

A borsó (*Pisum sativum* L.) válaszreakciói a légkör emelkedő szén-dioxid koncentrációjára

Tamás András – Törő Ágnes – Rátonyi Tamás – Harsányi Endre

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

tamas.andras@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A légkör szén-dioxid tartalmának koncentrációja évtizedről évtizedre egyre gyorsabb ütemben növekszik. 1957-ben a légköri szén-dioxid szint 315 ppm körül volt, míg 2012-ben elérte a 394,49 ppm koncentrációt. Ezzel párhuzamosan a globális hőmérséklet is emelkedik, az előrejelzések szerint átlagosan 1,5–4,5 °C-ot. A szén-dioxid koncentráció az egyik legfontosabb tényező, mely – a fényintenzitással kölcsönhatásban – befolyásolja a növények fotoszintézisét. A különböző tényezők között igen jelentős kölcsönhatások érvényesülnek: a környezeti tényezők befolyásolják a növények növekedését és fejlődését, a levélfelület nagyságát és összetételét, a fotoszintetizáló apparátus működésének időtartamát, és a tenyészidőszak hosszát.

Kulcsszavak: : szén-dioxid koncentráció, borsó, klímakamra, fluoreszcencia

SUMMARY

The atmospheric concentration of carbon dioxide increases from decade to decade in increasing pace. In 1957, atmospheric carbon dioxide levels were around 315 ppm, while in 2012 it amounted to 394.49 ppm concentration. In parallel, the global temperature is rising, which is projected to average 1.5–4.5 °C. The carbon dioxide concentration is a key factor – in interaction with the light – affects the plant's photosynthesis. Among the various factors significant interactions prevail: environmental factors affect - the growth and the development of plants, leaf area size and composition, the function of the photosynthetic apparatus, the duration of growing season.

Keywords: carbon dioxide concentration, pea, climate chamber, fluorescence

BEVEZETÉS

A légköri szén-dioxid koncentráció változása és ennek hatásai

A légkör szén-dioxid tartalmának koncentrációja évtizedről évtizedre egyre gyorsabb ütemben növekszik. 1957-ben a légköri széndioxid szint 315 ppm körül volt, míg 2012-ben ez elérte a 394,49 ppm koncentrációt. A légkör megnövekedett CO₂ szintje, mely egyéb tényezők mellett vélhetően felelős a klímaváltozásért, közvetlen hatással van a növények fejlődésére, növekedésére (pl. változások a növények növekedésében a megváltozott hőmérsékleti, csapadék és párolgatósi viszonyok miatt, valamint a tenyészidőszak jellemzőinek változásai miatt). A közvetett hatások között, olyan egyéb tényezők változásainak eredményei állnak, melyek szintén hatással vannak a növények növekedésére, és a megnövekedett CO₂ koncentráció globális hatásának eredményeképpen jönnek létre. A légkör emelkedő szén-dioxid koncentrációja hozzájárul a globális felmelegedéshez, és így a változások kihatnak, mind a csapadék, mind a párolgás mennyiségére. Sőt, a szén-dioxid koncentrációja közvetlenül befolyásolja a növények termelékenységét és élettanát (Kruijt et al. 2008). A légköri szén-dioxid koncentráció várhatóan eléri az 550 ppm-es értéket a század közepére (Carter et al. 2007).

Ezzel párhuzamosan emelkedik a globális hőmérséklet is, az előrejelzések szerint átlagosan 1,5–4,5 °C-ot. Egyre gyakoribbá váltak a szélsőséges időjárási események, mint például a hóhullámok és/vagy az aszály (Carter et al. 2007). Ezek a globális környezeti változások közvetlenül vagy közvetve befolyásolhatják a

növények növekedését, fejlődését, a szemtermést és minőségét (Seneweera et al. 2005, Ainsworth és Rogers 2007).

A szén-dioxid koncentráció hatása a növényekre

A szén-dioxid koncentráció az egyik legfontosabb tényező, mely a fényintenzitással kölcsönhatásban befolyásolja a növények fotoszintézisét. Ha egy adott növényállományt vizsgálunk, a CO₂ koncentrációt befolyásolhatja például a talaj szervesanyag-tartalma (talajlégzés), a növény típusa, a levegőmozgás stb. A szárazföldi ökoszisztéma és a légkör közötti, fotoszintetizáló és légzésen keresztül megvalósuló szénforgalom kb. 120 Gt évente (Gonzalez-Meler et al. 2004). A globálisan megkötött energia mértéke igen jelentős: megközelíti a 130 terawatt-ot, ami kb. hatszorosa az emberi civilizáció energia fogyasztásának (Steger et al. 2005). Átlagosan 100–115 petagram szenet konvertálnak a fotoszintetizáló szervezetek a biomaszába (Field et al. 1998), továbbá a gázcsere folyamatok befolyásolják a globális szén- és vízkörforgásokat, így a változások visszahatnak a klímára. Tehát a szénforgalom központi szerepet tölt be a globális felmelegedésben és a klímaváltozásban (Morison 2001).

A növényállomány egy olyan nyitott ökológiai rendszer, mely folyamatos, állandó és dinamikus kölcsönhatásban van az abiotikus és biotikus környezeti tényezőkkel. A fotoszintézis mértékét számos külső (környezeti) tényező befolyásolja, mint a fényintenzitás, a CO₂ koncentráció, a hőmérséklet, a víz és a tápanyagellátás, míg belső tényezők között például a növény kora, életani állapota, különös tekintettel a levelekre. A különböző tényezők között igen jelentős kölcsönhatások ér-

vényesülnek: a környezeti tényezők befolyásolják a növények növekedését és fejlődését, a levélfelület nagyságát és összetételét, a fotoszintetizáló apparátus működésének időtartamát, és a tenyészidőszak hosszát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A klímakamrában végzett kísérlet 400 és 700 ppm CO₂ koncentráció mellett történt. A megfelelő koncentráció méréséhez CI-340 berendezést használtunk (1. ábra), a koncentrációt szén-dioxid palack segítségével emeltük a megfelelő szintre. A kívánt fenofázis elérésekor klorofill fluoreszcencia méréseket végeztünk sötét- és fény-adaptált mintákból. 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 kvantumhasznosítást a PSII-nek, a levelek 30 perces lesötétítése után mértük. Ezzel egy időben a leveleken minimális és maximális fluoreszcencia (F_0 és az F_m) értékeket is mérünk, melyek 0,8 másodperc telítettségi impulzust kapnak (35 W halogén lámpa, 690 nm rövid áteresztő szűrő). 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 (2. ábra) szoftvere segítségével tudtuk számítani. A PSII tényleges kvantumhasznosítást ($Y(II)$) a mintákban Yield protokoll alkalmazásával mértük, ilyenkor a fény bizonyos mennyiségét felhasználja a PSII fotokémiai rendszer, a fény adszorbeálódik a klorofilokban. Steady-state fluoreszcenciát (F_s) és maximális fluoreszcenciát (F_{ms}) fény-adaptált leveleken mértük, 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 számolható. A vizsgálatokat precíziós és hermetikusan zárt klímakamrában (3. ábra) végeztük. A talaj szén-dioxid kibocsátása folyamatosan és könnyen mérhető. A mért eredményeket statisztikai program segítségével összehasonlítottuk. Adatok elemeztük független-mintás T próba alkalmazásával. A felhasznált program az SPSS for Windows (SPSS®, version 21.0) $p \leq 0,05$. A kísérlet adatai a következőképpen alakultak: a növény Irina borsó (3×3 növény/klímakamra), a talaj összetétele N>0,3 m/m%, P₂O₅>0,1 m/m%, K₂O>0,3 m/m%, pH=6,8, a vetési mélység 5 cm, 14 óra megvilágítás, 21–23 °C, változó páratartalom. A méréseket 4–6 leveles és virágzás előtti fenofázisaiban végeztük.

A CI-340 hordozható fotoszintézis mérő berendezés egy egykezes eszköz, amely mérni képes a növények fotoszintézisét, légzését, a párologtatást, a sztómakonduktanciát, és a be- és kiáramló szén-dioxid mennyiségét és bruttó különbségét. Könnyű és tartós, a CI-340 legfontosabb értéke, hogy a szántóföldön is használható. Az opcionális kiegészítők lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy folyamatosan ellenőrizhessék a szén-dioxid, víz és hőmérsékleti adatokat, a fény intenzitását, továbbá mérhetők fluoreszcencia értékek is. A 10 különböző egyedi kamra képes befogadni bármilyen levél méretet. A közvetlen kamrapcsolat lehetővé teszi a gyors mérést minimális késésekkel.

1. ábra: CI-340 kézi fotoszintézis mérő berendezés

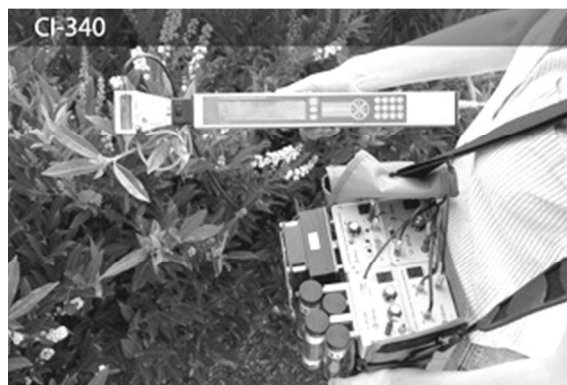


Figure 1: CI-340 Handheld Photosynthesis System

2. ábra: OS5p+ fluoreszcencia mérő berendezés



Figure 2: OS5p+ Fluorometer

3. ábra: Klímakamra



Figure 3: Climate chamber

Az OS5p+ hordozható rendszer, mely tartalmazza a legújabb fejlesztések 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.

EREDMÉNYEK

Fény-adaptált (Yield protocol) eredmények

A steady-state fluoreszcencia mérések eredményeiből megállapítható, hogy 4–6 leveles fenofázisban szignifikáns különbségek figyelhetők meg a két koncentráció között. Magasabb koncentráció mellett, magasabb értékeket mértünk. A PSII rendszer hatékonysága jobb volt 700 ppm koncentráció mellett. A PSII rendszer tényleges kvantumhasznosítása és az ETR esetén is szignifikáns különbségeket mértünk. Ez mutatja, hogy a PSII tényleges kvantumhasznosítása magasabb volt alacsonyabb koncentráció mellett (1. táblázat).

1. táblázat

Yield protokoll mérési eredményei 4–6 leveles fenofázisban

	CO ₂ ppm	Mintaszám(1)	Átlag(2)	Sig. (t-próba)(3)
F _s	700	4	1384	0,001
	400	4	808	0,006
F _{ms}	700	4	3874,75	0,235
	400	4	3410,25	0,279
Y	700	4	0,6425	0,000
	400	4	0,7638	0,000
ETR	700	4	32,350	0,000
	400	4	38,475	0,000

Megjegyzés: F_s – Steady-state fluoreszcencia, F_{ms} – maximum fluoreszcencia, Y – PSII rendszer tényleges kvantumhasznosítása, ETR – relatív elektrontranszport ráta

Table 1: Differences between 400 and 700 ppm CO₂ concentrations in 4–6 leaf phenophase by Yield protocol

Number of samples(1), Mean(2), Sig. (2-tailed)(3)

Virágzás előtti fenofázisban, a steady-state fluoreszcencia nem mutat szignifikáns különbségeket. A PSII rendszerek hatékonyságát illetően nem volt szignifikáns különbség, és nem mértünk szignifikáns különbséget maximális fluoreszcencia esetében sem. A PSII rendszer tényleges kvantumhasznosítása és az ETR esetén is szignifikáns különbségeket mértünk, de szembevetve, hogy ez esetben, a virágzás előtti fenofázisban, a PSII tényleges kvantumhasznosítása erősebb volt magasabb koncentráció mellett (2. táblázat).

A sötétített (F_v/F_m protokoll) eredményei

Sötét-adaptált mérések esetén, 4–6 leveles fenofázisban, a minimális fluoreszcencia szignifikáns különbséget mutat, viszont nincs szignifikáns különbség maximális fluoreszcencia esetében. A változó fluoreszcencia értékek ismét szignifikáns különbségeket mutatnak. Végül az F_v/F_m aránya között is szignifikáns volt a különbség, ennek eredményeként az F_v/F₀ hányados is szignifikáns (3. táblázat). Ez esetben, légköri koncentráció mellett, 4–6 leveles állapotban az értékek magasabbak, továbbá jelentősen eltérnek egymástól.

2. táblázat

Yield protokoll mérési eredményei virágzás előtti fenofázisban

	CO ₂ ppm	Mintaszám(1)	Átlag(2)	Sig. (t-próba)(3)
F _s	700	4	1241,25	0,038
	400	4	2164,50	0,076
F _{ms}	700	4	3876,75	0,179
	400	4	3591,50	0,225
Y	700	4	0,6790	0,019
	400	4	0,4008	0,049
ETR	700	4	34,175	0,019
	400	4	20,150	0,049

Megjegyzés: F_s – Steady-state fluoreszcencia, F_{ms} – maximum fluoreszcencia, Y – PSII rendszer tényleges kvantumhasznosítása, ETR – relatív elektrontranszport ráta

Table 2: Differences between 400 and 700 ppm CO₂ concentrations in flowering phenophase by Yield protocol

Number of samples(1), Mean(2), Sig. (2-tailed)(3)

3. táblázat

F_v/F_m protokoll mérési eredményei 4–6 leveles fenofázisban

	CO ₂	Mintaszám(1)	Átlag(2)	Sig. (t-próba)(3)
F ₀	700	4	1257,00	0,00
	400	4	973,75	0,00
F _m	700	4	3871,25	0,47
	400	4	3872,75	0,48
F _v	700	4	2614,25	0,00
	400	4	2899,00	0,00
F _v /F _m	700	4	0,68	0,00
	400	4	0,75	0,00
F _v /F ₀	700	4	2,09	0,00
	400	4	2,99	0,00

Megjegyzés: F₀, F_m – minimum and maximum fluoreszcencia, F_v – változó fluoreszcencia, F_v/F_m – PSII rendszer maximális kvantumhozama, F_v/F₀ – PSII fotokémiai rendszer maximális hatékonysága

Table 3: Differences between 400 and 700 ppm CO₂ concentrations in 4–6 leaf phenophase by F_v/F_m protocol

Number of samples(1), Mean(2), Sig. (2-tailed)(3)

Virágzás előtti fenofázisban is minimális fluoreszcencia értékek alapján szignifikáns a különbség, és nem volt szignifikáns különbség maximális fluoreszcencia esetén. A változó fluoreszcencia hasonló eredményeket mutat, mint 4–6 leveles állapotban. Az arányok közötti eltérések is szignifikánsak és 400 ppm koncentráció mellett az értékek magasabbak (4. táblázat).

KÖVETKEZTETÉSEK

A fotokémiai hatékonyság mérése fluoreszcencia paraméterek segítségével (F₀, F_v, F_m – minimum, változó és maximális klorofill fluoreszcencia) és ezek arányának összehasonlításával történtek. Az F_v/F_m arány szintén informatív lehet számunkra, a hatékonyság szempontjából. Kísérleteinkben szignifikáns különbségek tapasztalhatók számos esetben. Ezeket a növény és a környezeti tényezők (CO₂) közötti kölcsönhatások okozzák. Yield protokoll fluoreszcencia értékei magasabbak 700 ppm CO₂ koncentráció esetén.

4. táblázat
F_v/F_m protokoll mérési eredményei virágzás előtt fenofázisban

	CO ₂	Mintaszám(1)	Átlag(2)	Sig. (t-próba)(3)
F _o	700	3	1293,67	0,00
	400	4	843,00	0,00
F _m	700	3	3873,00	0,46
	400	4	3789,25	0,41
F _v	700	3	2579,33	0,01
	400	4	2946,25	0,01
F _v /F _m	700	3	0,67	0,00
	400	4	0,78	0,00
F _v /F _o	700	3	2,00	0,00
	400	4	3,50	0,00

Megjegyzés: F_o, F_m – minimum and maximum fluoreszcencia, F_v – változó fluoreszcencia, F_v/F_m – PSII rendszer maximális kvantumhozama, F_v/F_o – PSII fotokémiai rendszer maximális hatékonysága

Table 4: Differences between 400 and 700 ppm CO₂ concentrations in flowering phenophase by F_v/F_m protocol

Number of samples(1), Mean(2), Sig. (2-tailed)(3)

F_v/F_m protokoll esetén minden esetben magasabbak az értékek alacsonyabb koncentrációban. Azt is fontos megjegyezni, hogy 700 ppm koncentrációnál, a vegetációs periódus rövidebb, a növények virágzása 35 nap elteltével kezdődött, a 4–6 leveles stádiumot 16 napon belül elérték. A növekvő koncentráció hatására, a növények zöld tömege jóval meghaladta a kontroll növények tömegét. Összességében a nagyobb zöld tömeg gyarapodás és a rövidebb tenyészidőszak a növekvő mértékű CO₂ koncentráció hatása. Terveink közt szerepel, hogy további koncentrációk mellett is vizsgálatokat végzünk, továbbá más típusú (C3, C4) növények klímakamrás kísérleteit is összehasonlítjuk különböző CO₂ szintek esetén.

IRODALOM

- 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: 258–270.
- Carter, T. R.–Jones, R. N.–Lu, X. (2007). New assessment methods and the characterisation of future conditions. [In: Parry et al. (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.] Cambridge UK: IPCC. Cambridge University Press. 133–171.
- 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.
- 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.
- 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: 257–267.
- Morison, J. I. L. (2001): Increasing atmospheric CO₂ and stomata. *New Phytologist*, 149: 154–158.
- Seneweera, S.–Makino, A.–Mae, A.–Basra, A. S. (2005): Response of rice to p(CO₂) enrichment: The relationship between photosynthesis and nitrogen metabolism. *Ecological Responses and Adaptations of Crops*. 13: 31–53.
- Steger, U.–Achterberg, W.–Blok, K. (2005): Sustainable development and innovation in the energy sector. Berlin. Springer. 32.