

DEBRECENI EGYETEM

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Nagy János
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető(k):

Dr. Harsányi Endre Ph.D.
egyetemi docens

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

Készítette:

Tamás András
doktorjelölt

Debrecen

2018

NÖVÉNYI VÁLASZREAKCIÓK A LEVEGŐ NÖVEKVŐ SZÉN-DIOXID KONCENTRÁCIÓJÁRA

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta: Tamás András okleveles gazdasági agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**
(növénytermesztési és kertészeti tudományok programja) keretében

Témavezető: Dr. Harsányi Endre, PhD

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Nagy János	Ds.C.
tagok:	Dr. Zsombik László	Ph.D.
	Dr. Szabó Béla	Ph.D.

A doktori szigorlat időpontja: 2018 . június 14 .

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:
tag:
titkár:

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....	5
1.1. Célkitűzések.....	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
2.1. A szén-dioxid koncentráció és a klímaváltozás kapcsolata.....	9
2.1.1. A légkör CO ₂ koncentrációjának változása és hatásai.....	9
2.1.2. A légkörben jelen lévő CO ₂ szerepe.....	10
2.1.3. Az ökológiai rendszerek szénforgalma.....	11
2.2. A szén-dioxid koncentráció hatása a növényekre.....	14
2.2.1. A növények közötti különbségek fotoszintézis szempontjából.....	14
2.2.2. A CO ₂ koncentráció hatása a csapadék mennyiségére.....	18
2.3. A vizsgált növények jelentősége, rendszertani helye, származása.....	19
2.3.1. A borsó jelentősége, rendszertani helye, származása.....	19
2.3.2. A búza jelentősége, rendszertani helye, származása.....	21
2.3.3. A szója jelentősége, rendszertani helye, származása.....	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	24
3.1. A mérési helyszín és a növénynevelő kamrák bemutatása.....	24
3.2. A kísérletekben vizsgált fajták.....	25
3.3. A kísérletek leírása.....	25
3.3.1. Növénynevelési Feltételek.....	25
3.3.2. A kísérletek kezelései.....	27
3.4. Mérő eszközök és vizsgálati módszerek.....	28
3.4.1. CI-340 kézi fotoszintézis mérő és TESTO 535 CO ₂ koncentráció mérő berendezések.....	28
3.4.2. SPAD-502 klorofill mérő kézi berendezés.....	29
3.4.3. OS5p+ fluoreszcencia mérő berendezés.....	30
3.4.4. Kísérleti adatok statisztikai értékelése.....	31
4. EREDMÉNYEK.....	33
4.1. A klorofill tartalom vizsgálatok eredményei.....	33
4.1.1. A CO ₂ koncentráció hatása az <i>Irina</i> borsófajta klorofill tartalmára.....	33
4.1.2. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>KWS Farinelli</i> őszi búza klorofill tartalmára....	36
4.1.3. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>Pannónia Kincse</i> szójafajta klorofill tartalmára.....	39

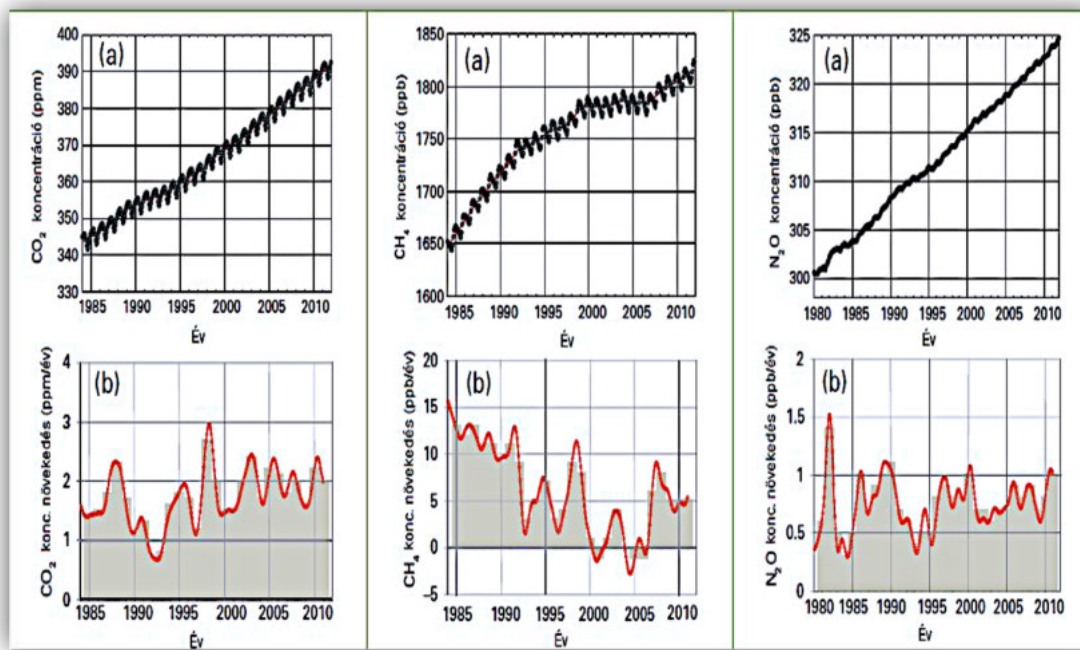
4.2. A fényadaptált reakciócentrumok aktuális kvantumhatékonysága ($\Delta F/F_m$).....	42
4.2.1. A CO ₂ koncentráció hatása az <i>Irina</i> borsófajta $\Delta F/F_m$ értékeire.....	42
4.2.2. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>KWS Farinelli</i> őszi búza $\Delta F/F_m$ értékeire.....	45
4.2.3. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>Pannónia Kincse</i> szójafajta $\Delta F/F_m$ értékeire....	48
4.3. A PSII reakciócentrumok maximális kvantumhatékonysága (F_v/F_m).....	51
4.3.1. A CO ₂ koncentráció hatása az <i>Irina</i> borsófajta F_v/F_m értékeire.....	51
4.3.2. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>KWS Farinelli</i> őszi búza F_v/F_m értékeire.....	54
4.3.3. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>Pannónia Kincse</i> szójafajta F_v/F_m értékeire....	57
4.4. A CO₂ koncentráció hatása a vizsgált növények morfológiai jellemzőire.....	60
4.4.1. A CO ₂ koncentráció hatása az <i>Irina</i> borsófajta morfológiai jellemzőire.....	60
4.4.2. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>KWS Farinelli</i> őszi búza morfológiai jellemzőire.....	61
4.4.3. A CO ₂ koncentráció hatása a <i>Pannónia Kincse</i> szójafajta morfológiai jellemzőire.....	62
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	64
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	65
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA.....	66
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	67
9. SUMMARY.....	70
10. IRODALOMJEGYZÉK.....	73
11. MELLÉKLETEK.....	87
12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	101
13. NYILATKOZAT.....	102
14. NYILATKOZAT.....	102

1. BEVEZETÉS

Napjainkra tényré vált, hogy Földünk arculata és életközösségei megváltoztak. Főként a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása és a trópusi esőerdők csökkenése miatt az emberiség már olyan mértékben beavatkozott a természet folyamataiba, hogy akár már az emberi létet is veszélyeztetheti. A globális klímaváltozás lehetséges hatásait megismerve az ENSZ már az 1972-es Stockholmi Konferenciáján sürgette a légkörbe jutó üvegházhatású gázok és az éghajlatváltozás összefüggéseinek vizsgálatát.

Az ipar, az energiatermelés, a közlekedés és a mezőgazdaság hatásai a légkör összetételére mára felismerhetően jelentkeznek azáltal, hogy az üvegházhatású gázok keveredésének aránya megemelkedett, továbbá a levegőben megtalálható különböző méretű és kémiaiailag eltérő összetételű szilárd részecskék, mint például az aeroszol és a szálló por mennyisége is jelentősen megemelkedett. Fontos, hogy a légkör összetevőinek mennyiségi változása bármely irányban megváltoztathatja a Föld és a légkör rendszerének energiaeloszlását és világ szintű hőmérsékletváltozást eredményezhet (*Friedlingstein et al.*, 2006).

Az üvegházhatást előidéző gázok közül legfontosabbak a vízgőz, a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O), a hidrofluorkarbonok (HFC), a perfluorkarbonok (PFC), a kénhexafluorid (SF_6). A legjelentősebb részt a vízgőz képviseli a légkörben, viszont ennek mennyiségét az ember tevékenysége nem befolyásolja közvetlenül. A global warming potential, röviden GWP, amely globális felmelegedési potenciált jelent, az üvegházhatást okozó gázok sugárzásának értékét fejezi ki. A CO_2 esetében ez a felmelegedési potenciál a definíció szerint egy. Ha egy száz éves időskálát veszünk alapul, akkor a CH_4 értéke 21, a N_2O 310, a HFC-é 140 és 11700 között változik, a PFC-é pedig 6500 és 9200 között van (minden vegyületnél eltérő ez az érték). Az SF_6 felmelegedési potenciálja a legmagasabb, 23900. A légkörben jelen lévő üvegházhatású gázok más-más mennyiséget képviselnek, például a CO_2 keverési aránya körülbelül 387 ppm (milliomod térfogatrész), a CH_4 -é 1,7 ppm, a N_2O -é 0,3 ppm, az egyéb antropogén üvegházhatású gáz mindössze nagyságrendileg 2-10 ppm értéket képvisel összesen. Ha a keverési arányt és a felmelegedési potenciált együttesen vesszük figyelembe, akkor megállapítható, hogy a legjelentősebb üvegházhatást előidéző gáz a CO_2 (*IPCC*, 2007).



1. ábra: Globális szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid koncentráció és növekedés mértéke 1984-2011. között

(Forrás: II)

Ciais és munkatársai, majd *Vetter és munkatársai* is megállapították, hogy a talaj - növény - légkör rendszer egy nagyon labilis szénkötő és tároló közeg, amely az éghajlat változására, úgymint csapadéokra, hőmérsékletre, besugárzásra és egyéb más tényezők hatására a szénforgalma igen gyorsan és jelentős mértékben változhat, amely az üvegházhatás által visszahathat az éghajlati viszonyokra is. Ha azt vesszük alapul, hogy az elmúlt tízezer év során a bioszféra szén felvétele és leadása egyensúlyban volt, addig az utóbbi 20-30 évben a felvétel nőtt jelentősen (*Ciais et al., 1995; Vetter et al., 2005*). Ez tovább fokozza az emelkedő antropogén CO₂ kibocsátás miatt kialakult hőmérséklet emelkedést, összességében pedig az éghajlatváltozást. Egyelőre viszont nem tudhatjuk biztosan, hogy ez a viszonylagosan instabil széntároló a hőmérséklet további emelkedése esetén nem alakul-e nettó szénforrássá, ami akár a közeljövőben is bekövetkezhet. Amíg nem ismerjük meg biztosra a bioszféra viselkedését, addig akadályokba ütközhet a szén-dioxid (CO₂) légköri keverési arányának előrejelzése, ez által a változása, majd ezen keresztül az éghajlatváltozás mértékének megítélése. Mindehhez elsősorban a talaj, a növény és a légkör rendszer szintjében végbemenő szénforgalom megváltozásának lehetséges okait kell megismernünk (*Ciais et al., 1995*). A szénforgalomban részt vevő

alkotó elemek jelenleg kellő mértékben nem ismertek. A mezőgazdasági területek és gyepterületek, az erdők mellett, igen fontos szerepet töltenek be a bioszféra és a légkör között kialakult szénforgalomban. A füves ökológiai rendszerek CO₂ cseréjéről és megkötéséről egyelőre kevés tudás van birtokunkban, viszont az bizonyos, hogy a globális szénforgalomban jelentős szerepet töltenek be (*Soussana et al.*, 2007). Az európai gyepterületek legnagyobb részét művelik, főként takarmányozási céllal, de közvetlenül legelőként és kaszálóként is hasznosítják. A talaj az egyik természeti erőforrásunk, a szántóföldi növénytermesztés szempontjából a legfontosabb, így fenntarthatósága kiemelt jelentőségű (*Zsembeli et al.*, 2015). Az alkalmazott művelések típusa és gyakorisága jelentősen módosíthatja az üvegházhatású gázok kibocsátását, azaz igen jelentős szerepet tölt be a gyepek és a mezőgazdaságban hasznosított területek szén és vízháztartásában (*Ciais et al.*, 2010).

Magyarország teljes területének 85,5%-án folyik mezőgazdasági termelés, és az éves átlagos csapadék mennyisége 550–600 mm között változik. A globális felmelegedés miatt egyre gyakoribbá válik a szélsőséges időjárás (*Nagy et al.*, 2016). A kultúrnövények termesztésére használatba vett mezőgazdasági területeken többféle művelés folyik folyamatosan, például vetés, aratás, szántás, műtrágyázás, stb. A nagy intenzitást képviselő, úgynevezett intenzív növénytermesztés jellemzően nagyobb területű táblákon történik, több esetben fokozott mennyiségű műtrágya és növényvédőszer felhasználásával. Az extenzív növénytermesztést, mely egy alacsonyabb intenzitású típus, főként kisparcellás művelés jellemzi vagy ha nagyobb táblán is történik, akkor kontrollált műtrágya és növényvédőszer felhasználása mellett. A művelés módja és intenzitása jelentősen mértékben befolyásolja egy adott ökológiai rendszer működését. A talajok szén-dioxid kibocsátásának mértéke és intenzitása szoros összefüggésben van annak szerkezetével és szervesanyag tartalmával (*Zsembeli és Kovács*, 2012).

1.1. Célkitűzések

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. Kísérleteim során C3 típusú növényeket vizsgáltam. A jövőben C4 típus vizsgálatát tűztem ki célul. 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. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az irodalmi áttekintés kapcsán azért tartottam fontosnak az alábbi témák tisztázását, mivel a növényállomány egy olyan nyitott ökológiai rendszer, mely folyamatos, állandó és dinamikus kölcsönhatást eredményez az abiotikus és biotikus környezeti tényezők között. A fotoszintézis mértéke a környezeti tényezők által befolyásolt, ilyen például a fényintenzitás, a CO₂ koncentráció, a víz, a hőmérséklet, és a tápanyagellátottság. Növényélettani tényezők között rendkívül fontos befolyásoló tényező a növény élettani állapota és kora. A környezeti tényezők minden esetben befolyásolják a növények fejlődését, a levélfelület méretét, továbbá szerepet játszanak a fotoszintetikus rendszer működésének időtartamában és a tenyészidőszak hosszában.

Továbbá fotoszintézis tekintetében lényeges és fontos különbségek vannak a C₃ és C₄ típusú növények között. Az elnevezést arról kapták, hogy a légköri CO₂ asszimilálásakor képződő első molekula milyen szénatomszámú.

2.1. A szén-dioxid koncentráció és a klímaváltozás kapcsolata

2.1.1. *A légkör CO₂ koncentrációjának változása és hatásai*

A légkör szén-dioxid koncentrációja az utóbbi évtizedekben egyre gyorsabb ütemben növekedett. Míg 1957-ben a légköri CO₂ koncentráció 315 ppm körül mozgott, addig 2012-ben elérte a 394,49 ppm koncentrációt. A légkör megnövekedett CO₂ szintje, mely számos egyéb tényező mellett felelős lehet a klímaváltozásért, közvetlenül hatással van a növények fejlődésére és növekedésére. Változások történtek a növények fejlődésében a megváltozott csapadék, hőmérséklet és párologtatási viszonyok miatt, valamint a tenyészidőszak jellemzői is változásokat idéznek elő. A közvetett hatások között, olyan egyéb tényezőknek a változásai állnak, melyek szintén hatással vannak a növények fejlődésére, és az emelkedett CO₂ koncentráció globális eredményeképpen jöttek létre. A légkör emelkedő CO₂ koncentrációja hozzájárul a globális felmelegedéshez, és így a változások kihatnak, mind a csapadék, mind a párologás mennyiségére. Sőt, a CO₂ koncentrációja közvetlenül befolyásolja a növények termelékenységét és élettanát (Kruijt, 2008). A légköri CO₂ koncentráció várhatóan eléri az 550 ppm értéket a század közepére (Carter et al., 2007).

Ezzel párhuzamosan a globális hőmérséklet is emelkedik, az előrejelzések szerint átlagosan 1,5-4,5°C-ot. Egyre gyakoribbá váltak a szélsőséges időjárási események, mint például a hóhullámok és/vagy az aszályok (*Carter et al.*, 2007). Ezek a globális környezeti változások közvetlenül vagy közvetve befolyásolhatják a növények növekedését, fejlődését, a termést és minőségét (*Ainsworth et al.*, 2007; *Seneweera et al.*, 2005). Ezek a megállapítások mára már Magyarországon is egyre jellemzőbbek.

2.1.2. A légkörben jelen lévő CO₂ szerepe

A CO₂ biológiailag aktív, a fotoszintézis folyamata során cukrok alapanyagaként kötődik meg, és a biológiai oxidáció, azaz a légzés alakítja vissza CO₂ gázzá. Egyéb jelentős természetes forrásaként, az ember és az állatok kilégzése, a talaj mikrobiológiai folyamatai, és az óceánok szolgálnak. Az óceánok egyben a CO₂ legjelentősebb elnyelői is (*Anda*, 2005). A CO₂ légköri keverési aránya az ipari forradalom előtt körülbelül 280 ppm értékről napjainkra elérte és meghaladta a 387 ppm értéket. Az *IPCC* (2007) adatai alapján a metán légkörben jelen lévő mennyiségének növekedése még erőteljesebb, az ipari forradalom előtti 0,8 ppm-ről 1,7 ppm-re emelkedett (*IPCC*, 2007).

Manapság az ember a fosszilis tüzelőanyagok, mint a kőolaj, földgáz és a szén elégetése révén évente körülbelül 6,3 milliárd tonna szenet juttat CO₂ gáz formájában a levegőbe. Ez a teljes légköri mennyiség körülbelül 1%-a. Az erdőirtások miatt, és azzal, hogy évente plusz 1,7 milliárd tonna CO₂ kerül a légkörbe, tovább pusztul a CO₂ egyik fő elnyelője, ami a vegetáció (*IPCC*, 2007). A CO₂-nak csupán egy kis hányada marad a légkörben, a többit elnyeli a bioszféra és az óceánok. Az eddigi kutatások és a modellszámítások alapján az utóbbi évtizedekben a szárazföldi ökológiai rendszerek fontosabb szerephez jutottak a globális CO₂ körforgalomban. Ezek az ökológiai rendszerek az antropogén eredetű légköri CO₂ felvételében, főként az északi félteke mérsékelt övezeteiben játszanak kiemelt szerepet (*Ciais et al.* 1995; *Denman et al.*, 2007). 1958-ban a közvetlen légköri mérések elején, az antropogén eredetű CO₂ 57%-a maradt a levegőben, ma ez körülbelül 40%-ra tehető. Mindenesetre fontos megemlíteni, hogy a jelenlegi 40% nagyobb mennyiséget jelent, mint 1958-ban az 57%, mivel eközben a kibocsátás is jelentősen megnőtt (*IPCC*, 2007). Ez alapján feltételezhető, hogy a légköri CO₂-ot felvevő folyamatok eközben erősödtek, azonban a pontos földrajzi körzet és a folyamatok oka nem egészében ismert. *Conway* szerint a hosszabb távú mérések alapján kiderült, hogy a légkör CO₂ keverési arányának emelkedési üteme sokkal nagyobb mértékben

ingadozik, mint a humán kibocsátás mértéke (*Conway et al.*, 1994). Ez az ingadozás a mérsékelt övezeti szárazföldeken lényegesen nagyobb, mint az óceáni vagy sarkvidéki területeken. Valószínűleg a modellek szerint nyelőnek számító mérsékelt övben fekvő szárazföldi bioszféra működésének eredménye (*Houghton et al.*, 1998).

2.1.3. Az ökológiai rendszerek szénforgalma

Az ökológia, azaz a környezettudomány legfontosabb eleme és fogalma az ökoszisztéma, az ökológiai rendszer. Ezek az ökológiai rendszerek az atmoszféra, azaz a légkör, a bioszféra, a pedoszféra, mint talaj, a hidroszféra, felszíni és felszín alatti vizek, illetve a litoszféra, mint geológiai képződmények, talajképző kőzetek kölcsönhatásának zónájában alakultak ki. *Várallyay* (2004) szerint kialakulásukat, fejlődésüket, anyag- és energiaforgalmukat, biogeokémiai ciklusait, abiotikus és biotikus transzportfolyamataikat leginkább az élőhelyi adottság határozza meg. Az élőhelyi adottság elemei a felszínközeli légkör éghajlata és időjárása, a geológiai felépítés, a domborzat, a talajviszonyok, illetve a felszíni és felszín alatti vízkészletek (*Várallyay*, 2004). Az ökológiai rendszer lehet egyrészt természetközeli, mely szerint működését a környezeti tényezők befolyásolják. A megművelt területek és a mezőgazdasági kultúrák esetében fontos szerepe van az emberi beavatkozásoknak, mely a művelés során ezt a rendszert érő fizikai, biológiai, kémiai hatásoknak az összessége. A természetközeli és a művelésben helyett kapott ökológiai rendszerek anyag- és energiaforgalma alapjaiban különbözik. A természetközeli rendszerek, ha az anyagforgalmat nézzük, zárt rendszernek tekinthetők, mivel az adott helyen produkált növényi biomassza az adott helyen marad, majd lebontó folyamatok révén újra szervetlen anyaggá alakul vissza. Ezzel ellentétben a művelt területeken nyílt az energia és anyagforgalom, mivel adott termőhely kialakítása biológiai, fizikai és kémiai energia hatására alakul ki, ezen kívül az előállított biomassza egy része emberi felhasználásra kerül, csak a megmaradt jut vissza az ökológiai rendszerbe (*Rajkai et al.*, 2004).

„Agroökológiai rendszernek tehát az adott élőhelyen a gazdasági növények által alkotott kiterjedt növényállományokat (mezőgazdasági területek és művelt gyepterületek) tekintjük.” (*Varga-Haszonits*, 2005). A meteorológiai elemek jelenthetik az élőhelyhez kötött éghajlati feltételrendszert, az erőforrást az agroökológiai rendszerek számára, vagy, mint időben állandóan változó elemek, a növények élettevékenységére ható kockázati tényezőket is (*Varga-Haszonits*, 2005). A földterületek felhasználásának

alakulása globális szinten az alábbiak szerint tagolható: 11% termőterület, 26% legelő, 32% erdő, 31% egyéb (Nagy, 2005). Nagy (2005) szerint a kontinensek földhasználati arányszámait összehasonlítva megállapítható, hogy Európában a legkedvezőbb a helyzet, mivel itt a termőterület eléri a 29%-ot, míg ez a többi kontinensen csupán 6-12%. Azaz Európa rendkívül jelentős a világ mezőgazdaságában (Nagy, 2005). Magyarország területének több mint 80%-án különböző növényzet található, a szántóterületek aránya 48%, az erdőterületek aránya 19%, a gyepterületek aránya 11%, kert- és szőlőterületek 3%, művelés alól kivont terület 17%, egyéb, mint nádas, halastó, 2% (Nagy, 2005). Várallyay (2004) szerint nem egyértelmű, hogy a gyepterület milyen mértékben számít természetközeli ökológiai rendszernek, mert azok a területek is agroökológiai rendszerek, melyek kaszáló vagy legelőként hasznosítottak, mert célja a biomassza termelés (Várallyay, 2004).

Az ökológiai rendszerek CO₂ felvevő és tározó képességét kutatók eredményei szerint, a legnagyobb éves CO₂ felvétel azon ökológiai rendszerek esetén tapasztalható, ahol a vegetációs periódus a leghosszabb, nem pedig azoknál, ahol a legnagyobb az egységnyi időre jutó CO₂ felvétel. Az emberiség beavatkozása révén, illetve a stressz miatt is csökkenhet egy ökológiai rendszer szénfelvétele, ezáltal csökken a fotoszintézis, mely nagyobb mértékű is lehet, illetve a növényi légzési aktivitás mértéke. Az éghajlati tényezők között a kevés csapadék és az emelkedő hőmérséklet, ami a gázcserét legerősebben befolyásolja (Baldocchi, 2008).

Dixon (1994) szerint a szárazföldi ökológiai rendszerek között a globális széntározók mintegy 40%-át a trópusi esőerdők alkotják (Dixon et al., 1994). A szén raktározásában a mérsékelt övben jelen lévő gyepeknek rendkívül fontos szerepe van, mivel sűrű gyökérzetüknek köszönhetően jelentős mennyiségű szenet képesek tárolni, így Eswaran és munkatársainak (1993) kutatása alapján a globális szénraktárak közel 10%-át képviselik (Eswaran et al., 1993). A mérsékelt övben jelen lévő füves ökológiai rendszerek fontos tulajdonsága, hogy fajban gazdagok és ennek köszönhetően könnyen alkalmazkodnak a változó körülményekhez, annak ellenére, hogy általában kevésbé termékeny talajon és szárazabb éghajlatú területeken találhatók. Viszont több szenet képesek raktározni, mint a haszonnövények (Schimel, 1995).

A hosszabb távú CO₂ kutatások és mérések eredményei arra következtetnek, hogy a füves ökológiai rendszerek szénháztartása éves átlagban nagymértékű változékonyságot mutat, amely főként a környezeti feltételek változékonyságára vezethető vissza (*Xu és Baldocchi, 2004; Nagy et al., 2007*). Ezek az ökológiai rendszerek rendkívül érzékenyek az időjárás viszonyaira, rendkívül gyorsan válaszolnak a hőmérséklet emelkedésére, a csapadék mennyisége pedig jelentős mértékben befolyásolja a nettó CO₂ felvételt. Ez azt eredményezheti, hogy kora tavasszal, illetve késő ősszel beköszöntő enyhébb időszakok alkalmával is lehetséges a nettó CO₂ felvétel, habár a szárazságra igen hajlamos gyepes területeken a nyári száraz időszakok alkalmával jelentős szénvesztesség figyelhető meg (*Reichstein et al., 2007; Pintér et al., 2008*). A gyepek Európában nem tartoznak a természetközeli ökológiai rendszerek közé, mivel általában művelés alá vont területek. Legeltetés folyik a legelőkön, illetve kaszálás a kaszálókon. *Janssens és munkatársai* (2005) szerint a gyepek európai szén ciklusban betöltött szerepének becslése bizonytalanabb, mint az erdőké és a mezőgazdasági területeké. Véleményük szerint a földrajzilag Európára vonatkozó füves ökológiai rendszerek nettó CO₂ nyelők (*Janssens et al., 2005*). Az erdők CO₂ elnyelő képessége több mint kétszerese a gyepek CO₂ nyelő képességének, viszont, ha ezt egységnyi területre vetítjük, akkor az erdők szénraktározása mindössze fele akkora (*Schulze et al., 2009*). *Ciais és munkatársainak* (2010) eredményei alapján az európai kultúrnövények (búza, árpa, rozs, kukorica stb.) csak kismértékű CO₂ nyelők vagy éppen források. A mezőgazdasági növények bruttó CO₂ felvétele 451-595 gC/m²/év, míg a gyepeké 750-797 gC/m²/év (*Ciais et al., 2010*).

A művelés alá vont területek szénháztartását, a környezet feltételei mellett, a mezőgazdasági művelés módja és intenzitása jelentősen meghatározza (*Ciais et al., 2010*). Az állattartás révén, illetve a szántás alkalmával többletszén jut a talajba. Az öntözés hatással van a talaj széntartalmának dekompozíciójára. A műtrágyázás hatással van a talaj mineralizált nitrogén tartalmára és ezáltal az asszimilációs és a dekompozíciós folyamatokra. Az aratás vagy éppen kaszálás során elszállított biomassa nettó szénvesztességként jelentkezik a rendszerben. Az állattartás során a legelés okozta veszteséget részben ellensúlyozza az állattartás során talajba kerülő szerves trágya és a hígtrágya. Az állatok által legelés közben elfogyasztott növényi anyag széntartalmának legnagyobb része hamar visszakerül a légkörbe, az állati légzésen keresztül, csak kis hányada raktározódik el a növényevők testében (*Soussana et al., 2007*).

Schulze és munkatársai (2009) eredményei alapján az agroökológiai rendszerek a művelés hatására nettó CO₂ kibocsátóvá válhatnak (*Schulze et al.*, 2009). A mezőgazdasági művelés jelentősen befolyásolhatja a növényállományok szerkezetét, a talaj tulajdonságait, továbbá a tápanyagok eloszlását és körforgalmát a talaj és növény rendszerén belül (*Schuman et al.*, 1999).

2.2. A szén-dioxid koncentráció hatása a növényekre

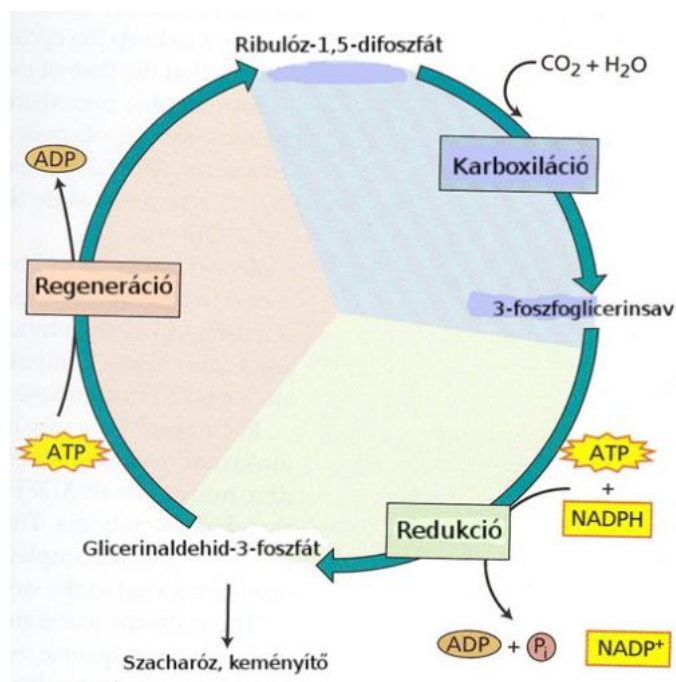
A légköri CO₂ koncentráció talán a legfontosabb tényező, amely kölcsönhatásban a fényintenzitással, befolyásolja a növények fotoszintézisét. Ha egy adott növényállományt vizsgálunk, a CO₂ koncentrációt befolyásolhatja például a talaj szerves anyag tartalma, a talajlégzés miatt, továbbá a növény típusa és a levegőmozgás. A szárazföldi ökoszisztémák és a légkör között a fotoszintézisen és légzésen keresztül létrejött szénforgalom együttesen körülbelül 120 Gt évente (*Gonzalez-Meler et al.*, 2004). A globális szinten megkötött energia mértéke még jelentősebb, megközelítőleg eléri a 130 terawatt-ot, ami 6-szorosa a teljes emberi civilizáció energia fogyasztásának (*Steger et al.*, 2005). *Field és munkatársai* (1998) szerint átlagosan, 100-115 petagram szenet alakítanak a növényi fotoszintetizáló rendszerek a biomasszába (*Field et al.*, 1998). Továbbá a gázcsere folyamatok hatással vannak a globális szén és víz körforgásokra, így a változások kihatnak a klímára. Megállapítható, hogy a szénforgalom tölti be a legfontosabb szerepet a globális hőmérséklet emelkedésében és a klímaváltozásban (*Morison*, 2001).

2.2.1. A növények közötti különbségek fotoszintézis szempontjából

Az egyik fő szabályozói a levelek és hajtások fejlődésének, a citokininek (*George és Debergh*, 2008; *Van Staden et al.*, 2008; *Magyar-Tábori et al.*, 2010; *Dobránszki*, 2014). Bebizonyosodott, hogy a citokininek szabályozó szerepet játszanak a sztóma viselkedésében, a párologtatásban, a fotoszintézisben és a fotorespirációs folyamatokban (*Reeves és Emery*, 2007; *Haisel et al.*, 2008; *Rivero et al.*, 2009).

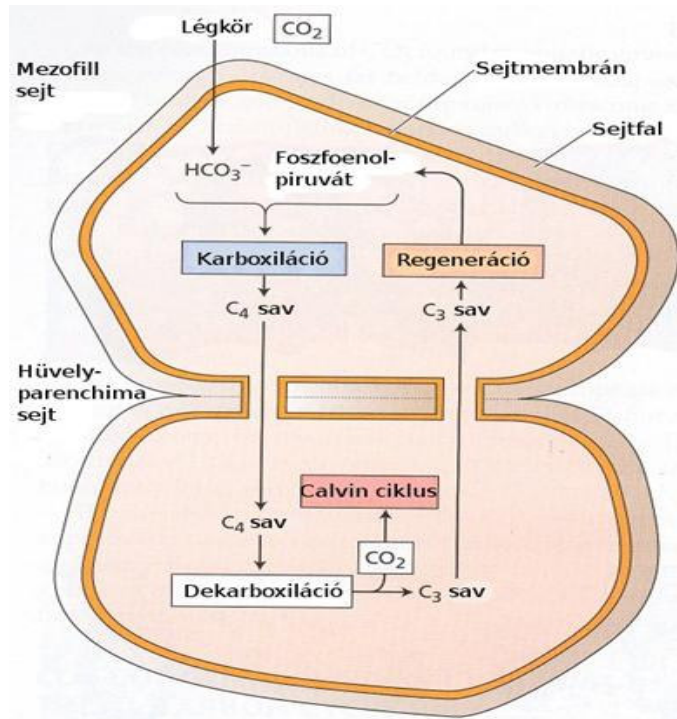
A fotoszintézis tekintetében lényeges és fontos különbségek vannak a C₃ és C₄ típusú növények között. Az elnevezés onnan ered, hogy a légkörből a CO₂ asszimilálásakor képződő első molekula milyen szénatomszámú. *Ördög és Molnár* (2011) vizsgálatai alapján a C₃-as növényekben a CO₂ és a ribulóz-1,5-bifoszfát, azaz RuBP, ribulóz-1,5-

bifoszfát-karboxiláz-oxigenáz, azaz Rubisco enzimmel katalizált reakciója révén háromszénatomos vázzal rendelkező foszfoglicerát jön létre, melyből cukrok és összetett szénhidrátok szintetizálódnak (2. ábra). A C₄-es növények úgy asszimilálják a CO₂-t, hogy a foszfoenolpiruvátkarboxiláz, azaz PEPC enzim segítségével a háromszénatomos foszfoenolpiruváthoz (PEP) kötik, akkor négyatomos oxál-acetát jön létre, amely átalakul négyatomos molekulává, például citráttá, maláttá, aszpartáttá. Ezek a négyes szénláncú molekulák a növényi fotoszintézis folyamán ismét szétesnek háromszénatomos vegyületté és szén-dioxiddá, amelyet a Rubisco-enzim használ fel.



2. ábra: A Calvin-ciklus, C₃ típusú széndioxid fixálás
(Forrás: Ördög és Molnár, 2011)

A C₄-es növényeknek szükségük van nátriumra, mert a nátrium összetevője a foszfoenolpiruvát karboxiláznak, ami a C₄ dikarbonsav út kulcsenzime (3. ábra).



3. ábra: A C₄-dikarboxilsav ciklus
(Forrás: Ördög és Molnár, 2011)

A CO₂ megkötés mechanizmusa eltérő a C₄-es növényeknél. Az első az úgynevezett “malátképző” típus, itt a mezofillumból a nyalábhüvely sejtjeibe szállítódik a malát, ilyen növények például a kukorica és a cukornád. Más növények, az “aszpartátképzők” esetén a CO₂ fixálás során keletkező oxálcetsav transzaminálódik a mezofillumban és a létrejövő aszparaginsav a nyalábhüvely sejtbe transzlokálódik (Dobránszki *et al.*, 2002). A C₃-as növények fotoszintézise csak egy meghatározott fényerőig mutat növekvő tendenciát, ezzel ellentétben a C₄-es növényeknél a növekvő fényintenzitás tovább növeli a fotoszintézis sebességét.

A C₄-es növényeknél, ha egységnyi levélfelületet vizsgálunk, akkor erre vonatkoztatva több CO₂-ot képes megkötni, a fotoszintézisük ezáltal hatékonyabb és a napi szárazanyag gyarapodásuk is meghaladja a C₃-as növényekét. Ezek a növények kevesebbet párologtatnak tehát vízgazdálkodásuk jóval stabilabb.

Hőmérséklet tekintetében a C₃-as növények optimuma 25°C körül található, míg a C₄-es növényeknél ez általában 35°C körül, de akár 40°C felett is lehet. Alacsony hőmérsékleteken a C₃-as növények fotoszintetikus aktivitása meghaladja a C₄-es

növényekét és általában 27-30°C az a hőmérsékleti tartomány, ahol a két típus azonos aktivitást mutat. 30°C felett a C4-es növények aktivitása jelentősen meghaladja a C3-as növényekét (Ördög és Molnár, 2011).

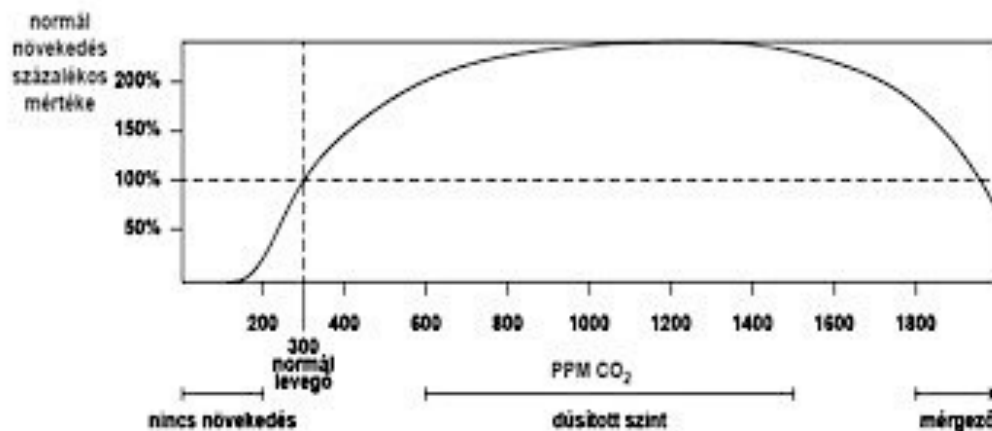
A szemtermés a C3-as növények esetében várhatóan növekedni fog az elkövetkező 100 évben, a megnövekedett CO₂ koncentráció hatására (Kimball *et al.*, 2001), de ez a változás előfordulhat, hogy csökkenti a gabona minőségi vonásait, mint például a fehérje, ásványi tápanyag és keményítő tartalmát (Högy *et al.*, 2009, Rogers *et al.*, 1998). Különösen a nitrogén koncentráció csökkenése a szemekben okozhat minőségi károkat, mely már dokumentált és megfigyelhető emelkedett CO₂ koncentráció esetén (Erbs *et al.*, 2010; Högy *et al.*, 2009; Kimball *et al.*, 2001).

A mesterséges fizikai tényezők, mint például a kevés fény és alacsony CO₂ koncentráció, magas relatív páratartalom, ezen felül magas só és a szacharóz tartalom esetén is bebizonyosodott, hogy befolyásolják mind a növényi morfológiát, mind a fotoszintetikus aktivitást, továbbá a sztóma viselkedését a hajtásokban és növényekben (Yue *et al.*, 1992; Desjardins, 1995; Triques *et al.*, 1997).

A klímaváltozásnak vannak ökológiai következményei. Fontos, hogy a növényzet fejlődésében a CO₂ koncentráció változása jelentős szerepet játszik. Összességében az eddigi kutatások alapján a fotoszintézis fokozódik, a biomassza tömege nő, és ezzel párhuzamosan a termés is, viszont csökkenő mértékben. Az emelkedett CO₂ hatására módosulhatnak egyes növényi alkotórészek, például a levél, a szár vagy a gyökérzet tömegének aránya és kiterjedése. A CO₂ koncentráció hatással van a növények fajlagos párologtató képességére, csökken a párologtatás, ezáltal javul a növény vízháztartása. A C4-es típusú növények jobban reagálnak erre a változásra, mint a C3-as típusúak. Összességében viszont a CO₂ légköri koncentrációjának emelkedésére és a klímaváltozásra együttesen a C3-as növények reagálnak jobban, mely nagyobb gyarapodást eredményez (Ördög és Molnár, 2011).

200 ppm alatt a növényeknek nincs elég CO₂ ahhoz, hogy a fotoszintézis folyamata végbe menjen és lényegében megáll a növekedés. A szakirodalom alapján 300 ppm körüli CO₂ koncentrációt vehetjük egy 100%-os növekedési pontnak. A grafikonból látszik, hogy a megnövelt CO₂ akár meg is duplázza a növények növekedési sebességét. 2000 ppm

fölött a CO₂ mérgező a növények számára és 4000 ppm fölött halálos az emlősök és az emberek számára (4. ábra).



4. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a növények fejlődésére

(Forrás: I2)

2.2.2. A CO₂ koncentráció hatása a csapadék mennyiségére

Globális szinten, a növekvő CO₂ koncentrációt hőmérséklet növekedés kíséri, mely 0,6 - 1,5°C körül lehet 2030-ra és elérheti a 2,2 - 2.5 °C-ot 2070-re. Az éves átlagos csapadék mennyiségben is 2,5 - 10%-os csökkenés várható 2030 és 2070 között (Cai és Cowan, 2008; Csiro és Bom, 2007; Sinclair, 2011).

Az éghajlatváltozás egy lényeges változást jelent vízigény szempontjából a világ minden táján. Ebből a szempontból nagy problémák jelentkezése várható, főként Dél-Európában és a mediterrán területeken, ahol az átlagnál nagyobb felmelegedés várható. Nyáron, a hőmérséklet növekedése mellett, forró hőhullámok és jelentős csapadék csökkenése valószínű (Olesen és Bindi, 2002; IPCC, 2007). A szűkös vízkészletek, és a növények evapotranspirációja során jelentkező vízvesztések kiküszöbölése igen fontos ezekben a régiókban. Nagy és Ványiné (2012) szerint aszályos évjáratokban mindenképpen kisebb, viszont átlagos vagy átlagot meghaladó csapadékos években magasabb növényszám alkalmazása kedvezőbb lehet (Nagy és Ványiné Széles, 2012). A jövőre nézve új forgatókönyv készítésén van hangsúly (Rana és Katerji, 2000). Véleményem szerint a talajok vízháztartásának javításával érhető el többlet terméshozamok illetve minőségi termékek, de a fenntarthatóság mindenképpen. Én ebben látom most reálisan az alkalmazkodás lehetőségét.

A hőmérsékletváltozások hatása a növényekre még ellentmondásos, bár már széles körben folytak vizsgálatok (*Wahid et al.*, 2007). A hőmérséklet közvetlen hatással van a növények földrajzi eloszlására. Egy észak felé tartó elmozdulás várható néhány növénytermesztési területen, válaszul a megjósolt hőmérséklet növekedésre, főként a mediterrán régiókban (*Bindi et al.*, 1992; *Bindi et al.*, 1996; *Bindi et al.*, 2000). A termesztési ciklusok hossza is várhatóan változik, mivel a hőmérséklet emelkedésével változnak a termesztési küszöbértékek a tenyészidőszak elején és az aratás idején is (*Porter*, 2005).

A CO₂ és a hőmérséklet emelkedéséhez kapcsolódóan, a növényekre gyakorolt hatások fajtól függően nem additívak, és ami lényegesebb, e két tényező közötti kölcsönhatások vizsgálata kevésbé kutatott terület (*Polley*, 2002). Ezek az éghajlati tényezők, a magas hőmérséklet és a talaj vízhiánya valószínűleg negatív hatással lesz például a búzaszem fehérje mennyiségére és minőségére (*Corbellini*, 1998; *Panozzo és Eagles*, 2000). A gabona fehérje koncentráció és annak minősége határozza meg a liszt funkcionális tulajdonságait (*Shewry és Halford*, 2002).

Összességében a terméshozam veszteségei, a növények növekedési ütemének változásai és a nettó zöldtömeg csökkenése (*Gould és Mansfield*, 1988; *Hassan*, 2004; *Hatata et al.*, 2013), mind kihat a termés minőségére (*Peleijel et al.*, 1989; *Fuhrer et al.*, 1990) és a növények fiziológiájára is (*Fuhrer et al.*, 1988).

2.3. A vizsgált növények jelentősége, rendszertani helye, származása

2.3.1. A borsó jelentősége, rendszertani helye, származása

A *Pisum sativum* L. az *Angiospermatophyta* (zárvatermők) törzse, *Dicotyledonopodia* (kétszikűek) osztálya, *Magnoliales-Dipsacales* ágazat *Fabales* (= *Leguminosae*, hüvelyesek) rend, *Fabaceae* (= *Papilionaceae*, pillangósvirágúak) családjába tartozó faj (*Soó*, 1968).

A Közel-Keleti ásatások alkalmával végzett kutatások rámutattak, hogy a borsó az emberiség egyik legrégebbi kultúrnövénye. Már a középkorban megemlézték a borsót azon krónikákban, amelyek akkor a felhasználási módzatokkal foglalkoztak. A korszakokra jellemző fejlődéssel a borsó jelentősége is egyre nőtt, és azonos szintet ért

el, mint a gabonafélék. Közép- és Észak-Európa csapadékos éghajlata miatt a borsó fokozatosan az egyik legáltalánosabban termesztett hüvelyesek közé tartozott, ami hozzájárult ahhoz, hogy ezekben az időkben fellépő éhínségek leküzdésre kerüljenek, és kedvező termés mellett jobban táplálják az éhségben szenvedő szegény és beteg embereket.

Mándy és munkatársai (1980) termesztéstörténeti összefoglalója szerint a borsó (*Pisum sativum* L.) elsődleges géncentruma a Közel-Keleten van, a másodlagos géncentrum pedig a Mediterráneum. A borsó termesztésbe vétele valószínűleg Kelet-Kurdisztán hegyvidékén történt, s onnan terjedt el a termesztés a neolitikus hullám nyugatra irányuló vándorlásával i.e. 7000 és 6000 között. *Cselőtei* (1993) ezzel megegyezően nyugat-ázsiai származást említ.

Európában körülbelül 6000 éve termesztik a borsót (*Bocz*, 1992). A borsó a környezeti tényezőkre és a csapadéokra érzékeny növény. *Máthé és Kovács* (2003) szerint az éghajlat változékonysága befolyásolja a borsótermést, mely meghaladja a talaj viszonyainak hatását, így a talaj mindössze mérsékelni lesz képes az éghajlati változások hatását. Egyéb környezeti hatásokat vizsgált *Rubtsova* (2006), miszerint a tápanyagellátottság szignifikáns hatást mutatott, a termőhely földrajzi helyzete viszont csak néhány százalékos hatást ért el a borsótermesztés eredményességét illetően.

A borsó hűvöskedvelő növény. A tavaszi zöldségek közül a borsót vetik elsőként. Vetését február végén, március elején – amikor a talaj géppel járhatóvá válik – már meg lehet kezdeni, mivel 3-4°C-on már csírázni kezd. A hajtások fejlődése 4-5°C-on indul meg. A csírázás optimális hőmérséklete 14–20°C (*Somos*, 1967; *Mándy et al.*, 1980; *Mlinarics*, 1980), a maximális érték pedig 35°C (*Mándy et al.*, 1980). A csírázás sebessége és egyöntetűsége nagymértékben függ a külső hőmérséklettől, aminek hatása a talajok sajátosságos hógazdálkodásának is függvénye.

A borsó fejlődése szoros kapcsolatban van a hőmérséklettel. A fejlődés szempontjából az egész vegetációs periódusban a 16–20°C közötti hőmérsékletek tekinthetők optimálisnak (*Cselőtei*, 1993). *Pepó és munkatársai* polifaktoriális tartamkísérleteinek eredményei azt igazolták, hogy a borsó egy kifejezetten érzékeny szántóföldi növény, mind az ökológiai, mind az agrotechnikai elemekre (*Pepó et al.*, 2015).

A borsó fejlődése szempontjából igen kritikus tényező a májusi csapadék. Meghatározó továbbá az áprilisi és májusi hőmérséklet. A legkedvezőbb az áprilisi legalább 12°C-os hőmérséklet, és májusban a legfeljebb 18°C (Mándy *et al.*, 1980). Mint említettem, a borsó ugyan hűvöskedvelő növény, ezért a fejlett növény a hideget jól bírja, de ha a tartós lehűlés csírázás állapotában éri, akkor jelentős mértékben károsodhat. Az 5–8 cm-es mélységű vetés ezért fokozott jelentőséggel bír. Egyébként a -3, -5°C-os fagyokat is képes elviselni. Sőt, rövid ideig még ennél erősebb fagyokat is átvészel (Varga-Haszonits, 1997).

Hazánk borsótermesztésének súlypontja a melegebb területekre esik (Varga-Haszonits *et al.*, 2006a). A sugárzási elemek közül a leérkező energia mennyisége általában erősebben befolyásolja a fejlődést, mint a megvilágított időszak hossza. A külön hőmérsékleti vagy sugárzási hatásokat kifejező elemekhez képest az együttes hatást jellemző fototermikus index és különösen a radiotermikus index még alkalmasabb eszköznek tűnik a borsófejlődésre gyakorolt termikus hatás kifejezésére és a növény fejlődésének numerikus nyomon követésére (Varga-Haszonits, 1977; Varga, 2001; Varga-Haszonits *et al.*, 2006b; Varga *et al.*, 2007ab).

2.3.2. A búza jelentősége, rendszertani helye, származása

A búza az egyik legfontosabb kultúrnövényünk. Egyszikű kalászos gabonanövény, mely az egyik legtöbb termesztett fajt tartalmazó pázsitfűfélék (*Poaceae (Gramineae)*) családjának *Triticeae* nemzetségébe tartozik. A búzafajok lehetnek di-, tetra- és hexaploidok (Feldman *et al.*, 1995). Az emberiség a búzát természeti legelterjedtebben és legrégebben. Termesztésének fő jelentősége, hogy élelemmel látja el az emberiséget és mellette igen jó az alkalmazkodóképessége. A mérsékelt égövű területeken termesztik a legnagyobb területen, de gyakorlatilag mindenhol megél. Kivétel képeznek a trópusok, sivatagi és sarkvidéki területek. A világon több mint 120 országban és közel 270 millió hektáron termesztik. A világon ha a búza vetésterületét nézzük, körülbelül 90%-án közönséges búzát termesztenek és csak 10%-án keményszemű, másnéven durum búzát. Magyarországon az 1920-as és 1930-as évek között 1,5-1,6 millió hektáron termesztették az őszi búzát átlagosan 1,3 t/ha-os termésátlaggal. A magyar búzatermesztés rendkívül látványos fejlődést ért el az 1970-1980-as években. Ekkor az országos termésátlagok háromszorosára nőttek. Az 1990-es évektől csökkent a búza termésátlaga (5 t ha⁻¹ ről 3-4 t ha⁻¹ ra) és jelentősen megnőtt a terméssingadozás mértéke (15%-ról 50%-ra) (Pepó,

2009). A búzatermelésből a Hajdú-Bihar megyei részesedés 5–8% között ingadozott (Harsányi et al., 2014). A természetstechnológia fejlődése, a fokozott gépesítés és az új hibridek termesztésbe integrálása mellett a műtrágya használata eredményezte az elkövetkező évek számottevő termésnövekedését. Az utóbbi években körülbelül 1,1-1,2 millió hektár az őszi búza vetésterülete és a termésátlag 4,5-5,5 t/ha között változik. A búzaszem összetételét tekintve, körülbelül 13,0% nyersfehérje, 1,9% nyerszsír, 1,9% rost, 68,5% szénhidrát, 1,7% hamu. Továbbá nagy mennyiségben tartalmaz B1-vitamint. A szem szárazanyag tartalmának körülbelül 60%-a keményítő. A búzafehérje egy részének vízzel való keverésekor nyújtható és rugalmas anyaggá alakul, amit sikérnek nevezünk. A sikér meghatározza például a kenyér térfogatát és rugalmasságát. Továbbá a sikér minősége határozza meg, hogy a sikérváz mennyire rugalmas és ellenálló, továbbá a liszt vízfelvevő képességét. Minél gazdagabb sikérben a búza, annál jobb minőségű lisztet lehet őrölni. Bizonyos esetekben mikor gyengébb a liszt, összekeverve feljavítják ezeket. A sütő- és tésztaipar a minél nagyobb sikértartalmú, az édesipar pedig az alacsonyabb sikértartalmú lisztet igényli. A hamualkotó anyagok (foszfor, kálium, kalcium, magnézium, cink, réz, mangán) főként a héjban és a csírában találhatóak. Minél barnább árnyalatú egy liszt, annál nagyobb a héjrész tartalma és többet tartalmaz a hamualkotó elemekből. A búza legalapvetőbb felhasználása, hogy a magját őrlik és a lisztjéből tészta és kenyérfélék készülnek. Az állattenyésztésben nélkülözhetetlen abraktakarmány (Lelley és Mándy, 1963). Magyarországon a megtermelt gabona felhasználása a következőképpen alakul, 48% takarmány, 22,2% export, 10,1% élelmiszer, 12,1% egyéb ipar és 6,9% vetőmag. Legnagyobb mennyiségben manapság is közönséges kenyérbúzát (*Triticum aestivum* L.) termesztnek, mert valamennyi gabonafélék között egyedülálló tulajdonsága, hogy liszt fehérjéi sikér képzésére alkalmasak. Ezáltal ha őröljük, akkor laza állományú, könnyű emészthetőségű sütőipari termékek állíthatók elő (Gianibelli et al., 2001). Lisztjéből tészta alakítható ki, és ezen képessége miatt a búza az emberi táplálkozás egyik legfontosabb fehérjeforrása.

2.3.3. A szója jelentősége, rendszertani helye, származása

A szója (*Glycine soja*) a pillangósvirágúak családjába (*Fabaceae* = *Papilionaceae*), a *Glycine* nemzetségbe tartozik. A *Glycine* nemzetségben megtalálható fajok főként Kínában, Mandzsúriában és Japánban terjedtek el, viszont a nemzetség fajai közül viszonylag keveset termesztnek. A vad szójafajoknak pedig a nemesítés révén a betegségekkel, kártevőkkel szembeni ellenállóképesség kialakításában van jelentőségük.

A szója őshazájának Délkelet-Ázsiát valószínűsítik. Kínában, főleg a déli részein és Mandzsúriában termesztése 4000 éves múltra tekint vissza. Innen terjedt tovább Ázsia és a világ egyéb részeibe. Európában a 18. században környékén kezdett honosodni.

Hazánkban a hasznosítása csak később kezdődött, körülbelül az 1800-as évek végén indultak el a kísérletek, de szántóföldi termesztésére csak 1935-ben került sor. Napjainkban is nagy területen természetesen szóját Kínában, de a világ elsőszámú szójatermesztő nagyhatalma mára az USA lett, ahol évente körülbelül 20-24 millió hektáron termesztik.

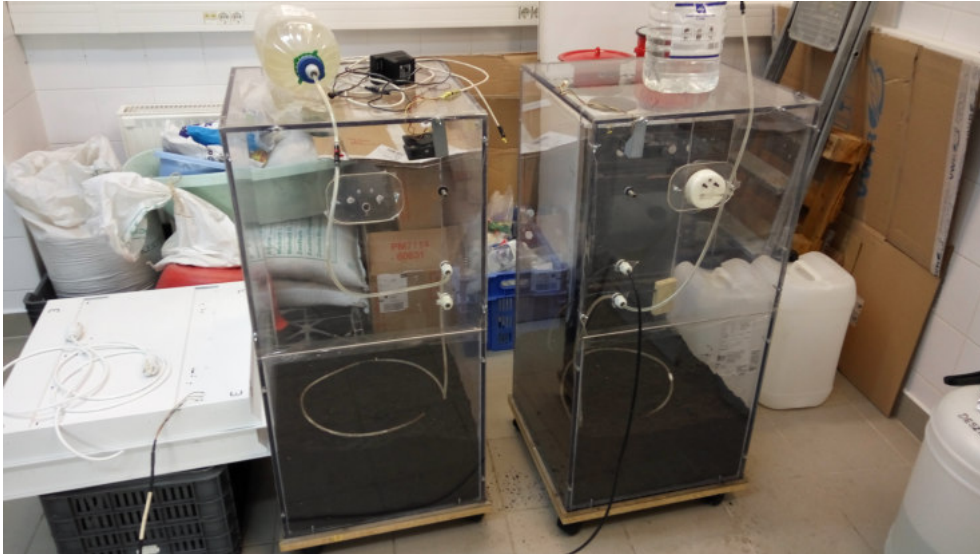
A szója egyéves, dudvás szárú növény. Főgyökere a talajban 1,5-2 méterre hatol le és erőteljes orsógyökér, amelyről dúsan oldalgyökerek ágaznak el. A gyökerek nagyobb része a talaj 20 cm-es rétegében található. A szója nitrogénygyűjtő növény, a gyökereken élő *Rhizobium japonicum* baktériumok kötik meg a levegőből származó nitrogént ami kielégíti a növény szükségletét. A szója fajtától függően 50-120 cm-re is megnőhet, szára először zöld, majd halvány barna színű és belül üreges. A magasra megnövő fajták hajlamosak lehetnek a megdőlésre. A szója szárán több nádusz, szárcsomó található, ezeknél a szárcsomóknál kiszélesedik és sűrű szőrzettel fedett. A szőrök sokszor 1 mm-nél hosszabbak is lehetnek, elállóak és színük fajtára jellemzően eltérő, lehet sárga, barna vagy fehér. *Kurnik* (1962) szerint a szója hajtásrendszere a főhajtás és az oldalhajtások helyzete szerint három típusba sorolható: 1. a főhajtás csúcsa kiemelkedik az oldalhajtások közül, 2. a főhajtás egy szintben van az oldalhajtásokkal, 3. az oldalhajtások magasabban vannak a főhajtásnál (*Kurnik*, 1962). A szója levelei szórt állásban helyezkednek el a száron, hármasan összetettek. A levélkéik száma a legtöbb esetben három, de rendellenes formában előfordulhat több levélke is. Az elsődleges levelek egyszerű lomblevelek, a későbbiekben a levelek alakja már hármasan összetett. A levélke a legtöbb esetben tojás alakú. A szójafajták többsége érés idején lehullajtja a leveleit, amely öröklődő tulajdonság és a betakarítást megkönnyíti.

A szója egy sokoldalúan termesztendő hüvelyes. A hüvelyesek között igen értékes növény, amelynek beltartalma nagy biológiai értékkel bír és így kiválóan alkalmas emberi táplálkozásra és takarmányozásra egyaránt, valamint ipari feldolgozásra széles körben. A szójamag összetételét tekintve 36-42% fehérjét, 18-22% olajat, valamint számos vitamint (A, B, E, K, stb.) és biológiailag aktív vegyületeket is tartalmaz (*I3*).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A mérési helyszín és a növénynevelő kamrák bemutatása

A méréseket a DE-AKIT Nyíregyházi Kutatóintézetében és a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar növénynevelő kamrájában (5. ábra) végeztem 2015-2018-as években.



5. ábra: Növénynevelő kamrák
(Forrás: saját felvétel)

A kísérletekhez két növénynevelő kamra állt rendelkezésemre, melyek saját fejlesztésűek és költséghatékonyon különböző klímaszenáriók modellezését teszik lehetővé. Párhuzamosan történtek a vizsgálatok a kontroll és az emelt CO₂ koncentráció mellett. A kamrák mérete 50 x 50 x 100 cm. Az anyaga ütésálló plexi műanyag. A kamrák elején lecsavarozható fedőlap található, mely a mérések idejére a növényekhez való hozzáférhetőséget szolgálja. A CO₂ koncentráció naponta történő ellenőrzése esetén nem volt szükség a fedőlapok eltávolítására, a műszerek érzékelőinek sajátosságait figyelembe véve, egyszerű és gyors csatlakozási lehetőséget készítettem, így az aktuális CO₂ koncentráció megváltoztatása nélkül elvégezhető volt az ellenőrzés.

A fényforrást két darab növénynevelő és két darab *daylight* fénycső biztosította klímakamránként. A fénycsövek működését, azaz a megvilágítás idejét időzítő kapcsoló

segítségével állítottam a megfelelő időtartamra. A kívánt koncentrációt CO₂ palackból állítottam be.

A megfelelő CO₂ koncentráció megtartását kamránként egy-egy levegőztető berendezés szolgálta, mely összeköttetésben állt egy párasító rendszerrel. A páratartalom ezáltal optimális 60-80% között változott, a külső légköri viszonyok változékonysága miatt.

A kisebb teljesítményű levegőztető rendszer stabilan tudta tartani a 600 ppm CO₂ célkoncentrációt, míg a nagyobb teljesítményű levegőztető a légköri viszonyokat tudta modellezni.

3.2. A kísérletekben vizsgált fajták

A vizsgálatokban különböző fajta növények szerepeltek. A vizsgálat *Irina* borsófajta termesztésével kezdődött (4. sz. melléklet), majd *KWS Farinelli* őszi búzát vetettem. Végül *Pannónia Kincse* szójafajta 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.

A vizsgált növények kiválasztása során a legfontosabb tényező a stressztűrő képesség volt, továbbá, hogy gyengébb fényviszonyok mellett is stabil növekedésre legyen képes. Az előzetes vizsgálatok és kutatások után döntöttem ezen három növény mellett.

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.

3.3. A kísérletek leírása

Kísérleteimben az emelt CO₂ koncentráció hatásait vizsgáltam a fejlődésre, SPAD és klorofill fluoreszcencia paraméterekre.

3.3.1. Növénynevelési feltételek

Mindhárom kísérletben a csernozjom talajhoz 1:1 arányban homokot és virágföldet kevertem, mely optimális körülményeket biztosított a növények számára.

A kísérletben borsó esetén 3 növényt 3 ismétlésben ültettem mindkét klímakamrába. A vetés kézi erővel történt. A kísérlet beállítása esetén a következő paramétereket alkalmaztam; a vetési mélység 5 cm, a fénycsővek működésének ütemét 13 óra kezdeti megvilágításról hetente emeltem, végül 16 órára, a hőmérsékletet 21°C fokról 23°C fokig növeltem. Az ellenőrzések alkalmával, amikor vízhiány tüneteit tapasztaltam, csapvizet öntözést alkalmaztam. Mindkét klímakamrában nevelt növények kaptak kéthetente általános tápoldatot, mely 5-5 dl makro- és mikrotápelem oldatot jelentett, melyet csapvízzel hígítva juttattam. Továbbá 4-6 leveles állapotban nitrogén műtrágyát kaptak a növények Pétisó formájában. Cserepenként 3 db műtrágya granulátumot. A műtrágyás kezelést virágzás után megismételték azonos dózisban.

Három fenológiai fázisban végeztem méréseket. Mind SPAD, mind fluoreszcencia méréseket 4-6 leveles, virágzás és termésérés állapotában. A mérés idejére a növényeket kivettem a kamrákból. A betakarítás kézi erővel történt, a 72 napos vegetációs periódus végén (5-6. sz. melléklet).

Az őszi búza esetén az egy leveles csíranövényeket 40 napig +4°C-on vernalizáltam, majd ezután 3 ismétlésben 5 növényt ültettem mindkét klímakamrába. A kísérlet beállítása a következő paraméterek mellett történt; a vetési mélység 2 cm, a fénycsővek működésének ütemét 12 óra kezdeti megvilágításról hetente emeltem, a leghosszabb megvilágítás 16 óra volt, a hőmérsékletet 21°C fokról 23°C fokig növeltem. Vízhiány tüneteinek jelentkezésekor csapvizet öntözést alkalmaztam, cserepenként 100 ml-t. A növények ebben a kísérletben is kaptak általános tápoldatot és nitrogént, Pétisó formájában a borsó kísérletben leírtak szerint, annyi különbséggel, hogy bokrosodás és szárbaszökés állapotban végeztem a tápanyagutánpótlást.

Az őszi búza kísérlet során is három fenológiai fázisban végeztem a méréseket. Bokrosodás és szárbaszökés állapotban két alkalommal. Azért módosítottam a vizsgálatok idején szárbaszökés állapotában, mert az utolsó méréseket kalászolásakor terveztem elvégezni, viszont valószínű a fényintenzitás miatt a növények sem a kontroll, sem az emelt CO₂ koncentráció mellett nem jutottak el addig a fázisig. A betakarítás kézi erővel történt a 92 napos vegetációs periódus végén (7-8. sz. melléklet).

A szója kísérletben 3 ismétlésben 5 növényt ültettem mindkét klímakamrába (9. sz. melléklet). A kísérlet beállításait a következő paraméterek figyelembevételével végeztem; a vetési mélység 4 cm, a fénycsövek működésének ütemét 14 óra kezdeti megvilágításról hetente emeltem, maximálisan 16 órára, a hőmérsékletet 18°C fokról 23°C fokig növeltem a vegetáció alatt. Vízhány jelentkezésekor ebben az esetben is cserepenként 100 ml csapvizet öntözést alkalmaztam. A növények ebben a kísérletben is általános tápoldatot és nitrogén utánpótlást kaptak Pétisó formájában a borsó kísérletben leírtak szerint. A nitrogén tápanyagutánpótlást a borsóhoz hasonlóan, ugyanabban a fenológiai fázisokban végeztem, 4-6 leveles, virágzás és termésérés állapotában.

A kísérlet során, a növények mérete és a kamrák kapacitása miatt cserepenként két növényt véletlenszerűen kivettem a kísérletből. Szükségét éreztem, mivel a növények biomassza termelése folyamatosan nőtt, az esetleges tápanyaghiány elkerülése és az optimális gyökérfejlődés miatt. Mérések idején a növényeket cserepenként kivettem a kamrákból. A betakarítást kézzel végeztem a 85 napos vegetáció után (10-11. sz. melléklet).

Betakarításkor mindhárom kísérletben mértem a növénymagasságot, a zöldtömeget, a gyökértömeget, a gyökérhosszt továbbá a termés tömegét.

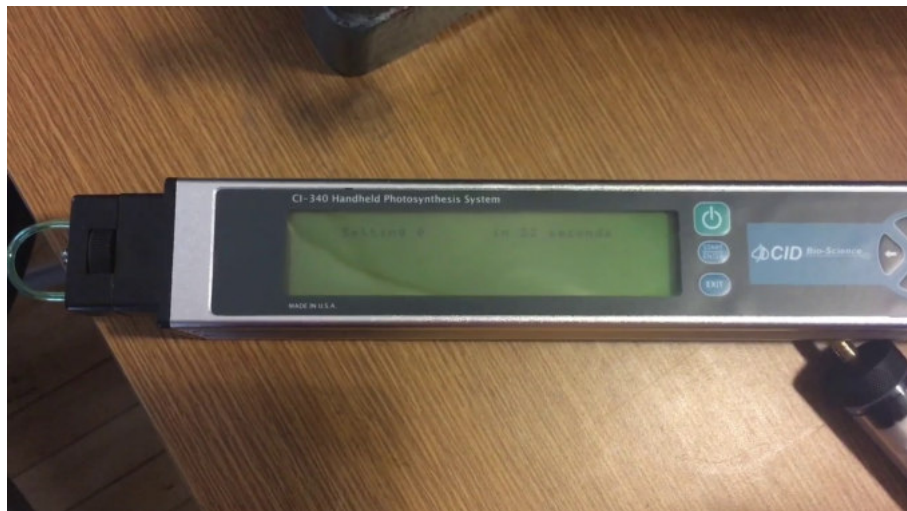
3.3.2. A kísérletek kezelése

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 ±5% eltérést tudtam tartani, ha a CO₂ koncentráció csökkent vagy nőtt, akkor beavatkoztam.

3.4. Mérő eszközök és vizsgálati módszerek

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

A CI-340 hordozható fotoszintézis mérő berendezés (6. ábra) egy egykezes eszköz, amely mérni képes a növények légzését, a párologtatást, a sztómakonduktanciát és a be- és kiáramló CO₂ mennyiségét és bruttó különbségét. Kísérleteimben CO₂ koncentráció mérésére használtam, melyet tizedes pontossággal határoz meg.



6. ábra: CI-340 kézi fotoszintézis mérő berendezés

(Forrás: saját felvétel)

A TESTO 535 (7. ábra) 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.



7. **ábra:** TESTO 535 CO₂ mérő berendezés
(Forrás: saját felvétel)

3.4.2. SPAD-502 klorofill mérő kézi berendezés

Klorofill méréseket számos kutató végzett már, ilyen kutatók például *Yadava* 1986-ban, *Schepers és munkatársai* és *Piekielek és Fox* 1992-ben, és *Ványiné* 2008-ban. A relatív klorofilltartalmat SPAD-502 kézi eszközzel mértem (8. ábra).



8. **ábra:** SPAD-502 klorofill tartalom mérő berendezés
(Forrás: saját felvétel)

A SPAD-502-es műszert a Minolta cég gyártja (*Minolta Camera Co., Osaka, Japan*), mely a levél klorofill tartalmát méri (*Minolta, 1990*).

A műszer *Inada* által kidolgozott működési elven alapszik, melyet 1963-ban fejlesztett ki. Az elv alapján, a műszer a 650 és a 940 nm-es hullámhosszon meghatározza a fény átjutását a leveleken. Összesen a levél egy 2 x 3 mm-es felületét méri, ahol az átjutó vörös illetve közeli infravörös fény hányadosát számítja ki (*Schröder et al., 2000*). A kisugárzott, majd a visszaérkező fény intenzitása alapján számolja ki a relatív klorofilltartalmat, a SPAD értéket. Ez az érték 1-100 közötti lehet.

Ezáltal $SPAD = \frac{\text{a levélen áthaladt közeli infravörös (940 nm) fény}}{\text{a levélen áthaladó vörös (650 nm) fény intenzitásának hányadosa}}$ (*Minolta Camera Co. Ltd., 1990*).

3.4.3. OS5p+ fluoreszcencia mérő berendezés

A fotoszintézis intenzitásának megállapításához megvilágítás alatt, illetve sötét-adaptált leveleken, a kamrákban meghatároztuk a klorofill fluoreszcencia indukciós paramétereket a legfelső, teljesen kifejlett levelek középső részén OS5p+ fluorométer (9. ábra) segítségével.

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*).



9. ábra: OS5p+ klorofill fluoreszcencia mérő berendezés
(Forrás: saját felvétel)

Az F_v/F_m (sötét-adaptált) értékekből meghatározható a PSII rendszer maximális kvantumhatásfoka, míg a fény-adaptált mérésekből a PSII rendszer fotoszintetikus hatékonysága. A maximális kvantumhasznosítása a PSII-nek, a levelek 30 perces lesötétítése után mérhető. Ezzel egy időben a leveleken minimális és maximális fluoreszcencia (F_0 és az F_m) értékeket is mérhetünk, melyek 0,8 másodperc telítettségi impulzust kapnak. A változó fluoreszcenciát ($F_v = F_m - F_0$) és a PSII maximális kvantumhozamának (F_v/F_m) értékeit továbbá a fotokémiai folyamat maximális hatékonyságát (F_v/F_0) a fluoreszcencia mérő berendezés szoftvere számolja. A PSII tényleges kvantumhasznosítását (Y(II)) a mintákban Yield protokoll alkalmazásával mérjük, ilyenkor a fény bizonyos mennyiségét felhasználja a PSII fotokémiai rendszer, a fény adszorbeálódik a klorofillokban. Steady-state fluoreszcenciát (F_s) és maximális fluoreszcenciát (F_{ms}) fény-adaptált leveleken mérhetünk, így a PSII tényleges kvantumhozama PSII ($Y(II) = (F_{ms} - F_s) / F_{ms}$) és a becsült relatív elektrontranszport ráta

(ETR) a fluorométer szoftvere segítségével értékelhető (Dobránszki és Mandler-Drienyovszki, 2014).

3.4.4. Kísérleti adatok statisztikai értékelése

A statisztikai értékelést R 1.1.383. program segítségével végeztük (R Core Team, 2016). A grafikus felület az RStudio (RStudio Team, 2016), és a csomagok *gplots* (Warnes et al., 2015), *car* (Fox és Weisberg, 2011) és *agricolae* (de Mendiburu, 2016). A grafikonok Mac Ms Excel 15.40 verziószámú programmal segítségével lettek elkészítve.

Az elsőfajú hiba esetünkben 5%, tehát $\alpha = 0,05$.

A kezelés és a klorofill tartalom, illetve fluoreszcencia értékek összefüggésének, valamint a fenológiai fázis és a klorofill tartalom és fluoreszcencia értékek vizsgálatához ismételt mérési modellt készítettünk Huzsvai és Balogh (2015) segédlete alapján (1-2-3. sz. melléklet). A modell kódja R környezetben:

```
modell<-  
aov(ismételt_mérési_változó~kezelés*mérési_időpont+Error(egyed_az/mérési_időpont,  
data=adatbázis)  
summary(modell)
```

Ebben az esetben az ismételt mérési változó a modellben a mért fluoreszcencia paraméterek, illetve a SPAD értékek, a kezelés maga a meghatározott CO₂ koncentráció, a mérési időpontok a fenológiai fázisokat jelölik, azaz például a 4-6 leveles, virágzás, termésérés fázisokat. A *+Error* a modell hibáját fejezi ki, amelyben a vizsgált növények egyed azonosítója és a fenológiai stádiuma található. A *data=* az adatbázist jelenti. A *summary* segédparancs által megjeleníthető a modell varianciaanalízisének eredménye.

A mért SPAD értékek és a fluoreszcencia paraméterek középérték összehasonlítása LSD módszerrel történt, ahol meghatároztuk az LSD értéket, azaz a legkisebb szignifikáns differenciát. Ez a teszt szigorúbb, mint a Duncan (Huzsvai, 2013). Minden post hoc teszthez definiáltuk a szabadság fokokat (df) és a négyzetösszeg hibákat (MSE). Ezek egyedileg is definiálhatóak, és ezt az alábbi kód segítségével végeztük minden modell esetén (Huzsvai és Balogh, 2015):

```
df=df.residual(modell$"hiba:hiba")  
mse=deviance(modell$"hiba:hiba")/df  
LSD <- with(adatbázis, LSD.test(függő_változó, modelltől_a_szignifikáns_hatás, df,  
mse, console = T))
```

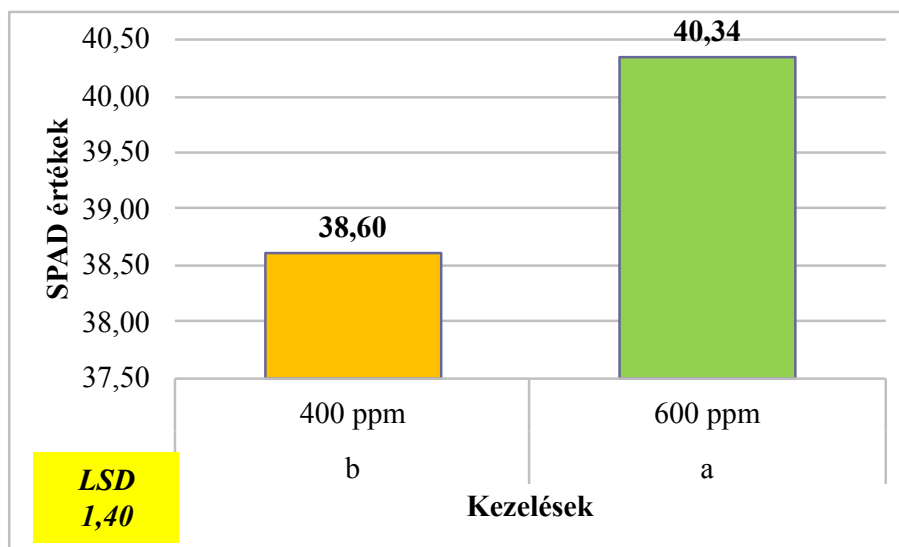

4. EREDMÉNYEK

4.1. A klorofill tartalom vizsgálatok eredményei

A SPAD index mérések egyszerűségüknek és gyorsaságuknak köszönhetően igen elterjedtek a növénytudományok alkalmazott és elméleti ágaiban is (*Araus et al.*, 1998; *Gardea-Torresdey et al.*, 2004; *Wiedemuth et al.*, 2005; *Li et al.*, 2006). A kutatás során választ szerettem volna kapni, hogy a szén-dioxid koncentráció és a szén-dioxid koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolja a különböző növények SPAD értékeit laboratóriumi körülmények között. A növények zöld színe és a spektrofotométeres-acetonos kivonatból meghatározott klorofill koncentráció közötti összefüggést *Marquard és Tipton* vizsgálta 1987-ben és arra a megállapításra jutottak, hogy az értékek között szignifikáns összefüggések voltak. Így meghatározható, hogy a szén-dioxid koncentráció változásai hatással vannak-e a SPAD értékekre.

4.1.1. *A CO₂ koncentráció hatása az Irina borsófajta klorofill tartalmára*

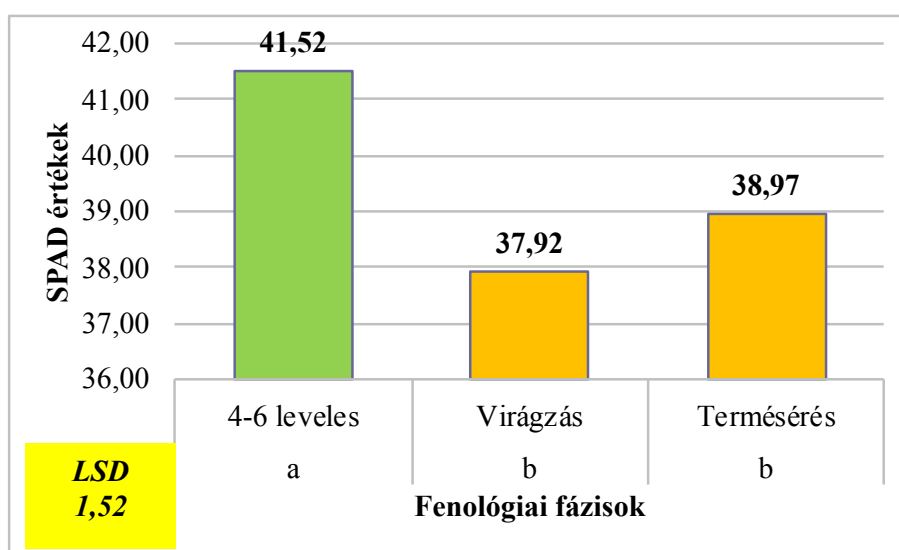
A borsó kísérletben a CO₂ kezelések SPAD értékekre gyakorolt hatását post hoc teszt segítségével elemeztem, így két homogén csoportot kaptam, ahol szignifikáns ($P < 0,05$) különbség volt. A legnagyobb SPAD értéket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 40,34 SPAD érték. A magasabb 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 (10. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok LSD teszt alapján különböznek

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

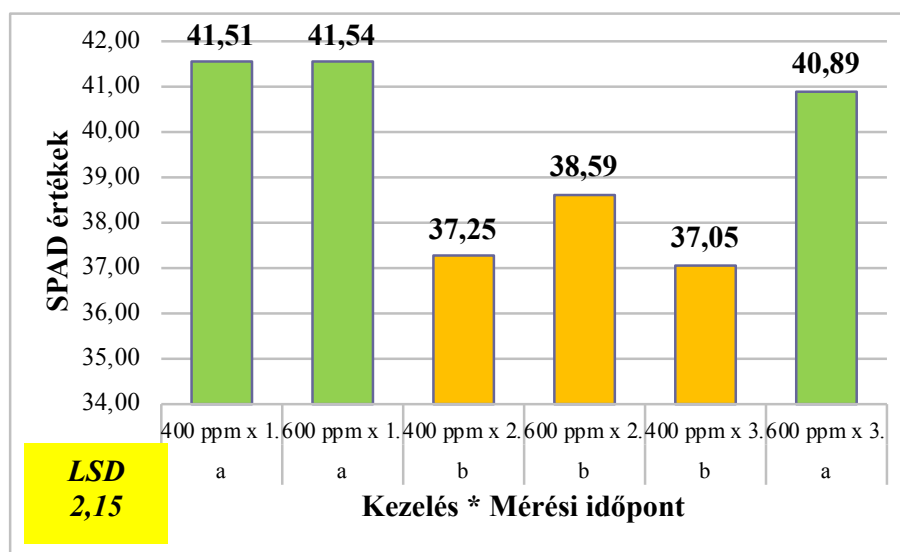
A klorofill tartalom értékeire fenológiai fázisonként is összefüggést tapasztaltam, melynek hatását a 11. ábra ismerteti. A post hoc teszt alapján két homogén csoportot különböztethetünk meg, amelyek szignifikánsan ($P < 0,001$) különböztek egymástól. A legmagasabb értékeket, átlagosan 41,52 SPAD érték, 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 (11. ábra).



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

11. 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 (12. ábra).



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

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

12. 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 (1. táblázat).

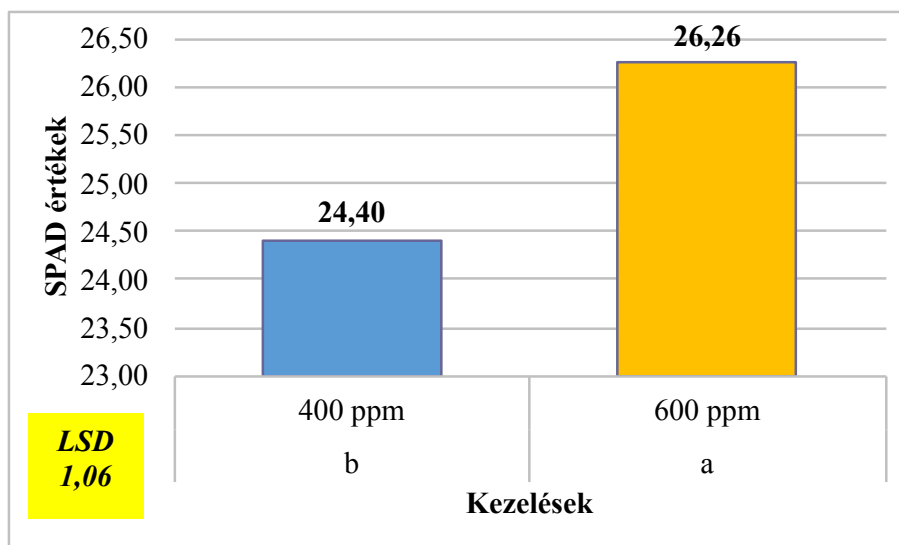
1. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a borsó SPAD értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	90,48	90,48	6,751	0,0182*
Maradék	18	241,26	13,40		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	275,1	137,56	12,24	8,8*10^{-5***}
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	75,1	37,54	3,34	0,0467*
Maradék	36	404,6	11,24		
<i>Szignifikancia: ***0,001, *0,05</i>					

4.1.2. A CO₂ koncentráció hatása a KWS Farinelli őszi búza klorofill tartalmára

A vizsgálatok alkalmával választ kerestem arra, hogy a szén-dioxid koncentráció és a szén-dioxid koncentráció változása fenológiai fázisonként hogyan befolyásolja az őszi búza különböző fejlettségi állapotában mért SPAD értékeket laboratóriumi körülmények között. A relatív klorofilltartalom értékei szoros kölcsönhatásban vannak a levelek zöldességével (*Haripriya és Byju, 2008*), kölcsönhatás van a nitrogéntartalom és a termés mennyisége között is (*Ványiné Széles, 2008*).

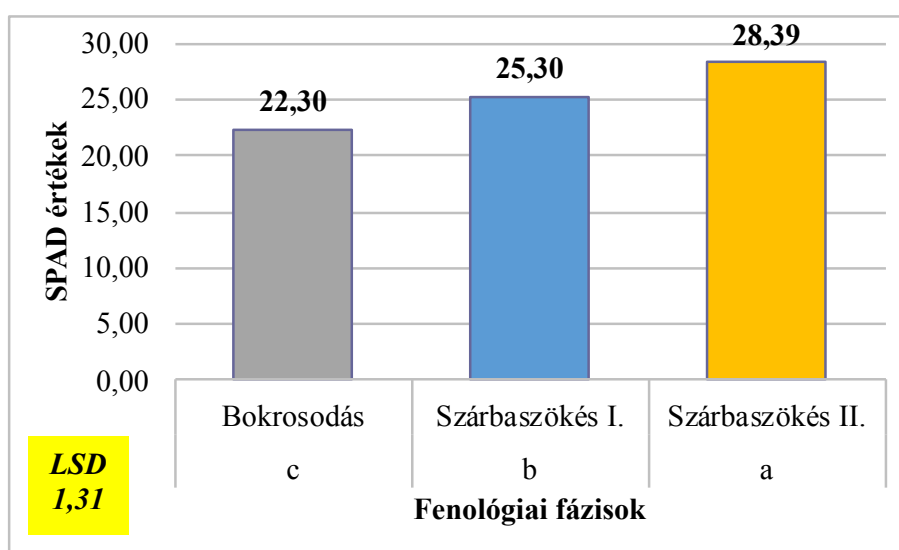
A CO₂ kezelések SPAD értékeire gyakorolt hatását ebben az esetben is post hoc teszt segítségével elemeztem, amely során két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan (P<0,05) különböztek egymástól. A legnagyobb SPAD értéket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 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 (13. ábra).



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

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

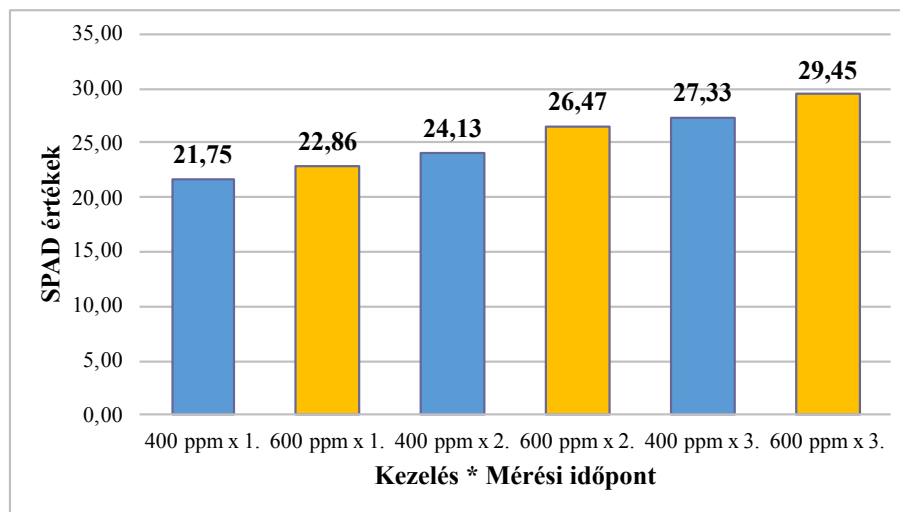
A SPAD értékekre a fenológiai fázisok is hatással voltak, mely értékeit a 14. ábra mutat be. A post hoc teszt szerint három homogén csoportot különböztetünk meg, amelyek között szignifikáns ($P < 0,001$) a különbség. A legmagasabb értéket, átlagosan 28,39 SPAD érték, szárbaszökés II. állapotban mértem. 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 (14. ábra).



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

14. 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 (15. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok eltérő kezelést jelölnek

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

15. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása az őszi búza SPAD értékeire

Megvizsgáltam a CO₂ hatását a relatív klorofill koncentrációs értékekre őszi búza esetén. A mérések átlaga és az ismételt mérési modell értékeire alapozva, a CO₂ koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szinten befolyásolta a mért SPAD értékeit. Ezen felül fenológiai fázisonként (P<0,001) is szignifikáns eredményt mutat. Viszont ezek kölcsönhatása szignifikánsan nem hatott a mért SPAD értékekre (2. táblázat).

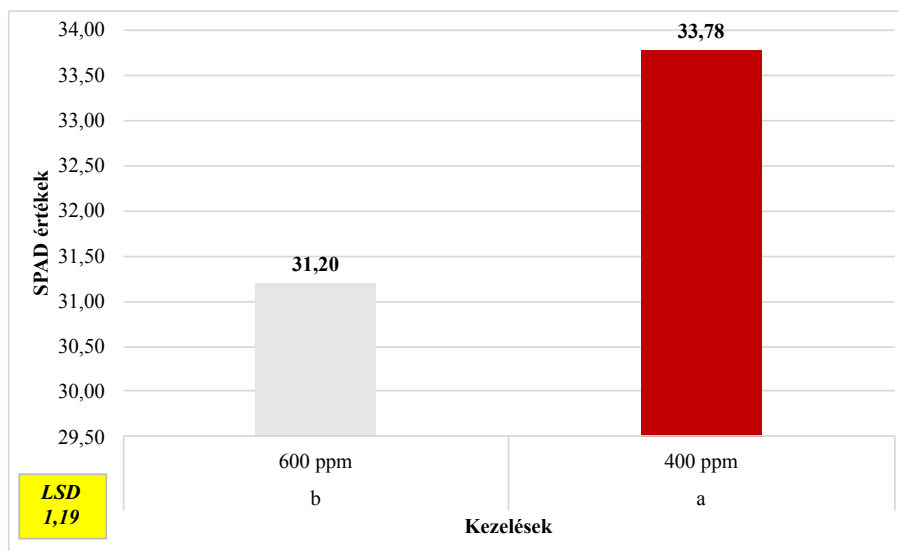
2. táblázat: A CO₂ kezelések hatása az őszi búza SPAD értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	103,4	103,42	13,48	0,00174**
Maradék	18	138	7,67		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	740,6	370,3	44,365	1,93*10⁻¹⁰***
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	8,6	4,3	0,515	0,602^{ns}
Maradék	36	300,5	8,3		
<i>Szignifikancia: ***0,001, **0,01, ns: nem szignifikáns</i>					

4.1.3. A CO₂ koncentráció hatása a Pannónia Kincse szójafajta klorofill tartalmára

A kutatás során harmadik növényként szóját termesztettem 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.

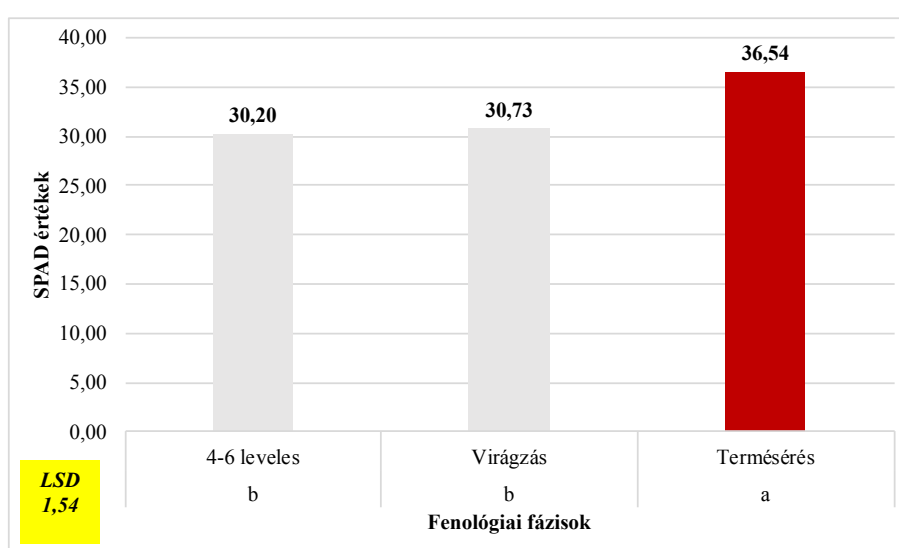
A CO₂ kezelések SPAD értékekre gyakorolt kölcsönhatását post hoc teszt segítségével elemeztem, ahol két homogén csoportot különböztetünk meg, melyek között szignifikáns (P<0,001) a különbség. A magasabb átlagos SPAD értéket 400 ppm CO₂ koncentrációnál mértem, melyek átlagértéke 33,78 SPAD érték. A légköri 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 (16. ábra).



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

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

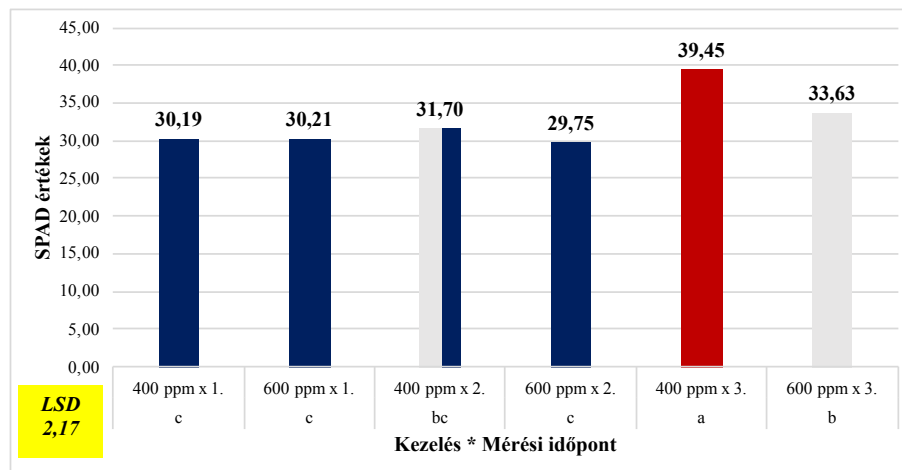
A szója SPAD értékeire fenológiai fázisonként is hatással van a CO₂ koncentráció, melyet a 17. ábra mutat. A post hoc teszt szerint két homogén csoportot kapunk eredménynek, amelyek szignifikáns ($P < 0,001$) különbséget mutatnak. A legmagasabb átlagos SPAD értéket, 36,54 SPAD érték, termésérés állapotában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



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

17. 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 (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 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. táblázat).

3. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a szója SPAD értékeire

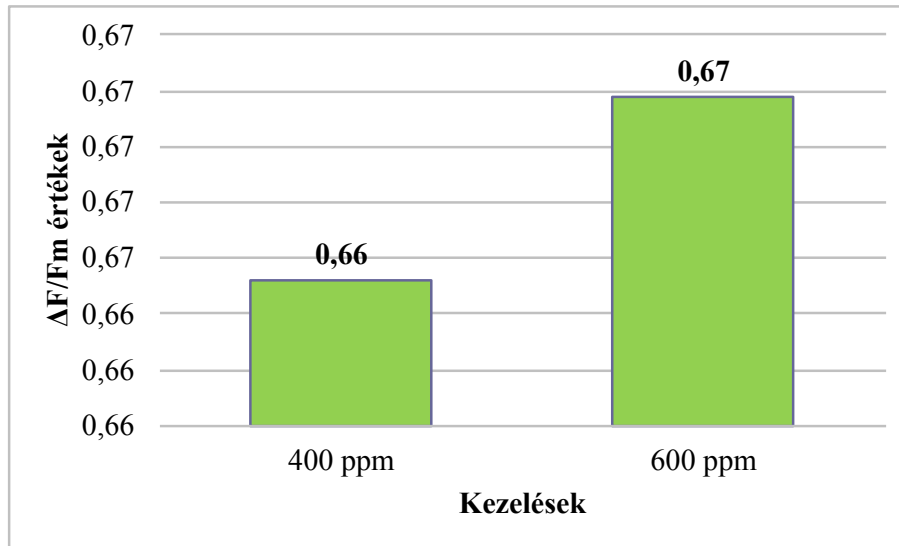
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	150	150,03	19,79	0,000125***
Maradék	28	212,3	7,58		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	742,7	371,3	40,030	12*10⁻¹²***
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	131,9	65,9	7,462	0,00134**
Maradék	56	494,8	8,8		
<i>Szignifikancia: ***0,001, **0,01</i>					

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

A kutatás során megvizsgáltam továbbá, hogy a CO₂ koncentráció és a CO₂ koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolják a különböző fajta növényeken mért $\Delta F/F_m$ értékeket.

4.2.1. A CO₂ koncentráció hatása az *Irina borsófajta* $\Delta F/F_m$ értékeire

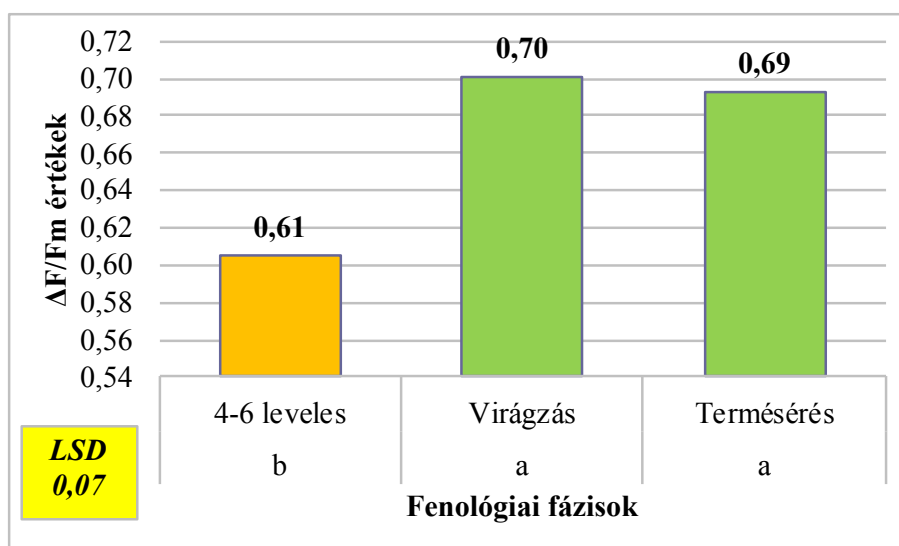
Borsó esetén a CO₂ kezelések $\Delta F/F_m$ értékekre gyakorolt hatását elemezve egy homogén csoportot kaptam, melyek szignifikánsan nem különböznek egymástól. 600 ppm koncentráció esetén 0,667, 400 ppm esetén 0,664 értékeket mértem (19. ábra).



Jelmagyarázat: Az azonos színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján nem különböznek

19. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a borsó ΔF/F_m értékeire

A ΔF/F_m értékeire borsónál, fenológiai fázisonként hatással van a CO₂ koncentráció, melynek hatását a 20. 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 (20. ábra).

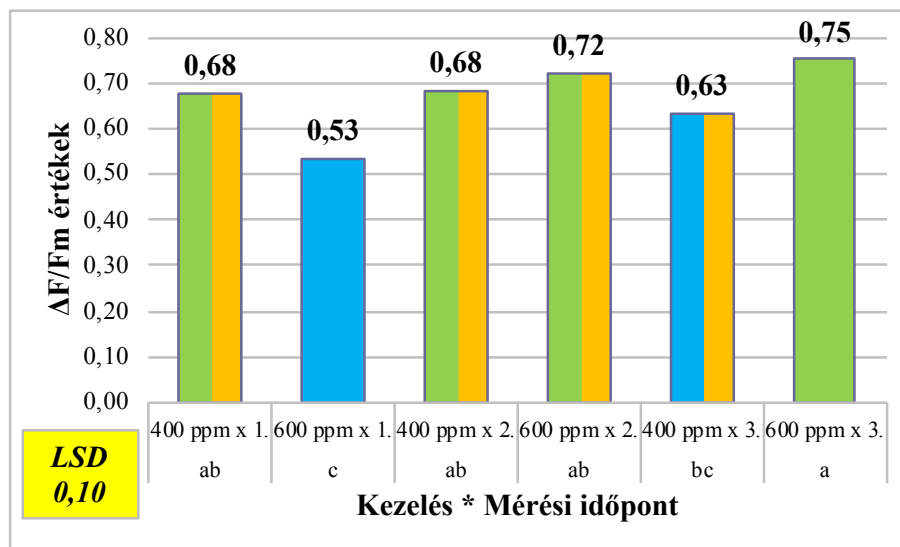


Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján különböznek

20. ábra: A CO₂ kezelés hatása a borsó ΔF/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatásában szignifikáns volt a különbség a mért $\Delta F/F_m$ értékeknél borsó esetén. A CO₂ koncentráció emelkedésével, virágzás és termésérés fenológiai fázisban emelkedtek az értékek, viszont 4-6 leveles állapotban csökkenés volt tapasztalható. A legmagasabb értékeket 600 ppm CO₂ 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 CO₂ koncentráció mellett mért értékektől. Légköri koncentráció esetén nem tapasztaltam kiugró értékeket.

Virágzás fenológiai fázisban nem volt szignifikáns különbség a két koncentráció között. Termésérés fázisban, az emelt CO₂ koncentráció eredményezte a magasabb $\Delta F/F_m$ értékeket, mely 0,12-vel meghaladta az ugyanazon időpontban mért 400 ppm CO₂ koncentráció értékeit és szignifikánsan ($P < 0,01$) különbözött (21. ábra).



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

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

21. 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 ΔF/F_m értékekre (4. táblázat).

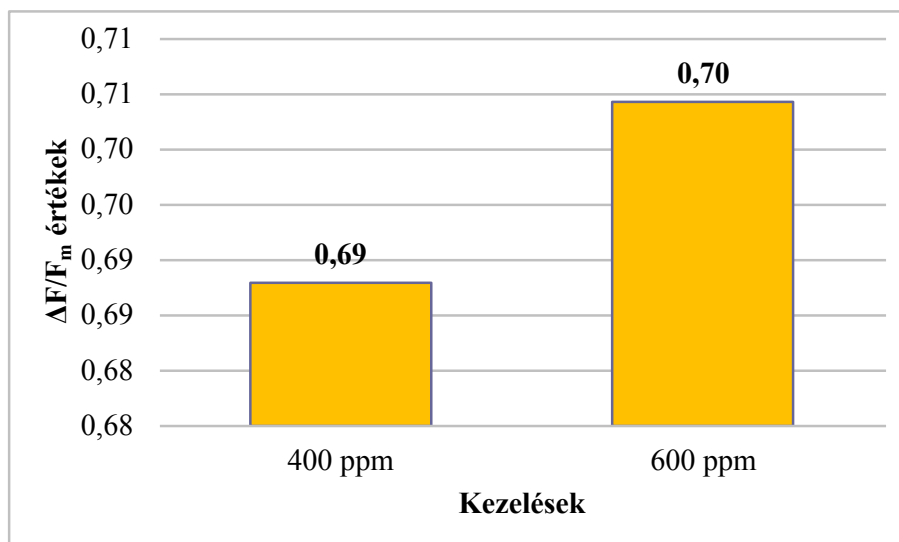
4. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a borsó ΔF/F_m értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,00013	0,00013	0,012	0,916^{ns}
Maradék	14	0,15761	0,01126		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,09051	0,04526	4,406	0,02170*
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,14333	0,07167	6,977	0,00348**
Maradék	28	0,28763	0,01027		
<i>Szignifikancia: *0,5, **0,01, ns: nem szignifikáns</i>					

4.2.2. A CO₂ koncentráció hatása a KWS Farinelli őszi búza ΔF/F_m értékeire

A kutatás során vizsgáltam továbbá, hogy a CO₂ koncentráció és a CO₂ koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolják az őszi búza aktuális kvantumhatékonyságának értékeit (ΔF/F_m).

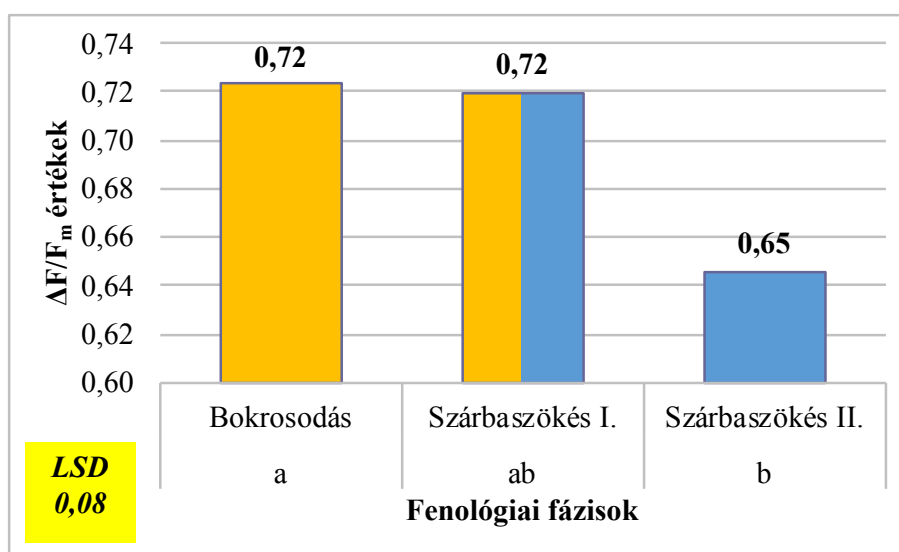
A CO₂ kezelések ΔF/F_m értékekre gyakorolt hatását elemezve egy homogén csoportot kaptam, melyek szignifikánsan nem különböznek egymástól. 600 ppm koncentráció esetén 0,70, 400 ppm esetén 0,69 átlagos értéket mértem (22. ábra).



Jelmagyarázat: Az azonos színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján nem különböznek

22. ábra: A CO₂ koncentráció hatása az őszi búza $\Delta F/F_m$ értékeire

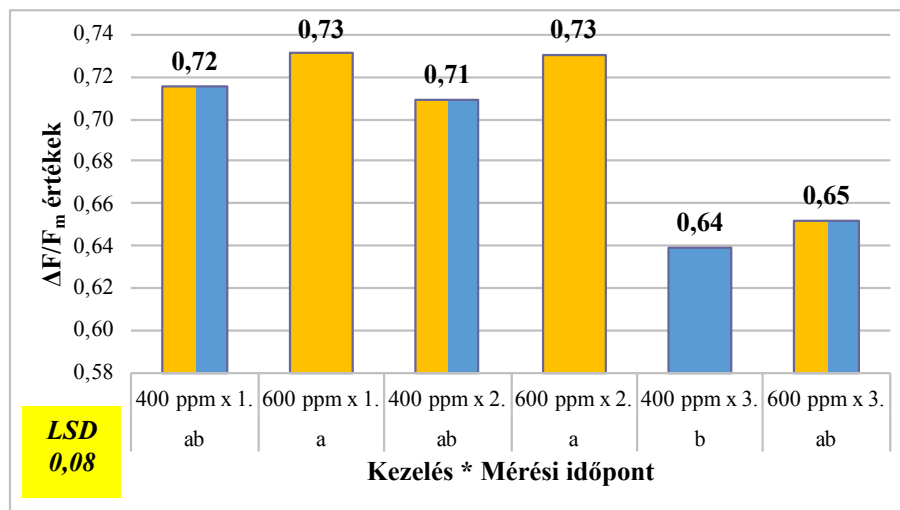
Az őszi búza $\Delta F/F_m$ értékeket befolyásolta fenológiai fázisonként a CO₂ koncentráció, melynek hatása a 23. ábrán látható. A post hoc teszt alapján két homogén csoport különböztethető meg, ahol szignifikáns ($P < 0,05$) a különbség. A legmagasabb értéket átlagosan 0,72, bokrosodás fenológiai fázisban 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 (23. ábra).



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

23. ábra: A CO₂ kezelés hatása az őszi búza $\Delta F/F_m$ értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása esetén nem volt hatás a mért $\Delta F/F_m$ 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 (24. ábra).



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

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

24. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása az őszi búza $\Delta F/F_m$ 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 (5. táblázat).

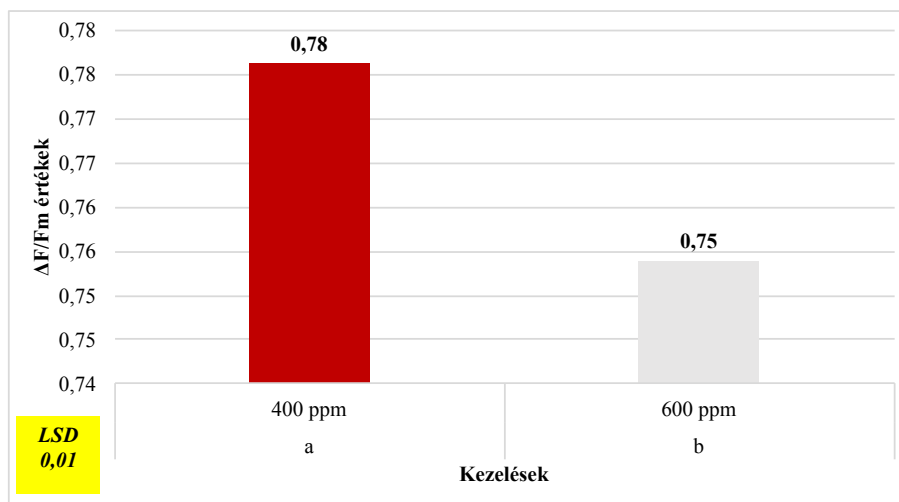
5. táblázat: A CO₂ kezelések hatása az őszi búza $\Delta F/F_m$ értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,00322	0,003218	0,307	0,588^{ns}
Maradék	14	0,14679	0,010485		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,06185	0,030925	4,988	0,014*
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,00014	0,000071	0,012	0,989^{ns}
Maradék	28	0,17361	0,006201		
<i>Szignifikancia: *0,05, ns: nem szignifikáns</i>					

4.2.3. A CO₂ koncentráció hatása a Pannónia Kincse szójafajta $\Delta F/F_m$ értékeire

Megvizsgáltam a kísérlet során, hogy a CO₂ koncentráció és a CO₂ koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolják a szója aktuális kvantumhatékonyságának értékeit ($\Delta F/F_m$).

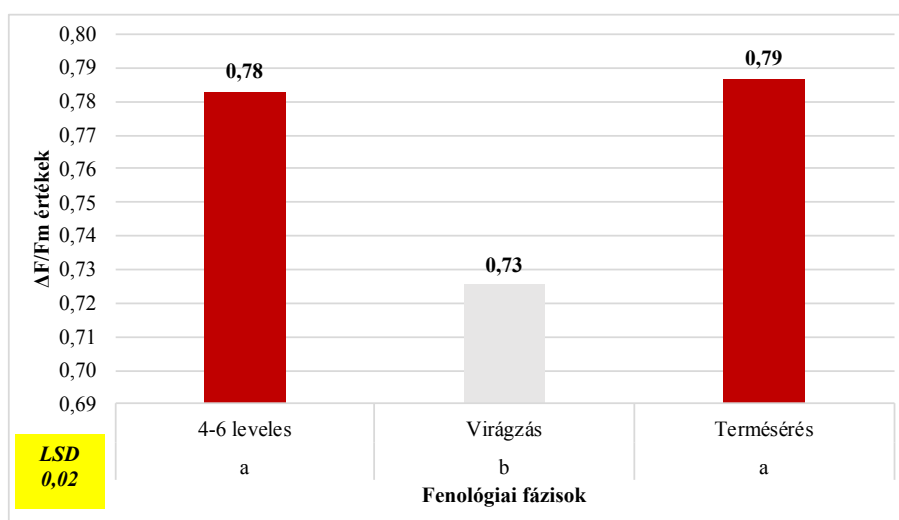
A CO₂ kezelések $\Delta F/F_m$ értékekre eredményezett kölcsönhatását post hoc teszt segítségével elemeztem, mely esetben két homogén csoport különböztethető meg, és szignifikáns ($P < 0,01$) különbséget tapasztaltam. A magasabb átlagos $\Delta F/F_m$ értéket légköri koncentráció mellett mértem, melyek 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 (25. ábra).



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

25. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a szója ΔF/F_m értékeire

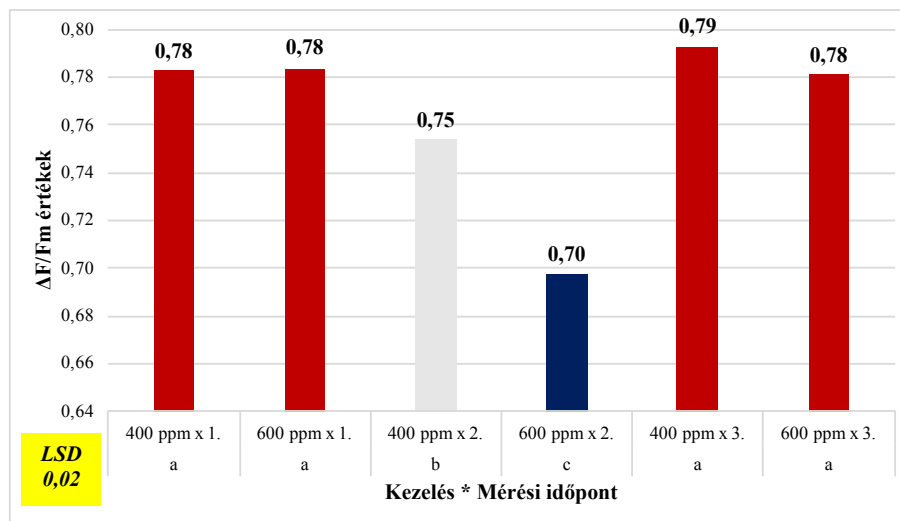
A ΔF/F_m értékeire fenológiai fázisonként is eltérő hatás tapasztaltam kezelésenként, melynek értékeit a 26. ábra mutat be. A post hoc teszt alapján két homogén csoport különböztethető meg, melyek szignifikánsan (P<0,001) különböznek egymástól. A legmagasabb értéket átlag 0,79, termésérés fenológiai 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 (26. ábra).



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

26. 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 leveles 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 $\Delta F/F_m$ átlagértéket, de ez csak 0,01-dal volt magasabb a 600 ppm CO₂ koncentrációs értékhez képest, ezért ebben az állapotban nem volt szignifikáns eltérés (27. ábra).



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

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

27. 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 (6. táblázat).

6. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a szója $\Delta F/F_m$ értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,006778	0,006778	11,42	0,00382**
Maradék	16	0,009494	0,000593		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,04241	0,021205	31,412	2,83*10⁻⁸***
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,00798	0,003992	5,914	0,00652**
Maradék	32	0,0216	0,000675		
<i>Szignifikancia: ***0,001, **0,01</i>					

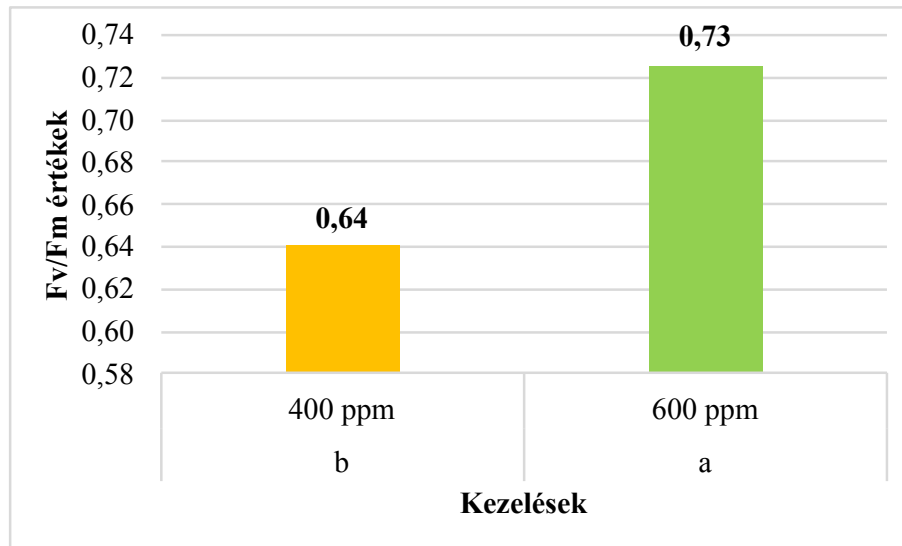
4.3. A PSII reakciócentrumok maximális kvantumhatékonysága (F_v/F_m)

A fluoreszcencia indukciós paraméterek közül a PSII maximális kvantumhatékonyságát megadó (*Li et al.*, 2006) és legelterjedtebben használt F_v/F_m értékeket is mértünk. A kutatás során megvizsgáltam továbbá, hogy a CO₂ koncentráció és a CO₂ koncentráció fenológiai fázisonként hogyan befolyásolja a különböző típusú növényeken mért F_v/F_m értékeket. *Maxwell és Johnson* (2000) szerint a klorofill fluoreszcencia indukció gyors szakaszából meghatározható a PSII potenciális (maximális) fotokémiai hatékonysága, melyről az F_v/F_m tájékoztat számszerűen.

4.3.1. A CO₂ koncentráció hatása az *Irina borsófajta* F_v/F_m értékeire

A CO₂ kezelések hatását vizsgálva, 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

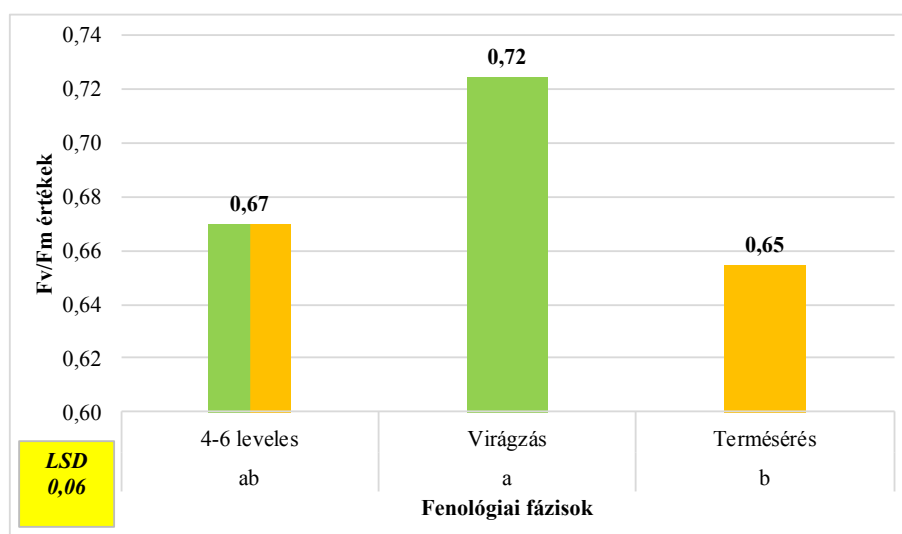
eredményezett, mint az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentráció. Megállapítható tehát, hogy a 600 ppm CO₂ koncentráció szignifikánsan ($P < 0,01$) növelte az F_v/F_m értékét az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentrációhoz képest (28. ábra).



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

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

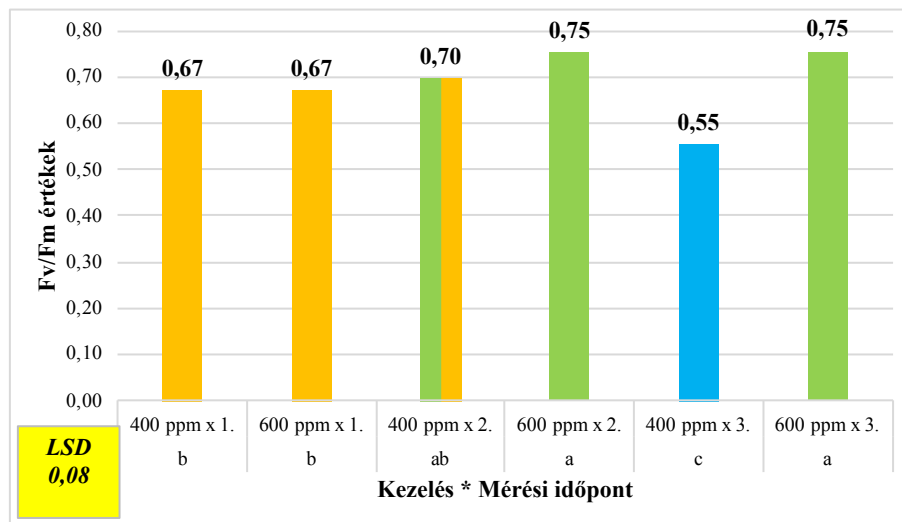
Az F_v/F_m értékét fenológiai fázisonként a CO₂ koncentráció szignifikánsan nem befolyásolta $P < 0,05$ valószínűségi szinten. Az átlagosan legmagasabb értéket virágzás fenológiai fázisban mértem (0,72). A legalacsonyabb átlagos értéket (0,65) pedig virágzás állapotában (29. ábra).



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

29. 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 CO₂ koncentráció mellett, termésérés fázisában kaptam, mely 0,2-del volt alacsonyabb, mint 600 ppm CO₂ koncentráció esetén, így $P < 0,01$ szignifikáns különbséget mutat. Virágzás fázisban is a magasabb CO₂ koncentráció eredményezte a nagyobb értéket, mely 0,05-dal meghaladta az azonos időpontban mért 400 ppm CO₂ koncentráció átlagos F_v/F_m értékét, de ebben a fenológiai fázisban a különbség nem szignifikáns (30. ábra).



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

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

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

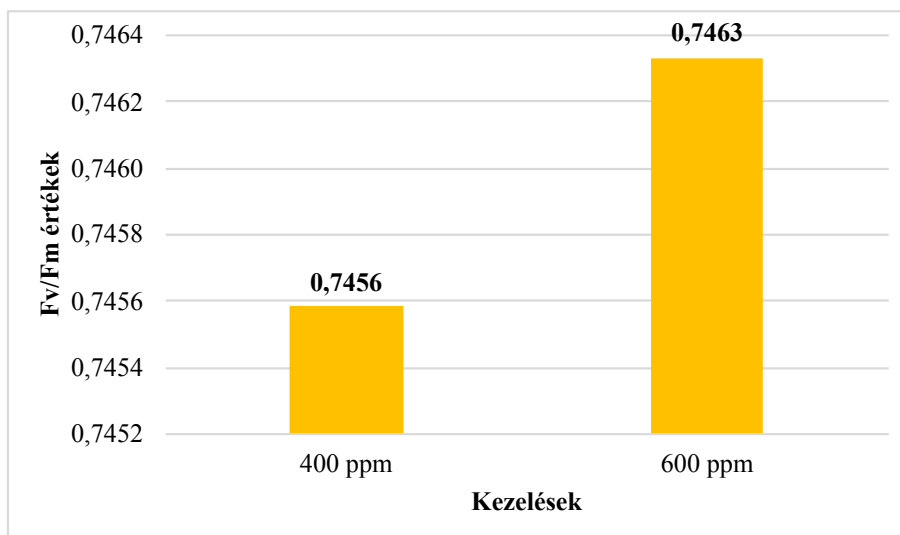
Megvizsgáltam a CO₂ hatását a borsó F_v/F_m értékeire. A mérések átlagában és az ismételt mérési modell eredményeire alapozva megállapítottam, hogy a CO₂ koncentráció növekedése 0,05% szignifikancia szint mellett befolyásolta az F_v/F_m értékeit. A fenológiai fázisok között nem volt szoros kapcsolat 0,05%-os valószínűségi szinten. Viszont a fenológiai fázis és a CO₂ koncentráció interakciója szignifikánsan hatott az F_v/F_m értékeire (7. táblázat).

7. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a borsó F_v/F_m értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,08738	0,08738	9,00914	0,00914**
Maradék	14	0,13394	0,00957		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,04333	0,02167	3,333	0,05031^{ns}
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,08600	0,04300	6,614	0,00444**
Maradék	28	0,18203	0,00650		
<i>Szignifikancia: **0,01, ns: nem szignifikáns</i>					

4.3.2. A CO₂ koncentráció hatása a KWS Farinelli őszi búza F_v/F_m értékeire

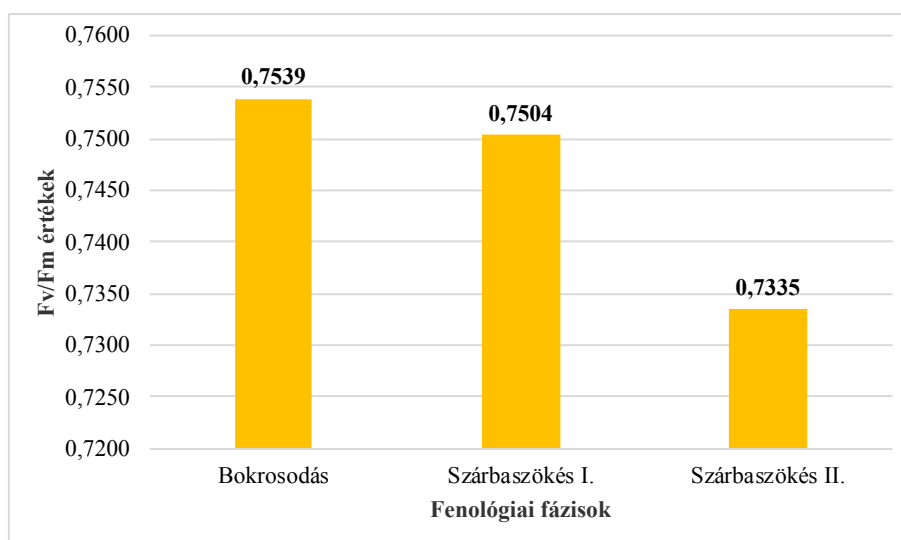
A CO₂ kezelések hatását vizsgálva, post hoc teszttel, egy homogén csoport látható, melyek szignifikánsan nem különböznek egymástól. A legmagasabb F_v/F_m értékeket 600 ppm CO₂ koncentráció mellett mértem, melyek átlagos értéke 0,7463. A magasabb CO₂ koncentráció átlagosan 0,0007-del magasabb átlagos értéket eredményezett, mint az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentráció. Megállapítható tehát, hogy a 600 ppm CO₂ koncentráció nem hatott szignifikánsan az F_v/F_m értékekre az alacsonyabb 400 ppm CO₂ koncentrációhoz képest, viszont némileg meghaladta azokat (31. ábra).



Jelmagyarázat: Az azonos színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján nem különböznek

31. ábra: A CO₂ koncentráció hatása az őszi búza F_v/F_m értékeire

Az F_v/F_m értékeit a kezelések hatása, fenológiai fázisonként, szignifikánsan nem befolyásolta P<0,05 valószínűségi szinten. Az átlagosan legmagasabb értéket bokrosodás fenológiai fázisban mértem (0,754). A legalacsonyabb átlagos értéket (0,734) pedig szárbaszökés II. állapotában (32. ábra).

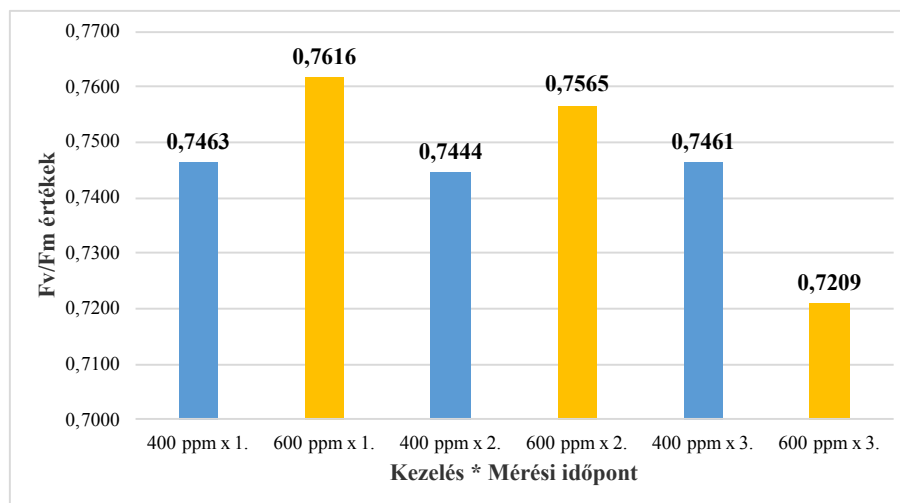


Jelmagyarázat: Az azonos színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján nem különböznek

32. ábra: A CO₂ kezelés hatása az őszi búza F_v/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázis kölcsönhatása szignifikánsan nem hatott a mért F_v/F_m értékekre őszi búza esetén. A CO₂ koncentráció emelkedésével, kivéve szárbaszökés II. állapotban, ahol csökkenést mutattam ki az átlagértékben (0,72),

növekedtek az adott időpontban mért F_v/F_m értékek. A legmagasabb értékeket (0,76) bokrosodás és szárbaszökés I. fenológiai fázisban mértem. A legalacsonyabb értéket 600 ppm CO_2 koncentráció mellett, szárbaszökés II. fázisában kaptam, mely 0,03-dal volt alacsonyabb, mint 400 ppm CO_2 koncentráció esetén. Bokrosodás és szárbaszökés I. állapotokban a magasabb CO_2 koncentráció eredményezte a nagyobb értékeket, mely 0,01-dal és 0,02-dal meghaladta az azonos időpontban mért 400 ppm CO_2 koncentráció átlagos F_v/F_m értékeit, de a különbség nem szignifikáns (33. ábra).



Jelmagyarázat: Az eltérő színnel jelölt adatok eltérő kezelést jelölnek

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

33. ábra: A kezelés és a fenológiai fázisok kölcsönhatása az őszi búza 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 ± 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.

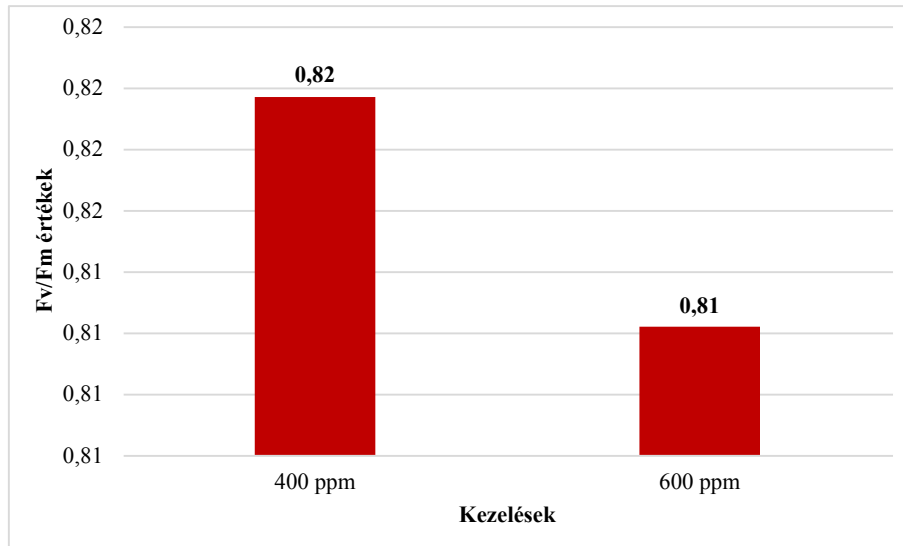
A fenológiai fázisok között nem volt szoros kapcsolat 0,05%-os valószínűségi szinten, és a fenológiai fázis és a CO_2 koncentráció kölcsönhatása sem hatott szignifikánsan az F_v/F_m értékeire (8. táblázat).

8. táblázat: A CO₂ kezelések hatása az őszi búza F_v/F_m értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,00001	0,000007	0,001	0,977^{ns}
Maradék	14	0,11212	0,008009		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,00382	0,001912	0,599	0,556^{ns}
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,00408	0,002039	0,638	0,536^{ns}
Maradék	28	0,08942	0,003194		
<i>Szignifikancia: ns: nem szignifikáns</i>					

4.3.3. A CO₂ koncentráció hatása a Pannónia Kincse szójafajta F_v/F_m értékeire

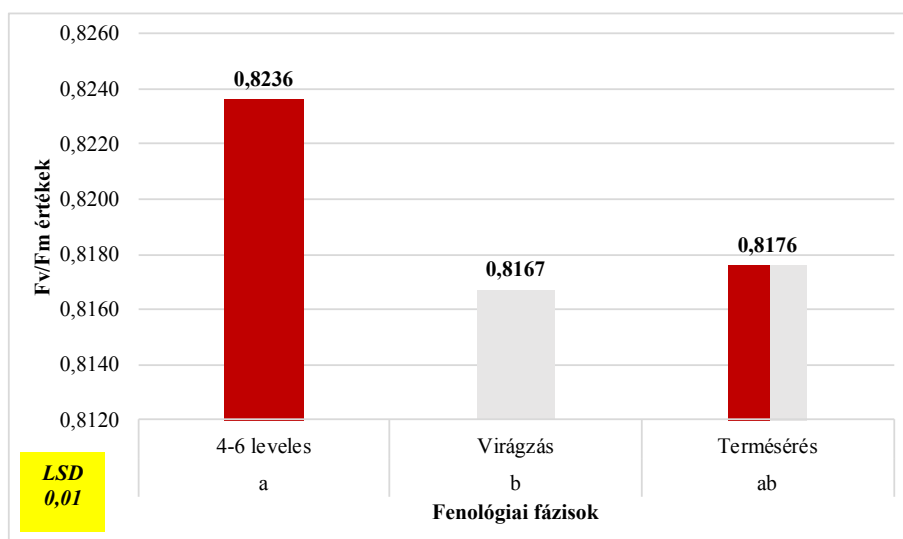
A CO₂ kezelések hatását vizsgálva, post hoc teszt segítségével egy homogén csoportot kaptam, melyek között nem volt szignifikáns különbség. 400 ppm CO₂ koncentráció mellett 0,82 átlagértéket mértem. Emelt CO₂ koncentráció esetén volt alacsonyabb az átlagérték, 0,81, de a különbség nem számottevő. (34. ábra).



Jelmagyarázat: Az azonos színnel jelölt adatok az LSD teszt alapján nem különböznek

34. ábra: A CO₂ koncentráció hatása a szója F_v/F_m értékeire

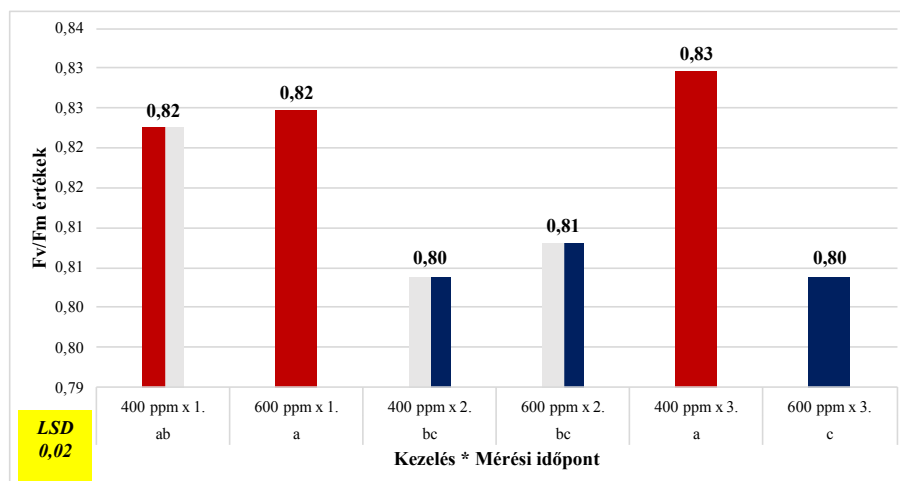
Az F_v/F_m értékeket viszont a kezelés fenológiai fázisonként befolyásolta, mely a 35. ábrán látható. A post hoc teszt során két homogén csoport különböztethető meg, melyek között szignifikáns (P<0,05) a különbség. A legmagasabb átlagos F_v/F_m értéket 4-6 leveles állapotban mértem, átlag 0,8236. Virágzáskor 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. (35. ábra).



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

35. ábra: A CO₂ kezelés hatása a szója F_v/F_m értékekre fenológiai fázisonként

A CO₂ koncentráció és a fenológiai fázisok kölcsönhatása is szignifikánsan ($P < 0,05$) hatott a mért F_v/F_m értékekre szója esetén. Az emelt CO₂ 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 (36. ábra).



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

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

36. 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 (9. táblázat).

9. táblázat: A CO₂ kezelések hatása a szója F_v/F_m értékeire

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszeg	Variancia	F érték	Szignifikancia (>)
Hiba: Egyed azonosító					
Kezelés (CO₂)	1	0,000763	0,0007631	3,069	0,0989
Maradék	16	0,003979	0,0002487		
Hiba: Egyed azonosító x Fenológiai fázis					
Fenológiai fázis	2	0,002319	0,0011594	4,173	0,0245*
Kezelés (CO₂) x Fenológiai fázis	2	0,002229	0,0011143	4,011	0,0279*
Maradék	32	0,00889	0,0002778		
<i>Szignifikancia: *0,05</i>					

4.4. A CO₂ koncentráció hatása a vizsgált növények morfológiai jellemzőire

4.4.1. A CO₂ koncentráció hatása az *Irina borsófajta* morfológiai jellemzőire

Az emelt CO₂ koncentráció hatással van a növények morfológiai jellemzőire is. Kísérleteimben 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 (10. táblázat).

10. táblázat: A CO₂ koncentráció hatásai a borsó morfológiai jellemzőire

400 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ				
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>	<i>Hüvelytömeg</i>
0,09 g	16 cm	1,23 g	35,5 cm	-
0,14 g	18 cm	1,26 g	38 cm	0,56 g
0,12 g	16 cm	1,18 g	36 cm	-
0,05 g	11 cm	1,52 g	36 cm	0,33 g
0,09 g	14 cm	2,02 g	35 cm	0,7 g
0,07 g	14 cm	1,89 g	34,5 cm	0,66 g
600 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ				
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>	<i>Hüvelytömeg</i>
0,09 g	13,5 cm	0,6 g	28 cm	0,45 g
0,1 g	17 cm	0,77 g	34 cm	-
0,1 g	17 cm	0,9 g	32 cm	-
0,27 g	13,2 cm	2,48 g	32 cm	0,96 g
0,21 g	10,5 cm	3,13 g	41 cm	1,19 g
0,15 g	9,2 cm	2,85 g	39 cm	0,98 g

4.4.2. A CO₂ koncentráció hatása a KWS Farinelli őszi búza morfológiai jellemzőire

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 (11. táblázat).

11. táblázat: A CO₂ koncentráció hatásai az őszi búza morfológiai jellemzőire

400 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ			
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>
0,06 g	6,3 cm	4,11 g	80,5 cm
0,06 g	11 cm	4,54 g	76,5 cm
0,05 g	8,5 cm	5,06 g	76 cm
0,07 g	6,6 cm	4,3 g	78 cm
0,06 g	11,6 cm	4,67 g	77,5 cm
0,04 g	8,9 cm	5,15 g	75,5 cm
600 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ			
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>
0,2 g	12,6 cm	6,38 g	84 cm
0,07 g	8,8 cm	5,06 g	71,8 cm
0,03 g	10,3 cm	6,66 g	66 cm
0,2 g	12,4 cm	6,6 g	83 cm
0,08 g	9,5 cm	5,4 g	75 cm
0,1 g	10,5 cm	6,3 g	71 cm

4.4.3. A CO₂ koncentráció hatása a Pannónia Kincse szójafajta morfológiai jellemzőire

Az emelt CO₂ koncentráció hatással van a szója morfológiai jellemzőire is, szemmel látható különbségek tapasztalhatók. 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 (12. táblázat).

12. táblázat: A CO₂ koncentráció hatásai a szója morfológiai jellemzőire

400 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ				
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>	<i>Hüvelytömeg</i>
1,17 g	16,5 cm	7,33 g	132 cm	2 g
0,35 g	22 cm	5,66 g	104 cm	1,13 g
0,3 g	17,5 cm	7,43 g	122 cm	1,43 g
0,41 g	17 cm	4,29 g	90 cm	1,48 g
600 PPM CO₂ KONCENTRÁCIÓ				
<i>Gyökértömeg</i>	<i>Gyökérhossz</i>	<i>Növénytömeg</i>	<i>Hajtáshossz</i>	<i>Hüvelytömeg</i>
0,61 g	26 cm	12,24 g	160 cm	2,3 g
2,44 g	34 cm	14,74 g	131 cm	1,24 g
1,01 g	43 cm	10,75 g	121 cm	1,87 g
0,55 g	38 cm	9,79 g	176 cm	2,65 g

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgált növények esetén a legkedvezőbb paraméterekkel a 600 ppm CO₂ koncentráció mellett nevelt növények rendelkeztek. A vegetációs periódus felgyorsult, nagyobb zöldtömeg jellemző, erőteljesebb volt a gyökérszét és magasabb terméshozamot érték el. Bebizonyítottam, hogy a szemtermés a C3-as növények esetében várhatóan növekedni fog a megnövekedett CO₂ koncentráció hatására.

Viszont fontos megemlítenem, hogy ez a változás előfordulhat, hogy csökkenti a termés minőségi vonásait, mint például a fehérje, ásványi tápanyag és keményítő tartalmát, amihez a jövőben javaslom beltartalmi vizsgálatok elvégzését.

A szójafajta vizsgálatok is jellemzően nagyobb zöldtömeget és terméshozamot értem el CO₂ kezelés hatására. Viszont a mérésekre alapozott vizsgálatok fordított arányosságot mutatnak. Erre bizonyítékul szolgálhatnak a növényélettani mérések, melyek ezt igazolják. A hüvelyképződés légköri CO₂ koncentráció mellett hamarabb indult meg, viszont az emelt CO₂ koncentráció magasabb termést biztosított.

A biomassa felhalmozás mértékének növekedését, mind a föld alatt és föld felett, a kísérletek alátámasztották, több egyéb publikációban közölteknek megfelelően.

Összességében megállapítottam, hogy a légköri CO₂ koncentráció pozitív hatással van a C3 típusú növények zöldtömegére, hozamára, viszont növényélettani szempontból ez a hozamnövekedés negatívan hathat a termés beltartalmi értékeire.

A termés beltartalmi vizsgálatokra esetünkben nem került sor, melyek meghatározhatják bizonyos szántóföldi növények értékét, ezért ennek értékelése irreleváns, szakirodalomra alapozott. Mindazonáltal ennek eldöntésére további vizsgálatok szükségesek.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kifejlesztettem egy költségghatékony 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 statisztikailag 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 kalászás 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.

7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A klimatikus viszonyok modellezéséhez kifejlesztettem egy költséghatékony és megbízható rendszert, mely képes különböző klímascenáriók hatásait szimulálni. A klímakamrákban a légköri koncentráció mellett, a levegőztető berendezések segítségével 600 és 1500 ppm között végezhető 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.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Klorofill-tartalom vizsgálatok eredményei

A vizsgált *Irina* borsófajta SPAD értékeinek átlagában elmondható, hogy az emelt CO₂ koncentráció a virágzás fenológiai fázistól meghaladta a légköri koncentrációnál mért értékeket. 4-6 leveles állapot esetén is magasabb átlagos értéket (41,54) mértem, de a különbség itt nem volt jelentős. A CO₂ koncentráció hatással van a borsó klorofill tartalmára, melyet a SPAD értékek is egyértelműen mutatnak.

A *KWS Farinelli* őszi búza relatív klorofill-koncentráció vizsgálata is hasonló tendenciát mutatott. Mindhárom fenológiai fázisban mért SPAD értékek emelkedtek a CO₂ koncentráció növekedésével.

A különböző fenológiai fázisokban mért SPAD értékek esetén, borsó és őszi búza növénynél fordított tendenciát tapasztaltam. Míg borsó esetén 4-6 leveles állapotban mértem a legmagasabb átlagos SPAD értéket, addig az őszi búza kalászosítás előtti állapotban érte el a legmagasabb értéket.

A *Pannónia Kincse* szójafajta átlagos SPAD értékei alapján megállapítható, hogy az emelt CO₂ koncentráció mellett csökkentek a mért értékek. A fenológiai fázisokat tekintve emelkedő tendenciát tapasztaltam. A legmagasabb átlagértéket terméséréskor mértem, 36,54 SPAD érték. Ha a CO₂ koncentráció és a fenológiai fázis kölcsönhatását nézzük, akkor virágzás állapotától termésérésig, a légköri CO₂ koncentráció mellett mértem magasabb átlagértékeket.

Kísérleteim során fordított arányosságot tapasztaltam a borsó, őszi búza és a szója növények SPAD értékeinek tekintetében a két CO₂ koncentráció között. Míg borsó és búza esetén a magasabb koncentráció, magasabb átlagos SPAD értékeket mutat, addig szója vizsgálatokor a légköri CO₂ koncentráció eredményezett magasabb átlagértékeket. Ha a fenológiai fázisokat is figyelembe vesszük, akkor borsó és őszi búza esetén, minden fenológiai fázisban az emelt CO₂ koncentráció mellett voltak magasabb a mért SPAD értékek. Szója vizsgálatokor, 4-6 leveles állapotban mértem közel azonos átlagértékeket,

azonban a többi fenológiai fázisban a előző kísérletekben szereplő növényekhez képest eltérést tapasztaltam.

Klorofill fluoreszcencia vizsgálatok eredményei

A borsó és az őszi búza növények esetében, fény-adaptált mérések ($\Delta F/F_m$) átlagos értékeinél CO_2 kezelés hatást nem tudtam kimutatni. Fontos megemlíteni, hogy ezzel párhuzamosan az emelt CO_2 koncentráció minden esetben magasabb átlagértékeket eredményezett.

Az aktuális kvantumhatékonyságot ($\Delta F/F_m$) a CO_2 kezelések fenológiai fázisonként befolyásolták a borsó és az őszi búza növények esetén. A borsó virágzáskor (0,70), az őszi búza bokrosodás állapotban (0,72) érte el az átlagos maximumot.

A sötét-adaptált (F_v/F_m) minták átlagos értékei borsó esetén szignifikánsan magasabbak voltak emelt CO_2 koncentráció mellett.

Az őszi búza mért átlagos értékei is a magasabb CO_2 koncentrációnál voltak nagyobbak, de ez statisztikailag nem igazolható.

A szójafajta esetében, a fény-adaptált mérések ($\Delta F/F_m$) átlagos értékeinél a CO_2 kezelés hatását statisztikailag igazoltam. A légköri CO_2 koncentrációnál mért átlagértékek meghaladták az emelt CO_2 koncentráció értékeit, mely ez esetben is ellentétesen alakult a borsó, illetve az őszi búza növényekhez képest.

Az aktuális kvantumhatékonyságot ($\Delta F/F_m$) a CO_2 kezelés fenológiai fázisonként is befolyásolta a szójánál. A legmagasabb átlagértékeket (0,78 és 0,79) 4-6 leveles és termésérés állapotában mértem, melyek szignifikánsan eltértek a virágzáskor mért értékektől.

A sötét-adaptált (F_v/F_m) minták átlagos értékei szója esetén szignifikánsan nem különböztek a két CO_2 koncentráció között. Ebben az esetben 4-6 leveles állapotban és virágzáskor magasabb értékeket mértem emelt CO_2 koncentráció mellett, bár elenyésző volt a különbség. Termésérésre a légköri CO_2 koncentrációs értékek már szignifikánsan magasabbak voltak.

A maximális kvantumhatékonyságot (F_v/F_m) a CO₂ kezelés fenológiai fázisonként szintén befolyásolta szója esetén. Statisztikailag igazolható, bár jelentős különbségeket nem mutattam ki.

Morfológiai jellemzők vizsgálata

A morfológiai jellemzőket vizsgálva egyértelműen kimutattam, hogy mindhárom vizsgált növény esetén az emelt CO₂ koncentráció nagyobb tömeget termelt. A betakarítás után mért értékekben voltak fordított arányok, borsó és búza esetén például a hajtáshossz a légköri 400 ppm CO₂ koncentráció mellett volt magasabb. A szója esetén az emelt CO₂ koncentráció szemmel láthatóan a zöldsöveget növelte jelentősen.

9. SUMMARY

Results of chlorophyll content tests

The average of the SPAD values of the Irina pea varieties that examined shows that the elevated CO₂ concentration exceeded the atmospheric concentration from the phenological phase. In case of 4-6 leaves, I also measured a higher average value (41.54) but the difference was not significant here. The CO₂ concentration affects the chlorophyll content of pea, which is clearly demonstrated by the SPAD values.

The relative chlorophyll concentration of KWS Farinelli winter wheat also showed a similar tendency. The SPAD values measured in all three phenological phases increased by increasing CO₂ concentration.

In the case of the SPAD values measured in various phenological phases, I experienced an inverse tendency between the pea and winter wheat. While the highest average SPAD was measured by pea in 4-6 leaves, the highest value by winter wheat measured before harvest.

Based on the average SPAD values of the Pannónia Kincse soy, it can be established that the measured values decreased with the elevated CO₂ concentration. With regard to phenological phases, we have experienced an upward trend. The highest mean value was measured at harvest, 36.54 SPAD values. If we look at the interaction between the CO₂ concentration and the phenological phase, higher average values were measured from the state of flowering to yield, in atmospheric CO₂ concentration.

In my experiments, inverse proportionality was found for the SPAD values of pea and winter wheat, and soybean plants between the two CO₂ concentrations. While higher concentrations in pea and winter wheat show higher average SPAD values, so the concentration of atmospheric CO₂ resulted in higher mean values when analyzing soy.

If the phenological phases are taken into account, then in case of pea and winter wheat, the measured SPAD values were higher in all phenological phases with the elevated CO₂

concentration. In case of soybean, I measured the same average values in 4-6 leaves, but in other phenological phases, there was a difference between the C3 types of plants.

Results of chlorophyll fluorescence studies

In case of pea and winter wheat plants we could not detect the effect of CO₂ on the average values of light-adapted measurements ($\Delta F/F_m$). It is important to note that at the same time, increased CO₂ concentration resulted higher average values.

The current quantum efficiency ($\Delta F/F_m$) was affected by CO₂ treatments per phenological phase in case of pea and winter wheat plants. The pea bloom (0.70), the winter wheat (0.72) beat the average maximum.

The average values of dark-adapted (F_v/F_m) samples were significantly higher in pea by raised CO₂ concentrations. The measured mean values of winter wheat were higher in higher CO₂ concentration, but this is not statistically justified.

By the soy, the effect of CO₂ treatment was statistically justified by the average values of light-adapted measurements ($\Delta F/F_m$). The average values in atmospheric CO₂ concentration exceeded the elevated CO₂ concentration, which was also in contrast with the pea and winter wheat plants.

The current quantum efficiency ($\Delta F/F_m$) also affected the CO₂ treatment in phenological phases by the soy. The highest mean values (0.78 and 0.79) were measured in 4-6 leaves and crop ripening, which significantly differed from flowering values.

The average values of dark-adapted (F_v/F_m) samples of soy did not significantly differ between the two CO₂ concentrations. In case of 4-6 leaves and flowering higher values were measured with elevated CO₂ concentrations, although the difference was negligible. For ripening, atmospheric CO₂ concentrations were already significantly higher.

The maximum quantum efficiency (F_v/F_m) also affected by the CO₂ treatment in phenological phases in case of soy. It can be statistically justified, although I have not found significant differences.

The examination of morphological characteristics

By studying the morphological characteristics, I clearly demonstrated that in case of C3 plants, the elevated CO₂ concentration produced a larger mass. In case of pea and winter wheat, there were inverse values, for example, peas and winter wheat, the plant shoot was higher at atmospheric 400 ppm CO₂ concentration. In case of soy, the increased CO₂ concentration obviously increased the green weight considerably.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- Ainsworth E. A. – Rogers A.:* 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO₂: Mechanisms and environmental interactions *Plant Cell and Environment* 30. pp. 258–270.
- Anda A.:* 2005. A klímaváltozás hazai mezőgazdasági következményei. "Agro-21" *Füzetek* 41, 18-29.
- Araus J. L. – Amaro T. – Voltas J. – Nakkoul H. – Nachit M. M.:* 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. In: *Field Crops Research*, 55 209-223. p.
- Baldocchi D.:* 2008. Breathing of the terrestrial biosphere: lessons learned from carbondioxide flux measurement system. *Australian Journal of Botany* 56, 1-26.
- Bindi M. – Ferrini F. – Miglietta F.:* 1992. Climatic change and the shift in the cultivated area of olive trees *J. Agric. Mediterranea*. 22: pp. 41–44.
- Bindi M. – Fibbi L. – Gozzini B. – Orlandini S. – Miglietta F.:* 1996. Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine *Climate Res.* 7: pp. 213–224.
- Bindi M. – Fibbi L. – Maselli F. – Miglietta F.:* 2000. Modelling climate change impacts on grapevine in Tuscany T. E. Downing – P. A. Harrison – R.E. Butterfield – K.G. Lonsdale (Eds.), *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment*, Research Report 21, Environmental Change Unit, University of Oxford. pp. 191–216.
- 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.
- Bocz E.:* 1992. Borsó. In: *Bocz E. /szerk./ Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*
- Cai W. – Cowan T.:* 2008. Dynamics of late autumn rainfall reduction over southeastern Australia *Geophys. Res. Lett.* 35 (L09708). pp. 1–5.
- Carter T. R. – Jones R. N. – Lu X.:* 2007. New assessment methods and the characterisation of future conditions. In M. L. Parry – O. F. Canziani – J. P. Palutikof – P. J. van der Linden – C. E. Hanson (Eds.). 'Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability'. Contribution of working group II to the fourth

- assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 133–171). Cambridge, UK: IPCC. Cambridge University Press.
- Ciais P. – Tans P. P. – Trolier M. J. – White W. C. – Francey R. J.:* 1995. A Large Northern Hemisphere Terrestrial CO₂ Sink Indicated by the ¹³C/¹²C Ratio of Atmospheric CO₂. *Science* 269, 1098 - 1102.
- Ciais P. – Wattenbach M. – Vuichard N. – Smith P. – Piao S. L. – Don A. – Luysaert S. – Janssens I. A. – Bondeau A. – Dechow R. – Leip A. – Smith P. C. – Beer C. – Van Der Werf G. R. – Gervois S. – Van Oost K. – Tomelleri E. – Freibauer A. – Schulze E. D. – Carboeurope Synthesis Team:* 2010. The European Carbon Balance. Part 2: croplands. *Global Change Biology*, 16, 1409-1428.
- Conway T. J. – Tans P. P. – Waterman L. S. – Thoning K. W. – Kitzis D. R. – Masarie K. A. – Zhang N.:* 1994. Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *Journal of Geophysical Research* 99D, 22831-22855.
- Corbellini M.:* 1998. Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheat *Euphytica* 100: pp. 147–154.
- Cselőtei L.:* 1993. Borsó. In: *Cselőtei L. – Nyujtó S. – Csáky A.:* Kertészet. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 615.
- Csiro – Bom:* 2007. Climate change in Australia K.B. Pearce – P. N. Holper – M. Hopkins – W. J. Bouma – P. H. Whetton – K. J. Hensessy (Eds.) *et al.*, Technical Report. pp. 148.
- de Mendiburu F.:* 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Denman K. L. – Brasseur G. – Chidthaisong A. – Ciais P. – Cox P. M. – Dickinson R. E. – Hauglustaine D. – Heinze C. – Holland E. – Jacob D. – Lohmann U. – Ramachandran S. – Da Silva Dias P. L.:* 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. (Solomon Qin D. – Manning M. – Chen Z. – Marquis M. – Averyt K.B. – Tignor M. – Miller H.L. eds.) Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- Desjardins Y.:* 1995. Photosynthesis in vitro – on the factors regulating CO₂ assimilation in micropropagation systems. *Acta Horticulturae*. 393: 45–61.

- Dixon R. K. – Brown S. – Houghton R. A. – Solomon A. M. – Trexler M. C. – Wisniewski J.: 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185-190.
- Dobránszki J. – Magyar-Tábori K. – Jámbor-Benczúr E. – Kiss E. – Lazányi J. – Bubán T.: 2002. Effects of conditioning of apple shoots with meta-topolin on the morphogenic activity of in vitro leaves. *Acta Agronomica Hungarica*. 50(2): 117-126.
- Dobránszki J. – Mandler-Drienyovszki N.: 2014. Cytokinin-induced changes in the chlorophyll content and fluorescence of in vitro apple leaves. *Journal of Plant Physiology* 17 1.: 1472-1478.
- Dobránszki J.: 2014. Cytokinins – importance, structure, effects in vitro. [In: Dobránszki, J. (Ed.): *Aromatic cytokinins applied exogenously in plant tissue culture.*] Grafit Nyomda “R” Kft., Nyíregyháza. pp. 5–22.
- Erbs M. – Manderscheid R. – Jansen G. – Seddig S. – Pacholski A. – Weigel H. J.: 2010. Effects of free-air CO₂ enrichment and nitrogen supply on grain quality parameters and elemental composition of wheat and barley grown in a crop rotation *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 136. pp. 59–68.
- Eswaran H. – Vandenberg E. – Reich P.: 1993. Organic-carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal* 57 (1), 192-194.
- Feldman M. – Lupton F.G.H. – Miller T.E.: 1995. Wheats *Triticum* spp. In *Evolution of Crop* 2nd edition (eds. Smartt J. – Simmonds N. W.) Longmann Scientific and Technical, pp. 184-192.
- Field C. B. – Behrenfeld M. J. – Randerson J. T. – Falkowski P.: 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374): 237-240.
- 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. – Weaver A. J. – Yoshikawa C. – Zeng N.: 2006. Climate-Carbon Cycle Feedback Analysis: Results from the C4MIP Model Intercomparison. *Journal of Climate* 19, 3338-3353.

- Fuhrer J. – Grandjean A. – Lehnherr B. – Egger A. – Tschannen W.*: 1988. Effects of O₃ in ambient air on growth, yield and physiological parameters of spring wheat. P. Mathy – D. Reidel Pub (Eds.), *Air Pollution and Ecosystems*. pp. 142–147.
- Fuhrer J. – Lehnherr B. – Tschannen W. – Moeri P. B. – Shariat-Madari H.*: 1990. Effects of O₃ on the grain composition of spring wheat grown in open-top field chambers *Environ Pollut*, 65. pp. 181–192.
- Gardea-Torresdey J. L. – Peralta-Videa J. R. – Montes M. – De La Rosa G. – Corral-Diaz B.*: 2004. Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: Impact on plant growth and uptake of nutritional elements. In: *Bioresource Technology* 92 (3) 229–235.
- George E. F. – Debergh P. C.*: 2008. Micropropagation: Uses and Methods. In: George E. F. – Hall M. A. – De Klerk G-J. (Eds.): *Plant propagation by tissue culture*. Eds. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 29–64.
- Gianibelli M.C. – Larroque O. R. – MacRitchie F. – Wrigley C. W.*: 2001. Biochemical, genetic and molecular characterization of wheat endosperm proteins. Online review. AACC.
- Gonzalez-Meler M. A. – Taneva L. – Trueman R. J.*: 2004. Plant respiration and elevated atmospheric CO₂ concentration: cellular responses and global significance. *Annals of Botany*, 94: 647-656.
- Gould R. P. – Mansfield T. A.*: 1988. Effects of SO₂ and NO₂ on growth and translocation in winter wheat *J Exp Bot.* 39: pp. 389–399.
- Haisel D. – Vankova R. – Synková H. – Pospíšilová J.*: 2008. The impact of trans-zeatin O-glucosyltransferase gene overexpression in tobacco on pigment content and gas exchange. *Biologia Plantarum*. 128: 354–362.
- 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.
- Harsányi E. – Nagy O. – Harsányi G. – Nagy J.*: 2014. A mezőgazdaság szerepe a régió fejlesztésében. *Agrártudományi közlemények = Acta agraria Debreceniensis* - 60. p. 25-30.
- Hassan A.*: 2004. Interactive effects of salinity and ozone pollution on photosynthesis, stomatal conductance, growth, and assimilate partitioning of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Photosynthetica*, 42 (1) pp. 111–118.

- Hatata M. – Badr R. – Ibrahim M. – Hassan I. A.: 2013. Effects of O₃ and CO₂ on growth, yield and physiology of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Curr World Env.* 8 (3) pp. 421–429.
- Houghton R. A. – Davidson E. A. – Woodwell G. M.: 1998. Missing Sinks, Feedbacks, and Understanding the Role of Terrestrial Ecosystems in the Global Carbon Balance. *Global Biogeochemical Cycles* 12, 25-34.
- 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.
- Huzsvai L. – Balogh P.: 2015. *Lineáris modellek az R-ben*. Seneca Books, Debrecen. 109–124.
- Huzsvai L.: 2013. *Variancia-Analízisek az R-ben*. Seneca Books, Debrecen. 35–38, 83–86.
- 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.
- Internet1: https://www.met.hu/ismerettar/meteorologiai_hirek/index.php?id=448&hir=A_z_uveghazgazok_koncentracioja_rekord_magas_volt_2011-ben
- Internet2: <http://babylon-grow.eu/szen-dioxid-co2-i-44.html>
- Internet3: <https://www.primag.hu/tudastar/szoja-termesztes-technologia>
- IPCC: 2007. The physical science basis – Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. New York, Cambridge University Press.
- Janssens I. A. – Freibauer A. – Schlamadinger B.: 2005. The carbon budget of terrestrial ecosystems at country scale - a European case study. *Biogeosciences* 2, 15 226.
- 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.
- Kruijt B. W. – Jan-Philip M. – Jacobs M. J. – Cor T.: 2008. Kroon Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands *J. Hydrol.*, 349, pp. 257–267.
- Kurnik E. (1962): *A szója*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 377.
- Lelley J. – Mándy Gy.: 1963. *A búza*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 295.

- Li R. H. – Guo P. P. – Baumz M. – Grand S. – Ceccarelli S.:* 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. In: *Agricultural Sciences in China*, 5 (10) 751-757. p.
- Magyar-Tábori K. – Dobránszki J. – Teixeira Da Silva J. A. – Bulley S. M. – Hudák I.:* 2010. In Vitro Shoot Regeneration in Apple – Role of Cytokinins. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 101 (3): 251–267.
- Mándy Gy. – Szabó L. – Ács A.:* 1980. A borsó. Magyarország kultúrflórája. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Marquard R. D. – Tipton J. L.:* 1987. Relationship between chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience*. 22: 1327.
- Máthé G. – Kovács Gy.* 2003. Use of simulation technique to distinguish between the effect of soil and weather on crop development and growth. *Applied Ecology and Environmental Research*. 1(1-2): 87–92.
- Maxwell K. – Johnson G. N.:* 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51: 659-668.
- Minolta:* 1990. Specifications in detail – chlorophyll meter SPAD 502. Minolta Technical Note. TE102–601–01.
- Mlinarics J.:* 1980. Zöldborsó. In: Zsitvay A. /szerk./: A szántóföldi zöldségtermesztés gyakorlata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Morison J. I. L.:* 2001. Increasing atmospheric CO₂ and stomata. *New Phytologist*, 149: 154–158.
- Nagy J. – Rátonyi T. – Széles A.:* 2016. A klímaváltozás okozta növényi stressz mérséklése. *Debreceni szemle* 24: 2 p. 126-134.
- Nagy J. – Ványiné Széles A.:* 2012. Kutatási eredmények alkalmazása a precíziós kukoricatermesztésben. *Agrártudományi közlemények = Acta agraria Debreceniensis*. – 49. p. 227-231.
- Nagy J.:* 2005. A mezőgazdasági földhasználat, a szántóföldi növénytermelés és a vízgazdálkodás. *"Agro-21" Füzetek* 41, 38-43.
- Nagy Z. – Pintér K. – Czóbel S. – Balogh J. – Horváth L. – Fóti S. – Barcza Z. – Weidinger T. – Csintalan Z. – Dinh N. Q. – Grosz B. – Tuba Z.:* 2007. The carbon budget of semiarid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture Ecosystems and Environment* 121, 21-29.
- Olesen J. E. – Bindi M.:* 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy *Eur. J. Agron.* 16: pp. 239–262.

- OS5p user's guide*: 2017. The New Standard in Portable Chlorophyll Fluorometers.
<https://www.optisci.com/os5p.html>
- Ördög V. – Molnár Z.: 2011. Növényélettan. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem 70-74.
- Panozzo J. F. – Eagles H. A.: 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein Australian Journal of Agricultural Research. 51: pp. 629–636.
- Peleijel H. – Skärby L. – Wallin G. – Sellden G.: 1989. Effects of grain quality of spring wheat exposed to O₃ in OTCs in: J. Bonte – P. Mathy (Eds.), The European Communities on Open-Top Chambers, Results on Agricultural Crops 1987–1988, Air Pollution Rept., 19, CEC, Brussels. pp. 73–89.
- Pepó P. – Dóka L. F. – Szabó A. – Karancsi L. G. – Vad A.: 2015. Néhány agrotechnikai tényező hatása a borsó (*Pisum sativum* L.) termésére. Növénytermelés. - 64 : 1. p. 77-95.
- Pepó P.: 2009. A búzaágazat helyzete és fejlesztési lehetőségei. Debreceni álláspont az agrárium jelenéről, jövőjéről. Szerk.: Nagy J. – Jávora A. p. 147-167.
- Piekielek W. P. – Fox R. H.: 1992. Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. Agron J. 84: 59–65.
- Pintér K. – Barcza Z. – Balogh J. – Czóbel S. – Csintalan Z. – Tuba Z. – Nagy Z.: 2008. Interannual variability of grasslands' carbon balance depends on soil type. *Community Ecology* 9, 43-48.
- Polley H. W.: 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency Crop Sci. 42: pp. 131–140.
- Porter J. R.: 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields Nature. 436: pp. 174–1174.
- 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/>.
- Rajkai K. – Kabos S. – Van Genuchten M. Th.: 2004. Estimating the water retention curve from soil properties: comparison of linear, nonlinear and concomitant variable methods. *Soil and Tillage Research* 79, 145-152.
- Rana G. – Katerji N.: 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review Eur. J. Agron. 13: pp. 125–153.

- Reeves I. – Emery R. J. N.: 2007. Seasonal patterns of cytokinins and microclimate and the mediation of gas exchange among canopy layers of mature *Acer saccharum* trees. *Tree Physiology*, 27: 1635–1645.
- Reichstein M. – Ciais P. – Papale D. – Valentini R. – Running S. – Viovy N. – Cramer W. – Granier A. – Ogee J. – Allard V. – Aubinet M. – Bernhofer C. – Buchmann N. – Carrara A. – Grunwald T. – Heimann M. – Heinesch B. – Knohl A. – Kutsch W. – Loustau D. – Manca G. – Matteucci G. – Miglietta F. – Ourcival J. M.: 2007. Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology* 13, 634-651.
- Rivero R. M. – Shulaev V. – Blumwald E.: 2009. Cytokinin-independent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit. *Plant Physiology*, 150: 1530–1540.
- 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/>
- Rubtsova N. E.: 2006. Need for consideration of adaptive reactions of farm crops to environmental factors of macrolandscape territories in northeastern European Russia. *Russian Agricultural Sciences*, (6): 11–15.
- Schepers J. S. – Francis D. D. – Vigil M. – Below F. E.: 1992. Comparison of corn leaf N concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 23: 17–23.
- Schimel D. S.: 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle. *Global Change Biology* 1, 77-91.
- 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.
- Schulze E. D. – Freibauer A. – Luysaert S. – Ciais P. – Janssens I. A. – Soussana J. F. – Smith P. – Grace J. – Levin I. – Thiruchittampalam B. – Heimann M. – Dolman A. J. – Valentini R. – Bousquet P. – Peylin P. – Peters W. – Rödenbeck C. – Etiope G. – Vuichard N. – Wattenbach M. – Nabuurs G. J. – Poussi Z. – Nieschulze J. – Gash

- J. H. – Team C.:* 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse gas balance. *Nature Geoscience* 2, 842-850.
- Schuman G. E. – Reeder J. D. – Manley J. T. – Hart R. H. – Manley W. A.:* 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. *Ecological Applications* 9, 65-71.
- Seneweera S. – Makino A. – Mae A. – Basra A. S.:* 2005. Response of rice to p (CO_2) enrichment: The relationship between photosynthesis and nitrogen metabolism *Ecological Responses and Adaptations of Crops* 13. pp. 31–53.
- Shewry P. R. – Halford N. G.:* 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization *Journal of Experimental Botany*. 53: pp. 947–95.
- Sinclair T. R.:* 2011. Precipitation: the thousand-pound gorilla in crop response to climate change D. Hillel – C. Rosenzweig (Eds.). *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation*. Imperial College Press. pp. 179–190.
- Somos A.:* 1967. *Zöldségtermesztés*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
- Soó R.:* 1968. *Fejlődéstörténeti növényrendszertan*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Soussana J. F. – Allard V. – Pilegaard K. – Ambus P. – Amman C. – Campbell C. – Ceschia E. – Clifton-Brown J. – Czóbel S. – Domingues R. – Flechard C. – Fuhrer J. – Hensen A. – Horváth L. – Jones M. – Kasper G. – Martin C. – Nagy Z. – Neftel A. – Raschi A. – Baronti S. – Rees R. M. – Skiba U. – Stefani P. – Manca G. – Sutton M. – Tuba Z. – Valentini R.:* 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO_2 , N_2O , CH_4) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, 121–134.
- Steger U. – Achterberg W. – Blok K. et al.:* 2005. Sustainable development and innovation in the energy sector. Berlin: Springer, p. 32.
- Triques K. – Rival A. – Beulé T. – Puard M. – Roy J. – Nato A. – Lavergne D. – Hacaux M. – Verdeil J-L. – Sangare A. – Hamon S.:* 1997. Photosynthetic ability of in vitro grown coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets derived from zygotic embryos. *Plant Science*. 127: 39–51.
- Van Staden J. – Zazimalova E. – George E. F.:* 2008. Plant growth regulators II: Cytokinins, their Analogues and Inhibitors. [In: George E. F. – Hall M. A. – De Klerk G-J. (Eds.): *Plant propagation by tissue culture*.] Eds. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 205–226.

- Ványiné Széles A.: 2008. SPAD-érték és a kukorica (*Zea mays* L.) termésmennyisége közötti összefüggés elemzése különböző tápanyag és vízellátottsági szinten. Doktori (PhD) értekezés.
- Ványiné Széles A.: 2008. The effect of crop year and fertilization on the interaction between the SPAD value and yield of maize (*Zea mays* L.) within non-irrigated conditions. *Cereal Research Communications*. 36: (2)
- Várallyay Gy.: 2004. Talaj az agroökoszisztémák alapeleme. *"Agro-21" Füzetek* 37, 33-50.
- Varga Z. – Varga-Haszonits Z. – Enzsölné Gerencsér E. – Milics G.: 2007a. Az éghajlati változékonyság hatása a szőlő termesztésére. *Kertgazdaság*. 39(2): 27–34.
- Varga Z. – Varga-Haszonits Z. – Enzsölné Gerencsér E. – Milics G.: 2007b. Az éghajlati változékonyság hatása a sárgabarack (*Armeniaca vulgaris* Lam.) termesztésére. *Acta Agronomica Óváriensis*. 49(1): 15–27.
- Varga Z.: 2001. A meteorológiai tényezők hatása a kukorica termesztésére. Berényi Dénes jubileumi ülés. Debrecen. 279–291.
- Varga-Haszonits Z. – Varga Z. – Lantos Zs. – Enzsölné Gerencsér E.: 2006a. Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. Monográfia. Monocopy. Mosonmagyaróvár.
- Varga-Haszonits Z. – Varga Z. – Lantos Zs. – Enzsölné Gerencsér E.: 2006b. Az éghajlati változékonyság hatása az alma termesztésére. *Kertgazdaság*. 38(4): 20–28.
- Varga-Haszonits Z.: 1977. Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Varga-Haszonits Z.: 1997. Agrometeorológia. Kari jegyzet. PATE Mezőgazdaságtudományi Kar. Mosonmagyaróvár.
- Varga-Haszonits Z.: 2005. Az éghajlati változékonyság hatása az agroökoszisztémákra. *"Agro-21" Füzetek* 41, 29-38.
- 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.
- Vetter M. – Wirth C. – Böttcher H. – Churkina G. – Schulze E. D. – Wutzler T. – Weber G.: 2005. Partitioning direct and indirect human-induced effects on carbon sequestration of managed coniferous forests using model simulations and forest inventories. *Global Change Biology* 11, 810-827.
- Wahid A. – Gelani S. – Ashraf M. – Foolad M. R.: 2007. Heat tolerance in plants: an overview *Environ. Exp. Bot.* 61: pp. 199–223.

- 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>.
- Wiedemuth K. – Müller J. – Kahlau A. – Amme S. – Mock H. P. – Grzam A. – Hell R. – Egle K. – Beschow H. – Humbeck K.: 2005. Successive maturation and senescence of individual leaves during barley whole plant ontogeny reveals temporal and spatial regulation of photosynthetic function in conjunction with C and N metabolism. In: Journal of Plant Physiology, 162 (11) 1226-1236. p.
- Xu L. K. – Baldocchi D. D.: 2004. Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California. *Agricultural and Forest Meteorology* 123, 79-96.
- Yadava U. L.: 1986. A rapid and nondestructive method to determinate chloropyll in intact leaves. *HortScience*. 21: 1449–1450.
- Yue D. – Desjardins Y. – Lamarre M. – Gosselin A.: 1992. Photosynthesis and transpiration of in vitro cultured asparagus plantlets. *Scientia Horticulturae*. 49: 9–16.
- Zsembeli J. – Kovács Gy.: 2012. A talaj szén-dioxid emissziója hagyományos és redukált művelésben. *Vyuxzivanje pod v prihranicnej oblasti Slovensko-Maxdarsko*. ed.: Jana Jakubová. p. 95-101.
- Zsembeli J. – Szűcs L. – Tuba G. – Czibalmos R.: 2015. Nedvesség-takarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. *Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon - elmélet és gyakorlat*. Szerk.: Madarász B. p. 122-133.



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 könyvrészesetek (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.





**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

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 tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2018.04.24.



11. MELLÉKLETEK

1. Számú melléklet: Ismételt mérési modell SPAD elemzésre

```
#munkakönyvtár beállítása ahova ment és ahonnan betölti az adatbázisokat
setwd("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/")
#csomagok betöltése elemzéshez, megjelenítéshez stb.
library(effects)
library(ggplot2)
library(gplots)
library(car)
library(agricolae)
library(graphics)
library(extrafont)
#font_import() #ha nincs importálva, akkor ezt is futtatni kell, sok idő...
#loadfonts(device = "win") #betűtípusok betöltése, ezt munkamenetenként elég
egyszer
#kimenetben tizedes vessző beállítása, alaphól tizedes pont lenne
options(OutDec=",")
#szignifikancia szint (elsőfajú hiba)
alpha=0.05
#adatbázis beolvasása ism_nkisnéven
buza <- read.csv("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/Buza_spad.csv", sep=",",
dec=".")
#Faktorok beállítása:
buza$CO2=as.factor(buza$CO2)
buza$feno=as.factor(buza$feno)
#ellenőrzés
is.factor(buza$CO2)
is.factor(buza$feno)
attach(buza)
#SUBSET öntözéses bontás majdnem mint a SPLIT az SPSSben
#buza_spad <- subset(ism_nkis, ontozes=="nem") splittelés példa
buza_spad_aov <- aov(SPAD~CO2*feno+Error(egyed_az/feno), data=buza)
summary(buza_spad_aov)
#LSD5% Post hoc
```



```

#kezelés
df=df.residual(buza_spad_aov$"egyed_az")
mse=deviance(buza_spad_aov$"egyed_az")/df
buza_spad_eljaras_SNK <- with(buza, LSD.test(SPAD, CO2, df, mse, alpha=0.05,
console = T))
#FENOLÓGIAI FÁZIS (MÉRÉSI IDŐPONT)
df=df.residual(buza_spad_aov$"egyed_az:feno")
mse=deviance(buza_spad_aov$"egyed_az:feno")/df
buza_spad_feno_SNK <- with(buza, LSD.test(SPAD, feno, df, mse, alpha=0.05,
console = T))
#kezelés X FENOLÓGIAI FÁZIS (MÉRÉSI IDŐPONT)
df=df.residual(buza_spad_aov$"egyed_az:feno")
mse=deviance(buza_spad_aov$"egyed_az:feno")/df
buza_spad_eljaras_feno_SNK <- with(buza, LSD.test(SPAD, CO2:feno, df, mse,
alpha=0.05, console = T))

```

2. Számú melléklet: Ismételt mérési modell $\Delta F/F_m$ elemzésre

```

#munkakönyvtár beállítása ahova ment és ahonnan betölti az adatbázisokat
setwd("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/")
#csomagok betöltése elemzéshez, megjelenítéshez stb.
library(effects)
library(ggplot2)
library(gplots)
library(car)
library(agricolae)
library(graphics)
library(extrafont)
#font_import() #ha nincs importálva, akkor ezt is futtatni kell, sok idő...
#loadfonts(device = "win") #betűtípusok betöltése, ezt munkamenetenként elég
egyszer
#kimenetben tizedes vessző beállítása, alpból tizedes pont lenne
options(OutDec=",")

```

```

#szignifikancia szint (elsőfajú hiba)
alpha=0.05
#adatbázis beolvasása ism_nkiséven
buza <- read.csv("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/Buza_fluor.csv", sep="," ,
dec=".")
#Faktorok beállítása:
buza$CO2=as.factor(buza$CO2)
buza$feno=as.factor(buza$feno)
#ellenőrzés
is.factor(buza$CO2)
is.factor(buza$feno)
attach(buza)
#SUBSET öntözéses bontás majdnem mint a SPLIT az SPSSben
#buza_Y <- subset(ism_nkis, ontozes=="nem") splittelés példa
buza_Y_aov <- aov(Y~CO2*feno+Error(egyed_az/feno), data=buza)
summary(buza_Y_aov)
#LSD5% Post hoc
#kezelés
df=df.residual(buza_Y_aov$"egyed_az")
mse=deviance(buza_Y_aov$"egyed_az")/df
buza_Y_eljaras_SNK <- with(buza, LSD.test(Y, CO2, df, mse, alpha=0.05, console =
T))
#feno
df=df.residual(buza_Y_aov$"egyed_az")
mse=deviance(buza_Y_aov$"egyed_az")/df
buza_Y_eljaras_SNK <- with(buza, LSD.test(Y, feno, df, mse, alpha=0.05, console =
T))
#kezelés X FENOLÓGIAI FÁZIS (MÉRÉSI IDŐPONT)
df=df.residual(buza_Y_aov$"egyed_az:feno")
mse=deviance(buza_Y_aov$"egyed_az:feno")/df
buza_Y_eljaras_feno_SNK <- with(buza, LSD.test(Y, CO2:feno, df, mse, alpha=0.05,
console = T))

```

3. Számú melléklet: Ismételt mérési modell F_v/F_m elemzésre

```
#munkakönyvtár beállítása ahova ment és ahonnan betölti az adatbázisokat
setwd("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/")
#csomagok betöltése elemzéshez, megjelenítéshez stb.
library(effects)
library(ggplot2)
library(gplots)
library(car)
library(agricolae)
library(graphics)
library(extrafont)
#font_import() #ha nincs importálva, akkor ezt is futtatni kell, sok idő...
#loadfonts(device = "win") #betűtípusok betöltése, ezt munkamenetenként elég egyszer
#kimenetben tizedes vessző beállítása, alapból tizedes pont lenne
options(OutDec=",")
#szignifikancia szint (elsőfajú hiba)
alpha=0.05
#adatbázis beolvasása ism_nkiséven
szoja <- read.csv("/Users/TamasAndras/Documents/RStat/Szoja_fluor.csv", sep=";",
dec=".")
#Faktorok beállítása:
szoja$CO2=as.factor(szoja$CO2)
szoja$feno=as.factor(szoja$feno)
#ellenőrzés
is.factor(szoja$CO2)
is.factor(szoja$feno)
attach(szoja)
#SUBSET öntözéses bontás majdnem mint a SPLIT az SPSSben
#szoja_Fv.m <- subset(ism_nkis, ontozes=="nem") splittelés példa
szoja_Fv.m_aov <- aov(Fv.m~CO2*feno+Error(egyed_az/feno), data=szoja)
summary(szoja_Fv.m_aov)
#LSD5% Post hoc
#kezelés
```

```

df=df.residual(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az")
mse=deviance(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az")/df
szoja_Fv.m_eljaras_SNK <- with(szoja, LSD.test(Fv.m, CO2, df, mse, alpha=0.05,
console = T))
#feno
df=df.residual(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az:feno")
mse=deviance(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az:feno")/df
szoja_Fv.m_eljaras_feno_SNK <- with(szoja, LSD.test(Fv.m, feno, df, mse, alpha=0.05,
console = T))
#kezelés X FENOLÓGIAI FÁZIS (MÉRÉSI IDŐPONT)
df=df.residual(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az:feno")
mse=deviance(szoja_Fv.m_aov$"egyed_az:feno")/df
szoja_Fv.m_eljaras_feno_SNK <- with(szoja, LSD.test(Fv.m, CO2:feno, df, mse,
alpha=0.05, console = T))

```

4. Számú melléklet: Borsó nevelése klímakamrában



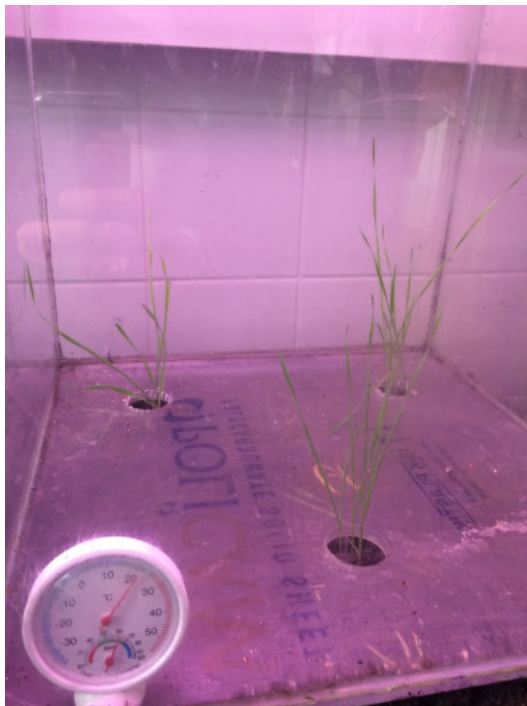
5. Számú melléklet: A borsó betakarítása



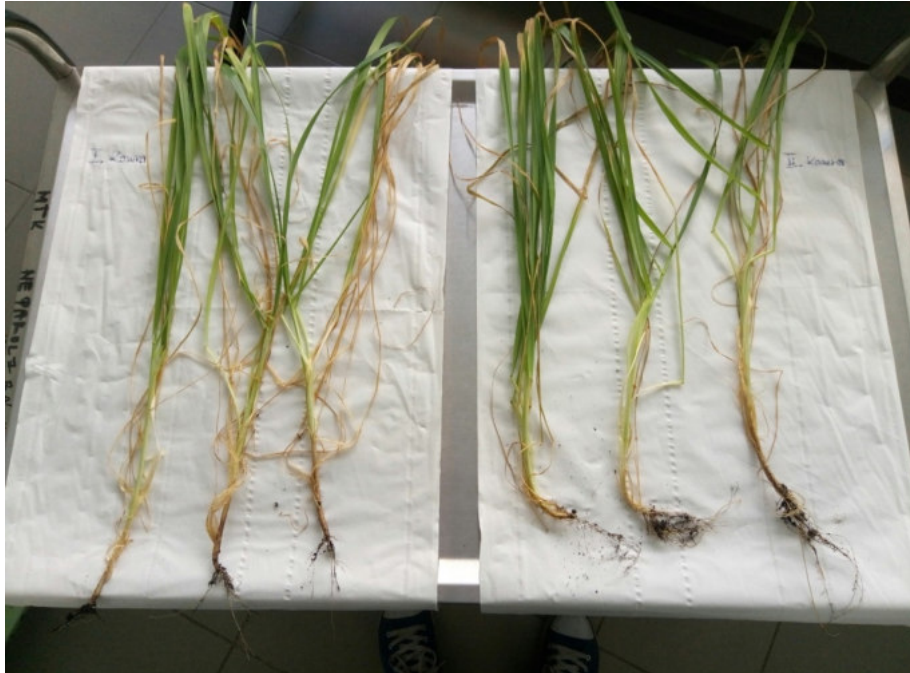
6. Számú melléklet: A borsó termése



7. Számú melléklet: Őszi búza nevelése klímakamrában



8. Számú melléklet: Az őszi búza betakarítása



9. Számú melléklet: Szója nevelése klímakamrában





10. Számú melléklet: A szója betakarítása



11. Számú melléklet: A szója termése



12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék a disszertációm elkészítésében nyújtott segítségéért köszönetet nyilvánítani a témavezetőmnek, **dr. habil Harsányi Endre** egyetemi docensnek, opponenseimnek **dr. Zsembeli József** igazgatónak, **Irinyiné dr. Oláh Katalin Ilona** főiskolai adjunktusnak.

A kísérlet feltételeinek biztosításáért szeretnék köszönetet mondani a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézet igazgatójának **dr. Zsombik Lászlónak**, **Mendlerné dr. Drienyovszki Nórának**, **Dr. Dobránszki Juditnak** és valamennyi munkatársának. Továbbá köszönöm segítségét a Debreceni Egyetem Agrárműszaki Tanszék gépszín dolgozójának **Tóth Imrének**.

Külön szeretném **dr. Veres Szilvia** egyetemi docensnek megköszönni a dolgozat elkészítéséhez szükséges műszeres mérésekben nyújtott segítségét.

13. NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....

a jelölt aláírása

14. NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Tamás András doktorjelölt 2014. szeptember 1. – 2017. augusztus 31. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 20.....

.....

a témavezető(k) aláírása