

A FOTOSZINTETIKUS AKTIVITÁS ŐSZI CSÖKKENÉSE HÁROM PARADICSOM ÉS EGY PAPRIKA HIBRID LEVELEIBEN

AUTUMN DECLINE OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN LEAVES OF THREE TOMATO AND ONE PEPPER HYBRID

Várad Gy. ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻⁷⁹¹⁸⁻⁵⁵²⁴ - *Tóthné Taskovics Zs. ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰³⁻⁴⁸⁵⁷⁻⁷⁹⁸⁷ ¹ - Kovács A. ⁰⁰⁰⁹⁻⁰⁰⁰¹⁻⁷⁸⁶¹⁻²⁶⁴³ ¹ -
Magyar Á. ⁰⁰⁰⁹⁻⁰⁰⁰¹⁻⁰⁰⁷⁹⁻⁷⁷¹³ ² - Hüvely A. ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻¹⁴⁹⁸⁻²⁶¹⁰ ¹

¹Neumann János Egyetem, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Kecskemét

²Árpád Agrár Zrt, Szegvár

<https://doi.org/10.47833/2023.1.AGR.004>

Kulcsszavak:

fotoszintézis
paradicsom
sztóma konduktancia
levél öregedés

Keywords:

photosynthesis
tomato
stoma conductance
leaf senescence

Cikktörténet:

Beérkezett 2023. február 10.
Átdolgozva 2023. március 20.
Elfogadva 2023. március 25.

Összefoglalás

Két koktél paradicsom fajta és egy nagy bogyójú fajta esetében folytattunk fotoszintézis vizsgálatokat hordozható infravörös gázanalizátor és impulzus amplitúdó modulált (PAM) klorofill-a fluorométer alkalmazásával. A szeptember végén és október elején, két hét különbséggel végzett mérések jól mutatják a rövidülő nappalok és csökkenő napi megvilágítás maximumok hatását, mely egyfajta fiziológiai levél-öregedésben, nevezetesen a fotoszintetikus nettó asszimilációs teljesítmény és a fotoszintetikus elektrontranszport rendszer hatékonyságának csökkenésében nyilvánul meg. Jelentős különbség volt megfigyelhető a fotoszintetikus aktivitásban és a sztóma regulációban, a lényegesen nagyobb hozamú nagy bogyójú fajta javára, mely hasonlóan alakult egy paprika fajtájához.

Abstract

Leaf gas exchange and chlorophyll a fluorescence measurements were performed in leaves of two cherry tomatoes and a large fruited tomato in greenhouse by using portable infrared gas analyzer equipped with a pulse amplitudo modulated (PAM) chlorophyll a fluorometer. Signs of leaf physiological senescence due to the shortening in daily illumination and the decreasing daily illumination maxima were observed within two weeks at the end of September and the beginning of October expressed as a decay in net photosynthetic performance and a less efficient photosynthetic electron transport system. Remarkable difference was observed in the photosynthetic activity and the stomatal regulation in favor of the large-berry tomato cultivar similarly to the parameters of a pepper variety.

1. Bevezetés

A növények termőképességét alapvetően az elsődleges anyagcsere folyamatok és ezen belül is döntően a fotoszintézis teljesítménye határozza meg [1,3,6,8]. A világon a legnagyobb, míg Magyarországon a második legnagyobb felületen hajtattott zöldségfaj a paradicsom. A nettó fotoszintetikus aktivitás mérésével megbízhatóan és a hagyományos termésmennyiség mérésnél gyorsabban, s így hatékonyabban értékelhető a fajtajelöltek várható termőképessége, és a

fotoszintetikus folyamatok hatékonyságának mérésén keresztül a különféle stresszhatásokkal szembeni tűrőképeség is jól vizsgálható és bemutatható modell kísérletekben [2,4,10].

Az egyik legelterjedtebben alkalmazott mérés technika, amellyel a fotoszintetikus teljesítmény és a stressztűrés vizsgálható, az infravörös gázelemzőkre alapozott levél gázcsere mérés. Ennek segítségével nyomon követhetjük a nettó fotoszintézis és a párologtatás sebességének alakulását, valamint a gázcsere folyamatok szabályozásában kulcsszerepet játszó levél gázcsere nyílások (sztómák) működését, szabályozott növénykörnyezetben, biotikus vagy abiotikus stresszhatások jelenlétében egyaránt.

A fotoszintézis napfényenergia begyűjtő és hasznosító folyamatainak elemzésére a klorofill-a fluoreszcencia indukciós mérési eljárás alkalmas [9]. Ennek legkorszerűbb változata az impulzus amplitúdó modulált (PAM) fluoreszcenciás mérés technika, amelyet széleskörűen alkalmaznak, egyrészt a fotoszintézis alapfolyamatainak kutatásában, másrészt pedig a különféle biotikus és abiotikus stressztényezők hatásainak közvetett és korai detektálására [5]. A növényeknek életük, sőt akár egyetlen napjuk során is nagymértékben változó környezeti állapotokhoz, így például a szélsőségesen változó fényviszonyokhoz is alkalmazkodniuk kell. Ez azt jelenti, hogy csekély megvilágítás mellett a fénybegyűjtő antennáknak kell nagyon hatékonyan működniük, míg extrém erős fényintenzitás esetén a nagyon hatékony fotokémiai folyamatnak, s mellette az abszorbeált fényenergia főleg biztonságos elvezetésében szerepet játszó védőmechanizmusoknak – így például az ún. Stern-Volmer-féle nem-fotokémiai kioltási együtthatóval (NPQ) jellemezhető xantofill-ciklusnak – kell jó hatékonysággal működniük [7].

Miután a fotoszintetikus aktivitás és sztóma működés fényintenzitás függését, s a fotoszintézis napi menetét már korábban publikáltuk [10], jelen dolgozatunk tárgya a fotoszintetikus folyamatok és a kapcsolódó egyik legfontosabb védőmechanizmus, valamint a sztómaműködés és vízhasznosítás kicsit részletesebb elemzése. Célunk volt annak bemutatása, hogy az alkalmazott biofizikai módszerek mennyiben alkalmasak a levél-öregedési folyamatok jellemzésére. Pusztán a fajok összehasonlításául, egy TV paprika fajta október eleji teljesítményét is bemutatjuk.

2. Anyag és módszer

A levél gázcsere méréseket három paradicsom fajtával az Árpád Agrár Zrt. szegvári telephelyén, üvegházi körülmények között végeztük, talaj nélküli termesztési módnál, amint azt korábbi közleményünkben már részletesen ismertettük [10]. Az eredmények közzétételénél egy párhuzamosan mért paprika fajta adatait is szerepeltetjük.

Az impulzus amplitúdó modulált klorofill-a fluoreszcenciás méréseket a Walz GFS-3000 rendszerben integrált PAM mérőegységgel végeztük. Ennek során egy 15 perces sötét adaptációs szakaszt követően megmértük a PSII fotokémiai reakciócentrumok maximális fluoreszcencia értékét (F_m), majd a fényválaszgörbe felvétele során az adott fényintenzitás (fotoszintetikusan aktív sugárzás, PAR, 400-700 nm) mellett tapasztalható effektív kvantumhatásfokból $Y(PSII)$ kiszámítottuk a becsülhető fotoszintetikus elektrontranszport sebességet (ETR), s a fluoreszcencia maximum értékekből kalkulálható ún. Stern-Volmer-féle nem-fotokémiai kioltási együtthatót (NPQ).

$$Y(PSII) = (F_m' - F_s) / F_m'$$

ahol:

F_m' – a megvilágított levélben indukált maximális fluoreszcencia

F_s – a megvilágított levél egyensúlyi fluoreszcencia intenzitása

$$ETR = Y(PSII) \times PAR \times 0,5$$

ahol:

$Y(PSII)$ – a második fotokémiai rendszer effektív kvantumhatásfoka

PAR – a fotoszintetikusan aktív hullámhossztartományban (400-700 nm) mérhető fotonfluxus sűrűség ($\mu\text{mol kvantum m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

$$NPQ=(F_m-F_m')/F_m'$$

ahol:

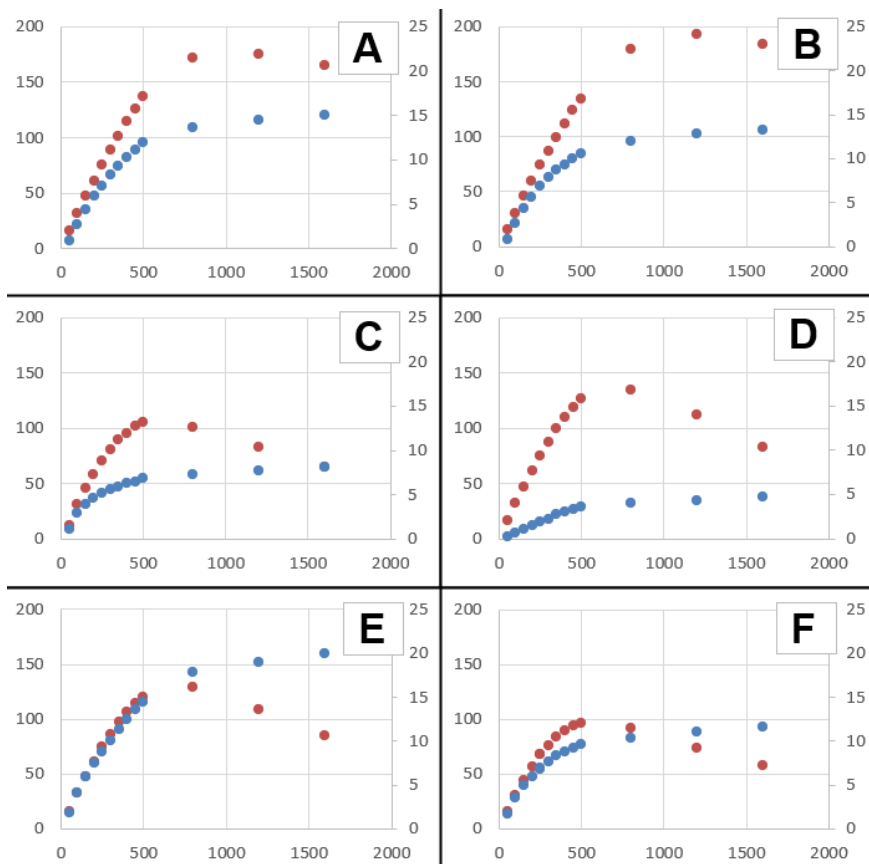
F_m – a sötétadaptált levélben indukált maximális fluoreszcencia

F_m' – a megvilágított levélben indukált maximális fluoreszcencia

3. Eredmények

3.1. A fotoszintetikus elektrontranszport és a széndioxid asszimiláció fényintenzitás függése

Az 1. ábrán a fotoszintetikus elektron transzport sebesség (ETR, piros jelek, baloldali tengely) effektív PSII kvantumhatásfok és a beeső fényintenzitás mértékével kalkulált értékeit, és a nettó fotoszintézis intenzitásokat (kék jelek, jobboldali tengely) láthatjuk a beeső fotoszintetikusan aktív besugárzás (PAR) függvényében. Kóktél paradicsom esetében szeptemberi (A és B) valamint októberi (C és D), míg a nagy bogójú paradicsom (E) és a paprika (F) esetében októberi mérések eredményeit mutatjuk be. Az ETR minden esetben jól láthatóan maximum görbét ír le, míg a nettó fotoszintézis intenzitás telítési görbét mutat. A két kóktélparadicsom fajta szeptemberi diagramján valamelyes különbség figyelhető meg az első fajta javára (1. ábra, A és B). Októberben mind az elektrontranszport sebesség, mind a fotoszintetikus aktivitás jelentős csökkenést mutat mindkét fajtánál (1. ábra, C és D), s ez éppen a második fajtánál látszik drasztikusabbnak, jöllehet a második fajtánál mindkét időpontban nagyobb elektron transzport sebességet kalkuláltunk. A nagy bogójú fajta októberi teljesítménye (1. ábra, E) jelentősen nagyobb nettó fotoszintetikus asszimilációt reprezentált, jöllehet a fotoszintetikus elektron transzport sebessége hasonló volt a kóktél paradicsom fajtákéhoz. Pusztán a fajok összehasonlításául, egy TV paprika fajta október eleji teljesítményét (1. ábra, F) is bemutatjuk.



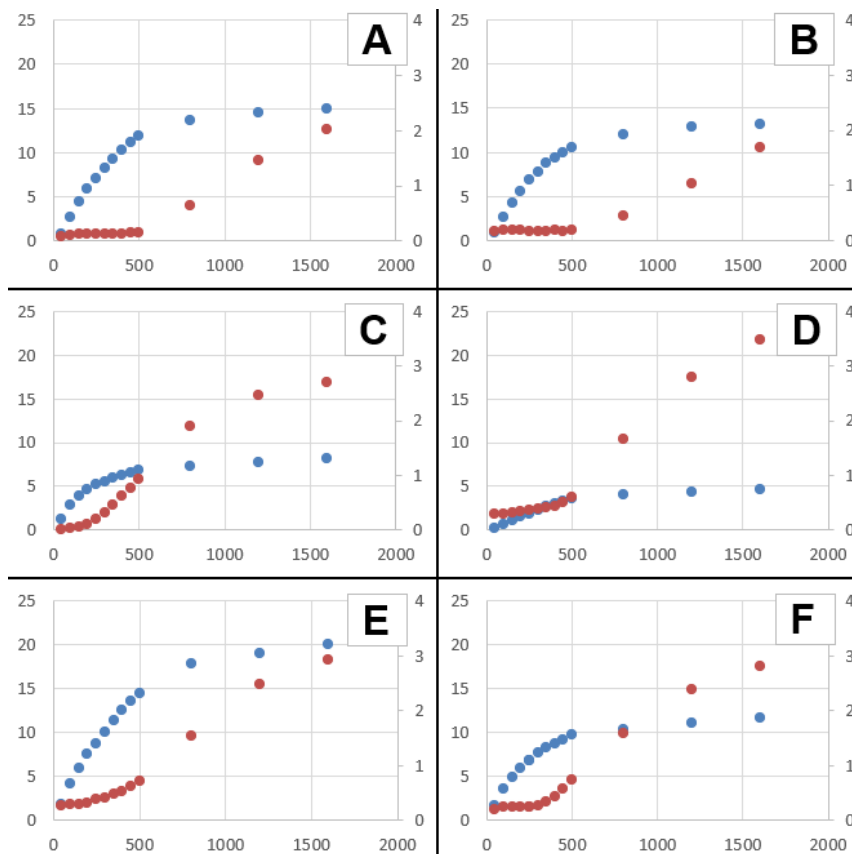
1. ábra. A fotoszintetikus elektrontranszport ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sebesség (ETR, piros jel, baloldali tengely) és a nettó széndioxid asszimilációs ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ráta (P_n , kék jel, jobboldali tengely)

alakulása a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) intenzitása ($\mu\text{mol kvantum m}^{-2} \text{s}^{-1}$) függvényében kóktél paradicsom (A,B,C,D), nagy bogycsú paradicsom (E) és TV paprika (F) esetében.

Megállapítható, hogy az ETR maximum görbét ír le a fényintenzitás függvényében, míg a nettó fotoszintetikus aktivitás telítésbe fut. Ez arra utal, hogy az energia begyűjtő rendszer teljesítménye bizonyos fényintenzitás fölött visszafogottá válik, melynek hátterében az energia fölösleggel szembeni egyfajta védőmechanizmus sejtethető. Szükség is van erre, hiszen az elnyelt energia fotokémiai hasznosítása határértékhez konvergál.

3.2. A nettó fotoszintetikus aktivitás és a nem-fotokémiai kioltás fényintenzitás függése

Tovább haladva a gerjesztési energia fotokémiai hasznosulásától az elnyelt energia fölöslegének eliminálása, vagyis a fotoszintetikus apparátusban az evolúció során kialakult biokémiai és biofizikai védőmechanizmusok irányában, a 2. ábrán (piros jel, jobboldali tengely) tanulmányozhatjuk az egyik legfontosabb védőmechanizmus, a xantofill-ciklus működését jelző ún. nem-fotokémiai kioltás (NPQ) működését.



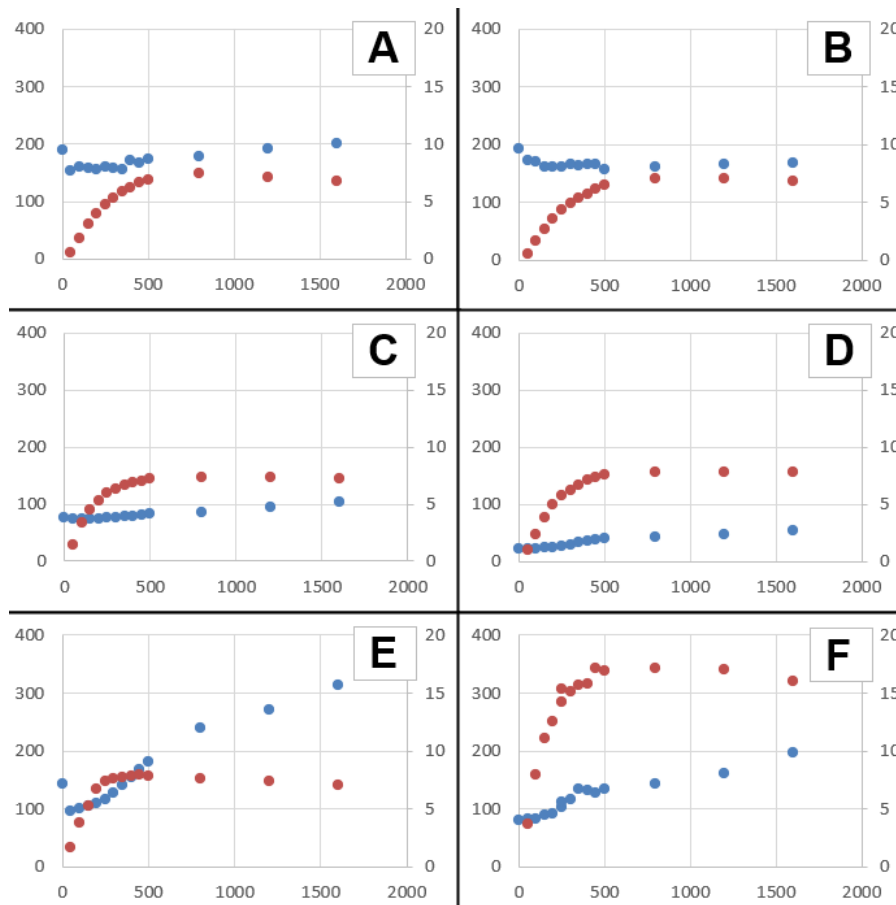
2. ábra. A nettó széndioxid asszimilációs ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ráta (P_n , kék jel, baloldali tengely) és a xantofill-ciklus működését jelző nem-fotokémiai kioltás (NPQ, piros jel, jobboldali tengely) alakulása a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) intenzitása ($\mu\text{mol kvantum m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) függvényében kóktél paradicsom (A,B,C,D), nagybogycsú paradicsom (E) és TV paprika (F) esetében.

A nettó fotoszintézis fényválasz görbéin is megfigyelhető, hogy a kezdeti szakaszban jóval hatékonyabb a fotokémiai hasznosulás (nagyobb, kezdetben közel lineáris fényválasz), majd jelentősen csökken a görbe meredeksége, jelezvén a hasznosulás romló mértékét. A xantofill-ciklus

aktivitását jelző NPQ értékek kezdetben szinte állandóak és kicsik, míg a fotoszintézis fényválasz telítésbe fordulásakor jelentős és monoton növekedést mutatnak. Ez a jelenség egyöntetűen megmutatkozik a szeptemberi és az októberi mérések alkalmával. Egyértelműen megfigyelhető, hogy az NPQ értékek megugrása, vagyis a xantofill-ciklus bekapcsolása októberben jóval kisebb fényintenzitásnál következik be, jelezve a romló fotokémiai hasznosulást. Az is megfigyelhető, hogy a xantofill-ciklus képviselte védelem iránti szükséglet jóval kisebb volt szeptemberben, mint októberben (2. ábra, A, B és C, D), továbbá mindkét hónapban kisebb volt a jobban teljesítő második fajtánál. A nagy bogoyjú fajtánál, a nagyobb októberi fotoszintetikus aktivitás dacára jelentős volt a xantofill-ciklus aktivitását jelző NPQ értéke, jelezve, hogy a jó fotokémiai hasznosulás mellett is fontos a védőmechanizmusok hatékony jelenléte. Megfigyelések szerint a fotoszintetikus apparátus őszi leépülését jelző klorofill lebomlás mellett a xantofill-ciklus működése tartósabban megmarad.

3.3. A sztóma nyitottság és a fotoszintetikus vízhasznosítás fényintenzitás függése

A sztóma nyitottság (sztóma vezetőképesség) jelentős csökkenést mutat a kottél paradicsomoknál szeptemberről októberre (3. ábra, A, B és C, D), ami szintén a megváltozó fénykörnyezet hatásának tudható be, hiszen a hajtattott kultúrában a víz- és tápanyag ellátottság nem tekinthető korlátozó tényezőnek.



3. ábra. A sztóma vezetőképesség ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (G_s , kék jel, baloldali tengely) és a fotoszintetikus vízhasznosítási ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) együttható (WUE, piros jel, jobboldali tengely) alakulása a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) intenzitása ($\mu\text{mol kvantum m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) függvényében kottél paradicsom (A,B,C,D), nagy bogoyjú paradicsom (E) és TV paprika (F) esetében.

Érdemes megjegyezni, hogy a sztóma nyitottság ilyen mérvű csökkenése önmagában is jelentős limitáló tényezője lehet a fotoszintézis intenzitásnak. Az egységnyi elpárologtatott vízmennyiségre jutó nettó széndioxid asszimilációként kiszámolt fotoszintetikus vízhasznosítási tényező (WUE) jellegzetes maximum görbét ír le a megvilágítási intenzitás függvényében. Ez arra utal, hogy míg a fotoszintézis intenzitás telítésbe fut, addig a párologtatás mértéke – az egyre nyitottabb sztómáknak köszönhetően – monoton növekedve, rontja a vízhasznosítás határfokát. Érdekességként megállapíthatjuk, hogy a sztómaműködés és a fotoszintetikus aktivitás jelentős megváltozása, sőt a fajtatípus különbözősége ellenére, a WUE mindhárom vizsgált paradicsomfajta esetében – szeptemberben és októberben is – gyakorlatilag hasonló fényválaszt mutat (talán annyi különbséggel, hogy a nagy bogójú fajta (3. ábra, E) már kisebb fényintenzitás mellett elérte a maximumát). Ezekkel összevetve a TV paprika jóval kedvezőbb fotoszintetikus vízhasznosítást mutatott (3. ábra, F).

4. Következtetések, javaslatok

Az alkalmazott műszeres növényélettani mérések a kapott eredmények alapján alkalmasnak látszanak a termesztésben lévő paradicsomfajta és fajtatípusok jellemzésére, továbbá a nemesítői munka során a fajtajelöltek gyors, korai összehasonlítására, s modellkísérletekben a stressztűrő képesség vizsgálatára, technológia fejlesztés támogatására. A paprika fajta sztóma nyitottság és a fotoszintetikus vízhasznosítás paradicsomokétól eltérő jelleggörbéje további vizsgálatokhoz adhat támpontokat.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a 2018-1.3.1.-VKE-2018-00044. számú, „Stressztoleráns zöldségfajta nemesítése növényfiziológiai mérések segítségével” című pályázati támogatásért a kísérletek megvalósítása során.

Irodalomjegyzék

- [1] Bhatt RM and Srinivasa Rao NK : Growth and photosynthesis in bell-pepper as affected by sink manipulation. Biol. Plant., Short Communication 1997, 39, 437-439. <https://doi.org/10.1023/A:1001096614139>
- [2] deMelo HF, de Souza ER, Duarte HFF, Cunha JC, and Santos HRB: Gas exchange and photosynthetic pigments in bell pepper irrigated with saline water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2017, 21, 38-43. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p38-43>
- [3] Erwin J, Hussein T, and Baumler DJ : Pepper Photosynthesis, Stomatal Conductance, Transpiration, and Water Use Efficiency Differ with Variety, Indigenous Habitat, and Species of Origin. HortSci. 2019, 54,1662–1666. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13871-19>
- [4] Espinosa-Calderon A, Torres-Pacheco I, Padilla-Medina JA, Chavaro-Ortiz RM, Xoconostle-Cazares B, Gomez-Silva L, Ruiz-Medrano R, and Guevara-Gonzalez RG : Relationship between leaf temperature and photosynthetic carbon in Capsicum annum L. in controlled climates. J. Sci. Ind. Res. 2012, 71, 528-533.
- [5] Guidi L, Lo Piccolo E and Landi M: Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: Does it Make Any Difference the Fact to Be a C3 or C4 Species? Front. Plant Sci. 2019, 10, 174. doi: 10.3389/fpls.2019.00174
- [6] Nederhoff EM and Vegter JG : Canopy Photosynthesis of Tomato, Cucumber and Sweet Pepper in Greenhouses: Measurements Compared to Models. Ann. Bot. 1994, 73, 421-427. <https://doi.org/10.1006/anbo.1994.1052>
- [7] Niyogi KK, Björkman O, and Grossman AR : The roles of specific xanthophylls in photoprotection. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1997, 94, 14162-14167.
- [8] Rosado-Souza L, Scossa F, Chaves IS, Kleessen S, Salvador LFD, Milagre JC, Finger F, Bhering LL, Sulpice R, Araújo WL, Nikoloski Z, Fernie AR, and Nunes-Nesi A: Exploring natural variation of photosynthetic, primary metabolism and growth parameters in a large panel of Capsicum chinense accessions. Planta 2015, 242, 677–691. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2332-2>
- [9] Schreiber U, Schliwa U, and Bilger W : Continuous recording of photochemical and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence with a new type of modulation fluorometer. Photosynth. Res. 1986, 10, 51-62.
- [10] Tóthné-Taskovics Zs, Palkovics A, Váradi Gy, Magyar Á, Kovács A : Paradicsom fajtatípusok fotoszintézis intenzitásának összehasonlító vizsgálata. Gradus (2064-8014) 2021, 8 (1) pp 45-51. <https://doi.org/10.47833/2021.1.AGR.007>