

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**NÖVÉNYI VÁLASZREAKCIÓK A LEVEGŐ NÖVEKVŐ SZÉN-DIOXID
KONCENTRÁCIÓJÁRA**

Tamás András

Témavezető: Dr. Harsányi Endre



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen, 2018.

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITÚZÉSEI

Napjainkra tényé vált, hogy Földünk arculata és életközösségei megváltoztak. Különösen a fosszilis tüzelőanyagok elégetése és a trópusi esőerdők csökkenése következtében az ember már olyan mértékben beavatkozott a természetes folyamatokba, hogy az egyesek véleménye szerint, már önmaga létét is veszélyezteti. A globális éghajlatváltozás lehetséges hatásait felismerve az ENSZ Stockholmi Konferenciáján már 1972-ben sürgették a légkörbe jutó üvegházhatású gázok és az éghajlatváltozás összefüggéseinek vizsgálatát.

Az energiatermelésnek, az iparnak, a mezőgazdaságnak és a közlekedésnek a légkör összetételére gyakorolt hatásai ma már egyértelműen jelentkeznek, például az üvegházhatású gázok keverési arányának emelkedésében, valamint a légkörben jelenlévő változatos méretű és kémiai összetételű szilárd részecskék, az aeroszol részecskék, illetve a szálló por mennyiségének növekedésében. A légkör összetevőinek bármilyen irányú mennyiségi változása felboríthatja a Föld-légkör rendszer energiaeloszlását és globális szintű hőmérsékletváltozást idézhet elő (*Friedlingstein et al., 2006*).

A növényállomány egy olyan nyitott ökológiai rendszer, mely folyamatos, állandó és dinamikus kölcsönhatásban van az abiotikus és biotikus környezeti tényezőkkel. A fotoszintézis mértékét számos külső (környezeti) tényező befolyásolja, mint a fényintenzitás, a CO₂ koncentráció, a hőmérséklet, a víz és a tápanyagellátás, míg belső tényezők között például a növény kora, élettani állapota, különös tekintettel a levelekre. A különböző tényezők között igen jelentős kölcsönhatások érvényesülnek: a környezeti tényezők befolyásolják a növények növekedését és fejlődését, a levélfelület nagyságát és összetételét, a fotoszintetizáló apparátus működésének időtartamát, és a tenyészidőszak hosszát.

A kutatás előzményeként szükségét éreztem egy nullhipotézis felállításának. A következő hipotézisek felvetésére került sor:

- A CO₂ koncentráció változása hatással van a különböző növények fotoszintetikus aktivitására.
- A CO₂ koncentráció változása eltérő hatással van a különböző növények fotoszintetikus aktivitására.
- A CO₂ koncentráció változása hatással van a különböző növények morfológiai jellemzőire.

A fotoszintézis tekintetében lényeges és fontos különbségek vannak a C₃ és C₄ típusú növények között. A CO₂ koncentráció emelkedésének vizsgálatához és elemzéséhez klímakamra kísérletekre van szükség, mellyel mindez modellezhető.

Vizsgálataim legfontosabb célkitűzései:

- Egy költséghatékony szimulációs eszközrendszer kifejlesztése különböző klimatikus viszonyok modellezéséhez.
- A CO₂ koncentráció hatásának vizsgálata a borsó, az őszi búza és a szója növények fotoszintetikus aktivitására SPAD mérésekkel.
- A CO₂ kezelések hatásának vizsgálata különböző fenológiai fázisokban a borsó, az őszi búza és a szója SPAD értékeire.
- A CO₂ koncentráció hatásának vizsgálata a borsó, az őszi búza és a szója növények klorofill fluoreszcencia paramétereire fény- és sötétadaptált mérések segítségével.
- A CO₂ kezelések hatásának vizsgálata különböző fenológiai fázisokban a borsó, az őszi búza és a szója növények klorofill fluoreszcencia paramétereire fény- és sötétadaptált mérések segítségével.
- A CO₂ kezelések hatásának számszerűsítése a borsó, az őszi búza és a szója növények morfológiai jellemzőire.
- A vizsgálatok eredményeinek elemzése újszerű statisztikai módszer segítségével.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. MÉRÉSI HELYSZÍN BEMUTATÁSA

A méréseket a DE-AKIT Nyíregyházi Kutatóintézetében és a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar növénynevelő kamrájában végeztem 2015-2018-as években.

2.2. A KÍSÉRLETEKBEN VIZSGÁLT FAJTÁK

A vizsgálatokban különböző fajta növények szerepeltek. A vizsgálat *Irina* borsófajta termesztésével kezdődött, majd *KWS Farinelli* őszi búzát vetettem. Végül *Pannónia Kincse* szójafajtát termesztettem. Terveztem kukorica vizsgálatát is, de a növénynevelés körülményei a klímakamrákban, valószínűleg a fényintenzitás, mint stressz faktor, nem tették lehetővé a kukorica vizsgálatát, a fejlődés 7-8 leveles állapotban megállt.

Az *Irina* szárazborsó fajta, intenzív termesztési körülményeket igényel, ellenálló képessége közepes. A *KWS Farinelli* kifejezetten korai típusú, intenzív körülmények között stabil minőségre képes búzafajta. A *Pannónia Kincse* az elmúlt évek legelterjedtebb szójafajtája, évjárat-stabilitása kiemeli a többi fajta közül.

2.3. A KÍSÉRLETEK KEZELÉSEI

A klímakamrákban végzett kísérletek esetén a kívánt CO₂ koncentráció a kontroll kamrában 400 ppm, míg az emelt koncentráció 600 ppm volt. Jelenleg a légköri CO₂ koncentráció lassan eléri a 400 ppm értéket. A klímaváltozás mértékét figyelembe véve az emelt 600 ppm CO₂ koncentráció hatásait tartottam optimálisnak, mely koncentrációs értéket akár 50-100 éven belül is elérhet a légköri szint. A kamrában lévő CO₂ koncentrációt CO₂ palackból emeltem a kívánt tartományba és naponta ellenőriztem. A kívánt célkoncentráció esetén $\pm 5\%$ eltérést tudtam tartani, ha a CO₂ koncentráció csökkent vagy nőtt, akkor beavatkoztam.

2.4. MÉRŐ ESZKÖZÖK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

CI-340 kézi fotoszintézis mérő és TESTO 535 CO₂ koncentráció mérő berendezések

A CI-340 hordozható fotoszintézis mérő berendezés egy egykezes eszköz, amely mérni képes a növények légzését, a párologtatást, a sztómakonduktanciát és a be- és kiáramló CO₂ mennyiségét és bruttó különbségét. Kísérleteinkben CO₂ koncentráció mérésére használtuk, melyet tizedes pontossággal határoz meg.

A TESTO 535 egy precíz CO₂ mérő készülék, mely a helyiség levegőminőségét vizsgáló mérésekhez alkalmazható. Maximális és átlagértéket mérhetünk segítségével. A készülék nagy pontossággal működik, állandó konfigurálás nem szükséges.

SPAD-502 klorofill mérőműszer

A Minolta cég gyártja a SPAD-502-es (*Minolta Camera Co., Osaka, Japan*) műszert, mely a levél „zöldességét” méri (*Minolta, 1990*). Ezt a „zöldességet” és a spektrofotométerben mért acetonos kivonatú klorofilltartalmak közötti összefüggést *Marquard és Tipton (1987)* vizsgálták és megállapították, hogy az értékek között szignifikáns összefüggések voltak. Működési elvét *Inada (1963)* fejlesztette ki, alapja, hogy a műszer meghatározza a 650, valamint a 940 nm-es hullámhosszon a fény áthatolását a levélen. Méri a levél 2 x 3 mm-es felületén áthaladó vörös és közeli infravörös spektrum hányadát (*Schröder et al., 2000*). A kibocsátott és beérkező fény intenzitásából a műszer relatív klorofilltartalmat azaz SPAD értéket számol, mely 1-100 között változhat.

OS5p+ klorofill fluoreszcencia mérő berendezés

Az OS5p+ hordozható rendszer, mely tartalmazza a legújabb fejlesztéseket a különböző klorofill fluoreszcencia mérésekhez. Az OS5p+ képes mérni a legtöbb fajta növényi stressz okozta változásokat, és automatizált széles körű naprakész mérési naplót készít a mért adatok alapján, amit folyamatosan eltárol a memóriában (*OS5p user's guide*).

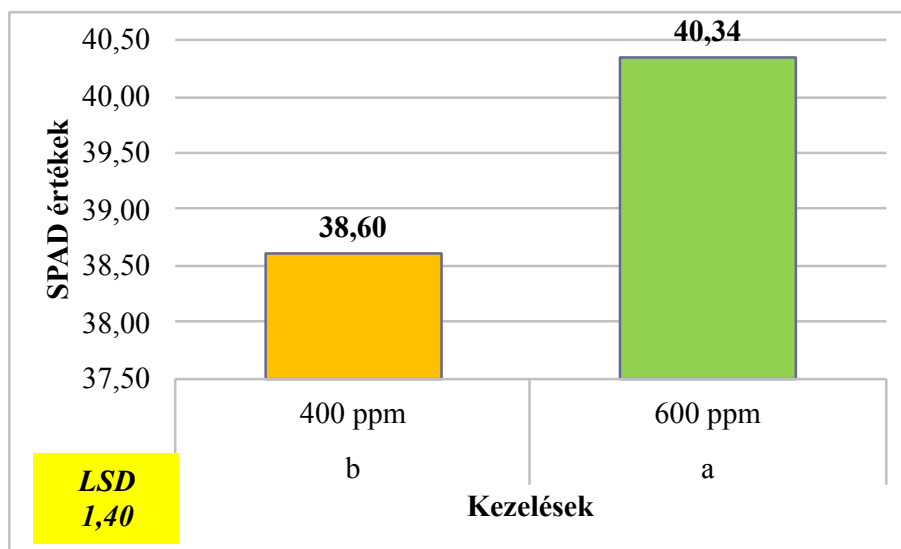
Kísérleti adatok statisztikai értékelése

A statisztikai vizsgálatot R 1.1.383. statisztikai környezetben (*R Core Team, 2016*) RStudio (*RStudio Team, 2016*) grafikus felülettel, *gplots (Warnes et. al., 2015)*, *car (Fox és Weisberg, 2011)* és *agricolae (de Mendiburu, 2016)* csomagok felhasználásával végeztem. A grafikonokat Mac Ms Excel 15.40 verziószámú programmal készítettem. Az elsőfajú hibát 5%-nak ($\alpha = 0,05$) adtam meg.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A klorofill tartalom vizsgálatok eredményei

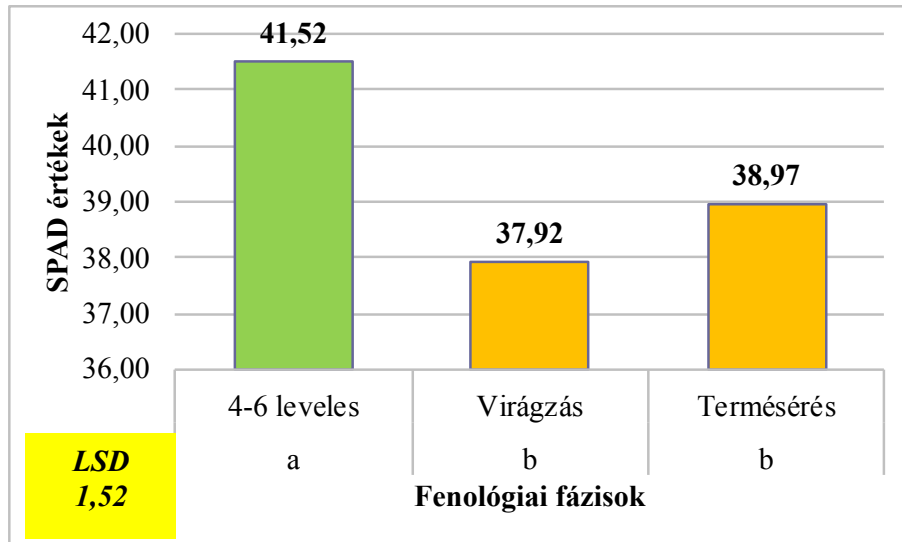
A borsó kísérletben a CO₂ kezelések SPAD értékekre gyakorolt hatását post hoc teszt segítségével elemeztem, így két homogén csoportot kaptam, ahol szignifikáns (P<0,05) különbség volt. A legnagyobb SPAD értéket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 40,34 SPAD érték. A magasabb CO₂ koncentráció átlagosan 1,74-gyel nagyobb SPAD értékeket eredményezett, mint az alacsonyabb, 400 ppm koncentráció. Megállapítható, hogy a légköri koncentrációhoz képest az emelt CO₂ koncentráció szignifikánsan növelte a SPAD értékeket (1. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok LSD teszt alapján különböznek

1. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a borsó SPAD értékeire

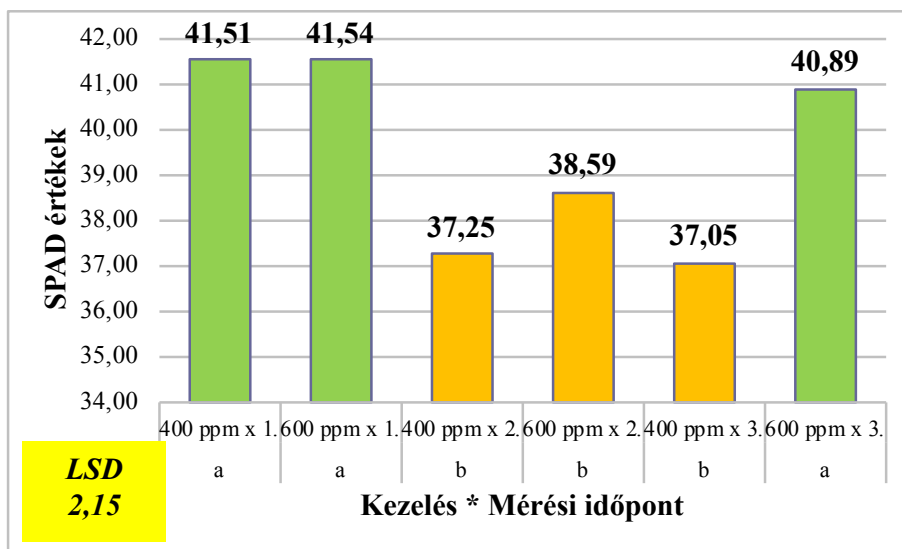
A klorofill tartalom értékeire fenológiai fázisonként is összefüggést tapasztaltam, melynek hatását a 11. ábra ismerteti. A post hoc teszt alapján két homogén csoportot különböztethetünk meg, amelyek szignifikánsan (P<0,001) különböztek egymástól. A legmagasabb értékeket, átlagosan 41,52 SPAD érték, 4-6 leveles állapotban mértem. Ettől 3,6 SPAD értékkel kevesebbet mértem virágzás és 2,55 SPAD értékkel kevesebbet termésérés fenológiai fázisban. A legkisebb értékeket virágzáskor mértem, 37,92 SPAD érték (2. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

2. ábra: A CO₂ kezelés hatása a borsó SPAD értékek alakulására fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása esetén is szignifikáns volt a különbség a SPAD értékek között. A magasabb CO₂ koncentrációval növekedtek az adott időpontban mért SPAD értékek. A legnagyobb SPAD értékeket, mindkét kezelés esetén, 4-6 leveles fenológiai fázisban mértem, ahol nem volt számottevő különbség, 0,03 SPAD érték. A legkisebb (37,05) értéket 400 ppm koncentráció mellett, terméséréskor mértem, mely szignifikánsan ($P < 0,05$) különbözött az emelt CO₂ koncentrációban mért értékektől (40,89). Virágzás fenológiai fázisban a magasabb CO₂ koncentráció eredményezte az átlagosan 38,59 SPAD értéket, mely ugyan 1,34-gyel meghaladta ugyanazon időpontban mért 400 ppm CO₂ kezelés értékét, de a különbség nem szignifikáns (3. ábra).



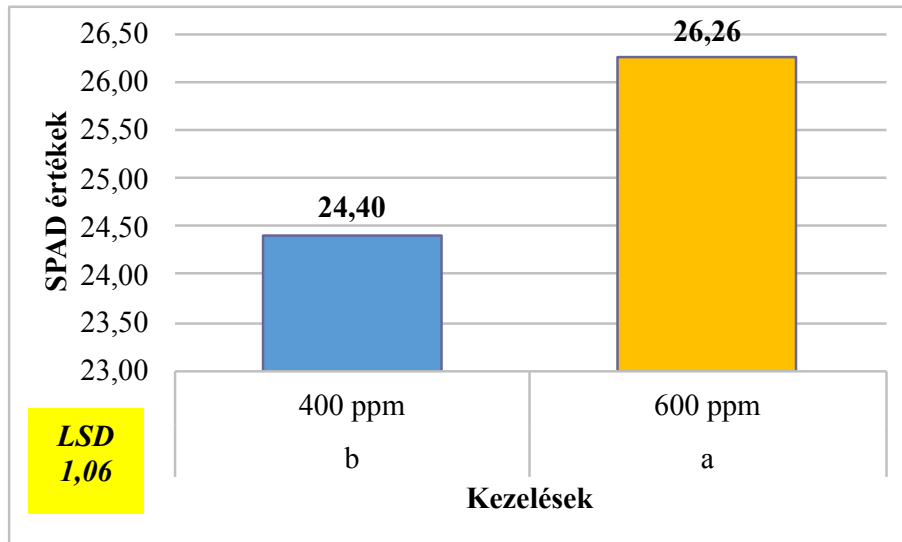
Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot

3. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a borsó SPAD értékeire

Megvizsgáltam tehát a CO₂ hatását a borsó SPAD értékeire. A mérések átlagában továbbá az ismételt mérési modell eredményeire alapozva a CO₂ koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett hatással van a mért SPAD értékekre. Ezen felül a fenológiai fázis (P<0,001), valamint ezek kölcsönhatása (P<0,05) is szignifikánsan hatott a SPAD értékek alakulására.

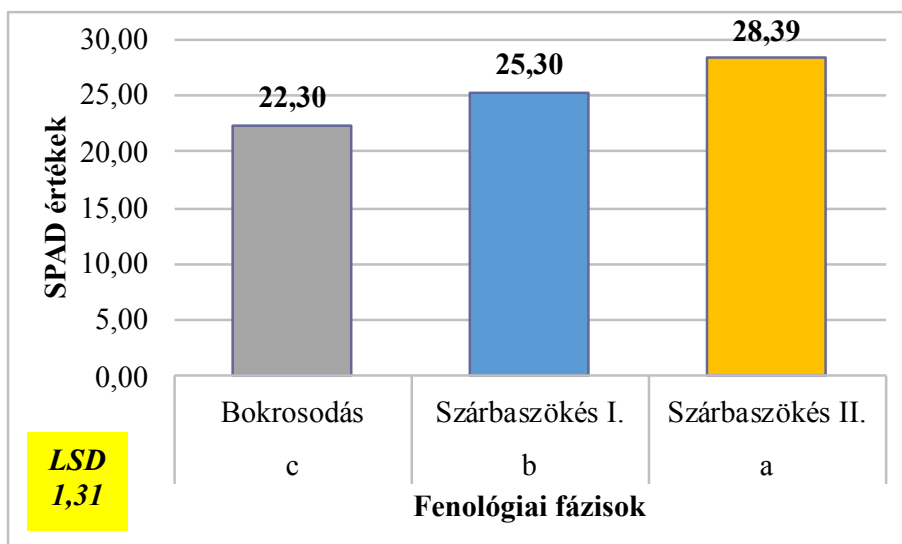
Az őszi búza kísérletben a CO₂ kezelések SPAD értékeire gyakorolt hatását ebben az esetben is post hoc teszt segítségével elemeztem, amely során két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan (P<0,05) különböztek egymástól. A legnagyobb SPAD értéket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 26,26 SPAD érték. A magasabb CO₂ koncentráció átlagosan 1,86-tal nagyobb SPAD értékeket eredményezett, mint az alacsonyabb 400 ppm koncentráció. Megállapítható, hogy a légköri koncentrációhoz képest az emelt CO₂ koncentráció szignifikánsan növelte a SPAD értékeket (4. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

4. ábra: A CO₂ koncentráció hatása az őszi búza SPAD értékeire

A SPAD értékekre a fenológiai fázisok is hatással voltak, mely értékeit a 5. ábra mutat be. A post hoc teszt szerint három homogén csoportot különböztetünk meg, amelyek között szignifikáns ($P < 0,001$) a különbség. A legmagasabb értéket, átlagosan 28,39 SPAD érték, szárbaszökés II. állapotban mértem. Ettől 3,09 SPAD értékkel kevesebbet mértem szárbaszökés I. és 6,09 SPAD értékkel kevesebbet bokrosodás fenológiai fázisban. A legkisebb átlagos értéket bokrosodáskor mértem, 22,30 SPAD érték (5. ábra).



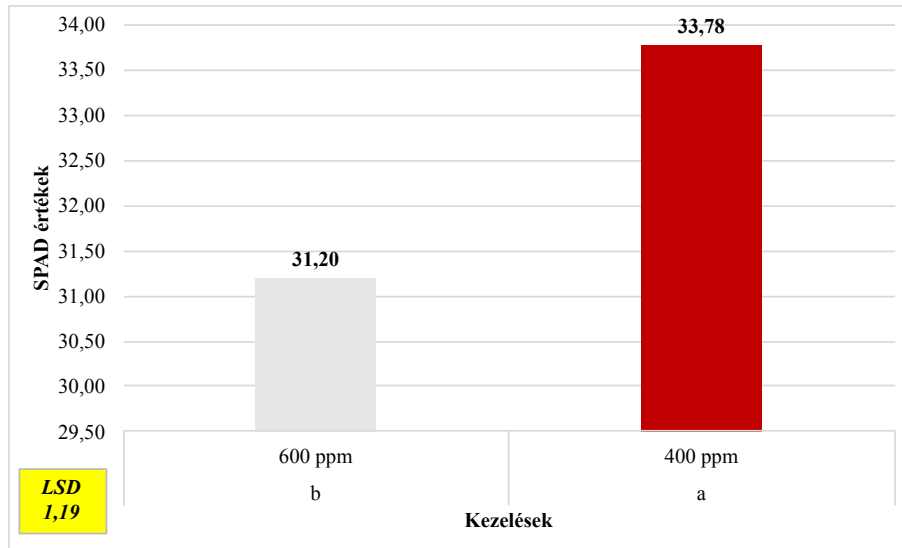
Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

5. ábra: A CO₂ kezelés hatása az őszi búza SPAD értékek alakulására fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása szignifikánsan nem befolyásolta a SPAD értékeit. A CO₂ koncentráció növekedésével az adott időpontban mért SPAD értékek is növekedtek. A legnagyobb SPAD értékeket, mindkét kezelés esetén, szárbaszökés II. fenológiai fázisban mértem, ahol a különbség, 2,12 SPAD érték. A legkisebb (21,75) értéket 400 ppm koncentráció mellett, bokrosodáskor mértem. Szárbaszökés I. fenológiai fázisban a magasabb CO₂ koncentráció eredményezte az átlagosan 26,47 SPAD értéket, mely ugyan 2,34-gyel meghaladta ugyanazon időpontban mért 400 ppm CO₂ kezelés értékét, de a különbség nem szignifikáns.

A kutatás során harmadik növényként szóját természettem laboratóriumi körülmények között. A kísérlet során választ szerettem volna kapni, hogy a szén-dioxid koncentráció és a szén-dioxid koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolja a szója különböző fejlettségi állapotában mért SPAD értékeket.

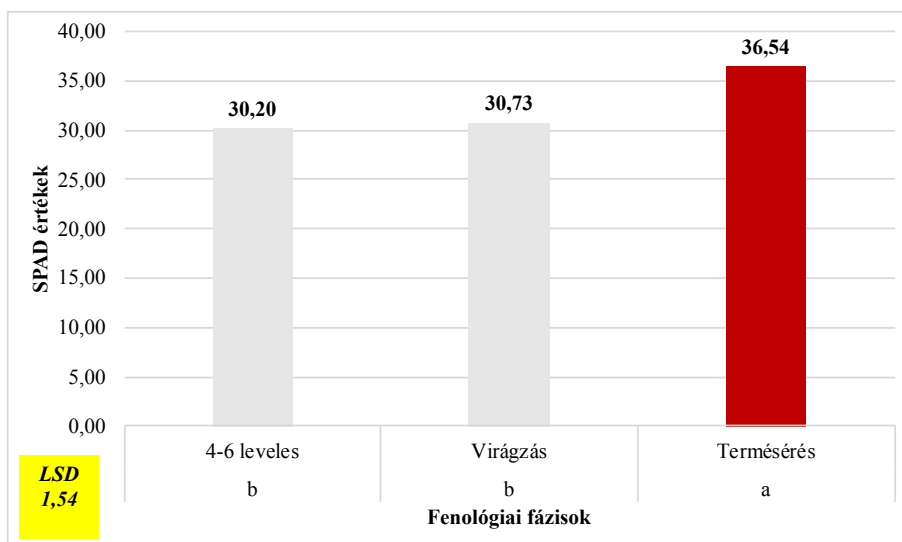
A CO₂ kezelések SPAD értékekre gyakorolt kölcsönhatását post hoc teszt segítségével elemeztem, ahol két homogén csoportot különböztetünk meg, melyek között szignifikáns ($P < 0,001$) a különbség. A magasabb átlagos SPAD értéket 400 ppm CO₂ koncentrációnál mértem, melyek átlagértéke 33,78 SPAD érték. A légköri CO₂ koncentráció átlagosan 2,58-cal magasabb SPAD értékeket eredményezett, mint az emelt 600 ppm CO₂ koncentráció. Megállapítható, hogy a légköri koncentrációnál mért SPAD értékek szignifikánsan különböztek az emelt CO₂ koncentrációnál mért értékektől (6. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

6. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a szója SPAD értékeire

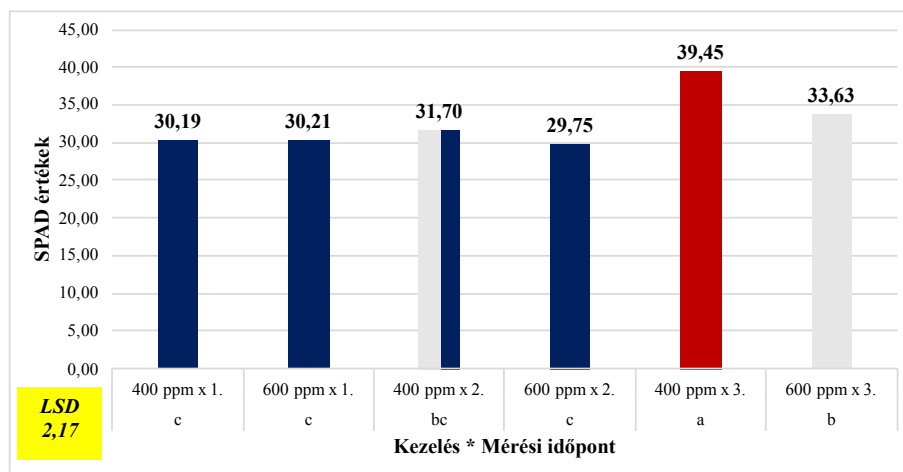
A szója SPAD értékeire fenológiai fázisonként is hatással van a CO₂ koncentráció, melyet a 17. ábra mutat. A post hoc teszt szerint két homogén csoportot kapunk eredménynek, amelyek szignifikáns ($P < 0,001$) különbséget mutatnak. A legmagasabb átlagos SPAD értéket, 36,54 SPAD érték, termésérés állapotában mértem. Ettől 5,81 SPAD értékkel kevesebbet mértem virágzáskor és 6,34 SPAD értékkel kevesebbet 4-6 leveles állapotban. A legkisebb értékeket 4-6 leveles fenológiai fázisban mértem, 30,2 SPAD érték (7. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

7. ábra: A CO₂ kezelés hatása a szója SPAD értékek alakulására fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása is szignifikánsan eltért a mért SPAD érték alapján. Általában légköri CO₂ koncentráció mellett mértem magasabb SPAD értékeket. A legmagasabb átlagos SPAD értéket terméséréskor mértem mindkét kezelés esetén, viszont a légköri koncentrációnál mért átlagértékek itt jelentősen, átlag 5,82 SPAD értékkel meghaladták a 600 ppm CO₂ koncentrációs értéket. A legalacsonyabb átlagos SPAD értékeket 4-6 leveles állapotban mértem, 30,19 és 30,21 SPAD érték, melyek szignifikánsan (P<0,001) különböztek a terméséréskor mért átlag értékektől. Virágzás állapotában is a 400 ppm CO₂ koncentráció eredményezett magasabb átlagos SPAD értékeket, melyek szignifikánsan (P<0,05) különböztek a terméséréskor mért értékektől, viszont adott állapotban nem volt számottevő különbség (8. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot

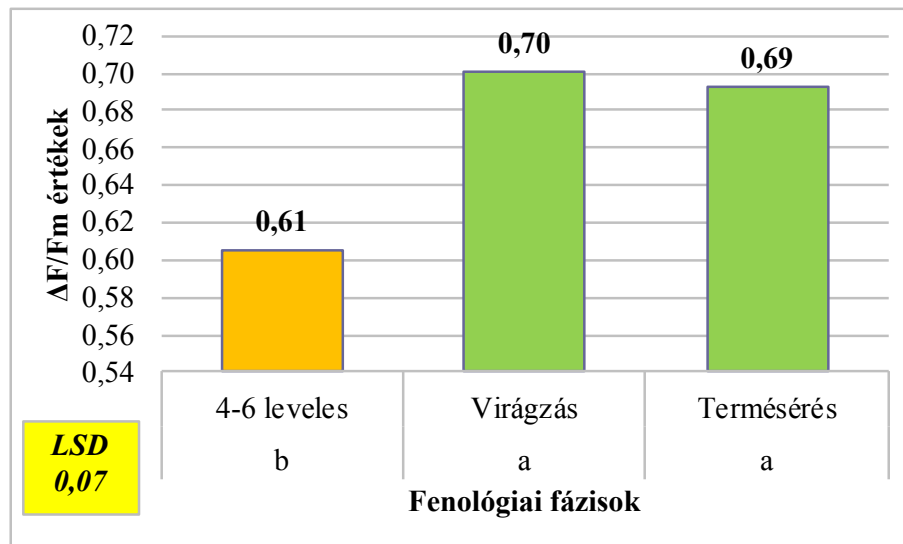
8. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a szója SPAD értékeire

Vizsgáltam a CO₂ koncentráció hatását a szója átlagos SPAD értékeire. A mérések átlaga és az ismételt mérési modell szerint a CO₂ koncentráció 0,05% szignifikancia szint mellett befolyásolja a mért SPAD értékeit. Ezen kívül a fenológiai fázisok (P<0,001), és a CO₂ és a mérési időpontok kölcsönhatása (P<0,01) is szignifikáns különbségeket mutattak.

3.2. A fényadaptált reakciócentrumok aktuális kvantumhatékonysága ($\Delta F/F_m$)

Borsó esetén a CO₂ kezelések $\Delta F/F_m$ értékekre gyakorolt hatását elemezve egy homogén csoportot kaptam, melyek szignifikánsan nem különböznek egymástól. 600 ppm koncentráció esetén 0,667, 400 ppm esetén 0,664 értékeket mértem.

A $\Delta F/F_m$ értékeire borsónál, fenológiai fázisonként hatással van a CO_2 koncentráció, melynek hatását a 9. ábrán mutatom be. A post hoc teszt alapján két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A legmagasabb értéket átlagosan 0,7, virágzás fenológiai fázisban mértem. Ettől 0,9-cel kevesebbet mértem 4-6 leveles állapotban, mely szignifikánsan különbözött. Továbbá 0,01-gyel mértem alacsonyabb értéket terméséréskor, de ebben az esetben a különbség nem kimutatható (9. ábra).

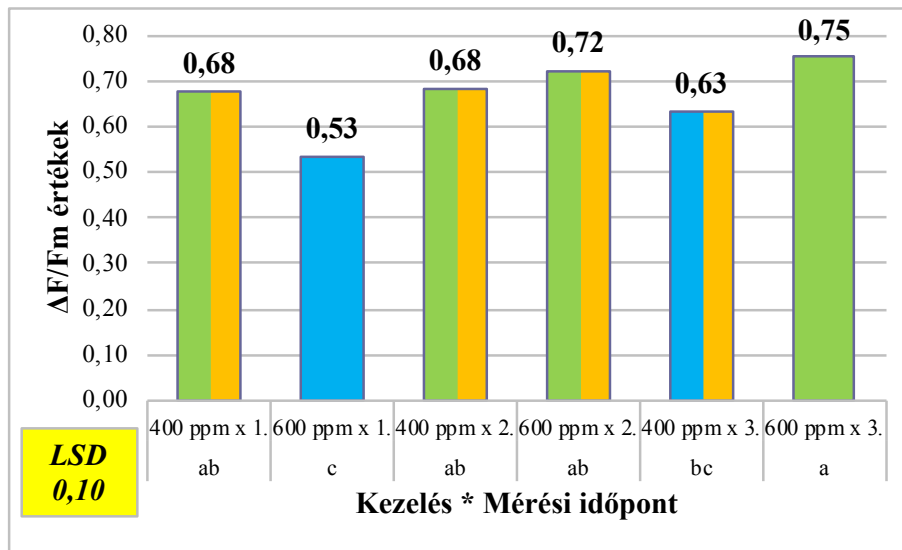


Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

9. ábra: A CO_2 kezelés hatása a borsó $\Delta F/F_m$ értékekre fenológiai fázisonként

A CO_2 koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatásában szignifikáns volt a különbség a mért $\Delta F/F_m$ értékeknél borsó esetén. A CO_2 koncentráció emelkedésével, virágzás és termésérés fenológiai fázisban emelkedtek az értékek, viszont 4-6 leveles állapotban csökkenés volt tapasztalható. A legmagasabb értékeket 600 ppm CO_2 koncentráció esetén, virágzáskor (0,72) és terméséréskor (0,75) mértem, a legalacsonyabb értéket (0,53) pedig 600 ppm koncentráció mellett, 4-6 leveles állapotban, mely szignifikánsan ($P < 0,01$) különbözött az alacsonyabb CO_2 koncentráció mellett mért értékeketől. Légköri koncentráció esetén nem tapasztaltam kiugró értékeket.

Virágzás fenológiai fázisban nem volt szignifikáns különbség a két koncentráció között. Termésérés fázisban, az emelt CO_2 koncentráció eredményezte a magasabb $\Delta F/F_m$ értékeket, mely 0,12-vel meghaladta az ugyanazon időpontban mért 400 ppm CO_2 koncentráció értékeit és szignifikánsan ($P < 0,01$) különbözött (10. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

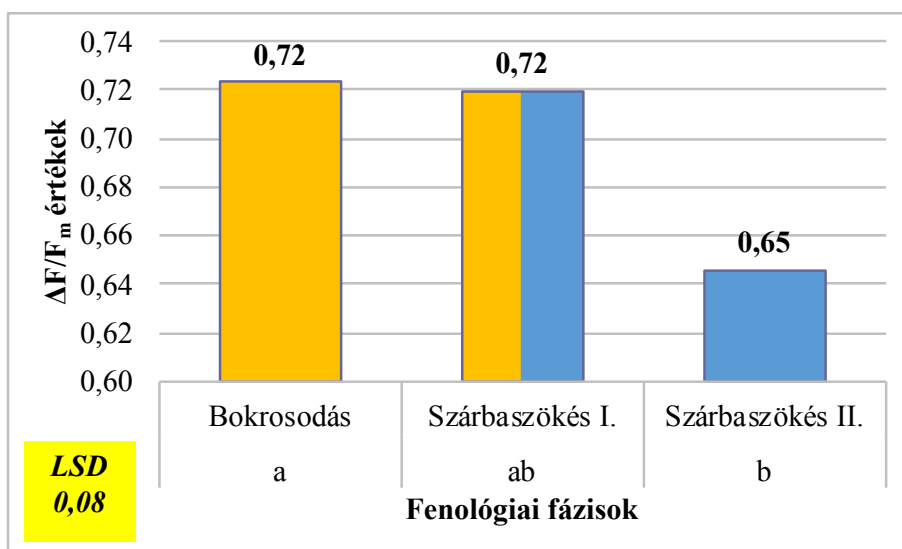
1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot

10. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a borsó $\Delta F/F_m$ értékeire

Megvizsgáltam a CO₂ hatását a $\Delta F/F_m$ értékekre. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményei alapján a CO₂ koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett nem befolyásolta a $\Delta F/F_m$ értékeket. Viszont fenológiai fázisonként, illetve a fenológiai fázis és CO₂ kölcsönhatása szignifikánsan ($P < 0,05$) hatott a $\Delta F/F_m$ értékekre.

Az őszi búza CO₂ kezelések $\Delta F/F_m$ értékekre gyakorolt hatását elemezve egy homogén csoportot kaptam, melyek szignifikánsan nem különböznek egymástól. 600 ppm koncentráció esetén 0,70, 400 ppm esetén 0,69 átlagos értéket mértem.

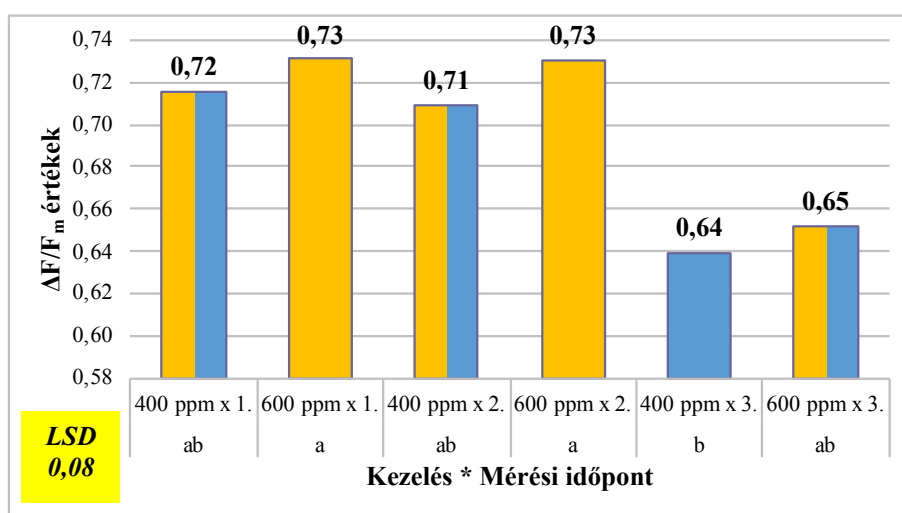
Az őszi búza $\Delta F/F_m$ értékeket befolyásolta fenológiai fázisonként a CO₂ koncentráció, melynek hatása a 11. ábrán látható. A post hoc teszt alapján két homogén csoport különböztethető meg, ahol szignifikáns ($P < 0,05$) a különbség. A legmagasabb értéket átlagosan 0,72, bokrosodás fenológiai fázisban mértem. Azonos értékeket mértem szárbaszökés I. állapotban, mely szignifikánsan nem különbözött. Továbbá 0,07-tel mértem alacsonyabb értéket szárbaszökés II. fázisban, ahol a különbség szignifikánsan ($P < 0,05$) kimutatható (11. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

11. ábra: A CO₂ kezelés hatása az őszi búza ΔF/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása esetén nem volt hatás a mért ΔF/F_m értékek között őszi búza esetén. A CO₂ koncentráció emelkedésével mindhárom fenológiai fázisban emelkedtek az értékek. A legmagasabb értékeket 600 ppm CO₂ koncentráció esetén, bokrosodás (0,73) és szárbaszökés I. (0,73) állapotban mértem, a legalacsonyabb értéket (0,64) pedig 400 ppm koncentráció mellett, szárbaszökés II. állapotban. Megállapítható, hogy 600 ppm koncentráció esetén az átlagos értékek mindhárom fenológiai fázisban magasabbak voltak, viszont szignifikáns eredményt nem tudtam kimutatni (12. ábra).



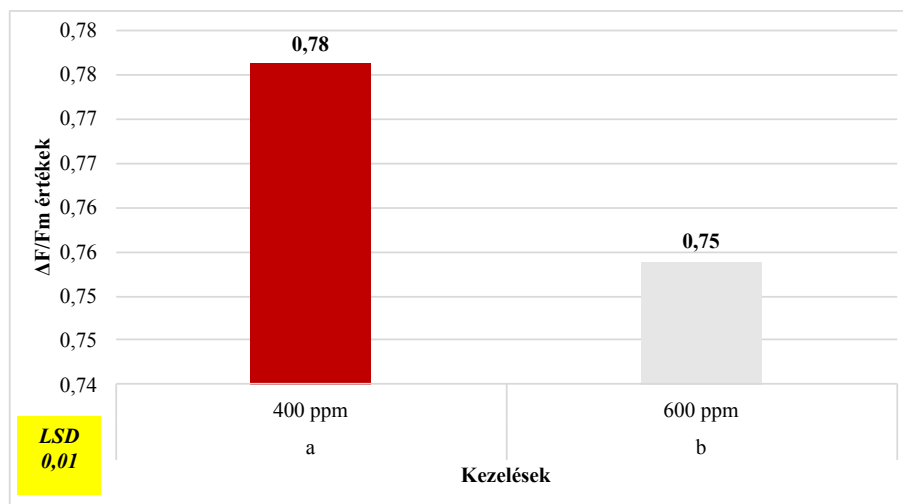
Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

1: bokrosodás állapot; 2: szárbaszökés I. állapot; 3: szárbaszökés II. állapot

12. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása az őszi búza ΔF/F_m értékeire

Elemeztem a CO₂ hatását az őszi búza $\Delta F/F_m$ átlagos értékeire. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményei alapján a CO₂ koncentráció emelkedése 0,05% szignifikancia szinten nincs hatással a $\Delta F/F_m$ értékekre. A fenológiai fázisok között szignifikáns eredmény volt kimutatható, illetve a fenológiai fázis és CO₂ kölcsönhatása esetén sem volt szignifikáns különbség a $\Delta F/F_m$ értékek között.

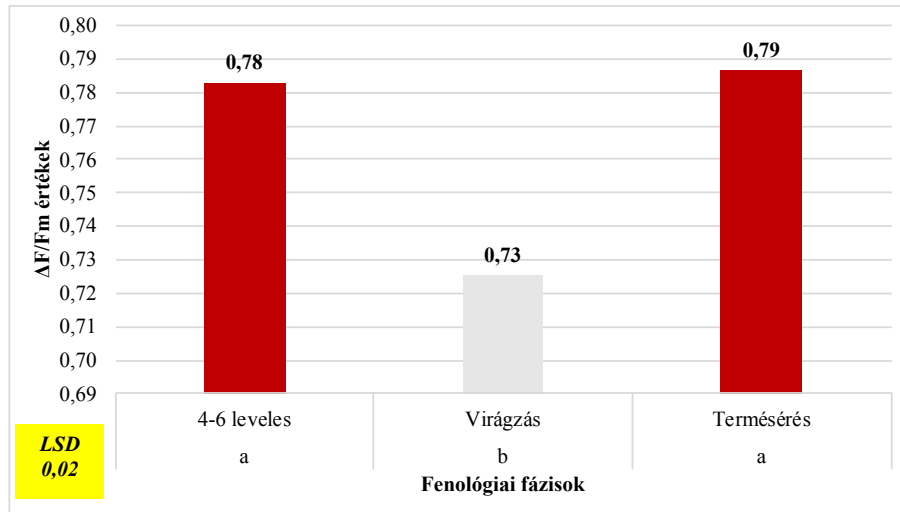
A szója kísérletben a CO₂ kezelések $\Delta F/F_m$ értékekre eredményezett kölcsönhatását post hoc teszt segítségével elemeztem, mely esetben két homogén csoport különböztethető meg, és szignifikáns ($P < 0,01$) különbséget tapasztaltam. A magasabb átlagos $\Delta F/F_m$ értéket légköri koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 0,78. Ez az érték 0,03-dal meghaladta az emelt CO₂ koncentrációnál mért átlagértéket. Megállapítható, hogy a légköri koncentrációnál mért $\Delta F/F_m$ értékek átlagában szignifikáns különbség van az emelt CO₂ koncentrációs értékhez viszonyítva (13. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

13. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a szója $\Delta F/F_m$ értékeire

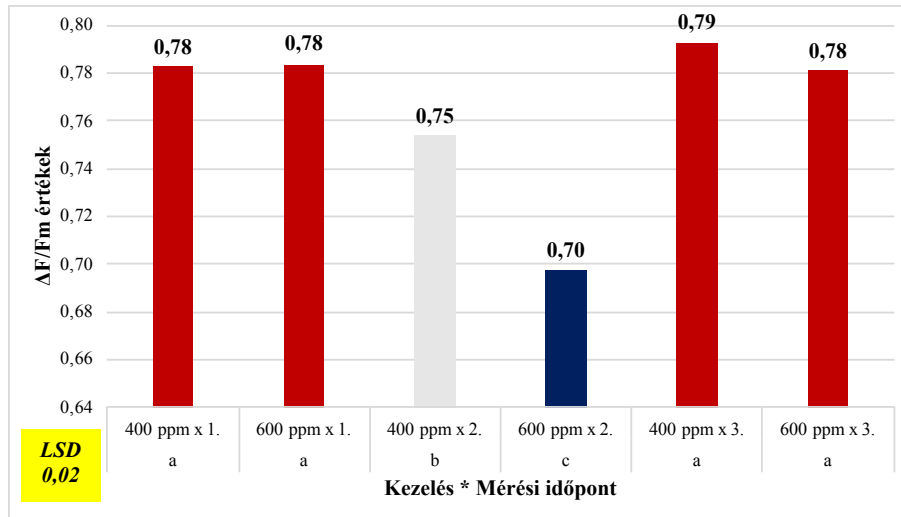
A $\Delta F/F_m$ értékeire fenológiai fázisonként is eltérő hatás tapasztaltam kezelésenként, melynek értékeit a 14. ábra mutat be. A post hoc teszt alapján két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan ($P < 0,001$) különböznek egymástól. A legmagasabb értéket átlag 0,79, termésérés fenológiai fázisban mértem. 4-6 leveles állapotban 0,78 átlagérték volt megfigyelhető. E két csoport között nincs különbség, viszont virágzás állapotában a 0,73 átlagérték szignifikánsan különbözik a másik csoporttól (14. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

14. ábra: A CO₂ kezelés hatása a szója ΔF/F_m értékekre fenológiai fázisonként

Szója vizsgálatok a CO₂ koncentráció és a fenológiai fázis kölcsönhatása esetén is szignifikáns értékek figyelhetők meg. 4-6 levelűs állapotban a mért átlagértékek nem különböztek. Virágzás állapotában mindkét CO₂ koncentrációban jelentős csökkenés volt mérhető, légköri CO₂ koncentráció mellett 0,03, míg emelt CO₂ koncentrációnál 0,08, az első mérésekhez képest, mely mindkét esetben szignifikánsan hatott. Termésérés fázisában is a 400 ppm CO₂ koncentráció eredményezte a magasabb ΔF/F_m átlagértéket, de ez csak 0,01-dal volt magasabb a 600 ppm CO₂ koncentrációs értékhez képest, ezért ebben az állapotban nem volt szignifikáns eltérés (15. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

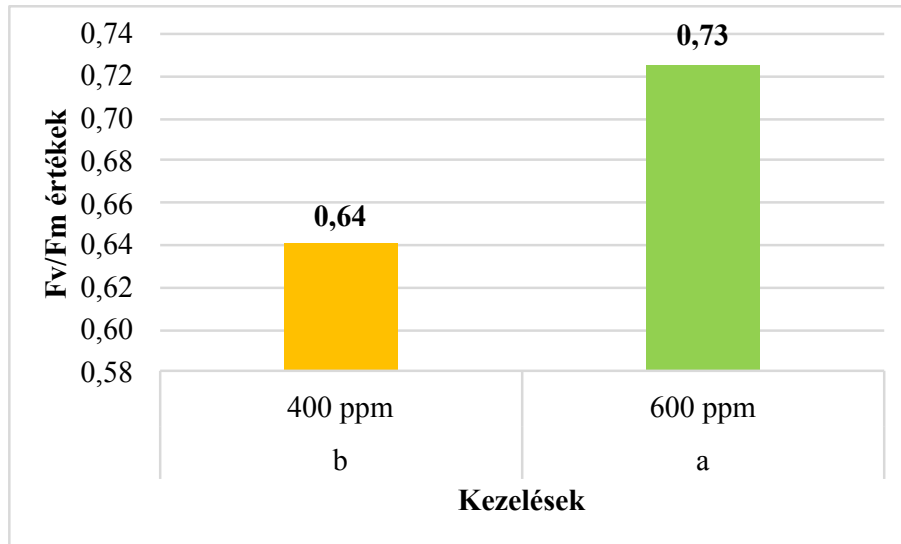
1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot

15. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a szója $\Delta F/F_m$ értékeire

Elemeztem a CO₂ hatását a $\Delta F/F_m$ értékekre. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményei alapján a CO₂ koncentráció emelkedése 0,05% szignifikancia szinten befolyásolta a $\Delta F/F_m$ értékeit. A fenológiai fázisok esetén (P<0,001) illetve a fenológiai fázis és CO₂ kölcsönhatása is szignifikáns (P<0,01) eredményeket mutat.

3.3. A PSII reakciócentrumok maximális kvantumhatékonysága (F_v/F_m)

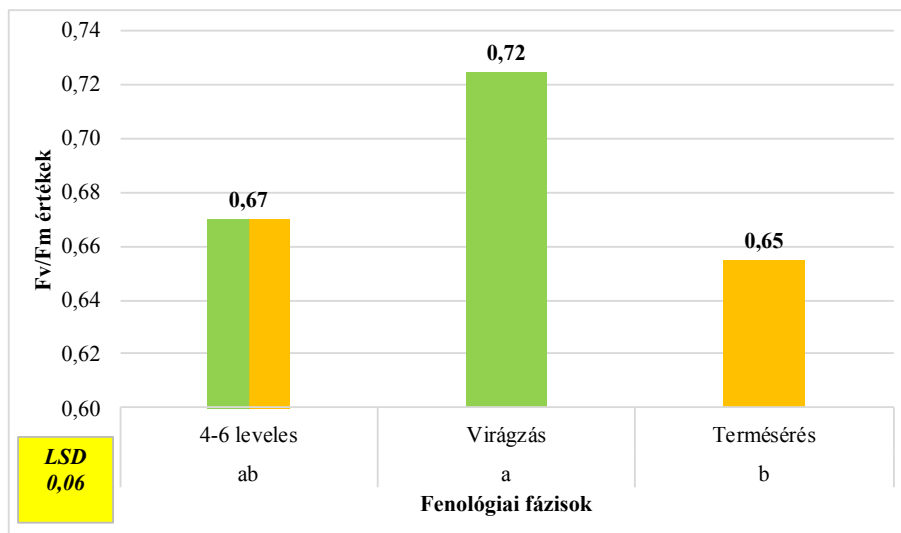
A CO₂ kezelések hatását vizsgálva borsó esetén, post hoc teszt segítségével, két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan (P<0,01) különböznek egymástól. A legmagasabb F_v/F_m értékeket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 0,73. A magasabb CO₂ koncentráció átlagosan 0,09-dal magasabb értékeket eredményezett, mint az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentráció. Megállapítható tehát, hogy a 600 ppm CO₂ koncentráció szignifikánsan (P<0,01) növelte az F_v/F_m értékét az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentrációhoz képest (16. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

16. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a borsó F_v/F_m értékeire

Az F_v/F_m értékét fenológiai fázisonként a CO₂ koncentráció szignifikánsan nem befolyásolta P<0,05 valószínűségi szinten. Az átlagosan legmagasabb értéket virágzás fenológiai fázisban mértem (0,72). A legalacsonyabb átlagos értéket (0,65) pedig virágzás állapotában (17. ábra).

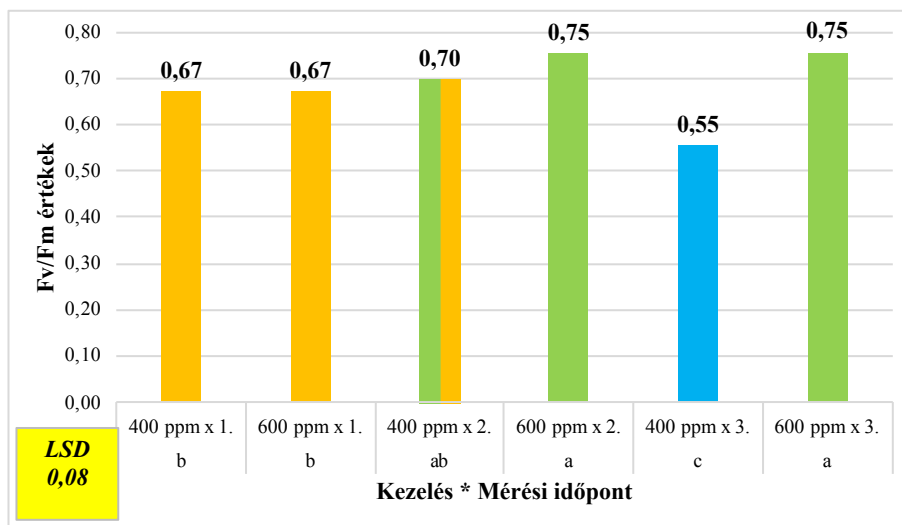


Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

17. ábra: A CO₂ kezelés hatása a borsó F_v/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázis kölcsönhatása szignifikánsan (P<0,01) hatott a mért F_v/F_m értékekre. A CO₂ koncentráció emelkedésével, kivéve 4-6 leveles állapotban, ahol

azonos átlagértéket kaptam (0,67), növekedtek az adott időpontban mért F_v/F_m értékek. A legmagasabb értéket (0,75) virágzás és termésérés fenológiai fázisban mértem. A legalacsonyabb értéket 400 ppm CO_2 koncentráció mellett, termésérés fázisában kaptam, mely 0,2-del volt alacsonyabb, mint 600 ppm CO_2 koncentráció esetén, így $P < 0,01$ szignifikáns különbséget mutat. Virágzás fázisban is a magasabb CO_2 koncentráció eredményezte a nagyobb értéket, mely 0,05-dal meghaladta az azonos időpontban mért 400 ppm CO_2 koncentráció átlagos F_v/F_m értékét, de ebben a fenológiai fázisban a különbség nem szignifikáns (18. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot

18. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a borsó F_v/F_m értékeire

Megvizsgáltam a CO_2 hatását a borsó F_v/F_m értékeire. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményeire alapozva megállapítottam, hogy a CO_2 koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett befolyásolta az F_v/F_m értékeit. A fenológiai fázisok között nem volt szoros kapcsolat 0,05%-os valószínűségi szinten. Viszont a fenológiai fázis és a CO_2 koncentráció interakciója szignifikánsan hatott az F_v/F_m értékeire.

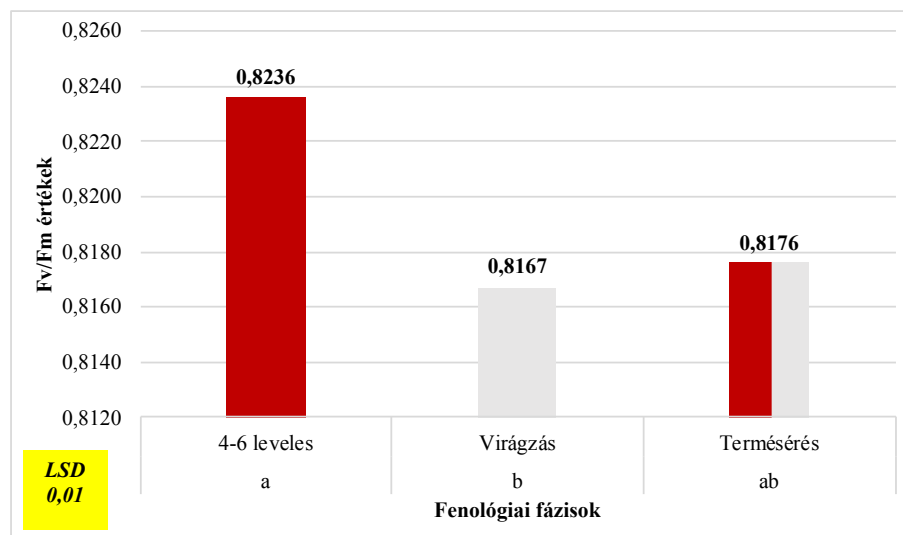
Vizsgáltam a CO_2 hatását az őszi búza F_v/F_m értékeire. Az F_v/F_m értéke, ha optimálisak a fejlődés körülményei, akkor élő, hajtásos növények esetén $0,832 \pm 0,004$ között alakul (Björkmann és Demmig- Adams, 1987). A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményeire alapozva megállapítottam, hogy a CO_2 koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett nem befolyásolta az F_v/F_m értékeit. Viszont az egyedi mérések

alapján nagymértékű variabilitást tapasztaltunk az F_v/F_m értékben, ahogy ezt *Veres et al.* (2011) is megállapították.

A fenológiai fázisok között nem volt szoros kapcsolat 0,05%-os valószínűségi szinten, és a fenológiai fázis és a CO_2 koncentráció kölcsönhatása sem hatott szignifikánsan az F_v/F_m értékeire

A CO_2 kezelések hatását vizsgálva szója esetén, post hoc teszt segítségével egy homogén csoportot kaptam, melyek között nem volt szignifikáns különbség. 400 ppm CO_2 koncentráció mellett 0,82 átlagértéket mértem. Emelt CO_2 koncentráció esetén volt alacsonyabb az átlagérték, 0,81, de a különbség nem számottevő.

Az F_v/F_m értékeket viszont a kezelés fenológiai fázisonként befolyásolta, mely a 19. ábrán látható. A post hoc teszt során két homogén csoport különböztethető meg, melyek között szignifikáns ($P < 0,05$) a különbség. A legmagasabb átlagos F_v/F_m értéket 4-6 leveles állapotban mértem, átlag 0,8236. Virágzáskor 0,8167 volt az átlagérték, mely szignifikánsan különbözött. Terméséréskor a mért 0,8176 átlagérték nem volt szignifikáns különbséggel a másik két fejlettségi állapotban mért értékekhez képest. (19. ábra).

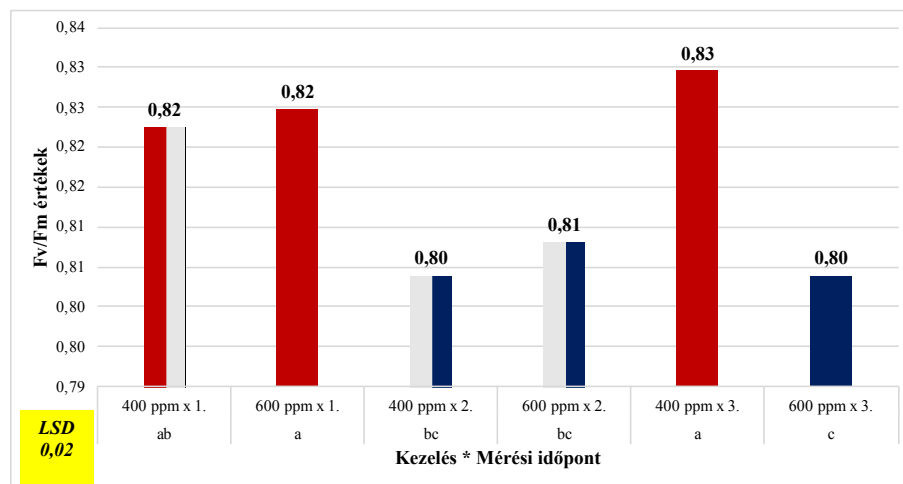


Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

19. ábra: A CO_2 kezelés hatása a szója F_v/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO_2 koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása is szignifikánsan ($P < 0,05$) hatott a mért F_v/F_m értékekre szója esetén. Az emelt CO_2 koncentráció magasabb átlagos értéket

eredményezett 4-6 leveles és virágzás állapotában, míg terméséréskor jelentős változást mértem. 4-6 leveles állapotban a két CO₂ koncentráció között nem volt szignifikáns különbség. Ugyanezt tapasztaltam virágzás állapotában is a két koncentráció között. Termésérés fenológiai fázisban viszont szignifikáns (P<0,05) különbséget mértem a CO₂ koncentrációk között. A mérési időpontokat elemezve megállapítható, hogy a virágzáskor mért átlag értékek szignifikánsan különböznek a többi időpontban mért értékektől. A legalacsonyabb átlagértéket összességében 600 ppm CO₂ koncentráció mellett terméséréskor mértem (20. ábra).



*Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek
1: 4-6 leveles állapot; 2: virágzás állapot; 3: termésérés állapot*

20. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása a szója F_v/F_m értékeire

Megvizsgáltam tehát szója esetén is a CO₂ hatását az F_v/F_m értékekre. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményeire alapozva megállapítottam, hogy a CO₂ koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett nem befolyásolta az F_v/F_m értékeit. Viszont a különböző fejlettségi állapotban mért átlagértékek és a kezelés és mérési időpont kölcsönhatása (P<0,05) szignifikánsan hatott.

3.4. A CO₂ koncentráció hatása a vizsgált növények morfológiai jellemzőire

Az emelt CO₂ koncentráció hatással van a növények morfológiai jellemzőire is. Kísérleteimben borsót vizsgálva mindkét koncentráció esetén 6-6 növényt vizsgáltam véletlenszerűen. Megállapítottam, hogy az átlagos gyökértömeg 0,06 g-mal magasabb volt emelt CO₂ koncentráció esetén, viszont a gyökérhossz ezzel ellentétben 1,43 cm-es csökkenést eredményezett átlagosan. A növénytömeg 0,27 g-mal volt magasabb 600 ppm CO₂ koncentráció mellett, de a hajtáshossz esetén átlagosan 1,5 cm-rel alacsonyabb értéket mértem.

A hüvelyek tömege szintén a magasabb CO₂ koncentráció mellett volt nagyobb, átlagosan 0,9 g-mal.

Megvizsgáltam az emelt CO₂ koncentráció hatását búza esetén is a morfológiai jellemzők alakulására. Hasonlóan a borsó kísérlethez, 6-6 növényt elemeztem véletlenszerűen kiválasztva. Megállapítottam, hogy a gyökértömeg 0,051 g-mal magasabb volt emelt CO₂ koncentráció esetén, párhuzamosan a gyökérhossz is magasabb értékeket eredményezett ebben az esetben, mely 1,86 cm-rel volt hosszabb átlagosan. A növénytömeg átlagban 1,43 g-mal volt több 600 ppm CO₂ koncentráció mellett. A növényhossz átlagos értékeiben találtam fordított arányosságot, mivel ebben az esetben 2,2 cm-rel kisebb eredményt kaptam a magasabb CO₂ koncentrációban.

Az emelt CO₂ koncentráció hatással van a szója morfológiai jellemzőire is. A szója kísérleteimben mindkét koncentráció esetén 4-4 növényt vizsgáltam véletlenszerűen. Megállapítottam, hogy az átlagos gyökértömeg 0,6 g-mal magasabb volt emelt CO₂ koncentráció esetén, és az átlagos gyökérhossz is jelentősen nagyobb értéket mutat, 17 cm-t eredményezett átlagosan. A növénytömeg 5,7 g-mal volt magasabb 600 ppm CO₂ koncentráció mellett, és a hajtáshossz esetén is átlagosan 35 cm-rel nagyobb értéket mértem. A hüvelyek tömege is nőtt a kezelés hatására. A magasabb CO₂ koncentráció mellett volt magasabb a hüvelyek tömege és mérete, átlagosan 2,02 g. Légköri CO₂ koncentrációnál a hüvelyek átlagos tömege 1,51 g. Megállapítható, hogy a légköri CO₂ koncentráció emelkedése pozitív hatással volt a morfológiai jellemzőkre, a növények jellemzően a tömegre fordították a többlet CO₂ mennyiséget. Generatív szempontból a CO₂ kezelés is pozitívan hatott.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kifejlesztettem egy költséghatékony eszközrendszert, mely egyszerűen, folyamatos ellenőrzés mellett, különböző klímaszcenáriók modellezésére képes és a gyakorlatban megbízhatóan alkalmazható.
2. Megállapítottam, hogy a fotoszintetikus aktivitás a CO₂ kezelések hatására a borsónál és az őszi búzánál fokozódik, míg a szója esetén a fotoszintetikus reakciócentrumok működése csökken. Borsó esetén 5%-kos valószínűségi szinten statisztikailag igazoltam a mért sötétadaptált F_v/F_m értékek alapján. A fényadaptált mérések átlagértékei emelkedtek a CO₂ kezelés hatására mind a borsó, mind az őszi búza esetén. A szója vizsgálata során megállapítottam, hogy csökkent a fotoszintetikus aktivitás, melyet a fény- illetve sötétadaptált mérések is igazolnak, viszont statisztikailg igazolható különbséget a $\Delta F/F_m$ értékek között tudtam kimutatni.
3. Kimutattam, hogy a CO₂ koncentráció fenológiai fázisonként eltérő hatással van a különböző C3 típusú növények, a borsó, az őszi búza és a szója SPAD értékeire 5%-kos valószínűségi szinten. Az *Irina* borsófajta 4-6 leveles állapotban, míg a *KWS Farinelli* őszi búza és a *Pannónia Kincse* szójafajta kalászolás előtt, illetve terméséréskor érte el az átlagosan legmagasabb SPAD értéket.
4. Megállapítottam, hogy a 600 ppm CO₂ koncentráció a légköri CO₂ koncentrációhoz képest 5%-kos valószínűségi szinten szignifikánsan növelte a vizsgált növények SPAD értékeit, mely értékek átlagosan két SPAD értékkel voltak magasabbak.
5. Kimutattam, hogy a fotoszintetikus reakciócentrumok működése különböző CO₂ koncentrációk mellett és adott állapotban növény-specifikus.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A klimatikus viszonyok modellezéséhez kifejlesztettem egy költséghatékony és megbízható rendszert, mely képes különböző klímaszcenáriók hatásait szimulálni. A klímakamrákban a légköri koncentráció mellett, a levegőztető berendezések segítségével 600 és 1500 ppm között végezhetőek CO₂ kezelés vizsgálatok.
2. A páratartalmat biztosító rendszer módosítása révén, a klímakamrában lehetőség van légköri aszály hatásának vizsgálatára is. A kamrákban a páratartalom 20% és 40% közötti értékre csökkenthető.
3. A fényforrás, illetve a fénycsövek számának módosításával, lehetőség van fénystressz vizsgálatok elvégzésére. A kibocsátott fény intenzitása könnyen mérhető egy arra alkalmas készülékkel.
4. Továbbá a kísérletek során, a disszertáció szerves részét nem képező információkra alapozva megállapítottam, hogy az öntözés fokozza az emelt légköri CO₂ koncentráció hatásait. Szárazabb körülmények között a CO₂ hatás mérséklődik. A csírázás hamarabb megindult, felgyorsult az egyedfejlődés mely főként a morfológiai jellemzők alakulásában volt mérhető.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Björkman O. – Demmig-Adams B.:* 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*. 170: 489-504.
- de Mendiburu F.:* 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Fox J. – Weisberg S.:* 2011. *An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition*. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Friedlingstein P. – Cox P. – Betts R. – Bopp L. – Von Bloh W. – Brovkin V. – Cadule P. – Doney S. – Eby M. – Fung I. – Bala G. – John J. J. – Jones C. J. – Joos F. – Kato T. K. – Kawamiya M. – Knorr W. – Lindsay K. – Matthews H. D. – Raddatz T. – Rayner P. – Reick C. – Roeckner E. – Schnitzler K. G. – Schnur R. – Strassmann K. – Weawer A. J. – Yoshikawa C. – Zeng N.:* 2006. Climate-Carbon Cycle Feedback Analysis: Results from the C4MIP Model Intercomparison. *Journal of Climate* 19, 3338-3353.
- Haripriya A. M. – Byju G.:* 2008. Chlorophyll meter and leaf colour chart to estimate chlorophyll content, leaf colour, and yield of cassava. *Photosynthetica*. 46(4): 511-516.
- Harnos N. – Veisz O. – Tischner T.:* 1998. Effects of elevated CO₂ concentration on the development and yield components of cereals. *Acta Agron Hung* 46, 15-24.
- Högy P. – Wieser H. – Kohler P. – Schwadorf K. – Breuer J. – Franzaring J. et al.:* 2009. Effects of elevated CO₂ on grain yield and quality of wheat: Results from a 3-year free-air CO₂ enrichment experiment *Plant Biology*. 11. pp. 60–69.
- Inada K.:* 1963. Studies on a method for determining the deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical applications. I. Principles for estimating the deepness of green color and chlorophyll content of whole leaves. *Proc. Crop. Sci. Soc.* 32: 157–162.
- Kendall A. C. – Turner J. C. – Thomas S. M.:* 1985b. Effects of CO₂ enrichment at different irradiances on growth and yield of wheat. II. *J Exp Bot* 36, 261-263.
- Kimball B. A. – Morris C. F. – Pinter P. J. – Wall G. W. – Hunsaker D. J. – Adamsen F. J. et al.:* 2001. Elevated CO₂, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality *New Phytologist*. 150. pp. 295–303.

- Kimball B. A. – Pinter P. J. – Garcia R. L. – Lamorte R. L. – Wall G. V. – Hunsaker D. J. – Wechsung G. – Wechsung F. – Kartschall T.:* 1995. Productivity and water use of wheat under free-air CO₂ enrichment. *Global Change Biol* 1, 429-442.
- Minolta:* 1990. Specifications in detail – chlorophyll meter SPAD 502. Minolta Technical Note. TE102–601–01.
- OS5p user's guide:* 2017. The New Standard in Portable Chlorophyll Fluorometers. <https://www.optisci.com/os5p.html>
- R Core Team.:* 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rogers G. S. – Gras P. W. – Batey I. L. – Milham P. J. – Payne L. – Conroy J. P.:* 1998. The influence of atmospheric CO₂ concentration on the protein, starch and mixing properties of wheat flour *Australian Journal of Plant Physiology*. 25. pp. 387–393.
- RStudio Team.:* 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com/>
- Schröder J. J. – Neeteson J. J. – Oenema O. – Sruik P. C.:* 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crop. Res.* 66: 151–164.
- Ványiné Széles A.:* 2008. SPAD-érték és a kukorica (*Zea mays* L.) termésmennyisége közötti összefüggés elemzése különböző tápanyag és vízellátottsági szinten. Doktori (PhD) értekezés.
- Veres Sz. – Al I. M. – Tóth B. – Makleit P. – Nagy L. – Nagy L. G. – Zed R.:* 2011. Búza genotípusok fotokémiai aktivitásának változása eltérő adagú nitrogéntáplálásnál. 55th Georgicon Scientific Conference. 451.
- Warnes G. R. – Bolker B. – Bonebakker L. – Gentleman R. – Liaw W. H. A. – Lumley T. – Maechler M. – Magnusson A. – Moeller S. – Schwartz M. – Venables B.:* 2015. gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0. <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>.



Nyilvántartási szám: DEENK/109/2018.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tamás András
Neptun kód: IYD7V4
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10056747

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Tamás, A.:** Innovatív fejlesztések Hajdú-Bihar megyében.
In: Energia a mindennapokban : Verseny és konferencia. Szerk.: Lázár István, Megújuló
Energiapark Kutatóközpont Kft., Debrecen, 117-122, 2015. ISBN: 9786155212338

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

2. **Tamás, A.:** A légkör emelkedő szén-dioxid koncentrációjának hatása a növénytermesztésre.
Agrártud. Közl. 67, 81-84, 2016. ISSN: 1587-1282.
3. Nagy, O., Balla, Z., Kith, K., **Tamás, A.:** A hulladékgazdálkodás szabályozásának elemei.
Debreceni Műszaki Közl. 2, 89-93, 2014. ISSN: 1587-9801.
4. Kith, K., **Tamás, A.**, Nagy, O.: Hulladékkezelési technológiák alkalmazásának összehasonlítása
Hajdú-Bihar megyében.
Debreceni Műszaki Közl. 2, 104-108, 2014. ISSN: 1587-9801.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

5. **Tamás, A.**, Törő, Á., Balla, Z., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Effects of carbon dioxide concentration on
chlorophyll fluorescence of peas "Pisum sativum L.".
Columella. 4 (1), 149-152, 2017. ISSN: 2064-7816.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>
6. **Tamás, A.:** The effect of rising of atmospheric carbon dioxide on crop production.
Növénytermelés. 65 (Suppl.), 127-130, 2016. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.65.2016.Suppl>





Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

7. Balla, Z., **Tamás, A.**, Vántus, A., Hagymássy, Z.: Különböző műtrágyák fizikai tulajdonságainak vizsgálata.

In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai.

Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 12-17, 2017. ISBN: 9789637064357

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

8. Nagy, O., **Tamás, A.**, Harsányi, E., Vántus, A., Kith, K.: Possibilities of reducing carbon dioxide emissions in arable crop production.

Növénytermelés. 64 (Suppl.), 143-146, 2015. ISSN: 0546-8191.

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

9. Törő, Á., **Tamás, A.**, Vántus, A., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Az emelkedő szén-dioxid kibocsátás és annak összefüggései a mezőgazdasággal.

Agrártud. Közl. 72, 197-201, 2017. ISSN: 1587-1282.

10. **Tamás, A.**: Megújuló energiák hasznosításának lehetőségei Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyékben.

Agrártud. Közl. 2015 (63), 143-146, 2015. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

11. Balla, Z., **Tamás, A.**, Vántus, A., Hagymássy, Z.: Determining the main physical characteristics of fertilisers.

Columella. 4 (1), 305-308, 2017. ISSN: 2064-7816.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

12. Kith, K., Nagy, O., Balla, Z., **Tamás, A.**: Biogas - the calculable energy.

Geophys. Res. Abstr. 17, [1], 2015. ISSN: 1607-7962.

13. Balla, Z., Kith, K., **Tamás, A.**, Nagy, O.: Renewable energy from biomass: a sustainable option?: Hydrogen production from alcohols.

Geophys. Res. Abstr. 17, [1], 2015. ISSN: 1029-7006.





14. **Tamás, A.**, Nagy, O., Balla, Z., Kith, K.: Resource efficiency and its necessity.
Geophys. Res. Abstr. 17 (9096), [1], 2015. ISSN: 1607-7962.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2018.04.24.

