetikus fotonáramsűrűség (PPFD) mellett figyelték meg. Minden PPFD-szinten szignifikáns különbség volt a fotoszintézis intenzitásában, és a különbség nagyobb volt a magasabb PPFD szinteken. Hasonló vizsgálatok eredményei alapján megállapítható volt, hogy az akác genotípusok nettó asszimilációs ráta görbéi a megvilágítási szintek növekedésével folyamatosan nőttek, de a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD-szintnél ellaposodtak a fotorespirációnak az asszimilációs sebességre gyakorolt hatása miatt (Ábri et al., 2024).

2.2.2. A környezeti tényezők és a növények vízhasznosításának hatékonysága közötti kapcsolatok

A globális éghajlati változások következtében kialakuló időjárási helyzetek a legtöbb esetben abiotikus stresszt jelentenek a szántóföldi növénytermesztésben. Leggyakoribb ilyen stresszfaktor a vízstressz (szárazság) és a hőstressz (Hatfield és Dold, 2019). A melegebb levegő párafellevő képessége nagyobb, 1 °C hőmérséklet emelkedéssel 7%-kal nő, így hamar kialakulhat a növények számára kedvezőtlen nagyon alacsony relatív páratartalom a levegőben (Collins et al., 2013).

A növények vízigényét nehéz közvetlenül, mérésekkel meghatározni, ezért jellemzően a víz elpárolgási potenciáljának empirikus becsléséből, az úgynevezett potenciális párolgás (PET) felhasználásával számítják ki. A PET a légkör vízigényét jelenti, és a teljes beérkező sugárzás alapján számítható ki (Szász, 1997).

A növények szárazságtűrő képességét számos tulajdonság határozza meg. A számszerűsítés során általában olyan tulajdonságokat vesznek figyelembe, melyek a legfontosabb fiziológiai folyamatokban, például a sztóma-konduktancia, a hidraulikus vezetőképességben és a sejtek turgornyomásában csökkenést idéznek elő (Bartlett et al., 2016).

Újabb vizsgálatok alapján, a sztóma-konduktancia csökkentése útján, például genetikai módosítással alacsony sztómasűrűségű növények előállításával, javítani lehet a vízhasznosítást (WUE) pillanatnyilag vagy akár hosszabb időszakot figyelembe véve is, anélkül, hogy a fotoszintetikus kapacitás jelentősen megváltozott volna (Franks et al., 2015). Véleményük szerint ennek a jövőben jelentősége lehet, különösen az emelkedő légköri CO₂ szint miatt, ami lehetővé teszi a magas szintű fotoszintézist alacsony sztóma-konduktancia mellett is. Hasonló véleményen van Ainsworth és Rogers (2007) is.

A növények fiziológiai folyamatait befolyásolja a vízhiány, és az aszályra adott növényi reakció a párolgás változtatásán keresztül szintén befolyásolhatja a víz elérhetőségét a növény szervezetében (McDowell et al., 2008). A vízhiány-stresszben lévő növények túlélési esélyét Swann (2018) szerint negatívan befolyásolja a globálisan emelkedő hőmérséklet, a levegő növekvő párahiánya következtében fokozódó transzspiráción keresztül.

A vízhasznosítással az eltérő környezeti feltételek mellett termesztett növények teljesítményét is jellemezhetjük. A levelek szintjén a vízhasznosítást (WUE) a nettó fotoszintézis és a transzspiráció hányadosaként értelmezhetjük (Shangguan et al., 2000). Különbőség tapasztalható a különböző karboxilációs utat követő növények vízhasznosításában. Brown és Simmons (1979) vizsgálatai kimutatták, hogy a C₄-es fűfélék levelei kevés kimutatható fotorespirációval, de nagyobb fotoszintézis intenzitással és jobb vízfelhasználási hatékonysággal (fotoszintézis/transzspiráció) rendelkeznek, mint a C₃-as fűfajok. Mások kutatásai lapján a C₄-es növényeknek a magasabb nettó asszimilációs ráta és az alacsonyabb sztóma-konduktancia miatt kedvezőbb WUE értéke, mint a C₃-as növényeknek (Taylor et al., 2012). Flexas et al. (2013) elemzése azt mutatta, hogy a növények vízfelhasználási hatékonysága (WUE) általában növekszik, amikor a mezofill és a sztómák CO₂-diffúziós vezetőképességének aránya nő.

Ben-Asher et al. (2008) klímakamrában vizsgálta a csemegekukorica transzspirációját és fotoszintézis aktivitását eltérő hőmérsékleti értékeket beállítva. A hőmérséklet emelkedésével csökkent a fotoszintézis intenzitása, nőtt a transzspiráció mértéke és ezek eredményeképpen romlott a vízhasznosítás (WUE).

Számos tanulmányban olvashatunk olyan eredményekről, hogy a száraz körülmények, a talaj nedvességtartalmának alacsony szintje javíthatja a növények vízhasznosítását (Dodd,

2009). Néhány kutató arra a következtetésre jutott, hogy a megnövekedett WUE lehetséges oka a mikorrhiza társulás lehet, amely segíti a növények vízfelvételét (Kaya et al., 2003).

Edwards et al. (2012) megállapította, hogy a WUE szárazságban növekedett, ami elsősorban annak tulajdonítható, hogy a sztómák konduktanciája, és így a vízvesztés nagyobb mértékben csökkent, mint a CO₂ megkötés. Guoju et al. (2013) szerint Kínában a búza, kukorica és burgonya vízhasznosítása (WUE) javult az 1960-2009 közötti időszakban, aminek oka valószínűleg a hőmérséklet emelkedése és a csapadék mennyiségének csökkenése. Condon et al. (2002) vizsgálatai szerint a levél szintjén javuló vízhasznosítás szántóföldi körülmények között nem mindig nyilvánul meg a növény hatékonyabb vízfelhasználásában.

A szántóföldön a növényállomány vízhasznosításának javítása úgy is elérhető, hogy csökkentjük az evapotranszpiráció evaporációs komponensét így több víz használható fel a transzpirációra. Ez történhet a növényi maradványok helyben hagyásával, mulcsozással, kis sortávolság alkalmazásával, vagy nagyobb állománysűrűséggel (Hatfield és Dold, 2019). Véleményem szerint a gyakorlatban ezek alkalmazásának lehetnek hátrányai is, illetve vannak korlátai.

Howell (2001) szerint az öntözés is hatékony eszköz lehet a WUE javítására, különösen a félszáraz és aszályos környezetben. Az öntözés még a humid és szubhumid környezetben is hatékony a rövid ideig tartó aszályok leküzdésében. Az öntözés önmagában azonban nem mindig eredményezi a lehető legjobb vízhasznosítást (Filho, 2021).

A klímaváltozás és a népességnövekedés együttes hatása miatt sürgősen szükség van a fotoszintézis intenzitás, termés és a vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) egyidejű növelésére a növénytermesztésben. Ez igazi kihívást jelent a szakemberek számára, mert a termés növekedése általában a vízfogyasztás növelésével is jár, viszont fontos cél lenne a vízfelhasználás csökkentése a növénytermesztésben (Flexas et al., 2016).

A szántóföldi hidrológiai folyamatok és a WUE dinamikájának becslésére, értékelésére különböző modelleket hoztak létre és alkalmaznak. Ezek között van, amelyik a sztómák működésén alapuló növényi WUE modellt, és összekapcsolja a növényi növekedés és a szántóföldi vízkörforgás folyamatait (Wang et al., 2023). Ezek megbízható, szántóföldi kísérletekből és mérésekből származó adatokkal történő kalibrációja és validálása alapvető fontosságú.

2.3. A nitrogén-ellátottság hatása a fotoszintézis rendszer működésére és a vízhasznosításra a szántóföldi növényeknél

A nitrogén hozzáférhetősége alapvetően meghatározza a szántóföldi növények növekedését és termésképző folyamatait, a növények működéséhez nélkülözhetetlen makrotápanyag, és a növényi fehérjék és enzimek építőköveit alkotó aminosavak kulcsfontosságú összetevője (Kádár, 1992). A N-ellátottság meghatározza a növények biomasszatermelését és javítja a vízfelhasználás hatékonyságát (Csathó, 2003; Ragályi et al., 2023). A nitrogén részt vesz a klorofill molekula felépítésében is, amely lehetővé teszi a fotoszintézist a napfény energiájának felhasználásával (Debreczeni és Debreczeni, 1983).

A növények fotoszintézis rendszerének felépítéséhez nagy mennyiségű, különböző funkciójú fehérje szükséges, ezek nitrogéntartalma kiteszi a növényben lévő nitrogén nagy részét. A levelek fotoszintetikus kapacitása elsősorban a nitrogéntartalommal függ össze, mivel a Calvin-ciklus fehérjéi és a tilakoid-membránok tartalmazzák a levél nitrogénjének nagy részét, és a tilakoid-membránok nitrogéntartalma arányos a klorofilltartalommal (50 mol tilakoid N mol⁻¹ klorofill). Számos növényfajnál alacsony fényintenzitás hatására növekszik a klorofill molekulákba épített nitrogén aránya a tilakoid-membránokhoz képest (Evans, 1989).

A fotoszintetikus rendszer felépítéséhez szükséges nagy nitrogénigény az, ami miatt a nagy termőképességű növényeknek nitrogéntartalmú műtrágyára van szükségük (Evans és Clarke, 2018). A N-hiány a fotoszintézis, a levélfelület és a zöld levelek élettartamának csökkenésével befolyásolja a növények produktivitását. Továbbá, a nitrogénhiány közvetve befolyásolhatja a CO₂-megkötést a növekedés korlátozása és az azt követő szénhidrátfelhalmozódás, valamint a fotoszintézis visszacsatolt korlátozása miatt (Rufty et al., 1988; Paul és Driscoll, 1997; Rogers et al., 1998). A levél nitrogén-koncentrációjának csökkenésével nő az egységnyi nitrogénre jutó nettó CO₂-asszimiláció mértéke (Boot et al., 1992; Pons et al., 1994).

Ugyanakkor, a nitrogén-ellátás javulásával nem növekszik egyértelműen a levelekben a belső CO₂ konduktancia, emiatt a fotoszintézis relatív korlátozása figyelhető meg, ami összefüggésben van a levél N- és Rubisco-tartalmával (Warren, 2004).

A nitrogén-ellátottság és a növények asszimilációja, vízfogyasztása, illetve vízhasznosítása közötti kapcsolatot számos kutató vizsgálta, és általában szoros kapcsolatot igazoltak köztük (Ruzsányi, 1973; Field és Mooney, 1986; Abbas et al., 2015; Gheysari et al., 2015; Bassi et al., 2018).

Súlyos nitrogénhiány-stressz esetén a fotoszintézis intenzitása szinte minden növény esetében csökken. Ennek okai a lehetnek a sztóma-konduktancia csökkenése, ami befolyásolja a sejtek közötti CO₂-koncentrációt, a bioenergetikai és fénygyűjtő fehérjék mennyiségének

csökkenése, ami gátolja az elektrontranszport sebességét és rontja a fényenergia hasznosulását, a fotoszintetikus enzimek mennyiségének és/vagy aktivitásának csökkenése, ami csökkenti a karboxilációs sebességet (Mu és Chen, 2020).

Fernandez et al. (1996) arra az eredményre jutott, hogy a kukorica általuk mért fiziológiai paramétereit (levél vízpotenciál, sztóma-konduktancia és nettó fotoszintézis mértéke) nem befolyásolta a csökkentett N-trágyázás. Ugyanakkor de Groot et al. (2003) mérései szerint N-stressz alatt a fotoszintézis csökkent a fényelnyelés csökkenése és az asszimilátumok korlátozott felhasználása következtében. Schmitt és Edwards (1981) adatai szerint a C₄-es kukorica nagyobb nitrogénfelhasználási hatékonysággal rendelkezett, mint a két általa vizsgált C₃-as faj, a rizs és a búza.

Viszonylag kevés eredmény található viszont aszályos körülmények között végzett kísérletekből a témában. A vízhiány a sztómák záródásával jár együtt, és ilyen körülmények között a N-trágyázás nem javítja egyértelműen a fotoszintézis intenzitását és a fényenergia hasznosítását. A kukorica leveleinek fotoszintetikus tulajdonságait Guo et al. (2021) szerint a víz és a nitrogén rendszerszerűen szabályozza. Az eredményeik azt mutatták, hogy a víz és a nitrogén kapcsolata szabályozza a nettó fotoszintézis intenzitást, a sztóma-konduktanciát és a transzspiráció mértékét. Az öntözésnek önmagában nem volt szignifikáns hatása a kukorica levelek, gázcserejére és klorofill *a* fluoreszcenciájára.

Csajbók et al. (2014) kukoricában végzett kutatásaik alapján megállapította, hogy a kukorica fotoszintézis paraméterei jó vízellátás mellett jelentősen javulnak az emelkedő nitrogén-dózisok hatására. A vízstressz viszont, a csökkent sztóma-konduktancián keresztül szignifikáns negatív hatással volt a kukorica asszimilációs paramétereire. A kapott eredmények arra utalnak, hogy a kukorica vízfelhasználási hatékonysága száraz körülmények között jobb.

Hernández et al., (2015) eredményei azt mutatták, hogy a N-ellátottság nem befolyásolta kukorica WUE értékét vízhiányos környezetben, de jelentősen növelte az evapotranszpirációt (ET) (2-8%) minden vízellátottsági változatban. Az ET növekedése szorosan összefüggött a PAR változásával kedvező vízellátottság mellett, de vízhiányos környezetben nem.

Ezzel részben ellentmondó Hammad et al. (2017) eredménye. Kukoricában végzett kísérletük alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a kukorica legjobb vízhasznosítása a legnagyobb nitrogén dózis és legkisebb öntözővíz adagnál (vízkapacitás 50%-a) volt. Szerintük tehát jelentős hatása volt a kukorica WUE értékére a nitrogén-ellátottság. Javed et al., (2018) szintén arra a következtetésre jutott, hogy a nitrogéntrágyázás (N: 200 kg ha⁻¹) mulcsozott körülmények között jelentősen csökkentette a teljes vízfelhasználást és növelte a WUE-t a kukorica esetében, és a hatás nagyobb volt, ha három részletben került kijuttatásra a nitrogén-

adag. Hasonló eredményre jutott Jiang et al., (2004) is. Vizsgálataik alapján a trágyázás hatása a kukorica vízhasznosítására a meteorológiai tényezőktől függően változott, a WUE 9,51 és 160,72% között nőtt. A műtrágya és szerves trágya kombinált alkalmazása eredményezte a legnagyobb termés- és WUE-növekedést. Tadesse et al. (2024) szintén arra a következtetésre jutott a kukorica öntözése és nitrogén trágyázása közötti összefüggéseket elemezve, hogy a féladagú öntözés esetén nőtt a WUE a teljes öntözéshez képest, és a legnagyobb vízhasznosítást a 75%-os öntözés és 92 kg ha⁻¹ N adagnál kapták, tehát az öntözés és N-ellátás együttes alkalmazásával lehetett elérni a legjobb eredményt.

Noor et al. (2023) is megállapította tanulmányában a kísérleti eredményei alapján, hogy a nitrogén-ellátás hatással volt a fotoszintézis intenzitásra, a transzspirációra és a sejtközötti CO₂ koncentrációra, klorofill-tartalomra, ezek eredményeképpen a termésképző elemekre és a termésre is. A legjobb eredményt a 150 kg ha⁻¹ N-adag esetében kapták a búzában.

Számos szántóföldi növényfaj esetében vizsgálta Kattge et al. (2009) a levelek száraz tömege, nitrogéntartalma és fotoszintetikus tulajdonságai közötti összefüggéseket, és kapcsolatot találtak közöttük. A fotoszintetikus kapacitás és a levelek területegységre vetített nitrogéntartalma között lineáris összefüggéseket azonosítottak különböző növényfajok esetében. Ezeket az eredményeket alátámasztják Qiang et al. (2023) megállapításai is. Kísérletükben a nitrogénhiány csökkentette a fotoszintézis rendszerben a N mennyiségét, így csökkentve a PNUE-t és a fotoszintetikus kapacitást a szója leveleiben. A N-adag növelése a fénygyűjtő rendszerben csökkent nitrogénarányt, az elektrontranszport és a karboxilációs rendszerben pedig megnövekedett nitrogénarányt eredményezett. Adams et al. (2018) hasonló vizsgálataiban nem talált igazolt eltérést a nitrogéngyűjtő és nem nitrogéngyűjtő kétszikű növényfajok eredményei között.

Chapin et al. (1988) tanulmányában azt írta, hogy a korlátozott N-ellátás megnövelte a fotoszintetikus rátát a fiatal levelekben, de csökkentette az idősebb levelekben. A N-ellátottság hatással volt a fotoszintézis intenzitására és az árpa levélfelületének fejlődésére. Hasonló eredményre jutottak Csajbók et al. (2020), őszi árpa fajtákat vizsgálva megállapította, hogy a fajták asszimilációs rátája nem egyformán változott a N-ellátottsággal összefüggésben, bár a hatás nem volt szignifikáns, de a nagyobb N-dózis mind a hat vizsgált fajtánál nagyobb termés hozamot és nagyobb fehérjetermést eredményezett.

Bindraban (1999) öt tavaszi búza fajtánál, két vetésidőben, optimális termesztési feltételek mellett vizsgálta a növények eltérő szinten elhelyezkedő levelein a N-eloszlást és a fotoszintézist. Megállapította, hogy az alsóbb leveleken mért fotoszintézist szinte teljes mértékben a megvilágítás intenzitása határozza meg, nem pedig a levél N-tartalma. Sun et al.

(2016) rizsben végzett kísérleteik eredményei alapján arra a következtetésre jutott, hogy a N javíthatja a fotoszintézis reakcióját a változó fényintenzitásra.

Shangguan et al. (2000) a nitrogén ellátás, a fotoszintetikus gázcsere folyamatok és a vízellátottság összefüggésrendszerét vizsgálta őszi búzánál. Megállapította, hogy a fotoszintetikus gázcsere paramétereket jelentősen befolyásolja a víz- és a N-ellátottság. Nagyobb N-ellátottság mellett a növények vízhasznosítása nagyobb mértékben csökkent, mint alacsonyabb N-ellátottságnál amiatt, hogy a fotoszintetikus ráta is nagyobb mértékben csökkent. Wang et al. (2017) a kukorica szárazságtűrésének és a WUE javításának érdekében alacsonyabb N-mennyiséggel való ellátást javasolt.

Lönhardné et al. (1996) a fotoszintetikus potenciál nagyságát vizsgálta tápanyagkísérletben. A fotoszintetikus potenciál és a kalásztömeg közötti kapcsolat a tenyészidő végéhez közeledve vált szorosabbá. A tápanyagellátás szignifikánsan befolyásolta a fotoszintetikus potenciált. A tápanyaghiány kedvezőtlenül befolyásolja a növények életfolyamatait, így fotoszintézis intenzitását is. Lu és Zhang (2000) vizsgálatai szerint a nitrogénhiány jelentősen csökkentette a fotoszintézis intenzitását kukoricánál. A jelenséget elsősorban a PSII fotokémiai rendszer módosulásával magyarázták.

Napraforgó kísérletben végzett méréseik alapján Fredeen et al. (1991) megállapította, hogy a tápanyaghiány-stressz csökkentette a levelek nitrogén- és klorofilltartalmát. Ezenkívül a nitrogénstressz csökkentette a vízfelhasználás hatékonyságát (WUE). Vizsgálataikban a napraforgó a vízhiányra a levelekben glükóz és szacharóz felhalmozásával, valamint a levelek napközbeni hervadásával reagált, ami további WUE javulást eredményezett az ozmoreguláció, illetve a déli sugárzási intercepció csökkentése révén. Arra a következtetésre jutottak, hogy a szabadföldön termesztett napraforgó a víz és nitrogén felhasználás hatékonyságát változtatja az erőforrás hozzáférhetősége alapján. Növeli a szűkös erőforrás felhasználási hatékonyságát, miközben csökkenti a bőségesen rendelkezésre álló erőforrás felhasználásának hatékonyságát.

Vannak ezzel ellentétes eredmények is, egyes szántóföldi kísérletek azt mutatják, hogy a műtrágyázásnak és az ennek övetkeztében megfigyelhető fokozott növekedésnek nincs hatása az evapotranspirációra (Viets, 1962).

2.4. A napraforgó vízfogyasztása, vízhasznosítása

A napraforgó vízigénye viszonylag nagy, különösen, ha figyelembe vesszük a termés mennyiségét. Ennek ellenére képes elviselni súlyos vízhiányt, akár a talaj holtvíztartalomig történő kiszáradását is, amennyiben az rövid ideig tart, illetve nem a kritikus időszakban, a

virágzás fenofázisban éri (Karam et al., 2007). A vízhiány gátló hatást gyakorolhat a napraforgó levél fotoszintézisére, és ezek a hatások a vízhiány súlyosbodásával fokozódnak. A hosszú ideig tartó súlyos vízhiány azonban olyan károsodást okozhat, mely levélszáradás formájában jelentkezik, és a termés csökkenésével jár.

Mélyrétegű talajban a napraforgó gyökérzete akár 2-3 méter mélységbe is lehatol, de a víz felvétele legnagyobb részben a gyökérzóna 0,8-1,5 méter közötti mélységéből történik.

A tenyészdő korai szakaszában fellépő súlyos vízhiány kisebb növény magasságot, és ezzel párhuzamosan mélyebbre hatoló gyökérzetet eredményez. A vegetációs időszak későbbi szakaszában fontos a megfelelő vízellátás a zavartalan fejlődéshez (Pepó és Novák, 2016). Mint a legtöbb növény esetében, a napraforgónál is kiemelt jelentőségű a vízellátottság a virágzási időszakban, ekkor a legérzékenyebb a vízhiányra, és enyhe vízstressz is terméscsökkenést okoz (Filho et al., 2021, Göçmen et al., 2022). A termésképződési szakaszban bekövetkező vízhiány a termés csökkenése mellett az olajtartalom csökkenését is okozhatja (Tran et al., 2024). Wise et al. (1990) megállapította, hogy a napraforgó átlagos WUE-értéke a teljes növekedési időszakban jóval alacsonyabb volt, mint a kukoricáé, valamint a nettó fotoszintézis intenzitás csökkenése és a levelek konduktanciájának csökkenése között a nap folyamán közel lineáris kapcsolat volt, így a fotoszintézis alacsony, délutáni mértéke a legmagasabb sejtközi CO₂-koncentrációval járt együtt.

Szárazság-stressznek kitett napraforgó növények vizsgálata során Wample és Thornton (1984) megállapította, hogy a levelek vízpotenciálja és a fotoszintézis intenzitása csökkent a stressz fokozódásával, míg a fotorespiráció nőtt 48 és 96 órás szárazságstressz után. A szárazságstressznek kitett növényekben a fotoszintézis csökkenésének elsődleges oka a megnövekedett sztómális rezisztencia lehetett véleményük szerint.

Adiredjo et al. (2014) az első genetikai kvantitatív elemzés és QTL-térképezés során WUE és CID tekintetében napraforgóban megállapította, hogy a napraforgó genotípusok között olyan genetikai variációk vannak, melyek magyarázatot adhatnak a szárazságstresszre adott válaszok különbözőségére. Szerinte a CID-re történő előzetes szelekció jó megoldás lehet a WUE javítását célzó nemesítés során.

Chen et al. (2023) arra az eredményre jutott a napraforgó vízfogyasztásának és fotoszintézis paramétereinek vizsgálatát célzó munkájuk során, hogy az enyhe vízhiány minden fenofázisban szignifikánsan növelte a levelek vízfelhasználási hatékonyságát (WUE). Enyhe vízhiány esetén a sztóma konduktancia csökkenése jelent meg a napraforgó leveleinek fotoszintetikus kapacitásának csökkenését előidéző domináns tényezőként. Súlyos vízhiányban a fotoszintézis rendszer károsodása volt a fő oka a CO₂ asszimiláció csökkenésének.

A napraforgó vízhasznosítása (WUE) javult vízhiányos körülmények között Albaji et al., (2011) vizsgálatai szerint is. A legnagyobb WUE értéket a gyökérszóna 50%-os kiszáradása mellett kapták, míg a legkisebbet a 100%-os öntözés mellett. Hasonló eredményt publikáltak Kasem et al. (2015), illetve Kazemalilou et al. (2023) is, öntözött napraforgó kultúrában végzett méréseik alapján. Megállapították, hogy a napraforgó vízfelhasználási hatékonyságának (WUE) értéke csökkent a kijuttatott vízmennyiség növelésével. Soothar et al. (2021) eredményei is megerősítik, hogy a napraforgó vízhasznosítása kedvezőtlenebb vízellátottság mellett jobb. Wang et al. (2021) szerint a napraforgó és kukorica vízhasznosítása negatívan korrelált a párányomáshiánnyal (VPD), a nettó besugárzással és a talaj nedvességtartalmával. Eredményei alapján a VPD volt a WUE-t legjobban meghatározó tényező.

Killi et al. (2017) a hőhullámokkal járó megemelkedett hőmérséklet hatását vizsgálta a napraforgó növekedésére, és fotoszintézisére. Eredményeik azt mutatták, hogy a napraforgó növekedésére szignifikánsan negatív hatással van a magas hőmérséklet, de a fotoszintézisre gyakorolt káros hatás kevésbé volt nyilvánvaló.

A trágyázás és öntözés hatását vizsgálva a napraforgó fotoszintézis paramétereire és vízhasznosítására Li et al. (2020) igazolta, hogy közepes vízellátás mellett, a műtrágya mennyiségének növelése megnövelte a nettó fotoszintézis rátát, a sztóma-konduktanciát és a klorofill mennyiségét a levelekben. A vízfelhasználás hatékonysága (WUE) jelentősen javult.

A napraforgó vízhasznosításával kapcsolatban érdekes eredményre jutott Baghbani-Arani et al. (2020). Az eredmények azt mutatták, hogy vízhiány csökkentette a vízfelhasználás hatékonyságát, viszont az istállótrágya és zeolit együttes használata jelentős javulást eredményezett a napraforgó WUE értékében.

A napraforgó vízhasznosításával kapcsolatosan néhány tanulmány megállapította, hogy a WUE a növényesűrűséggel együtt nőtt, mintegy 30-100% közötti mértékben. Ez a hasonló ET mellett elért magasabb terméshozam következménye. (Alessi et al., 1977; Barros et al., 2004; Aboudrare et al., 2006; Echarte et al., 2019).

2.5. A kukorica vízfogyasztása, vízhasznosítása

A kukorica vízigényes növény, a nagy termés előállításához jelentős mennyiségű vizet használ fel, még azzal együtt is, hogy a vízhasznosítása általában jó, a C₄ fotoszintézis útnak köszönhetően. A jobb víz- és tápanyag-felhasználási hatékonyság miatt a C₄-es növények olyan élőhelyeken is képesek növekedni, amelyek a C₃-as fajok számára túlságosan kedvezőtlenek (Sage et al., 2012). Huang et al. (2006) megállapítása szerint a kukorica vízfelhasználási

hatékonysága (WUE) körülbelül kétszerese az ugyanazon a helyszínen termesztett C₃ növényekének, mert C₄-es növényként potenciálisan hatékonyabb a CO₂-, napsugárzás-, víz- és N-felhasználása a fotoszintézis során. Hasonló eredményre jutott Schoo et al., (2017) mérései szerint a kukorica WUE értéke 150-200%-a volt a lucernáénak vagy a *Silphium perfoliatum* L. növénynek.

A hatékony fotoszintézise és vízfelhasználása mellett a kukorica érzékenyebben reagál a vízhiányra, mint sok más szántóföldi növény. Korábbi kutatásai során Raschke (1970) megállapította, hogy a kukorica sztómai szinte azonnal és minden levélrészben egyidejűleg reagálnak a levelek vízellátásában bekövetkező hidrosztatikus nyomásváltozásokra. Szerinte a sztómák nyílását a vízvezető rendszer vízpotenciálja szabályozza, de a levegő nedvességtartalmától is függ.

A növények általában a reprodukciós időszakban legérzékenyebbek a vízhiányra. A kukorica esetében a kritikus fejlődési szakaszokban a vízstressz jelentősen gátolja a fotoszintézis folyamatait, és a hosszan tartó vízhiány a címerhányás és a csőképződés szakaszában, akár 66-93%-os termésvesztést is okozhat (Boyer és Westgate, 2004; Cakir, 2004; Berzsényi, 2024). Dóka és Pepó (2007) vizsgálatai szerint a vetésváltás jelentős hatással van a kukorica vízfelhasználására, és a monokultúrás termesztés sokkal rosszabb vízellátottsági állapotot eredményezett a bikultúra vagy trikultúra változatokhoz képest.

Csajbók et al. (2007) kukorica, őszi búza, burgonya és néhány fontos gyomnövény fotoszintézisét összehasonlítva megállapította, hogy a C₄-es növények CO₂ megkötése magasabb megvilágítási szinteken lényegesen kedvezőbb.

A vízhiány növekedésével a kukorica fotoszintézis rendszerének napfényre való érzékenysége csökken, de ugyanakkor a hőmérsékletre való érzékenység növekedése volt megfigyelhető Ji et al. (2017) kísérletében. A változó fotoszintetikus érzékenység azt jelezte, hogy a hőmérséklet és a napfény szerepe a kukorica fotoszintézisének szabályozásában súlyos aszályban felcserélődött.

Hirasawa és Hsiao (1999) aszályos nyáron vizsgálták a kukoricanövények fotoszintetikus rátáját. Eredményeik szerint azokon a napokon, amikor légköri aszály volt, a levelek a maximális fotoszintézist késő reggel érték el, majd utána a nap előrehaladtával a mért értékek folyamatosan csökkentek, annak ellenére, hogy a talajt alaposan beöntözték.

A kukorica (*Zea mays* L.) gázcseréjének szántóföldi mérései során gyakran tapasztalható, hogy a sztóma-konduktancia nagyobb, mint ami a fotoszintézis szempontjából, a szén-dioxid-koncentráció biztosításához szükséges. Így a kukorica levelei gyakran kisebb transzspirációs hatékonysággal működnek, mint ami a C₄ anyagcserével rendelkező fajok esetében

potenciálisan elérhető. Bunce (2010) arra a következtetésre jutott, hogy a kukoricában jelentős genotípusos eltérés van a vízhasznosításban, és hogy a WUE javítható a fotoszintézis csökkentése nélkül. Kang et al. (2000) két évben vizsgálta a vízhiány hatását a kukorica levél fotoszintézisére. Megállapította, hogy a vízhiánytól szenvedő kukoricánövények levelén mért fotoszintézis értékek az öntözés után három napon belül, gyorsan visszaálltak a kontroll értékre.

Csajbók et al., (2014) eredményei azt mutatták, hogy a kukorica fotoszintetikus gázcsere-paraméterei öntözött körülmények között jelentősen javulnak a javuló tápanyagellátás hatására. A vízstressz viszont a csökkent sztómavezetésen keresztül erősen negatív hatással van a növények asszimilációs paramétereire. Ez természetesen szignifikáns különbséget okozott a kukorica agronómiai tulajdonságaiban és a termés mennyiségében is. Sepehri és Sanavy (2003) is arra az eredményre jutott, hogy a PSII rendszer fotokémiai hatékonyságát (F_v/F_m) a nitrogén- és vízhiány jelentősen csökkentette. A nitrogénhiányban nevelt növények leveleiben a nettó fotoszintézis intenzitás és a levél teljes vízpotenciálja alacsonyabb volt a vízstressz alatt.

Más kutatások is igazolták, hogy különbség figyelhető meg a kukorica genotípusok között a vízhasznosítás tekintetében. Az aszályos körülmények között legmagasabb WUE-vel rendelkező genotípusok jól öntözött körülmények között a legalacsonyabb WUE-t mutatták (Edwards, 2012). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a WUE fontos a szárazságtűrés szempontjából. A klímaváltozás várható negatív hatásait figyelembe véve ennek nagy jelentősége lehet azokon a területeken, ahol öntözésre valamilyen ok miatt nincs lehetőség, hiszen a jobb vízhasznosítással rendelkező genotípusok nagyobb valószínűséggel termeszthetők sikeresen száraz évjáratokban (Csajbók és Kutasy, 2012).

A nemesítési munkában is látszik elmozdulás ilyen irányban, az újabb kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonysága (WUE) jobb a régebbieknél (Huang et al., 2006; Barnaby et al., 2013; O'Shaughnessy et al., 2019; Saad-Allah et al., 2022). Nagore et al., (2017) vízhiányos körülmények között vizsgálta a kukorica genotípusok vízfelhasználási hatékonyságát, és szintén megállapította, hogy az újabbak esetében a hatékonyság nagyobb volt. A jobb vízfelhasználási hatékonyság az újabb hibrideknél nagyobb szemterméssel járt együtt, míg a vízfogyasztás hasonló volt egy régi genotípuséhoz. Hasonló eredményre jutott Hao et al., (2015) is, megállapította, hogy a szárazságtűrő kukorica genotípus vízhasznosítása 17-30%-kal jobb volt, mint a hagyományos genotípusé, a vízellátottságtól függően. A különbség vízhiányos körülmények között volt nagyobb.

Gao et al. (2006) eredményei alapján megállapítható volt, hogy a szilícium szerepe a kukorica transzspirációjának csökkentésében nagyrészt a sztómák működésének szabályozásában igazolható, és a kutikulán keresztüli vízvesztést kevésbé képes befolyásolni.

Xie et al. (2014) szerint a szilícium műtrágyák sikeresen alkalmazhatók a kukorica levelek teljes klorofilltartalmának, fotoszintézis intenzitásának, sztóma-konduktanciájának növelésére, valamint az transzspiráció csökkentésére, ami azt jelenti, hogy a kukorica fotoszintetikus hatékonysága jelentősen növelhető a Si megfelelő dóziséval alkalmazásával. Vizsgálataiban a Si optimális dózisa 150 kg ha^{-1} volt.

2.6. A gyomirtók hatása a napraforgó élettani folyamataira

Az imazamox az imidazolinon (IMI)-csoportba tartozó herbicid hatóanyag, melyet széleskörűen alkalmaznak a szántóföldi növénytermesztésben. Posztemergensen alkalmazható, könnyen felszívódik a leveleken, a Clearfield technológia része. Az imidazolinon-toleráns kultúrákban az egy- és kétszikű gyomnövények széles spektrumát irtja, beleértve a kultúrnövénnyel szoros rokonságban álló gyomokat és néhány kulcsfontosságú parazita gyomnövényt is (Tan et al., 2005). Az acetolaktát-szintáz (ALS)/acetohidroxisav-szintáz (AHAS) aktivitást gátolja az érzékeny növényekben.

Az imazamox befolyásolja az olyan aminosavak, mint a leucin, izoleucin és valin bioszintézisét, ami az érzékeny növények növekedésének leállítása után azok pusztulásához vezet. A rezisztens növényekben összetett mechanizmus működik az imazamox negatív hatásával szemben, illetve a méregtelenítésre, pl. a felszívódás akadályozása, az acetolaktát-szintáz enzim megváltozása, az imazamox lassú transzlokációja a gyökerekbe, és az imazamox metabolizmusa (Shaner és Mallipudi, 1991; Rojano-Delgado et al., 2015). A növényekben a méregtelenítő enzim, a glutation-S-transzferáz (GST) aktivitása jelentősen megnőtt az imazamox alkalmazása után (Balabanova et al., 2020). Az imazamox lebontása a piridingyűrű oxidatív hidroxilációjával, majd szénhidrátkonjugációval történik (Ohba et al., 1997).

Az imidazolinon-herbicidek még rendkívül alacsony koncentrációban is nagy biológiai aktivitást mutathatnak a talajban és a növényekben, és kedvezőtlen környezeti feltételek mellett e herbicidek negatív hatásai még hangsúlyosabbá válnak (Pfenning et al., 2008). Számos tanulmány utal arra, hogy a hőmérséklet fontos szerepet játszik az imidazolinon-herbicidek hatásában.

A hatásának tanulmányozását célzó vizsgálatok azt mutatták, hogy alkalmazása után hamarosan mélyreható változások következnek be az anyagcserében. A rezisztens napraforgó növények növekedési pontjainak sárgulása és némi elhalása napokkal a kezelés után is megjelenhet (Tan et al., 2005), és a termésben bekövetkező csökkenés akár 5% is lehet (Elezovic, 2012). A nagy koncentrációjú (2,45 mM) imazamox-kezelés az IMI-rezisztens

napraforgó genotípuson is előidézett bizonyos fiziológiai és genetikai változásokat fitotoxikus szinten (Arda et al., 2020).

Balabanova és Vassilev (2015) megállapítása szerint az imazamox-kezelést követően a napraforgó levelek merisztémaszövetének átmeneti sárgulása figyelhető meg. A herbicid stressz fokozódik a nem megfelelő időjárási körülmények, például a tartósan magas hőmérséklet vagy szárazság hatására. Kísérleti eredményeik azt mutaták, hogy az ajánlott imazamox dózissal való kezelés átmenetileg negatív hatást gyakorolt a napraforgó fotoszintetikus teljesítményére és növekedésére, amely 14 nap után helyreállt.

Anastasov (2010) kutatási eredményei azt mutatták, hogy az imazamox káros hatása a napraforgó leveleinek egyes anatómiai mutatóira az asszimilációs parenchimájának megnövekedett méreteiben, a levél felső és alsó epidermiszében a sztómák sűrűségének csökkenésében, és a gázcseregyorsulást körülvevő sejtek atrófiájában nyilvánult meg. Az imazamoxszal kezelt levelek sztómáinak nem hatékony működése az asszimilációs parenchima megváltozásával és a sztómák területegységenkénti számának csökkenésével együtt a fotoszintézis és transzspiráció zavarához vezetett. A növényeken fitotoxicitás látható jeleit figyelte meg: a levelek és a vegetációs csúcs deformálódása, a növény növekedésének gátlása, enyhe klorózis és az azt követő nekrotikus foltok a napraforgó levelein. Ochogavía et al. (2014) is igazolták a klorofill mennyiségének szignifikáns csökkenését a napraforgó levelekben, a herbicid hatására.

Hasonló eredményre jutott Arda és Alyürük (2020) is. Mikroszkópos vizsgálat eredményeként megállapították, hogy a gyomirtásra használt imazamox hatóanyag növekvő dózissal való alkalmazása a napraforgó szárának anatómiai szerkezetében különböző típusú károsodásokat okozott. A sejtrétegek méretének csökkenését tapasztalták a szárkeresztmetszetekben a kezelt csoportok esetében a kontrollcsoporttal összehasonlítva. A sejtrétegek értékében bekövetkezett változások arányosan összefüggtek az alkalmazott imazamox dózissal. A genotípusok eltérő érzékenységet mutattak, bár mindegyik toleráns volt a hatóanyagra. Úgy gondolták, hogy a szállítószövetben megfigyelt változások hátrányosan befolyásolják a víz és a tápanyagok szállítását.

Az imazamox negatív hatásának enyhítési lehetőségét vizsgálta Balabanova et al., (2016). Megállapította, hogy az imazamox 132 $\mu\text{g}/\text{növény}$ (ami 40 g ha^{-1} hatóanyagnak felel meg) alkalmazása negatív hatást gyakorolt mind a fénytől függő fotoszintetikus redox-reakciókra, mind a levél gázcsere-folyamataira, ami az imazamox és az aminosav-kivonat együttes alkalmazása után sokkal kevésbé volt kifejezett.

Bár a kutatások igazolták az imazamox enyhe fitotoxikus hatását a toleráns napraforgó genotípusokra, több eredmény azt mutatja, hogy az olajtartalom növekedett az imazamoxszal kezelt állományokban (Neshev et al., 2020,).

A Clearfield Plus kifejlesztése - amely a CLHA-Plus új mutáción alapul, és sokkal nagyobb imidazolinon-toleranciát biztosít - lehetővé teszi a gyomirtószer-formuláció és az adjuváns javításával a gyomirtás hatékonyságának jelentős növelését, a növény toleranciájára gyakorolt negatív hatás nélkül (Pfenning et al., 2012).

2.7. A biostimulátorok alkalmazási lehetőségei a stresszhatások enyhítésében

A növényi biostimuláns készítmények olyan anyagokat és/vagy mikroorganizmusokat tartalmaznak, amelyeknek a növényekre vagy a rizoszférába kijuttatva az a funkciójuk, hogy a természetes folyamatokat serkentve fokozzák/előnyösen befolyásolják a tápanyagfelvételt, a tápanyaghatékonyságot, az abiotikus stresszel szembeni toleranciát és a termés minőségét. Ezek tehát olyan vegyületek, anyagok és egyéb termékek, például mikroorganizmusok, nyomelemek, enzimek, növényi növekedésszabályozók, amelyek kis mennyiségben a növényekre vagy a talajba juttatva fokozhatják a növények növekedését és fejlődését azáltal, hogy növelik a növényeken belüli élettani folyamatok hatékonyságát (Soltani et al., 2015; Sangiorgio et al., 2020; Yuldasheva és Karabayeva, 2023).

Privantu et al. (2023) szerint legújabb kutatások azt mutatják, hogy a biostimulátorok alkalmazása fokozza a növények élettani teljesítményét mind optimális környezeti feltételek mellett, mind pedig a vízhiány okozta abiotikus stressz hatására. A biostimulánsok alkalmazása a növénytermesztésben hasznos eszköz lehet az éghajlatváltozás káros hatásainak mérséklésében. Caradonia et al. (2022) számos in vitro, klímakamrás, üvegházi és szabadföldi kísérlet alapján, melyeket különböző környezeti körülmények között, különböző fajtákkal végeztek burgonyában, megállapította, hogy valamennyi vizsgált növényi biostimulátor kedvező hatást mutatott a termésre, illetve a minőségi paraméterekre.

Világszerte folynak kutatások annak tanulmányozására, hogyan hat a kultúrnövényre és a gyomokra a herbicidek és biostimulátorok együttes alkalmazása, akár egyidejű (tankkeverék), akár időben eltolt kijuttatásról van szó. A biostimulánsok, ha gyomirtó szerekkel kombinálva alkalmazzák őket, biztonságosabbá tehetik a herbicidek káros és stresszt okozó hatásait, ugyanakkor jelentéktelen, vagy éppen káros hatásuk is lehet, amit erősen befolyásolnak az összetevőik működési mechanizmusai (Katsenios et al., 2023). A kutatások során a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy a kultúrnövény-herbicid-biostimuláns kombinációk szinte végtelen

számát kellene megvizsgálni. A biostimulátorok alkalmazásával negatív hatások is jelentkezhetnek, például csökkenhet a gyomirtó szerek hatékonysága, ami különösen az ellenállóbb gyomfajok gyengébb kontrolljában nyilvánul meg. Bár a kutatások még mindig a kezdeti szakaszban vannak, számos tanulmány jelent meg különböző biostimulátor és herbicid kombinációk értékeléséről.

A kutatók általában pozitív hatásról számoltak be azzal kapcsolatban, mennyire alkalmazhatók a biostimuláns készítmények a gyomirtószerek kultúrnövényre kifejtett negatív hatásának enyhítésére (Chapman és Chapman, 1980; Calvo et al., 2014; Sharma et al., 2014).

Jankauskienė et al. (2024) megállapítása szerint a mikrobiális biostimulátor hatékonyan enyhíti a gyomirtó szerek által a növényekre gyakorolt káros hatásokat. A mikrobiális biostimuláns beépítése az agrotechnikába nagy lehetőséget rejt magában a gyomirtószerek használatának csökkentésére. A gyomirtó szerek részleges helyettesítése mikrobiális biostimulátorral, erősíti a növények vitalitását, növeli a gyomokkal szembeni versenyképességet, javítja a termés minőségét és a mezőgazdasági földhasználat fenntarthatóságát.

Matysiak et al. (2018) búza kísérleti eredmények alapján arra a megállapításra jutott, hogy a gyomirtószer és biostimuláns együttes alkalmazása, a nyilvánvaló gazdasági előnyei mellett, további előnyökkel is jár a termés mennyiségének és minőségének javításában, az ezerszem-tömeg, valamint fehérje- és gluténtartalom növelésében.

Napraforgó genotípusokban tribenuron-metil és imazamox herbicidekkel végzett vizsgálatai alapján Neshev et al. (2022) megállapította, hogy azokban a kezelésekben, ahol növényi biostimuláns is alkalmaztak, a napraforgó tányérátmérője, növénymagassága, termése, és olajtartalma növekedett. Soltani et al. (2015) eredménye szerint a kukorica termését 2,5%-kal növelte a biostimuláns (Crop Booster) kijuttatása 4 héttel a glifozát kezelés után, de nem befolyásolta a gyomirtó hatást. Búzában és burgonyában végzett vizsgálatai alapján Kanatas et al. (2022) megállapította, hogy a biostimulátorok és a gyomirtó szerek együttes alkalmazása bizonyos esetekben előnyös lehet a növény számára. A gyomirtó szerek önálló alkalmazásához képest, a biostimulátor alkalmazása, a gyomirtó szer, az év, és a kijuttatás módjától (keverék vagy egymás utáni) függően akár 14,7%-os termésnövekedést is eredményezett. A gyomirtó szerek és a biostimulátorok kombinációja lehetőséget mutat a jó gyomszabályozás elérésére a terméshozam és a minőség javítása mellett.

A környezeti tényezők és a növénytermesztési technológia befolyásolhatják a mikrobiális és nem mikrobiális növényi biostimulátorok hatékonyságát. A szántóföldön, a biostimulátorok és egyes gyomirtó szerek hatását befolyásoló legfontosabb abiotikus tényező az időjárás, ezért

együttes alkalmazásuk hatásai évjáratonként kissé eltérőek lehetnek. A legjobb feltételek az alkalmazott növényi biostimulátorok típusától függően változnak (Caradonia et al., 2022). A kijuttatás időzítése fontos kérdés, amely befolyásolja a biostimulánsok teljesítményét, és annak típusa is befolyásolja.

A biostimulánsok használata javíthatja a növénytermesztésben az erőforrás-felhasználás hatékonyságát, a műtrágyák hasznosulását, a nem kémiai gyomirtási módszerek és gyomirtószer alkalmazásának eredményességét, emellett nagyobb termés és jobb minőség elérése válik lehetővé (Gazoulis et al., 2023).

3. Anyag és módszer

3.1. Szántóföldi kísérletek

Szántóföldi kisércellás kísérletekben mértük 1999-2023 között, a kukorica és a napraforgó fotoszintézisének különböző paramétereit, transzspirációját, kiszámoltuk a vízfelhasználás hatékonyságát, illetve vizsgáltuk a vízstressz negatív hatásainak enyhítési lehetőségeit. A vizsgálatok egyik helyszíne a DE AKIT Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepe volt a másik a Debrecen, Böszörményi úti kampuszon található kísérleti terület. Összefüggéseket kerestünk az egyes asszimilációs jellemzők, a vízellátottság, vízfogyasztás és az agrotechnika néhány eleme, (pl. tápanyagellátás, növényvédelem) között. A vizsgálatba vont évek havi és éves csapadékadatait az 5. táblázat tartalmazza.

Terjedelmi korlátok miatt az egyes szántóföldi kísérletek leírását, körülményeit, az alkalmazott agrotechnikát, vizsgálati módszereket nincs módomban itt közölni, ezek megtalálhatók az alábbi publikációkban:

Csajbók, J., Kutasy, E., Hunyadi Borbélyné É., Lesznyák M., Futó Z., Jakab P. Effects of nutrient supply on the photosynthesis of maize hybrids, *Cereal Research Communications*, **2005**, 33(1), 169-172

Kutasy, E., Csajbók, J., Borbély, É.H. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Cereal Research Communications*, **2005**, 33, 173–176.

Csajbók, J., Kutasy E. A transzspiráció és a fotoszintetikus aktivitás összefüggései kukoricában Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben (Szerk. Lehoczy É.) MTA AK TAKI, Budapest, **2012**, ISBN: 97896389041-6-4, 151-154.

Csajbók, J., Kutasy, E. A transzspiráció és a fotoszintetikus aktivitás összefüggései kukoricában (Correlations between transpiration and photosynthetic activity in maize). In: Lehoczy, É. (ed.) I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest, MTA ATK TAKI, **2012**, 151-154. (In Hungarian).

Csajbók, J., Kutasy, E., Pepó, P. The water use efficiency of maize depending on abiotic stress factors in field experiments. *Columella*, **2014**, 1(1) 23-28, DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2014.1.1.23

Csajbók, J.; Pepó, P.; Kutasy, E. Photosynthetic and Agronomic Traits of Winter Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties. *Agronomy*, **2020**, 10, 1999, DOI: 10.3390/agronomy10121999

3.1.1. A DE AKIT Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep talajának jellemzői

A látóképi terület talaja löszön képződött, mély humuszcétegű alföldi mészlepedékes csernozjom, jó kultúrállapotú, talajfizikailag a középkötött vályog kategóriába sorolható

(Arany-féle kötöttség 42). A WRB nemzetközi talajosztályozási rendszer szerinti besorolása *Calcic Endofluvic Chernozem* (Endosceleptic) (WRB, 2015).

A humuszos réteg vastagsága 80-90 cm között változik, amiből 40-50 cm az egyenletesen humuszosodott réteg. Az egyenletesen humuszos réteg átlagos humusztartalma 2,8%. A művelt réteg pH-ja (KCl) 6,3-6,5 között változik, az össznitrogén tartalom 0,12-0,15% közötti. Az össznitrogén tartalom alapján a terület N-ellátottsága közepes (2-3. táblázat).

Az ammónium-laktátos K₂O tartalom meghatározás eredményei alapján megállapítható, hogy a kísérleti terület talajának káliumszolgáltató képessége (240 g kg⁻¹) a közepes és jó között változik. A közepesnek minősíthető ellátottsági értékek is azonban a kategória felső határértékéhez közel esnek. Foszfor ellátottság tekintetében a terület meglehetősen változékonyságot mutat. A minták átlagában a talaj közepes-jó ellátottsággal jellemezhető (133 g kg⁻¹).

A kísérleti telep talajának vízháztartási jellemzőit értékelve megállapítható, hogy a csernozjom talajokra jellemző, kedvező vízgazdálkodási tulajdonságokkal rendelkezik. A minimális vízkapacitás (VK_{min}) 33,6-46% a 0-200 cm-es rétegben. A holtvíztartalom (HV) 8,5-15,7% a 0-200 cm-es rétegben. A talajvíz 8-10 m mélyen található, a talaj nagy mennyiségű (808 mm/0-200 cm), csapadékból származó víz raktározására képes.

2. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálati eredményei (2019, Látókép)

	Talajréteg				
	0-25 cm	25-50 cm	50-75 cm	75-100 cm	100-130 cm
pH (KCl)	6,46	6,36	6,58	7,27	7,36
K _A	43	44,6	47,6	46,6	45,4
CaCO ₃ (%)	0	0	0	10,25	12,75
Humusz (%)	2,76	2,16	1,52	0,9	0,59
Organic C (%)	1,60	1,25	0,88	0,52	0,34
Total N (%)	0,15	0,12	0,086	0,083	0,078
NO ₃ +NO ₂ (mg kg ⁻¹)	6,2	1,74	0,6	1,92	1,78
P ₂ O ₅ (AL) (mg kg ⁻¹)	133,4	48	40,4	39,8	31,6
K ₂ O (AL) (mg kg ⁻¹)	239,8	173,6	123	93,6	78
Mg (mg kg ⁻¹)	332,4	405,4	366,6	249	286,6
Na (mg kg ⁻¹)	38	66,2	55,4	67,8	62,6
Zn (mg kg ⁻¹)	2,8	0,8	0,58	0,48	0,84
Cu (mg kg ⁻¹)	5,86	4,54	3,64	2,24	1,64
Mn (mg kg ⁻¹)	438	406	339	74	4
SO ₄ (mg kg ⁻¹)	9,25	9,13	10,8	7,95	22,98

3. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálatai eredményei (2019, Látókép)

Talajréteg	Térfogattömeg (g cm ⁻³)	Összporozítás (%)	Vízkapacitás _{szf} (w w ⁻¹ %)	Holtvíztartalom (w w ⁻¹ %)	hy
5-25 cm	1,46	45,0	33,3	15,55	2,715
27-33 cm	1,40	47,3	37,3	15,70	2,783
47-53 cm	1,23	53,6	38,3	14,75	2,755
72-78 cm	1,24	53,0	38,9	14,20	2,563
97-103 cm	1,26	52,6	40,6	11,13	2,168
122-128 cm	1,28	51,8	42,3	9,38	1,853
147-153 cm	1,25	52,8	44,6	9,03	1,778
197-203 cm	1,23	53,7	46,0	8,50	1,690

hy: Kuron-féle higroszkóposság
Rawlins, (1976)

3.1.2. A DE AKIT Debrecen, Böszörményi úti kísérleti terület talajának jellemzői

A felső réteg humusztartalma jó (Hu% = 2,70-3,66), a humuszcsepp vastagsága 70-80 cm. Az Arany-féle kötöttségi szám (KA) 38. A felső talajrétegek kémhatása enyhén lúgos (pH H₂O = 8,30-8,43). A foszforellátottsága nagyon jó (AL-oldható P₂O₅ 1076,8-1671,6 mg kg⁻¹), és káliumellátottsága is nagyon jó (AL-oldható K₂O 525,5-658,9 mg kg⁻¹ (4. táblázat). A talaj SO₄⁻ ion tartalma alacsony, ami a kén kijuttatásának szükségességét jelzi. A talaj vízháztartása jó, a talajvíz szintje 6-7 m mélyen van.

4. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálatai eredményei (2021, Debrecen) Kutasy et al., 2022

	0–20 cm	20–40 cm	40–60 cm
pH (H ₂ O)	8,30	8,36	8,43
K _A	38	38	38
CaCO ₃ (%)	8,1	8,1	8,1
Humus (%)	3,66	2,92	2,70
NO ₃ +NO ₂ (mg kg ⁻¹)	1,71	2,95	3,18
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	0,836	1,023	3,180
P ₂ O ₅ (AL) (mg kg ⁻¹)	1671,6	1376,1	1076,8
K ₂ O (AL) (mg kg ⁻¹)	658,9	648,2	525,5
SO ₄ (mg kg ⁻¹)	3,07	6,00	7,81

A 2000-2004. évi kukorica tápanyagellátási kísérletben alkalmazott genotípusok: DK373 (FAO370), DK477 (FAO470), Horus (FAO450), KWS313 (FAO320), KWS353 (FAO360).

A 2007. évi kukorica kísérletben használt genotípusok: PR37M38 (FAO360), PR38W85 (FAO360), PR38A24 (FAO380), PR37M81 IT (FAO380), PR37N01 (FAO380), PR38B85 (FAO390), PR37Y12 (FAO390), PR38H67 (FAO390), PR37F73 (FAO410).

5. táblázat Havi és éves csapadékadatok a vizsgált években (1999-2023, Debrecen)

Év	Havi csapadékösszegek (mm)												Össz. (mm)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1999	9,0	60,1	18,6	81,5	53,8	117,6	82,5	24,4	41,9	14,3	74,0	70,2	647,9
2000	11,3	22,6	41,6	50,6	16,0	13,0	66,7	3,5	44,5	1,9	20,7	59,4	351,8
2001	33,4	25,9	76,8	50,8	0,9	160,4	77,7	18,0	93,8	2,4	31,7	5,8	577,6
2002	8,2	28,9	18,3	16,0	11,8	61,5	46,6	51,7	64,9	46,0	29,9	27,7	411,5
2003	36,6	39,4	9,7	13,7	54,4	22,2	84,5	1,2	43,0	90,0	21,7	20,8	437,2
2004	37,2	41,6	46,5	40,0	17,0	61,7	142,2	50,2	31,3	38,9	63,5	33,7	603,8
2005	18,2	40,6	10,5	74,9	75,8	54,3	99,7	135,7	61,7	7,0	12,6	83,5	674,5
2006	22,5	44,2	79,0	92,3	58,3	77,1	30,8	62,4	5,3	22,9	9,2	5,0	509,0
2007	23,9	53,2	14,0	3,6	54,0	22,8	39,7	77,6	86,1	71,4	40,9	29,8	517,0
2008	26,4	4,6	41,7	74,9	47,6	140,1	144,9	34,2	42,2	16,1	19,8	52,2	644,7
2009	29,5	44,0	41,6	9,9	20,1	96,6	9,2	11,3	21,7	79,3	78,3	54,9	496,4
2010	48,8	58,6	14,4	83,9	111,4	100,9	97,2	98,3	98,4	22,8	52,9	104,2	891,8
2011	19,2	16,8	35,1	15,6	52,3	22,0	175,0	42,7	6,2	18,1	0,0	71,1	474,1
2012	28,0	17,8	1,4	20,7	71,9	91,7	65,3	4,1	3,5	22,4	16,6	65,8	409,2
2013	38,7	52,9	136,3	48,0	68,7	30,8	15,6	32,2	47,6	39,1	51,5	0,0	561,4
2014	39,2	26,0	11,3	39,6	69,4	7,9	128,0	44,8	95,7	88,6	20,8	37,9	609,2
2015	39,5	18,6	10,2	21,9	52,9	60,5	35,6	84,0	48,9	86,6	43,2	13,3	515,2
2016	58,6	78,8	51,0	14,7	69,2	146,3	84,6	71,7	63,4	92,1	55,5	4,0	789,9
2017	27,5	31,4	24,5	50,4	31,9	62,3	71,6	47,5	91,7	43,9	53,7	93,6	630,0
2018	28,2	57,9	68,5	36,6	60,0	66,8	41,9	97,5	20,6	10,1	52,0	50,9	591,0
2019	36,1	6,7	9,4	38,7	103,7	46,9	115,9	14,4	45,7	23,3	84,3	53,6	578,7
2020	24,2	42,4	34,3	16,5	45,0	118,5	148,5	70,0	44,0	60,0	24,2	21,9	649,5
2021	69,8	40,2	14,4	27,7	61,2	17,0	27,0	32,5	11,8	25,1	49,3	57,6	433,6
2022	14,5	8,4	10,2	54,3	9,9	19,3	21,1	27,5	161,8	4,0	47,7	102,9	481,6
2023	60,9	13,0	59,2	63,5	52,9	84,5	37,4	85,7	38,8	39,0	114,0	62,4	711,3
30 éves átlag*	29,2	35,2	30,5	44,0	54,3	64,6	68,7	49,7	48,5	41,0	39,7	43,2	548,5

* 1991-2020. évek átlaga

A 2007. évi napraforgó kísérletben használt genotípusok: PR65A01, PR63A04, PR63A90, PR63D82, PR64A30, PR64A34, PR64A44, PR64A63, PR64A70.

A 2010. évi kukorica kísérletben használt genotípusok: PR38A79 (FAO310), P9400 (FAO330), P9578 (FAO320), PR37N01 (FAO380), P9494 (FAO390), PR37Y12 (FAO390), PR37F73 (410), PR36V52 (FAO430), PR35F38 (FAO520).

A 2013. évi kukorica kísérletben használt genotípusok: PR38A79 (FAO310), P9400 (FAO330), P9319 (FAO340), PR37N01 (FAO380), P9494 (FAO390), PR37Y12 (FAO390), PR37F73 (410), PR36V52 (FAO430).

A 2020. évi kukorica kísérletben használt genotípusok: DKC4351 (FAO370), KWS Kashmir (FAO350), Mv Kadricorn (FAO400), P0023 (FAO450), P0216 (FAO510), SY Batanga (FAO320).

3.2. Tenyészedényes kísérletek

3.2.1. Klímaszobás napraforgó tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2023

A kísérlet leírása: Genotípus: SY Excellio HO CL, termesztőközeg: kvarchomok
Klímaszoba, fénycső világítás, PAR 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, hőmérséklet 20 °C.

24 edény (3 literes), 4 kezelés, 6 ismételtes, vetés: 2023. 02. 09.

Öntözés, tápoldatos öntözés

100 ml/ edény

február 09.

február 21.

február 23.

február 25.

február 27.

március 01.

március 03.

március 07.

március 10.

50 ml/ edény

március 13.

március 16.



Kezelések:

március 13. (BBCH14) (Meier, 2018) Imazamox 1,2 l ha⁻¹

március 17. (4 DAT) BS01 0,2 l ha⁻¹

BS02 2,5 l ha⁻¹

A kísérlet felszámolása: 2023. 03. 22.

3.2.2. Klímaszobás kukorica tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2023

A kísérlet leírása: Genotípus: Pioneer P0023 FAO420, termesztőközeg: kvarchomok

Klímaszoba, fénycső világítás, PAR 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, hőmérséklet 20 °C.

72 edény (3 literes), 12 kezelés, 6 ismételtes, vetés: 2023. 09. 20.

Öntözés, tápoldatos öntözés (normál öntözés „N”; féladagú öntözés, vízstressz „D”)

Kezelések: 2023. október 11. (BBCH14)

1	Negatív kontroll	Normál
2	Pozitív kontroll	Vízstressz
3	Biostimulátor 01 (BS01) 0,25 l/ha	Normál
4	Biostimulátor 01 (BS01) 0,25 l/ha	Vízstressz
5	DEV0085 0,25 l/ha	Normál
6	DEV0085 0,5 l/ha	Normál
7	DEV0085 0,75 l/ha	Normál
8	DEV0085 1,0 l/ha	Normál
9	DEV0085 0,25 l/ha	Vízstressz
10	DEV0085 0,5 l/ha	Vízstressz
11	DEV0085 0,75 l/ha	Vízstressz
12	DEV0085 1,0 l/ha	Vízstressz

A kísérlet felszámolása: 2023. 11. 06.

3.2.3. Szabadföldi tenyészedényes kísérlet, Debrecen, 2023

A kísérlet leírása: Genotípus: Pioneer P64LP180, termesztőközeg: termőföld

78 db edény (15 literes), 13 féle kezelés, 6 ismétlés, vetés 2023. május 02.

Kezelések:

június 08. imazamox (40 g l⁻¹) 1,2 l ha⁻¹ (A kísérlet)
imazamox2 (25g l⁻¹) 2 l ha⁻¹ (B kísérlet)
június 16. halauxifen-metil (3 g l⁻¹) 1 l ha⁻¹ (D kísérlet)

4 DAT (Days After Treatment)	Biostimuláns 01	0,2 l ha ⁻¹ (A, B kísérlet)
7 DAT	Biostimuláns 01	0,2 l ha ⁻¹ (A kísérlet)
10 DAT	Biostimuláns 01	0,2 l ha ⁻¹ (A kísérlet)
4 DAT	Biostimuláns 01	0,2 l ha ⁻¹ (D kísérlet)

Biostimuláns 01 (BS01): MTU (1-(2-Methoxyethyl)-3-(1,2,3-thiadiazol-5yl) urea) (2 g l⁻¹) + pidolsav (320 g l⁻¹)

Öntözés: május hónapban 3 alkalommal, a kelés és kezdeti növekedés elősegítése érdekében, 300 ml/edény dózissal.

A, B kísérletek felszámolása: 2023. július 31.

D kísérlet felszámolása: 2023. szeptember 27.

3.3. Asszimilációs paraméterek mérése

A kísérletekben 1999-2018 között a LICOR cég LI-6400-as, 2019-2023 között a LI-6800-as hordozható fotoszintézis mérő műszerét használtuk a vizsgálatokhoz. Mindkét rendszer két nagy pontosságú infravörös gázelemzővel rendelkezik a levegő CO₂ és H₂O molfrakciójának mérésére. A CO₂ (μmol mol⁻¹) és H₂O (mmol mol⁻¹), a levélhőmérséklet (°C), levegő

hőmérséklet (°C), a légköri nyomás (kPa), a levegő áramlási sebessége ($\mu\text{mol s}^{-1}$) és más mért paraméterek felhasználásával a műszer kiszámítja a nettó asszimilációt, a transzspirációt, a sztómák átjárhatóságát széndioxidra és vízgőzre, az elektrontranszport rátát, a sejtközi járatok CO_2 -koncentrációját (intercelluláris CO_2 szint, C_i), a PSII fotokémiai központ hatékonyságát és más fiziológiai paramétereket. Az alkalmazott megvilágítási szint a mintakamrában $1500 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density), illetve a megvilágítási görbék (Light Response Curve) felvételénél 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 1500 és $2000 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD volt, a nagyobb fényintenzitás felől a kisebbek felé haladva. A megvilágítás 90% vörös (630 nm) és 10% kék (470 nm) fénnel történt a LI-6400, és 90% vörös (625 nm) és 10% kék (475 nm) fénnel a LI-6800 esetében. A méréseket fényhez adaptálódott leveleken végeztük, 3, 4, illetve 6 ismétlésben, parcellánként 2 vagy 3 növényen, növényenként 6 méréssel. Az ismétlések, illetve mérések pontos száma az egyes ábráknál vagy táblázatoknál feltüntetésre került.

A fénygörbe méréseknél a CO_2 koncentrációt $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ értékre állítottuk be injektor és szén-dioxid patronok segítségével. A levélkamrában lévő kontakthőmérő a mérések során a levél alsó levélfelületével érintkezve rögzítette a levél hőmérsékletét. A leolvasásokat a mért paraméterek stabilizálódásakor ($\text{CV} < 1\%$), de legalább 120 s elteltével rögzítettük, a készülékhez általam írt háttérprogram (Background Program) használatával, a szubjektív mérésekből eredő torzítás elkerülése érdekében (LI-COR, 2017).

3.4. A potenciális (PET) és tényleges (TET) evapotranszspiráció meghatározása

A klimatikus vízmérleg meghatározásához, az évjáratok jellemzőinek többrétű bemutatásához a potenciális evapotranszspiráció is szükséges. A párolgást befolyásoló legfontosabb időjárási paraméterek a sugárzás, a levegő hőmérséklete, a páratartalom és a szélsősebesség. Számos eljárást dolgoztak ki a párolgás mértékének ezekből a paraméterekből történő meghatározására (Allen et al., 1998), melyek egy része nem vesz figyelembe a helyi speciális adottságokat.

A vizsgálatba vont években a potenciális evapotranszspirációt naponkénti számítással határoztam meg Szász (1997) módszerével, mely a víz párolgását döntő módon befolyásoló légköri elemeket és folyamatokat veszi figyelembe.

$$PET = \beta \left[0,0054 (T + 21)^2 (1 - R)^{\frac{2}{3}} f(v) \right], \quad (\text{mm nap}^{-1})$$

A szükséges adatok: T: napi középhőmérséklet (°C)

R: relatív páratartalom vagy a telítési hányad (e/E)

β : oázishatás tényezője

$f(v)$: a szélsősebesség hatásfüggvénye

Hazánk területére e formula alkalmazása javasolható, mivel a kidolgozása és validálása, hitelesítése hazai adatokra alapozott.

A tényleges evapotranszspiráció (TET) meghatározása Antal (1969) formulájával történt. A számítási módszer figyelembe veszi a légkör vízfelvevő képességét, a talaj nedvességtartalmát és a növényzet hatását, és szintén naponkénti számítással határoztam meg.

$$TET = \frac{w + b}{1 + b} \cdot w \cdot PET \quad [\text{mm nap}^{-1}],$$

ahol w = a relatív talajnedvesség tartalom a gyökérzónában (mm)

b = a növényzet hatását figyelembe vevő faktor, a fontosabb szántóföldi növények esetében meghatározásra került

PET = a potenciális evapotranszspiráció napi értéke (mm nap⁻¹)

A w értékének kiszámítása:

$$w = \frac{NT - HV}{VK_{\min} - HV}$$

ahol NT = a talaj aktuális nedvességtartalma az adott rétegben (mm)

HV = a talaj holtvíztartalma az adott rétegben (mm)

$VK_{\min}$ = a talaj minimális vízkapacitása az adott rétegben (mm)

3.5. Az ariditási index és a módosított Pálfai-féle aszályindex kiszámítása

Az ariditási index kiszámítása

A vizsgálatba vont tenyészidőszakokra vonatkozó ariditási indexet a potenciális evapotranszspiráció és az időszak csapadékösszegének felhasználásával számoltam a következők szerint:

$$ARI = \frac{\sum_{i=\text{apr}}^{\text{szept}} PET}{\sum_{i=\text{apr}}^{\text{szept}} Cs}$$

ARI = ariditási index

PET = potenciális evapotranszspiráció értéke (mm)

Cs = csapadékösszeg (mm)

A módosított Pálfai-féle aszályindex (Pálfai, 2004, OMSZ, 2012) számításához először az alapértéket kell kiszámolni:

$$PaDI_0 = \frac{\frac{[\sum_{i=\text{apr}}^{\text{aug}} T_i]}{5} * 100}{10 + \sum_{i=\text{okt}}^{\text{szept}} (P_i * w_i)}$$

$PaDI_0$ = módosított Pálfai-féle aszályindex alapértéke ($^{\circ}\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$)

T_i = a havi középhőmérséklet áprilistól augusztusig ($^{\circ}\text{C}$)

P_i = havi csapadékösszeg októbertől szeptemberig (mm)

w_i = havi csapadéksúly (6. táblázat)

6. táblázat A havi csapadéksúlyok értékei a Pálfai-féle aszályindex számításához (Pálfai, 2004)

Hónap	W_i
október	0,1
november-december	0,4
január-április	0,5
május	0,8
június	1,2
július	1,6
augusztus	0,9
szeptember	0,1

A módosított Pálfai-féle aszályindex számítása a korrekciós tényezők figyelembe vételével:

$$PaDI = PaDI_0 * k_1 * k_2 * k_3$$

$PaDI$ = módosított Pálfai-féle aszályindex ($^{\circ}\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$)

$PaDI_0$ = módosított Pálfai-féle aszályindex alapértéke ($^{\circ}\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$)

k_1 = hőmérsékleti korrekciós tényező

k_2 = csapadék korrekciós tényező

k_3 = a megelőző 36 hónap csapadékviszonyait figyelembe vevő korrekciós tényező

$$k_1 = \frac{(T_{jún} + T_{júl} + T_{aug})/3}{(\bar{T}_{jún} + \bar{T}_{júl} + \bar{T}_{aug})/3}$$

$$k_2 = \sqrt[4]{\frac{2 * \bar{P}_{summer}^{min}}{MIN(P_{jún}, P_{júl}, P_{aug}) + \bar{P}_{summer}^{min}}}$$

$T_{jún} + T_{júl} + T_{aug}$ = havi hőmérsékleti átlagok ($^{\circ}\text{C}$)

$\bar{T}_{jún}, \bar{T}_{júl}, \bar{T}_{aug}$ = 30 éves havi hőmérsékleti átlagok ($^{\circ}\text{C}$)

$\bar{P}_{summer}^{min}$ = a nyári hónapok (június, július, augusztus) 30 éves átlag havi csapadékösszegének minimum értéke (mm)

$P_{jún}, P_{júl}, P_{aug}$ = havi csapadékösszegek (mm)

$$k_3 = \sqrt[n]{\frac{\bar{P}}{\bar{P}_{36m}}}$$

n = síkvidékre értéke 3

$\bar{P}$ = 30 éves átlag havi csapadékösszeg (mm)

$\bar{P}_{36m}$ = a megelőző 36 hónap csapadéklaga (mm)

$$\bar{P}_{36m} = \sum_{i=(\text{év}-3)\text{okt}}^{(\text{év})\text{szept}} P_i / 36$$

P_i = havi csapadékösszeg (mm)

3.6. Klorofilltartalom mérése

Az egyes parcellákon belül három mintavételi pontról vettünk levélmintákat. A levélmintákat Lichtenthaler és Wellbum (1983) megállapításai szerint tartósítottuk és készítettük elő az elemzéshez. A leveleket 4 °C-on hűtöttük, mielőtt a szokásos eljárás szerint 6 órán belül a laboratóriumba szállítottuk és feldolgoztuk. A levélminták roncsolásához 80 százalékos acetont és 1 g kvarchomokot használtunk. A szuszpenziókat Hettich ROTOFIX 32A készülékben 3000 fordulat perc^{-1} fordulatszámon 3 percig centrifugáltuk, majd a tiszta oldatot 2,5 ml-es kvarcküvetába töltöttük. Az oldat abszorbanciáját SECOMAN Anthelie Light II készülékkel határoztuk meg, UV-VIS spektrofotométerrel 470, 644 és 663 nm-es hullámhosszon. A vörös tartományban lévő fényt a klorofill-a, míg a kék tartományban lévő fényt a klorofill-b nyeli el. Az értékek átszámításához következő képletet használtuk (Droppa et al., 2003):

$$\text{Chla+b} = (20,2 \times A_{644} + 8,02 \times A_{663}) \times V/w$$

Chla+b: klorofill-A és B tartalom ($\mu\text{g g}^{-1}$),

V: a kivont növényi szövet térfogata (ml),

A_{644} : spektrális abszorbanciaérték 644 nm hullámhosszon,

A_{663} : spektrális abszorbanciaérték 663 nm hullámhosszon, w: a friss növényi szövetminta tömege (g).

3.7. A vízfelhasználás hatékonyságának meghatározása

A vízfelhasználás hatékonyságát (Water Use Efficiency, WUE) a fotoszintézis során megkötött CO_2 és a transzspiráció felhasználásával számítottuk ki a fotoszintézis mérések adataiból Tanner és Sinclair (1983) által javasolt formula alapján.

$$WUE = \frac{Ass * M_{\text{CO}_2}}{Emm * M_{\text{H}_2\text{O}}}$$

ahol:

WUE = vízfelhasználási hatékonyság (kg m^{-3})

Emm = transzspirált H_2O mennyisége ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$)

Ass = a megkötött CO_2 mennyisége ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)

M_{CO_2} = a széndioxid moltömege (g)

M_{H_2O} = a víz moltömege (g)

3.8. Alkalmazott statisztikai módszerek

Az adatok elemzéséhez és értékeléséhez az IBM SPSS Statistics 26.0 statisztikai szoftvert (IBM Corp. Chicago, IL, USA) használtuk. A különböző paraméterek átlagainak a fajták és a kezelések közötti összehasonlításához egy- és többváltozós varianciaanalízist (GLM-modell) használtunk, leíró statisztikákkal kiegészítve. A varianciaanalízis előfeltételeit (normalitás, homogenitás és függetlenség) a függő változókon ellenőriztük, figyelembe véve Berzsenyi (2016) ajánlásait. A Kolmogorov-Smirnov-tesztet használtuk a normalitás ellenőrzésére. Az átlagok páronkénti összehasonlításához LSD Post Hoc tesztet alkalmaztunk. A szignifikáns eltérések vizsgálatakor az elsőfajú hiba (alfa) megengedett nagyságának a $p = 0,05$ szintet választottuk. Az egyes változók közötti kapcsolatok feltárásához lineáris és parabolikus regresszióanalízist alkalmaztunk.

A csoporthoz tartozás vizsgálatához diszkriminancia-analízist alkalmaztunk a standardizált értékeken. A diszkriminancia-analízis a csoporttagság előrejelző modelljét építi fel a prediktív változók lineáris kombinációi alapján. Az elemzéshez a következő változókat használtuk fel: transzspiráció, nettó asszimilációs ráta, intercelluláris CO_2 szint, sztóma-konduktancia vízgőzre, sztóma-konduktancia széndioxidra, $VPD_{levél}$, elektrontranszport ráta, Φ_iPS2 . A csoportokat a kezelések alapján képeztük.

A paraméterek közötti lineáris kapcsolatokat Pearson korrelációs analízis segítségével (kétoldalú) detektáltuk. A sztenderd hiba és a szignifikancia szint jelölését az ábrákon és a táblázatokban bemutatjuk, ahol az releváns. Az $SzD_{5\%}$ értékek kiszámítása Sváb (1981) módszerével történt, az általam írt, validált Visual Basic makró használatával az MS Excel 2016 szoftverben.

4. Eredmények

4.1. A vizsgálatba vont évjáratok értékelése (2000-2023)

4.1.1. Párolgási adatok, relatív párolgás index (TET:PET arány) elemzése a vizsgált években

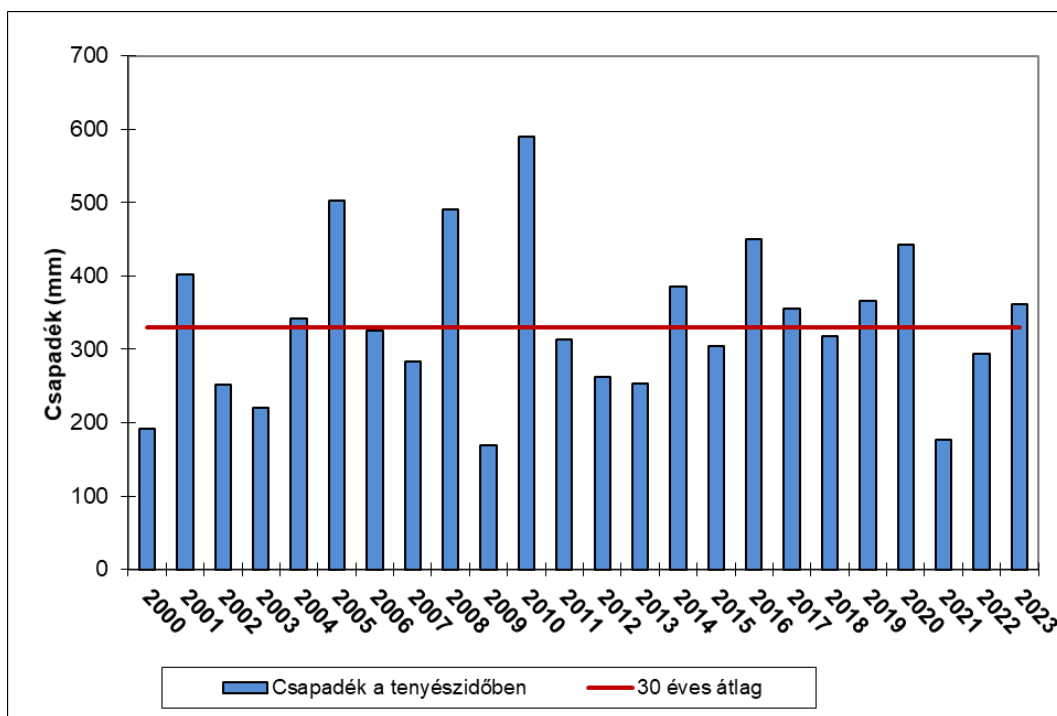
A vizsgálatba vont 24 év nagyon különböző időjárási feltételeket jelentett a növények számára. A különböző évjáratok jellemzése elengedhetetlen a vizsgálatokhoz, mivel a növények vízellátottsága alapvetően befolyásolja az asszimilációs folyamatokat, a vízfogyasztást és annak hatékonyságát. Az évjáratok elemzésénél azokat az éveket minősítettem átlagosnak vízellátás szempontjából, melyekben a kukorica tenyészidejében (április-szeptember) lehullott csapadékmennyiség nem tért el 10%-nál nagyobb mértékben a 30 éves átlagtól (1991-2020) sem negatív, sem pozitív irányban. A vizsgálatba vont 24 évjárat közül 7 volt átlagosnak minősíthető ezek alapján (2004, 2006, 2011, 2015, 2017, 2018, 2023). Kilenc év esetében nem érte el a tenyészidő csapadéka a 30 éves átlag 90%-át, ezek száraznak tekinthetők (2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2012, 2013, 2021, 2022). Nyolc évben a 30 éves átlag 110%-ánál több csapadékot rögzítettünk (2001, 2005, 2008, 2010, 2014, 2016, 2019, 2020), így ezeket az átlagosnál jobb vízellátottságú évjáratoknak minősíthetjük (1. ábra).

A lehullott csapadékmennyiség mellett a növények vízellátottsági állapotát egyéb tényezők is befolyásolják, például hőmérséklet, levegő párahiánya, stb, ezért a rendelkezésre álló meteorológiai adatok felhasználásával napi számítással meghatároztuk a potenciális (PET) és tényleges (TET) párolgási értékeket, majd ezek arányát. A becsült párolgási adatok és azok aránya alapján, igen száraznak tekinthetők a következő évek: 2000, 2002, 2007, 2009, 2012, 2015, 2017, 2022 amikor a tényleges párolgás a potenciális érték 50%-át nem haladta meg.

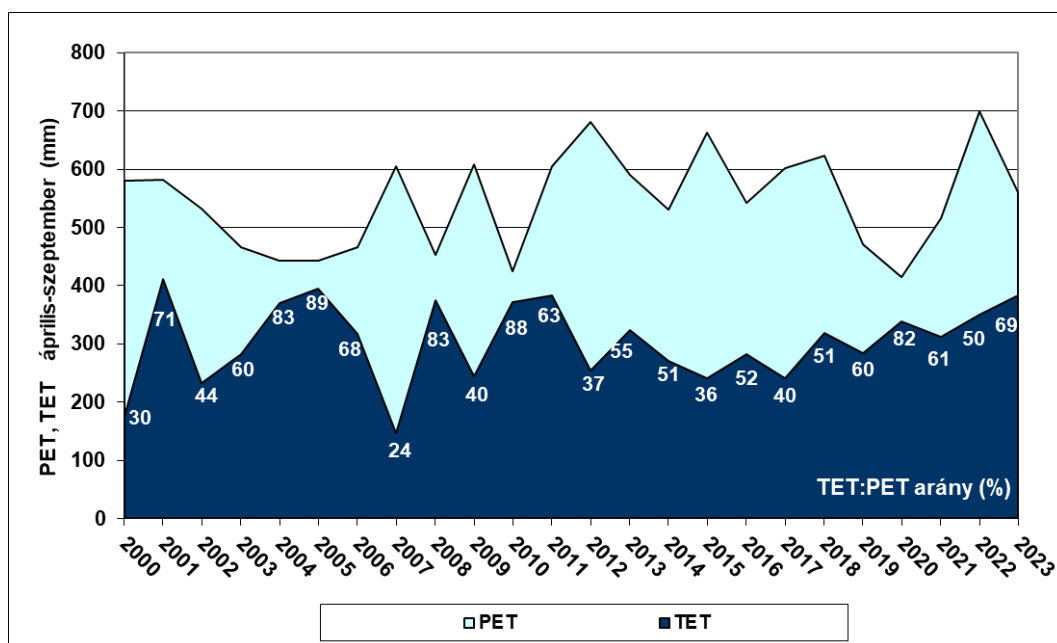
Külön kiemelendő a 2007. évi tenyészidőszak a 24,3%-os TET:PET arányával, ez extrém száraz évjáratnak minősíthető (2. ábra). A kukorica és napraforgó számára (és más növényfajok számára is) súlyosan aszályos 2022-ben a TET:PET arány 49,9% volt a tenyészidőszakban, de július-augusztus hónapokban az arány mindössze 29,5% volt, nagyon magas hőmérséklettel párosulva. Vízellátottság szempontjából kedvező évjáratok: 2004, 2005, 2008, 2010 voltak, a TET:PET arány meghaladta a 80%-ot ezekben az években, a legmagasabb 2005-ben volt, 89%. Öt év, 1999, 2001, 2003, 2006, 2011 átlagosnak minősíthető évjáratok voltak, bár a csapadék eloszlásában jelentős különbségek jelentkeztek a tenyészidőszakban (2. melléklet, 89-113. ábrák).

A 2013-as kukorica tenyészidőszak különlegesnek tekinthető, mivel az első felét jellemző kedvező vízellátottság után hosszú, extrém száraz periódus következett. Augusztusban a

tényleges párolgás becsült értéke mindössze 27,5%-a volt a potenciális értéknek a kiszáradt talaj következtében.



1. ábra A tenyészidőszak (április-szeptember) csapadékmennyisége a vizsgált évjáratokban és a harmincéves (1991-2020) átlag (Látókép, 2000-2023)



2. ábra A potenciális és tényleges párolgás becsült értékei a tenyészidőszakban (április-szeptember), valamint a TET:PET aránya (Látókép, 1999-2023)

Az évjáratok vízellátottságának értékeléséhez a TET:PET arány mellett felhasználtam az ariditási indexet és a módosított Pálfai-féle aszályindexet is. Az ariditási index azt fejezi ki, hogy a lehullott csapadék milyen arányban áll az adott időszak potenciális párolgási értékével, vagyis a levegő a lehullott csapadékmennyiségnek hányszorosát lenne képes elpárologtatni. Jól használható indikátor adott terület és időszak klimatikus szárazságának értékelésére. Számszerűsíti a növények növekedéséhez rendelkezésre álló vízmennyiséget, összehasonlítva az input (csapadék) és a potenciális output (PET) mennyiségeket. Koppány és Makra (1995) alkalmazhatónak találta a módszert a Nagyalföld térségében.

Az ariditási indexet két formában is használják, CS/PET vagy PET/CS formulával számolva, én az utóbbit alkalmaztam az évjáratok értékelésénél (7. táblázat). Azokat az éveket vettem száraznak, ahol az ariditási index 2 fölötti értékű volt, vagyis a potenciális párolgás több mint kétszeres volt az adott időszak csapadékmennyiségéhez képest (2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2012, 2013, 2015, 2021, 2022). Jó vízellátottságúnak azokat az éveket értékeltem, ahol az ariditási index 1-nél kisebb értékű volt, vagyis a lehullott csapadék mennyisége a tenyészidőszakban meghaladta a PET értékét (2005, 2008, 2010, 2020).

A módosított Pálfai-féle aszályindex (PaDI) hidrológiai évekkkel (októbertől szeptemberig) számol, és figyelembe veszi a hőmérsékletet is, illetve a havi csapadékösszegeket súlyozottan veszi be a számításba. Az aszály szempontjából nem csak az adott év csapadékviszonyai meghatározók, hanem a megelőző időszaké is, ezért korrekciós tényezőként figyelembe veszi a megelőző évek (36 hónap) csapadékmennyiségét is. A PaDI értéke alapján mérsékelten aszályosnak minősíthetők a következő évek: 2002, 2012, 2013. Közepes erősségű aszályal súlytottak voltak: 2000, 2003, 2007, 2009, 2021. A 2022-es év tenyészidőszaka a $11,8\text{ °C } 100\text{ mm}^{-1}$ értékével kiugrónak számít, és súlyos aszályt jelez. Aszálymentes évjáratoknak azok tekinthetők, ahol a PaDI értéke $4\text{ °C } 100\text{ mm}^{-1}$ alatti. Ezek a vizsgált évek közül 2004, 2005, 2008, 2010, 2011, 2016 és 2020 voltak.

Ahogy az 7. táblázatban láthatjuk, az évjáratoknak a háromféle módszerrel, a vízellátottság alapján történt értékelése nagymértékű átfedést mutat, ami arra enged következtetni, hogy mindegyik módszer jól alkalmazható, bár a 2022-es év igen súlyos aszályosságát csak a PaDI értéke mutatta meg ($11,8\text{ °C } 100\text{ mm}^{-1}$).

7. táblázat Az ariditási index, a módosított Pálfai-féle aszályindex (PaDI) értékei és a TET:PET arány 2000-2023 között, áprilistól szeptemberig (Látókép)

Évek	ARI	PaDI (°C 100 mm ⁻¹)	TET:PET (%)
2000	3,01	8,1	30,3
2001	1,45	4,1	70,8
2002	2,11	6,6	43,6
2003	2,12	8,1	60,5
2004	1,29	3,7	83,3
2005	0,88	2,9	89,0
2006	1,43	4,1	68,2
2007	2,13	8,3	24,3
2008	0,92	3,1	83,0
2009	3,60	9,1	40,1
2010	0,72	2,3	87,7
2011	1,93	3,7	63,4
2012	2,59	6,3	37,4
2013	2,33	6,1	54,8
2014	1,38	4,8	51,0
2015	2,18	5,9	36,4
2016	1,20	2,9	52,0
2017	1,69	4,7	40,0
2018	1,96	4,3	51,3
2019	1,29	4,6	60,4
2020	0,94	2,2	81,5
2021	2,91	9,0	60,5
2022	2,38	11,8	49,9
2023	1,55	4,6	68,5

PaDI: Módosított Pálfai-féle aszályindex; a színek jelentése: ■ aszálymentes év; ■ enyhe aszály; ■ mérsékelt aszály; ■ közepes erősségű aszály; ■ súlyos aszály

ARI: ariditási index; a ■ szín az aszályos éveket jelöli, ahol az index értéke 2 fölötti; a ■ szín azokat az éveket jelöli, ahol az index értéke 1 alatti, ezek jó vízellátottságú évek

TET:PET arány; a ■ szín az aszályos éveket jelöli, ahol az arány 50% alatti; a ■ szín azokat az éveket jelöli, ahol az arány értéke 80% fölötti, ezek jó vízellátottságú évek a növények szempontjából

4.1.2. A levegő CO₂ koncentrációjának mérési eredményei (1999-2023)

A növények CO₂-asszimilációjának mértékét közvetlenül befolyásolja a légkör CO₂-koncentrációja. A légkör növekvő szén-dioxid (CO₂) szintje globálisan változásokat okoz a különböző növényfajok anyagcseréjében, különösen a fotoszintézis folyamata érintett. A növelt CO₂ szint hatására, a rövid idejű vizsgálatokban tapasztalt CO₂ asszimilációs ráta meredek emelkedése, valószínűleg mérsékeltebb lesz hosszú távú vizsgálatok esetében, a ható tényezők nagy száma miatt (Franks et al., 2013). A CO₂ azonban nemcsak a fotoszintézis széndonorja, hanem a koncentrációja szabályozza a sztómák mozgását, ezáltal a növény vízfogyasztását is.

Szántóföldi fotoszintézis méréseket 1999-óta végzünk Debrecenben. A műszer méri és rögzíti a légköri CO₂-szintet is, így 25 éves adatsorral rendelkezünk a levegő széndioxid tartalmával kapcsolatban. A mérési eredményeket összevetve a publikált globális légköri széndioxid-koncentrációval megállapítható, hogy a globális adatokhoz nagyon hasonló értékeket lehetett mérni Debrecenben is, de az emelkedés valamivel gyorsabb. A lineáris regresszióanalízis egyértelmű emelkedést mutat a vizsgált évek alatt (1999-2023), összesen 0,01077 %-kal növekedett a széndioxid szint Debrecenben, míg a globális érték 0,00528%-kal. Az 1999-es CO₂ szinthez képest ez 31,8%-os növekedést jelent 25 év alatt Debrecenben. A regressziós együttható alapján a növekedés évi 0,0004 %-os Debrecenben, globálisan pedig évi 0,0002%-os (Dlugokencky és Tans, 2024; Lan et al., 2024). Az egyenes illeszkedése igen jó ($R^2=0,9233$), az eredmények megbízhatósága magas a nagyszámú mérés következtében (összesen 62 632 adat, szórás: 0,000141-0,000221).

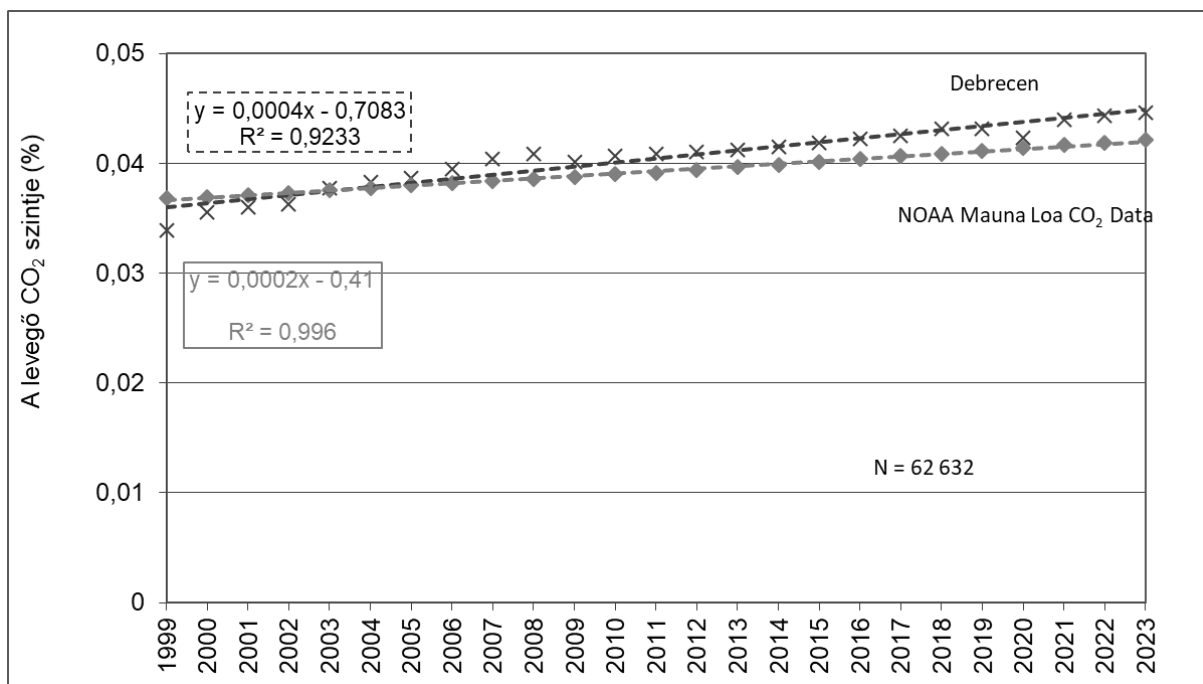
A globális átlag 1999-ben 0,03682% (368,2 ppm) volt, a saját mérés pedig ennél alacsonyabb értéket, 0,03388%-ot (338,8 ppm) adott. A 0,04%-os CO₂ szintet meghaladó átlagot (0,04041%) Debrecenben 2007-ben regisztráltunk, míg a NOAA adatai alapján a globális átlag csak 2015-ben haladta meg ezt az értéket (0,04008%). 2023-ra a globális CO₂-szint 0,042108%-ra (421,08 ppm), míg Debrecenben 0,044649%-ra (446,49 ppm) emelkedett (globális adatok: Lan et al., 2024).

Az 3. ábrán az is megfigyelhető, hogy 2020-ban visszaesett az általunk mért CO₂ szint a levegőben, aminek magyarázata valószínűleg a COVID-19 járvány miatti korlátozásokban keresendő.

Az általános vélekedés szerint az emelkedő légköri CO₂ szint tulajdonképpen kedvező hatással van a növények asszimilációs folyamataira (Tian et al., 2015; Farkas et al., 2021). Swann (2018) azonban felhívja a figyelmet arra, hogy a magasabb CO₂ szint következtében

gyorsabban növekedő növények nagyobb levélterületet nevelnek és ez területre vetítve emelkedett transzspirációt eredményez. A vízhiányos térségekben ez nyilvánvalóan fokozza az aszálykár bekövetkezésének valószínűségét, még akkor is, ha a WUE javul.

Berzsenyi (2024) megállapításával egyetértve, a vízfelhasználás hatékonyságának javulása valószínűleg annak köszönhető, hogy a levegő nagyobb CO₂ koncentrációja következtében a növények kisebb sztómányitottság mellett is hozzájutnak a hatékony fotoszintézishez szükséges széndioxid mennyiséghez, így csökken a levélterület-egységre eső transzspiráció mértéke.



3. ábra A levegő CO₂ szintjének változása Debrecenben, a referencia mérőállomás (NOAA, Mauna Loa, USA) adataihoz viszonyítva (1999-2023)
(A mérések évi átlagai)

4.2. Egyes ökológiai tényezők hatásának vizsgálata a napraforgó és a kukorica asszimilációjára és vízhasznosítására

4.2.1. A fényintenzitás változásának hatása a napraforgó, kukorica, őszi búza és néhány gyomnövény fotoszintézis paramétereire és vízhasznosítására.

A kedvező vízellátottságú 2004-es évben végeztem méréseket a különböző fényintenzitás hatásának elemzéséhez három kultúrnövény és néhány jellemző gyomnövény esetében, melyek között C₃-as és C₄-es fotoszintézis utat követő fajok is voltak. Az éves csapadék mennyisége 603,8 mm volt, a tenyészidőszakban (04-09) 342,5 mm csapadék hullott Látóképen, a kísérleti területen. A PET:TET arány 83,3% volt, a növények nem voltak vízstressz állapotában a mérés időpontjában. A méréskor a levelek hőmérséklete 0,04-2,06 °C-kal alacsonyabb volt, mint a levegőé, ami azt mutatja, hogy a transzspiráció hűtő hatása érvényesült. A sztóma konduktancia

értékek is a gázcsere nyitottságát jelezték (kukorica: $0,579 \pm 0,003 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; búza: $0,424 \pm 0,011 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Datura stramonium*: $0,988 \pm 0,047 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Cirsium arvense*: $0,019 \pm 0,004 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Echinocloa crus-galli*: $0,224 \pm 0,054 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Amaranthus retroflexus*: $0,477 \pm 0,017 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Chenopodium album*: $0,188 \pm 0,006 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Convolvulus arvensis*: $0,256 \pm 0,005 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A nettó fotoszintézis intenzitásának elemzése során megállapítható, hogy a C₃-as és C₄-es utat követő növények CO₂ megkötése a magasabb megvilágítási szinteken ($500 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foton fölött) élesen szétválk, a C₄-es növények jelentős előnyt mutattak (4. ábra). A természetes megvilágítás egy derűs nyári napon, délben, $1500 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ körül alakul a fotoszintetikusan aktív sugárzást (PAR) figyelembe véve.

A növényfajok között az egyes megvilágítási szinteken nem minden összehasonlítás esetében volt statisztikailag igazolható eltérés, bár összességében 5%-os hibaszinten igazolt különbség látható. A megvilágítás intenzitásának változtatása szinte minden esetben szignifikáns eltérést okozott a vizsgálatba vont növényfajok nettó asszimilációs rátájában.

Az *Echinocloa crus-galli* fotoszintézis intenzitása a többi vizsgált fajénál szignifikánsan nagyobb volt a $20\text{-}500 \text{ } \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ megvilágítási szintek között. Nagyobb fényintenzitásnál ($1000, 1500, 2000 \text{ } \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) az *Amaranthus retroflexus* és *Datura stramonium* esetében nagyobb értékeket mértünk. A $\text{PAR} > 1000 \text{ } \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ megvilágítási tartományban a *Datura stramonium* nettó asszimilációs rátája szignifikánsan meghaladta a többi fajtét.

Az eredményekből látható, hogy a kukorica nettó fotoszintézis intenzitása bármelyik megvilágítási szintnél a három vizsgált C₄-es gyomfajé alatt maradt. Igen alacsony fényintenzitásnál ($\text{PAR} < 200 \text{ } \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a kukorica mutatta a legalacsonyabb fotoszintetikus aktivitást, ez jól jelzi a kukorica fényigényét.

Az igen alacsony és igen nagy fényintenzitás esetén mért nettó fotoszintézis közötti legnagyobb különbség, vagyis a legnagyobb növekedés, a C₄-es növényeknél volt megfigyelhető, így a *Datura stramonium*, az *Amaranthus retroflexus*, a kukorica és az *Echinocloa crus-galli* esetében (5. ábra). Ezeket fényigényes fajoknak lehet minősíteni. Ehleringer és Pearcy (1983) már 1983-ban beszámolt a C₃-as és C₄-es növényfajok közötti eltérésekről a fotoszintézis különböző paraméterei tekintetében, valamint Park et al., (1996), Ubierna et al. (2011), Bellasio és Griffith (2014) megfigyelései is alátámasztják az általunk kapott eredményeket.

Az *Echinocloa crus-galli* 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fényintenzitás alatt bármelyik vizsgált növényvel szemben előnyben volt, és még az igen alacsony, 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ megvilágításnál is olyan jelentős nettó fotoszintézist produkált, melyet a kukorica és búza csak 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ mellett. A vizsgált gyomnövények közül kiemelkedett a *Datura stramonium*, és az *Echinocloa crus-galli* mind a leárnyékolt, alacsony megvilágítású, mind a teljes napfénynek megfelelő fényintenzitás mellett.

A három C₄-es gyomfaj még 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fényintenzitás felett is jelentősen növelte a fotoszintézis intenzitását. A *Datura stramonium* és az *Amaranthus retroflexus* CO₂ megkötése 1500 és 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ megvilágításnál szignifikánsan meghaladta a többi vizsgált növényét.

A fotoszintézis fénygörbéjének meghatározása során, a szakirodalmi adatokkal egybevetően, jól elkülönültek a C₄-es fotoszintézist folytató növények, különösen a három C₄-es gyomfaj, a *Datura stramonium*, az *Amaranthus retroflexus* és az *Echinocloa crus-galli*.

Megállapítható, hogy a *Datura stramonium*, az *Amaranthus retroflexus*, az *Echinocloa crus-galli* és a *Zea mays* jól hasznosítja a nagy megvilágítási szinteket. Hasonló megállapításra jutott illetve több más kutató is: Shirley (1929), Sharma et al. (1998), Sinclair (1999), von Caemmerer és Farquhar, (1981), Tazoe et al. (2006), Sun et al. (2012), Ubierna et al., (2013), Bellasio és Griffiths (2013, 2014).

A kukorica CO₂ megkötése az 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, és nagyobb fényintenzitás mellett jelentősen meghaladja a búzáét. Fénytelítődési pont nem látható, bár 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ megvilágítás felett a növekedés üteme jelentősen csökken. A fényintenzitás növekedésével lineáris csökkenést tapasztalt kukoricában mind a fényhasznosítás (LUE), mind a vízhasznosítás (WUE) terén Gao et al. (2018) is, a transzspiráció viszont növekedett.

A sztómák átjárhatóságának elemzése során kapott eredmények kissé eltérnek a fotoszintézis intenzitás eredményeitől (8. ábra). A sztómák nyitottságát alapvetően a vízellátottság határozza meg, de számos egyéb tényező is befolyásolja. Ennek köszönhetően nem lehetett egyértelmű szoros összefüggést kimutatni a fotoszintézis szintje és a sztómák nyitottsági állapota között, a korrelációs együttható értéke 0,558, mely $p=1\%$ -os szinten szignifikáns (8. táblázat).

Az általunk vizsgált növényfajok gázcsereenyílásainak áteresztőképességét a növekvő fényintenzitás kevésbé befolyásolta (8. ábra). Kivételt a *Datura stramonium* jelentett, a növekvő megvilágítás hatására $0,78\pm0,09\text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ értékről $1,16\pm0,17\text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ értékre növekedett. A *Datura stramonium* kiemelkedő fotoszintetikus aktivitása kiemelkedő sztómanyitottsággal párosult. Rendkívül jó kompetíciós képességgel rendelkezik, melyhez valószínűsíthetően

hozzájárul a C₄-es fotoszintézis út is. A sztómák működésével kapcsolatosan hasonló megállapításokat találhatunk korábbi szakirodalmi forrásokban is (Csajbók et al., 2007; Casson és Gray, 2008; Chaves et al., 2016; Dittrich et al., 2019).

A vizsgált növényfajok közül ki lehet emelni a *Cirsium arvense*-t, az igen alacsony szintű fotoszintézis ($2,48 \pm 0,07 - 11,39 \pm 0,14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) igen alacsony sztóma nyitottsággal ($0,001 \pm 0,0003 - 0,104 \pm 0,008 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) párosult.

A transzspiráció értéke és a sztómanyitottság közötti szoros kapcsolatról a szakirodalomban számos adatot találhatunk (Pearcy és Ehleringer, 1984; Sage, 2004; Sage et al., 2011; Osborne és Sack, 2012). Méréseink is igazolták az igen szoros szignifikáns összefüggést ($r=0,95$). A *Datura stramonium* az igen intenzív fotoszintézis mellett igen intenzív párologtatást is végzett, a transzspiráció értéke $8,51 \pm 1,15$ és $13,4 \pm 1,71 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között változott a megvilágítás hatására.

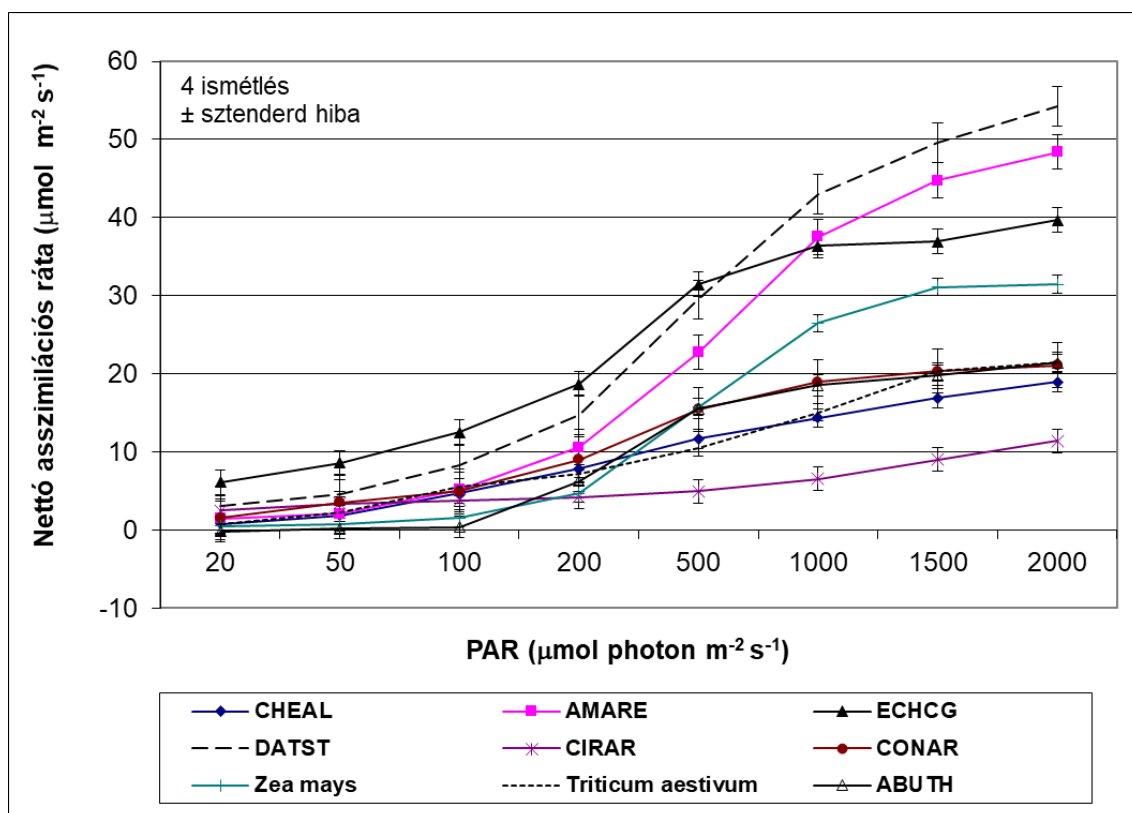
A *Cirsium arvense* transzspirációja ugyanolyan feltételek mellett $0,01 \pm 0,006$ és $2,51 \pm 0,015 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között változott.

A vízfelhasználás hatékonyságának elemzésekor megállapíthatjuk, hogy a 200 és 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PAR megvilágítás intenzitás közötti tartományban szignifikánsan a *Chenopodium album* vízhasznosítása (WUE) volt a legjobb, $21,15 \pm 1,69$ és $25,13 \pm 2,01 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ közötti értékekkel. A fotoszintézishez rendelkezésre álló fénykvantum mennyiség változásával jelentősen változott a WUE értéke, a legkisebb és legnagyobb érték közötti különbség $20,81 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ volt, ami meghaladta a többi vizsgált faj értékét. Legkevesbé az *Echinochloa crus-galli* WUE értéke változott a megvilágítás változás hatására, a legkisebb és legnagyobb érték között mindössze $3,74 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ eltérés volt. A 6. ábra mutatja, hogy kis fényintenzitásnál ($20-50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) és nagy fényintenzitásnál ($1500-2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) egyaránt jobb volt a vízfelhasználás hatékonysága, mint a többi növényfajé. A kukorica, *Amaranthus retroflexus*, *Convolvulus arvensis*, *Abutilon theophrasti* és *Datura stramonium* WUE fénygörbéi hasonló lefutást mutatnak, alacsony megvilágítási szinteken kisebb, magasabb fényintenzitásnál nagyobb WUE értékekkel. Az *Abutilon theophrasti* esetében 100 és 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PAR érték között nagyon meredeken javult a vízhasznosítás, $0,50 \pm 0,07 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ -ról $14,83 \pm 1,48 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ -ra (6. ábra).

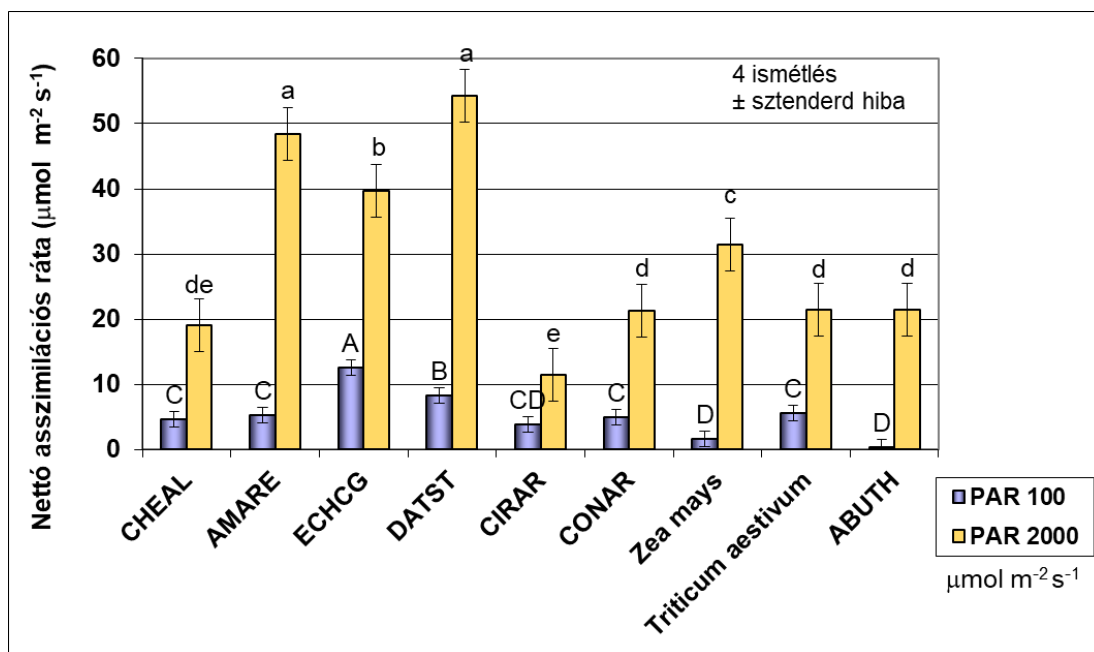
A vizsgált növényfajok vízhasznosítás értékeit külön értékelve alacsony ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) és nagy ($2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fényintenzitáson (7. ábra) láthatjuk, hogy a legnagyobb változást az *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium*, *Convolvulus arvensis*, *Abutilon theophrasti* és kukorica mutatta, ezeknél a fajoknál jelentősen javult a vízfelhasználás hatékonysága a

fényintenzitás növekedésével. A *Cirsium arvense* WUE értékei teljesen megegyeznek a két megvilágítási szinten ($12,39 \pm 1,35$, illetve $12,38 \pm 1,51$ kg CO₂ m⁻³ H₂O). A *Chenopodium album* és az őszi búza esetében a nagy fényintenzitás kisebb vízfelhasználási hatékonyságot eredményezett a méréseink szerint, és a búzánál a csökkenés jelentős mértékű, $17,31 \pm 1,71$ kg CO₂ m⁻³ H₂O-ról $9,71 \pm 0,84$ kg CO₂ m⁻³ H₂O-ra.

A gyomok kompetíciós képességét számos tényező befolyásolja. A kultúrnövényekkel szembeni előnyüket a vizsgálatunkba bevont két szántóföldi kultúrnövény és hét gyomfaj nettó fotoszintézis intenzitásának mérésével is igazolni lehetett.

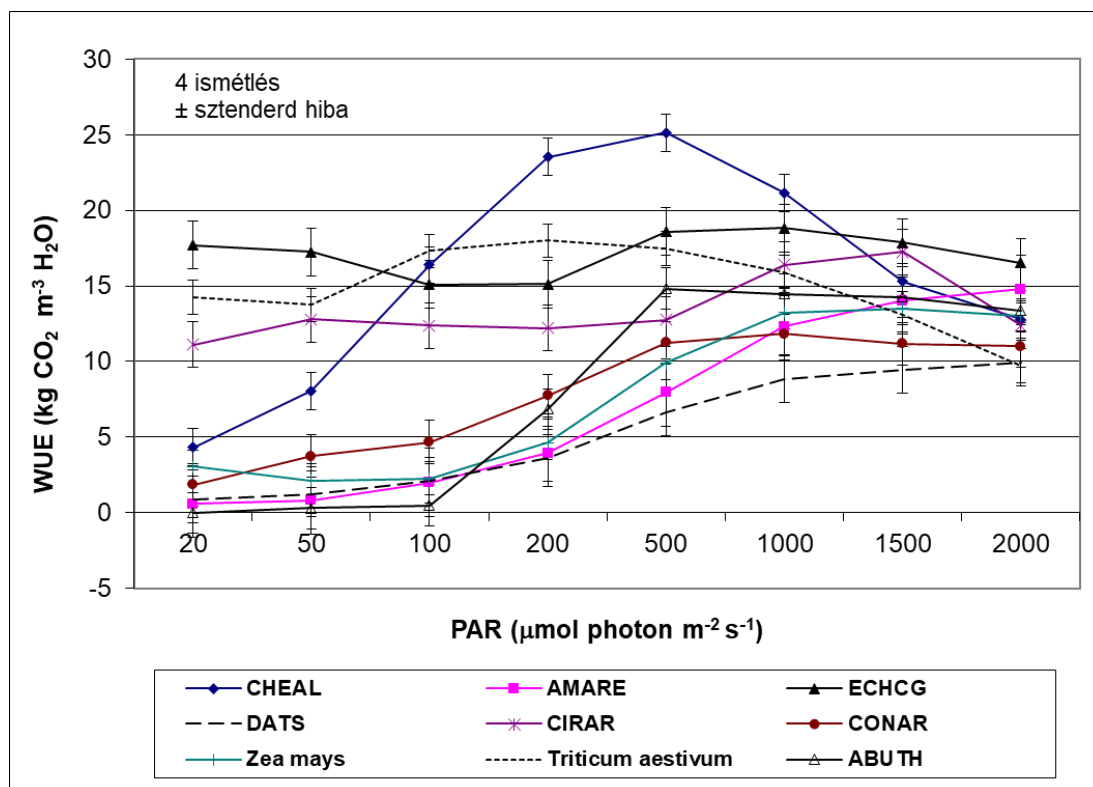


CHEAL: *Chenopodium album*; AMARE: *Amaranthus retroflexus*; ECHG: *Echinochloa crus-galli*; DATST: *Datura stramonium*; CIRAR: *Cirsium arvense*; CONAR: *Convolvulus arvensis*; ABUTH: *Abutilon theophrasti*.
± sztenderd hiba



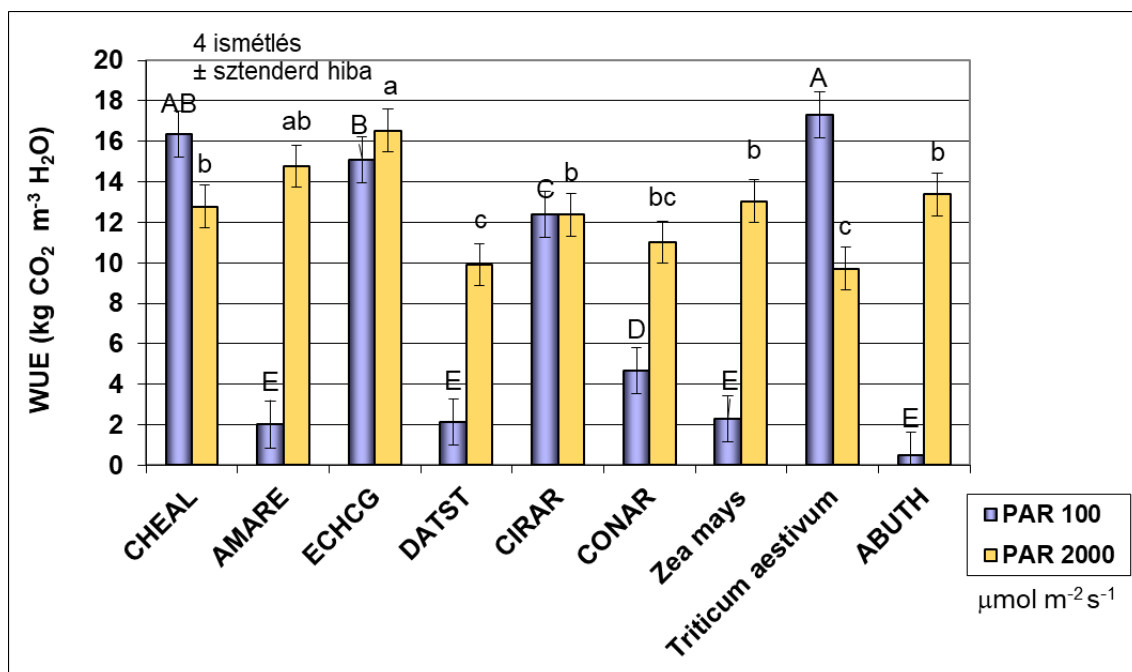
5. ábra A nettó fotoszintézis intenzitása a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében gyenge és nagyon erős megvilágítás mellett (Látókép, 2004.06.17.)

CHEAL: *Chenopodium album*; AMARE: *Amaranthus retroflexus*; ECHG: *Echinochloa crus-galli*; DATST: *Datura stramonium*; CIRAR: *Cirsium arvense*; CONAR: *Convolvulus arvensis*; ABUTH: *Abutilon theophrasti*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



6. ábra A vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) változása a megvilágítás függvényében a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében (Látókép, 2004.06.17.)

CHEAL: *Chenopodium album*; AMARE: *Amaranthus retroflexus*; ECHG: *Echinochloa crus-galli*; DATST: *Datura stramonium*; CIRAR: *Cirsium arvense*; CONAR: *Convolvulus arvensis*; ABUTH: *Abutilon theophrasti*. ± sztenderd hiba



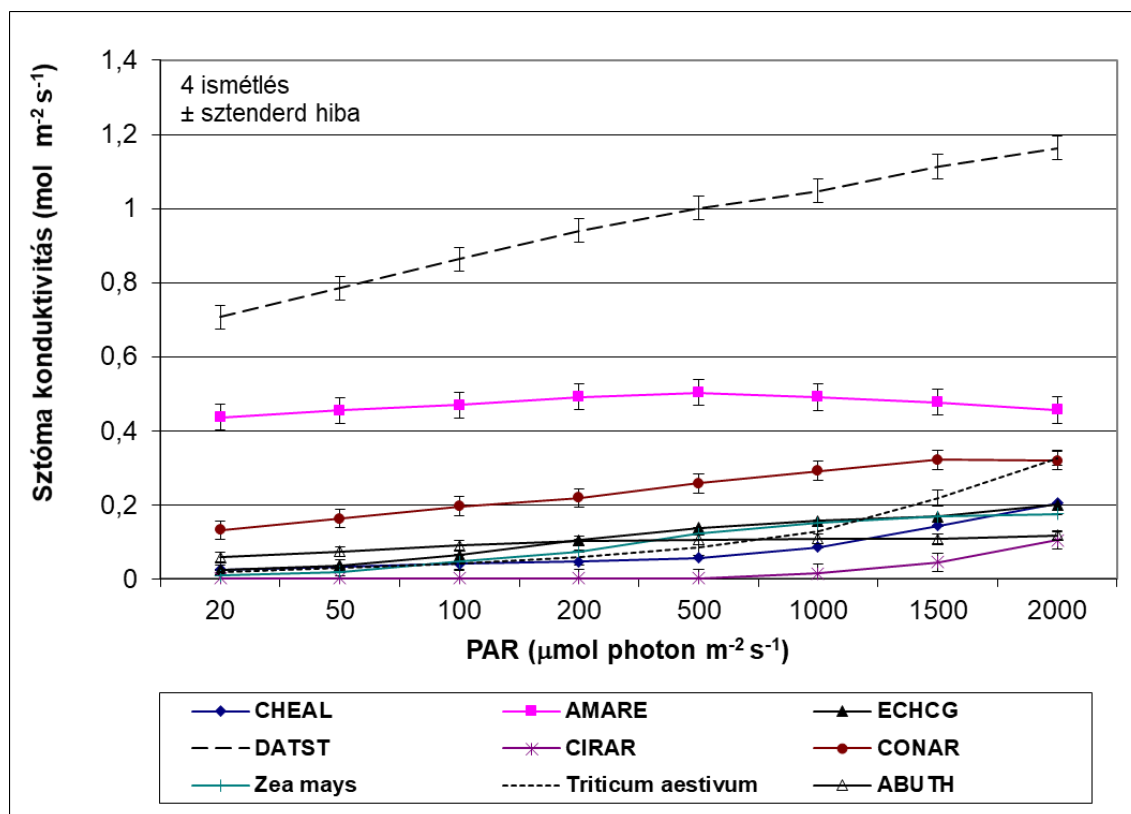
7. ábra A vízfelhasználás hatékonysága (WUE) a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében gyenge és nagyon erős megvilágítás mellett (Látókép, 2004.06.17.)

CHEAL: *Chenopodium album*; AMARE: *Amaranthus retroflexus*; ECHG: *Echinochloa crus-galli*; DATST: *Datura stramonium*; CIRAR: *Cirsium arvense*; CONAR: *Convolvulus arvensis*; ABUTH: *Abutilon theophrasti*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.

8. táblázat Az eltérő fényintenzitás, és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2004)

	PAR	Photo	Cond	Ci	Trmmol
PAR	1	0,688**	0,155	-0,058	0,310
Photo	0,688**	1	0,558**	-0,094	0,714
Cond	0,155	0,558**	1	-0,040	0,950**
Ci	-0,058	-0,094	-0,040	1	-0,081
Trmmol	0,310	0,714**	0,950**	-0,081	1

PAR: fotoszintetikusán aktív sugárzás, Photo: nettó asszimilációs ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma-konduktancia ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). **: a korreláció szignifikáns $p=1\%$ szinten.



8. ábra A sztóma-konduktancia fénygörbéje a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében (Látókép, 2004.06.17.)

CHEAL: *Chenopodium album*; AMARE: *Amaranthus retroflexus*; ECHG: *Echinochloa crus-galli*; DATST: *Datura stramonium*; CIRAR: *Cirsium arvense*; CONAR: *Convolvulus arvensis*; ABUTH: *Abutilon theophrasti*.
 $\pm$ sztenderd hiba

4.2.2. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja és a vízfelhasználás hatékonysága, extrém száraz évjáratban (2007. évi mérések)

A 2007-es év extrém száraz volt, a kukorica tenyészidejében, áprilistól szeptemberig 283,8 mm csapadék hullott. A tavasz és a nyár nagyon meleg és száraz volt, a tenyészidőszak átlaghőmérséklete 1,1 °C-kal meghaladta a 30 éves (1991-2020) átlagot. A tényleges evapotranszspiráció értéke a potenciális párolgás 29-33%-át érte csak el, az április második dekádjától május első dekádjáig tartó időszakban, és csak 25-26%-át augusztus első és második dekádjában. A tenyészidőszakban a PET, TET különbsége elérte a 363 mm-t, a klimatikus vízmérleg a -308 mm-t. A mérési időpontok egy részében a növények láthatóan vízstressz állapotban voltak, melyet a mérések is igazoltak.

Az egyes időpontokban a növényfajok között szignifikáns eltéréseket mértünk a fotoszintézis intenzitásában, a sztómák átjárhatóságában és a transzspirációban, 5% hibahatár mellett.

A fotoszintézis intenzitás adatainak elemzése során megállapítható, hogy a napraforgó nagyobb fotoszintetikus aktivitást mutatott a kukoricához képest, mindegyik mérési időpontban. Ez ellentmond korábbi tapasztalatainknak, az előző évek hasonló mérési eredményei a kukorica előnyét igazolták. A 2007-es év eltérő jellemzőit az extrém száraz időjárás okozhatta. A kukorica nettó fotoszintézise július közepén és augusztus közepén, amikor a tényleges párolgás a PET 25-33%-át érte csak el, különösen alacsony volt, nem haladta meg $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ értéket. Ezekben az időszakokban a talaj nedvességtartalma az 1 méteres szelvényben 80 mm alá csökkent. A kukorica nettó fotoszintézis intenzitása jó vízellátottság mellett $40\text{-}60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ között változik méréseink szerint. Hasonló eredményeket közölt Condon et al. (2004), Ben-Asher et al. (2008), Du et al. (2011), Csajbók és Kutasy (2012), Osborne és Sack, (2012).

9. táblázat A korrelációs koefficiens értékei a talaj nedvességtartalma és a fotoszintézis intenzitása, a sztómák konduktanciája és a transzspiráció között, kukorica és napraforgó állományokban (2007. Látókép)

	Fotoszintézis	
	Napraforgó	Kukorica
Talaj nedvességtartalom 0-100 cm (mm)	0,948**	0,997**
	Sztóma konduktancia	
	Napraforgó	Kukorica
Talaj nedvességtartalom 0-100 cm (mm)	0,638*	0,923**
	Transzspiráció	
	Napraforgó	Kukorica
Talaj nedvességtartalom 0-100 cm (mm)	0,848**	0,680*

*: a korreláció szignifikáns $p=5\%$ szinten; **: a korreláció szignifikáns $p=1\%$ szinten.

A napraforgó állományban, a kritikus vízellátási helyzetet jelentő időszakokban is, $36\text{-}37 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ értéket mértünk.

Igen szoros, szignifikáns kapcsolatot találtunk a nettó fotoszintézis intenzitás és a talaj felső 1 méteres szelvényének nedvességtartalma között a tenyésztés során, mind a kukorica ($r=0,997$), mind a napraforgó ($r=0,948$) esetében (9. táblázat, 9. ábra).

A sztómák átjárhatósága is szorosan követte a talaj nedvességtartalmának alakulását, a kukorica esetében 0,923, a napraforgóban 0,638 volt a korrelációs koefficiens értéke. A kukorica gázcsere nyílásai július közepén és augusztus közepén majdnem zárva voltak, nagyon

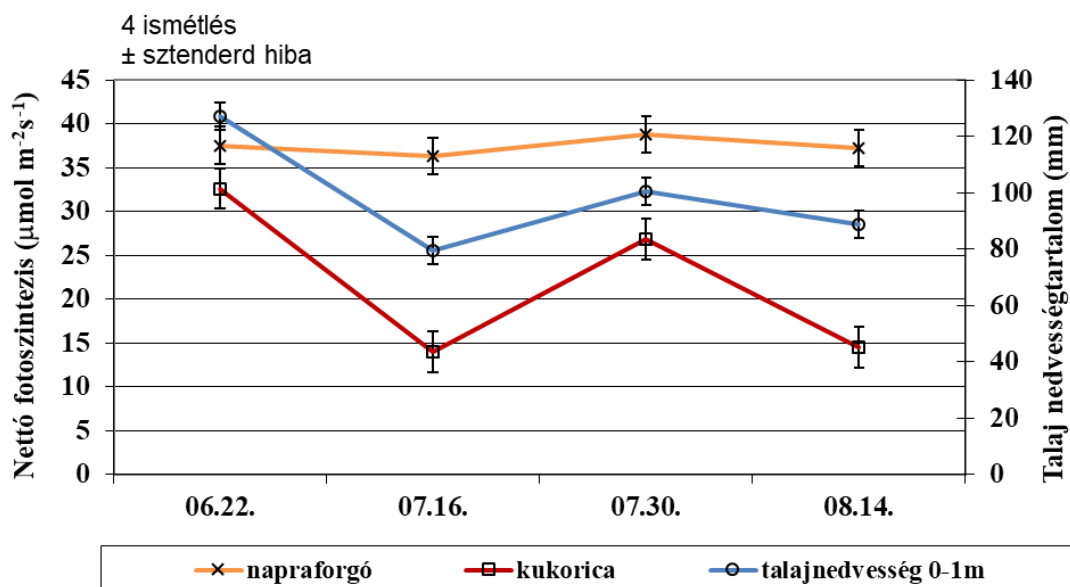
alacsony konduktancia értékeket mértünk. A napraforgó sztómáinak átjárhatósága háromszorosa volt a kukoricában mért értékeknek mind a négy időpontban (10. ábra).

A sztómák nyitottságát alapvetően a vízellátottság határozza meg, de számos egyéb tényező is befolyásolja. A transzspiráció értéke és a sztómanyitottság közötti szoros kapcsolatról a szakirodalomban számos adatot találhatunk (Pan et al., 2021). Méréseink is igazolták az igen szoros szignifikáns összefüggést.

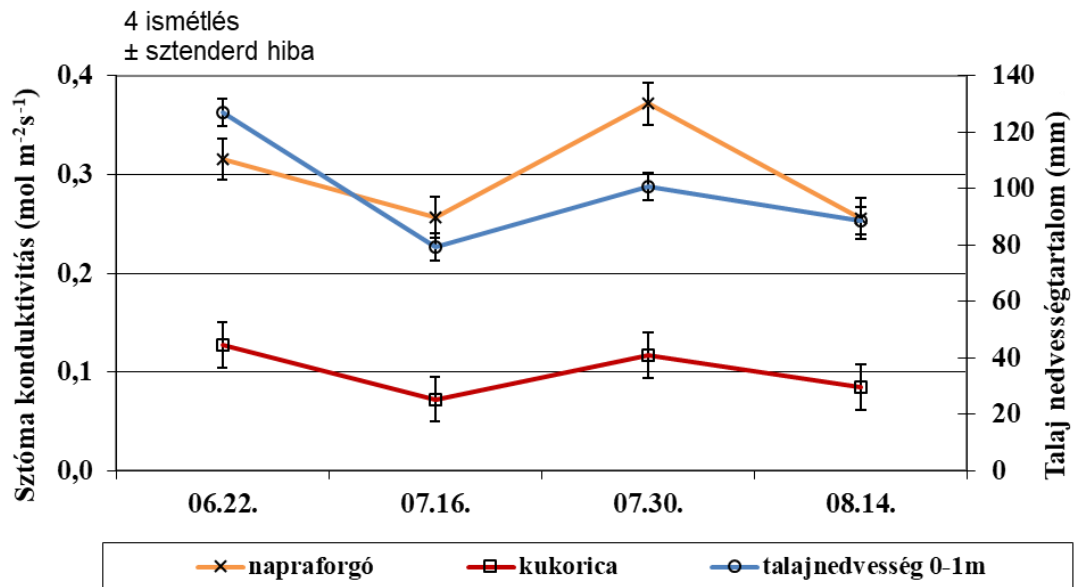
A kukorica és napraforgó transzspiráció értékei között nem állapítható meg szignifikáns különbség. Egy mérés alkalmával, július 30-án találtunk 5%-os hibahatár mellett szignifikáns eltérést (11. ábra).

A transzspiráció és a talaj nedvességtartalma közötti lineáris kapcsolat elemzése során szoros korrelációt találtunk. A korrelációs együttható értéke kukoricában 0,68, napraforgóban 0,848 volt.

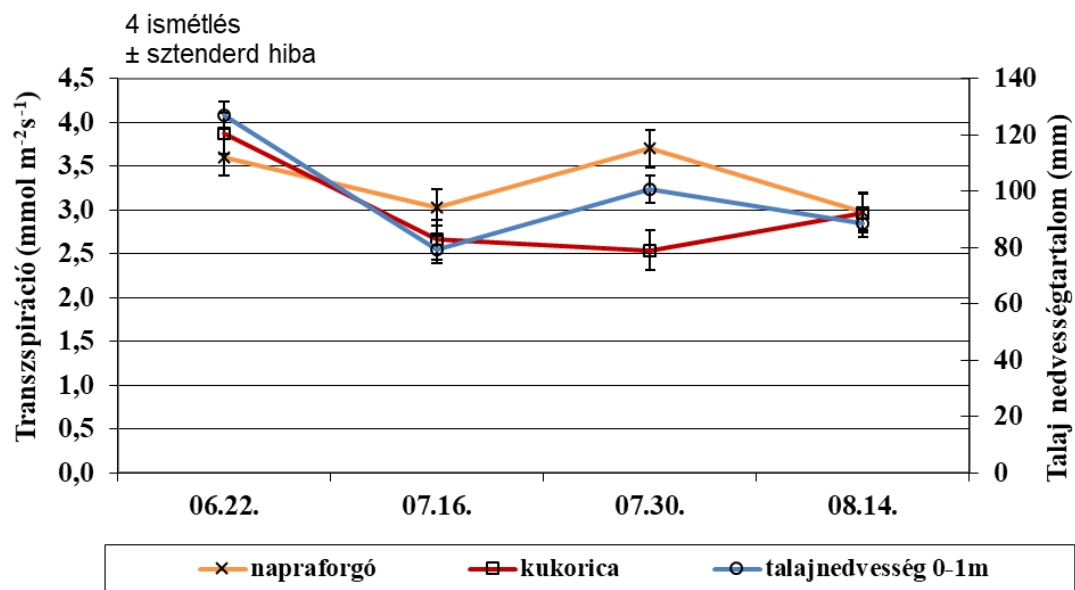
A napraforgó állományban a transzspiráció hűtő hatása, a viszonylag alacsony értékek ellenére minden mérési időpontban átlagosan 2 °C-kal csökkentette a levelek hőmérsékletét a környező levegőhöz képest. A kukoricában a hűtő hatás kevésbé érvényesült, a levelek átlagosan 1,9 °C-kal melegebbek voltak a levegőnél, ezt valószínűleg a csekély mértékben nyitott sztómák okozták (12. ábra). A kukorica vízhasznosítása (13. ábra) a talajnedvesség változásával éppen ellentétesen alakult. Kisebb talajnedvesség értéknél a WUE nagyobb, míg nedvesebb talajon kisebb volt.



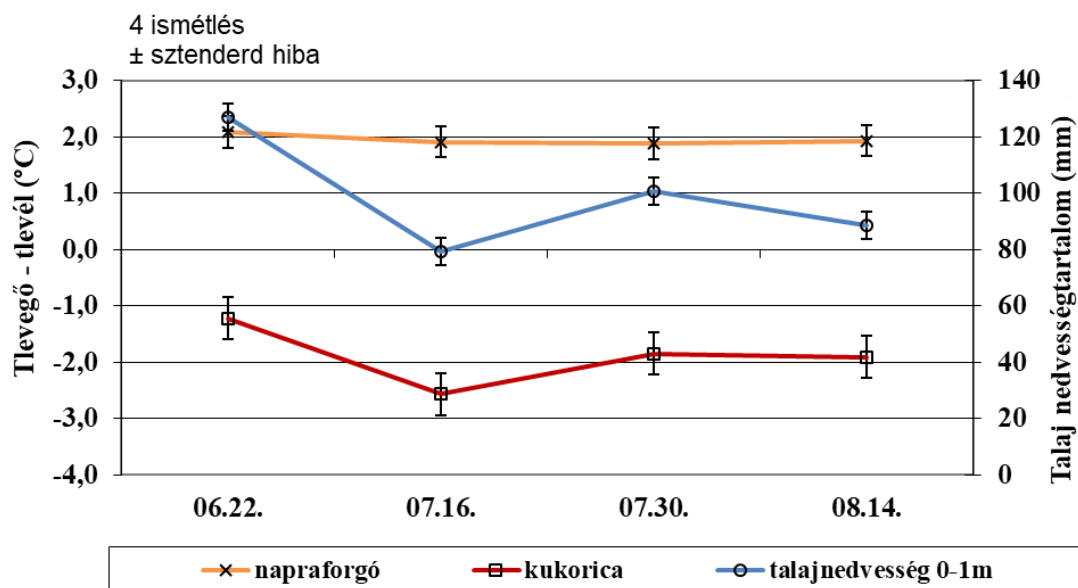
9. ábra A kukorica és napraforgó fotoszintézis intenzitása és a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen, 2007)



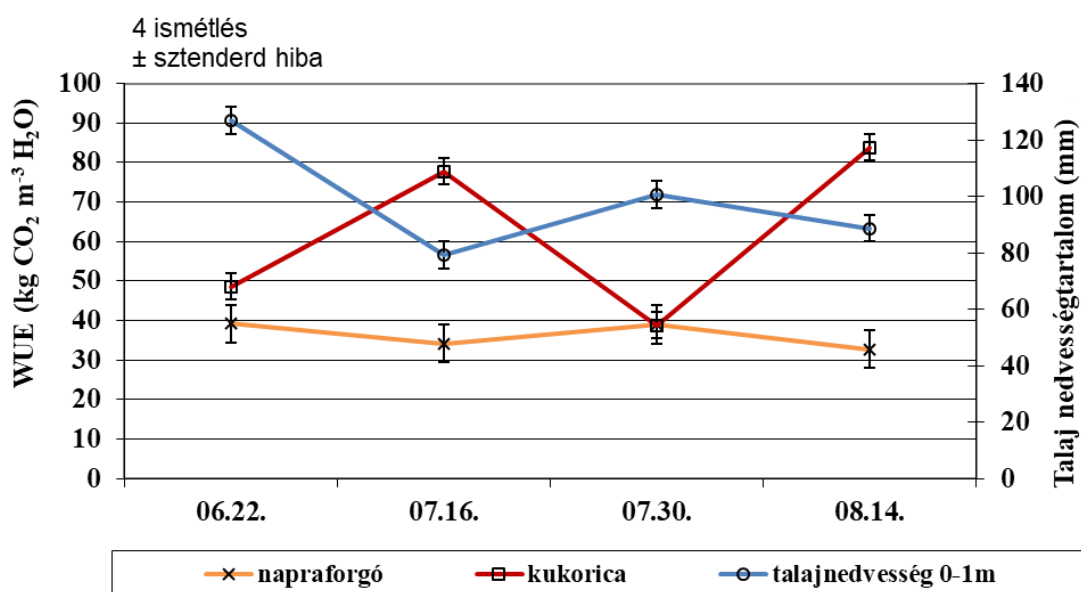
10. ábra A kukorica és nápraforgó sztómáinak átjárhatósága és a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen, 2007)



11. ábra A kukorica és nápraforgó transzspirációja és a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen, 2007)



12. ábra A levegő és a levél hőmérsékletének különbsége kukorica és napraforgó állományokban és a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen, 2007)



13. ábra A vízhasznosítás (WUE) kukorica és napraforgó állományokban és a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen, 2007)

Különböző kukorica genotípusokban is végeztünk méréseket a fotoszintézis paraméterek és vízhasznosítás vizsgálatára, illetve az ezek közötti összefüggések, kapcsolatok elemzése érdekében. A 2007-es évben kilenc genotípust vontunk be a vizsgálatokba. A statisztikai elemzés szignifikáns eltérést igazolt a nettó asszimilációs ráta, a sztóma-konduktancia, az intercelluláris CO₂ szint, illetve a transzspiráció esetében a genotípusok között mindegyik

mérési időpontban. Az egyes időpontokban végzett páronkénti összehasonlításban nem minden esetben tudtunk szignifikáns különbséget kimutatni. Július 26-án nem volt igazolt eltérés a fotoszintézis intenzitásában a PR37M81 IT és a PR38H67 között, a PR38A24 és a PR37F73 között, a PR37N01 és a PR37Y12 között, valamint a PR37M38 és a PR38B85 között. Az augusztus 15-én végzett méréseknél nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni a fotoszintézis intenzitásában a PR37M81 IT és a PR37Y12, a PR38A24, a PR37N01 és a PR38H67 között, a PR37M38, PR38B85 és a PR37F73 között (14. ábra).

A fotoszintézis intenzitása és sztóma-konduktancia közötti szoros kapcsolatot jól mutatják a mi mérési eredményeink is. Ugyanazokban a genotípusokban (PR37M81 IT, PR38H67, PR37F73, PR38A24) mértük a legnagyobb nettó asszimilációs és a legnagyobb sztóma-konduktancia értékeket (15. ábra). A sejtközötti járatok CO₂ koncentrációjában is szignifikáns eltérést lehetett igazolni a genotípusok között, bár ebben az esetben az adatok szórása nagyobb volt, a variációs koefficiens (CV%) értéke 15,2-27,9% között változott (16. ábra). Az intercelluláris CO₂ szint aktuális értéke több tényező függvénye.

A varianciaanalízis alapján szignifikáns különbség volt a kukorica genotípusok között a transzspiráció tekintetében, minden mérési időpontban. A tenyészidőszak előrehaladtával a genotípusok transzspirációja jelentősen csökkent, kivételt a PR38W85 és a PR37Y12 jelentett, melynek nem lehetett változást kimutatni. A csökkenés valószínű oka a fokozódó vízhiányos állapot (93. ábra), mely jellemezte a kukorica tenyészidejét 2007-ben (17. ábra).

A 18. ábra mutatja a száraz tenyészidőszak hatását a növényekre, különösen annak második felében. A levelek hőmérséklete magasabb volt a levegőénél a legtöbb genotípus esetében. A július 26-i méréskor négy genotípus volt képes hatékonyan hűteni magát, a PR38A24, a PR37M81 IT, a PR38H67, és a PR37F73, valamint kismértékben a PR37Y12. Az augusztus 15-én végzett méréskor két genotípus, a PR37M81 IT, és a PR37Y12 volt képes hűtőhatást elérni a transzspiráció révén, de a leveleik csak 0,20-0,26 °C-kal voltak hűvösebbek a környező levegőnél.

A kukorica genotípusok vízhasznosítását megvizsgálva megállapítható, hogy szignifikáns különbségeket lehetett kimutatni a genotípusok között $p=5\%$ szinten. A WUE értéke a július 26-án mért adatok alapján $44,11 \pm 4,18$ és $119,45 \pm 5,60$ kg CO₂ m⁻³ H₂O között változott, a genotípusok átlaga $64,38 \pm 6,28$ kg CO₂ m⁻³ H₂O volt. A legnagyobb értéket a PR38W85 hibridben, míg a legkisebbet a PR38H67 hibridben mértük. Mindegyik genotípus nagy hatásfokkal használta fel a vizet, és a hatékonyság javult a tenyészidőszak előrehaladtával. Az augusztus 15-én végzett méréskor a WUE értéke már átlagosan $106,92 \pm 9,72$ kg CO₂ m⁻³ H₂O

volt. A legkisebb értéket ($75,51 \pm 6,13 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) a PR37Y12 hibridben, a legnagyobbat ($155,45 \pm 8,03 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) a PR37F73 hibridben mértük (19. ábra).

A Pearson-féle korrelációanalízis alapján (10. táblázat) a fotoszintézis intenzitása igen szoros pozitív kapcsolatban volt a sztóma –konduktanciával ($r=0,922$), a transzspirációval ($r=0,936$), a levegő és levél hőmérséklet-különbségével ($r=0,914$), ezek a korrelációk $p=1\%$ -os szinten szignifikánsak. Egyértelmű az összefüggés a transzspiráció és a sztóma-konduktancia illetve a transzspiráció és a levegő és levél hőmérséklet-különbsége között, melyet a vizsgálataink is igazoltak ($r=0,989$, illetve $r=0,970$). Az intercelluláris CO_2 szinttel a sztóma-konduktancia ($r=0,639$), a nettó asszimilációs ráta ($r=0,486$) és a levegő és levél hőmérséklet-különbsége ($r=0,577$) közepes, de $p=1\%$ -os szinten szignifikáns kapcsolatot mutatott a korrelációanalízis eredménye alapján.

10. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés a vizsgált 9 kukorica genotípus átlagában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2007. 07. 26.)

	Cond	Ci	Trmmol	Tair	Tleaf	Tair_tleaf	WUE
Photo	0,922**	0,486**	0,936**	0,608**	0,076	0,914**	-0,511**
Cond	1	0,639**	0,989**	0,469**	-0,132	0,970**	-0,608**
Ci	0,639**	1	0,627**	0,225*	-0,144*	0,577**	-0,965**
Trmmol	0,989**	0,627**	1	0,583**	0,005	0,972**	-0,629**
Tair	0,469**	0,225*	0,583**	1	0,804**	0,568**	-0,429**
Tleaf	-0,132	-0,144*	0,005	0,804**	1	-0,034	-0,105
Tair_tleaf	0,970**	0,577**	0,972**	0,568**	-0,034	1	-0,575**

N= 216

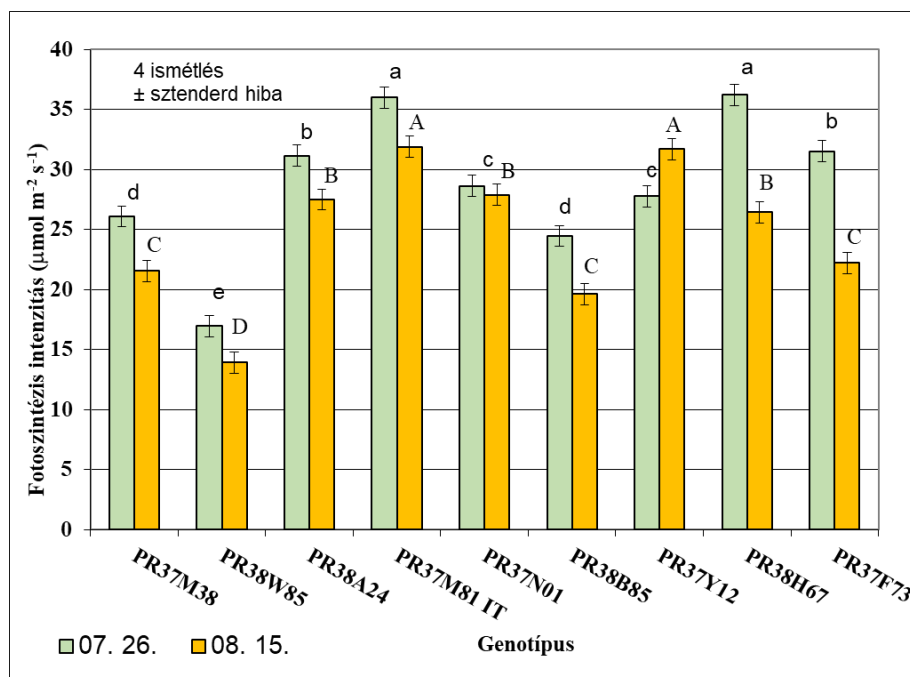
*: a korreláció $p=5\%$ -os szinten szignifikáns

**: a korreláció $p=1\%$ -os szinten szignifikáns

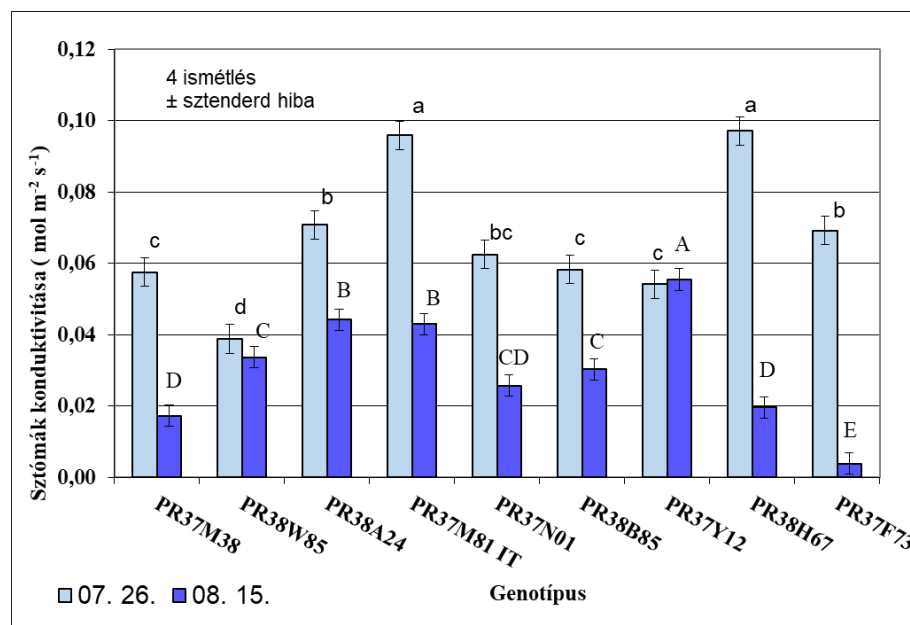
Photo: nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma konduktancia ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), T_{air}: levegő hőmérséklete (C), T_{leaf}: level hőmérséklete (C), Tair_tleaf: levegő hőmérséklete – levél hőmérséklete (°C), WUE: a vízfelhasználás hatékonysága ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$)

A vízfelhasználás hatékonysága (WUE) mindegyik mért paraméterrel negatív korrelációban volt. A sejtközütti járatok CO_2 szintjével igen szoros ($r=-0,965$), a transzspirációval ($r=-0,629$) és sztóma-konduktivitással ($r=-0,608$) szoros, a fotoszintézis intenzitásával ($r=-0,511$), levegő és levél hőmérséklet-különbségével ($r=-0,577$) közepes, de $p=1\%$ -os szinten szignifikáns kapcsolatot azonosítottunk. Az előzetes feltevésünk az volt, hogy a WUE és a transzspiráció között szoros negatív kapcsolatot találunk, de ez nem igazolódott a száraz 2007-es évjáratban. A kukorica transzspirációja és a levegő hőmérséklete között közepes pozitív kapcsolatot igazoltunk ($r=0,583$), de a transzspiráció a levelek hőmérsékletét nem

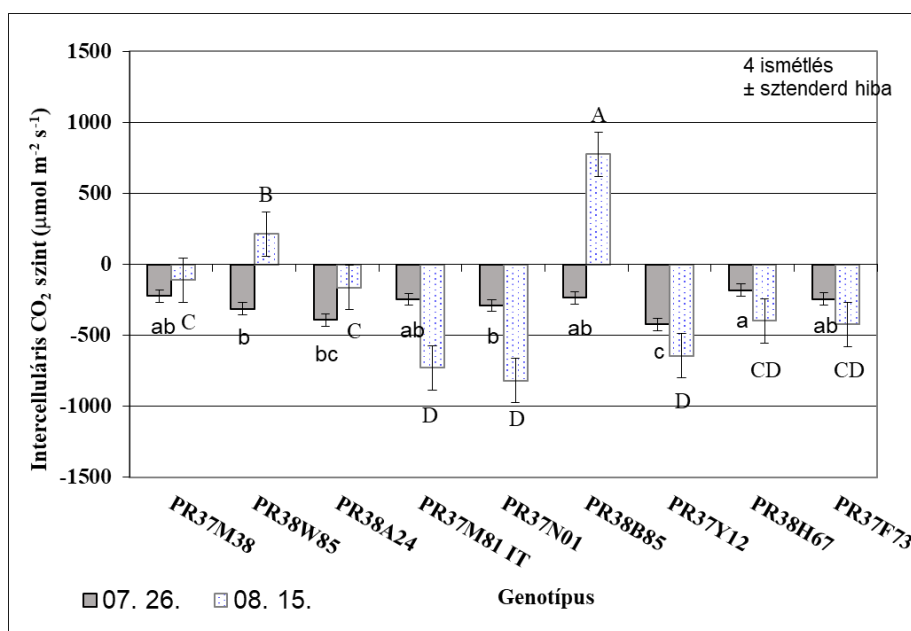
csökkentette szignifikánsan, a korrelációanalízis eredménye alapján nem tudunk kapcsolatot kimutatni, a korrelációs együttható értéke 0,005 volt.



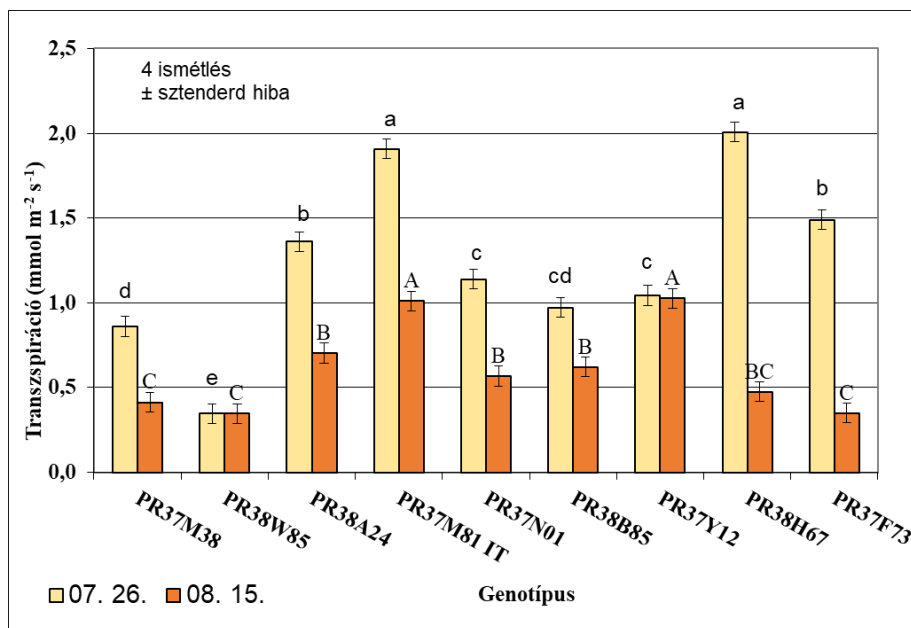
14. ábra A fotoszintézis intenzitása különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



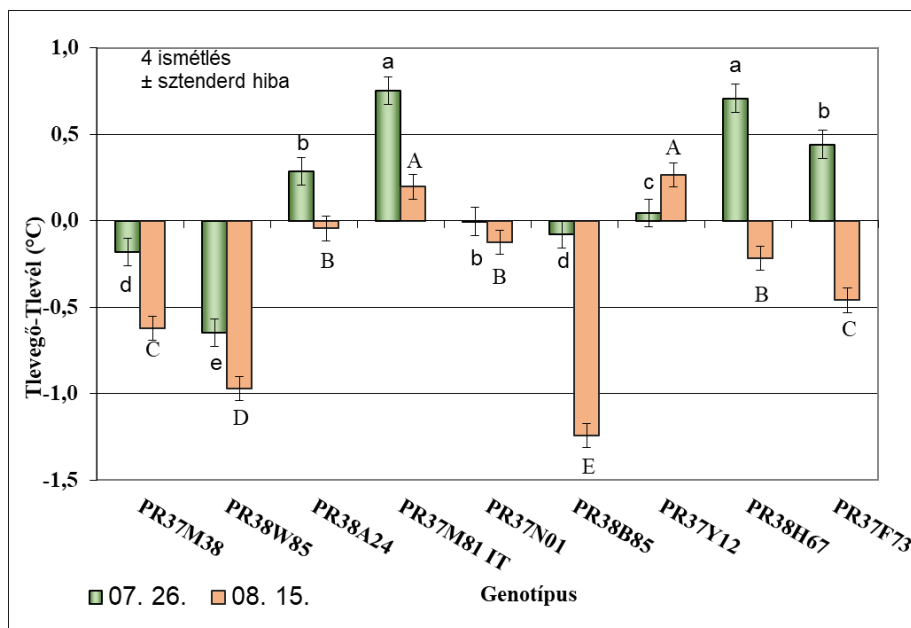
15. ábra A sztóma-konduktancia különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



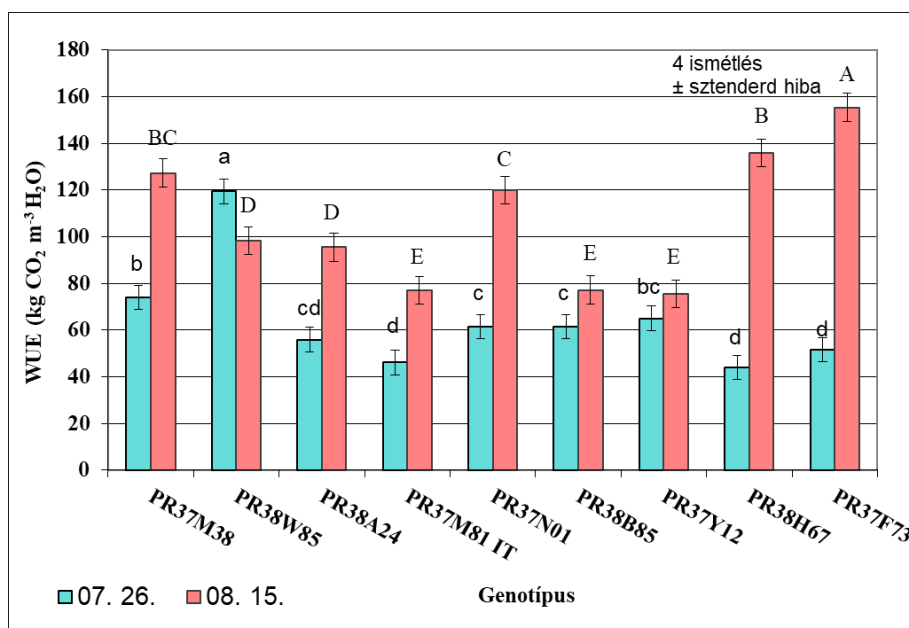
16. ábra Az intercelluláris CO₂ szint különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



17. ábra A transzspiráció értékei különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



18. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbség értékei különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



19. ábra Különböző kukorica genotípusok vízhasznosításának hatékonysága (WUE) (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.

A napraforgó nettó asszimilációs paramétereinek elemzése során megállapítható, hogy a 2007-es száraz évben, minden méréskor a kukoricáét meghaladó fotoszintézis intenzitást rögzítettünk Látóképen. A genotípusok közötti különbség kisebb volt, mint a kukoricában, de

$p=5\%$ szinten szignifikáns volt minden mérési időpontban (20. ábra). A genotípusok átlagában a kukorica nettó fotoszintézis intenzitása csökkent a tenyészidőszak során (július 09.: $33,36 \pm 6,55$; július 26.: $29,42 \pm 4,15$; augusztus 15.: $24,74 \pm 2,80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A napraforgó esetében viszont nem tapasztaltunk ilyen csökkenést a genotípusok átlagában (június 22.: $37,56 \pm 3,53$; július 25.: $36,49 \pm 4,48$; augusztus 25.: $37,48 \pm 5,30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Két genotípus, a PR63D82 és PR65A01 nettó asszimilációs rátája csökkent a tenyészidő előrehaladtával. Legnagyobb értéket a június 22-i méréskor a PR64A63 genotípusban ($40,78 \pm 2,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a július 25-i méréskor a PR65A04 genotípusban ($41,68 \pm 2,52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), az augusztus 25-i méréskor, a PR64A30 genotípusban ($42,39 \pm 2,85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) rögzítettük. A nettó asszimilációs ráta tekintetében a napraforgó nem reagált érzékenyen a 2007-es tenyészidőszak vízhiányára.

A sztóma-konduktancia értékei azt mutatták, hogy a napraforgó sztómái jelentősen nyitottabbak voltak a kukoricához viszonyítva a genotípusok átlagában, 2007-ben. Kukorica: július 09.: $0,08 \pm 0,005$; július 26.: $0,07 \pm 0,01$; augusztus 15.: $0,03 \pm 0,002 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Napraforgó: június 22.: $0,32 \pm 0,03$; július 25.: $0,26 \pm 0,05$; augusztus 25.: $0,26 \pm 0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A genotípusok között szignifikáns eltérést tudtunk kimutatni $p=5\%$ szinten (21. ábra). A tenyészidőszak során jelentős csökkenést három genotípusnál tapasztaltunk: PR65A01, PR63D82, PR64A70.

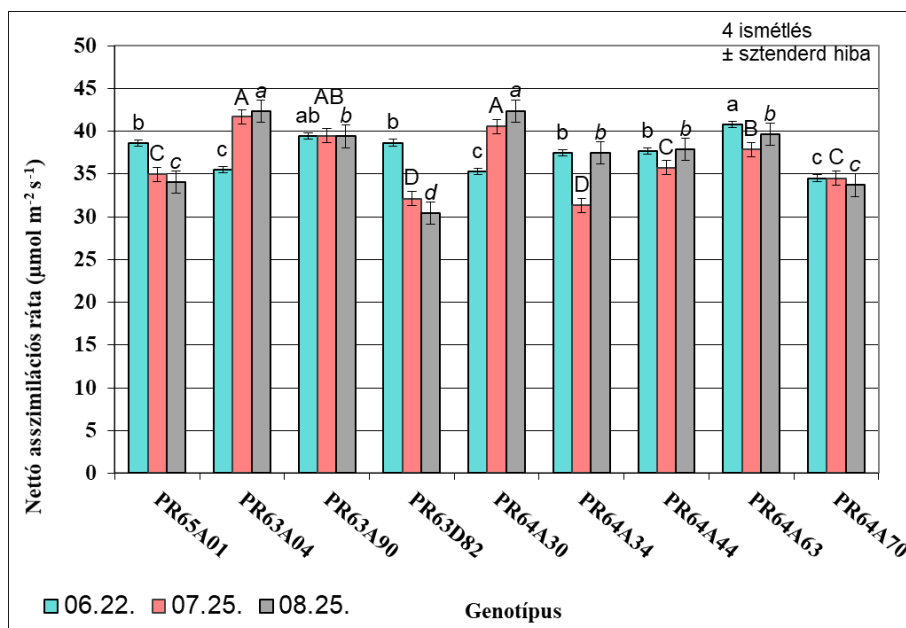
A transzspiráció mérés eredményei a sztóma-konduktancia adataihoz hasonló képet mutattak. Az eltérés $p=5\%$ szinten szignifikáns volt a genotípusok között. A genotípusok átlagában a napraforgó transzspirációja nagyobb volt, mint a kukoricáé mindegyik mérési időpontban (22. ábra). Kukorica: július 09.: $1,99 \pm 0,39$; július 26.: $1,86 \pm 0,36$; augusztus 15.: $0,59 \pm 0,18 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Napraforgó: június 22.: $3,60 \pm 0,19$; július 25.: $3,09 \pm 0,22$; augusztus 25.: $2,98 \pm 0,35 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A tenyészidőszak során jelentős csökkenést ugyanazon három genotípusnál tapasztaltunk, mint a sztóma-konduktancia esetében: PR65A01, PR63D82, PR64A70.

A napraforgó leveleinek hőmérsékleti értékei mutatták a transzspiráció hűtő hatását. A 23. ábra azt láthatjuk, hogy a napraforgó levelei mennyivel hűvösebbek a környező levegőhöz képest. Az értékek $1,52 \pm 0,23$ (PR63A04) és $2,35 \pm 0,09$ (PR65A01) °C között változtak 2007. június 22-én, $0,99 \pm 0,18$ (PR63D82) és $2,54 \pm 0,56$ (PR64A30) °C között július 25-én, valamint $0,91 \pm 0,22$ (PR63D82) és $2,91 \pm 0,12$ °C között augusztus 25-én. Ez arra enged következtetni, hogy a napraforgó eredményesen hűtötte a leveleit a száraz időszak ellenére. A kukorica, a kevésbé nyitott sztómák és az alacsonyabb szintű transzspiráció következtében kevésbé hűtötte

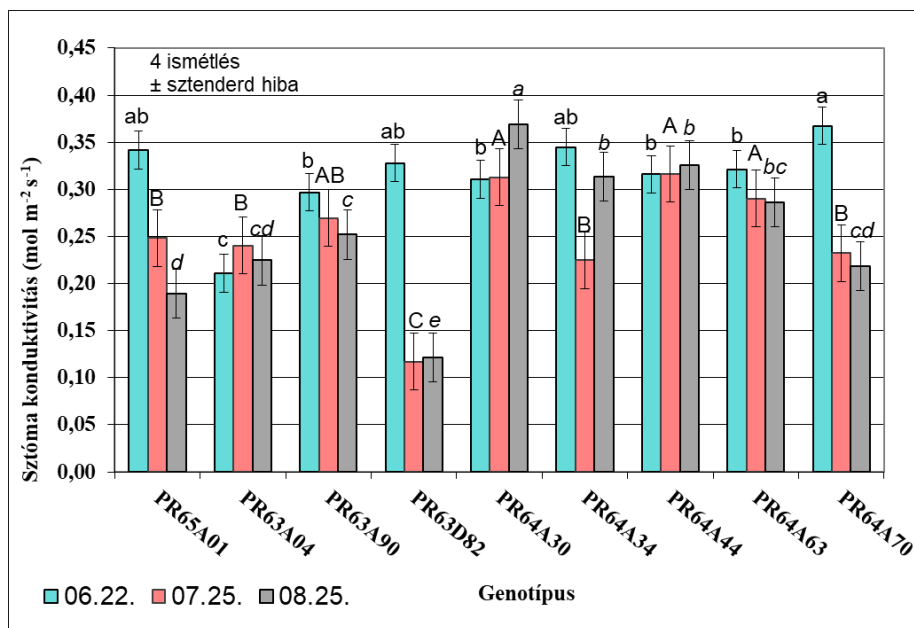
a leveleit, ami különösen az augusztus 15-én végzett méréskor mutatkozott meg, a genotípusok átlagában a kukoricaleveleinek hőmérséklete 0,36 °C-kal nagyobb volt a környező levegőénél.

A napraforgóban a nagyobb transzspiráció és a kukoricához hasonló szintű nettó asszimilációs ráta azt eredményezte, hogy a vízfelhasználás hatékonysága rosszabb volt, mint a kukoricáé. A genotípusok között szignifikáns különbséget találtunk mindegyik mérési időpontban. A WUE, a genotípusok átlagában, június 22-én $26,42 \pm 4,07 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ volt. Kiemelkedett a PR63A04 hibrid $38,48 \pm 6,11 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ értékkel (24. ábra). Július 25-én a genotípusok átlaga $31,32 \pm 4,22 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ volt, a legnagyobb értéket ($44,94 \pm 3,25 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) a PR63D82 esetében kaptuk. Az augusztus 25-én végzett mérések alkalmával a genotípusok átlaga $34,35 \pm 4,86 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ volt, a legnagyobb értéket ugyancsak a PR63D82 genotípus adta ($59,69 \pm 6,71 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$).

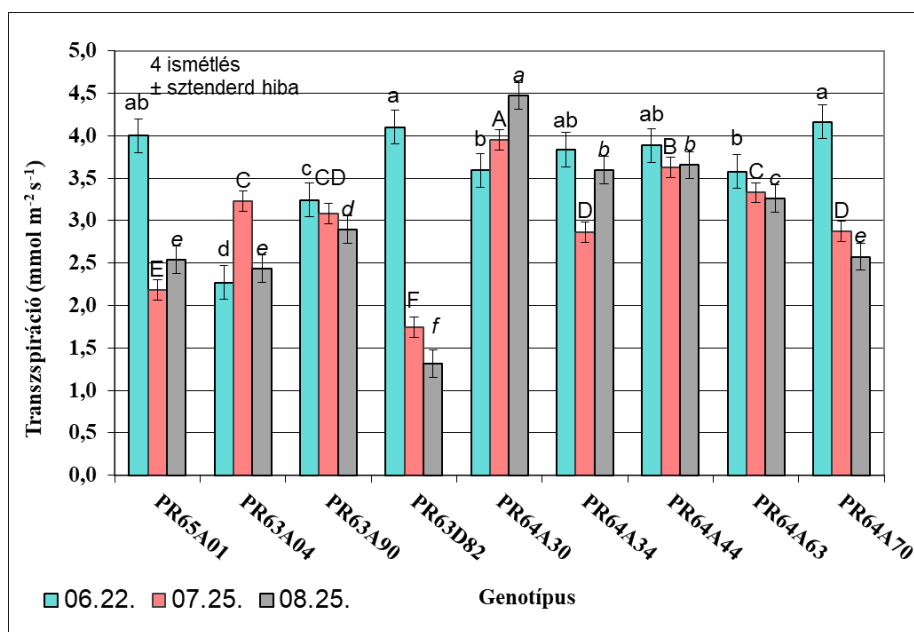
A 2007-es tenyészidőszakot értékelve megállapítható, hogy a vizsgált napraforgó genotípusok vízfelhasználás hatékonysága alig változott a tenyészidőszak során. Kivételt a PR63D82 jelentett, amelynél jelentősen nőtt a WUE értéke, $23,09 \pm 1,53$ -ról $59,69 \pm 6,71 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ értékre, ami elsősorban a transzspiráció csökkenésének eredménye (22. ábra).



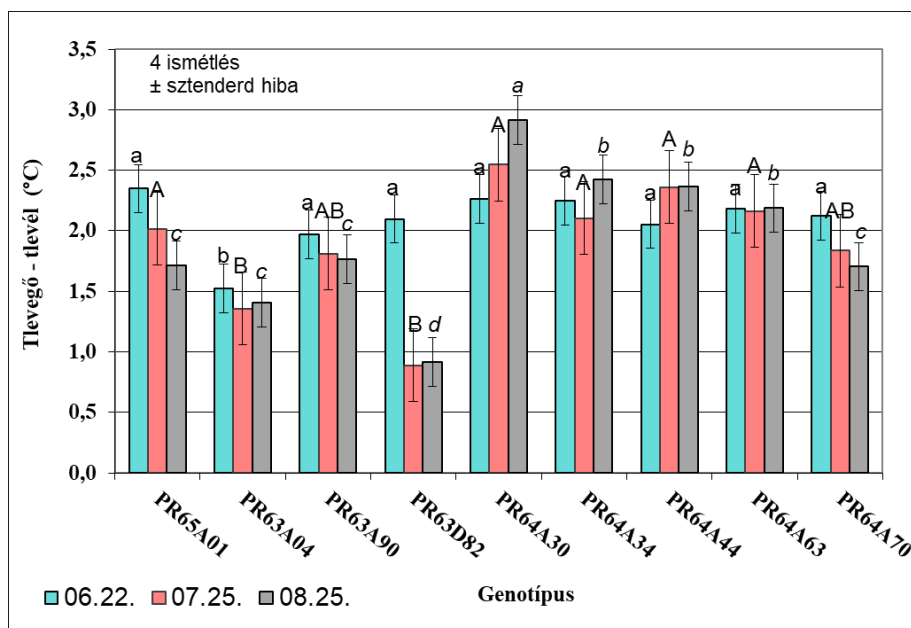
20. ábra A fotoszintézis intenzitása különböző napraforgó genotípusokban (Látókép, 2007)
Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



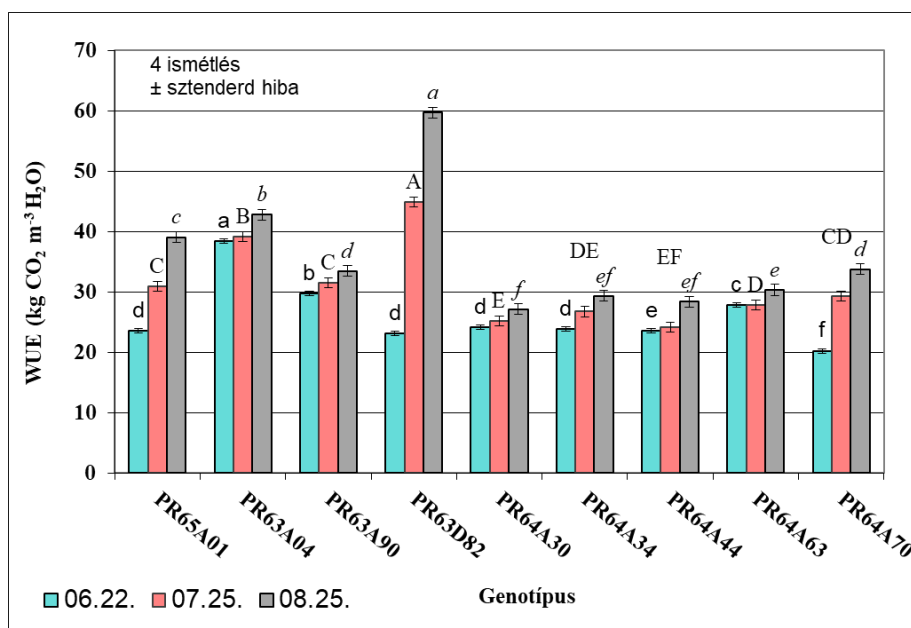
21. ábra A sztóma-konduktancia különböző napraforgó genotípusokban (Látókép, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



22. ábra A transzspiráció értékei különböző napraforgó genotípusokban (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



23. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbség értékei különböző napraforgó genotípusokban (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



24. ábra Különböző napraforgó genotípusok vízhasznosításának hatékonysága (WUE) (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.

Pearson-féle korreláció analízist végeztünk a 2007. augusztus 25-i adatok felhasználásával a különböző fotoszintézis paraméterek és a vízfelhasználás hatékonysága közötti kapcsolatok elemzése érdekében a genotípusok átlagában, napraforgóban (11. táblázat). Igen szoros pozitív

összefüggést találtunk a sztóma-konduktancia és a transzspiráció ($r=0,981$), a sztóma-konduktancia és a levegő-levél hőmérséklet különbsége ($r=0,943$), valamint a transzspiráció és a levegő-levél hőmérséklet különbsége ($r=0,969$) között, $p=1\%$ szignifikancia szinten. A WUE értéke $p=1\%$ szinten szignifikáns, közepes pozitív kapcsolatban volt a nettó fotoszintézis intenzitással ($r=0,422$), szoros negatív kapcsolatban a sztóma-konduktanciával ($r=-0,845$), az intercelluláris CO_2 szinttel ($r=-0,869$), a transzspirációval ($r=-0,891$), a levegő-levél hőmérséklet különbségével ($r=-0,865$).

11. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés napraforgóban (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2007. 08. 25.)

	Cond	Ci	Trmmol	Tair	Tleaf	Tair_tleaf	WUE
Photo	0,691**	0,528**	0,636**	0,167*	-0,386**	0,608**	0,422**
Cond	1	0,855**	0,981**	0,529**	-0,223**	0,943**	-0,845**
Ci	0,855**	1	0,837**	0,317**	-0,380**	0,807**	-0,896**
Trmmol	0,981**	0,837**	1	0,661**	-0,064	0,969**	-0,891**
Tair	0,529**	0,317**	0,661**	1	0,684**	0,697**	-0,670**
Tleaf	-0,223**	-0,380**	-0,064	0,684**	1	-0,046	-0,053
Tair_tleaf	0,943**	0,807**	0,969**	0,697**	-0,046	1	-0,865**

*: a korreláció $p=5\%$ -os szinten szignifikáns

**: a korreláció $p=1\%$ -os szinten szignifikáns

Photo: nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma konduktancia ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), T_{air}: levegő hőmérséklete (C), T_{leaf}: level hőmérséklete (C), T_{air_tleaf}: levegő hőmérséklete – levél hőmérséklete (°C), WUE: a vízfelhasználás hatékonysága ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$)

A 2007. évi kukoricában és napraforgóban végzett mérések eredményei alapján megállapítható, hogy a kukorica fotoszintézis rendszerének működése jelentősen érzékenyebben reagált a tenyészidőszak vízellátottságának változására, mint a napraforgóé, valamint a víz felhasználásának hatékonysága is nagyobb mértékben változott. A fotoszintézis paraméterekben, vízfogyasztásban és a WUE értékében szignifikáns eltéréseket igazoltunk a genotípusok között. A kukoricában a genotípusok közötti különbségek nagyobbak voltak minden mért és számított paraméter esetében, mint a napraforgóban. A kukorica vízfelhasználásának hatékonysága (július 09.: $40,94 \pm 3,41$; július 26.: $64,38 \pm 6,28$; augusztus 15.: $106,92 \pm 9,72 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) jelentősen meghaladta a napraforgóét (június 22.: $26,42 \pm 4,07$; július 25.: $31,32 \pm 4,22$; augusztus 25.: $34,35 \pm 4,86 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) a tenyészidőszak során a genotípusok átlagában.

4.2.3. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága száraz évjáratban (2012. évi mérések)

A 2012-es tenyészidőszak is aszályos volt a kukorica és napraforgó számára. A TET:PET arány 37,4%, a módosított Pálfai-féle aszályindex $6,3\text{ }^{\circ}\text{C } 100\text{ mm}^{-1}$, az ariditási index 2,59 volt, mindegyik aszályt jelez az adott időszakra, emellett az április-szeptember időszak átlaghőmérséklete $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb volt a 30 éves átlagnál.

Kukoricán, napraforgón és a kontroll parcellák szélén növekvő öt gyomnövényfajon (*Abutilon theophrasti* Medik, *Ambrosia artemisiifolia* L, *Datura stramonium* L, *Polygonum persicaria* L, *Xanthium italicum* Moretti) végeztünk méréseket a fotoszintézis különböző paramétereit, a transzspirációt, és a vízfelhasználás hatékonyságát (WUE) rögzítve.

A 2012. július 27-én végzett mérés alapján megállapítható, hogy a vizsgált növényfajok közül a kukorica nettó asszimilációs rátája volt a legnagyobb, $43,12 \pm 0,35\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, legkisebb pedig a *Polygonum persicaria* gyomfajé ($1,48 \pm 0,12$). Jól látható, hogy a két C_4 -es fotoszintézis utat követő növényfaj (*Zea mays* és *Datura stramonium*) nettó fotoszintézis intenzitása kiemelkedett a többi közül (25. ábra).

A sztóma-konduktancia elemzések megállapíthatók, hogy a *Datura stramonium* levein mért érték szignifikánsan nagyobb volt ($0,113 \pm 0,004\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), mint a többi fajé. Legkisebb sztóma-konduktanciát a *Polygonum persicaria* gyomfajon rögzítettünk ($0,019 \pm 0,003\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), de ez nem különbözött szignifikánsan az *Ambrosia artemisiifolia* levelein mért adatoktól ($0,020 \pm 0,003\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$). A napraforgón is viszonylag kis sztóma-konduktanciát ($0,065 \pm 0,004\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) mértünk (26. ábra).

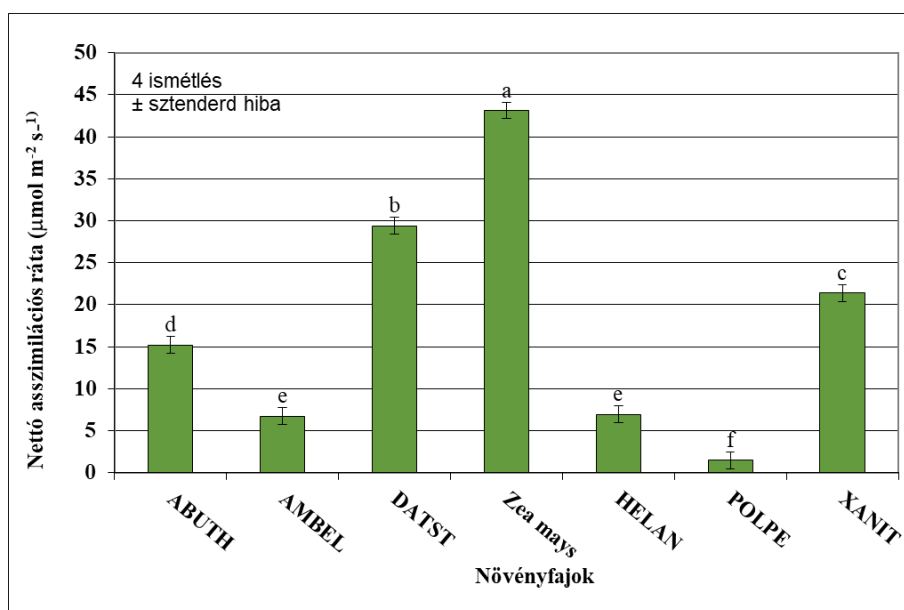
A legnagyobb transzspirációt szintén a *Datura stramonium* esetében mértük ($4,01 \pm 0,14\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), mely $p=5\%$ szinten szignifikánsan nagyobb volt a többi vizsgálatba vont növényfajénál (27. ábra). A *Xanthium italicum* transzspirációja volt a második legnagyobb ($3,15 \pm 0,23\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), de ez nem különbözött szignifikánsan a kukoricán mért értéktől ($3,04 \pm 0,04\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$). A *Polygonum persicaria* ($0,79 \pm 0,13\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) és az *Ambrosia artemisiifolia* ($0,87 \pm 0,11\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) levelein rögzítettük a legkisebb transzspirációt. A két faj között a transzspirációban nem volt szignifikáns különbség.

A transzspiráció hűtő hatása egyértelműen megmutatkozott a levelek hőmérsékletében is, a levegő és levél hőmérsékletének különbsége a transzspiráció intenzitását követte (28. ábra). A *Datura stramonium* jelentős mértékben hűtötte a leveit az elpárologtatott vízzel, a környező levegőhöz képest $2,89 \pm 0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal volt hűvösebb a levele. A *Polygonum persicaria* esetében a kismértékű transzspiráció hűtő hatása alig érvényesült ($T_{\text{air-leaf}} = 0,14 \pm 0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$).

A vízhasznosítás hatékonyságának elemzésekor megállapíthattuk, hogy a kukorica WUE értéke $p=5\%$ szinten szignifikánsan nagyobb volt, mint a többi növényfajé, $36,20 \pm 1,38 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$. A többi fotoszintézis paramétert megvizsgálva egyértelműnek tűnik, hogy a kukorica kiemelkedő vízhasznosítása nagyobb mértékben a kiemelkedő nettó asszimilációs rátának, kisebb mértékben a visszafogott transzspirációnak a következménye. A szakirodalmi adatok alátámasztják ezeket az eredményeket (Tazoe et al., 2006; Stuchlíková et al., 2007; Ubierna et al., 2011; Li et al., 2020).

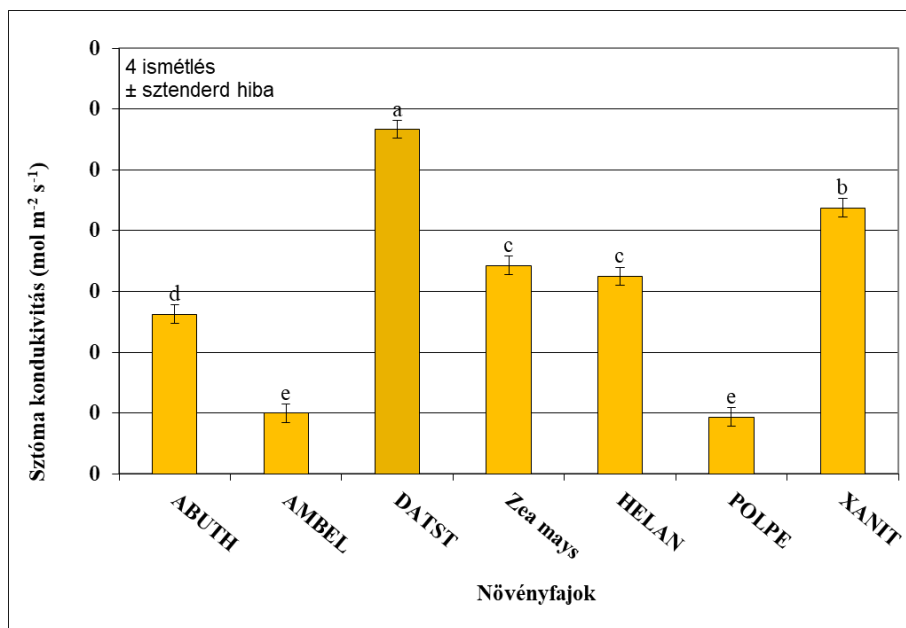
Az *Abutilon theophrasti*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Datura stramonium*, *Xanthium italicum* gyomfajok vízhasznosítás hatékonyságában nem volt igazolható eltérés, a WUE $16,64 \pm 1,33$ és $18,78 \pm 1,09 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ között változott a négy faj között (29. ábra).

Ellentétben azzal, hogy a C_4 -es növényfajok egyértelműen elkülönültek a nettó fotoszintézis intenzitás tekintetében a többtől, a WUE szempontjából a két C_4 -es faj eltérően viselkedett. A kukorica vízhasznosítása kiemelkedő volt, míg a *Datura stramonium*, az intenzív transzspiráció következtében közepes WUE értékkel volt jellemezhető.



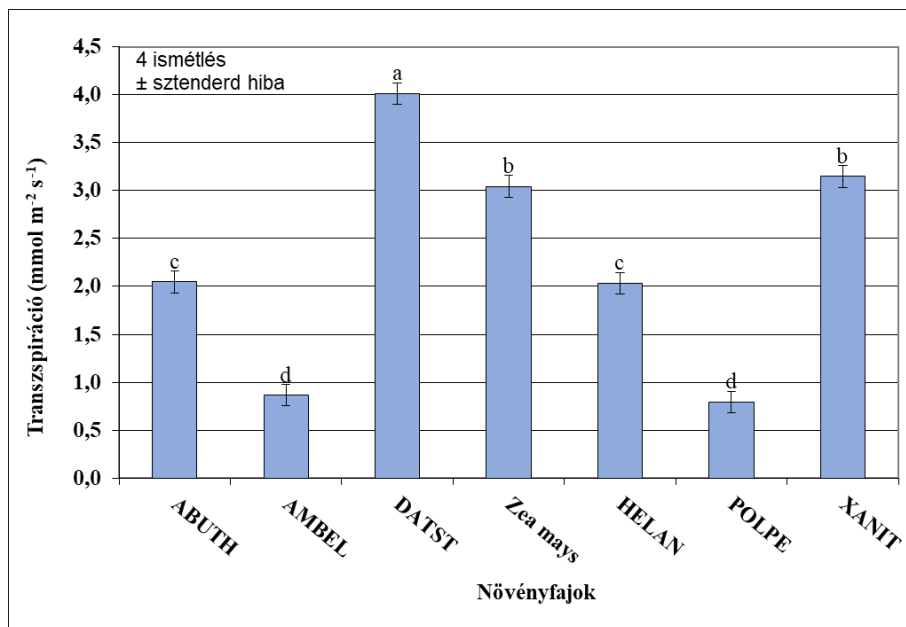
25. ábra A nettó asszimilációs ráta a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)

ABUTH: *Abutilon theophrasti*; AMBEL: *Ambrosia artemisiifolia*; DATS: *Datura stramonium*; HELAN: *Helianthus annuus*; POLPE: *Polygonum persicaria*; Xanit: *Xanthium italicum*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



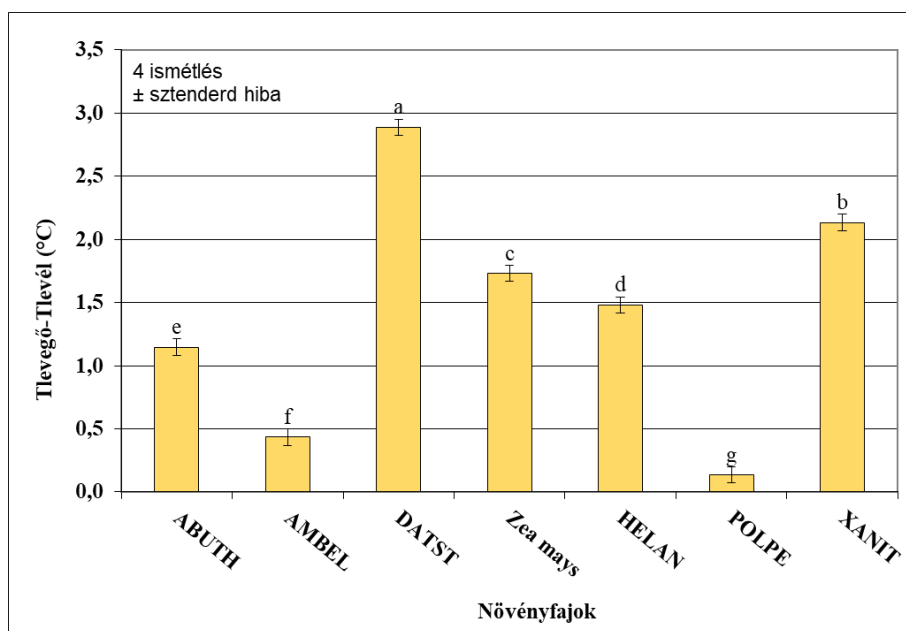
26. ábra A sztóma konduktancia értékei a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)

ABUTH: *Abutilon theophrasti*; AMBEL: *Ambrosia artemisiifolia*; DATS: *Datura stramonium*; HELAN: *Helianthus annuus*; POLPE: *Polygonum persicaria*; Xanit: *Xanthium italicum*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



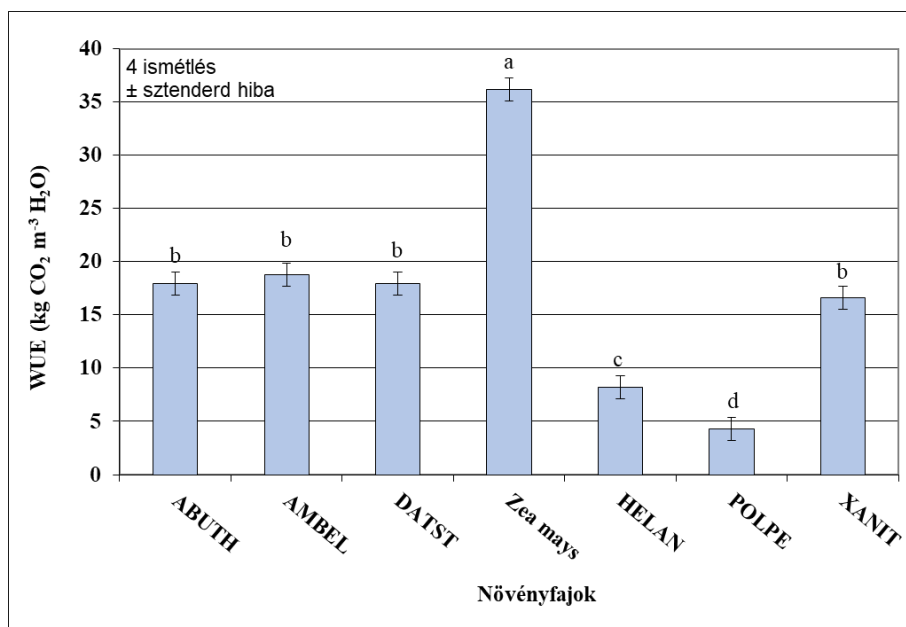
27. ábra A transzspiráció a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)

ABUTH: *Abutilon theophrasti*; AMBEL: *Ambrosia artemisiifolia*; DATS: *Datura stramonium*; HELAN: *Helianthus annuus*; POLPE: *Polygonum persicaria*; Xanit: *Xanthium italicum*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



28. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbsége a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)

ABUTH: *Abutilon theophrasti*; AMBEL: *Ambrosia artemisiifolia*; DATS: *Datura stramonium*; HELAN: *Helianthus annuus*; POLPE: *Polygonum persicaria*; Xanit: *Xanthium italicum*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.



29. ábra A vízfelhasználás hatékonysága a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)

ABUTH: *Abutilon theophrasti*; AMBEL: *Ambrosia artemisiifolia*; DATS: *Datura stramonium*; HELAN: *Helianthus annuus*; POLPE: *Polygonum persicaria*; Xanit: *Xanthium italicum*. Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.

4.2.4. A kukorica fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága csapadékos évjáratban (2010. évi mérések)

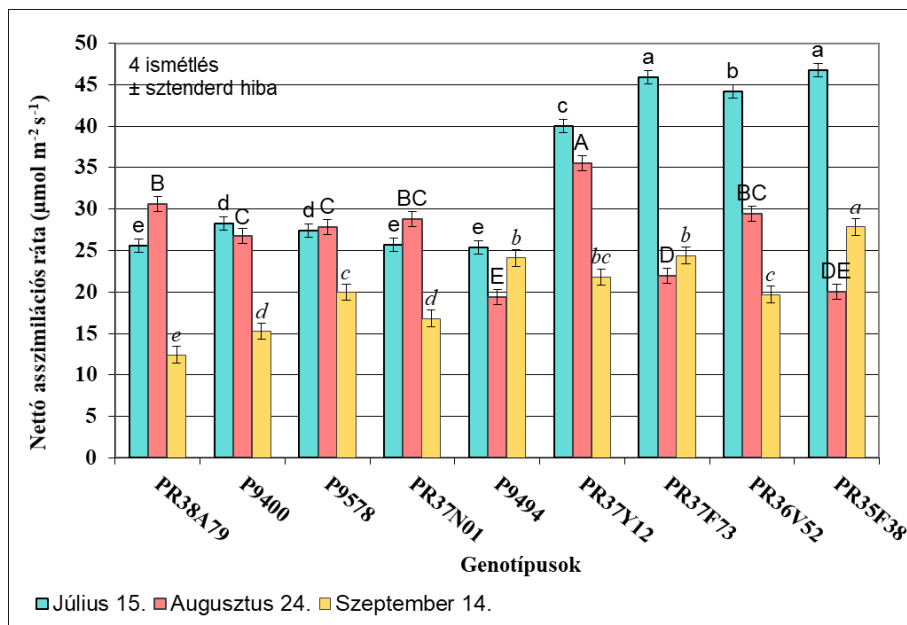
A 2010. évi kukorica, illetve napraforgó tenyészdő jó vízellátottságúnak, aszálymentesnek tekinthető, a TET:PET arány 87,7%, az ariditási index 0,72, a módosított Pálfai-féle aszályindex $2,3\text{ }^{\circ}\text{C } 100\text{ mm}^{-1}$ volt. A csapadékos időjárás miatt – a csapadékos periódusok lehűléssel járnak együtt – az április-szeptember közötti időszak átlaghőmérséklete $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal kisebb volt a 30 éves átlagnál, sem a kukorica, sem a napraforgó számára nem kedvező évjárat, mivel melegigényes növények.

A nettó asszimilációs ráta alakulásának vizsgálatokor megállapítottuk, hogy a kukorica genotípusok között $p=5\%$ szinten szignifikáns különbségek voltak minden mérési időpontban, a genotípusok eltérően reagáltak az agroökológiai körülményekre a fotoszintézis tekintetében. A 2010. július 15-én végzett méréskor a nettó asszimilációs ráta jelentősen nagyobb volt négy genotípus (PR37Y12, PR37F73, PR36V52, PR35F38) esetében, mint későbbi mérések alkalmával (30. ábra). A különbség a három genotípus (PR37F73, PR36V52, PR35F38) esetében jelentős volt, átlagosan 97,6 és 93,5%-kal nagyobb a későbbi mérésekhez képest. Az első és harmadik időpontban a PR35F38 levelein mértük a legintenzívebb fotoszintézist, $45,90\pm 4,22$ és $27,86\pm 1,21\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ értékkel. Augusztus 24-én a PR37Y12 genotípus nettó asszimilációs rátája volt a legnagyobb, $35,50\pm 1,27\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$.

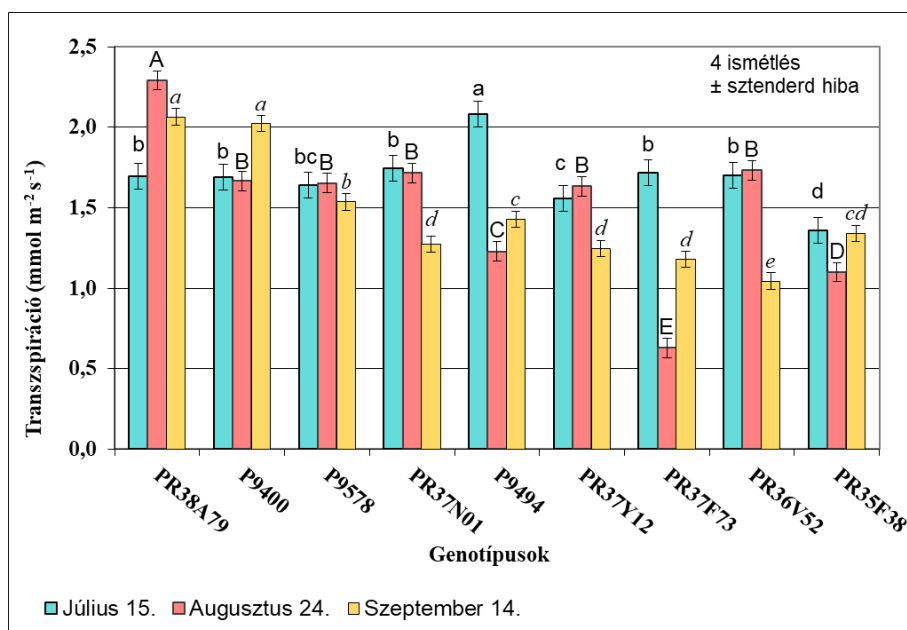
A transzspiráció adatainak elemzéskor is megállapítható volt, hogy mindhárom mérési időpontban szignifikáns különbségek voltak a genotípusok között $p=5\%$ hiba valószínűségi szinten. A genotípusok átlagában a mérési időpontok között nem lehetett megállapítani eltérést, $1,46$ és $1,69\text{ mmol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ között változott a különbség (31. ábra). Ez, a többi adattal együtt, arra enged következtetni, hogy a kukorica transzspirációját nem korlátozta vízhiány a tenyészdőszak során. Ezekkel a megállapításokkal nagymértékben egyező következtetésekre jutottak más kutatók is, kukorica kísérleteikben (Abbas et al., 2005; Gheysari et al., 2015; Bassi et al., 2018; Álvarez-Iglesias et al., 2022).

A vízfelhasználás hatékonyságának adatai azt mutatták, hogy azoknak a genotípusoknak volt jó a WUE értéke, ahol a fotoszintézis intenzitása is nagy volt (PR37Y12, PR37F73, PR36V52, PR35F38), ez különösen megmutatkozott a július 15-i méréskor (32. ábra). A WUE értékei a genotípusok átlagában is sokkal kisebbek voltak 2010-ben (július 15.: $51,10\pm 6,31$, augusztus 24.: $46,30\pm 5,63$, szeptember 14.: $36,50\pm 4,11\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-3}\text{ H}_2\text{O}$), a 2007-es eredményekhez képest (július 26.: $64,38\pm 6,28$; augusztus 15.: $106,92\pm 9,72\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-3}\text{ H}_2\text{O}$). Kiemelkedő vízfelhasználási hatékonyságot az első méréskor a PR35F38 ($84,01\pm 5,73\text{ kg CO}_2$

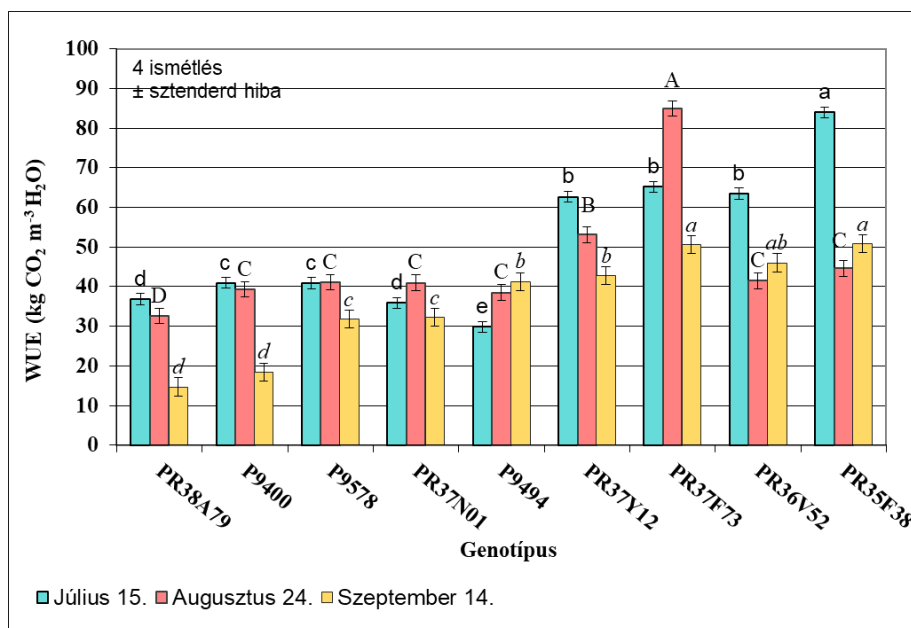
$\text{m}^{-3} \text{H}_2\text{O}$), a második méréskor a PR37F73 ($85,01 \pm 8,11 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{H}_2\text{O}$), a harmadik méréskor a PR37F73 ($50,58 \pm 5,33 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{H}_2\text{O}$) és PR35F38 ($50,82 \pm 3,22 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{H}_2\text{O}$) mutatott.



30. ábra Elterő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010)



31. ábra Elterő kukorica genotípusok transzspirációjának alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010)



32. ábra Eltérő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010)

A 2010-es mérési adatok felhasználásával elvégeztük a Pearson-féle korreláció analízist a fotoszintézis paraméterek és a vízfelhasználás hatékonysága közötti kapcsolatok elemzése érdekében, a genotípusok átlagában (12. táblázat). Az eredmények alapján megállapíthattuk, hogy szoros pozitív összefüggést találtunk a sztóma-konduktancia és a nettó asszimilációs ráta ($r=0,854$), a sztóma-konduktancia és a transzspiráció ($r=0,820$), a sztóma-konduktancia és a levegő-levél hőmérséklet különbsége ($r=0,861$), valamint a transzspiráció és a levegő hőmérséklete ($r=0,829$) között, $p=1\%$ szignifikancia szinten. A WUE értéke $p=1\%$ szinten szignifikáns, igen szoros pozitív kapcsolatban volt a nettó fotoszintézis intenzitással ($r=0,974$), közepes pozitív kapcsolatban a sztóma-konduktanciával ($r=0,649$), a levegő-levél hőmérséklet különbségével ($r=0,690$), valamint közepes negatív kapcsolatban a transzspirációval ($r=-0,418$).

Az eredmények eltérnek a 2007-es száraz évi adatok feldolgozásakor kapott eredményektől (10. táblázat), ahol a WUE negatív kapcsolatban volt az összes vizsgált paraméterrel. A különbség valószínű oka a vízellátottságban tapasztalt jelentős különbség, mely hatással volt a növények vízháztartására, az élettani folyamatokra, ezen belül a fotoszintézis rendszer működésére.

12. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2010)

	Photo	Cond	Ci	Trmmol	Tair	Tleaf	Tair_tleaf	WUE
Photo	1	0,854**	-0,133	0,787**	0,799**	0,758**	0,796**	0,974**
Cond	0,854**	1	-0,162*	0,820**	0,845**	0,798**	0,861**	0,649**
Ci	-0,133	-0,162*	1	-0,128	-0,065	0,029	-0,252**	0,136*
Trmmol	-0,213**	0,820**	-0,128	1	0,829**	0,911**	0,031	-0,418**
Tair	0,799**	0,318**	-0,065	0,829**	1	0,931**	0,386**	0,111**
Tleaf	0,758**	0,020	0,029	0,911**	0,931**	1	0,022	-0,153*
Tair_tleaf	0,796**	0,861**	-0,252**	0,031**	0,386**	0,022	1	0,690**
WUE	0,974**	0,649**	0,136*	-0,418**	0,111**	-0,153*	0,690**	1

*: a korreláció szignifikáns $p=5\%$ -os szinten. **: a korreláció szignifikáns $p=1\%$ -os szinten. N=648

Photo: nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma konduktancia ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), T_{air}: levegő hőmérséklete (°C), T_{leaf}: level hőmérséklete (°C), T_{air_tleaf}: levegő hőmérséklete – level hőmérséklete (°C), WUE: a vízfelhasználás hatékonysága ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3}\text{H}_2\text{O}$)

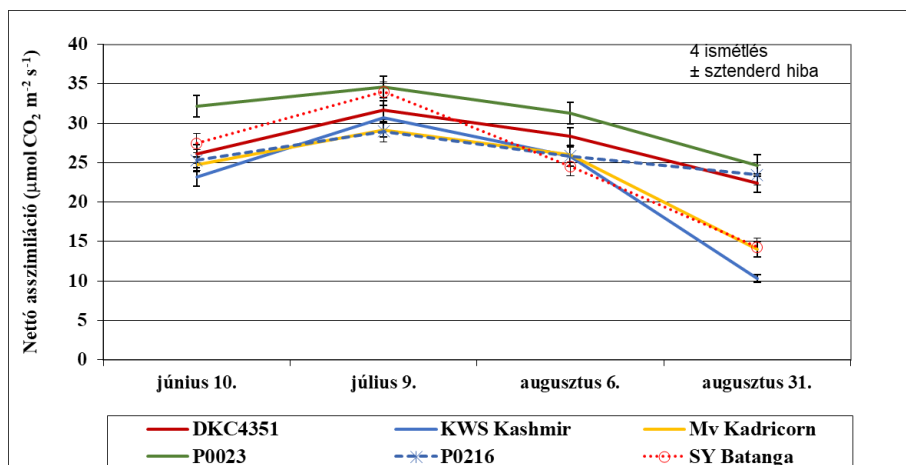
4.2.5. A kukorica és a napraforgó fotoszintézis paraméterei, transzspirációja, és a vízfelhasználás hatékonysága csapadékos évjáratban (2020 évi mérések)

A kukorica számára kedvező vízellátottságának tekinthető a 2020-as tenyészidőszak, az április-szeptember közötti csapadékösszeg 442,3 mm volt, ami 112,5 mm-rel meghaladta a 30 éves átlagot. A TET:PET arány 81,5%, az ariditási index 0,94, a módosított Pálfai-féle aszályindex $2,2 \text{ }^\circ\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$ volt, ezek mindegyike aszálymentes évjáratot jelöl. Ugyanakkor a tenyészidő átlaghőmérséklete ($16,2 \text{ }^\circ\text{C}$) $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal alacsonyabb volt Látóképen, mint a 30 éves átlag ($17,7^\circ\text{C}$), ami kedvezőtlen a kukorica számára.

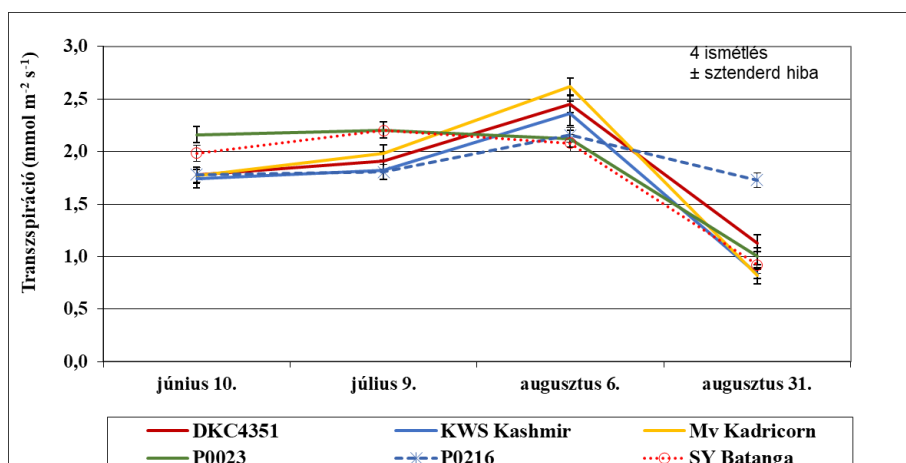
Négy alkalommal végeztünk fotoszintézis méréseket a tenyészidőszakban június 10. és augusztus 31. között. A nettó asszimilációs ráta eredményeinek feldolgozása során megállapíthattuk, hogy $p=5\%$ szignifikancia szinten igazolt eltérések voltak a kukorica genotípusok között mindegyik mérési időpontban (33. ábra). Minden genotípus esetében július 9-én volt legnagyobb a nettó asszimilációs ráta, augusztus 31-én a legkisebb. A P0023 (FAO450) genotípus levelein mért nettó asszimilációs ráta minden időpontban meghaladta a többi genotípusét. A jó vízellátottság ellenére a nettó fotoszintézis ráta a legintenzívebb időpontban is $28,95 \pm 2,13$ és $34,56 \pm 4,51 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között változott genotípustól függően, ami a kukorica esetében közepesnek minősíthető. Ennek oka valószínűleg a csapadékos időjárással együtt járó viszonylag alacsony hőmérséklet volt.

A statisztikai elemzés $p=5\%$ szinten szignifikáns eltérést igazolt a transzspiráció mértékében is, mindegyik mérési időpontban. Az augusztus 6-án végzett mérésakor rögzítettük

a legnagyobb transzspirációs értékeket, a P0023 és a SY Batanga genotípusok kivételével, melyeknél az második (július 9.) időpontban volt nagyobb transzspiráció (34. ábra).



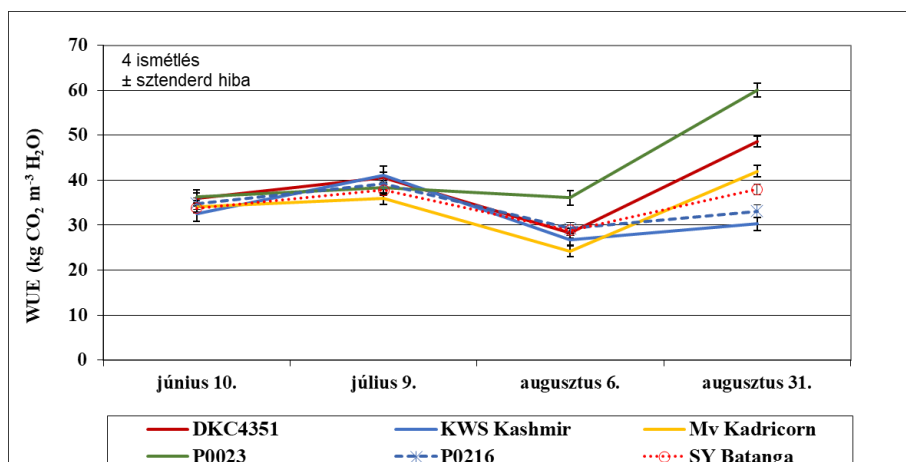
33. ábra Eltérő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)



34. ábra Eltérő kukorica genotípusok transzspirációjának változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)

A vízfelhasználás hatékonyságának változását a tenyészidőszakban a 35. ábra mutatja. Az első két mérési időpontban nem tudtunk szignifikán különbséget igazolni a genotípusok között. Megállapítható volt, hogy a genotípusok átlagában a legnagyobb transzspirációval jellemezhető augusztus 6-i méréskor volt a legkisebb a WUE értéke (35. ábra). Nagyobb vízfelhasználási hatékonyságot július 9-én és augusztus 31-én rögzítettünk, viszont eltérő okora visszavezethetően. Július 9-én az intenzív fotoszintézis közepes transzspirációval párosult, míg augusztus 31-én az enyhén csökkenő nettó asszimilációs ráta melletti igen alacsony transzspiráció okozta a jobb vízhasznosítást. Legkisebb mértékben a SY Batanga WUE értéke változott a tenyészidő során, $28,82 \pm 3,27$ és $37,98 \pm 1,51$ kg CO₂ m⁻³ H₂O között. Legnagyobb

mértékben a P0023 vízhasznosítási hatékonysága változott, $36,06 \pm 2,33$ és $60,06 \pm 7,13$ kg CO₂ m⁻³ H₂O között.



35. ábra Eltérő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)

4.2.6. A kukorica vízfelhasználása és a fotoszintézis paramétereinek közötti összefüggések elemzése eltérő évjáratokban (2010-2013).

A kukorica transzspirációjának hatékonyságát elemeztem a 2010-2013 évi mérési adatok alapján. A négy év igen eltérő vízellátottsági helyzeteket jelentett a kukorica számára. 2010-ben a nagy mennyiségű csapadék kedvező vízellátást eredményezett (96. ábra), a TET:PET arány 88% volt. Összességében átlagos évjáratnak tekinthető 2011, bár a tavasz elég száraz volt (97. ábra). Igen száraz évjárat volt a kukorica szempontjából a 2012-es (98. ábra), a tényleges párolgás a potenciálisnak csak 37%-át érte el. A 2013-as tenyészidőszak első fele kedvező volt vízellátás szempontjából, később igen száraz periódus következett, a PET:TET aránya augusztusban alig érte el a 27%-ot (99. ábra).

A vízfelhasználás hatékonyságának jellemzésére a növény által egységnyi víz (1 m³) transzspirálása során megkötött széndioxid mennyisége kiválóan alkalmas.

A mérési eredmények alapján a kukorica vízfelhasználásának hatékonysága gyengébb volt ($23,33$ kg CO₂ m⁻³ H₂O) a csapadékos 2010-es évben, mint 2011-ben ($52,88$ kg CO₂ m⁻³ H₂O), vagy 2012-ben ($36,19$ kg CO₂ m⁻³ H₂O) és 2013-ban ($61,52$ kg CO₂ m⁻³ H₂O).

Vizsgáltuk a transzspiráció és a különböző mért fotoszintézis paraméterek közötti összefüggéseket is. A Pearson-féle korrelációanalízis eredményeként 0,596 és 0,715 közötti

korrelációs koefficiens (r) értékeket kaptunk a nettó fotoszintézis intenzitás és a transzspiráció között, 2010-2013-ban (13. táblázat).

13. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2011. 07. 17.)

	Photo	Cond	Ci	Trmmol	Tair-tleaf	WUE
Photo	1	0,587	-0,098	0,596	0,694	0,668
Cond	0,587	1	-0,096	0,998	0,804	0,934
Ci	-0,098	-0,096	1	-0,095	-0,113	-0,071
Trmmol	0,596	0,998	-0,095	1	0,801	-0,937
Tair-tleaf	0,694	0,804	-0,113	0,801	1	0,822
WUE	0,668	0,934	-0,071	-0,337	0,822	1

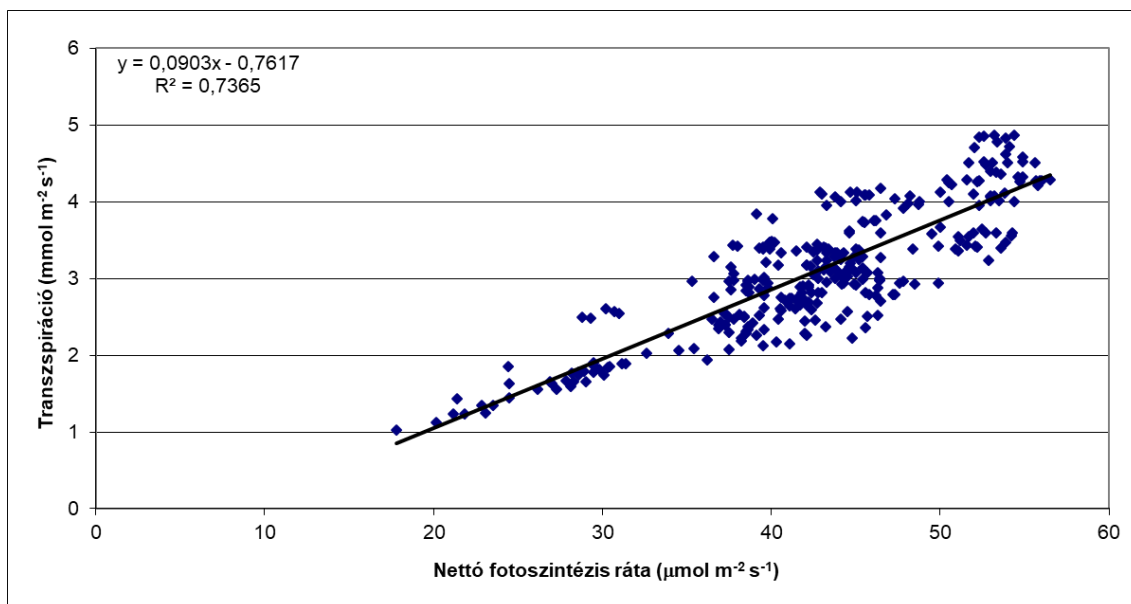
Photo: nettó asszimilációs ráta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma-konduktancia ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), WUE: a vízfelhasználás hatékonysága ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$), Tair-tleaf: levegő hőmérséklete – levél hőmérséklete ($^{\circ}\text{C}$)

A sztómák átjárhatósága és a transzspiráció között igen szoros szignifikáns kapcsolatot találtunk (13. táblázat). Lineáris regresszióanalízist végeztünk a nettó fotoszintézis intenzitás és a transzspiráció közötti kapcsolat feltárása érdekében. A 36. ábra és 37. ábra a 2011. és 2012. évi függvények ábrázolását mutatja. A kapcsolat hasonlóan alakult a két évben, ahogy az ábrákon is egyértelműen megfigyelhető, az R^2 értéke 0,7365 és 0,7469 volt, ami a lineáris függvény jó illeszkedését mutatja. Ezek a megállapítások jól illeszkednek Csajbók és Kutasy (2012) által közölt adatokhoz.

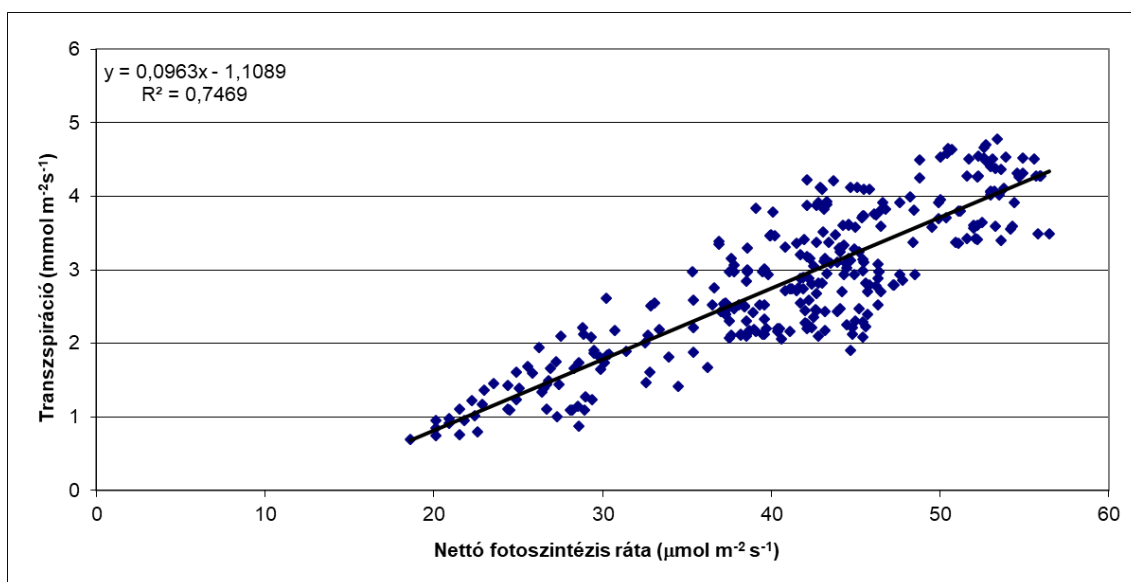
A levegő és levél hőmérséklete közötti eltérés jól jellemzi, hogy a transzspiráció hűtő hatása mennyire érvényesül az állományban. A kukorica levelei átlagosan csak 0,24 $^{\circ}\text{C}$ -kal, illetve 0,41 $^{\circ}\text{C}$ -kal voltak alacsonyabb hőmérsékletűek, mint a környező levegő 2012-ben és 2013-ban (38. ábra), vagyis a transzspiráció hűtő hatása gyenge volt. Ez súlyos vízstressz állapotot jelez. 2011-ben ez az érték átlagosan 2,11 $^{\circ}\text{C}$, míg a 2010-ben végzett mérések esetében 2,56 $^{\circ}\text{C}$ volt. A korrelációs együttható értéke 0,669 és 0,832 között változott az egyes években a transzspiráció és a hőmérséklet-különbség tekintetében.

A sztóma-konduktancia és a transzspiráció, valamint a levegő és levél hőmérséklet-különbsége között szoros pozitív korrelációt lehetett igazolni (13. táblázat, 38. ábra). Az eddigi mérések alapján az intercelluláris CO_2 szint esetében egyik vizsgált paraméterrel kapcsolatban sem mutatható ki összefüggés.

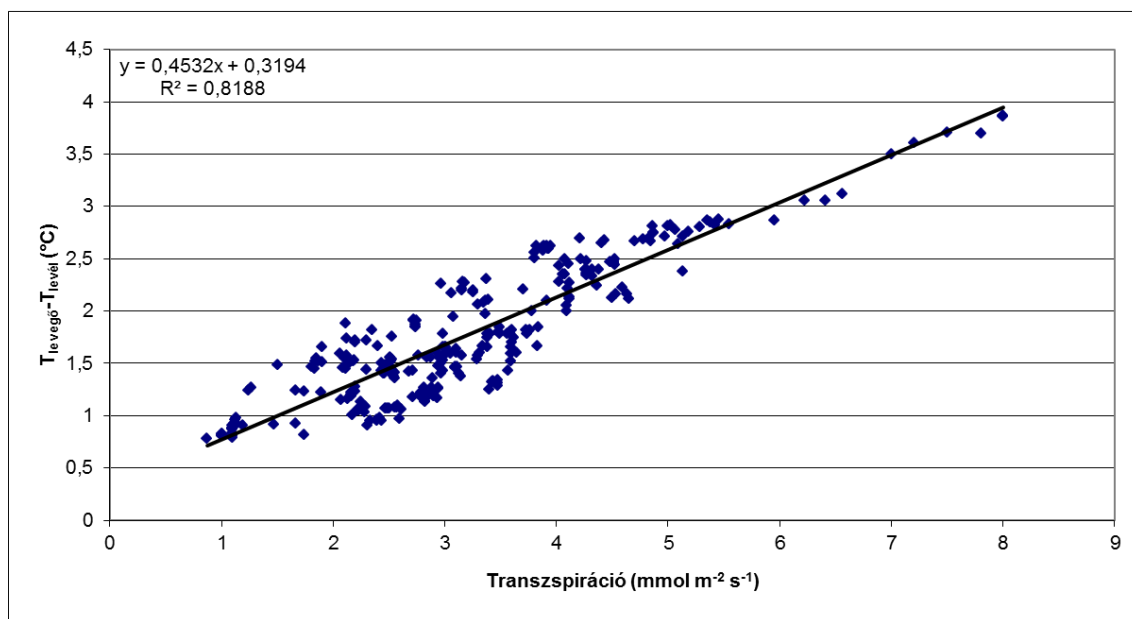
Az igen eltérő csapadék-mennyiséget jelentő évjáratokban végzett mérések alapján megállapítható, hogy a kukorica száraz körülmények között igen hatékonyan használja fel a vizet, míg jó vízellátottsági helyzetben a hatékonyság jelentősen romlik. Csapadékos években több vizet párologtat el 1 kg CO₂ asszimilációja során, mint száraz, aszályos években, illetve vízstressz állapotban.



36. ábra A transzspiráció a fotoszintézis intenzitásának függvényében kukoricánál (Látókép, 2011. 07. 17.) N=306.



37. ábra A transzspiráció a fotoszintézis intenzitásának függvényében kukoricánál (Látókép, 2012. 07. 31.) N=306.



38. ábra Összefüggés a levegő és level hőmérséklet-különbsége és a transzspiráció között kukoricában (Látókép, 2012. 07. 31.) N=306.

4.2.7. A napraforgó vízfelhasználása és a fotoszintézis paramétereinek közötti összefüggések elemzése eltérő évjáratokban (2004-2012).

A 2004-2012. közötti időszakban megvizsgáltuk a napraforgó fotoszintézis paramétereit, transzspirációját és vízhasznosításának közötti összefüggéseket. Pearson-féle korrelációanalízist, illetve lineáris regressziós függvényillesztést végeztünk az összefüggések feltárása érdekében. A korrelációs együttható értékeit a 14. táblázat tartalmazza. A nettó asszimilációs ráta és a WUE értéke között közepes, pozitív, $p=1\%$ szinten szignifikáns kapcsolatot találtunk ($r=0,635$). Az elemzés a vízhasznosítás hatékonysága és a transzspiráció között közepes, negatív kapcsolatot igazolt ($r=-0,442$), mely szintén szignifikáns $p=1\%$ szinten. A sztóma-konduktancia és a nettó asszimilációs ráta közötti kapcsolat is közepes, pozitív irányú volt ($r=0,609$), és $p=1\%$ szinten szignifikáns. A transzspiráció és a levegő és level hőmérséklet-különbsége közötti kapcsolat $p=1\%$ szinten szignifikáns volt, közepes pozitív összefüggést jelezve ($r=0,589$). A transzspiráció és a konduktancia, az intercelluláris CO_2 szint, a levegő hőmérséklete, a level hőmérséklete között nem tudtunk összefüggést igazolni a napraforgóban, a 2004-2012. közötti periódus adatait felhasználva.

14. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés napraforgóban (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2004-2012)

	Photo	Cond	Ci	Trmmol	Tair	Tleaf	Tair_tleaf	WUE
Photo	1	0,609**	-0,023	0,176**	-0,061**	-0,146**	0,288**	0,635**
Cond	0,609**	1	-0,133	0,104**	0,023	-0,064**	0,326**	-0,100**
Ci	-0,223*	-0,033	1	-0,011	0,002	0,022	-0,068**	-0,003
Trmmol	0,176**	0,104**	-0,011	1	0,213**	0,079**	0,589**	-0,442**
Tair	-0,061*	0,023	0,002	0,213**	1	0,960**	0,246**	-0,222**
Tleaf	-0,146**	-0,064**	0,022	0,079**	0,960**	1	-0,033	-0,148**
Tair_tleaf	0,288**	0,326**	-0,068**	0,589**	0,246**	-0,033	1	-0,282**
WUE	0,635**	-0,100**	-0,003	-0,442**	-0,222**	-0,148**	-0,282**	1

*: a korreláció szignifikáns $p=5\%$ -os szinten. **: a korreláció szignifikáns $p=1\%$ -os szinten. N=3210

Photo: nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Cond: sztóma konduktancia ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci: intercelluláris CO_2 szint ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Trmmol: transzspiráció ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), T_{air}: levegő hőmérséklete (C), T_{leaf}: levél hőmérséklete (C), T_{air_tleaf}: levegő hőmérséklete – levél hőmérséklete (°C), WUE: a vízfelhasználás hatékonysága ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3}\text{H}_2\text{O}$)

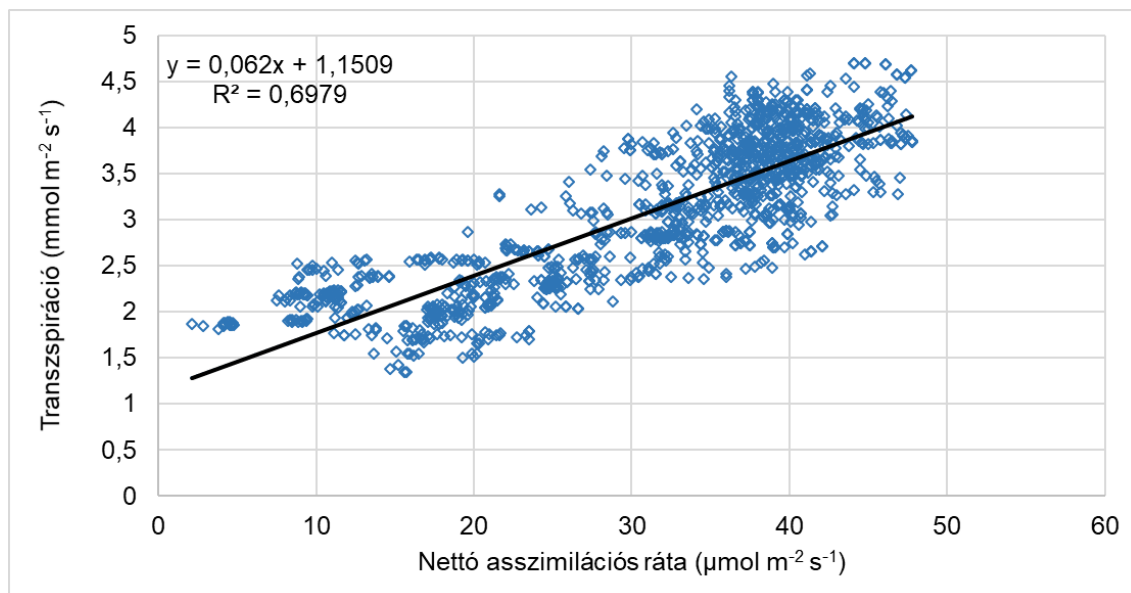
A transzspiráció és a nettó asszimilációs ráta adatainak (N=3210) felhasználásával készült regressziós függvény pozitív összefüggést mutat a két paraméter között. A növekvő fotoszintézis intenzitás fokozott transzspirációt jelentett a napraforgó állományban. Az egyenes meredeksége viszonylag kicsi (0,062). Az R^2 értéke 0,6979, ami az egyenes jó illeszkedését jelzi, a nagyszámú adat következtében az összefüggés megbízható (39. ábra).

A 40. ábra a levegő és levél hőmérséklet-különbsége és a transzspiráció közötti lineáris regressziós függvényt mutatja. Előzetes feltevésünket igazolva a kapcsolat pozitív volt, de az összefüggés nem szoros, az R^2 értéke 0,5441 volt. Egyéb vizsgálataink során, kisebb számú adat felhasználásával végzett lineáris regresszió eredménye is ritkán mutatott ennél szorosabb illeszkedést ilyen típusú adatokra.

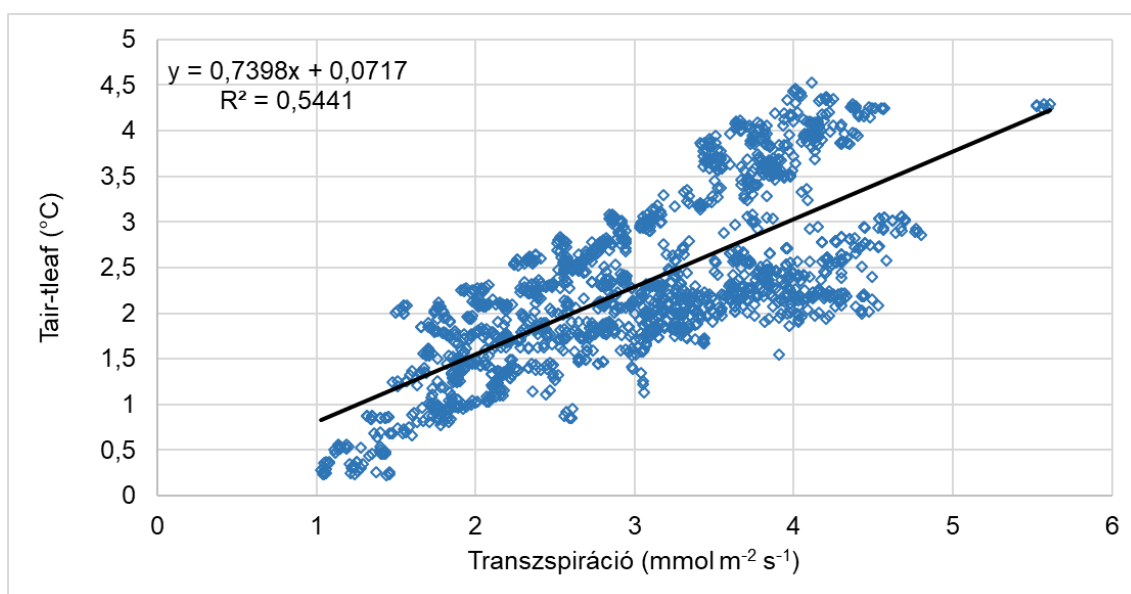
A vízfelhasználás hatékonysága és a nettó asszimilációs ráta közötti lineáris regressziós függvény illeszkedése jó, az R^2 értéke 0,6691. Ez várható volt, mivel a WUE értékét a transzspiráció is jelentősen befolyásolja (41. ábra). Az egyenes meredeksége nagyobb (0,584), mint a nettó asszimilációs ráta és a transzspiráció közötti függvényé.

A transzspiráció és a vízfelhasználás hatékonysága közötti összefüggést napraforgóban, az elemzésbe vont 9 évben a 42. ábra mutatja. Az előzőekben, több növényfajon is elvégzett vizsgálatok alapján tudjuk, hogy a transzspiráció és a WUE negatív korrelációban vannak egymással. Ezt az illesztett regressziós lineáris függvény lefutása is igazolta, az egyenes meredeksége -7,1938. A függvény közepesen illeszkedik az adatokra, az R^2 értéke 0,5038, de

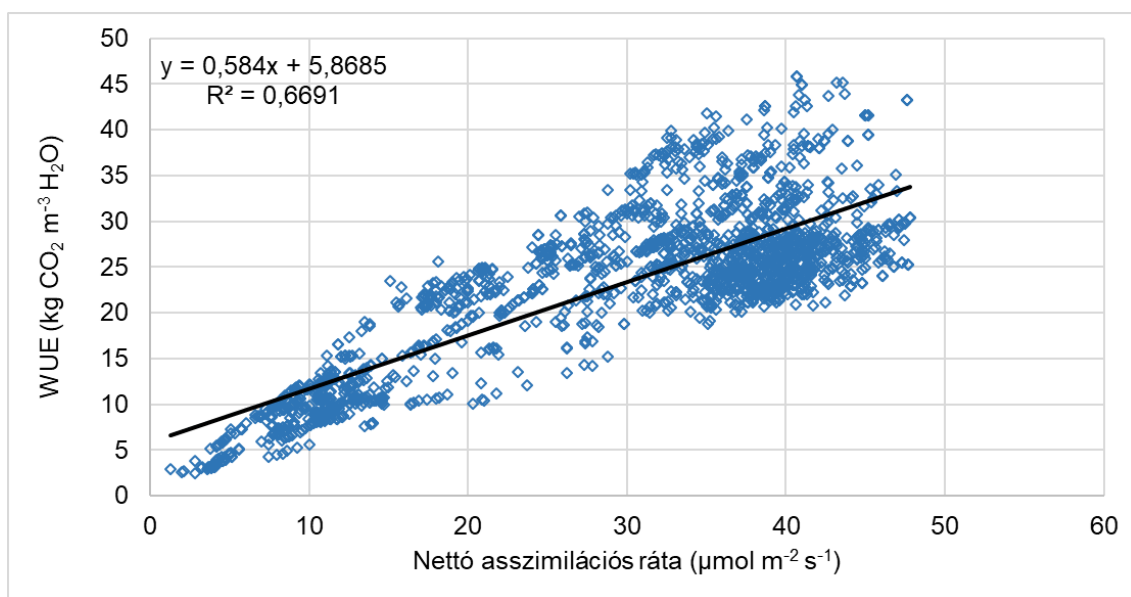
a nagyszámú adatnak köszönhetően, megbízható. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a számolt függvényértékek és az adatok közötti eltérés a $35 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ határ fölötti WUE tartományban megnő.



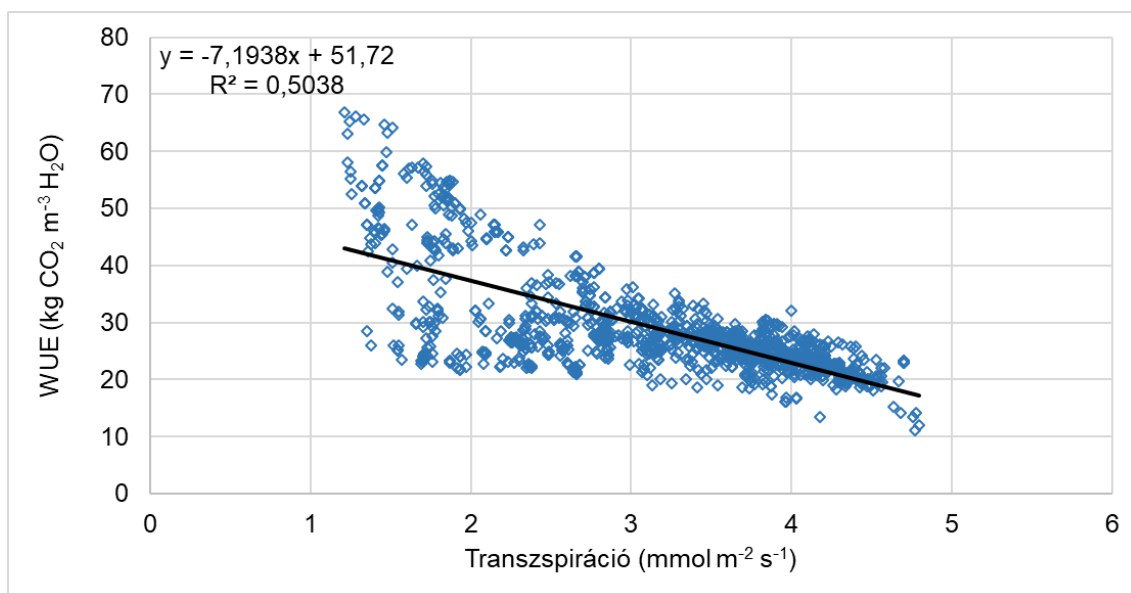
39. ábra A transzspiráció a nettó asszimilációs ráta függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210



40. ábra Összefüggés a levegő és levél hőmérséklet-különbsége és a transzspiráció között napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210



41. ábra A WUE a nettó asszimilációs ráta függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210



42. ábra A WUE a transzspiráció függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210

4.3. Egyes agrotechnikai tényezők hatásának vizsgálata a napraforgó és a kukorica asszimilációjára és vízfogyasztására

4.3.1. A tápanyagellátás, asszimiláció és a vízfogyasztás közötti összefüggések elemzése kukoricában (2000-2004)

A vizsgált évek jelentősen eltérőek a kukorica vízellátottsága szempontjából. Kedvező évjáratok (2004) éppúgy előfordultak, mint száraz évek (2000, 2002, 2003), a kukorica számára átlagosnak tekinthető a 2001. évi tenyészidőszak.

Az alábbiakban öt kukorica genotípus (DK373, DK477, Horus FAO450, KWS313 FAO320, KWS353 FAO360) átlagában értékelem a tápanyagellátás hatását a kukorica asszimilációs paramétereire és a vízfelhasználás hatékonyságára. Az adatok statisztikai módszerekkel történő kiértékelése során $p=5\%$ -os szinten szignifikáns különbséget találtunk a nettó fotoszintézis, a sztóma-konduktancia és a transzspiráció értékeknél a tápanyagszintek között minden évben. Az intercelluláris CO_2 szint nem tért el szignifikánsan minden összehasonlításban a tápanyagszintek között, de az $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ parcellákon mért értékek bármelyik kezelésnél szignifikánsan kisebbek voltak. A változó tápanyagellátás tehát eltérő fotoszintézis intenzitást eredményezett a kukoricánál a vizsgált években. Bassi et al. (2018) hasonló eredményt közöltek, de megállapították, hogy a nitrogén hatása a fotoszintézisre függ a genotípustól is.

A 43. ábra a tápanyagellátás hatását mutatja a kukorica nettó asszimilációjára 2000-ben. A kontroll parcellák fotoszintézis intenzitása az egész tenyészidőben a többi kezelés alatt maradt. A tenyészidőszak elején az emelkedő tápanyagszintek növekvő széndioxid megkötést eredményeztek, legjobb volt az $\text{N}_{240}+\text{PK}$ ($40,48 \pm 8,25 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) kezelés, bár nem különbözött szignifikánsan az $\text{N}_{120}+\text{PK}$ kezeléstől ($40,28 \pm 4,11 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

A későbbi méréseknél az $\text{N}_{240}+\text{PK}$ műtrágyadózist kapott parcellák CO_2 asszimilációja volt a legnagyobb, a kisebb műtrágyaadagok (kontroll, $\text{N}_{60}+\text{PK}$, $\text{N}_{120}+\text{PK}$) csökkenő fotoszintézist eredményeztek (Csajbók et al., 2005).

A tenyészidőszak előrehaladtával az asszimilációs ráta egyöntetű csökkenése volt megfigyelhető, az illesztett lineáris regressziós függvényekben egyenesek meredeksége nem különbözött lényegesen egymástól (kontroll: $-0,3358$; $\text{N}_{60}+\text{PK}$: $-0,366$; $\text{N}_{120}+\text{PK}$: $-0,393$; $\text{N}_{240}+\text{PK}$: $-0,3647$). Az R^2 értéke $0,9397$ - $0,9999$ között változott, ami kiváló illeszkedést mutat az adatpontokra (15. táblázat). A csökkenés valószínű oka a tenyészidő második felében fellépő vízhiány, mely a sztómák záródását okozza, illetve a növény természetes öregedése. A sztómák átjárhatósága és a transzspiráció értékei alátámasztják a feltételezést. A vízstressz hatása a sztóma konduktanciára közel lineárisan negatív.

A nettó asszimilációs ráta hasonló lefutását tapasztalhattuk 2001-ben, 2002-ben, és 2004-ben is, bár az évjárat különbségek kissé módosították az eredményeket (43. ábra). A 2003-as, súlyosan aszályos tenyészidőben (TET:PET arány: $30,3\%$; ARI: $2,12$; PaDI: $8,1 \text{ } ^\circ\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$) a nettó asszimilációs ráta nagymértékben ingadozott, ahogyan azt a 49. ábra mutatja, követve az aktuális vízellátottsági helyzetet (89. ábra), függetlenül a kijuttatott tápanyag mennyiségétől. Az is jól látható az ábrán, hogy a műtrágyázatlan kontroll parcellákban volt a legnagyobb a fotoszintézis intenzitása, bár a különbség nem volt minden mérési időpontban szignifikáns.

A kísérletben a vízfelhasználás hatékonyságának vizsgálatát is elvégeztük 2000-2004. között (44. ábra). A 44. ábra jól mutatja, hogy a tenyésztő második felében a különböző tápanyagellátást kapott növények WUE értéke szétválak, és a $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ tápanyagszinten volt a legjobb a vízfelhasználás hatékonysága, legrosszabb pedig a $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ kezelésben volt. A 2001-es évben a WUE értéke alig változott a tenyésztőszak során, és a tápanyagellátás nem befolyásolta azt. Egyedül az augusztus 12-én végzett méréskor látható, hogy szétváltak a különböző tápanyagszintek a vízfelhasználás hatékonysága tekintetében (46. ábra), és a $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ tápanyagszint volt a legjobb. Az is megfigyelhető, hogy minden mérési időpontban a kontroll parcellák növényeinek volt legrosszabb a vízfelhasználás hatékonysága.

Hasonló eredményre jutott Abbas et al. (2005), Guo et al. (2021), illetve Urban et al. (2021) is, a különböző nitrogénadagok hatását vizsgálva a kukorica fotoszintézisére és vízfelhasználás hatékonyságára.

Több kutató vizsgálta a nitrogén-ellátás hatását a kukorica vízfelhasználására és annak hatékonyságára, és a mi eredményeinkkel egyező megállapításokat tettek. Kutatásaik alapján azt a következtetést vonták le, hogy a kukorica vízfelhasználás hatékonysága (WUE) javult a növekvő nitrogén adagok hatására egészen a $86\text{--}149 \text{ kg ha}^{-1}$ dóziséig, de a hatás eltérő volt a különböző genotípusokban (Teixeira et al., 2014; Qiang et al., 2019; Zhang et al., 2021; Tadesse et al., 2024; Wang et al., 2024).

Az aszályosnak tekinthető 2002-es évben (TET:PET arány: 43,6%; ARI: 2,11; PaDI: $6,6 \text{ }^{\circ}\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$) jelentősen csökkent a WUE értéke tenyésztőszak során, a június 26-i méréshez képest. Július 20–augusztus 29 között igen alacsony volt a vízhasznosítás, a tápanyagszintek átlagában $9,60$ és $12,11 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ közötti WUE értékekkel. A súlyosan aszályos 2003-as tenyésztőben a kukorica vízfelhasználásának hatékonysága a nettó asszimilációs rátát követve változott, de a július 29-én végzett méréskor a tápanyagszintek szétváltak egymástól. Szignifikánsan legnagyobb WUE értéke ($16,60 \pm 1,72 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$) a $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ kezelésnek volt. Az első három mérési időpontban a kontroll parcellákban tapasztaltuk a legrosszabb vízhasznosítást, $8,78 \pm 1,22$; $6,69 \pm 1,01$; és $7,62 \pm 1,53 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ értékekkel, a legjobbat pedig a 120 kg ha^{-1} kezelésben, $9,89 \pm 1,02$; $8,02 \pm 0,99$; és $16,60 \pm 1,72 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ értékekkel. A harmadik méréskor, augusztus 29-én, a $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ kezelésben rögzítettük a legjobb vízhasznosítást, a legrosszabbat pedig a $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ tápanyagszinten.

2004 aszálymentes év volt a kukorica számára Látóképen. A WUE értéke alig változott a tenyésztőszak során, az utolsó méréskor kismértékű csökkenést figyelhettünk meg. Minden méréskor a $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N+PK}$ tápanyagszint vízfelhasználási hatékonysága volt a legjobb. A

240 kg ha⁻¹ N+PK tápanyagellátást kapott növények WUE értékei voltak a legkisebbek a tenyészidőszak minden mérési időpontjában. A különbség a 60 és 120 kg ha⁻¹ N+PK kezelésekhez képest $p=5\%$ szinten szignifikáns volt.

Az egyes években lineáris regresszió analízist is végeztünk a kukorica nettó asszimilációs rátájának lefutásának elemzése céljából, a genotípusok átlagában (15. táblázat).

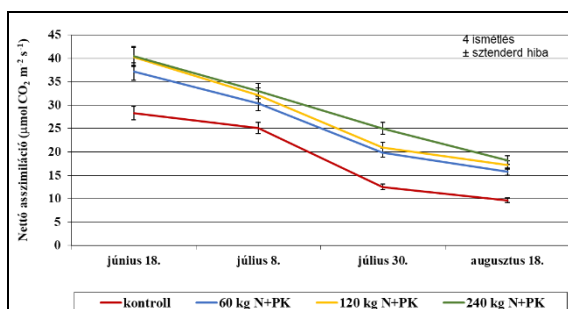
15. táblázat A nettó asszimilációs ráta értékeire illesztett lineáris regressziós függvények értékei 2000-2004 között (Debrecen)

Tápanyagellátás	Egyenes meredeksége (b ₁)	R ²
2000		
Kontroll	-0,3358	0,9397
N ₆₀ +PK	-0,3660	0,9822
N ₁₂₀ +PK	-0,3930	0,9771
N ₂₄₀ +PK	-0,3647	0,9999
2001		
Kontroll	-0,1498	0,9162
N ₆₀ +PK	-0,0373	0,9570
N ₁₂₀ +PK	-0,0753	0,7908
N ₂₄₀ +PK	-0,1912	0,8347
2002		
Kontroll	-0,3141	0,9651
N ₆₀ +PK	-0,3517	0,9613
N ₁₂₀ +PK	-0,3396	0,9447
N ₂₄₀ +PK	-0,3460	0,9684
2003		
Kontroll	-0,0459	0,0445
N ₆₀ +PK	-0,1039	0,1398
N ₁₂₀ +PK	-0,1347	0,2359
N ₂₄₀ +PK	-0,2359	0,2421
2004		
Kontroll	-0,1688	0,7014
N ₆₀ +PK	-0,1511	0,9386
N ₁₂₀ +PK	-0,1282	0,8507
N ₂₄₀ +PK	-0,1447	0,5562

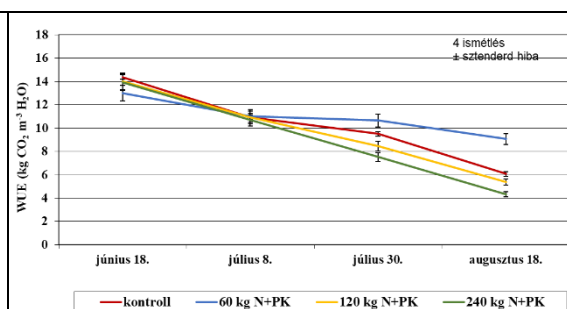
A regressziós egyenesek meredeksége eltérően alakult az egyes évjáratokban a vízellátottsági helyzettől függően. Pearson-féle korreláció analízist végeztem az összefüggés vizsgálatára a meredekség értékek a TET:PET arány, az ARI és a PaDI értékeinek felhasználásával. Az eredmény alapján egyértelműen kijelenthető, hogy erős összefüggés van az évjárat vízellátottságát jelző, általam kiszámolt mutatók (indexek) és a kukorica nettó asszimilációjának csökkenési üteme között a tenyészidőben. Az összefüggés iránya az index számítási módjától függően változik. A korrelációs együttható értéke az ariditási index esetében

(-0,926; $p=5\%$), a TET:PET arányánál ($r=0,897$; $p=5\%$), a módosított Pálfa-féle aszályindexnél -0,791; nem szignifikáns).

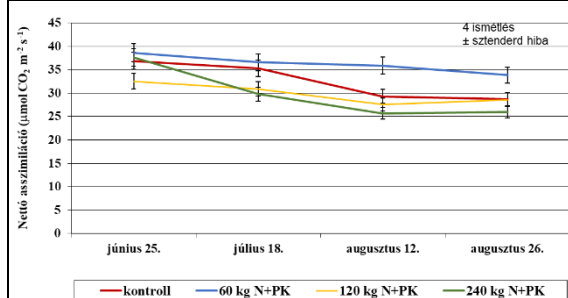
A kukorica hibridek tápanyagigénye és tápanyagreakciója eltérő. A különböző tápanyagszintek szignifikáns különbségeket eredményeztek a hibridek között a nettó fotoszintézis, a sztóma-konduktancia és a transzspiráció tekintetében, minden évben.



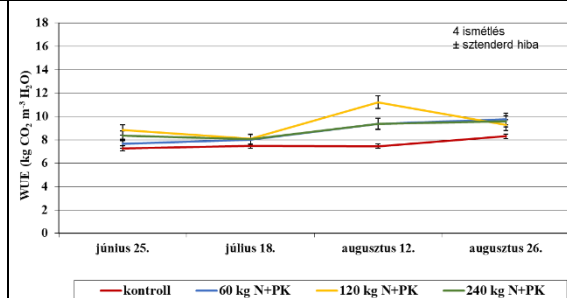
43. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2000)



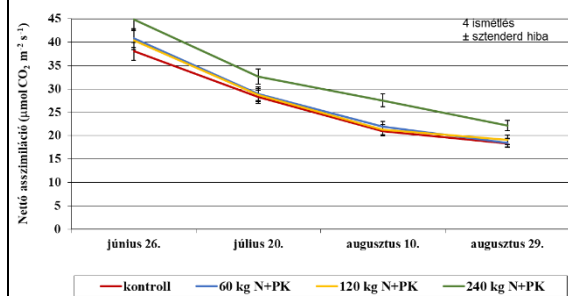
44. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2000)



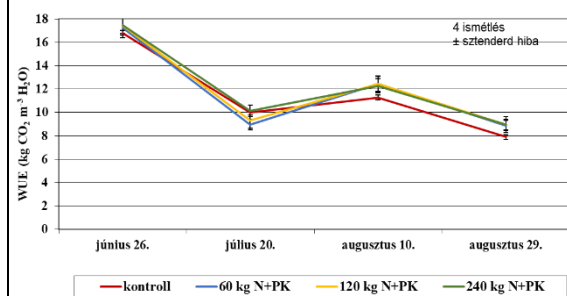
45. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2001)



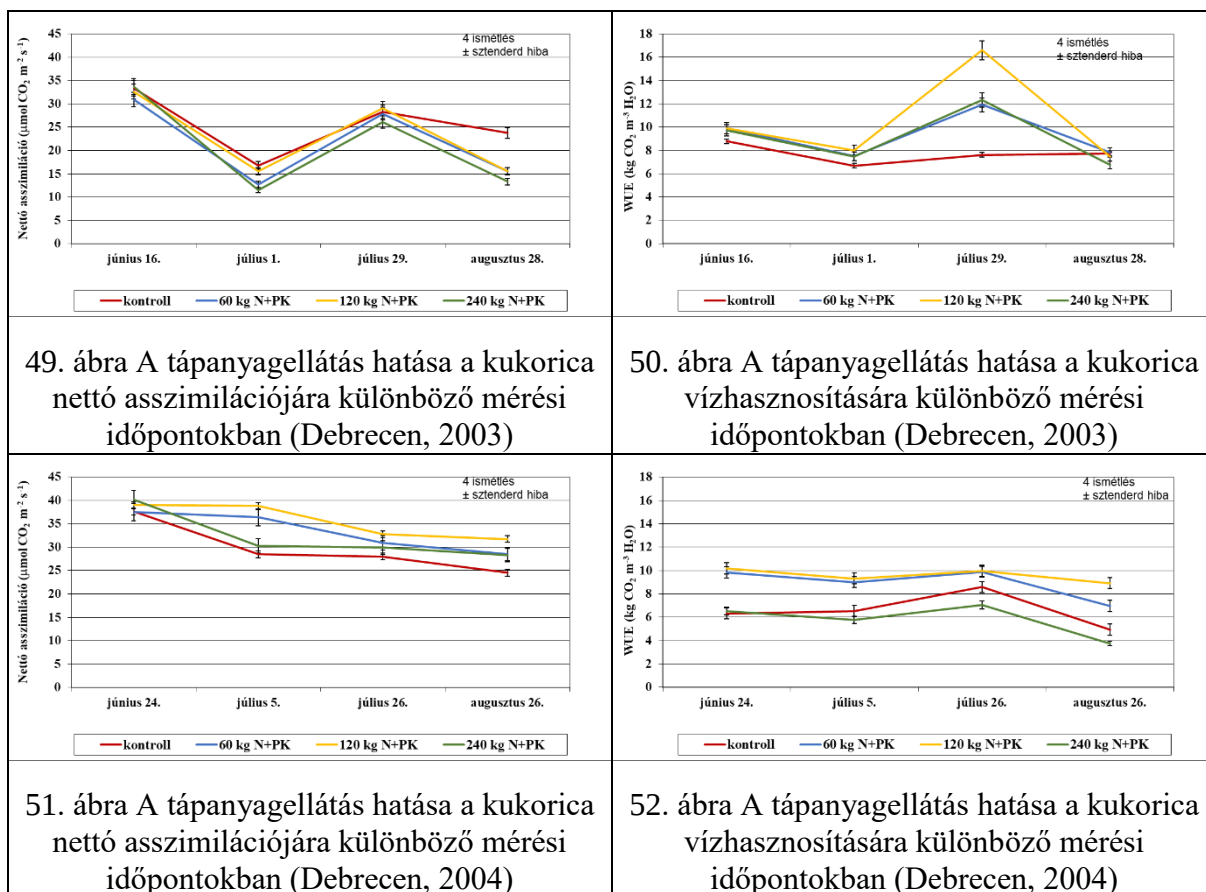
46. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2001)



47. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2002)



48. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2002)



A korrelációs számítás szignifikáns és pozitív korrelációt igazolt a levegő és levél hőmérséklete közötti különbség és a nettó fotoszintézis között (16. táblázat). A korrelációs koefficiens értéke 0,782 és -0,835 között változott. Minél melegebb a levél a levegőhöz képest, annál nagyobb a transzspiráció és a fotoszintézis intenzitása.

A nagyszámú adatnak köszönhetően (N=972-1920) az összefüggés nagyon megbízható. A transzspiráció és a hőmérsékletkülönbség közötti igen szoros korreláció ($r=0,742 - 0,957$) a transzspiráció hűtő hatásának következménye.

Az intercelluláris CO_2 szint esetében az összefüggés nem egyértelmű, mivel értékét több tényező jelentősen befolyásolja (a sztomák nyitottsági állapota, fotoszintézis intenzitása, a légzés által termelt CO_2 mennyisége, illetve a membránok CO_2 áteresztő képessége).

Összefoglalóan öt év mérési eredményei alapján megállapítható, hogy az eltérő tápanyagellátás szignifikáns különbségeket okozott a kukorica hibridek CO_2 asszimilációjában. Jó vízellátás mellett a növekvő műtrágyaadagok jelentősen növelték a fotoszintézis intenzitását a mérési időszakban. A vízstressz, a sztomák záródásán keresztül jelentősen csökkenti az nettó asszimilációs rátát.

16. táblázat A levegő és levél hőmérséklete közötti különbség és a kukorica asszimilációs paraméterei közötti Pearson korrelációk értékei (2000-2004)

	Évek	Tlevegő – Tlevél (°C)				
		2000	2001	2002	2003	2004
Nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Korrelációs koefficiens	0,833**	0,819**	0,835**	0,782**	0,794**
	N	996	1344	1440	1920	972
Sztóma konduktancia ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Korrelációs koefficiens	0,813**	0,817**	0,855**	0,831**	0,342**
	N	996	1344	1440	1920	972
Intercelluláris CO₂ szint ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Korrelációs koefficiens	0,472**	0,501**	0,191*	0,754**	0,702**
	N	996	1344	1440	1920	972
Transzspiráció ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Korrelációs koefficiens	0,936**	0,957**	0,853**	0,880**	0,742**
	N	996	1344	1440	1920	972

**A korreláció $p=1\%$ szinten szignifikáns, *A korreláció $p=5\%$ szinten szignifikáns.

4.3.2. Gombaölő szerek hatása a kukorica asszimilációjára és vízhasznosítására.

Csapadékos évjáratban, 2010-ben vizsgáltuk a pikoxistrobin (200 g l^{-1}) gombaölőszer hatóanyag hatását a kukorica asszimilációs folyamataira és vízhasznosítására. A dózis 1 l ha^{-1} volt, 400 l ha^{-1} vízmennyiséggel kijuttatva.

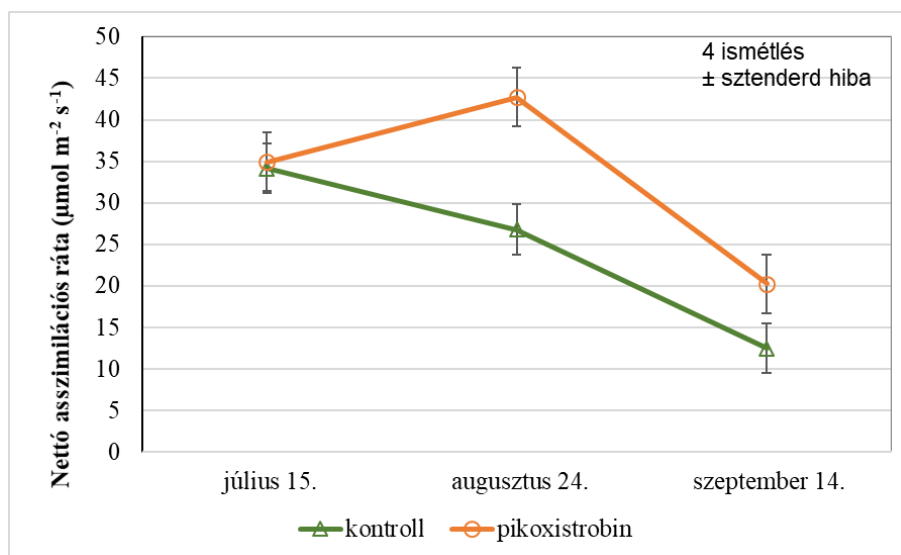
A pikoxistrobin egy strobilurin típusú gombaölő szer, amely lombkezeléssel alkalmazható számos szántóföldi kultúrában, többek között gabonafélék, csemegekukorica, repce, szója és egyéb hüvelyesek esetében. A többi strobilurin-analóghoz hasonlóan a pikoxistrobin gátolja a gombák légzését, és mind preventív, mind kuratív tulajdonságokkal rendelkezik.

A TET:PET arány $87,7\%$, az ariditási index $0,72$, a módosított PaDI $2,3 \text{ }^{\circ}\text{C } 100 \text{ mm}^{-1}$ volt 2010-ben, mindhárom aszálymentes évet jelöl. A gombaölőszeres kezelésre július 15-én került sor, az aznapi méréskor nem tapasztaltunk eltérést a kezeletlen és kezelt parcellák között a nettó asszimilációs ráta, transzspiráció, sztóma-konduktancia, vízhasznosítás tekintetében. Az augusztus 24-én (DAT40) és szeptember 14-én (DAT61) elvégzett mérések, a genotípusok átlagában már $p=5\%$ szinten szignifikáns különbséget jeleztek a kukorica fotoszintézis intenzitásában (53. ábra), transzspirációjában (54. ábra), és a vízfelhasználás hatékonyságában (55. ábra). A pikoxistrobin kezelés hatására megnőtt a nettó asszimilációs ráta, augusztus 24-én (DAT40) a kezelt parcellákban, a genotípusok átlagában $59,3\%$ -kal nagyobb volt, mint a kontrollban, ($26,80 \pm 0,99$ és $42,71 \pm 4,27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Szeptember 14-re (DAT61) a növények természetes öregedési folyamatai miatt csökkent a fotoszintézis intenzitása minden parcellában, de a pikoxistrobinnal kezelt növények asszimilációja $62,2\%$ -kal magasabb szinten maradt a kontrollhoz képest. A különbség szignifikáns volt.

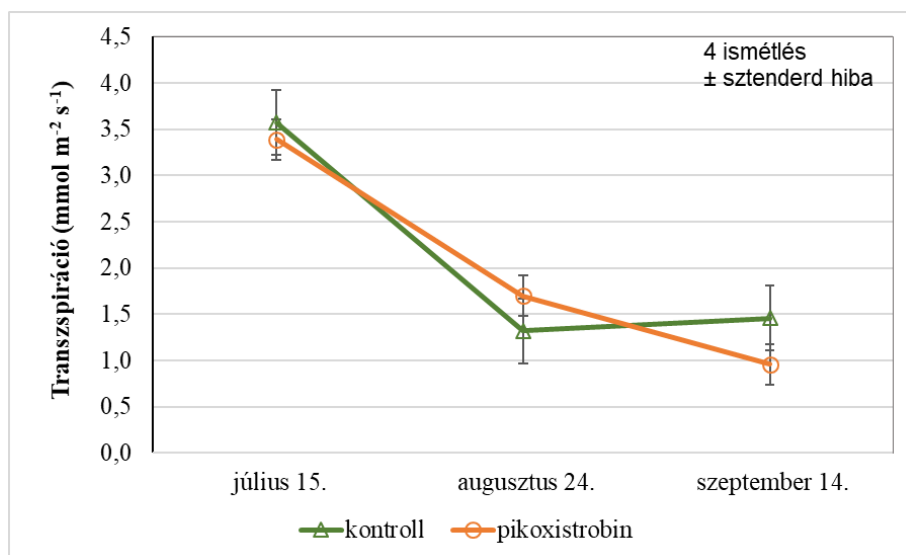
A transzspiráció tekintetében nem találtunk szignifikáns eltérést a kontroll és kezelt parcellák között az első méréskor (07.15.), viszont a második (08.24.) és harmadik (09.14.) mérési időpontban statisztikailag igazolt különbséget mértünk $p=5\%$ szinten, bár a két mérés között a különbség megfordult. Az augusztus 24-én (DAT40) végzett méréskor a gombaölőszerezelt parcellák transzspirációja volt nagyobb, 28,8%-kal, míg a harmadik méréskor (DAT61) a kontroll parcellákban kaptunk 52,1%-kal nagyobb értéket. A genotípusok eltérően reagáltak a pikoxistrobin kezelésre. Jelentős, statisztikailag is igazolt különbségeket tapasztaltunk a vízhasznosításban, a genotípusok között (56. ábra).

A pikoxistrobin hatóanyag vízhasznosításra gyakorolt hatásának vizsgálatakor megállapíthattuk, hogy a genotípusok átlagában, a második (DAT40) és harmadik (DAT61) méréskor a kezelt növények esetében szignifikánsan jobb volt a vízfelhasználás hatékonysága, mint a kontroll parcellákban. A különbség 23,7% és 146,4% volt. Az eltérés igen jelentősnek tekinthető, különösen, ha figyelembe vesszük a csapadékos időjárást.

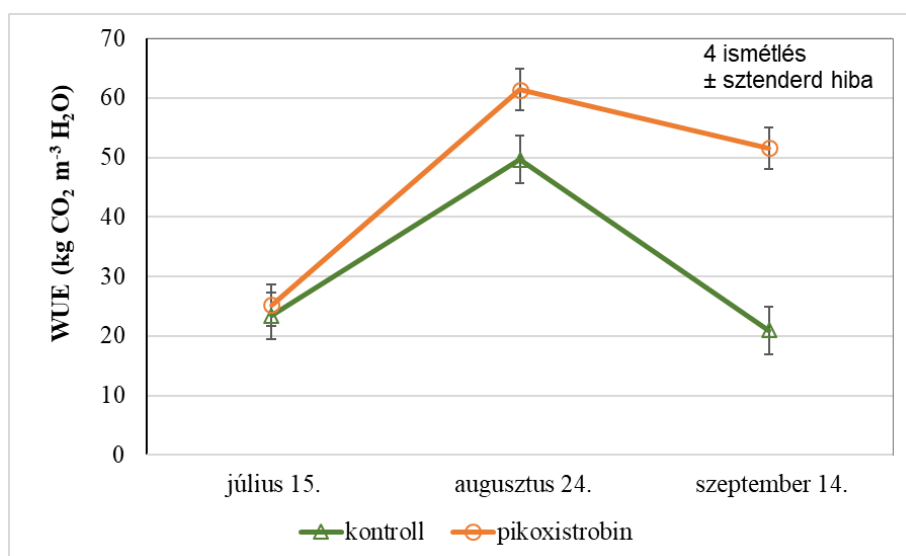
A pikoxistrobin kezelés a kukorica esetében nemcsak a fotoszintézis paraméterekre, a transzspirációra és vízhasznosításra volt hatással, hanem a 14% nedvességtartalomra átszámolt termésben is megmutatkozott, a genotípusok átlagában a kontroll parcellák termése $10,73 \pm 0,98$ t ha⁻¹, míg a kezelt parcelláké $12,01 \pm 0,86$ t ha⁻¹ volt. A genotípusok termését külön-külön elemezve azt láthattuk, hogy a gombaölőszerezelt kezelés hatására nagyobb volt a termés mindegyik genotípus esetében (57. ábra).



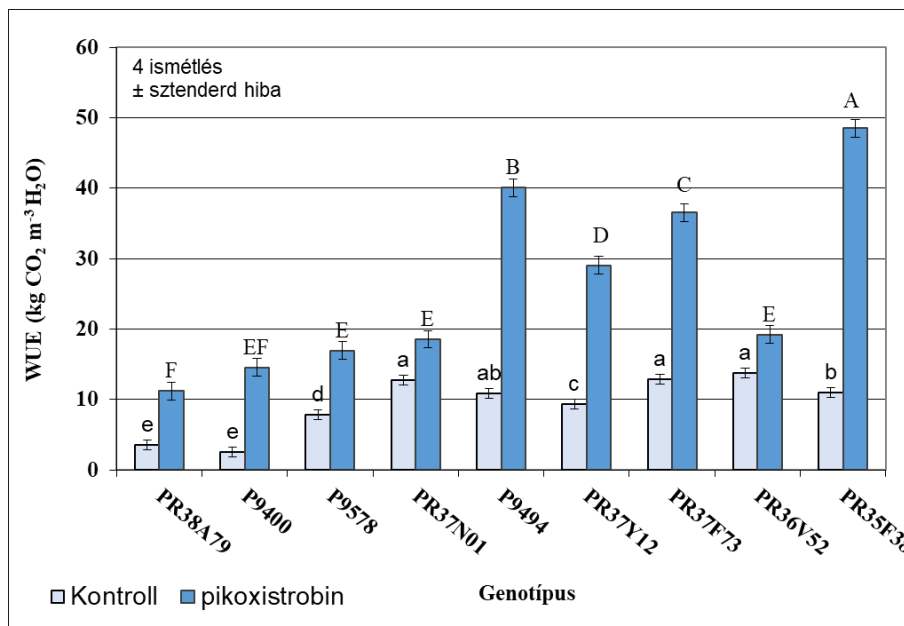
53. ábra A kukorica nettó asszimilációs rátájának alakulása gombaölőszerezelt kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010)



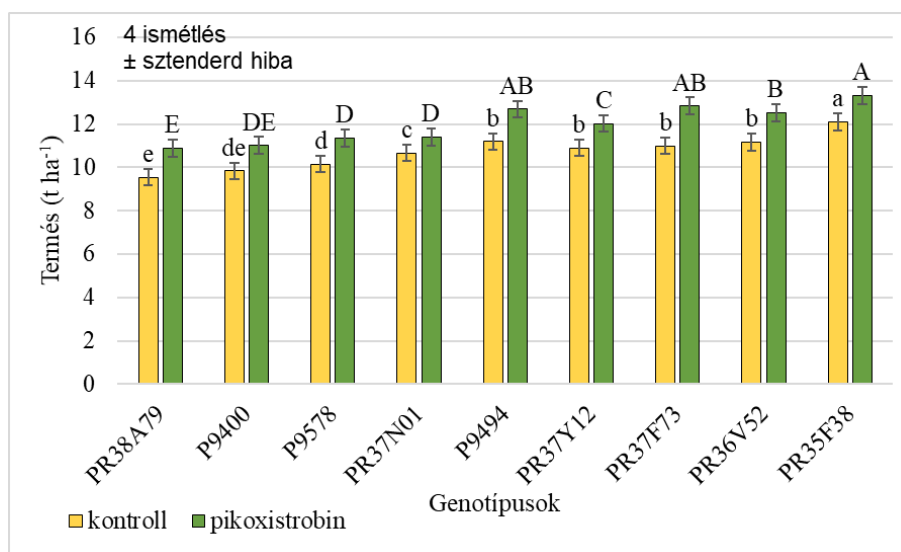
54. ábra A kukorica transzspirációjának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010)



55. ábra A kukorica vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010)



56. ábra Elterő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010. augusztus 24.)



57. ábra Kukorica genotípusok termése gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010)

Egészen más vízellátottság jellemezte 2010-hez képest a 2013-as évet a kukorica szempontjából. Aszályosnak minősíthető a 2013-as tenyészidőszak, a TET:PET arány 54,8%, az ariditási index 2,33, a módosított Pálfai-féle aszályindex 6,1 °C 100 mm⁻¹ volt. Különösen a tenyészidőszak második fele volt súlyosan vízhiányos a kukorica számára, a június 15-augusztus 10. közötti 56 napos időszakban mindössze 15,6 mm csapadék hullott.

Megvizsgáltuk, hogy a pikoxistrobin (200 g l^{-1}) + ciprokonazol (80 g l^{-1}) gombaölőszer hatóanyagok együttes alkalmazásának van-e hatása a fotoszintézis rendszer működésére és a vízfogyasztásra, annak hatékonyságára kukoricában. A kezelés 2013. július 8-án történt, a dózis 1 l ha^{-1} volt, 400 l ha^{-1} vízmennyiséggel kijuttatva.

A kukorica genotípusok között szignifikáns különbségek alakultak ki a nettó asszimilációs ráta nagyságában az augusztus 9-én (DAT32) végzett mérések alapján, mind a kontroll, mind a kezelt parcellákban (58. ábra).

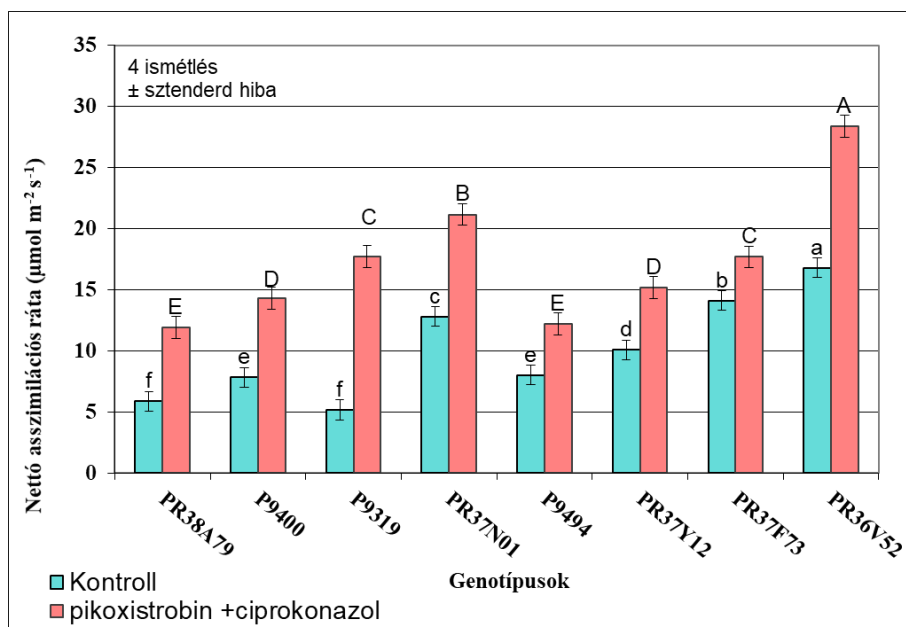
A gombaölőszeres kezelés hatására jelentősen nagyobb fotoszintézis intenzitást mértünk a kukorica levelein, mindegyik genotípus esetében, a kontrollhoz képest. A különbség a P9319 (243,6%) és a PR38A79 (103,6%) genotípusnál volt a legnagyobb. Legkevésbé a PR37F73 genotípus reagált a kezelésre, de az eltérés itt is 25,3%-os volt. A nettó asszimilációs ráta értékei viszonylag alacsonyak a kukoricában, különösen a kontroll parcellákban, aminek valószínű oka az ebben az időpontban már erőteljesen érezhető vízhiány lehetett.

A pikoxistrobin + ciprokonazol kezelés növelte a transzspiráció intenzitását is augusztus 9-re (DAT32) mindegyik genotípusban, a PR37Y12 kivételével, ahol nem változott (59. ábra). Érdekes volt megfigyelni, hogy a genotípusok közötti eltérések nagyon hasonlóan alakultak a nettó asszimilációs ráta esetében talált különbségekkel. A PR36V52 genotípus levelein mértük a legintenzívebb fotoszintézist, és a legnagyobb transzspirációt is, egyaránt a kontroll és kezelt parcellákban. A genotípusok között $p=5\%$ szinten szignifikáns különbséget találtunk, de a páronkénti összehasonlításban megállapítható volt, hogy nem volt igazolt eltérés a kezeletlen parcellákban a PR38A79, P9400, P9318 genotípusok, valamint a PR37Y12 és PR37F73 genotípusok között. A pikoxistrobin + ciprokonazol kezelést kapott parcellákban nem találtunk szignifikáns különbséget a PR38A79, P9400, P9494, PR37Y12 genotípusok, valamint a P9319 és PR37F73 genotípusok között.

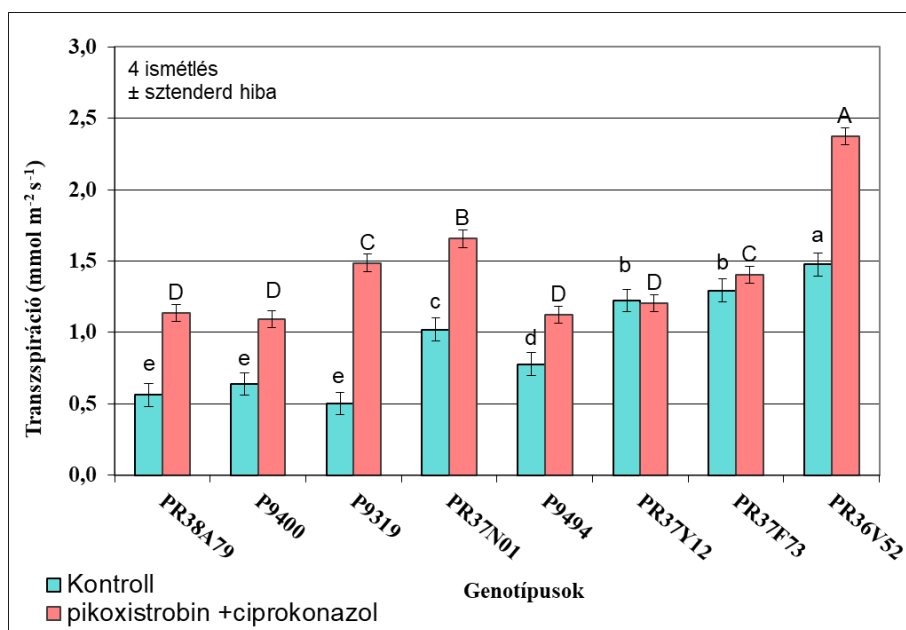
A genotípusok átlagában 11,59%-kal javította a vízfelhasználás hatékonyságát a gombaölőszeres kezelés a kukoricában (kontroll: $26,36 \pm 1,82$, kezelt: $29,42 \pm 1,63 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$). A genotípusokat külön-külön megvizsgálva megállapítható volt, hogy a pikoxistrobin + ciprokonazol kezelés mindegyiknél növelte a WUE értékét, bár a PR38A79, PR37N01 és P9494 genotípus esetében a különbség nem volt szignifikáns $p=5\%$ hiba valószínűségi szinten (60. ábra). A kezelésnek a PR37Y12 genotípusban volt legnagyobb hatása, 53,08%, legkisebb a PR38A79 esetében, 0,75%.

A két év eredményeit összehasonlítva megállapíthattuk, hogy a kezelésnek a transzspirációra gyakorolt hatása a genotípusok átlagában mérsékelt volt mindkét vizsgált évben. A vízhasznosítás tekintetében viszont a csapadékos 2010-es tenyészidőben a

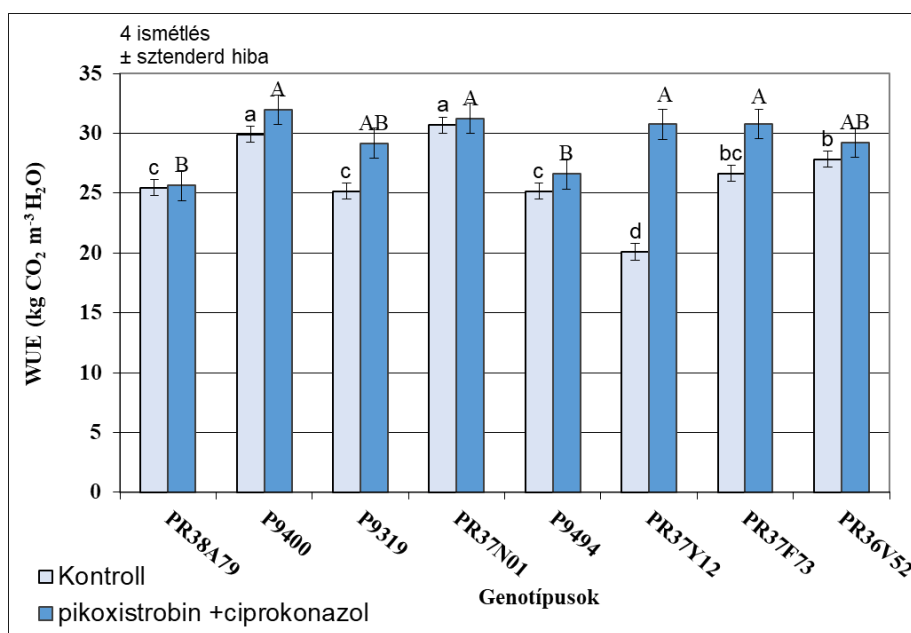
gombaölőszeres kezelés hatása sokkal kifejezettebb volt a kukoricában, mint az aszályos 2013-as évben. A kezelés hatása 23,72%, és 146,41% (DAT40 és DAT61) volt 2010-ben, míg 2013-ban 11,59% és 18,67% (DAT32 és DAT64). A gombaölőszeres kezelés a vízhasznosítás javulását elsősorban a nettó asszimilációs ráta növelésén keresztül érte el mindkét évben, kevésbé a transzspiráció csökkentésével.



58. ábra Elterő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben (Látólép, 2013. augusztus 9.)



59. ábra Elterő kukorica genotípusok transzspirációjának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben (Látólép, 2013. augusztus 9.)



60. ábra Elterő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben mellett (Látólép, 2013. augusztus 9.)

4.3.3. Gyomirtószerek által okozott stressz hatásának csökkentése napraforgóban.

4.3.3.1. Klímaszoba tenyészedényes kísérlet 2023. 02-03, Nyíregyháza

A klímaszobában beállított, hat ismételtsben kivitelezett, tenyészedényes kísérletben azt teszteltük, hogy az adott hatóanyagra toleráns napraforgó genotípusban alkalmazva a gyomirtószer okoz-e stresszt a növényekben, illetve a stressz negatív hatásai enyhíthetők-e biostimuláns alkalmazásával. Az első mérés (03.08.), a kezelések előtt történt, a fotoszintézis paraméterekben nem lehetett lényeges különbséget kimutatni a kezelések között. Az értékek a növények normál működését mutatták.

A második mérés (03.17.; DAT4), 4 nappal az imazamox kezelést követően a napraforgó fotoszintézis intenzitása szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest. A többi fotoszintézis paraméter esetében is (intercelluláris CO₂ szint, elektrontranszport ráta, a PSII fotokémiai központ hatásfoka) szignifikáns eltérések voltak az imazamox kezelést követően a kontrollhoz képest. A transzspiráció növekedett az imazamox hatására, de a növények nem tudták hatékonyan hűteni a leveleket, amit a levegő és levél hőmérséklet különbsége mutatott. Az eredmények alapján egyértelműen azonosítható az imazamox kezelés negatív hatása a napraforgó élettani folyamataira négy nappal a kezelés után.

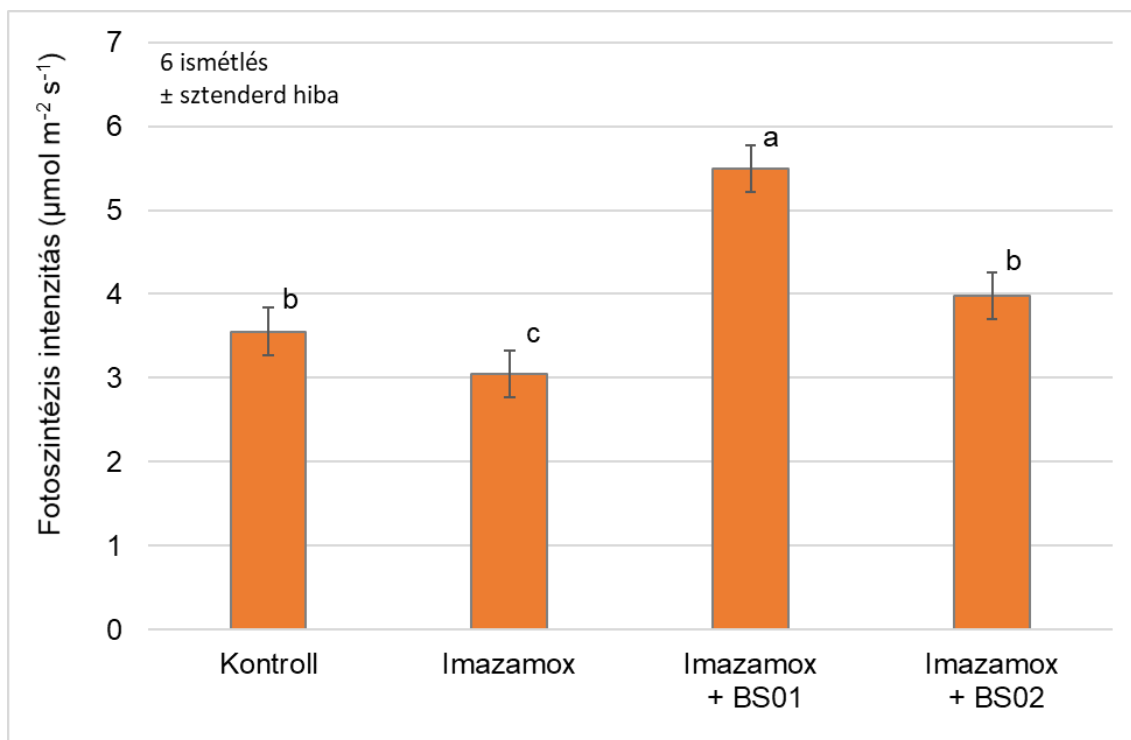
A harmadik méréskor (03.22.; DAT9), statisztikailag igazolható volt a BS01 kezelés kedvező hatása a napraforgó élettani folyamataira (61. ábra). A BS01 jelentősen mérsékelte az imazamox kezelés negatív hatását. A fotoszintézis intenzitása a BS01 kezelést kapott növényeknél szignifikánsan nagyobb volt $5,49 \pm 0,58 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a kontrollhoz ($3,55 \pm 0,29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) és a többi kezeléshez képest (imazamox: $3,05 \pm 0,66 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; imazamox+BS02: $3,98 \pm 0,58 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Kisebb volt az intercelluláris CO_2 szint is (62. ábra), nagyobb sztóma nyitottság mellett (63. ábra), ami az intenzívebb CO_2 asszimilációt mutatja. Szignifikánsan jobb volt a PSII rendszer hatékonysága, és 20,4%-kal nagyobb az elektrontranszport ráta (64. ábra). A transzspiráció 44,4%-kal élénkebb volt a kontrollhoz képest, és 35,6%-kal az imazamox kezeléshez képest. A levegő és levél hőmérséklet különbsége egyedül az imazamox+BS02 kezelésben volt pozitív érték, vagyis a levelek hőmérséklete csak itt volt alacsonyabb a környező levegőénél. A kontrolltól mindegyik kezelés szignifikánsan eltért $p=5\%$ szinten. A transzspiráció hűtő hatása a kontroll növényeken érvényesült legkevésbé (65. ábra), ahol a transzspiráció a legkisebb volt. A fényreakció görbéken jól látszik a BS01 kedvező hatása az imazamox okozta stressz enyhítésében (66. ábra).

A kezelések $p=5\%$ szinten szignifikáns eltérést okoztak a vízhasznosításban is, a nettó asszimilációs rátához, sztóma-konduktanciához, intercelluláris CO_2 szinthez, és az elektrontranszport rátához hasonlóan (67. ábra). Az imazamox kezelést kapott növényeknek volt a legkisebb WUE értéke. A BS01 kezelés hatására javult a vízhasznosítás az imazamox kezeléshez képest 37,31%-kal, a kontrollhoz képest pedig 10,56%-kal, a március 22-én végzett mérések szerint.

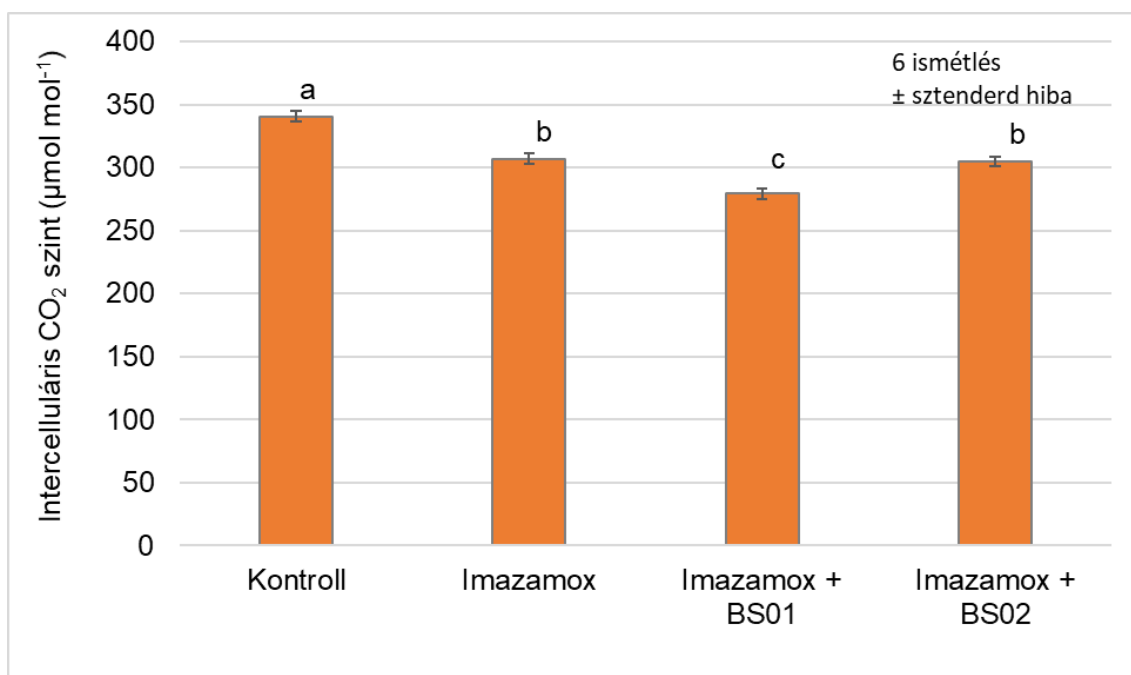
A kísérlet végén megmértük a levelek klorofill és karotinoid tartalmát is. A BS01 kezelés hatására 2,1%-kal nőtt a klorofill a, és 4,4%-kal a klorofill b tartalom a kontrollhoz képest, a csak imazamox kezelést kapott növényekhez képest 2,0, és 6,5%-kal nőtt. A karotinoid tartalom is nagyobb volt a levelekben a BS01 kezelés hatására, 9,3%-kal a kontrollhoz, 26,1%-kal az imazamox kezeléshez képest (68. ábra).

A magasság és NDVI értékek jól mutatják az imazamox negatív hatását, melyet a BS01 kezelés kompenzált. A növények száraz gyökértömege, hajtástömege és összes növénytömege egyaránt a kontroll kezelésben volt a legnagyobb, legkisebb a csak imazamox kezelést kapott növények esetében volt (17. táblázat), de a különbségek nem voltak szignifikánsak $p=5\%$ szinten. A BS02 kezelés is szignifikánsan enyhítette az imazamox kezelés negatív hatását, de az eredmény a BS01 hatása alatt maradt.

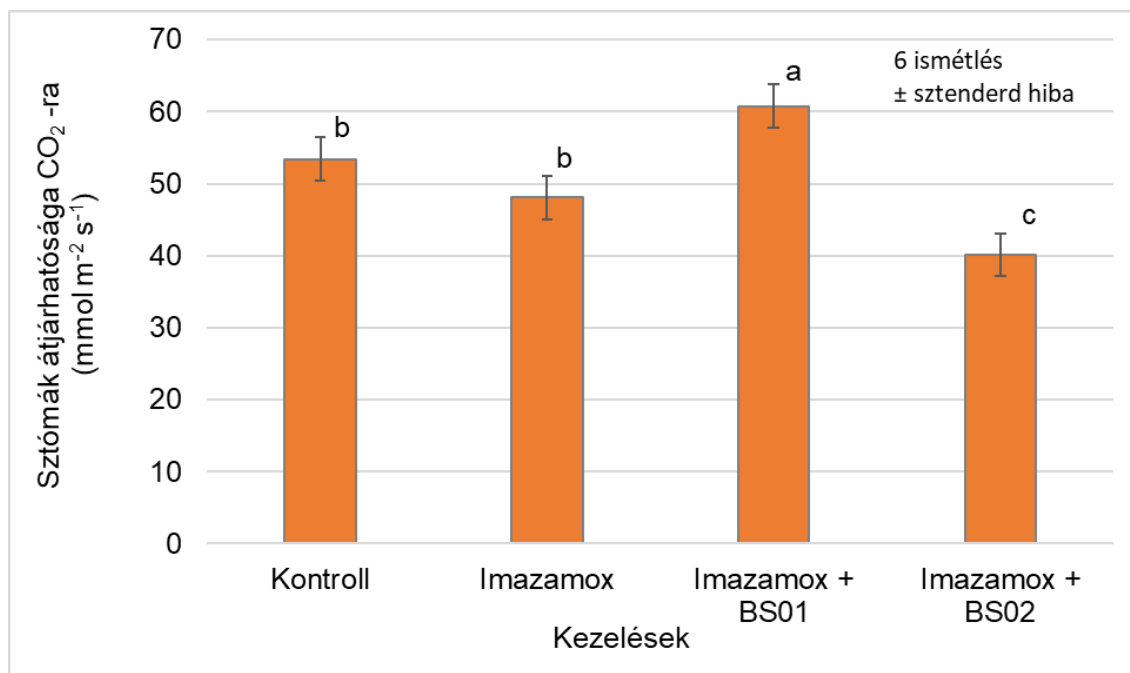
Az imazamox negatív hatása a napraforgó növények nettó fotoszintézis intenzitására részben a CO₂ felvételhez szükséges sztóma-konduktancia csökkenésének, az elektrontranszport folyamatoknak részben a klorofilltartalom csökkenésének volt köszönhető.



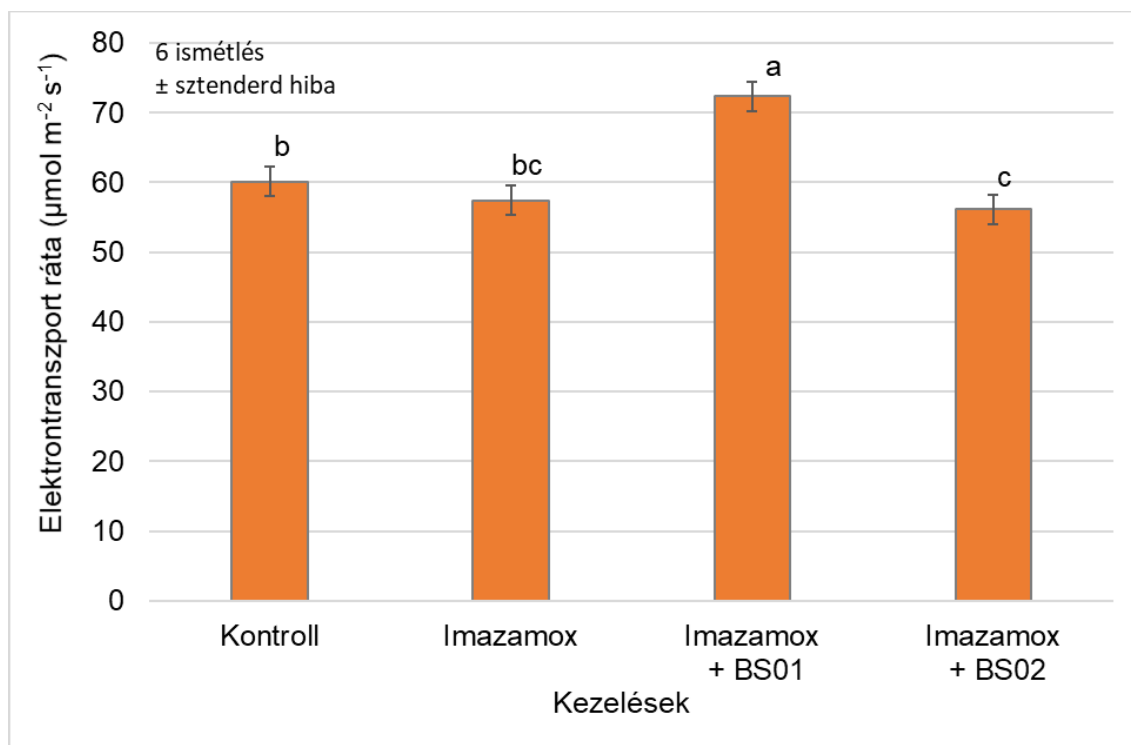
61. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



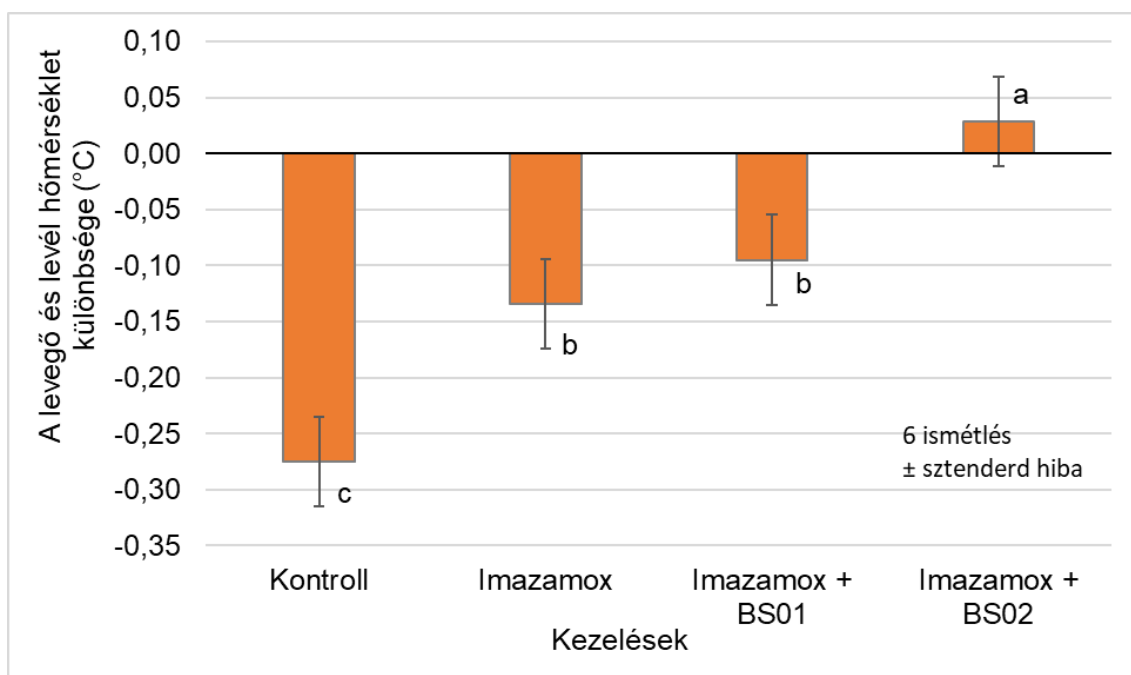
62. ábra A kezelések hatása az intercelluláris CO_2 szintre napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



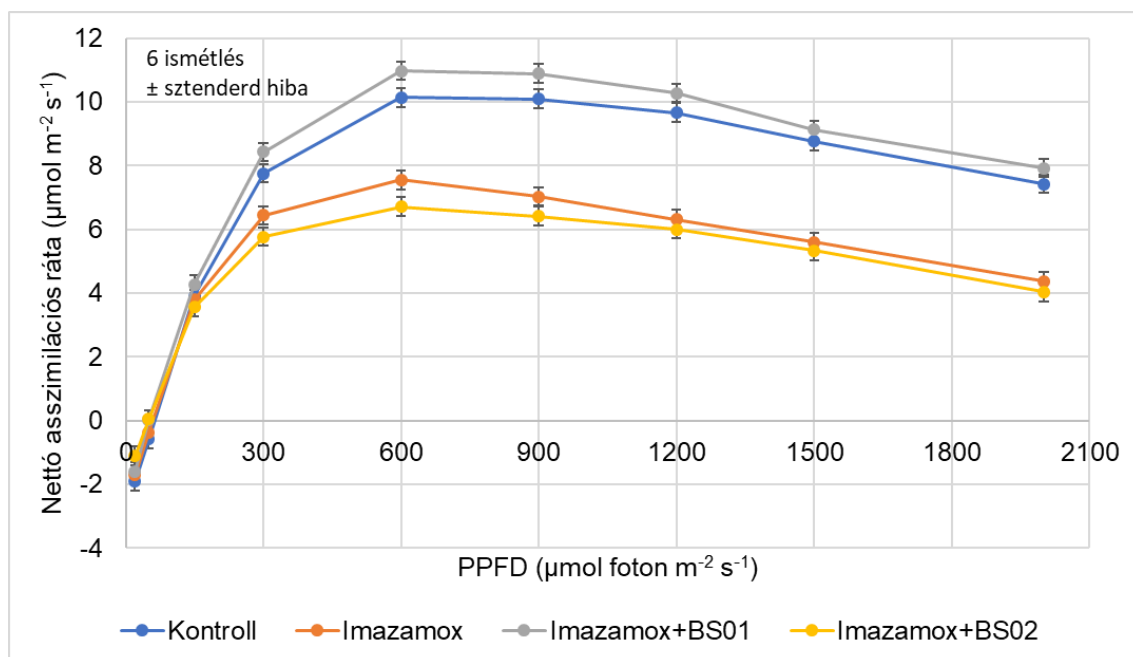
63. ábra A kezelések hatása a sztóma-konduktanciára napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



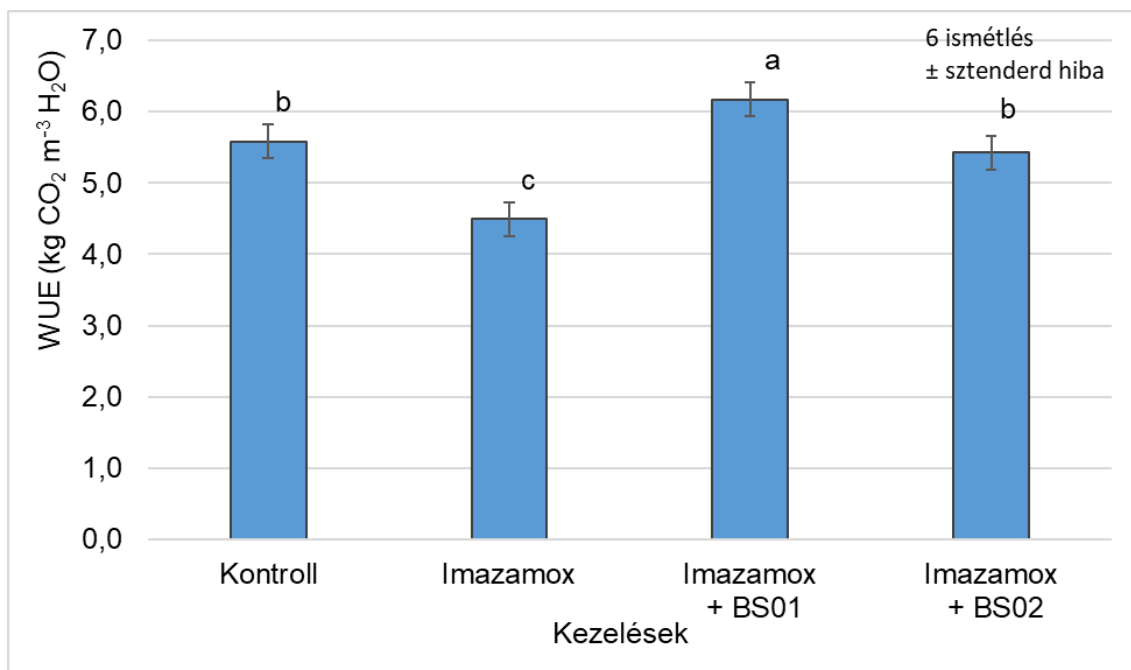
64. ábra A kezelések hatása az elektrontranszport rátára napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



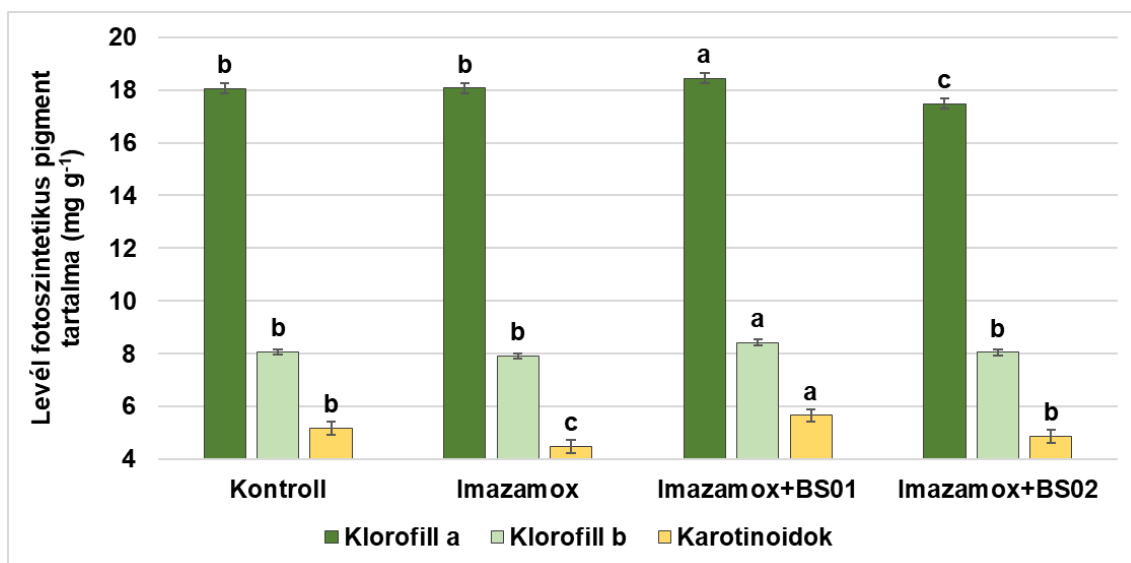
65. ábra A kezelések hatása a levegő és levél hőmérséklet különbségére napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



66. ábra A nettó asszimilációs ráta fénygörbéje napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.)



67. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására (WUE), imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.



68. ábra A kezelések hatása a napraforgó levelek klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmára, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023). Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.

17. táblázat A napraforgó száraz gyökér- és hajtástömege a különböző kezelésekben (2023. 03.22.)

	Kezelések			
	Kontroll	Imazamox	Imazamox +BS01	Imazamox +BS02
Gyökértömeg (g)	9,63±0,76	9,12±0,57	9,52±0,18	9,22±0,13
Hajtástömeg (g)	15,65±0,87	15,07±0,55	15,58±0,79	15,43±0,69
Teljes növénytömeg (g)	25,28±1,52	24,18±0,96	25,10±0,88	24,65±0,69

A kezelések hatása nem szignifikáns $p=5\%$ szinten.

A növényeken szemmel is megfigyelhető volt az imazamox hatására bekövetkező enyhe klorózis, illetve enyhe deformáció a fiatal leveleken, melyről már más kutatók is beszámoltak (Malefyt és Quakenbush, 1991; Sala et al., 2012; Balabanova et al., 2016). A látható klorózis megjelenését igazolta a klorofill b és karotinoid tartalom csökkenése az imazamoxszal kezelt napraforgó leveleiben.

A stresszhatások nagyon gyorsan változásokat indukálnak a növények anyagcseréjében. A fotoszintézis apparátusa igen érzékenyen reagál ezekre a hatásokra. A herbicidek is stresszfaktornak tekinthetők még a toleráns genotípusok számára is, és befolyásolják a fotoszintézis különböző folyamatait. Az eredményeink azt mutatják, hogy az imazamox herbicid hatóanyag rontotta a napraforgó fotoszintézis paramétereit: az asszimilációs rátát, a sztómák átjárhatóságát, az elektrontranszport rátát, a PSII fotokémiai központ működését. Befolyásolta a fotoszintetikus pigmentek szintézisét/lebontását is, megváltoztatva a két folyamat egyensúlyát.

4.3.3.2. Szabadföldi tenyészedényes kísérlet, 2023, Debrecen

Az imazamox kísérlet eredményei

A szabadban végzett tenyészedényes napraforgó kísérlet szintén hat ismétlésben volt beállítva. Háromféle napraforgó gyomirtószer hatóanyag kijuttatásával teszteltük a toleráns genotípus fiziológiai folyamataira kifejtett hatást, illetve azt vizsgáltuk, hogy a biostimuláns anyag kijuttatásának időzítése hatással van-e a növények stresszreakcióira. Így a biostimuláns anyag kipermetezése a gyomirtószer kezelés után 4, 7 és 10 nappal történt.

A június 16-án mért magassági értékek között nem volt szignifikáns eltérés a kezelések között. Július 5-ét követően az imazamox kezelés után 4 nappal kijuttatott a Biostimuláns 01

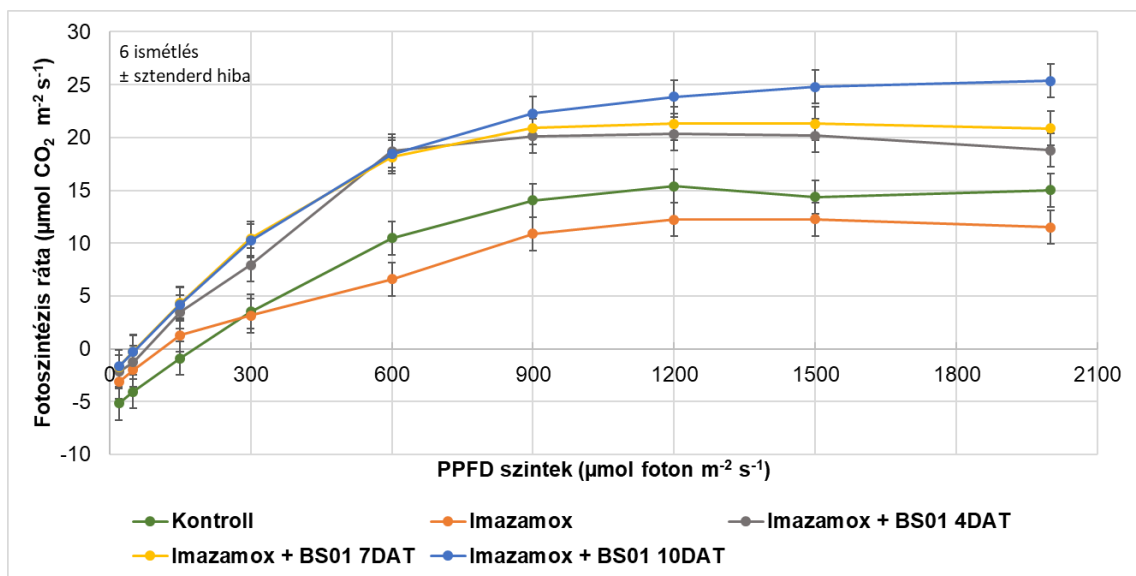
hatására statisztikailag igazoltan nagyobb magasságot mértünk mind a kontrollhoz, mind a többi kezeléshez képest.

Az NDVI értékek jól mutatják az imazamox negatív hatását, melyet a BS01 kezelés kompenzált. A Biostimuláns 01 hatása legjobban 4 nappal az imazamox után alkalmazva érvényesült, későbbi kijuttatással (7 nap, 10 nap) fokozatosan csökkent a hatása, de még a legkésőbbi kijuttatás esetén is nagyobb értékeket mértünk, mint a csak imazamoxszal kezeltben.

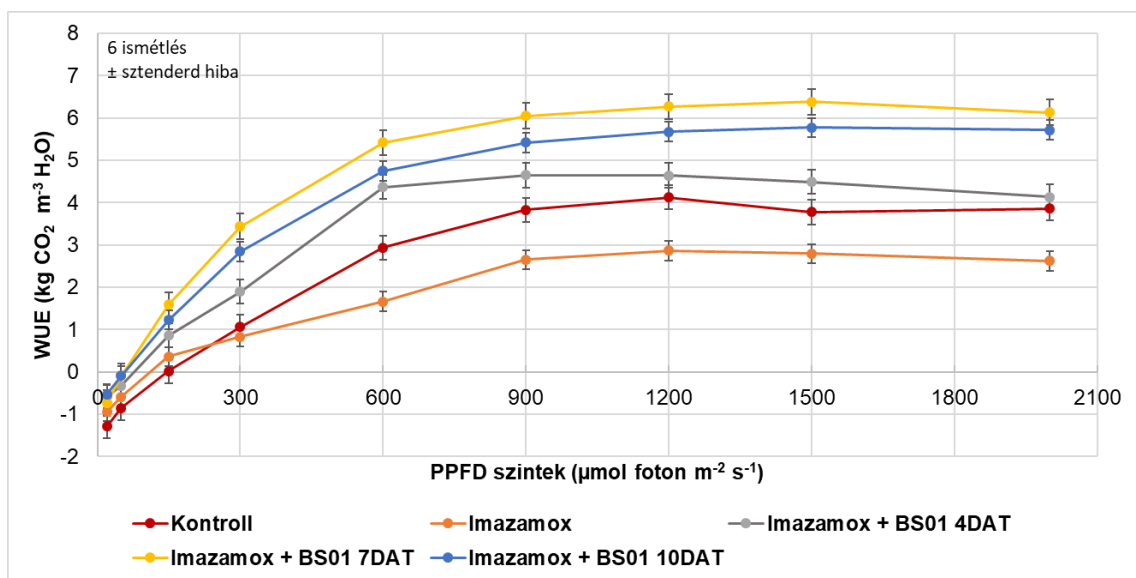
A kísérletben a száraz gyökértömeg, száraz hajtástömeg, így a teljes száraz növénytömeg esetében is, ugyanazt az eredményt kaptuk a kezelések hatását elemezve. Legnagyobb tömeget az imazamox kezelés után 4 nappal kijuttatott Biostimuláns 01 hatására mértük. A kontrollhoz képest a gyökér tömege 9,3%-kal, a hajtás tömege 28,0%-kal nőtt. Az imazamox után 7 nappal kijuttatott Biostimuláns 01 a kontrollhoz képest 3,1%-kal növelte a gyökér, 9,8%-kal a hajtás tömegét.

A Biostimuláns 01 kezelést kapott növények fotoszintézis paraméterei szignifikánsan eltértek a kontrolltól és a csak imazamoxszal kezelt napraforgótól. Az eltérés legkifejezettebben a $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD megvilágítási szint fölött látható a fotoszintézis intenzitása, a transzspiráció, az elektrontranszport ráta tekintetében, és a tenyészidőszak során egyre jobban elkülönülnek a különböző kezelések. Az imazamox kezelés jelentősen rontotta a sztóma-konduktanciát minden fényintenzitáson, legnagyobb értékeket a kontroll növényeken mértünk. A Biostimuláns 01 kijuttatása nem tudta teljesen kompenzálni az imazamox negatív hatását, de az értékek a kontrollban mértékhez közelítettek (69. ábra-70. ábra).

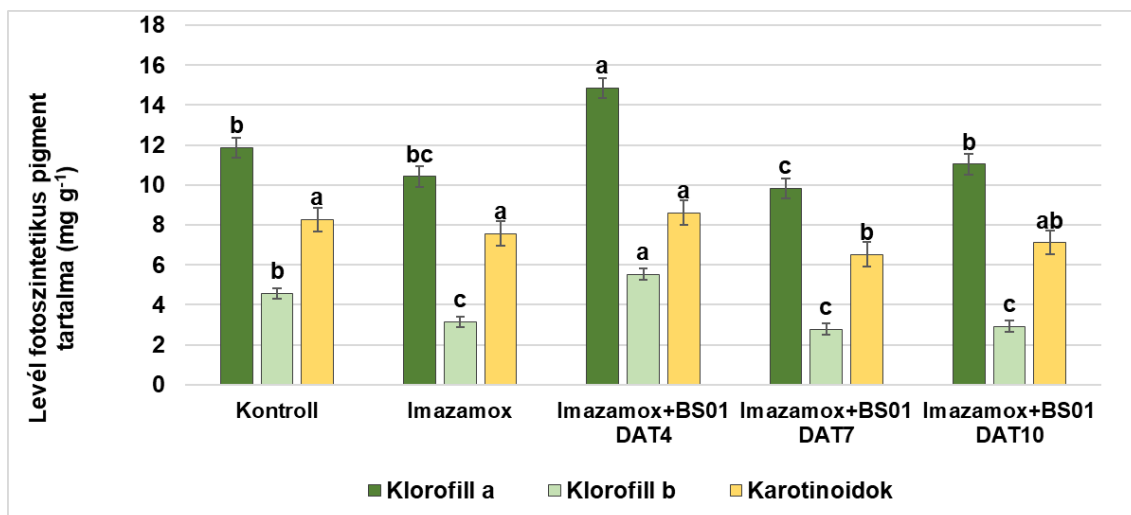
A kísérlet végén megmértük a kísérletekben a levelek klorofill és karotinoid tartalmát. Az A kísérletben az imazamox gyomirtószeres kezelés csökkentette a klorofill *a* és *b*, valamint a karotinoid tartalmat a levelekben. Az imazamox kezelés után 4 nappal kijuttatott BS01 hatására 25,2%-kal nőtt a klorofill *a*, és 21,1%-kal a klorofill *b* tartalom a kontrollhoz képest, a csak imazamox kezelést kapott növényekhez képest 42,5, és 76,0%-kal nőtt. A karotinoid tartalom is nagyobb volt a levelekben az imazamox kezelés után 4 nappal kijuttatott a BS01 hatására, 4,2%-kal a kontrollhoz, 13,7%-kal az imazamox kezeléshez képest. A később kijuttatott BS01-nek nem volt egyértelmű hatása (71. ábra).



69. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.)

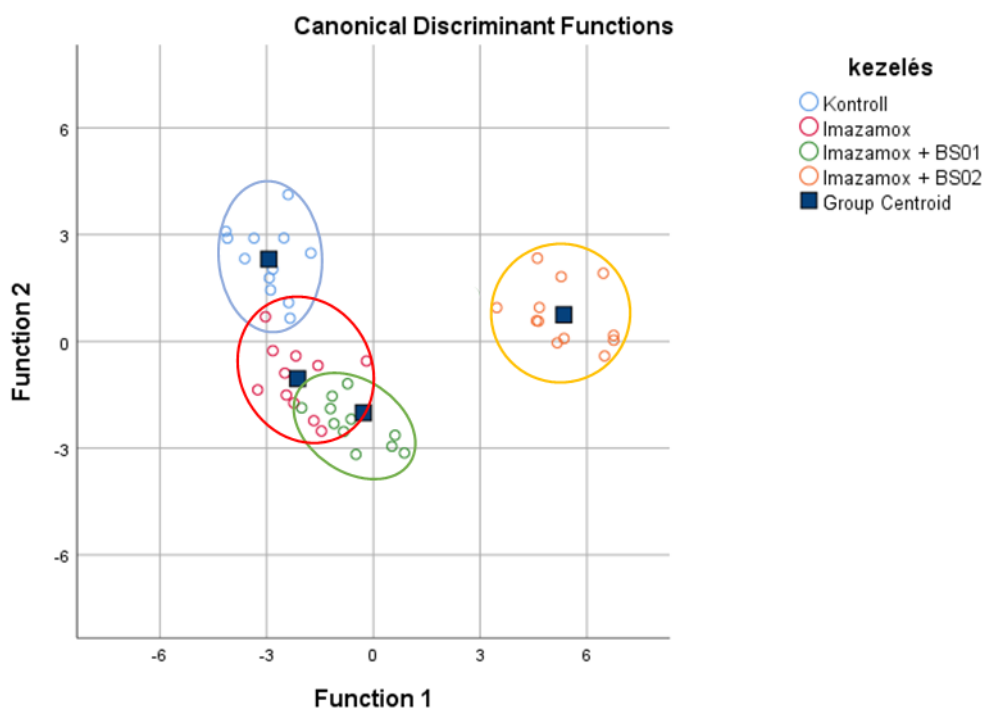


70. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.)



71. ábra A kezelések hatása a napraforgó klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmára imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023)

A 18. táblázat a 14 fotoszintézis paraméter bevonásával, sztenderdizálás után végzett diszkriminancia-analízis eredményét mutatja, ahol a kategorikus változó a biostimuláns kezelés volt. Az osztályozás sikeres volt, az esetek 95,8%-át sikerült az eredeti csoportokba, helyesen besorolni. A helyesen osztályozott esetek aránya 91,7% (Imazamox, Imazamox + BS01) és 100% (Kontroll, Imazamox + BS02) között változott. A kombinált csoportok ábráján (72. ábra) a kezelések vizuálisan elkülöníthetők, de átfedések is megfigyelhetők.



72. ábra A diszkriminancia-analízis kombinált csoportok ábrája, napraforgó gyomirtószer stresszkísérlet (Debrecen, 2023)

18. táblázat A napraforgó gyomirtószer stresszhatás kísérlet diszkriminancia analízis eredménye, kezelések szerinti csoportképzés (Debrecen, 2023)

Kezelés	Előre jelzett csoporttagság			
	Kontroll	Imazamox	Imazamox + BS01	Imazamox + BS02
Kontroll	100,0	0,0	0,0	0,0
Imazamox	8,3	91,7	0,0	0,0
Imazamox + BS01	0,0	0,0	91,7	8,3
Imazamox + BS02	0,0	0,0	0,0	100,0

95,8%-a az eredeti csoporttagoknak jól besorolt.

Az imazamox2 kísérlet eredményei

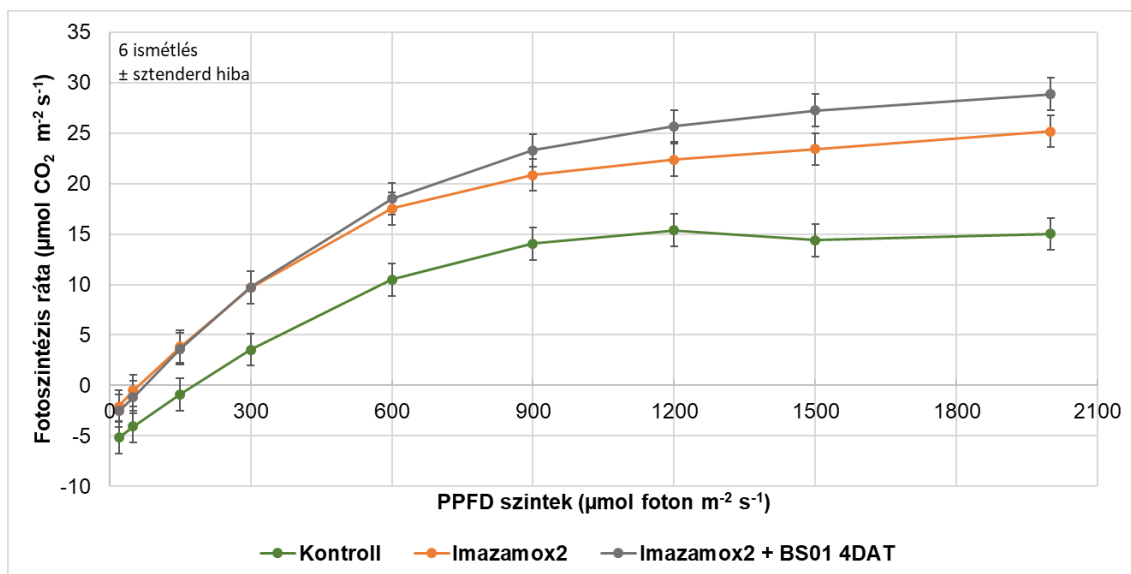
A kezelések szignifikáns eltéréseket okoztak a növénymagasságban. Az imazamox2 gyomirtószer hatására magasabbra nőttek a napraforgó növények a kontrollhoz és az imazamox2 + BS01 kezelést kapottakhoz képest. Legkisebb magasságot minden mérési időpontban az imazamox2 + BS01 kezelés hatására mértük.

Az NDVI értékek nem tértek el lényegesen a különböző kezelést kapott edényekben.

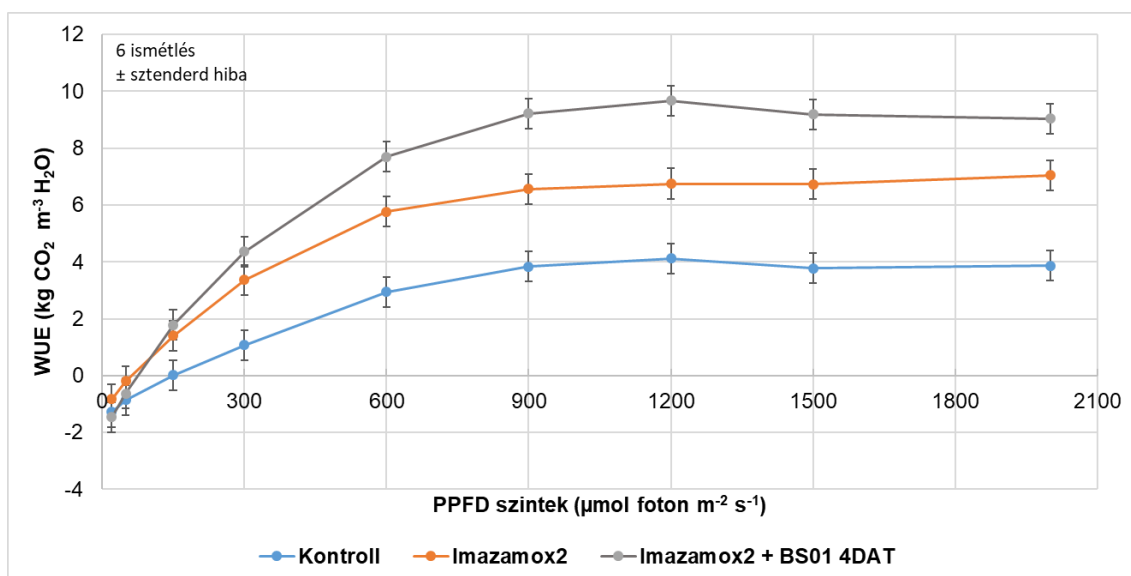
A legnagyobb száraz tömeget ebben a kísérletben is a gyomirtószer alkalmazása után Biostimuláns 01 kezelést is kapott növényeknél mértük. A gyökértömeg 16,9%-kal volt nagyobb a kontrollhoz képest, a hajtástömeg 15,6%-kal, míg a csak imazamox2 kezelést kapotthoz képest a gyökértömeg 28,4%-kal, a hajtástömeg 42,3%-kal volt nagyobb.

A kísérletben az imazamox2 gyomirtószer került kijuttatásra, a kezelés csökkentette a klorofill *a* és *b*, valamint a karotinoid tartalmat a levelekben (14,5; 41,9; 3,9%-kal). A imazamox2 kezelés után 4 nappal kijuttatott biostimuláns hatására nőtt a klorofill *a* tartalom a kontrollhoz képest 2,1%-kal, a csak imazamox2 kezelést kapott növényekhez képest 19,4%-kal. A klorofill *b* tartalom kisebb volt a kontrollhoz képest mind az imazamox2 (41,9%-kal), mind a imazamox2 és BS01 kezelés (31,5%-kal) hatására. A karotinoid tartalom nagyobb volt a levelekben az imazamox kezelés után 4 nappal kijuttatott BS01 hatására, 3,1%-kal a kontrollhoz, 7,3%-kal az imazamox2 kezeléshez képest.

A kísérletben a legkisebb fotoszintézis intenzitást a kontroll növényeken rögzítettük mindegyik megvilágítási szinten. Az imazamox2 gyomirtószeres és az imazamox2 + BS01 kezelés hatására a fotoszintézis intenzitása jóval nagyobb volt. A két kezelés eredményei a közepes és nagy fényintenzitásokon váltak el jelentősen egymástól, a Biostimuláns 01-et kapott növények CO₂ megkötése 5,6-16,4%-kal intenzívebb volt (73. ábra74. ábra).



73. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox2 gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.)



74. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox2 gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.)

A június 16-i méréskor a transzspiráció az imazamox2 kezelést kapott növények esetében volt a legkisebb, legnagyobb értéket a kontrollban mértünk. A BS01 kezelés hatására a transzspiráció a kontroll és a csak imazamox2 kezelést kapott növények értékei közé esett. Az elektrontranszport ráta és a PSII rendszer hatásfoka a BS01 kezelést kapott növényekben nagyobb volt minden megvilágítási szinten, összevetve a kontroll vagy a csak imazamox2-t

kapott növények értékeivel. Július 5-én legnagyobb transzspirációt az imazamox + BS01 kezelésben mértünk, 17,6-28,2%-kal volt nagyobb a kontroll vagy csak imazamox2 kezelésnél.

A halauxifen-metil kísérlet eredményei

A kísérletben a halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag hatását vizsgáltuk a napraforgó fiziológiai folyamataira, illetve a stresszhatás csökkentési lehetőségét.

A fotoszintézis intenzitás fénygörbéje, melyet 2023 július 6-án, 20 nappal a gyomirtószer kijuttatása után (DAT20) mértünk, jól mutatja a halauxifen-metil kedvezőtlen hatását a napraforgóra (75. ábra), még 20 nappal a kezelés után is. A nettó asszimilációs ráta $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD megvilágítási szinten és fölötté, a kontroll parcellákban szignifikánsan nagyobb volt, mint a halauxifen-metil és halauxifen-metil+ BS01 kezelésben. Ugyanebben a megvilágítási tartományban a legkisebb nettó asszimilációs rátát a halauxifen-metil kezelésben mértük, a különbség szignifikáns volt a többi kezeléshez képest. A halauxifen-metil kezelésben a napraforgó nettó asszimilációs rátája negatív tartományban volt az $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD megvilágítási szint alatt végig, ami azt jelenti, hogy a légzés intenzívebb volt a fotoszintézisnél. A gyomirtószer kijuttatása után 4 nappal (DAT4) alkalmazott biostimuláns (BS01) kezelés a csak halauxifen-metil kezeléshez képest növelte a fotoszintézis intenzitását, de a kontroll növények értékét nem érte el (75. ábra).

A kezelések vízhasznosításra gyakorolt hatását is megvizsgáltuk a kísérletben (76. ábra). A WUE értékei nagyon hasonló lefutást mutattak, mint a nettó asszimilációs ráta. Ez azt mutatja, hogy a vízhasznosítást elsősorban nem a transzspiráció, hanem a fotoszintézis intenzitása határozta meg.

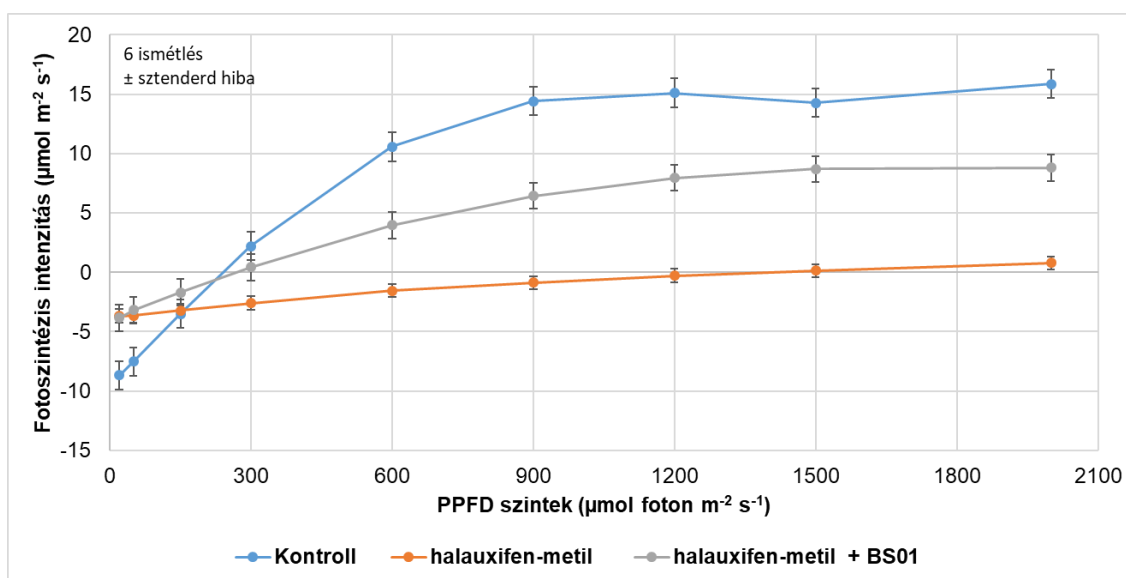
Később a napraforgó anyagcseréje helyreállt, de a gyomirtószer által okozott stressz hatása a terméseredményekben is észrevehető volt.

A gyomirtószer kezelés a kontrollhoz ($120,36 \pm 8,08$ cm) képest átlagosan 14,4%-kal ($103,06 \pm 7,83$ cm) csökkentette a növények magasságát, melyet a BS01 kezelés teljes mértékben kompenzált ($122,83 \pm 11,28$ cm), a kontrollhoz képest is növelte a magasságot 2,1%-kal. Az NDVI érték a kontrollban volt a legnagyobb, a halauxifen-metil kijuttatás hatására csökkent az NDVI értéke. A Biostimuláns 01 kezelés részben kompenzálni tudta a hatást.

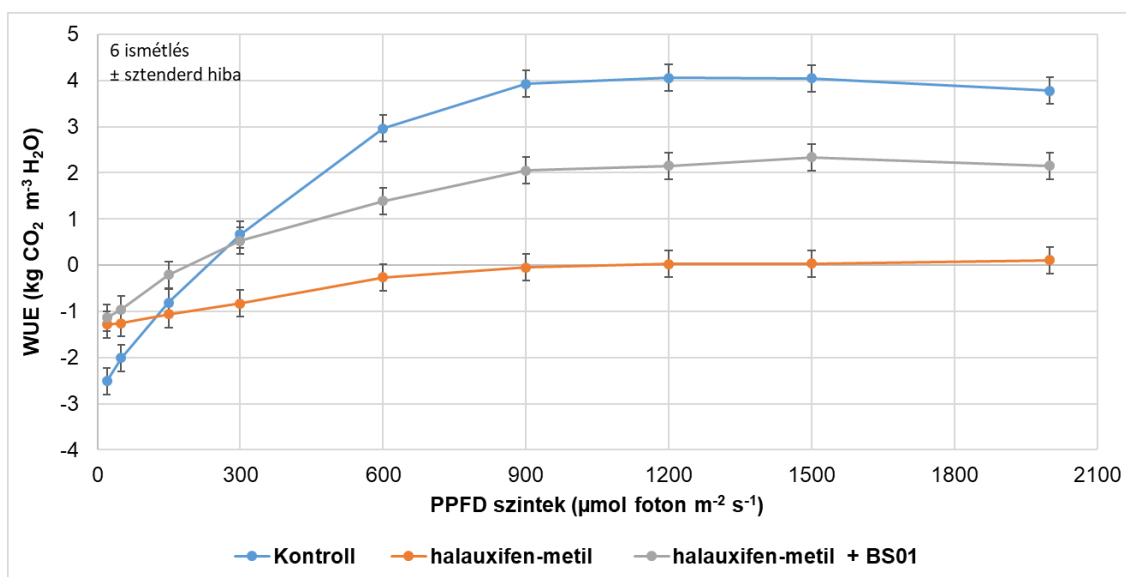
A tányérátmérő esetében is csökkenést okozott a halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag, -9,9%-kal a kontrollhoz képest (19. táblázat), de a különbség nem volt szignifikáns. A BS01 kezelés kompenzálni tudta a halauxifen-metil hatását, és a kontrollhoz képest is nagyobb (+9,1%) tányérátmérőt eredményezett, a halauxifen-metil kezeléshez képest 21%-kal nagyobb volt a tányér átmérője átlagosan.

A kaszattermésben $p=5\%$ szinten szignifikáns eltérések alakultak ki a kísérletben. A halauxifen-metil kezelés hatására a termés 10,3%-kal kevesebb volt a kontrollhoz, és 14,9%-kal a halauxifen-metil + BS01 kezeléshez képest. A Biostimuláns 01 kijuttatása a halauxifen-metil után a kontrollhoz képest is tudta növelni a termést 3,1%-kal.

A kaszat olajtartalmában is szignifikáns csökkenést mértünk a halauxifen-metil kijuttatás hatására, a kontrollhoz (44,0%) képest 40,9%-ra csökkent. A negatív hatást a BS01 kijuttatása eliminálta, az olajtartalom 43,8% volt, ami nem különbözik szignifikánsan a kontrolltól.



75. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.07.06.)



76. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.07.06.)

19. táblázat A napraforgó termésképző elemei, termése és olajtartalma a különböző kezelésekben (Debrecen, 2023)

	Kezelések		
	Kontroll	halauxifen- metil	halauxifen- metil +BS01
Tányérátmérő (cm)	18,79±2,07a	15,53±2,22a	17,23±2,26a
1000 kaszat tömeg (g)	74,05±1,70b	76,01±1,35a	73,10±1,90b
Termés (kg)	4868,29±319,07b	4366,40±310,81c	5018,43±353,11a
Olajtartalom (%)	44,00±2,11a	40,90±3,25b	43,80±2,38a

A különböző betűk szignifikáns eltérést jelölnek a kezelések között $p=5\%$ szinten.

4.3.4. Biostimulátorok szerepe a szárazságstressz enyhítésében kukoricában

Tenyészedényes kísérletben vizsgáltuk, hogy a BS01 biostimulátor alkalmazása mennyire képes enyhíteni a vízhiány által okozott stressz negatív következményeit a kukoricában.

Az első mérést a kezelés napján, közvetlenül a biostimulátorok alkalmazása előtt végeztük (okt.11.; DAT0). A fotoszintézis paramétereiben nem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között. Az optimális vízellátással rendelkező növények értékei normális növényi működést mutattak. A csökkentett vízmennyiséggel öntözött növények fotoszintetikus paramétere (nettó asszimilációs ráta, sztóma konduktancia, intercelluláris CO_2 -szint, elektrontranszport ráta, transzspiráció) vízhiányt jeleztek (77. ábra-84. ábra).

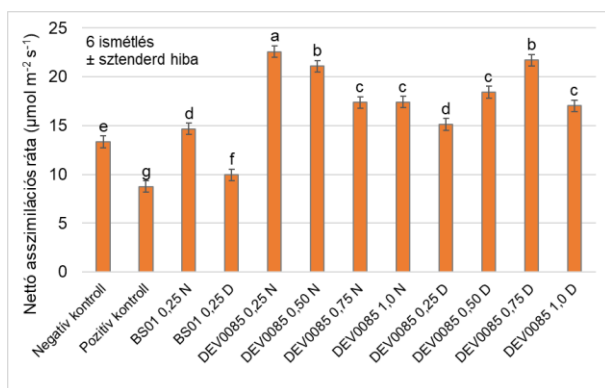
A második mérés (okt.17.; DAT6), 6 nappal a kezelések után jelentős különbségeket mértünk a kukorica fotoszintetikus intenzitásában. Minden kezelésnél nagyobb volt a nettó asszimilációs ráta a kontrollhoz képest, a növekedés 9,16-54,36% között mozgott. A 0,25 l/ha-os DEV0085 kezelés 54,28%-kal nagyobb CO_2 -megkötést eredményezett a negatív kontrollhoz képest normál vízellátás mellett (N kezelések) és 73,08%-kal nagyobb a pozitív kontrollhoz képest a vízstresszben (D kezelések). A kukorica fotoszintézis intenzitása vízhiányos körülmények között (D kezelések) a DEV0085 növekvő dóziséval 0,75 l ha⁻¹-ig nőtt. A többi mért paraméter (intercelluláris CO_2 -szint, elektrontranszport ráta, sztóma konduktancia, PSII fotokémiai központ hatékonysága, transzspiráció) esetében is szignifikáns különbségeket figyeltünk meg a BS01 és a DEV0085 kezelések után a kontrollokhoz képest.

A kezelést követő 14. napon (okt.25.; DAT14) a fotoszintézis intenzitása minden kezelésben nagyobb volt, mint a kontrolloknál. Normál vízellátás esetén a legnagyobb értékeket a DEV0085 0,75 l ha⁻¹ kezelésben, vízstressz esetén pedig DEV0085 1,0 l ha⁻¹ alkalmazása

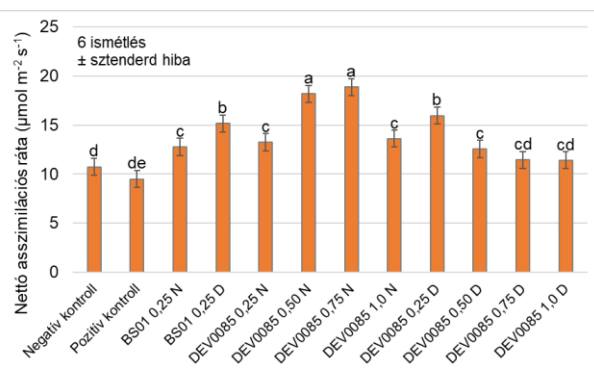
mellett mértük. Hasonló eredményeket kaptunk a PSII rendszer hatékonysága, az elektrontranszport ráta, valamint a sztóma konduktancia elemzésekor.

A kezelést követő 20. napra (okt.31.; DAT20) a helyzet megváltozott. A kezelt növények fotoszintetikus intenzitása nagyobb volt a kontrollhoz képest, a különbség normál vízellátás mellett 18,85-75,78% között változott a kezeléstől függően, míg a vízstressz alatt fejlődő növények esetében 20,17-68,06% között változott. A legnagyobb értéket a DEV0085 0,75 l ha⁻¹ kezelésben mértük normál vízellátás mellett (N kezelések) és a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelésben vízstressz esetén (D kezelések). A DEV0085 0,25 l ha⁻¹-nél nagyobb dózisai csökkentették a vízstressznek kitett növények fotoszintetikus intenzitását és más asszimilációs paraméterek értékeit (D kezelések). Ez jól látható a kezelést követő 26. napon (nov.11.; DAT26) végzett mérések eredményeiben is. A pozitív kontroll (D kezelés) növények fotoszintézis-intenzitása nagyon alacsony volt, a legalacsonyabb az összes kezelés közül. Az asszimiláció intenzívebb volt a normál vízellátású kezelésekben, mint a vízhiányos növényeknél, de a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelés szinte teljesen kompenzálni tudta ezt. A DEV0085 0,25 l ha⁻¹-val kezelt növények fotoszintézisének intenzitása vízstressz alatt (D kezelések) 350,19%-kal volt nagyobb, mint a pozitív kontroll növényeké. A nagyobb dózisok esetén a nettó asszimilációs ráta, a sztóma konduktancia, az ETR és a transzspiráció jelentősen csökkent a D kezelésekben. Normál vízellátás mellett a DEV0085-el kezelt növények fotoszintetikus intenzitása nagyobb volt, mint a kontroll növényeké (N kezelések), a különbség a kezeléstől függően 57,63-81,29% között mozgott. Szárazságstressz alatt a DEV0085 kezelések pozitív hatása 110,15-350,19% között változott a kontrollhoz képest (D kezelések).

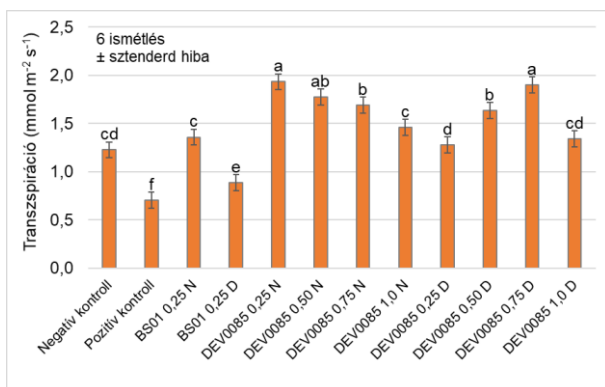
A vízhasznosítás értékelése során megállapíthattuk, hogy a második méréskor (DAT6) a szárazságstressz alatt nevelt kukoricában a DEV0085 1,0 l ha⁻¹ kezelésben volt a legnagyobb WUE érték, mely szignifikánsan nagyobb volt a többi kezelésnél. A második legnagyobb vízhasznosítást szintén szárazságstresszben, a pozitív kontrollban mértük (81. ábra). Ebben az időpontban a normál vízellátással nevelt kukorica WUE értéke a kezelések átlagában 27,63±1,19 kg CO₂ m⁻³ H₂O, míg a szárazságban nevelteké átlagosan 28,55±1,26 kg CO₂ m⁻³ H₂O volt. Október 31-én (DAT20) a normál vízellátású növények vízhasznosítási hatékonysága a kezelések átlagában szignifikánsan alatta maradt a vízstresszben növekvő növények vízhasznosításának (82. ábra). A DEV0085 0,25 l ha⁻¹, 0,50 l ha⁻¹, és 1,0 l ha⁻¹ D kezelések között nem volt szignifikáns különbség. Legrosszabb vízhasznosítása a negatív kontrollnak volt.



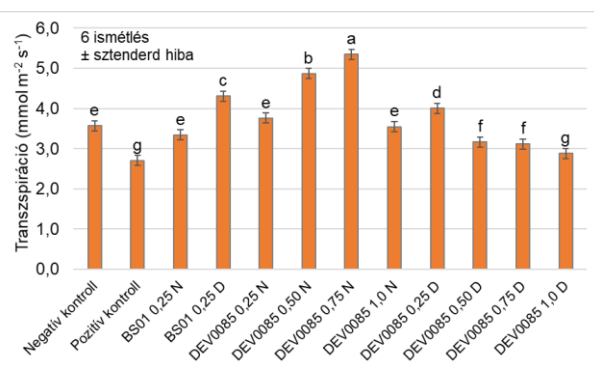
77. ábra A nettó asszimilációs ráta kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)



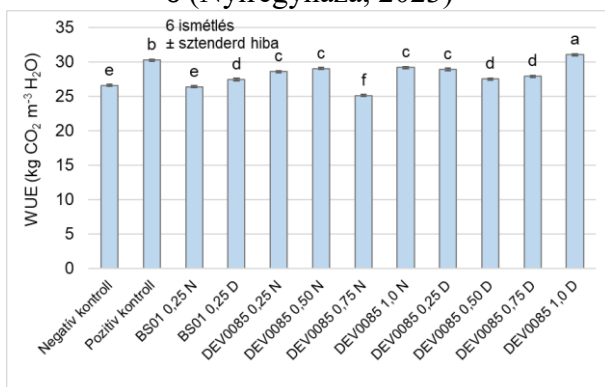
78. ábra A nettó asszimilációs ráta kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)



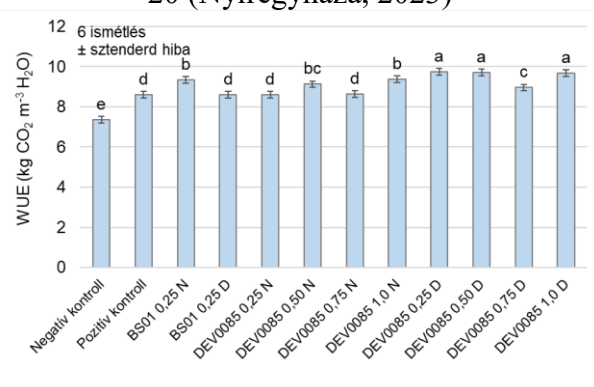
79. ábra A transzspiráció kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)



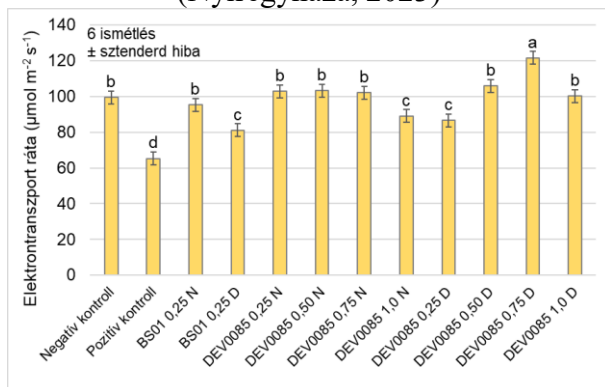
80. ábra A transzspiráció kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)



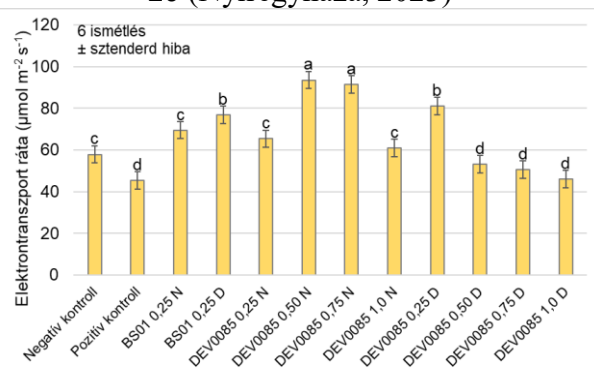
81. ábra A WUE értéke kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)



82. ábra A WUE értéke kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)



83. ábra Az elektrontranszport ráta értéke kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)



84. ábra Az elektrontranszport ráta értéke kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)

A kezelést követő 20. napra (okt.31.; DAT20) jelentős különbségek alakultak ki a növénymagasságban. A legnagyobb növénymagasságot a DEV0085 0,75 l ha⁻¹ kezelésben mértük normál vízellátás mellett. Víztstressz esetén a legnagyobb növénymagasságot a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezeléssel értük el. A magasságnövekedés 8,89% és 18,93% között változott normál vízellátás mellett, és 0,75% és 25,9% között a víztstressz alatt álló növények esetében a kontrollokhoz képest.

Az NDVI-értékekben is szignifikáns különbségeket figyelhattunk meg a kezelések között. A kezeléseket követő 20. napon a legnagyobb értéket a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelésben mértük vízhiányos állapotban, a második legnagyobbat pedig a BS01 0,25 l ha⁻¹ kezelésben, normál vízellátás mellett. Normál vízellátás mellett a növekvő dózis növelte az NDVI értékeket, míg víztstressz alatt a növekvő dózis csökkenő NDVI értékeket eredményezett.

A növények száraz tömegét vizsgálva azt találtuk, hogy a normál vízellátású kezeléseknél nagyobb volt a növények tömege. A kezelések szignifikáns különbségeket okoztak a kontrollokhoz képest. A BS01 0,25 l ha⁻¹ és a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelések 24,58%-kal, illetve 22,17%-kal nagyobb növénytömeget eredményeztek normál vízellátás mellett a kontrollhoz képest. Víztstressz esetén a különbség 3,63% és -37,05% között változott a kontrollhoz képest. A legnagyobb növénytömeget a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelésben mértük, ez nem különbözött a normál vízellátású kontroll növényektől (6,9, illetve 6,7 g). A DEV0085-tel kezelt növények közül a 0,25 l ha⁻¹ -t kapott növényeknek volt a legnagyobb a gyökérhossza mindkét vízellátási változatban. Az összes kezelés közül a BS01 0,25 l ha⁻¹ kezelésnél mértük a legnagyobb gyökérhosszúságot normál vízellátás mellett. Víztstressz esetén a DEV0085 dózisének 0,25 l ha⁻¹-ről 1,0 l ha⁻¹-ra történő növelése fokozatosan csökkentette a gyökérhosszúságot.

A legnagyobb klorofill a tartalmat a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelésben mértük a víztstressznek kitett növényekben, míg a legkisebbet a pozitív (D kezelés) kontrollban, a különbség 31,21% volt. Minden kezelés növelte a klorofilltartalmat a kontrollhoz képest (7,11 és 31,21%-kal). A kukorica levelek klorofilltartalma szárazságstressz alatt a 0,25 l ha⁻¹-nél nagyobb DEV0085 dózisok esetén csökkent a 0,25 l ha⁻¹ kezeléshez képest, de nagyobb volt, mint a kontrolloké. A klorofill b esetében a legnagyobb értéket a BS01 0,25 l ha⁻¹, a legalacsonyabbat pedig a DEV0085 1,0 l ha⁻¹ dózissal kezelt növényekben mértük normál vízellátás (N kezelések) mellett. A normál vízellátású kezeléseknél a klorofill b-tartalom fokozatosan csökkent a DEV0085 dózisének növelésével 0,25 és 1,0 l ha⁻¹ között, míg a szárazságstresszes körülmények között növekvő hatást fejtett ki. A levelek karotinoid tartalma a normál vízellátás mellett a 0,5 l ha⁻¹-os DEV0085 kezelésben volt a legnagyobb (35,19%-kal

nagyobb, mint a kontrollban). A vízstresszben nevelt növények esetében a legnagyobb karotinoid tartalmat a DEV0085 0,25 l ha⁻¹ kezelésben mértük, a pozitív kontrollhoz képest 49,37%-os különbséggel. A nagyobb dózisok fokozatosan csökkentették a karotinoid tartalmat.

Eredményeinket alátámasztják Amin et al. (2018) kutatásai is ahol a szilícium hatását vizsgálta a kukorica vízhasznosítására, mivel a DEV0085 tartalmaz szilíciumot. Arra a következtetésre jutott, hogy a szilícium trágyázás javította a kukorica vízhasznosítását korlátozott vízellátottságú körülmények között.

5. A tudományos eredmények összefoglalása

- Mérésekkel igazoltam a levegő széndioxid koncentrációjának emelkedését 1999-2023 között Debrecenben. Az 1999-es CO₂ szinthez képest ez 31,8%-os növekedést jelent 25 év alatt Debrecenben. A regressziós együttható alapján a növekedés évi 0,0004%-os Debrecenben, globálisan pedig évi 0,0002%-os. A globális adatokhoz hasonló értékeket mértem Debrecenben, de az emelkedés üteme nagyobb.
- Az extrém száraz évjáratban a kukorica vízfelhasználás hatékonysága (WUE) mindegyik mért paraméterrel negatív korrelációban volt. Az intercelluláris CO₂ szintjével igen szoros ($r=-0,965$), a transzspirációval ($r=-0,629$) és sztóma-konduktanciával ($r=-0,608$) szoros, a fotoszintézis intenzitásával ($r=-0,511$), levegő és levél hőmérséklet-különbségével ($r=-0,577$) közepes, de $p=1\%$ -os szinten szignifikáns kapcsolatot azonosítottunk. Napraforgóban a WUE értéke közepes pozitív kapcsolatban volt a nettó fotoszintézis intenzitással ($r=0,422$), szoros negatív kapcsolatban a sztóma-konduktanciával ($r=-0,845$), az intercelluláris CO₂ szinttel ($r=-0,869$), a transzspirációval ($r=-0,891$), és a levegő-levél hőmérséklet különbségével ($r=-0,865$).
- A napraforgó fotoszintézis rendszere, extrém száraz (2007) évjáratban, mészlepedékes csernozjom talajon, a kukoricához képest kevésbé reagált érzékenyen a vízhiányra, a fotoszintézis intenzitása meghaladta a kukoricáét mindegyik mérési időpontban. A kukorica nettó fotoszintézise július közepén és augusztus közepén, amikor a tényleges párolgás a PET 25-33%-át érte csak el, különösen alacsony volt, nem haladta meg $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ értéket, míg jó vízellátottság mellett $40-60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ között változik méréseink szerint.
- Az eltérő tápanyagellátás szignifikáns különbségeket okozott a kukorica hibridek CO₂ asszimilációjában. Jó vízellátás mellett a növekvő műtrágyaadagok jelentősen növelték a fotoszintézis intenzitását. A vízstressz, a sztómák átjárhatóságának csökkenésén keresztül jelentősen csökkenti a fotoszintézist. A tenyészidőszak elején az emelkedő tápanyagszintek növekvő fotoszintézis intenzitást eredményeztek, legjobb volt az N₂₄₀+PK kezelés. A későbbi méréseknél az N₆₀+PK műtrágyadózist kapott parcellák CO₂ asszimilációja volt a legnagyobb, nagyobb műtrágyaadagok (N₁₂₀+PK, N₂₄₀+PK) csökkenő fotoszintézist eredményeztek. Az eltérés valószínű oka a nagyobb trágyaadagok hatására fellépő vízhiány, mely a sztómák záródását okozza. A sztóma-konduktancia és

transzspiráció értékei alátámasztják a feltételezést. A kukorica asszimilációs állapota jól becsülhető a levelek és a levegő hőmérséklet-különbségének ismeretében.

- A gyomok kompetíciós képességét a fotoszintézisük és a vízhasznosításuk hatékonysága is befolyásolja. Súlyosan vízhiányos körülmények mellett a C₄-es növények fotoszintézise hatékonyabban működik a C₃-asokénál, ezért a C₄-es gyomnövények (pl. *Datura stramonium*) is nagyobb veszélyt jelentenek, azonban a jó szárazságtűrésű C₃-as fajok (pl. *Xanthium italicum*) is jól fejlődhetnek. A vizsgált fajok közül legkevésbé szárazságtűrőnek a *Polygonum persicaria* bizonyult.
- A C₃-as és C₄-es utat követő növények CO₂ megkötése a magasabb megvilágítási szinteken (500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD fölött) élesen szétvált, a C₄-es növények a fotoszintézis intenzitás tekintetében jelentős előnyt mutattak a szántóföldi kísérletekben végzett mérések alapján. Az *Echinochloa crus-galli* és *Datura stramonium* nettó asszimilációs ráta tekintetében, kis megvilágítási szinten, 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD alatt, kiemelkedik a többi vizsgált növényfaj közül. Ez arra utal, hogy ennek a két fajnak jó az árnyékolás-tűrése.
- Az igen alacsony (100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD) és igen magas (2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD) fényintenzitás hatását elemezve megállapítható, hogy a legnagyobb növekedés a C₄-es növényeknél volt megfigyelhető, így a *Datura stramonium*, az *Amaranthus retroflexus*, az *Echinochloa crus-galli*, illetve a *Zea mays* esetében. A kukorica nettó fotoszintézis intenzitása bármelyik megvilágítási szintnél a három vizsgált C₄-es gyomfajé alatt maradt. A három C₄-es gyomfaj még 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fényintenzitás felett is jelentősen növelte a fotoszintézis intenzitását.
- A vizsgált növényfajok vízfelhasználásának hatékonysága jelentősen változott a megvilágítás függvényében, a növekvő fényintenzitás hatására javult. A *Cirsium arvense* és *Echinochloa crus-galli* WUE értéke változott legkevésbé a fényintenzitás növekedésével. A kukorica vízfelhasználás hatékonysága 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD fényintenzitás felett volt a legjobb.
- A megvilágítás mellett a vízellátottság is jelentős hatással van a növények vízhasznosítására. Az igen eltérő csapadéku évjáratokban végzett mérések alapján megállapítható, hogy a kukorica száraz körülmények között igen hatékonyan használja fel a vizet, míg jó vízellátottsági helyzetben a hatékonyság jelentősen romlik. Csapadékos

években 150-200%-kal több vizet párologtat el 1 gramm CO₂ asszimilációja során, mint száraz években, illetve vízstressz állapotban.

- A fotoszintézis intenzitása és a talaj felső 1 méteres szelvényének nedvességtartalma között igen szoros, szignifikáns kapcsolatot találtam a tenyésztésidőben, mind a kukorica, mind a napraforgó esetében. A transzspiráció és a talaj nedvességtartalma között pozitív lineáris kapcsolatot igazoltam mindkét növényenél (napraforgó: $r=0,848$; kukorica: $r=0,680$).
- Mind a kukorica, mind a napraforgó genotípusok között szignifikáns eltérést igazoltam a mért és számított fotoszintézis paraméterek illetve a vízfelhasználás hatékonyságát elemezve. A kukoricában a genotípusok közötti különbségek nagyobbak voltak minden esetben, mint a napraforgóban.
- Jó vízellátottság mellett (2010), a pikoxistrobin kezelés hatására kukoricában a nettó asszimilációs ráta a genotípusok átlagában 59,3%-kal (DAT40), illetve 62,2%-kal (DAT61) nagyobb volt, mint a kontroll parcellákban. Száraz évjáratban (2013) a fungicid kezelés (pikoxistrobin + ciprokonazol) a kukorica asszimilációs rátáját 70,9%-kal növelte. Az eltérés igen jelentősnek tekinthető.
- A vízhasznosítás tekintetében a csapadékos 2010-es tenyésztésidőben a gombaölőszeres kezelés hatása sokkal kifejezettebb volt a kukoricában, mint az aszályos 2013-as évben. A kezelés hatása 23,72%, és 146,41% (DAT40 és DAT61) volt 2010-ben, míg 2013-ban 11,59% és 18,67% (DAT32 és DAT64). A gombaölőszeres kezelés hatására a kukorica vízhasznosítása javult, ami elsősorban a nettó asszimilációs ráta növelésének, kisebb mértékben a transzspiráció csökkentésének volt köszönhető.
 - Az imazamox, imazamox2 és halauxifen-metil herbicid kezelés mindegyike jelentősen rontotta a napraforgó fotoszintézis paramétereit minden fényintenzitáción a kontroll növényekhez képest. A biostimuláns kezelés hatására az értékek szignifikánsan eltértek a kontrolltól és a csak herbiciddel kezelt napraforgóétól. Az eltérés legkifejezettebben a $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD megvilágítási szint fölött látható a fotoszintézis intenzitása, a transzspiráció, az elektrontranszport ráta tekintetében, és a tenyésztésidőszak során egyre jobban elkülönülnek a különböző kezelések. A biostimuláns kijuttatása nem tudta teljesen kompenzálni a herbicidek negatív hatását, de az értékek a kontrollban mértékhez közelítettek.

6. Felhasznált irodalom

1. Abbas, G., Hussain, A., Wajid, S.A. Water use efficiency of maize as affected by irrigation schedules and nitrogen rates. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, **2005**, Vol. 1(4), 339–342.
2. Aboudrare, A., Debaeke, P., Bouaziz, A., Chekli, H. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, **2006**, 83, 183–196. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.12.001.
3. Ábri, T., Gaganetz, D.Z., Csajbók, J. Light response curve analysis of juvenile black locust clones: A case study from eastern Hungary. *Journal of Forest Science*, **2024**, 70(4), 202–207, DOI: 10.17221/120/2023-JFS.
4. Ábri, T., Keserű, Z., Borovics, A., Rédei, K., Csajbók, J. Comparison of juvenile, drought tolerant black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) clones with regard to plant physiology and growth characteristics in Eastern Hungary: early evaluation. *Forests*, **2022**, 13(2): 292. DOI: 10.3390/f13020292
5. Adams M.A., Buckley, T.N., Salter, W.T., Buchmann, N., Blessing, C.H., Turnbull, T.L. Contrasting responses of crop legumes and cereals to nitrogen availability. *New Phytologist*, **2018**, 217, 1475–1483.
6. Adiredjo, A.L., Navaud, O., Muños, S., Langlade, N.B., Lamaze, T., Grieu, P. Genetic Control of Water Use Efficiency and Leaf Carbon Isotope Discrimination in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Subjected to Two Drought Scenarios. *PLoS ONE*, **2014**, 9(7): e101218, DOI: 10.1371/journal.pone.0101218
7. Ainsworth, E.A., Rogers, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment*, **2007**, 30: 258–270. 10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x
8. Albaji, M., Nasab, S.B., Behzad, M., Naseri, A., Shahnazari, A., Meskarbashee, M., Shokoohfar, A.R. Water productivity and water use efficiency of sunflower under conventional and limited irrigation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, **2011**, 9(1), 202–209.
9. Alessi, J., Power, J.F., Zimmerman, D.C. Sunflower yield and water use as influenced by planting date, population and row spacing. *Agronomy Journal*, **1977**, 69, 465–469. DOI: 10.2134/agronj1977.00021962006900030033x
10. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, **1998**.
11. Álvarez-Iglesias, L., Vales, M.I., De Ron, A.M., Rodino, A.P., Tejada-Hinojoza, J.L., Taboada, A., Revilla, P. Variability of photosynthetic and related traits in maize and other summer crops in a temperate humid area. *Plant Physiology Reports*. **2022**, 27, 596–602, DOI: 10.1007/s40502-022-00693-6
12. Amin, M., Ahmad, R., Ali, A. Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., Lee, D.J. Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance Under Limited Water Supply. *Silicon*, **2018**, 10(2), 177–183, DOI: 10.1007/s12633-015-9372-x

13. Anastasov, H. Influence of imazamox on some anatomic indices in the leaves of sunflower plant (*Helianthus annuus* L.). General and Applied Plant Physiology, **2010**, 36(1–2), 64–68.
14. Antal, E. Az éghajlatváltozás hatása a magyarországi aszályokra. Acta Geografica Debrecina, **1991**, 28-29. 17–18.
15. Antal, E. Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés, Budapest, **1969**
16. Arda, H., Alyürük, G. Effects of imazamox applications on stem anatomy in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, **2020**, 4. 220–230. DOI: 10.29329/ijiaar.2020.254.6.
17. Arda, H., Kaya, A., Alyürük, G. Physiological and Genetic Effects of Imazamox Treatment on Imidazolinone-Sensitive and Resistant Sunflower Hybrids. Water, Air & Soil Pollution, **2020**, 231, 118. DOI: 10.1007/s11270-020-4439-8
18. Baghbani-Arani, A., Jami, M.G., Namdari, A., Borz-Abad, K.R. Influence of Irrigation Regimes, Zeolite, Inorganic and Organic Manures on Water Use Efficiency, Soil Fertility and Yield of Sunflower in a Sandy Soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. **2020**, 51(6), 711–725. DOI: 10.1080/00103624.2020.1729791.
19. Balabanova, D., Remans, T., Cuypers, A., Vangronsveld, J., Vassilev, A. Imazamox detoxification and recovery of plants after application of imazamox to an imidazolinone resistant sunflower hybrid. Biologia plantarum, **2020**, 64, 335-342. DOI: 10.32615/bp.2019.150
20. Balabanova, D., Vassilev, A. Response of sunflower Clearfield hybrids to both recommendable and higher doses of the imazamox herbicide. Agricultural Sciences, **2015**, VII(18), 41–46.
21. Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J., Vassilev, A. Photosynthetic Performance of the Imidazolinone Resistant Sunflower Exposed to Single and Combined Treatment by the Herbicide Imazamox and an Amino Acid Extract. Frontiers in Plant Science, **2016**, Vol.7, DOI: 10.3389/fpls.2016.01559
22. Balla, K., Bedő, Z., Veisz, O. Effect of heat and drought stress on the photosynthetic processes of wheat Cereal Research Communications, **2006**, 34(1), 381–384.
23. Barnaby, J.Y., Kim, M., Bauchan, G., Bunce, J., Reddy, V., Sicher, R.C. Drought Responses of Foliar Metabolites in Three Maize Hybrids Differing in Water Stress Tolerance. PLoS ONE **2013**, 8(10): e77145, DOI: 10.1371/journal.pone.0077145.
24. Barros, J.F.C., De Carvalho, M., Basch, G. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy, **2004**, 21, 347-356, DOI: 10.1016/j.eja.2003.10.005
25. Bartholy, J., Barcza, Z., Bihari, Z., Czira, T., Haszpra, L., Horányi, A., Horváth, E.S., Krüzselyi, I., Lakatos, M., Mészáros, R., Mika, J., Pálvölgyi, T., Pieczka, I., Pongrácz, R., Práger, T., Radics, K., Szentimrey, T., Szabó P., Szépszó, G., Torma, Cs. Klímaváltozás. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Országos Meteorológiai vizsgálat. **2011**, Budapest.
26. Bartlett, M.K., Klein, T., Jansen, S., Choat, B., Sack, L. The correlations and sequence of plant stomatal, hydraulic, and wilting responses to drought. Proceedings

- of the National Academy of Sciences USA. **2016**, 113(46), 13098–13103. DOI: 10.1073/pnas.1604088113
27. Bassi, D., Menossi, M., Mattiello, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. *Scientific Reports*, 8, 2327, **2018**. DOI: 10.1038/s41598-018-20653-1
 28. Bellasio, C., Griffiths, H. Acclimation to low light by C4 maize: implications for bundle sheath leakiness. *Plant Cell and Environment*, **2014**, 37(5), 1046–1058, DOI: 10.1111/pce.12194.
 29. Bellasio, C., Griffiths, H. Acclimation of C4 metabolism to low light in mature maize leaves could limit energetic losses during progressive shading in a crop canopy. *Journal of Experimental Botany*, **2014**, 65(13), DOI: 10.1093/jxb/eru052
 30. Ben-Asher, J., Garcia, A.Y., Hoogenboom, G. Effect of high temperature on photosynthesis and transpiration of sweet corn (*Zea mays* L. var. *rugosa*) *Photosynthetica*, **2008**, 46(4) 595-603.
 31. Berzsenyi, Z.: Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése. Agroinform, Budapest, **2016**, ISBN 9789635029549
 32. Berzsenyi, Z. Fenntartható növénytermesztés: Környezeti és termésreakciók, precíziós alkalmazások. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, **2024**, p 533, ISBN 978-963-623-095-1
 33. Bindraban, P.S. Impact of canopy nitrogen profile in wheat on growth. *Field Crops Research* **1999**, 63(1), 63–77.
 34. Boot, R.G.A., Schildwacht, P.M., Lambers, H. Partitioning of nitrogen and biomass at a range of N-addition rates and their consequences for growth and gas exchange in to perennial grasses from inland dunes. *Physiologia Plantarum*, **1992**, 86, 152–160. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1992.tb01324.x.
 35. Boyer, J.S., Westgate, M.E. Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*, **2004**, 55, 2385–2394.
 36. Briggs, L.J., Shantz, H.L. The water requirement of plants. in Bureau of Plant Industry Bulletin, **1913**, (Washington, DC: US Department of Agriculture), 282–285.
 37. Brown, R.H., Simmons, R.E. Photosynthesis of grass species differing in CO₂ fixation pathways. I. Water-use efficiency. *Crop Sci.* **1979**, 19, 375–379. doi: 10.2135/cropsci1979.0011183X001900030025x
 38. Bunce, J.A. Leaf transpiration efficiency of some drought-resistant maize lines. *Crop Science*, **2010**, 50, 1409–1413.
 39. Bussay, A., Szinell, Cs., Varga, Gy. Aszályindexek gyakorlati alkalmazhatósága. In: Az időjárás és az éghajlat hatása a növény-víz kapcsolatrendszerre. (szerk. Mika J.) Meteorológiai Tudományos Napok, **1998**, Budapest, 103–112.
 40. Bussay, A. Az éghajlati változékonyság hatása a terméseredményekre. *Természettudományi Közlöny*, **1996**, 127, I. különszám, 75–78.
 41. Cakir, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, **2004**, 89(1), 1–16, DOI: 10.1016/j.fcr.2004.01.005

42. Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, **2014**, 383, 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8
43. Campbell, B. M., Thornton, P., Zougmore, R., van Asten, P., Lipper, L. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **2014**, 8, 39–43. DOI: 10.1016/J.COSUST.2014.07.002
44. Caradonia, F., Ronga, D., Tava, A., Francia, E. Plant Biostimulants in Sustainable Potato Production: An Overview. *Potato Research*, **2022**, 65, 83–104, DOI: 0.1007/s11540-021-09510-3
45. Casson, S., Gray, J.E. Influence of environmental factors on stomatal development. *New Phytol.*, **2008**, 178, 9–23. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02351.x
46. Chapin, F.S., Walter, C.H.S., Clarkson, D.T. Growth response of barley and tomato to nitrogen stress and its control by abscisic acid, water relations and photosynthesis. *Planta*, **1988**, 173(3), 352–366.
47. Chapman, V.J., Chapman, D.J. *Seaweeds and Their Uses*. 3rd Edition, Chapman and Hall, Ltd., London, **1980**. DOI: 10.1007/978-94-009-5806-7
48. Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Funct Plant Biol.*, **2003**, 30(3):239–264. doi: 10.1071/FP02076
49. Chaves, M.M., Costa, J.M., Zarrouk, O., Pinheiro, C., Lopes, C.M., Pereira, J.S. Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool?, *Plant Science*, **2016**, 251, 54–64. DOI: 10.1016/J.PLANTSCI.2016.06.015
50. Chen, X., Zhang, H., Teng, A., Zhang, C., Lei, L., Ba, Y., Wang, Z. Photosynthetic characteristics, yield and quality of sunflower response to deficit irrigation in a cold and arid environment. *Frontiers in Plant Science*, **2023**, 14:1280347. DOI: 10.3389/fpls.2023.1280347.
51. Collados-Lara, A.J., Pulido-Velazquez, D., Pardo-Igúzquiza, E. An Integrated Statistical Method to Generate Potential Future Climate Scenarios to Analyse Droughts. *Water*, **2018**, 10, 1224. DOI: 10.3390/w10091224
52. Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski Jr., W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J., Wehner, M. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, (Cambridge: Cambridge University Press), **2013**.
53. Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Farquhar, G.D. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot.*, **2004**, 2447–2460. DOI: 10.1093/jxb/erh277
54. Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Farquhar, G.D. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science*, **2002**, 42, 122–131. DOI: 10.2135/cropsci2002.1220
55. Crafts-Brandner, S.J., Salvucci, M.E. Sensitivity of photosynthesis in a C₄ plant, maize, to heat stress, *Plant Physiology*, **2002**, 129(4), 1773–1780, DOI: 10.1104/pp.002170

56. Csajbók, J., Kutasy, E., Hunyadi Borbély, É., Lesznyák M. Comparing the photosynthetic activity of maize, winter wheat, potato and some significant weed. Alps-Adria Scientific Workshop, Cereal Research Communications, Obervellach, Austria **2007**, 325–328.
57. Csajbók, J. A termesztési tényezők, a talajnedvesség és a produkció összefüggései eltérő termesztési változatokban. Doktori (Ph.D.) értekezés, DATE, Debrecen, **1998**.
58. Csajbók, J., Kutasy, E. A transzspiráció és a fotoszintetikus aktivitás összefüggései kukoricában Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben (Szerk. Lehoczy É.) MTA AK TAKI, Budapest, **2012**, ISBN: 97896389041-6-4, 151-154.
59. Csajbók, J., Kutasy, E., Hunyadi Borbélyné, É., Lesznyák, M., Futó, Z., Jakab, P. Effects of nutrient supply on the photosynthesis of maize hybrids, Cereal Research Communications, **2005**, 33(1), 169–172
60. Csajbók, J., Kutasy, E., Pepó, P. The water use efficiency of maize depending on abiotic stress factors in field experiments. Columella, **2014**, 1(1) 23–28, DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2014.1.1.23
61. Csajbók, J.; Pepó, P.; Kutasy, E. Photosynthetic and Agronomic Traits of Winter Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties. Agronomy, **2020**, 10, 1999, DOI: 10.3390/agronomy10121999
62. Csathó, P. Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. Agrokémia és Talajtan, **2003**, 52(1), 169–184. DOI: 10.1556/Agrokem.52.2003.1–2.14.
63. Dai, A. Erratum: Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, **2013**, 3, 52–58. doi: 10.1038/nclimate1811
64. de Groot, C.C., Boogaard van den, R., Marcelis, L.F.M., Harbison, J., Lambers, H. Contrasting effects of N and P deprivation on the regulation of photosynthesis in tomato plants in relation to feedback limitation. Journal of Experimental Botany, **2003**, 54(389), 54, 1957–1967, 10.1093/jxb/erg193.
65. Debreczeni, B., Debreczeni, B-né: A tápanyag és a vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó, **1983**, Budapest
66. Dittrich, M., Mueller, H.M., Bauer, H., Peirats-Llobet, M., Rodriguez, P.L., Geilfus, C.M., Carpentier, S.C., Al Rasheid, K.A.S., Kollist, H., Merilo, E., Herrmann, J., Müller, T., Ache, P., Hetherington, A.M., Hedrich, R. The role of Arabidopsis ABA receptors from the PYR/PYL/RCAR family in stomatal acclimation and closure signal integration. Nature Plants, **2019**, 26, DOI: 10.1038/s41477-019-0490-0
67. Dlugokencky, E., Tans, P. NOAA/ESRL **2024**. (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)
68. Dodd, I.C. Rhizosphere manipulations to maximize ‘crop per drop’ during deficit irrigation. Journal of Experimental Botany, **2009**, 60(9), 2454–2459, DOI: 10.1093/jxb/erp192.
69. Dóka, L.F., Pepó, P. Role of water supply in monoculture maize (*Zea mays* L.) production. Cereal Research Communications, **2007**, 35(2), 353–356.
70. Droppa, M., Erdei, S., Horváth, G., Kissimom, J., Mészáros, A., Szalai, J., Kosáry, J. Növénybiokémiai és élettani gyakorlatok. Budapest University of Economic Sciences and Public Administration: Budapest, Hungary, **2003**; 88.

71. Du, Q.S., Fan, X.W., Wang, C.H., Huang, R.B. A Possible CO₂ Conducting and Concentrating Mechanism in Plant Stomata SLAC1 Channel. *PLoS ONE*, **2011**, 6(9), e24264. DOI: 10.1371/journal.pone.0024264
72. Dunay, S., Posza, I., Varga-Haszonits, Z. Egyszerű módszer a tényleges evapotranszpiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás meteorológiája. *Öntözéses Gazdálkodás*, **1968**, 6(2), 39–48.
73. Dunkel, Z., Stollár, A., Szabó, T., Tiringner, Cs. A területi párolgás meghatározása Magyarországon. *Időjárás*, **1990**, 94, 149–155.
74. Echarte, L., Echarte, M.M., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Alfonso, C., Cambareri, M., Hernandez, M.D., Nagore, M.L., Della Maggiora, A. Sunflower evapotranspiration and water use efficiency in response to plant density. *Crop Science*, **2019**, 60(1) DOI: 10.1002/csc2.20001
75. Edwards, C.E., Ewers, B.E., McClung, C.R., Lou, P., Weinig, C. Quantitative Variation in Water-Use Efficiency across Water Regimes and Its Relationship with Circadian, Vegetative, Reproductive, and Leaf Gas-Exchange Traits. *Molecular Plant*, **2012**, 5(3), 653–668, DOI: 10.1093/mp/sss004
76. Ehleringer, J., Pearcy, R.W. Variation in quantum yield for CO₂ uptake among C-3 and C-4 plants. *Plant Physiology*, **1983**, 73, 555–559.
77. Elezovic, I., Datta, A., Vrbnicanin, S., Glamoclija, D., Simic, M., Malidza, G., Knezevic, S.Z. Yield and yield components of imidazolinone-resistant sunflower (*Helianthus annuus* L.) are influenced by pre-emergence herbicide and time of post-emergence weed removal, *Field Crops Research*, **2012**, 128, 137–146, DOI: 10.1016/j.fcr.2011.12.020.
78. Evans, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, **1989**, 78, 9–19.
79. Evans, J.R., Clarke, V.C. The nitrogen cost of photosynthesis, *JF Journal of Experimental Botany*, **2018**, DOI: 10.1093/jxb/ery366.
80. Farkas, Z., Anda, A., Vida, G., Veisz, O., Varga, B. CO₂ Responses of Winter Wheat, Barley and Oat Cultivars under Optimum and Limited Irrigation. *Sustainability* **2021**, 13, 9931. DOI: 10.3390/su13179931.
81. Farquhar, G.D., Sharkey, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, **1982**, 33, 317–345. DOI: 10.1146/annurev.pp.33.060182.001533.
82. Fernández, J.E., Moreno, F., Murillo, J.M., Cayuela, J.A., Fernández-Boy, F.C. Water use and yield of maize with two levels of nitrogen fertilization in SW Spain. *Agricultural Water Management*, **1996**, 29, 215–233. DOI: 10.1016/0378-3774(95)01192-7.
83. Field, C. Mooney, H.A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In *On the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish), **1986**, 25–55. Cambridge University Press, Cambridge
84. Filho, M.S., Menezes, A.S., de Sousa, P.G.R., Neto, L.G.P., de Azevedo, B.M., de Araújo Viana, T.V. Sunflower performance influenced by water suppression management. *Agricultural Engineering International, CIGR Journal*, **2021**, 23(4), 31–40.

85. Flexas, J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: why so much little success? *Plant Science*, **2016**, 251, 155–161. DOI: 10.1016/J.PLANTSCI.2016.05.002
86. Flexas, J., Medrano, H. Drought inhibition of photosynthesis in C3 plants: Stomatal limitations revisited. *Ann. Bot.*, **2002**, 89, 183–189.
87. Flexas, J., Niinemets, Ü., Gallé, A., Barbour, M.M., Centritto, M., Diaz-Espejo, A., Douthe, C., Galmés, J., Ribas-Carbo, M., Rodriguez, P.L., Rosselló, F., Soolanayakanahally, R., Tomas, M., Wright, I.J., Farquhar, G.D., Medrano, H. Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research*, **2013**, 117, 45–59. DOI: 10.1007/s11120-013-9844-z.
88. Flint, L.E., Flint, A.L. Downscaling future climate scenarios to fine scales for hydrologic and ecological modeling and analysis. *Ecological Processes*, **2012**, 1(2), DOI: 10.1186/2192-1709-1-2.
89. Franks, P.J., Adams, M.A., Amthor, J.S., Barbour, M.M., Berry, J.A., Ellsworth, D.S., Farquhar, G.D., Ghannoum, O., Lloyd, J., McDowell, N., Norby, R.J., Tissue, D.T., von Caemmerer, S. Sensitivity of plants to changing atmospheric CO₂ concentration: from the geological past to the next century. *New Phytologist*, **2013**, 197, 1077–1094.
90. Franks, P.J., Doheny-Adams, W.T., Britton-Harper, Z.J., Gray, J.E. Increasing water-use efficiency directly through genetic manipulation of stomatal density. *New Phytology*, **2015**, 207, 188–195. DOI: 10.1111/nph.13347.
91. Fredeen, A.L., Gamon, J.A., Field, C.B. Responses of photosynthesis and carbohydrate-partitioning to limitations in nitrogen and water availability in field-grown sunflower, *Plant, Cell & Environment*, **1991**, 14(9), DOI: 10.1111/j.1365-3040.1991.tb00966.x.
92. Gao, X., Gu, F., Mei, X., Hao, W., Li, H., Gong, D., Li, X. Light and Water Use Efficiency as Influenced by Clouds and/or Aerosols in a Rainfed Spring Maize Cropland on the Loess Plateau. *Crop Science*, **2018**, 58(2), 853–862, DOI: 10.2135/cropsci2017.06.0341
93. Gao, X., Zou, C., Wang, L., Zhang, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, **2006**, 29, 1637–1647. DOI: 10.1080/01904160600851494
94. Gazoulis, I., Kanatas, P., Antonopoulos, N., Kokkini, M., Tsekoura, A., Demirtzoglou, T., Travlos, I. The Integrated Effects of Biostimulant Application, Mechanical Weed Control, and Herbicide Application on Weed Growth and Maize (*Zea mays* L.) Yield. *Agronomy*, **2023**, 13, 2614. DOI: 10.3390/agronomy13102614
95. Gheysari, M., Loescher, H.W., Sadeghi, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J., Hoogenboom, G. Chapter Three - Water-Yield Relations and Water Use Efficiency of Maize Under Nitrogen Fertigation for Semiarid Environments: Experiment and Synthesis, Editor: Sparks, D.L. *Advances in Agronomy*, Academic Press, **2015**, 130, 175–229, DOI: 10.1016/bs.agron.2014.12.001.
96. Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, **2010**, 327, 812–818.

97. Göçmen, E. The effect of different irrigation treatment on yield and yield parameters of sunflowers in semi-arid conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, **2021**, 18(1), 80–90. DOI: 10.33462/jotaf.716280
98. Göçmen, E., Salbas, B., Erdem, T. Effects of different irrigation regimes on seed yield, oil content and fatty acid quality of the sunflower in thrace region, Turkey. *Journal of Elementology*, **2022**, 27(3), 597–609, DOI: 10.5601/jelem.2022.27.2.2237
99. Guo, Y., Yin, W., Fan, H., Fan, Z., Hu, F., Yu, A., Zhao, C., Chai, Q., Aziiba, E.A., Zhang, X. Photosynthetic Physiological Characteristics of Water and Nitrogen Coupling for Enhanced High-Density Tolerance and Increased Yield of Maize in Arid Irrigation Regions. *Frontiers in Plant Science*, **2021**, 12, 726568, DOI: 10.3389/fpls.2021.726568
100. Guoju, X., Fengju, Z., Zhengji, Q., Yubi, Y. Impact of climate change on water use efficiency by wheat, potato and corn in semiarid areas of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **2013**, 181, 108–114. doi: 10.1016/j.agee.2013.09.019.
101. Hagyó, A., Németh, T., Farkas, Cs., Lukács, A., Csorba, Sz. Water cycle of different wheat genotypes under different water stresses. *Cereal Research Communication*, **2007**, Special Issue, 35, 437–440.
102. Hamdy, A., Ragab, R., Scarascia-Mugnozza, E. Coping with water scarcity: Water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage*, **2003**, 52(1), 3–20, DOI: 10.1002/ird.73
103. Hammad, H.M., Farhad, W., Abbas, F., Fahad, S., Saeed, S., Nasim, W., Bakhat, H.F. Maize plant nitrogen uptake dynamics at limited irrigation water and nitrogen. *Environmental Science and Pollution Research*, **2017**, 24(3), 2549–2557. DOI: 10.1007/s11356-016-8031-0
104. Hao, B., Xue, Q., Marek, T.H., Jessup, K.E., Hou, X., Xu, W., Bynum, E.D., Bean, B.W. Soil water extraction, water use, and grain yield by drought-tolerant maize on the Texas High Plains. *Agricultural Water Management*, **2015**, 155, 11–21. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.03.007
105. Hatfield, J.L. Increased temperatures have dramatic effects on growth and grain yield of three maize hybrids. *Agricultural and Environmental Letters*, **2016**, 1(1), 150006. doi: 10.2134/acl2015.10.0006
106. Hatfield, J.L., Dold, C. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Sciences*, **2019**, 10, 103, DOI: 10.3389/fpls.2019.00103
107. Hatfield, J.L., Prueger, J.H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development, *Weather and Climate Extremes*, **2015**, 10, Part A, 4–10, DOI: 10.1016/j.wace.2015.08.001.
108. Hernandez, M., Echarte, L., Della Maggiora, A., Cambareri, M., Barbieri, P. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. *Field Crops Research*, **2015**, 178, 8–15. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.03.017
109. Hirasawa, T., Hsiao, T.C. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, **1999**, 62(1), 53–62.

110. Howell, T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, **2001**, 93, 281–289. DOI: 10.2134/agronj2001.932281x
111. Huang, R., Birch, C.J., George, D. Water use efficiency in maize production - the challenge and improvement strategies. Maize association of Australia 6th triennial Conference, **2006**.
112. Izsák, B., Szentimrey, T., Lakatos, M., Pongrácz, R., Szentes, O. Creation of a representative climatological database for Hungary from 1870 to 2020. *Időjárás*, **2022**, 126, 1–26. Doi: 10.28974/idojaras.2022.1.1
113. Janda, T., Szalai, G., Ducruet, J.-M., Páldi, E. Changes in photosynthesis in inbred maize lines with different degrees of chilling tolerance grown at optimum and suboptimum temperatures. *Photosynthetica*, **1998**, 35(2), 205–212.
114. Jankauskienė, J., Mockevičiūtė, R., Jurkonienė, S., Gavelienė, V., Buzytė, K., Ustilaitė, D., Todorova, D. Microbial biostimulant counteracts negative effects of herbicides on oilseed rape growth. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, **2024**, 37, 101351, DOI: 10.1016/j.scp.2023.101351
115. Javed, A., Iqbal, M., Farooq, M. Effect of nitrogen fertilization under plastic and straw mulched conditions on crop yield and water use efficiency in Maize-wheat rotation. *Applied Ecology and Environmental Research*, **2018**, 16(6), 7395–7411. DOI: 10.15666/aeer/1606_73957411
116. Ji, Y., Zhou, G., Ma, X., Wang, Q., Liu, T. Variable photosynthetic sensitivity of maize (*Zea mays* L.) to sunlight and temperature during drought development process. *Plant, Soil and Environment*. **2017**, 63(11), 505–511. DOI: 10.17221/664/2017-PSE.
117. Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Zhang, W., Wang, Y. Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*, **2004**, 14(1), DOI: 10.1038/s41598-024-57031-z
118. Johnson, R.R., Frey, N.M., Moss, D.N. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. *Crop Science*, **1974**, 14, 728–731.
119. Kadam, N.N., Xiao, G., Melgar, R.J., Bahuguna, R.N., Quinones, C., Tamilselvan, A., Prasad, P.V.V., Jagadish, K.S.V. Agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO₂ interactions in cereals. *Advances in Agronomy*, **2014**, 127, 111–156, DOI: 10.1016/B978-0-12-800131-8.00003-0
120. Kádár, I. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI, **1992**, Budapest
121. Kanatas, P., Travlos, I., Gazoulis, I., Antonopoulos, N., Tataridas, A., Mpechliouli, N., Petraki, D. Biostimulants and Herbicides: A Promising Approach towards Green Deal Implementation. *Agronomy*, **2022**, 12, 3205. DOI: 10.3390/agronomy12123205.
122. Kang, S., Shi, W., Zhang, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*, **2000**, 67(3), 207–214, DOI: 10.1016/S0378-4290(00)00095-2.
123. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Rouphael, Y. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower

- under full and deficit irrigation conditions, *Agricultural Water Management*, **2007**, 90(3), 213–223, DOI: 10.1016/j.agwat.2007.03.009.
124. Kasem, A.A., ElSkhawy, G.A.K., Gomaa, M. Growth, Productivity and Water Use of Sunflower Crop Under Drip Irrigation System. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, **2015**, 20(3), 420–437. DOI: 10.21608/jalexu.2015.161550
 125. Katsenios, N., Sparangis, P., Vitsa, S., Leonidakis, D., Efthimiadou, A. Application of Biostimulants and Herbicides as a Promising Co-Implementation: The Incorporation of a New Cultivation Practice. *Agronomy*, **2023**, 13, 2634. DOI: 10.3390/agronomy13102634
 126. Kattge, J., Knorr, W., Raddatz, T., Wirth, C. Quantifying photosynthetic capacity and its relationship to leaf nitrogen content for global-scale terrestrial biosphere models. *Global Change Biology*, **2009**, 15, 976–991.
 127. Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., Tas, I. Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil*, **2003**, 253, 287–292, DOI: 10.1023/A:1024843419670.
 128. Kazemalilou, S., Najafi, N., Reyhanitabar, A., Ghaffari, M., Azadmard-Damirchi, S. Sewage Sludge and Phosphorus Increase Seed Yield, Oil and Protein Concentrations and Water Use Efficiency of Sunflower Under Different Levels of Water Supply. *Gesunde Pflanzen*, **2023**, 75(6), 2865–2877, DOI: 10.1007/s10343-023-00864-x
 129. Killi, D., Bussotti, F., Raschi, A., Haworth, M. Adaptation to high temperature mitigates the impact of water deficit during combined heat and drought stress in C3 sunflower and C4 maize varieties with contrasting drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, **2017**, 159(2), 130–147. DOI: 10.1111/ppl.12490
 130. Kim, S., Gitz, D.C., Sicher, R.C., Baker, J.T., Timlin, D.J., Reddy, V.R. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂, *Environmental and Experimental Botany*, **2007**, 61(3), 224–236, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.06.005.
 131. Koflanovits-Adámy, E., Szentimrey, T. The variation of the precipitation amounts in the Carpatian Basin during the present century, *Időjárás*, **1986**, 4(2), 206–216.
 132. Koppány, Gy., Makra, L. Persistence probability of the drought index made by Pálfai for five regions of the Great Hungarian Plain. *Acta Climatologica Szegediensis*, **1995**, 28–29, 53–62.
 133. Kumawat, N., Kumar, R., Kumar, S., Meena, V.S. Nutrient Solubilizing Microbes (NSMs): Its Role in Sustainable crop production. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*; Meena, V., Mishra, P., Bisht, J., Pattanayak, A., Eds.; Springer: Singapore, **2017**; 25–61. DOI: 10.1007/978-981-10-5343-6_2.
 134. Kutasy, E., Buday-Bódi, E., Virág, I.C., Forgács, F., Melash, A.A., Zsombik, L., Nagy, A., Csajbók, J. Mitigating the Negative Effect of Drought Stress in Oat (*Avena sativa* L.) with Silicon and Sulphur Foliar Fertilization. *Plants*, **2022**, 11(1), 30, DOI: 10.3390/plants11010030.
 135. Kutasy, E., Csajbók, J., Borbély, É.H. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Cereal Research Communications*, **2005**, 33, 173–176.

136. Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S. Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás*. **2013**. 117(1), 143–158.
137. Lan, X., Tans, P., Thoning, K.W. Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version **2024-06** <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>
138. Lehoczky, É., Márton, L. Water content and biomass production of weeds in maize. *Növénytermelés*, **2012**, 61(1), 125–128.
139. Lehoczky, É. A gyomnövények szerepe a talaj-növény rendszer tápanyagforgalmában. MTA Doktori Értekezés, **2004**. Készthely.
140. Liu, L., Ji, H., An, J., Shi, K., Ma, J., Liu, B., Tang, L., Cao, W., Zhu, Y. Response of biomass accumulation in wheat to low-temperature stress at jointing and booting stages. *Environmental and Experimental Botany*, **2019**, 157, 46–57. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.09.026.
141. Li, Y.T., Xu, W.W., Ren, B.Z., Zhao, B., Zhang, J., Liu, P., Zhang Z.S. High temperature reduces photosynthesis in maize leaves by damaging chloroplast ultrastructure and photosystem II. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **2020**; 206, 548–564. <https://doi.org/10.1111/jac.12401>
142. Li, Z., Fontanier, C., Dunn, B.L. Physiological response of potted sunflower (*Helianthus annuus* L.) to precision irrigation and fertilizer. *Scientia Horticulturae*, **2020**, Vol. 270, DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109417
143. Lichtenthaler, H.K., Wellbum, A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, **1983**, 603, 591–592.
144. LI-COR, Inc. *Li-6800 Portable Photosynthesis System, Software Version 1.2*; LI-COR, Inc.: Lincoln, NE, USA, **2017**.
145. Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, **2011**, 333, 616–620.
146. Lönhardné Bory, É., Németh, I., Ragasits, I. A fotoszintetikus potenciál hatása a búza kalászhosszúságára és kalásztömegére. *Növénytermelés*, **1996**, 45(1), 53–59.
147. Lu, C., Zhang, J. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*, **2000**, 151(2), 135–143.
148. Malefyt, T., Quakenbush, L. Influence of Environmental Factors on the Biological Activity of the Imidazolinone Herbicides. in *The Imidazolinone Herbicides*, eds D. L. Shaner and S. L. O’Conner (BocaRaton, FL: CRC Press), **1991**, 1–26.
149. Matysiak, K., Miziniak, W., Kaczmarek, S., Kierzek, R. Herbicides with natural and synthetic biostimulants in spring wheat. *Crop Production*, **2018**, 48(11), e20180405, DOI: 10.1590/0103-8478cr20180405
150. McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D.G., Yepez, E.A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, **2008**, 178(4), 719–739, DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x

151. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17–22. January **1993**, Anaheim, California
152. Meier, U. Growth Stages of Mono and Dicotyledonous Plants. BBCH Monograph, Julius Kühn-Institut (JKI) Quedlinburg **2018**, DOI: 10.5073/20180906-074619 ISBN: 978-3-95547-071-5
153. Mejri, M., Siddique, K.H.M., Saif, T., Abdelly, C., Hessini, K. Comparative effect of drought duration on growth, photosynthesis, water relations, and solute accumulation in wild and cultivated barley species. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **2016**, 179, 327–335.
154. Mika, J. Nagyobb globális felmelegedés várható magyarországi sajátosságai. *Időjárás* **1991**, 95, 265–278.
155. Mika, J., Ambrózy, P., Bartholy, J., Nemes, Cs., Pálvölgyi, T. Az Alföld éghajlatának időbeli változékonysága és változási tendenciái a hazai szakirodalom tükrében. *Vízügyi Közlemények*, **1995**, 77(3-4), 261–283.
156. Molnár, K. Hazai csapadékváltozások. *Természettudományi Közlöny*, 127. **1996**, I. különszám, 66–68.
157. Morison, J.I.L., Baker, N.R., Mullineaux, P.M., Davies, W.J. Improving water use in crop production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **2008**, 363(1491), 639–658. DOI: 10.1098/rstb.2007.2175
158. Mu, X., Chen, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency, *Plant Physiology and Biochemistry*, **2021**, 158, 76–82, DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.019.
159. Nagore, M.L., Maggiora, A.D., Andrade, F.H., Echarte, L. Water use efficiency for grain yield in an old and two more recent maize hybrids. *Field Crops Research*. **2017**, 214, 185–193. doi: 10.1016/j.fcr.2017.09.013
160. Nemes, Cs., Climatic tendencies and drought events in Hungary. In: *Climate Variability and Climate Change, Vulnerability and Adaptation. Proceedings of the Workshop, Prague, Czech Republic, 11–16 September*, **1995**.
161. Neshev, N., Balabanova, D., Yanev, M., Mitkov, A. Is the plant biostimulant application ameliorative for herbicide-damaged sunflower hybrids? *Industrial Crops and Products*, **2022**, 182(31):114926, DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114926
162. Neshev, N., Yanev, M., Mitkov, A., Tonev, T. Efficacy and selectivity of imazamox-containing herbicides at Clearfield® and Clearfield® Plus sunflower hybrids. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, **2020**, LXIII(1), 450–457.
163. Noor, H., Ding, P., Ren, A., Sun, M., Gao, Z. Effects of Nitrogen Fertilizer on Photosynthetic Characteristics and Yield. *Agronomy*, **2023**, 13, 1550. DOI: 10.3390/agronomy13061550
164. Ochogavía, A.C., Gil, M., Picardi, L., Nestares, G. Precision phenotyping of imidazolinone-induced chlorosis in sunflower. *Breeding Science*, **2014**, 64, 416–421. DOI: 10.1270/jsbbs.64.416
165. Ohba, K., Minoura, M., Safarpour, M.M., Picard, G.L., Safarpour, H. Method for the determination of imazamox and its two hydroxyl and glucose conjugate metabolites in adzuki beans by capillary electrophoresis. *Journal of Pesticide Science*, **1997**, 22, 277–281. DOI: 10.1584/jpestics.22.277

166. Olesen, J., Trnka, M., Kersebaum, K., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F., Seguin, B., Skjelvåg, A. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.* **2011**, 34, 96–112. DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.003.
167. Országos Meteorológiai Szolgálat. Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ - DMCSEE projekt: A projekteredmények összegzése, **2012**.
168. Osborne, C.P., Sack, L. Evolution of C4 plants: a new hypothesis for an interaction of CO₂ and water relations mediated by plant hydraulics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, **2012**, 367, 583–600.
169. O'Shaughnessy, S.A., Kim, M., Andrade, M.A., Colaizzi, P.D., Evett, S.R. Response of drought-tolerant corn to varying irrigation levels in the Texas High Plains. *Transactions of the ASABE*, **2019**, 62(5), 1365–1375. DOI: 10.13031/trans.13234
170. Pálfi, I. Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai Tanulmányok Közlekedési Dokumentációs Kft. Budapest, **2004**, ISBN 9635523823
171. Pan, L., George-Jaeggli, B., Borrell, A., Jordan, D., Koller, F., Al-Salman, Y., Ghannoum, O., Cano, F.J. Coordination of stomata and vein patterns with leaf width underpins water use efficiency in a C4 crop. *Authorea*, **2021**. DOI: 10.22541/au.162009415.55042548/v1
172. Park, Y., Chow, W.S., Anderson, J. M., Hurry, V.M. Differential susceptibility of Photosystem II to light stress in light acclimated pea leaves depends on the capacity for photochemical and non-radiative dissipation of light. *Plant Science*, **1996**, 115(2), 137–149.
173. Paul, M.J., Driscoll, S.P. Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signalling nitrogen deficiency through source:sink imbalance. *Plant, Cell and Environment*, **1997**, 20, 110–116. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1997.d01-17.x.
174. Pearcy, R.W., Ehleringer, J. Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant, Cell & Environment* **1984**, 7, 1–13.
175. Pepó, P., Novák, A. Correlation between photosynthetic traits and yield in sunflower. *Plant, Soil and Environment*, **2016**, 62(7), 335–340. DOI: 10.17221/202/2016-PSE
176. Pethő, M. Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, **1993**, Budapest
177. Petrasovits, I. Az agrohídrologia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó, **1988**, Budapest
178. Pfenning, M., Palfay, G., Guillet, T. The CLEARFIELD® technology—a new broad-spectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **2008**, 21, 649–653.
179. Pfenning, M., Tan, S., Perez-Brea, J. Improved weed control in Clearfield-Plus sunflowers with superior herbicide solutions. *Proceedings of 18th International Sunflower Conference*, **2012**, Mar del Plata, Argentina, 535–538.
180. Pons, T.L., Van der Werf, A., Lambers, H. Photosynthetic nitrogen use efficiency of inherently slow- and fast-growing species: possible explanations for observed differences. In: Roy J, Garnier E, eds. *A whole plant perspective on carbon–nitrogen interactions*. The Hague: SPB Academic Publishing, **1994**, 61–77.
181. Privantu, A.E., Olaru, A.L., Murtaza, D.F., Dobre, S.C. Biostimulants and their role in the development of maize crops. *Annals of the University of Craiova - Agriculture*,

- Montanology, Cadastre Series, **2023**, 53(1), 237–247, DOI: 10.52846/aamc.v53i1.1467
182. Qiang, B., Zhou, W., Zhong, X., Fu, C., Cao, L., Zhang, Y., Jin, X. Effect of nitrogen application levels on photosynthetic nitrogen distribution and use efficiency in soybean seedling leaves, *Journal of Plant Physiology*, **2023**, 287, DOI: 10.1016/j.jplph.2023.154051.
 183. Qiang, S., Zhang, Y., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Yan, S., Wu, Y. Maize yield, rainwater and nitrogen use efficiency as affected by maize genotypes and nitrogen rates on the Loess Plateau of China. *Agric. Water Manag.*, **2019**, 213, 996–1003, DOI: 10.1016/j.agwat.2018.12.021
 184. Ragályi, P., Szabó, A., Rékási, M., Csathó, P., Csontos, P. Effect of Different Macronutrient Supply Levels on the Drought Tolerance of Rainfed Grass Based on Biomass Production, Water Use Efficiency and Macroelement Content. *Horticulturae*, **2023**, 9, 1337. DOI: 10.3390/horticulturae9121337
 185. Raschke, K. Stomatal responses to pressure changes and interruptions in the water supply of detached leaves of *Zea mays* L.. *Plant Physiology*, **1970**, 45, 415–423.
 186. Rawlins, S.L. Measurement of water content and the state of water in soils. In *Water deficits and plant growth. Volume IV, Soil water measurement, plant responses*, Academic Press, New York, **1976**,. 5–47.
 187. Rogers, A., Fischer, B.U., Bryant, J., Frehner, M., Blum, H., Raines, C.A., Long, S.P. Acclimation of photosynthesis to elevated CO₂ under low-nitrogen nutrition is affected by the capacity for assimilate utilization. Perennial ryegrass under free-air CO₂ enrichment. *Plant Physiology*, **1998**, 118, 683–689, DOI: 10.1104/pp.118.2.683.
 188. Rojano-Delgado, A.M., Priego-Capote, F., Luque de Castro, M.D., De Prado, R. Mechanism of imazamox resistance of the Clearfield® wheat cultivar for better weed control. *Agronomy for Sustainable Development*, **2015**, 35, 639–648, DOI: 10.1007/s13593-014-0232-7
 189. Rotundo, J.L., Tang, T., Messina, C.D. Response of maize photosynthesis to high temperature: Implications for modeling the impact of global warming. *Plant Physiology and Biochemistry*, **2019**, 141, 202–205, DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.05.035
 190. Rufty Jr, T.W., Huber, S.C., Volk, R.J. Alterations in leaf carbohydrate metabolism in response to nitrogen stress. *Plant Physiology*, **1988**, 88, 725–730, DOI: 10.1104/pp.88.3.725.
 191. Ruzsányi, L. A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növények vízfogyasztására vízhasznosítására. *Növénytermelés*, **1973**, 23(3), 249–258.
 192. Ruzsányi, L. Az aszály hatása és enyhítésének lehetőségei a növénytermesztésben. *Éghajlat, időjárás, aszály*. MTA Aszály Bizottság, **1996**, Budapest
 193. Saad-Allah, K.M., Nessem, A.A., Ebrahim, M.K.H., Gad, D. Evaluation of Drought Tolerance of Five Maize Genotypes by Virtue of Physiological and Molecular Responses. *Agronomy*, **2022**, 12, 59. DOI: 10.3390/agronomy12010059.
 194. Šafránková, I., Hejnák, V., Stuchlíková, K., Česká, J. The effect of abscisic acid on rate of photosynthesis and transpiration in six barley genotypes under water stress. *Cereal Research Communications*, **2007**, 35(2), 1013–1016.

195. Sage, R.F. The evolution of C₄ photosynthesis. *New Phytologist*, **2004**, 161, 341–370, DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.00974.x.
196. Sage, R.F., Christin, P.A., Edwards, E.J. The C₄ plant lineages of planet Earth. *Journal of Experimental Botany*, **2011**, 62, 3155–3169, DOI: 10.1093/jxb/err048.
197. Sage, R.F., Sage, T.L., Kocacinar, F. Photorespiration and the evolution of C₄ photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, **2012**, 63, 19–47, DOI: 10.1146/annurev-arplant-042811-105511.
198. Sala, C.A., Bulos, M., Altieri, E., Ramos, M.L. Genetics and breeding of herbicide tolerance in sunflower. *Helia*, **2012**, 35(57), 57-70. DOI: 10.2298/HEL1257057S
199. Sangiorgio, D., Cellini, A., Donati, I., Pastore, C., Onofrietti, C., Spinelli, F. Facing Climate Change: Application of Microbial Biostimulants to Mitigate Stress in Horticultural Crops. *Agronomy* **2020**, 10, 794. DOI: 10.3390/agronomy10060794
200. Schauburger, B., Archontoulis, S., Arneth, A., Balkovic, J., Ciais, P., Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Khabarov, N., Müller, C., Pugh, T.A.M., Rolinski, S., Schaphoff, S., Schmid, E., Wang, X., Schlenker, W., Frieler, K. Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nat Commun*, **2017**, 8, 13931, DOI: 10.1038/ncomms13931
201. Schmitt, M.R., Edwards, G.E. Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat, and rice: A comparison between C₃ and C₄ photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, **1981**, 32, 459–466. DOI: 10.1093/jxb/32.3.459.
202. Schoo, B., Wittich, K.P., Böttcher, U., Kage, H., Schittenhelm, S. Drought Tolerance and Water-Use Efficiency of Biogas Crops: A Comparison of Cup Plant, Maize and Lucerne-Grass. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **2017**, 203(2), 117–130. DOI: 10.1111/jac.12173
203. Sepehri, A., Sanavy, S.A.M.M. Water and nitrogen stress on maize photosynthesis. *Journal of Biological Sciences (ISSN 1608-4217)*, **2003**, 6, 578–584.
204. Shaner, D. L., Mallipudi, N. M. Mechanisms of selectivity of the imidazolinones, in *The Imidazolinone Herbicides*, eds D. L. Shaner and S. L. O’Conner (BocaRaton, FL: CRC Press), **1991**, 91–102.
205. Shangguan, Z.P., Shao, M.A., Dyckmans, J. Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, **2000**, 44, 141–149.
206. Shao, R., Jia, S., Tang, Y., Zhang, J., Li, H., Li, L., Chen, J., Guo, J., Wang, H., Yang, Q., Wang, Y., Liu, T., Zhao, X. Soil water deficit suppresses development of maize ear by altering metabolism and photosynthesis, *Environmental and Experimental Botany*, **2021**, 192, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104651.
207. Sharma, H.S.S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J.R., Martin, T. Plant Biostimulants: A Review on the Processing of Macroalgae and Use of Extracts for Crop Management to Reduce Abiotic and Biotic Stresses. *Journal of Applied Phycology*, **2014**, 26, 465–490. DOI: 10.1007/s10811-013-0101-9
208. Sharma, P. K., Anand P., Sankhalkar, S., Shetye, R. Photochemical and biochemical changes in wheat seedlings exposed to supplementary ultraviolet-B radiation. *Plant Science*, **1998**, 132(1), 21–30.

209. Shirley, H.L. The influence of light intensity and light quality upon the growth of plants. *American Journal of Botany*, **1929**, 16, 354–390.
210. Sinclair T.R., Muchow, R.C. Radiation Use Efficiency, Editor(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*, Academic Press **1999**, 65, 215–265. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60914-1.
211. Sivakumar, D., Jifon, J. Influence of photosensitive shade nettings on postharvest quality of vegetables. In: Siddiqui, M.W. (Ed.), *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, **2018**, 121–138.
212. Soltani, N., Shropshire, C., Sikkema, P.H. Effect of biostimulants added to postemergence herbicides in corn, oats and winter wheat. *Agricultural Sciences*, **2015**, 6, 527–534. DOI: 10.4236/as.2015.65052
213. Soothar, R.K., Singha, A., Soomro, S.A., Chachar, A., Kalhor, F., Rahaman A. Effect of different soil moisture regimes on plant growth and water use efficiency of Sunflower: experimental study and modeling. *Bull. Natl. Res. Cent.*, **2021**, 45, 121 DOI: 10.1186/s42269-021-00580-4
214. Stuchlíková, K., Hejnák, V., Safránková, I. The effect of abscisic acid and benzylaminopurine on photosynthesis and transpiration rates of maize (*Zea mays* L.) under water stress and subsequent rehydration. *Cereal Research Communications*, **2007**, 35(4), 1593–1602.
215. Sun, J., Ye, M., Peng, S., Li, Y. Nitrogen can improve the rapid response of photosynthesis to changing irradiance in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Scientific Reports* 6, 31305, **2016**, DOI: 10.1038/srep31305
216. Sun, W., Ubierna, N., Ma, J.Y., Cousins, A.B. The influence of light quality on C4 photosynthesis under steady-state conditions in *Zea mays* and *Miscanthus × giganteus*: changes in rates of photosynthesis but not the efficiency of the CO₂ concentrating mechanism. *Plant, Cell & Environment*, **2012**, 35, 982–993. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02466.x
217. Sváb, J. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, **1981**, Budapest, 557 p.
218. Swann, A.L.S. Plants and Drought in a Changing Climate. *Curr Clim Change Rep.* **2018**, 4, 192–201. DOI: 10.1007/s40641-018-0097-y
219. Szalai, I. A növények élete. JATEPress, **1994**, Szeged, 20–78.
220. Szász, G. A víz a légkörben, a talajban és a növényben. Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. szerk. Szász G.-Tőkei L. Mezőgazda Kiadó, **1997**, Budapest, 111–172.
221. Szász, G. Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, **1988**, ISBN 9632326679
222. Szász, G. Termésingadozást kiváltó éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében “Agro-21” füzetek **2005**, 40, 33–69.
223. Szentes, O. Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban, *Légkör*, **2023**, 68(1), 1–56. DOI:10.56474/legkor.2023.1.2
224. Tadesse, M.B., Asefa, A., Admasu, R., Tilahun, E., Tadesse, H., Takala, B., Ayanaw, H. Maximizing Irrigated Maize Productivity: Evaluating the Impact of Deficit Irrigation and Nitrogen Rates on Growth, Yield, and Water-Use Efficiency in

- Southwest Ethiopia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **2024**, 150(4), DOI: 10.1061/JIDEDH.IRENG-10238
225. Tan, S., Evans, R.R., Dahmer, M.L., Singh, B.K., Shaner, D.L. Imidazolinone tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*, **2005**, 61, 246–257. DOI: 10.1002/ps.993
 226. Tanner C.B., Sinclair T.R. Efficient water use in crop production: research or re-research. In: *Limitations to efficient water use in crop production* (Taylor H.M et al., eds). ASA, Madison, WI, USA, **1983**, 1–27.
 227. Taylor, S.H., Franks, P.J., Hulme, S.P., Spriggs, E., Christin, P.A., Edwards, E.J., Woodward, F.I., Osborne, C.P. Photosynthetic pathway and ecological adaptation explain stomatal trait diversity amongst grasses. *New Phytologist*, **2012**, 193(2), 387–393. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03935.x
 228. Tazoe, Y.S., Noguchi, K., Terashima, I. C-4 photosynthetic efficiency under low light in *Amaranthus cruentus* L.: the relationship between CO₂ leakiness and in vivo activities of C-4 photosynthetic enzymes. *Plant and Cell Physiology*, **2006**, 47, S210–S210.
 229. Teixeira, E.I., George, M., Herreman, T., Brown, H., Fletcher, A., Chakwizira, E., de Ruiter, J., Maley, S., Noble, A. The impact of water and nitrogen limitation on maize biomass and resource-use efficiencies for radiation, water and nitrogen. *Field Crops Research*, **2014**, 168, 109–118, DOI: 10.1016/j.fcr.2014.08.002.
 230. Tian, W., Hou, C., Ren, Z., Pan, Y., Jia, J., Zhang, H., Bai, F., Zhang, P., Zhu, Y.H., Luo, L., Luan, S. A molecular pathway for CO₂ response in *Arabidopsis* guard cells. *Nature Communications*, **2015**, 6, 6057. DOI: 10.1038/ncomms7057
 231. Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S.M., Volaire, F., Boone, A., Le Page, M., Llasat, M.C., Albergel, C., Burak, S., Caillieret, M., Kalin, K.C., Davi, H., Dupuy, J., Greve, P., Grillakis, M., Hanich, L., Jarlan, L., Martin-StPaul, N., Martínez-Vilalta, J., Mouillot, F., Pulido-Velazquez, D., Quintana-Seguí, P., Renard, D., Turco, M., Türkeş, M., Trigo, R., Vidal, J., Vilagrosa, A., Zribi, M., Polcher, J. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios, *Earth-Science Reviews*, **2020**, 210, 103348, DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103348.
 232. Tran, V.H, Nolting, K.M, Donovan, L.A, Temme, A.A. Cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.) has lower tolerance of moderate drought stress than its conspecific wild relative, but the underlying traits remain elusive. *Plant Direct*. **2024**, 4;8(4):e581. DOI: 10.1002/pld3.581
 233. Ubierna, N., Sun, W., Cousins, A.B. The efficiency of C4 photosynthesis under low light conditions: assumptions and calculations with CO₂ isotope discrimination. *Journal of Experimental Botany*, **2011**, 62, 3119–3134.
 234. Ubierna, N., Sun, W., Kramer, D.M., Cousins, A.B. The efficiency of C4 photosynthesis under low light conditions in *Zea mays*, *Miscanthus x giganteus* and *Flaveria bidentis*. *Plant, Cell & Environment*, **2013**, 36, 365–381.
 235. Urban, A., Rogowski, P., Wasilewska-Dębowska, W., Romanowska, E. Understanding Maize Response to Nitrogen Limitation in Different Light Conditions for the Improvement of Photosynthesis. *Plants* **2021**, 10, 1932. <https://doi.org/10.3390/plants10091932>

236. USS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, **2015**, Rome.
237. Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., Lantos, Zs. Az éghajlati változékonyság és az extrém jelenségek agroklimatológiai elemzése. Monocopy Kft., Maronvásár, **2004**.
238. Venzhik, Y.V., Talanova, V.V., Titov, A.F., Topchieva, L.V. Characteristics of expression of temperature-regulated genes in winter and spring wheat plants during cold adaptation. Russian Agricultural Sciences, **2011**, 37(3), 189–191. DOI: 10.3103/S1068367411030190
239. Vicente-Serrano, S.M., Quiring, S.M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S., Domínguez-Castro, F. A review of environmental droughts: Increased risk under global warming?, Earth-Science Reviews, **2020**, 201, DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102953
240. Vidal, R., Gerbaud, A., Vidal, D. Short-term effects of high light intensities on soybean nodule activity and photosynthesis. Environmental and Experimental Botany **1996**, 36(3), 349–357.
241. Viets, F.G. Fertilizers and the efficient use of water. Advances in Agronomy, **1962**, 14, 223–264. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60439-3
242. Von Caemmerer, S., Farquhar, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. Planta, **1981**, 153, 376–387, DOI: 10.1007/bf00384257.
243. Vos, J., Groenwold, J. Characteristics of photosynthesis and conductance of potato canopies and the effects of cultivars and transient drought. Field Crop. Res., **1989**, 20, 237–250.
244. Wample, R.L., Thornton, R.K. Differences in the response of sunflower (*Helianthus annuus*) subjected to flooding and drought stress. Physiologia Plantarum, **1984**, 61, 611–616.
245. Wang, W., Huo, Z., Rong, Y., Wang, C., Zhang, C., Wang, X. A novel water use efficiency model based on stomata coupling crop growth and farmland water cycle processes in arid area. Journal of Hydrology, **2023**, 617, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128974
246. Wang, W., Wang, X., Huo, Z., Rong, Y., Huang, Q., Huang, G. Variation and attribution of water use efficiency in sunflower and maize fields in an irrigated semi-arid area. Hydrological Processes, **2021**, 35(3), DOI: 10.1002/hyp.14080
247. Wang, Y., Janz, B., Engedal, T., de Neergaard, A. Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize, Agricultural Water Management, **2017**, 179, 271–276, DOI: 10.1016/j.agwat.2016.06.007.
248. Wang, Y., Zhang, Y.P., Zhu, G.Y., Liao, H.X., Hou, W.F., Gao, Q., Wang, Y. Effects of Localized Nitrogen Supply on Plant Growth and Water and Nitrogen Use Efficiencies of Maize Seedling Under Drought Stress. Scientia Agricultura Sinica, **2024**, 57(5), 919–934. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2024.05.008
249. Warren, C.R. The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO₂ movement is increased by nutrient supply. Journal of Experimental Botany, **2004**, 55, 2313–2321, DOI: 10.1093/jxb/erh239.

250. Werf, A. van der, Zamski, E., Schaffer A. (Eds.), Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source–Sink Relationships, Marcel Dekker Inc., New York **1996**, 1–20.
251. Wise, R.R. Frederick, J.R. Alm, D.M. Kramer, D.M. Hesketh, J.D. Crofts, A.R. Ort D.R. Investigation of the limitations to photosynthesis induced by leaf water deficit in field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plant, Cell & Environment, **1990**, 13(9), <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01982.x>
252. Wu, H., Qiao, M., Zhang, W. Wang, K., Li, S., Jiang, C. Systemic regulation of photosynthetic function in maize plants at grainning stage under a vertically heterogeneous light environment, Journal of Integrative Agriculture, **2022**, 21(3), 666–676, DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63440-2.
253. Xie, Z., Song, F., Xu, H., Shao, H., Song, R. Effects of Silicon on photosynthetic characteristics of maize (*Zea mays* L.) on alluvial soil. Scientific World Journal, **2014**, 718716. DOI: 10.1155/2014/718716
254. Yang, Z., Sinclair, T.R., Zhu, M., Messina, C.D., Cooper, M., Hammer, G.L. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit, Environmental and Experimental Botany, **2012**, 78, 157–162, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.12.034.
255. Yuldasheva, Z.F., Karabayeva, D.J. The effect of different doses of different biostimulants on the yield of oily sunflower. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, **2023**, 1142, 012097, DOI: 10.1088/1755-1315/1142/1/012097
256. Zhao, F., Yu, G., Li, S., Ren, C., Sun, X., Mi, N., Li, J., Ouyang, Z. Canopy water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. Agricultural water Management, **2007**, 93, 99–108.
257. Zhao, J., Hartmann, H., Trumbore, S., Ziegler, W., Zhang, Y. High temperature causes negative whole-plant carbon balance under mild drought. New Phytologist, **2013**, 200(2), 330–339. DOI: 10.1111/nph.12400
258. Zhang, X., Dong, Z., Wu, X., Gan, Y., Chen, X, Xia, H, Kamran, M, Jia, Z, Han, Q, Shayakhmetova, A, Siddique, K.H.M. Matching fertilization with water availability enhances maize productivity and water use efficiency in a semi-arid area: Mechanisms and solutions, Soil and Tillage Research, **2021**, 214, DOI: 10.1016/j.still.2021.105164.

Ábrák jegyzéke

1. ábra A tenyészidőszak (április-szeptember) csapadékmennyisége a vizsgált évjáratokban és a harmincéves (1991-2020) átlag (Látókép, 2000-2023).....	44
2. ábra A potenciális és tényleges párolgás becsült értékei a tenyészidőszakban (április-szeptember), valamint a TET:PET aránya (Látókép, 1999-2023)	44
3. ábra A levegő CO ₂ szintjének változása Debrecenben, a referencia mérőállomás (NOAA, Mauna Loa, USA) adataihoz viszonyítva (1999-2023).....	48
4. ábra A megvilágítás hatása a nettó fotoszintézis intenzitására a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében (Látókép, 2004.06.17.)	52
5. ábra A nettó fotoszintézis intenzitása a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében gyenge és nagyon erős megvilágítás mellett (Látókép, 2004.06.17.)	53
6. ábra A vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) változása a megvilágítás függvényében a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében (Látókép, 2004.06.17.)	53
7. ábra A vízfelhasználás hatékonysága (WUE) a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében gyenge és nagyon erős megvilágítás mellett (Látókép, 2004.06.17.)	54
8. ábra A sztóma-konduktancia fénygörbéje a kukorica, őszi búza és néhány fontos gyomfaj esetében (Látókép, 2004.06.17.)	55
9. ábra A kukorica és napraforgó fotoszintézis intenzitása és a talaj nedvességekészletének alakulása (Debrecen, 2007)	57
10. ábra A kukorica és napraforgó sztómáinak átjárhatósága és a talaj nedvességekészletének alakulása (Debrecen, 2007)	58
11. ábra A kukorica és napraforgó transzspirációja és a talaj nedvességekészletének alakulása (Debrecen, 2007)	58
12. ábra A levegő és a levél hőmérsékletének különbsége kukorica és napraforgó állományokban és a talaj nedvességekészletének alakulása (Debrecen, 2007)	59
13. ábra A vízhasznosítás (WUE) kukorica és napraforgó állományokban és a talaj nedvességekészletének alakulása (Debrecen, 2007)	59
14. ábra A fotoszintézis intenzitása különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	62
15. ábra A sztóma-konduktancia különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	62
16. ábra Az intercelluláris CO ₂ szint különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	63
17. ábra A transzspiráció értékei különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	63

18. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbség értékei különböző kukorica genotípusokban (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.....	64
19. ábra Különböző kukorica genotípusok vízhasznosításának hatékonysága (WUE) (Debrecen, 2007. július 26, augusztus 15.) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	64
20. ábra A fotoszintézis intenzitása különböző napraforgó genotípusokban (Látókép, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között. ...	66
21. ábra A sztóma-konduktancia különböző napraforgó genotípusokban (Látókép, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között. ...	67
22. ábra A transzspiráció értékei különböző napraforgó genotípusokban (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között. ...	67
23. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbség értékei különböző napraforgó genotípusokban (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.	68
24. ábra Különböző napraforgó genotípusok vízhasznosításának hatékonysága (WUE) (Debrecen, 2007) Az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a genotípusok között.....	68
25. ábra A nettó asszimilációs ráta a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)	71
26. ábra A sztóma konduktancia értékei a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.).....	72
27. ábra A transzspiráció a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.).....	72
28. ábra A levegő és levél hőmérséklet-különbsége a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.)	73
29. ábra A vízfelhasználás hatékonysága a kukorica, napraforgó és néhány fontos gyomfaj esetében száraz évjáratban (Látókép, 2012.07.27.).....	73
30. ábra Eltérő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010).....	75
31. ábra Eltérő kukorica genotípusok transzspirációjának alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010).....	75
32. ábra Eltérő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása jó vízellátottság mellett (Látólép, 2010).....	76
33. ábra Eltérő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)	78
34. ábra Eltérő kukorica genotípusok transzspirációjának változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)	78
35. ábra Eltérő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) változása a tenyészidőszakban jó vízellátottságú évjáratban (Látólép, 2020)	79
36. ábra A transzspiráció a fotoszintézis intenzitásának függvényében kukoricánál (Látókép, 2011. 07. 17.) N=306.	81

37. ábra A transzspiráció a fotoszintézis intenzitásának függvényében kukoricánál (Látókép, 2012. 07. 31.) N=306.	81
38. ábra Összefüggés a levegő és level hőmérséklet-különbsége és a transzspiráció között kukoricában (Látókép, 2012. 07. 31.) N=306.	82
39. ábra A transzspiráció a nettó asszimilációs ráta függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210	84
40. ábra Összefüggés a levegő és levél hőmérséklet-különbsége és a transzspiráció között napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210	84
41. ábra A WUE a nettó asszimilációs ráta függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210.....	85
42. ábra A WUE a transzspiráció függvényében napraforgóban (Látókép, 2004-2012) N=3210. 85	
43. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2000).....	89
44. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2000).....	89
45. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2001).....	89
46. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2001).....	89
47. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2002).....	89
48. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2002).....	89
49. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2003).....	90
50. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2003).....	90
51. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica nettó asszimilációjára különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2004).....	90
52. ábra A tápanyagellátás hatása a kukorica vízhasznosítására különböző mérési időpontokban (Debrecen, 2004).....	90
53. ábra A kukorica nettó asszimilációs rátájának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010)	92
54. ábra A kukorica transzspirációjának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010)	93
55. ábra A kukorica vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett a genotípusok átlagában (Látókép, 2010).....	93
56. ábra Eltérő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett (Látókép, 2010. augusztus 24.)	94
57. ábra Kukorica genotípusok termése gombaölőszeres kezelés hatására, jó vízellátottság mellett (Látókép, 2010).....	94

58. ábra Elterő kukorica genotípusok nettó asszimilációs rátájának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben (Látólép, 2013. augusztus 9.)	96
59. ábra Elterő kukorica genotípusok transzspirációjának alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben (Látólép, 2013. augusztus 9.)	96
60. ábra Elterő kukorica genotípusok vízfelhasználás hatékonyságának (WUE) alakulása gombaölőszeres kezelés hatására, aszályos évben mellett (Látólép, 2013. augusztus 9.)	97
61. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	99
62. ábra A kezelések hatása az intercelluláris CO_2 szintre napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	100
63. ábra A kezelések hatása a sztóma-konduktanciára napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	100
64. ábra A kezelések hatása az elektrontranszport rátára napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	101
65. ábra A kezelések hatása a levegő és levél hőmérséklet különbségére napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	101
66. ábra A nettó asszimilációs ráta fénygörbéje napraforgóban, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.).....	101
67. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására (WUE), imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023.03.22.) Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	102
68. ábra A kezelések hatása a napraforgó levelek klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmára, imazamox gyomirtószer hatóanyag alkalmazása mellett (Nyíregyháza, 2023). Az elterő betűk szignifikánsan elterő értékeket jelölnek $p = 5\%$ szinten a kezelések között.	102
69. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.).....	105
70. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.).....	105
71. ábra A kezelések hatása a napraforgó klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmára imazamox gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023).....	106
72. ábra A diszkriminancia-analízis kombinált csoportok ábrája, napraforgó gyomirtószer stresszkísérlet (Debrecen, 2023).....	106
73. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox2 gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.).....	108
74. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására imazamox2 gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.06.16.).....	108
75. ábra A kezelések hatása a napraforgó fotoszintézis intenzitására halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.07.06.)	110

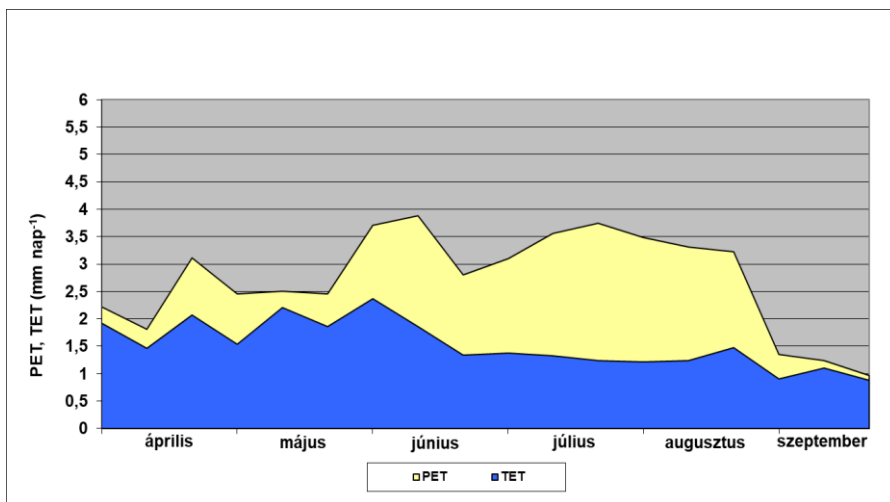
76. ábra A kezelések hatása a napraforgó vízhasznosítására halauxifen-metil gyomirtószer hatóanyag (Debrecen, 2023.07.06.).....	110
77. ábra A nettó asszimilációs ráta kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023).....	113
78. ábra A nettó asszimilációs ráta kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023).....	113
79. ábra A transzspiráció kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023).....	113
80. ábra A transzspiráció kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023).....	113
81. ábra A WUE értéke kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)	113
82. ábra A WUE értéke kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)	113
83. ábra Az elektrontranszport ráta értéke kukoricában DAT 6 (Nyíregyháza, 2023)	113
84. ábra Az elektrontranszport ráta értéke kukoricában DAT 20 (Nyíregyháza, 2023)	113
85. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 1999).....	146
86. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2000).....	146
87. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2001).....	146
88. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2002).....	146
89. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2003).....	147
90. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2004).....	147
91. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2005).....	147
92. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2006).....	147
93. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2007).....	148
94. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2008).....	148
95. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2009).....	148
96. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2010).....	148
97. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2011).....	149
98. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2012).....	149
99. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2013).....	149
100. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2014).....	149
101. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2015).....	150
102. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2016).....	150
103. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2017).....	150
104. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2018).....	150
105. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2019).....	151
106. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2020).....	151
107. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2021).....	151
108. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2022).....	151
109. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2023).....	152

Táblázatok jegyzéke

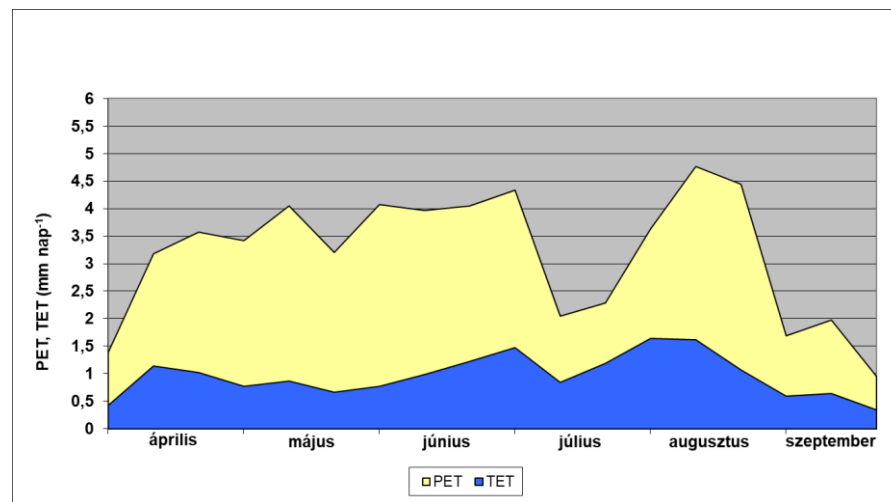
1. táblázat A klimatikus vízmérleg és a kukorica termése közötti korreláció 1993-1996. között Látóképen, monokultúrában (Csajbók, 1998)	12
2. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálati eredményei (2019, Látókép)	33
3. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálati eredményei (2019, Látókép)	34
4. táblázat A kísérleti terület talajvizsgálati eredményei (2021, Debrecen) Kutasy et al., 2022 ...	34
5. táblázat Havi és éves csapadékadatok a vizsgált években (1999-2023, Debrecen)	35
6. táblázat A havi csapadéksúlyok értékei a Pálfai-féle aszályindex számításához (Pálfai, 2004)	40
7. táblázat Az ariditási index, a módosított Pálfai-féle aszályindex (PaDI) értékei és a TET:PET arány 2000-2023 között, áprilistól szeptemberig (Látókép)	46
8. táblázat Az eltérő fényintenzitás, és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2004)	54
9. táblázat A korrelációs koefficiens értékei a talaj nedvességekészlete és a fotoszintézis intenzitása, a sztómák konduktanciája és a transzspiráció között, kukorica és napraforgó állományokban (2007. Látókép)	56
10. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés a vizsgált 9 kukorica genotípus átlagában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2007. 07. 26.)	61
11. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés napraforgóban (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2007. 08. 25.)	69
12. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2010)	77
13. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés kukoricában (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2011. 07. 17.)	80
14. táblázat A transzspiráció, vízhasznosítás és a fotoszintézis vizsgálatok eredményei közötti összefüggés napraforgóban (Pearson korreláció r értékei) (Látókép, 2004-2012)	83
15. táblázat A nettó asszimilációs ráta értékeire illesztett lineáris regressziós függvények értékei 2000-2004 között (Debrecen)	88
16. táblázat A levegő és levél hőmérséklete közötti különbség és a kukorica asszimilációs paraméterei közötti Pearson korrelációk értékei (2000-2004)	91
17. táblázat A napraforgó száraz gyökér- és hajtástömege a különböző kezelésekben (2023. 03.22.)	103
18. táblázat A napraforgó gyomirtószer stresszhatás kísérlet diszkriminancia analízis eredménye, kezelések szerinti csoportképzés (Debrecen, 2023)	107
19. táblázat A napraforgó terméskepző elemei, termése és olajtartalma a különböző kezelésekben (Debrecen, 2023)	111

Mellékletek

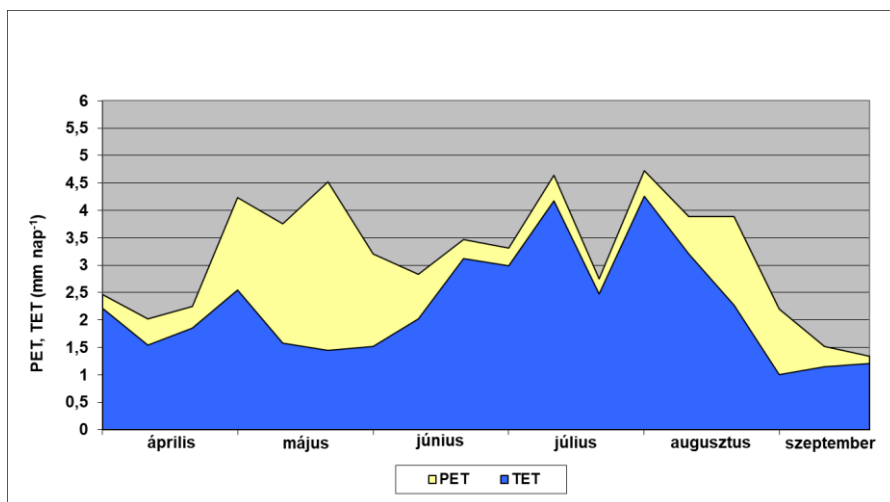
1. melléklet A PET és TET becsült értékei kukoricában 1999-2023



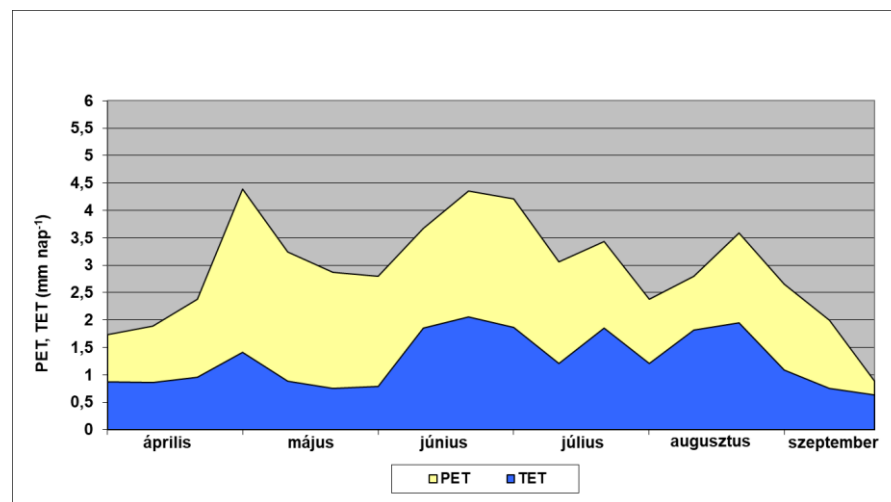
85. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 1999)



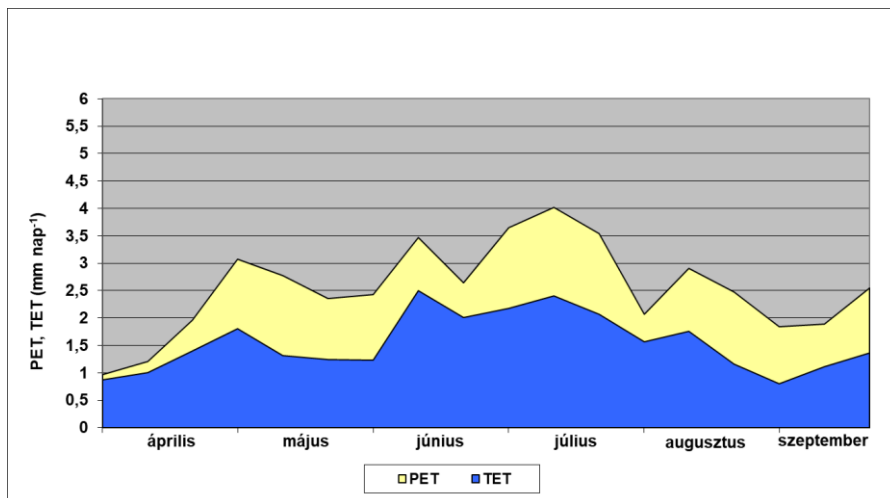
86. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2000)



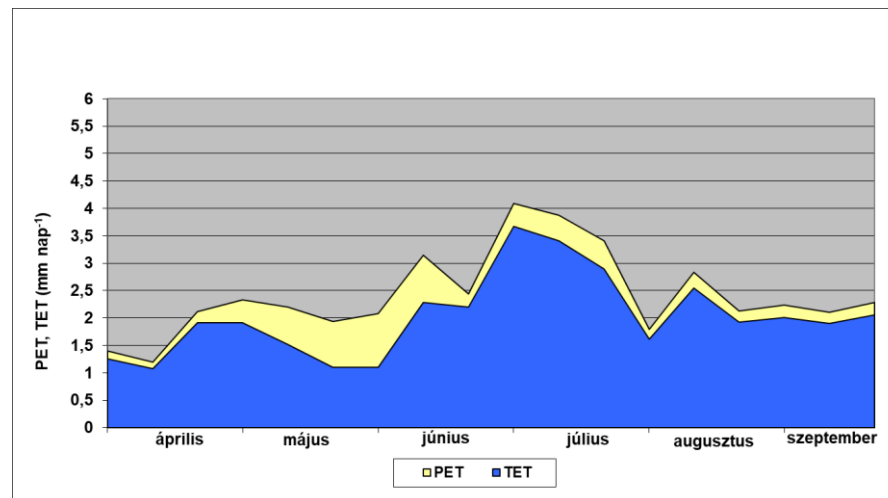
87. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2001)



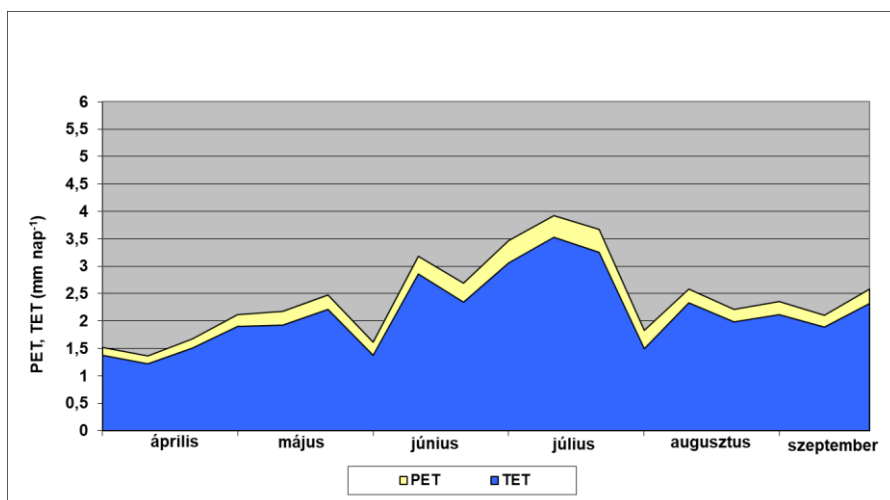
88. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2002)



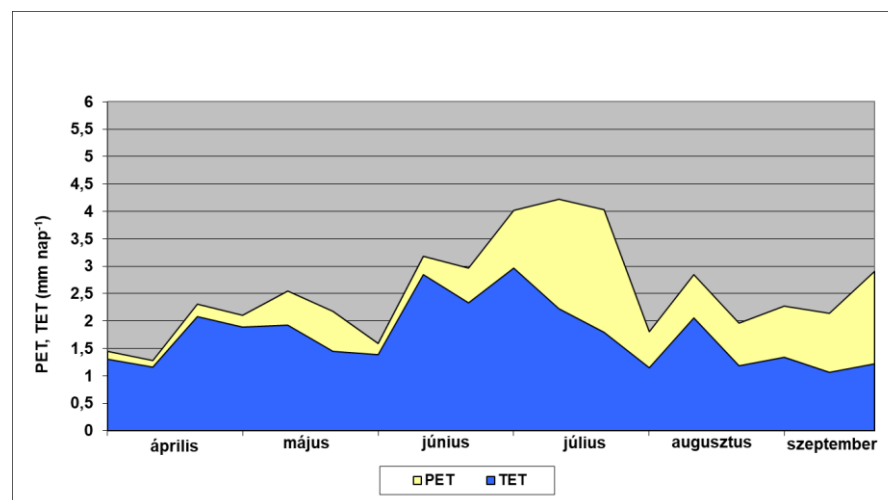
89. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2003)



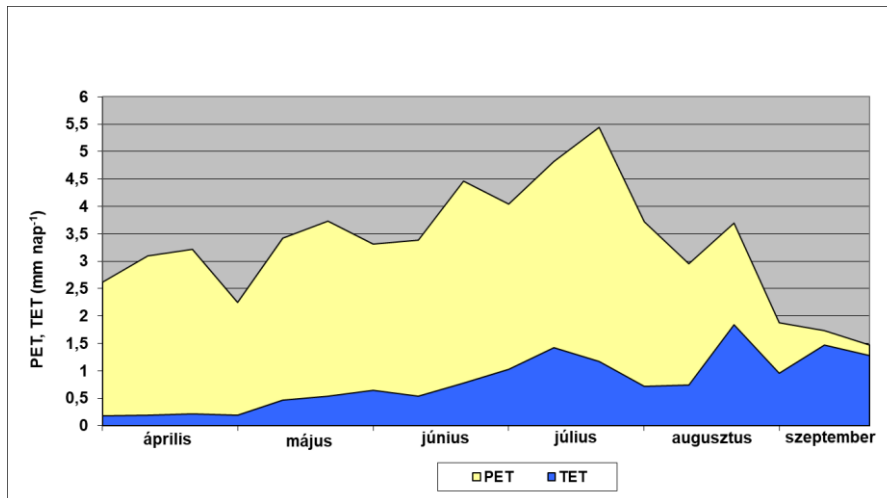
90. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2004)



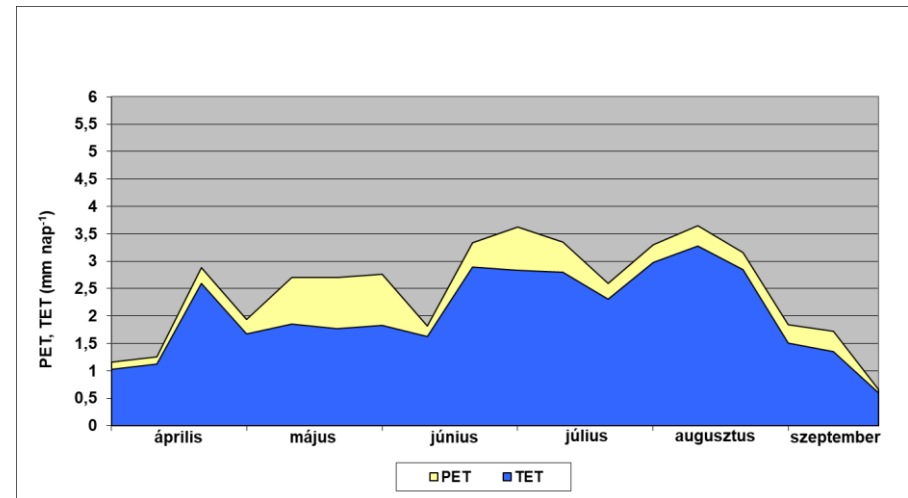
91. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2005)



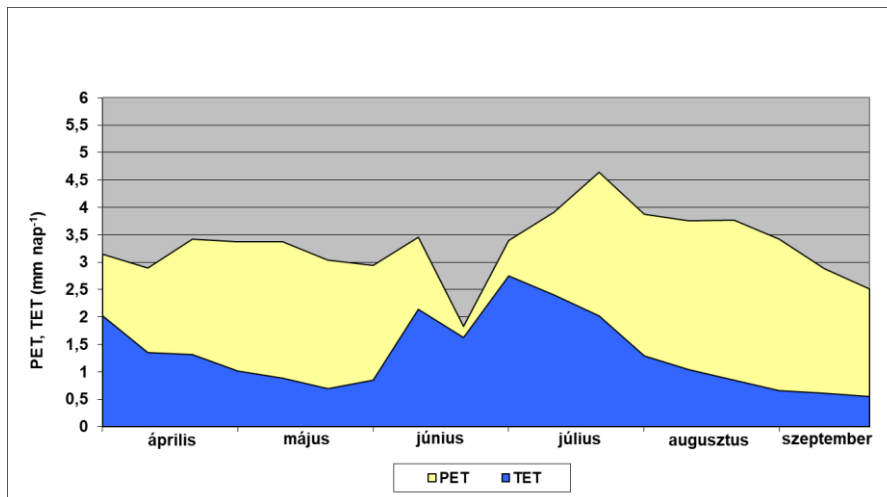
92. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2006)



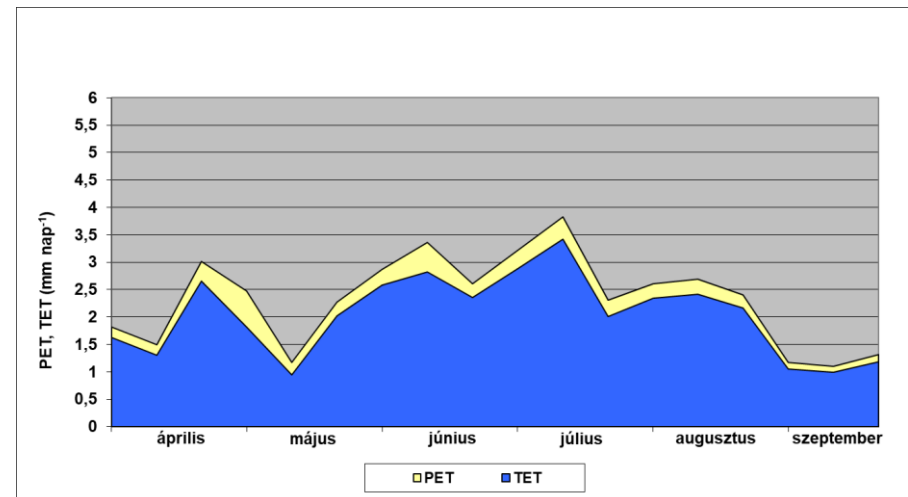
93. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2007)



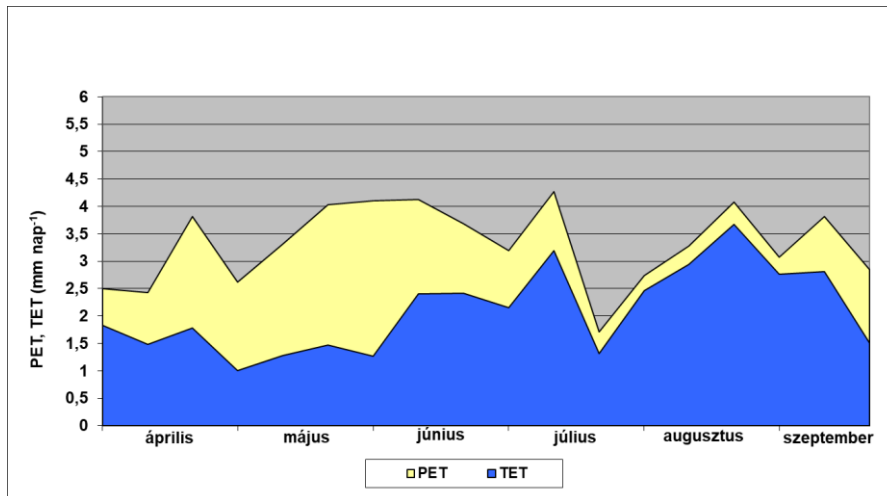
94. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2008)



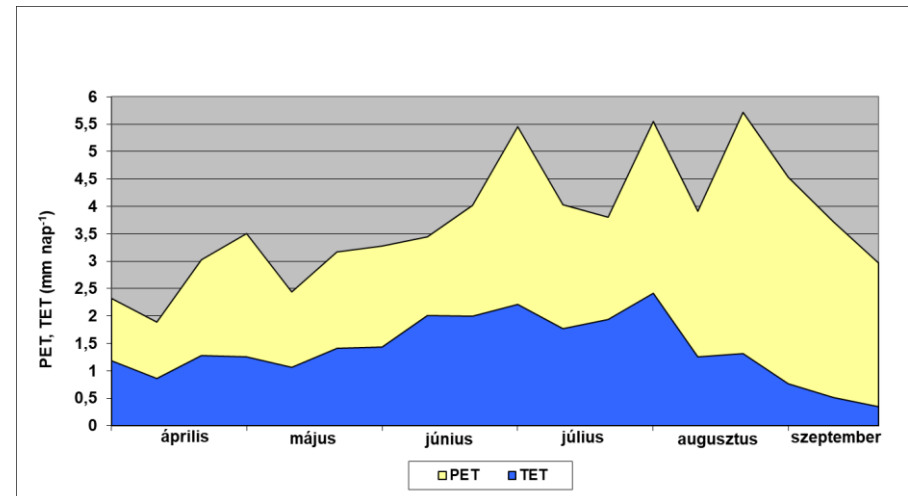
95. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2009)



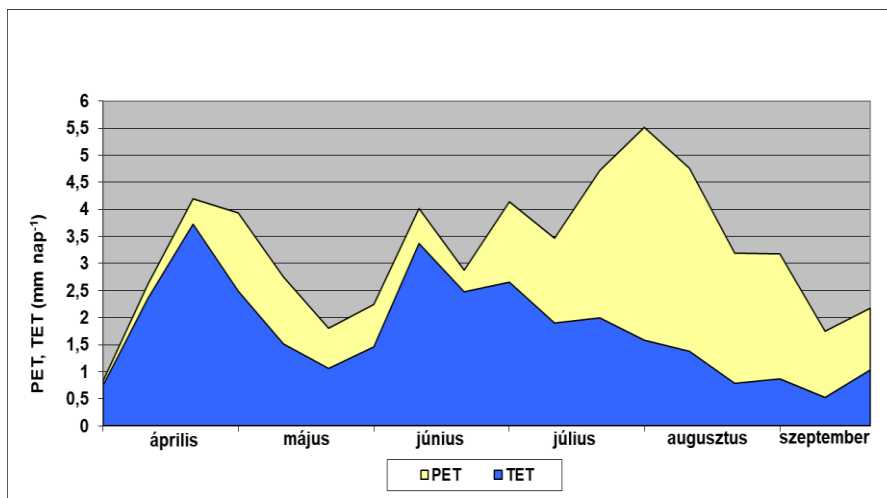
96. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2010)



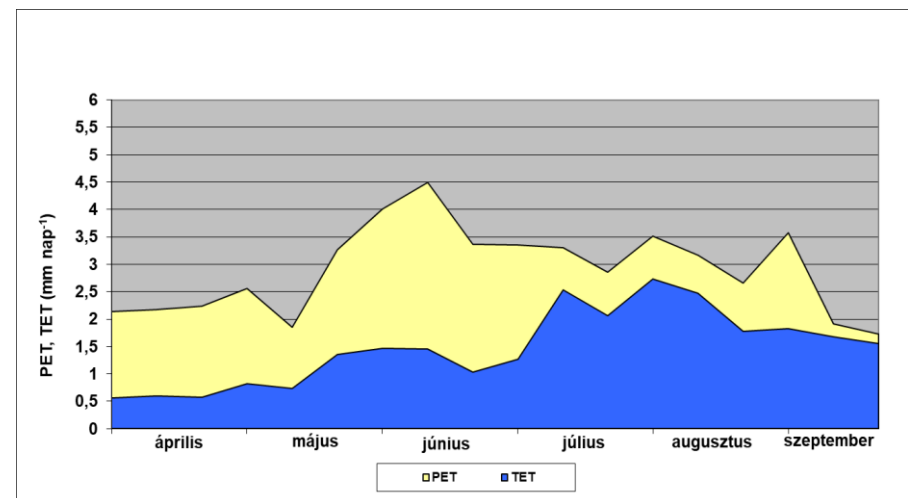
97. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2011)



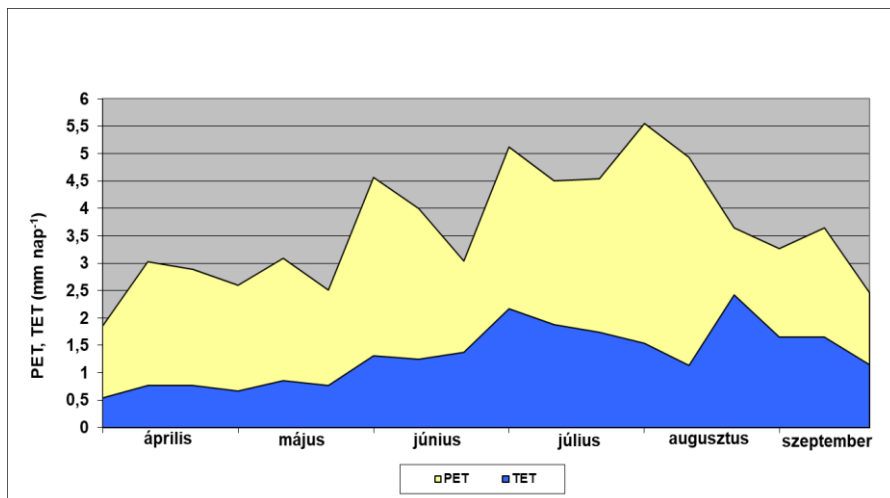
98. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2012)



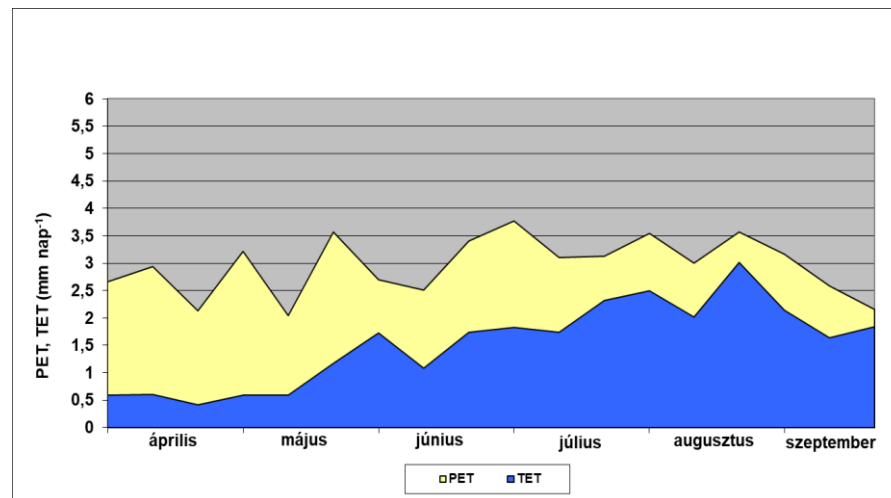
99. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2013)



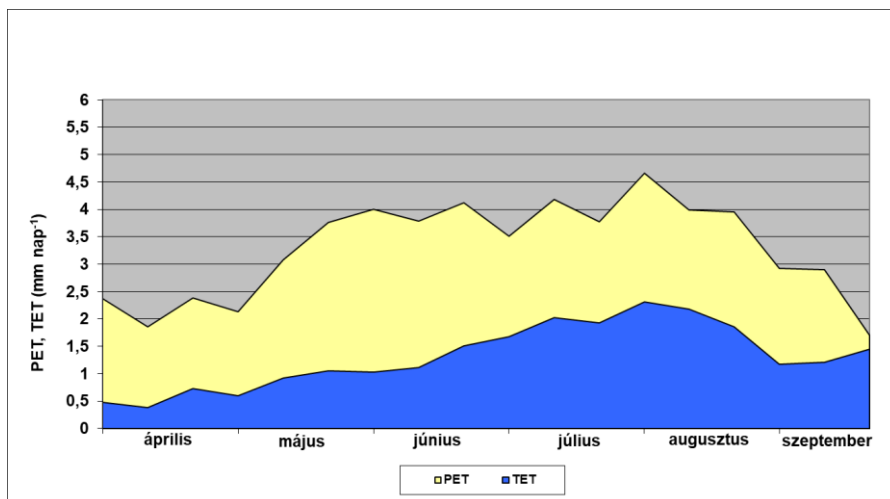
100. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2014)



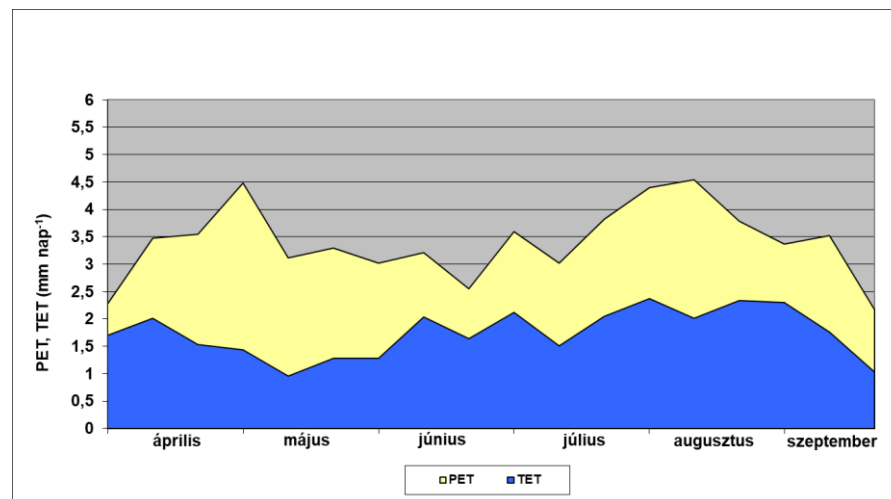
101. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2015)



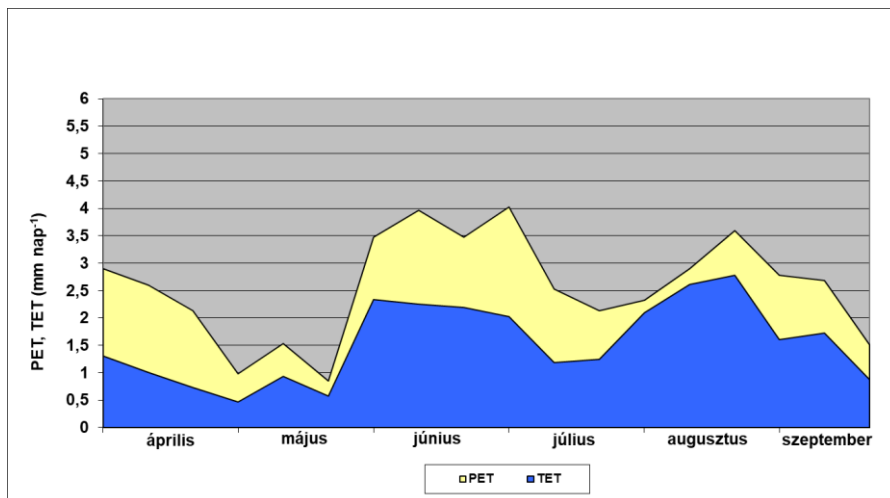
102. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2016)



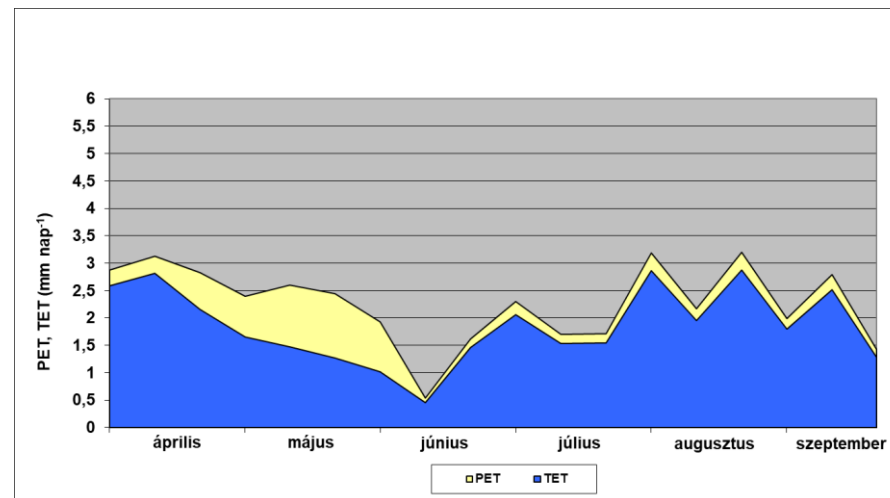
103. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2017)



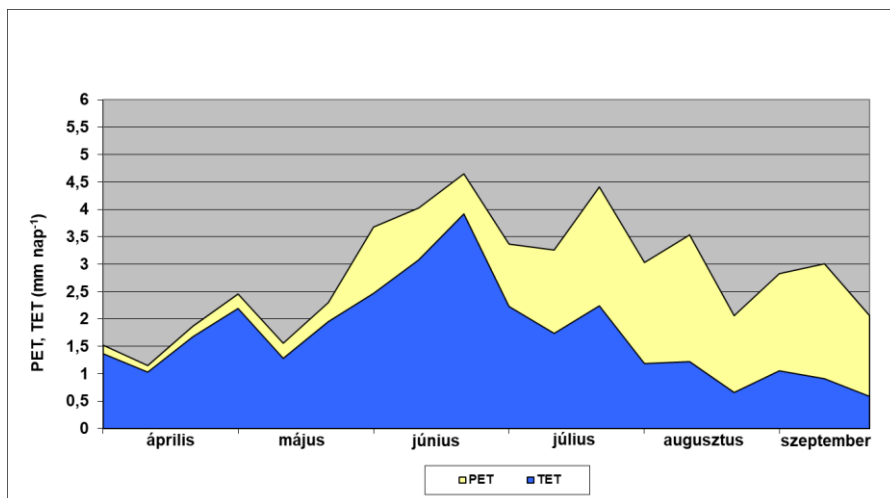
104. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2018)



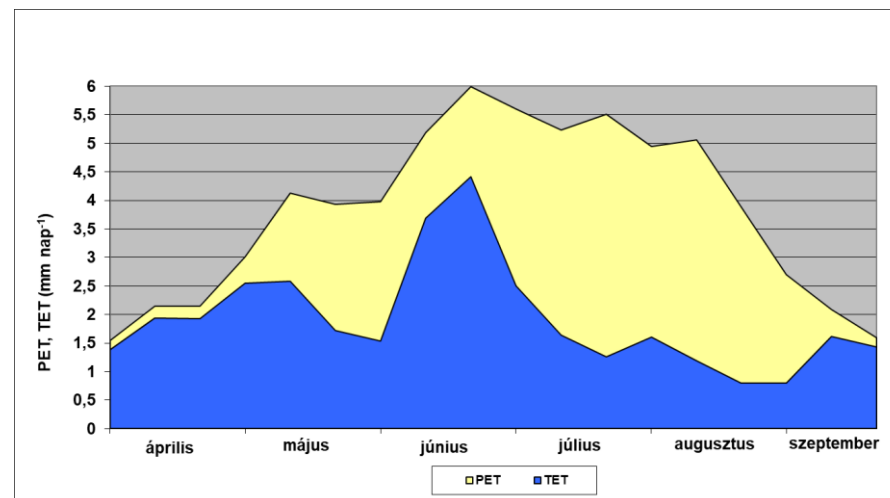
105. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2019)



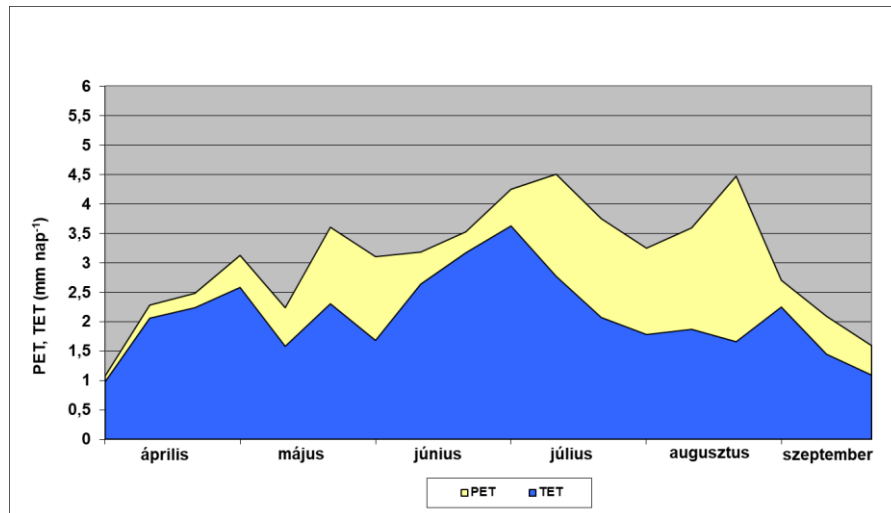
106. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2020)



107. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2021)



108. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2022)



109. ábra A PET és TET becsült értékei kukoricában (Látókép, 2023)

2. melléklet



1. fotó Napraforgó növények a gyomirtószer stresszkísérletben 2023. március 8, Nyíregyháza



2. fotó Napraforgó növények a gyomirtószer stresszkísérletben 2023. március 20, Nyíregyháza



Kontroll



Imazamox kezelés



Imazamox + BS01 kezelés

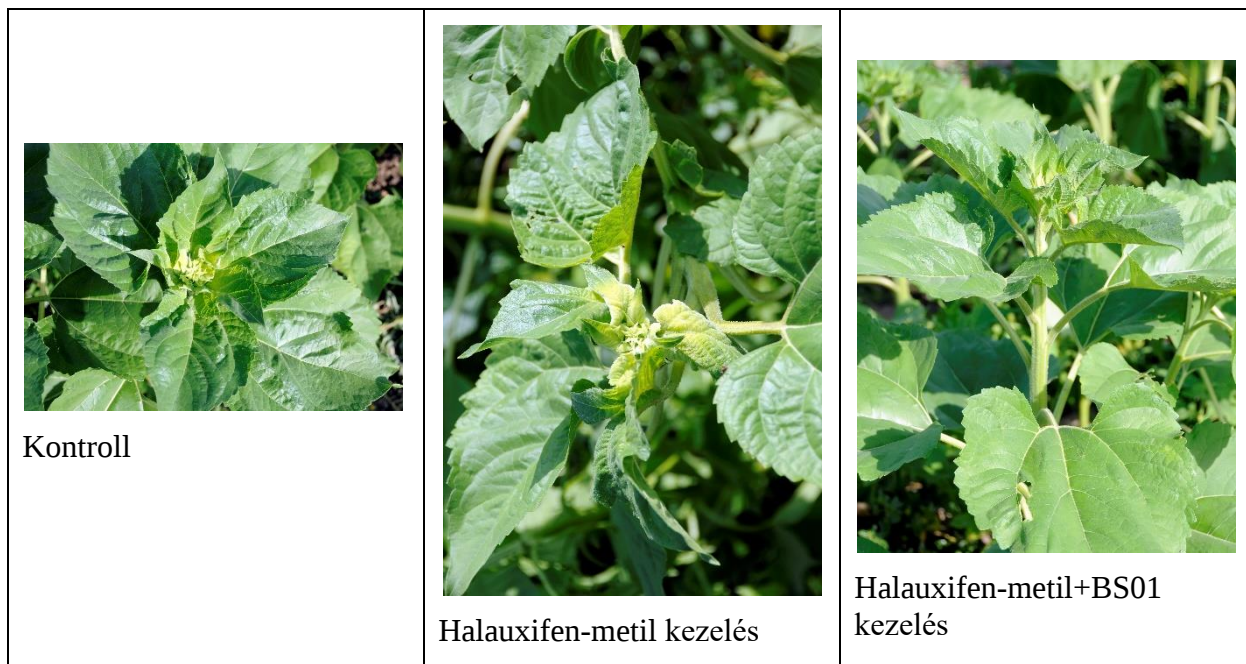


Imazamox + BS02 kezelés

3. fotó A kezelések hatása a napraforgóra a gyomirtószer stresszkísérletben 2023. március 22, Nyíregyháza



4. fotó A szabadföldi tenyészedényes napraforgó gyomirtószer stresszkísérlet részlete 2023. június 23, Debrecen



5. fotó A gyomirtószer és biostimulátor kezelések hatása a napraforgóra 2023. június 23, Debrecen



Kontroll



Imazamox2 kezelés



Imazamox + BS01 kezelés



Imazamox2 + BS01 kezelés

6. fotó A kezelések hatása a napraforgó gyökérzetére a szabadföldi tenyészedényes gyomirtószer stresszkísérletben 2023. július 31, Debrecen

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a Debreceni Egyetem vezetőségét, hogy megteremtették a feltételeket a munka elvégzéséhez.

Szeretném megköszönni Prof. Dr. Pepó Péternek, hogy tanszékvezetőként majd intézetvezetőként támogatott szakmailag, lehetőséget biztosított kutatómunkám elvégzésére, és tanácsaival segített a helyes út megtalálásában.

Köszönöm minden közvetlen kollégámnak, hogy támogattak, és segítettek a kutatási feladatok elvégzése során.

Köszönet illeti a szak- és diplomadolgozó hallgatóimat, akik hozzájárultak a bemutatott eredményekhez.

Köszönetemet fejezem ki mindazoknak a munkatársaknak, külföldi és hazai együttműködő partnereknek, akiket bár név szerint nem említek, bármilyen formában segítettek a munkámat.

Köszönöm szüleimnek, hogy lehetővé tették számomra a tanulást, és a mai napig folyamatosan és odaadóan támogatnak céljaim elérésében.

Köszönöm családom, kiemelten feleségem, Dr. Kutasy Erika türelmét, szüntelen, odaadó biztatását, támogatását, hogy lökést adott, mikor arra volt szükségem a munka során.