

KERTÉSZETI NÖVÉNYEK ÉLETTANA

Dr. Monostori Tamás főiskolai tanár
Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet



A FOTOSZINTÉZIS JELENTŐSÉGE, A KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK HATÁSA A FOTOSZINTÉZISRE

1. olvasólecke

Időigény: 45 perc

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen
készült az Európai Unió támogatásával.
Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014



SZÉCHENYI 2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap

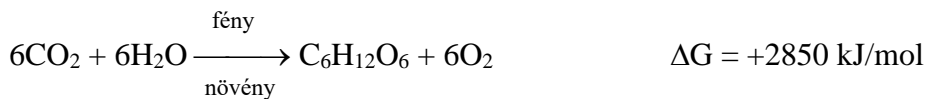


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A FOTOSZINTÉZIS

A fotoszintézis azon folyamatok összessége, melyek során a növények a fényenergiát kis energiájú szerves vegyületekből (szén-dioxid és víz) nagyobb energiátartalmú szerves vegyületek szintézisére használják fel. A fotoszintézis során a fény energiája kémiai energiává alakul, ami a légzés során felszabadul és fedezi az egyéb életfolyamatok energiaszükségletét.

A fotoszintézis összegképlete:



A fotoszintézis szakaszai

1. **Fényreakció:** a kloroplasztisz membránjában a megkötött fényenergia segítségével redukáló erő (**NADPH₂**) és **ATP** keletkezik, miközben a víz oxigénje felszabadul.
2. **Szén-dioxid redukció:** a redukált piridin nukleotid (NADPH₂) és az ATP felhasználásával a szén-dioxid redukálódik, **szénhidrátok** keletkeznek.

A fotoszintézis helyszíne a növényi sejtben a kloroplasztisz.

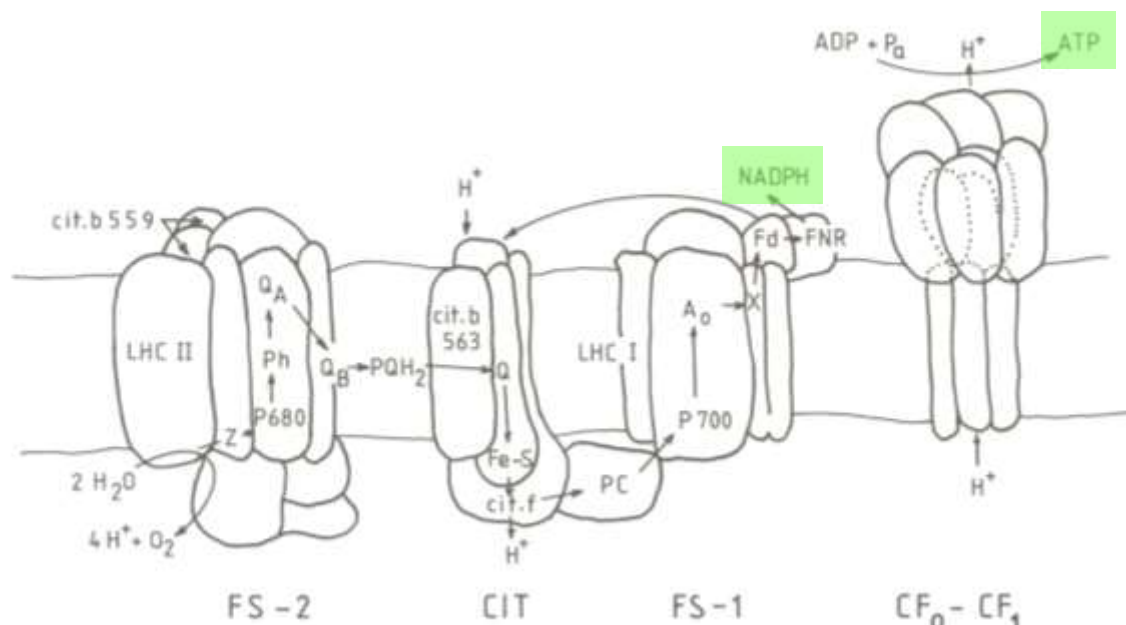
A fotoszintézis fényreakciója

A **fotokémiai rendszer** összetevői és szerepük a fotokémiai reakciókban:

- **fehérjékhez kapcsolt pigment-molekulák:** a fényenergia elnyelése és továbbítása, rezonancia útján, a reakciócentrum felé (energiakoncentráció),
- **fotokémiai reakciócentrum:** a fényenergia átalakítása kémiai energiává, a primer e⁻-akceptor redukálása az extra energiával rendelkező elektronnal,
- **elektronszállító lánc:** a primer redukáló erő (gerjesztett e⁻) stabilizálása, végső e⁻-akceptorra (NADP) szállítása.

Fotoszintetikus **pigmentek:**

- Klorofilok
- Karotinoidok



A fotoszintetikus elektrontranszport-lánc lokalizációja a tilakoid membránban

Anderson (1986) in Pethő (2002)

FS-1: 1. fotokémiai rendszer; FS-2: 2. fotokémiai rendszer; CYT: elektronszállító fehérjekomplex; CF₀-CF₁: a fotofoszfórilálás fehérjekomplexe

A szén-dioxid redukciója a Calvin-ciklusban

A fotoszintézis fényreakciójának termékei (**NADPH₂**, **ATP**) a CO₂ redukciója, szerves vegyületekbe történő beépítése során használandók fel. Ez a folyamat megvilágítás nélkül is lejátszódik (**sötét szakasz**).

A mérsékelt égövi növények többségénél (pl. búza, borsó, cukorrépa, burgonya) a szén-dioxid megkötése közvetlenül a **Calvin-ciklusban** történik. A CO₂-fixálás primer terméke, a háromszénatomos foszfo-glicerinsav (PGS) alapján ezeket **C₃-as növények**nek nevezzük.

A Calvin-ciklus során a CO₂-fixálás primer C-akceptora (ribulóz-difoszfát) újratermelődik, a keletkező **NADP** és **ADP** visszakapcsolódik a fényszakaszba, biztosítva a fotoszintetikus elektronszállítás folytonosságát. A Calvin-ciklus jelenti a kiindulópontját a **szénhidrátok szintézis**ének. A magasabb rendű növények fotoszintézis során termelt szénhidrátja keményítő formájában raktározódik. A szállított szénhidrátforma a szacharóz, ami a fotoszintetizáló növényi részekből transzlokálódik, és elbontása a célszövet energiaszükségletét fedezi.

A fotorespiráció

Intenzív megvilágítás hatására a C₃-as növények a mitokondriumaiban, a légzéshez hasonlóan, CO₂ szabadul fel, a folyamatot fénylégzésnek (**fotorespiráció**) nevezzük.

A fotorespiráció **hátránya**:

- adott fényintenzitás felett (**fénytelítődési pont**) **csökkenti a fotoszintézis produktivitását**

A fotorespiráció **előnyei**:

- **ATP-termelés** (ld. légzés)
- intenzív fotoszintézis esetén **megakadályozza aktív oxigénformák** keletkezését

További információ:

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_01_Novenyelettan/ch03s02.html

A szén-dioxid redukciója a C₄-dikarbonsav úton

A trópusi-szubtrópusi eredetű növények egy részénél (pl. kukorica, cirok, köles, cukornád, amaránt) a CO₂ primer akceptora foszfo-enol-piroszőlősav (PEP). A szén-dioxid-fixálás primer terméke, a négy-szénatomos oxálecetsav alapján ezeket **C₄-es növények**nek nevezzük.

A C₄-es növények előrecsatolt CO₂-fixálásának jelentősége:

A C₄-es növények képesek a fényenergia maximális, folyamatos hasznosítására, fotoszintézisük hatékonysága nagyobb, mint a C₃-as növényeké.

A C₃-as és C₄-es növények fiziológiai mutatóinak összehasonlítása

Fiziológiai mutató	C ₃ -as	C ₄ -es
	növények	
A primer CO ₂ -fixálás enzime	RuDP-karboxiláz (kettős működés: fotorespirációban oxigenáz!!!)	PEP-karboxiláz
CO ₂ -kompenzációs pont, ppm CO ₂	30-70	0-10
Maximális nettó fotoszintézis-intenzitás, CO ₂ mg * dm ⁻² * h ⁻¹	15-40	40-80
A fotoszintézis optimális hőmérséklete	15-25 °C	30-47 °C
Fotorespiráció	aktív	nem valószínű
A fotoszintézis tiszta produktivitása, szárazanyag g * dm ⁻² * d ⁻¹	0,5-2	4-5
Évi szárazanyag-termelés, t/ha	22,0 ± 3,3	38,6 ± 16,9
Transzspirációs együttható, g víz/g szárazanyag	450-950	250-350

Black (1973) nyomán, in Pethő (2002)

A KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK HATÁSA A FOTOSZINTÉZIS INTENZITÁSÁRA

A növények szervesanyag-termelésének alapja a fotoszintézis, aminek intenzitását az egy óra alatt egy dm^2 levélfelületen megkötött CO_2 mennyiségében fejezzük ki (asszimilált $\text{CO}_2 * \text{dm}^{-2} * \text{h}^{-1}$). A **fotoszintézis bruttó produkciójának** (szervesanyag-termelés) egy része a növényi szervezet felépítésére fordítódik: a légzés a fotoszintézis során megtermelt szerves anyagok lebontásával fedezi a felépítő folyamatok energiaigényét. A szervesanyag-veszteség másik forrása a fotorespiráció lehet. A **fotoszintézis tiszta (nettó) produktivitása** az egy m^2 levélfelület által egy nap alatt megtermelt szerves anyag mennyiségét jelenti.

Az **állomány biológiai termése** a tenyészidő során adott vetésterületen megtermelt szerves anyag mennyisége. A **gazdaságilag hasznosítható termés** a biológiai termés bizonyos hányada, amelyet a genotípus, a felhasználási mód (az adott faj gazdaságilag hasznosítható szerveinek tömege) és egyéb körülmények (környezet, termesztéstechnológia stb.) határoznak meg. A gazdasági terméshányad (betakarítási index, **harvest index**, HI) a vegetatív szerveikért termesztett növényeknél általában nagyobb, mint a generatív termésükért termesztetteknél.

A növényállomány szervesanyag-termelését

- a levélfelület nagysága,
- a vegetációs periódus (tenyészidő) hossza,
- a fotoszintézis intenzitása

határozza meg.

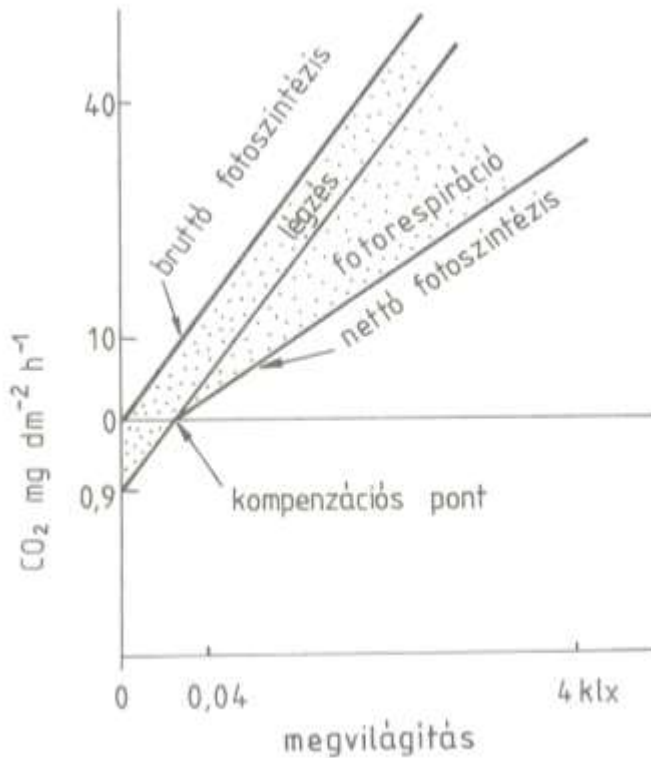
A környezeti tényezők a növény növekedése és fejlődése mellett az életfolyamatok, közöttük is elsősorban a fotoszintézis intenzitásának befolyásával játszanak szerepet a növény produkciójának meghatározásában.

A fényintenzitás és a napszakok hatása a fotoszintézis intenzitására

A növények a levélre jutó fényenergiának csak egy részét (kb. 70%) nyelik el, a fennmaradó részt visszaverik, vagy átengedik. Az elnyelt fényenergiának csak töredéke hasznosul a fotoszintézisben, nagy része hőenergia formájában elvész.

A fényintenzitás növekedése fokozza a fotoszintézis intenzitását, a CO_2 megkötését. A **fény-kompenzációs pont** az a fényintenzitás, amely mellett a fotoszintézis során megkötött CO_2 mennyisége egyenlő a légzésben felszabadított CO_2 mennyiségével. A fényintenzitás további emelkedésével a fotoszintézisben fixált CO_2 mennyisége meghaladja a légzés által termelt

CO₂ mennyiségét. A **nettó** (látszólagos) **fotoszintézis intenzitás** a bruttó (tényleges) fotoszintézis intenzitásnak a légzés és a fotorespiráció CO₂-termelése által csökkentett értéke. A kompenzációs pont helyzete a hőmérséklet függvénye: magasabb hőmérsékleten a légzés intenzívebb, a kompenzációs pont nagyobb fényintenzitásánál van.



A fényintenzitás hatása a nettó fotoszintézis intenzitás értékére

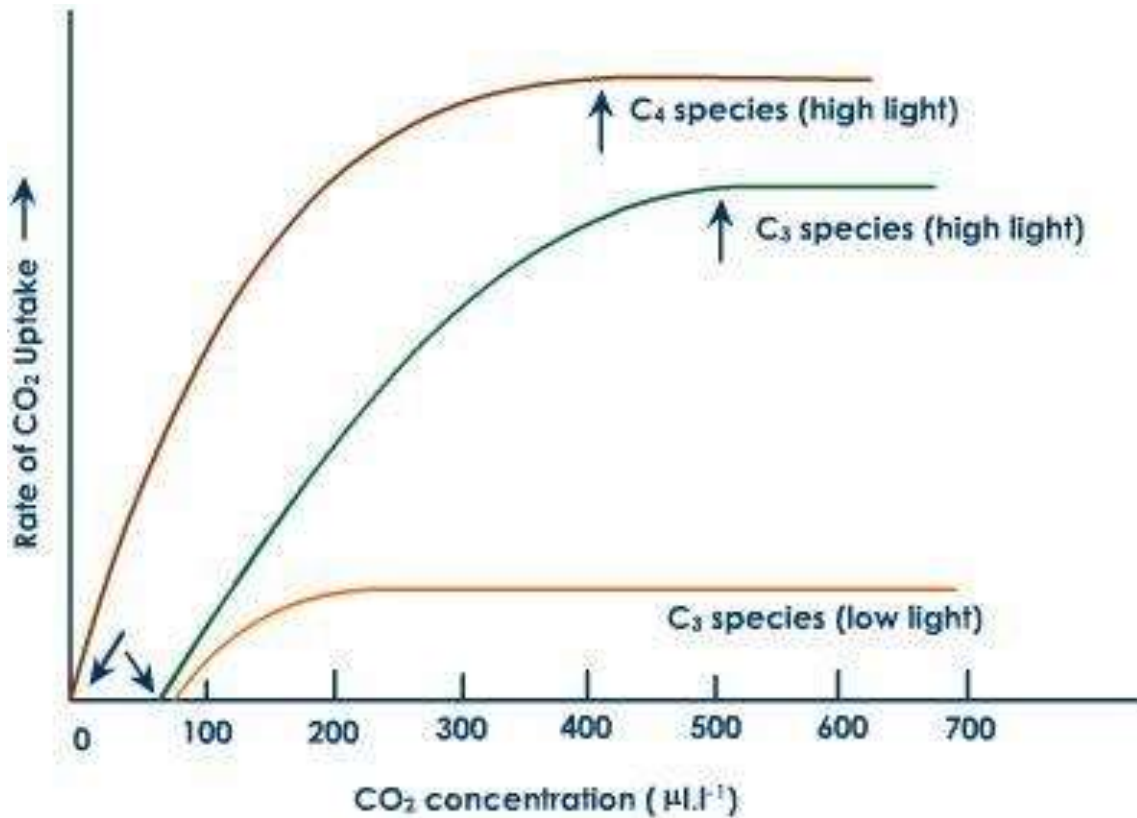
Decker (1957), in Pethő (2002)

A fényintenzitás növekedésével a C₃ típusú növények fotoszintézisének intenzitása a **fényteltődési pontig** emelkedik, azután állandó szinten marad. A fényteltődési pont korlátozza a C₃-as növények energiahasznosítását. A C₄-es növényeknél nincs fényteltődési pont, fotoszintézisük intenzitása a fényintenzitással együtt növekszik, energiahasznosításuk kedvezőbb.

Megfelelő vízellátás mellett a legtöbb (főként C₄-es) növény fotoszintézise a déli órákban a legintenzívebb. A C₃-as növények fotoszintézisének intenzitása a déli órákban általában csökken.

A szén-dioxid-koncentráció hatása a fotoszintézis intenzitására

A fotoszintézis intenzitása fokozódik, ha a CO₂-koncentráció az átlagos légköri érték (0,03%, v/v) 5-10-szereséig nő. A **széndioxid kompenzációs pont** az a CO₂-koncentráció, amelynél a fotoszintézis által felvett CO₂ mennyisége megegyezik a légzés által kibocsátott CO₂ mennyiségével. A **CO₂-telítődési pont**on túl a fotoszintézis intenzitását nem növeli tovább a CO₂-koncentráció emelkedése. A CO₂-koncentráció csökkenése a fotoszintézis intenzitásának csökkenését eredményezi.



A CO₂ koncentráció hatása a C₃-as és C₄-es növények nettó fotoszintézis intenzitására

<https://seegrowgrass.wordpress.com/2016/08/24/external-factors-affecting-photosynthesis>

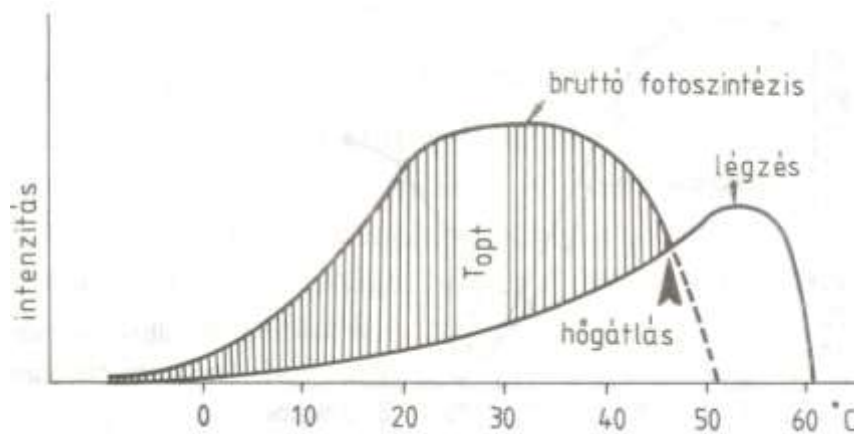
A fényintenzitás és a légkör CO₂-tartalma együttesen szabályozza a fotoszintézis intenzitását:

- gyenge megvilágítás esetén a növény nem tudja kihasználni a rendelkezésre álló szénforrást,
- kis CO₂-koncentráció esetén a fényenergia kihasználásához nincs elég szén-dioxid.

A hőmérséklet hatása a fotoszintézis intenzitására

A fotoszintézis hőmérsékleti görbéje optimumgörbe: a hőmérséklet növekedésével (kb. 0-tól 30 °C-ig) a fotoszintézis intenzitása emelkedik, majd hirtelen esik, és 40-45 °C -nál a nullára csökken. Magasabb hőmérsékleten a hőkárosodás alapja a pigment-protein komplexek diszociációja. A fotoszintézissel szemben, a légzés intenzitása a plazma denaturációjáig folyamatosan emelkedik. Egy bizonyos hőmérsékleten túl (**hőgátlás**) a növény a légzés során több szerves anyagot fogyaszt, mint amennyit a fotoszintézissel termel. A szervesanyagfelhalmozás optimális hőmérséklete az a tartomány, ahol a nettó fotoszintézis (a bruttó fotoszintézis és a légzés különbsége) a legnagyobb.

Optimális esetben a fotoszintézis által termelt szerves anyag mennyisége többszöröse a légzés során elhasznált anyagmennyiségnek.



A fotoszintézis és a légzés hőmérsékleti görbéi

Larcher (1980) in Pethő (2002)

A vízellátás hatása a fotoszintézis intenzitására

A növények gázcseréje, így a fotoszintézishez szükséges CO_2 felvétele is alapvetően a sztó-mákon keresztül folyik. **Hiányos vízellátás** esetén a sztó-mák záródása nemcsak a transzspiráció, hanem **a gázcsere csökkenését is eredményezi**. A csökkent CO_2 -felvétel

- akadályozza a fotoszintézis szerves anyag-termelését,
- az elektrontranszport végső elektron-akceptora, a NADP hiányában reaktív oxigénformák, szabadgyökök keletkeznek, melyek a kloroplasztisz membránrendszerét károsíthatják.

Tartós vízhiány utáni öntözés hatására a fotoszintézis intenzitása csak hosszabb idő után éri el a normál értéket, ami a kloroplasztiszok súlyos károsodására utal.

A légzés enzimszere kevésbé érzékeny a vízhiányra, mint a fotoszintézisé. A fotoszintézis intenzitása viszonylag kis vízhiány esetén is erősen csökken, míg a légzés jelentős vízdeficit esetén (pl. lankadó levelekben) is intenzív marad, csökkentve a növények szervesanyag-felhalmozását.

Gyakorlati szempontok

- Üvegházban, túlzott meleg és elégtelen megvilágítás esetén (pl. tél vége) a palánták növekedése leáll.
- Zárt növényállományok alsó levelei a kompenzációs pontot el nem érő fényintenzitásból következő elégtelen szervesanyag-produkció miatt lehullanak (pl. túlzott N-ellátás esetén).

- Zárt növényházban a légmozgás hiánya miatt a CO₂-koncentráció csökkenhet a növény felületén, ami a fotoszintézis intenzitásának csökkenésével jár. A légmozgás biztosításával kiküszöbölhető a probléma.
- Szántóföldön a talajlégzés fokozása (szervesanyag-pótlás, talajélet javítása stb.) biztosíthatja az alsó légrétegek megfelelő CO₂-koncentrációját.
- Üvegházban szén-savtrágyázással növelhető a levegő CO₂-tartalma (<https://agroforum.hu/szakcikkek/zoldseg/szen-dioxid-tragyazas/>).
- A növények bizonyos mértékig alkalmazkodni képesek a termőhely hőmérsékleti viszonyaihoz: a magasabb hőmérsékleten nevelt palánta fotoszintézisének hőmérsékleti maximuma is magasabb.
- A burgonyánál (de más növényeknél, pl. cukorrépánál is) fontos a nappali és az éjszakai hőmérséklet közötti jelentős különbség: magas éjszakai hőmérsékleten a gumófejlődés akadályozott, az asszimilátákat a növény a légzés során elhasználja.
- Fontos a szárazságtűrő növényfajták nemesítése, melyek sztómái csak viszonylag nagyobb mértékű vízhiány esetén záródnak, szervesanyag-termelésük addig folyamatos.

A napsugárzás szükségességéről, a klorofill jelentőségéről, az etioláció szerepéről egyes kertészeti növények termesztésében, a levelek sárgulásáról (klorózis), az üvegházhatásról és az ózonréteg befolyásáról és egyéb gyakorlati szempontokról **ITT** szerezhetnek (60-70. oldal) további információkat (regisztráció szükséges!):
<https://www.szaktars.hu/szaktudas/view/kert-esszel-novenyi-életjelensegek-a-kertben/>

Ellenőrző kérdések

Melyek a fotokémiai rendszer összetevői és mi a szerepük a fotokémiai reakciókban?

Melyek a fotorespiráció élettani előnyei és hátrányai?

Melyek a C₃-as és a C₄-es növények fotoszintézisének hatékonyságában mutatkozó különbség anatómiai és élettani okai?

Hogy számítható ki a fotoszintézis nettó produktivitása?

Mi a fénykompenzációs pont jelentősége a szervesanyag-termelés szempontjából?

Mi az összefüggés a növények biológiai és gazdasági termése között?

Hogy befolyásolja a szén-dioxid koncentráció a fotoszintézis intenzitását?

Hogy befolyásolja a vízellátottság a szervesanyag-produkciót?

Források

Pethő M. (2002): Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, Budapest

<https://mersz.hu/mod/keres/Mez%C5%91gazdas%C3%A1gi+n%C3%B6v%C3%A9nyek+%C3%A9lettana/sorrend/2/> (regisztráció szükséges!)

Szalai J. (2001): Növényi életjelenségek a kertben. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

<https://www.szaktars.hu/szaktudas/view/kert-essel-novenyi-eletjelensegek-a-kertben/>

Ajánlott irodalom

Ördög V., Molnár Z. (2011): Növényélettan

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_01_Novenyelettan/adatok.html

Bratek Z. és mtsai (2013): A növényi anyagcsere élettana

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_novenyi_anyagcsere/adatok.html