

SZAKDOLGOZAT

Surány Judit Erzsébet

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak

Stresszélettani vizsgálatok napraforgó és kukorica növényeken

Belső konzulens: Dr. Balogh János

Egyetemi tanár

Belső konzulens intézete/tanszéke:

Növénytermesztési- tudományok Intézet

Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Készítette: Surány Judit Erzsébet

OXI35H

Gödöllő

2025

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzések	2
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1 A vizsgált növényfajok fontosabb jellemzői	3
2.1.1 A kukorica (<i>Zea mays</i> L.)	3
2.1.2 A napraforgó (<i>Helianthus annuus</i> L.)	6
2.2 A fotoszintézis	9
2.2.1 A fotoszintézis folyamata	9
2.2.2 A C3-as és C4-es típusú fotoszintézis összehasonlítása	12
2.2.3 Fluoreszcencia	14
2.3 A növényi stressz	14
2.3.1 A stressz fogalma, alapjelenségei	14
2.3.2 Stresszválaszok	15
2.3.3 A vizsgált stressz hatásokra adott általános reakciók	16
3. Anyag és módszer	18
3.1 Növény nevelés	18
3.2 A vizsgálatok leírása	19
3.2.1 Reflektancia mérések	19
3.2.2 Fluoreszcencia mérések	19
3.2.3 Transzspiráció mérések	20
3.2.4 Vegetációs indexek	20
3.3 Adatfeldolgozás módszerei	21
4. Eredmények és értékelésük	22
4.1 Fluoreszcencia mérések	22
4.2 Transzspirációs mérések	24
4.3 Vegetációs indexek	25
5. Következtetések és javaslatok	28
6. Összefoglalás	29
7. Hivatkozások	31
8. Ábrák jegyzéke	35
9. Mellékletek	36

1. Bevezetés és célkitűzések

A mezőgazdaság az időjárásnak leginkább kitett gazdasági szektor, ezáltal a klímaváltozás hatásai komoly kihívás elé állítják elsősorban a növénytermesztési ágazatot. Hazánkban a leglátványosabb problémát az átlag- hőmérséklet emelkedés, valamint a csapadék egyenetlen eloszlása – a hosszantartó aszályos időszakok, majd ritkán, de akkor nagy mennyiségben érkező csapadék – jelenti, mivel ezek jelentősen befolyásolják a növényi produktivitást.

A nitrogén a növények számára az egyik legfontosabb makro tápelem, hiánya csökkent növekedéssel és fehérjeképződéssel jár. Magyarország termőtalajainak jelentős részében nincs (vagy a növények számára nem felvehető formában van) elegendő nitrogén a növények megfelelő fejlődéséhez.

Kutatásomban arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a nitrogénhiány önmagában mennyire befolyásolja a növények fejlődését, illetve mennyire befolyásolja a stresszre adott reakciókat.

A növények reakciója, az őket ért stresszhatásokra egyre többféle módon mérhető, akár távérzékeléssel is. Különböző műszerekkel, akár terepi, akár laboratóriumi körülmények között roncsolásmentesen vizsgálható például a növények fluoreszcenciája és a reflektanciája, melyekből következtethetünk a növény fotoszintetikus aktivitására, és egészségi állapotára.

Az ilyen típusú vizsgálatokkal korai stádiumban érzékelhető a növények stressz okozta állapotváltozása, így terepi körülmények között, megfelelő agrotechnikával megakadályozható az irreverzibilis károsodás.

A vizsgálatokat a dolgozathoz laboratóriumi körülmények között végeztük, ami reményeim szerint támpontot adhat ahhoz, hogy terepen mire érdemes figyelni, mely vizsgálatok azok, amik releváns képet adhatnak a növények állapotáról.

A vizsgálatok tárgyának a napraforgó és a kukorica növényeket választottam, mivel ezek a búza mellett Magyarországon a legnagyobb területen termesztett szántóföldi növények, jelentős szerepük van mind a humán élelmezésben, mind a takarmányozásban és energetikai felhasználásuk is növekszik. Összehasonlításuk során megfigyelhető az is, hogy az eltérő fotoszintézis típus eltérő stressz válaszokat eredményez-e.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A vizsgált növényfajok fontosabb jellemzői

A növények morfológiájának és igényeinek leírására bőséges szakirodalom áll rendelkezésre, de, mivel ezek tények, és nem változtak az elmúlt években, nagyrészt ugyanazok az információk találhatóak a különböző könyvekben, csak minimális eltéréseket találtam, főleg számszerűsített adatokban, mint például a hasznos hőösszegigény, vagy a vízszükséglet, főleg a napraforgó esetében.

A kukoricánál talajigény tekintetében van némi eltérés a különböző szakirodalmakban. Az Antal (2005) féle tankönyv szerint „*a kukorica a gabonafélék közül a legigényesebb a talaj minőségére és kultúrállapotára*”, míg Radics, et al. (2003) szerint ” *a kukorica, különösen a hibridkukorica, jól alkalmazkodik a talajok eltérő tulajdonságaihoz. Ezért a kukoricát nem tartják talajigényes növénynek*”. Abban viszont egyetért a két szerző, hogy legnagyobb biztonsággal mélyrétegű, tápanyagokban és humuszban gazdag, középkött talajon fog nagy termést hozni a kukorica.

A növénynevelés fejlődésével természetesen, az új, hibridváltozatok környezeti igényei és stressztűrésük lehetnek mások, mint a 20-40 éve megjelent szakirodalmakban, az akkor tenyésztett változatoké. Ezekkel nem kívánok részletesebben foglalkozni a szakdolgozatomban, mivel a kísérletek során csak 1-1 fajtát vizsgáltunk a két növényből.

Jelentősebb különbség a korábbi, és a frissebben megjelent jegyzetek, cikkek között a termesztéstechnológiában fordul elő, aminek több oka is van. Egyrészt sokat fejlődött a technológia, másrészt a változó klíma hatására és az újabb vizsgálatok, kutatások eredményeire támaszkodva újabb trendek alakultak ki, például a talajelőkészítési munkák tekintetében.

2.1.1 A kukorica (*Zea mays* L.)

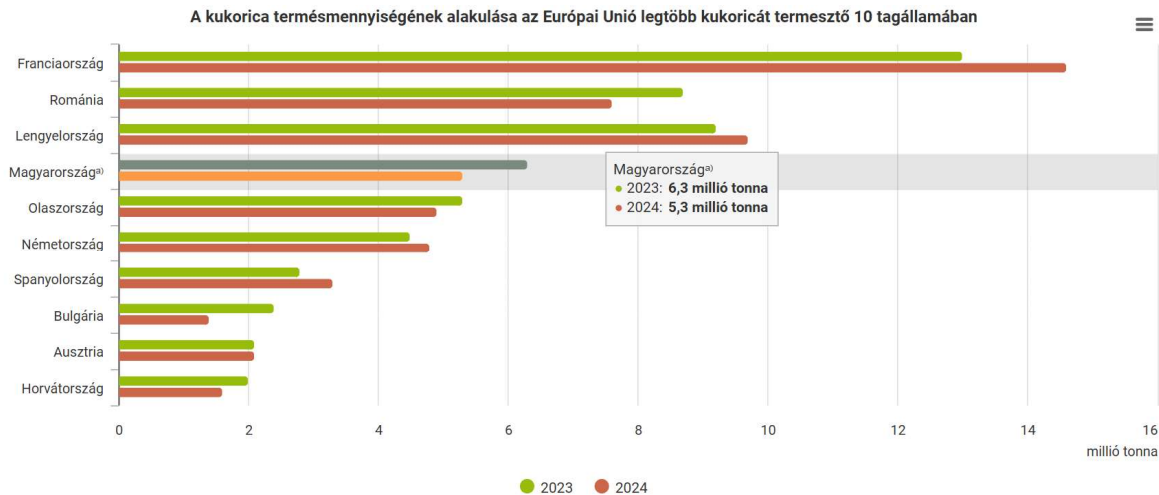
1.1.1.1. A kukorica jelentősége

Felhasználása sokrétű, mind ipari, mind emberi fogyasztásra alkalmas, Magyarországon elsősorban mégis takarmány céljára termesztik. A hazai szemesabrak takarmány 65-70%-át a kukorica fedezi, de háztáji gazdaságokban szálatakarmányként is felhasználják.

Közvetlen emberi fogyasztásra kukoricaliszt, -kása, -pehely, pattogatott kukorica és csemegekukorica (friss fogyasztásra, konzerv-, vagy hűtőipari feldolgozás után) formájában kerül felhasználásra, élelmiszeripari feldolgozás során keményítőt, izocukrot, szeszt és

csíraolajat állítanak elő belőle. Ezen kívül nő az energetikai célú felhasználása is, melynek során bioetanol vagy biogáz előállítására használják.

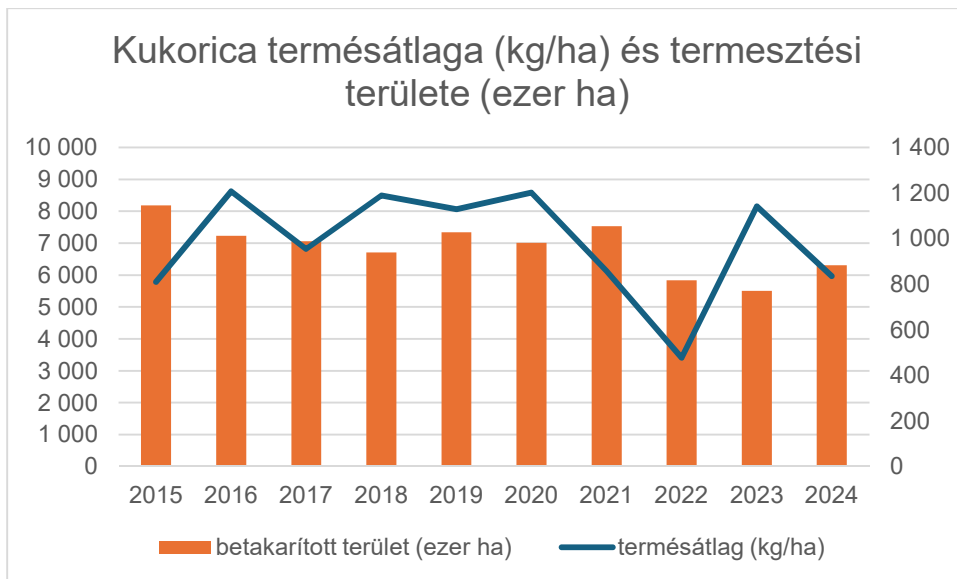
A világon a legnagyobb mennyiségben termesztett szántóföldi növény, Magyarország az EU 27 tagállama közül a 4. legnagyobb kukorica termeszto.



1. ábra A kukorica termésmennyiségének alakulása az EU legtöbb kukoricát termeszto 10 tagállamában. (Forrás: KSH)

Hazánkban, a búza mellett a legfontosabb szántóföldi növény. Fontos hazai export termék. Nagyságrendileg 1 millió hektáron termesztetik kukoricát az országban, bár KSH adatok alapján ez az elmúlt években valamelyest csökkent.

A kukorica termés hozamára jelentős hatással van az időjárás, az aszályra kifejezetten érzékeny. A 2022-es aszályos év jelentős termés kiesést okozott, de 2023-as év csapadékmennyisége elegendő volt a közel 8,2 tonna/ hektár termés hozam eléréséhez, ami 16%-kal magasabb volt, mint az azt megelőző 5 év átlaga. Valószínűleg részben ezen felbuzdulva 2024-ben nagyobb területen vetettek kukoricát, de sajnos a termés átlag 2024-ben 6 tonna/hektárt sem érte el.



2. ábra Kukorica termésátlaga (kg/ha) és termesztési területe (ezer ha) (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok alapján)

1.1.1.2. A kukorica eredete, morfológiája, fotoszintézise, éghajlat igénye, stressztűrése

A kukorica (*Zea mays*) a pázsitfűfélék (*Poaceae*) családjába tartozó, egyéves, egylaki, váltivarú kultúrnövény, amely Dél-Amerikából származik, Európába a XV. században került, Magyarországon a 16. század óta termesztik. Nemzetségén (*Zea*) belül az egyetlen ismert faj.

Gyökérrendszere bojtos, az elsődleges gyökér 2 m-nél is mélyebbre hatolhat, a járulékos gyökerek inkább a talajfelszín közelében helyezkednek el. Szára magas, hengeres alakú, nóduszokkal tagolt, az oldalhajtások ezekből erednek. Nővirágzata a torzsa, ami az oldalhajtásokon fejlődik, porzós virágzata – a címer – a hajtáscsúcs végén helyezkedik el. Idegentermékenyülő növény, amit protandriával biztosít, a beporzás szél által történik. A levelei szálasak, a nóduszokból erednek, így számuk megegyezik a nóduszok számával. Termése szemtermés, a szemek a csövön páros számú sorban helyezkednek el, alakjuk változatos.

A kukorica fotoszintézise, a többi, hazánkban termesztett szántóföldi növényvel szemben C4-es típusú, ami elsősorban a trópusi növényekre jellemző. Ezzel a típusú fotoszintézissel a növények erőteljes napsütésben, nagyjából kétszer annyi szárazanyag előállítására képesek, mint a C3-as fotoszintézissel. Ennek kifejtésével külön fejezetben foglalkozom.

1.1.1.3. Környezetigénye

A kukorica származásából adódóan rövidnappalos, melegigényes növény, a csapadékigénye is jelentős. A nappal hosszúságához a mérsékelt övön alkalmazkodott, így előfordulnak rövid-,

illetve hosszúnappalós populációk is, amiknek különböző a fejlődési üteme és a tenyészideje. A hőmérsékletigény fajtától függ, de nagy általánosságban a csírázáshoz 10-12 °C-ra van szüksége, fejlődéséhez pedig 12-14 °C-ra. Legnagyobb biztonsággal olyan területen termesztendő, ahol a nyári átlaghőmérséklet 21 (24 – ez szakirodalom függő) -26 °C között van. Címerhányástól a teljes érésig 25-35 °C közötti az ideális hőmérséklet számára. A talaj hőmérsékletére keléskor, illetve közvetlenül kelés után a legérzékenyebb. Ha a talajhőmérséklet ilyenkor nem éri el a 15 °C-ot a növények fejlődése leáll, a levelek elsárgulnak.

Mivel gyökérzete mélyre hatoló, 150-200 cm mélységből is képes vizet felvenni, ezért fejlődését az őszi-téli félévben lehullott csapadék mennyisége is befolyásolja.

Csapadékiigénye 450-500 mm a tenyészidő alatt. A vízhiányra címerhányáskor és szemtelítődéskor a legérzékenyebb, ha ilyenkor nem kap elég vizet, az jelentős termés kiesést okoz. Magyarországon ez sajnos a nyári aszályok (július-augusztus) ideje, ami a klímaváltozás miatt az utóbbi években egyre több problémát okoz.

Magyarországon a rövid- és középhosszú tenyészidejű fajták termesztendőek biztonsággal, mivel hazánk északabbra van, mint a klasszikus kukorica termő területek.

Ennek ellenére Magyarországon szinte minden típusú talajon vetnek kukoricát.

(Törös-Barczel, 2025) tanulmányában bemutatta, hogy 2023-ban ugyan a kukorica volt a második legnagyobb területen termesztett növény Magyarországon, és vizsgált növények közül (kukorica, napraforgó, őszi búza és őszi árpa) a legnagyobb termés hozammal rendelkezik, ő a legérzékenyebb a klímaváltozás hatásaira – a vizsgált időszakban (1985-2023) az időjárás függvényében a termés hozam minimum és maximum értéke közötti szórás jelentősen magasabb, mint a többi vizsgált növénynél.

2.1.2 A napraforgó (*Helianthus annuus* L.)

2.1.2.1 A napraforgó jelentősége

A napraforgó ma hazánk legfontosabb olajnövénye. Olaja elsősorban telítetlen zsírsavakat tartalmaz (linolsav, olajsav) valamint zsírokban oldódó vitaminokat (A, E és B).

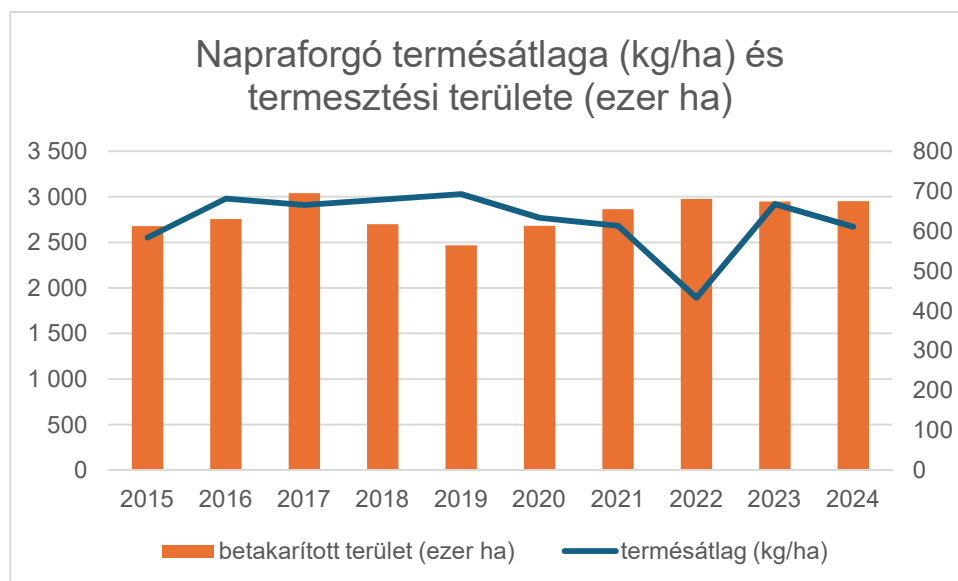
A napraforgó hazai vetésterülete 1990-től, kisebb visszaesésektől eltekintve folyamatosan növekszik. 1990-ben 347 000 hektáron termesztették, az elmúlt 10 évben már 6-700 ezer hektár közötti volt a vetésterülete.

Felhasználása jelentős részben élelmiszeripari célú, elsősorban étolaj és margarin készül belőle. Közvetlen emberi fogyasztása hántolt és piritott napraforgómag formájában nem

számottevő. Ezeken kívül méz formájában is találkozhatunk vele. Az élelmiszeripari felhasználás melléktermékeként keletkező olajpogácsát takarmányként hasznosítják. Az emberi fogyasztáson túl felhasználja a kozmetika-, a szappan-, és a festékipar is. Nő az energiaipari célú felhasználása is mint biodízel alapanyag, valamint a kaszat és szármadaradványok elégetésével hőenergiaként.

A növénytermesztésben zöldtrágya növényként is használják.

A napraforgó termésátlagán is erősen látszik, hogy a 2022-es aszályt nehezen viselte, azonban az ő esetében kisebb a különbség a 2023 és 2024-es évek között.



3. ábra Napraforgó termésátlaga (kg/ha) és termesztési területe (ezer ha) (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok alapján)

2.1.2.2 A napraforgó biológiai jellemzői, fotoszintézise

A napraforgó (*Helianthus annuus*) a fészkesvirágzatúak (Asterales) rendjébe, a fészkesek (Asteraceae) családjába tartozó egyéves növény, amely Észak-Amerikából származik. Európába a XVI. században került, Magyarországon a XIX. században terjedt el, de eleinte csak dísz-, illetve szegélynövényként tartották számon. Napjainkra a legjelentősebb olajnövényé vált. Gyökérzete jól fejlett, főgyökere mélyre hatol és dúsán elágazik, oldalgyökerei (esőgyökerek) pedig 60-70 cm mélységig átszövik a talajt. A gyökérzet fejlődése a tenyészidő alatt folyamatos, segítségével jó a víz-, és tápanyagfeltáró és hasznosító képessége. Jól tűri a szárazságot, de kiszárítja és kiszorolja a talajt. A napjainkban termesztett fajták szára el nem ágazó, dudvás szár, amely a tenyészidő végére elfásodik. Levelai nagy méretűek, serteszőrökkel borítottak, szív alakúak. Szórt állásban helyezkednek el, ezáltal jól árnyékolják a talajt. A fészkesvirágzatban a tányéron a hímnős csöves virágok szabályos, körkörös spirálban -; a sárga színű nyelvs virágok pedig a virágzat szélén helyezkednek el. A

porzók előbb érnek, mint a bibe. Kölcsönös beporzással, rovarok útján történik a megtermékenyítés. A fészektányér peremén pikkelylevelek találhatóak. Termése kaszattermés, melynek színe, mérete és olajtartalma fajtánként változik. A magvak olajtartalma 30-40%, illetve a nagy olajtartalmúaké 45-50%.

A napraforgó, mint a legtöbb, a Föld északi féltekéjéről származó növény, C3-as típusú fotoszintézissel hasznosítja a Napból származó energiát.

2.1.2.3 Környezetigénye

Hasznosítás szerint megkülönböztetünk nagy olajtartalmú, kisebb olajtartalmú és vegyes hasznú fajtákat, ezek környezetigénye némileg eltér egymástól. Általánosságban elmondható, hogy a nagy olajtartalmú, intenzívebb fajták érzékenyebbek a környezetre, igényesebbek a talajra. Ennél részletesebben, ahogy a kukorica esetében sem tettem, nem foglalkozom a fajták közötti különbségekkel.

A napraforgó kifejezetten meleg és fényigényes növény. Hasznos hőösszegigénye a Növénytermesztés tan 2. tantárgy órai anyaga alapján 1900-2500°C, azonban Sárközy & Seléndy (1994) könyve szerint 2900-3000°C. Ugyancsak e szerint a könyv szerint a tenyészidőszak alatt összesen 1100-1400 napfényes órára van szüksége a növénynek. Abban minden szakirodalom egyetért, hogy ahol a kukorica (a középkorai érésű, illetve 400-as FAO számú) jól érzi magát, ott a napraforgó is biztonsággal megterem.

Vízigénye, a fejlődés különböző szakaszaiban eltérő. A fejlődés kezdetén igényli a legkevesebbet, majd később, a virágzat kialakulása idején a legtöbbet (nagyjából a teljes vízigény felét), valamint a kaszat növekedéskor, olaj képződésekor is nagyobb mennyiségű vízre van szüksége. Ha ezekben az időszakokban nem jut elég vízhez a növény, a termés olajtartalma alacsonyabb lesz. A Növénytermesztés tan 2. tantárgy órai anyaga 500-550 mm vízigényt határoz meg a teljes tenyészidőre, amíg Sárközy & Seléndy (1994) könyve csak 200-300 mm-t, valamint azt írja, hogy ha a virágzás előtt közvetlenül nagyobb mennyiségű csapadék kap a növény, utána már jól tűri a szárazságot, de a többi szakirodalom ezt nem támasztja alá.

A talajra a napraforgó nem kifejezetten igényes, a szélsőséges talajok kivételével minden típusú talajhoz jól alkalmazkodik, de mint minden növényről, róla is elmondható, hogy jobb talajokon jobb termést hoz. A közép-kötött talajok a legmegfelelőbbek számára, a savanyú talajokon nő a betegségekkel szembeni fogékonysága.

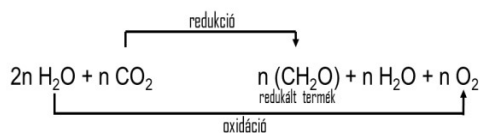
2.2 A fotoszintézis

A fotoszintézisnek azt a folyamatot nevezzük, mellyel a fotoautotróf szervezetek energiát kötnek meg. A folyamat során kis energiatartalmú szerves vegyületekből (CO₂ és H₂O), a Nap fényenergiájának felhasználásával, nagyobb energiatartalmú, szerves vegyületeket szintetizálnak és melléktermékként O₂ termelődik. Az általuk létrehozott szerves vegyületek biztosítják a heterotróf szervezetek számára az energiát (táplálékot), az O₂ pedig a légköri O₂ tartalmát, ezáltal a fotoszintézis a földi élet alapjának tekinthető. A különböző környezeti stresszhatások megzavarhatják a fotoszintézis folyamatát, ezzel csökkentve a növényi produktivitást és a mezőgazdasági hozamot. Jelen dolgozatban a szántóföldi növényekre összpontosítva röviden összefoglalom a folyamatot, és egyes elemeit a magasabb rendű növényekben, mivel ez fontos az eredmények megfelelő értékeléséhez.

2.2.1 A fotoszintézis folyamata

A fotoszintézis során a növények nagy mennyiségű szén-dioxidot kötnek meg szerves szén (szénhidrátok) formájában és közben oxigén szabadul fel.

A fotoszintézis egy redox reakció, melyben (magasabb rendű növények esetében) a víz az elektrondonor, a szén-dioxid az elektron akceptor, a reakcióhoz szükséges energiát a Naptól származó fény biztosítja. Ennek alapján a fotoszintézis folyamata az alábbi egyenlettel írható le:



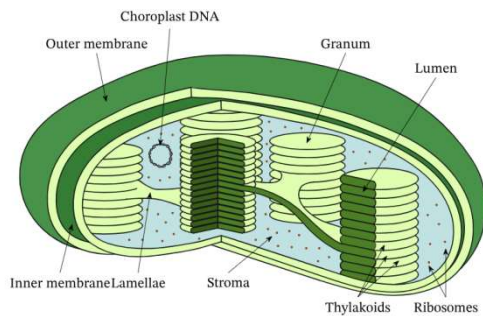
4. ábra- Fehér Attila Sándor által szerkesztett: A növények élete (2019)

A fotoszintézist három szakaszra oszthatjuk:

1. **Gázcsere:** CO₂ felvétele és O₂ leadása (diffúzióval).
2. **Fényszakasz:** Itt zajlanak a fotokémiai reakciók, melyek során a vízből O₂ keletkezik, ATP és NADPH termelődik.
3. **Szénredukciós szakasz:** A Calvin-ciklusban a CO₂ szénhidráttá alakul az előző szakaszban keletkezett energia felhasználásával.

A fotoszintézis folyamata a kloroplasztiszban zajlik. A kloroplasztiszok a növényi sejtek szemiautonóm organelleim, amelyek önálló DNS-sel rendelkeznek és a sejten belül önállóan

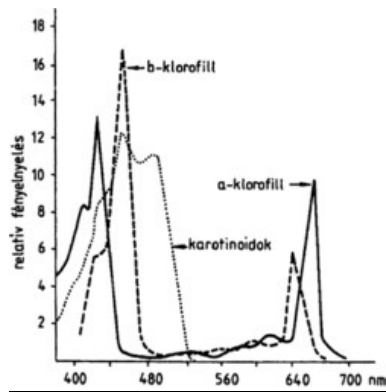
szaporodni képesek. Zárva termők esetében anyai öröklődésűek, tehát a petesejt proplasztiszából alakulnak ki. A kloroplasztisz kettős, külső-, és gazdag belső membránréteggel rendelkezik, amit tilakoidmembránnak neveznek. A kloroplasztisz belsejét a sztróma (a kloroplasztisz alapállománya) tölti ki, amiben keményítőszemcsék, és plasztoglobulusok találhatóak. A tilakoidmembrán gránum-, és sztrómatilakoidokat alkot. A gránumok belsejében kialakuló üregrendszert lumen-nek nevezzük.



5. ábra - A kloroplasztisz felépítése (nagawa.com, dátum nélkül.)

A tilakoidmembránban lévő lokalizált fehérjékhez kötődnek a fotoszintetikus pigmentek, amik a fény spektrum egyes szakaszainak abszorpciójáért felelősek. Ezek a fotoszintetikus pigmentek magasabb rendű növényekben elsősorban a klorofill *a* és *b* valamint a karotinoidok. A pigment molekulák váza konjugált kettős kötéseket tartalmaz melynek π elektronpárjai delokalizált elektronfelhőt hoznak létre, ennek köszönhető a fény általi gerjeszthetőség. A klorofillok porfirinvázis vegyületek, a centrumban egy Mg^{2+} ion található, a különbséget az oldalláncokat alkotó metil-, illetve formil csoport jelenti, ennek köszönhetően különböző az abszorpciós spektrumuk. A karotinoidok izoprénvázis vegyületek. Magasabb rendű növényekben kétféle karotinoid - karotinok és xantofilkok találhatóak.

A klorofilloknak két abszorpciós maximuma van, egy a vörös és egy a kék tartományban, azonban, mint említettem klorofill *a* és *b* spektruma nem fedi egymást. A karotinoidok ezzel szemben csak a kék tartományban abszorbeálnak, szerepük a kék fény energiájának továbbítása a klorofillok felé, valamint védelmi funkciót is ellátnak.



6. ábra A magasabb rendű növények fotoszintetikus pigmentjeinek abszorpciós spektruma szerves oldószerekben - (Pethő, 2003)

A fény elnyelésekor a pigmentek elektronjai fotonnal való ütközés hatására gerjesztett állapotba kerülnek. Ahhoz, hogy a molekula visszakerüljön alap állapotba az energia távozhat hőként, vagy fényként – ezt nevezzük fluoreszcenciának, de fotoszintézis szempontjából csak akkor hasznosul, ha:

- átkerül egy másik pigmentre,
- vagy az elektron egy akceptorra kerül.

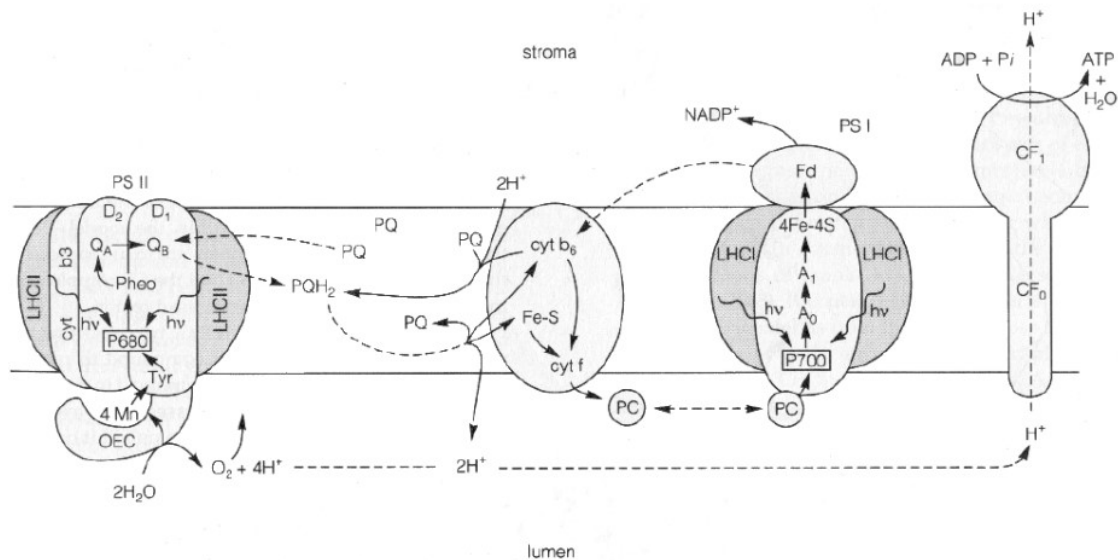
A fényszakasz fotokémiai reakciói fotokémiai rendszerekben (Photosystem – PS I. és PS II.) zajlanak, amiket az energiacsapdaként működő reakciócentrumokba tömörült klorofill *a* molekulákból és az őket körülvevő járulékos pigmentekből, és fehérjékből álló antennák alkotnak.

A különböző hullámhosszúságú fény begyűjtésére alkalmas pigment molekulák fénygyűjtő komplexekbe (light harvesting complex – LHC) tömörülnek. Ezeknek a komplexeknek (LHC I. és LHC II.) a szerepe a fényenergia koncentrálása, és továbbítása a reakció centrumokba.

PS I. fotokémiai rendszer reakciócentruma P₇₀₀-as klorofilokból áll, ehhez kapcsolódik LHC I. fénygyűjtő komplex – ez a fotokémiai rendszer nem fluoreszkál; PS II. fotokémiai rendszer reakciócentrumát P₆₈₀-as klorofill komplex alkotja, fénygyűjtő komplexe az LHC II. – ez a fotokémiai rendszer erős fluoreszcenciát mutat (Tuba & Csintalan, 2009). A két fotokémiai rendszert a fotoszintetikus elektrontranszportlánc köti össze, aminek során biokémiai redox folyamatok mennek végbe. PS II.-ben történik a vízbontás, ami oxigén felszabadulással jár, és elindítja az elektrontranszportot. Az abszorbeált fényenergia a töltésszétválasztás során kémiai energiává alakul, ATP és NADPH képződik, ami a CO₂ megkötése és a szénhidrát-redukció során a sötét-szakaszban kerül felhasználásra.

PS I. fotokémiai rendszerben működik egy ciklikus elektrontranszportlánc is, amit fotofoszforilálásnak nevezünk. Ebben a folyamatban csak ATP képződik.

Ha valamilyen okból CO₂ felvétel gátolt (például stressz hatására a sztómák bezáródnak), sérül a rendszer, mivel a fényenergia nem tud a normál fotoszintézis úton hasznosulni.



7. ábra- Az elektrontranszportlánc főbb elemei - (Tuba & Csintalan, 2009)

A CO₂ megkötése egy körfolyamatban zajlik, amit felfedezője után Calvin-ciklusnak neveznek. Itt van eltérés a C₃ és a C₄-es fotoszintézis út között. C₃-as növényeknél a CO₂ elsődleges akceptora ribulóz-1,5-difoszfát (RuDP) és 3 C atomos egységek (foszfo-glicerinsav) jönnek létre a folyamat során, míg C₄-es növényeknél az akceptor szerepét foszfo-enol-piroszőlősav tölti be és oxálecetsav képződik, ami egy 4 C atomos vegyület. Innen ered a két különböző fotoszintézis út elnevezése.

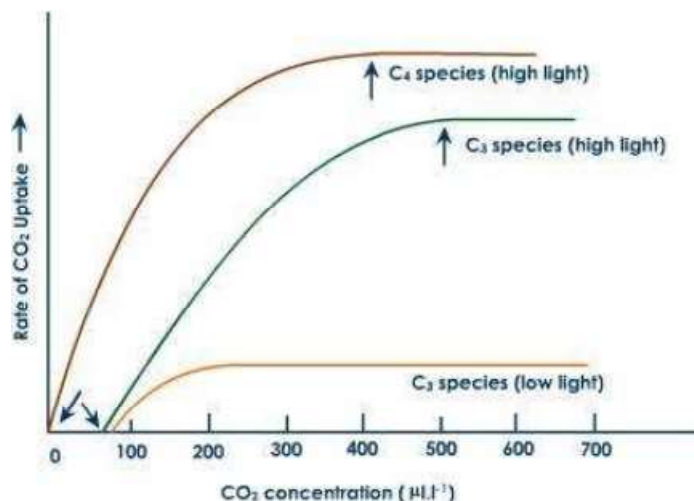
2.2.2 A C₃-as és C₄-es típusú fotoszintézis összehasonlítása

C₄-es fotoszintézis-út elsősorban trópusi növényekre jellemző, és csak zárvatermőkben fordul elő. Magas fényintenzitáson jelentősen hatékonyabb, mint a C₃-as fotoszintézis. A fotoszintetikus szénhidrát szintézis mindkét esetben a Calvin-ciklusban történik, a C₄-es növényeknél azonban megelőzi ezt egy folyamat, ami folyamatosan elégséges CO₂-t biztosít a Calvin-ciklus RubisCO-ja számára, ezzel kiküszöbölve a fotorespirációt.

Ennek megvalósításához szükséges a levelek speciális felépítése, az úgynevezett Kranz-anatómia, aminek lényege, hogy kétféle mezofillum-sejttípus található a levelekben: a normál mezofillum sejtek veszik fel a CO₂-t a légkörből, és PEP-karboxiláz enzim segítségével rögzítik azt négy szénatomos savak (pl. oxálcetsav) formájában, míg a Calvin- ciklus csak az edénnyalábok körül koszorú-szerűen elhelyezkedő nyalábhüvely sejtekben működik, a mezofillum sejtekben nem, így a CO₂ megkötési helye, és a szénredukáló(Calvin-) ciklus térben elkülönül egymástól.

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

8. ábra A C₃-as és C₄-es növények néhány fiziológiai mutatójának összehasonlítása (Pethő, 2002)



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

(Noel, 2016)

Mivel a C3 és C4 fotoszintézis úttal rendelkező növények különböző éghajlati viszonyok között fejlődtek ki, ezért optimális növekedésükhöz eltérő környezeti feltételekre van szükségük. Általában a C4 fajokat meleg és száraz éghajlati régiók növényeiként ismerik, míg a C3 fajok mérsékelt éghajlati eredetűek. Ennek megfelelően azt várnánk, hogy a C4 fajok jobban alkalmazkodnak a szárazsághoz, mint a C3 fajok. A C4 növények nemcsak magasabb fotoszintetikus hatékonysággal és CO₂-megkötési rátával rendelkeznek, hanem magasabb vízfelhasználási hatékonysággal (WUE) és transzpirációs aránnyal is, ami előnyt jelent a C3-as fajokkal szemben. Emellett azonban a C4-es növények érzékenyebbek a talaj víztartalmára a CO₂ asszimilációt illetően. (Tahmasebi & Niazi, 2021)

Labor kísérlettel bizonyították, hogy gyors dehidratáció esetén az asszimiláció meredekebben csökken a C4-es kukorica és cirok esetében, mint a C3-as búza és napraforgó esetében. (Bellasio, et al., 2023)

2.2.3 Fluoreszcencia

A fluoreszcencia mérése egyszerű, roncsolásmentes, olcsó és gyors opció a fotoszintetikus reakciók elemzésére és a klorofill tartalom becslésére. (Kalaji, et al., 2016)

A fotoszintetikus pigmentek által megkötött energia egy része nem hasznosul kémiai energiává, hanem hő- vagy fényenergia formájában távozik a növényből. Ezt nevezzük fluoreszcenciának. A jelenség a klorofill-*a* típusú molekulára jellemző, ami vörös tartományú (650-850 nm) fényt bocsát ki magából. Amennyiben a fotoszintetikus CO₂ felvétel valamilyen okból csökken, a megkötött fényenergiát más módon adja le a növény, ekkor nő a fluoreszcencia mértéke. A klorofill fluoreszcencia mérésének segítségével értékelhetők a PSII fotokémiai rendszer lineáris elektronáramlás és a CO₂-asszimiláció változásai (Kinal, 2023) valamint a mérések közvetlenül vagy közvetve kapcsolódnak a fényfüggő fotoszintetikus reakciók minden szakaszához, beleértve a víz fotolízist, az elektronok transzportját, a pH-gradiens kialakulását a tilakoidmembránon, valamint az ATP-szintézist, és ezáltal képet adnak a fotoszintetikus mechanizmus általános bioenergetikai állapotáról. (Kalaji, et al., 2016)

2.3 A növényi stressz

2.3.1 A stressz fogalma, alapjelenségei

A stresszt- mint fogalmat – Selye János magyar származású kutató használta először élőlényekre, az ő megfogalmazása szerint: a stressz a szervezet túlterhelt, túlerőltetett állapota, a szervezet aspecifikus reakciója mindenfajta megterheléssel szemben, míg a

szervezet állapotának megváltozását okozó extrém környezeti tényezőket stresszornak, stressztényezőnek nevezi (1973). Egy másik megfogalmazás szerint a stressz a szervezet számára potenciálisan előnytelen, kedvezőtlen környezeti tényező (Levitt, 1980).

A növényi stressz definíciója szerint (Szigeti, 2018) az a fiziológiai állapot, amelyben a növények növekedése, fejlődése és szaporodása az optimális alkalmazkodás tartományán kívül, a fokozott környezeti terhelés miatt a genomban meghatározott lehetőségek alatt marad. A növényeket számos stresszhatás éri, amelyek a klímaváltozással csak egyre fokozódnak. Ezek a hatások lehetnek biotikus (másik élőlénytől származó, például gombák, baktériumok, vírusok, rovarok, egyéb élősködők) vagy abiotikus (az élettelen környezetből származó) eredetűek. Dolgozatomban az abiotikus stresszel, és ahhoz kapcsolódó vizsgálatokkal foglalkozom.

2.3.2 Stresszválaszok

Alapvetően a stresszre kétféle válaszreakció lehetséges:

- 1) A hatás eltűrésének, toleranciának tekinthetjük azt, hogy bizonyos éghajlathoz, és az ezzel járó környezeti tényezőköz már adaptálódott növények jól tudnak védekezni a (más növények számára) kedvezőtlen környezeti hatások ellen, például a szárazság ellen vastag viaszréteggel, vagy a pozsgások a szövedeikben tárolt nagy mennyiségű vízzel – ezt akklimatizációnak nevezzük, ez határozza meg az adott növény éghajlat igényét, amit mezőgazdasági termesztés esetén érdemes figyelembe venni.
- 2) A hatás kikerülése is az akklimatizáció eredménye, ilyen például mérsékelt égövön a lombhullatás, illetve évelőknél a nyári hőség vagy a téli fagy kikerülése a mag vagy tarack, rizóma (valamilyen kitartóképlet) formájában való túlélés.

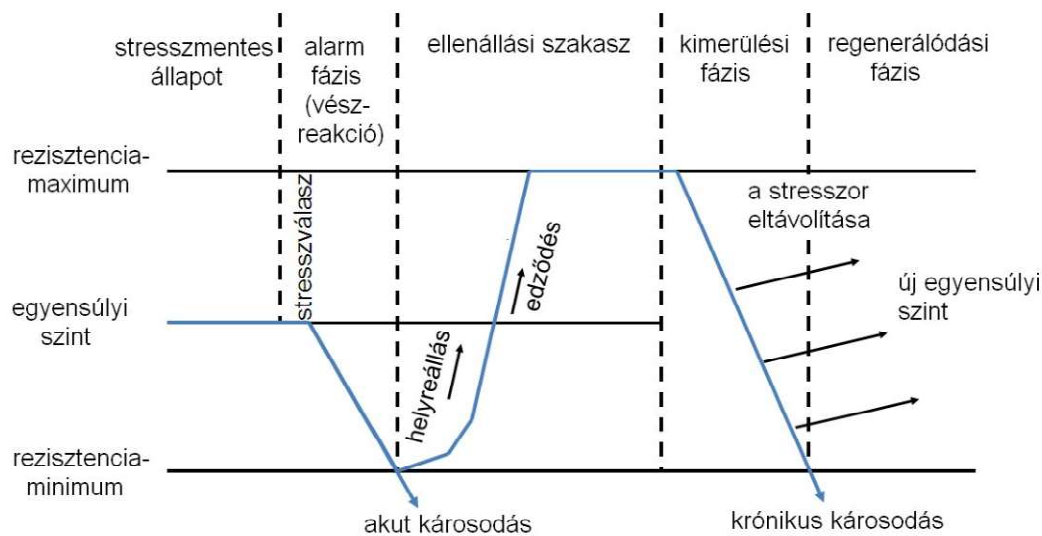
Vannak azonban olyan esetek, amikor az adott éghajlaton szokásostól eltérő környezeti viszonyok alakulnak ki.

Ilyen helyzetekben az első lépés az érzékelés. A receptor funkciókat proteinkinázok egy csoportja látja el. Az érzékelés indítja be a szignáltranszdukciós folyamatokat, amik magukba foglalják a környezetből érkező ingerérzékelésétől kezdve, az általa kiváltott anyagcsere változásig a teljes folyamatot.

Az érzékelést receptorfehérjék látják el, majd másodlagos jel átvivők továbbítják a sejt/növény meghatározott részei felé. A jel átvivők általában nem protein jellegű molekulák, például reaktív oxigén formák (ROS), Ca^{2+} vagy inozitol foszfátok.

Ezek hatására a növény vészreakciót ad, aminek hatására a felépítő folyamatok lassulnak, a növény vitalitása csökken.

A következő fázis az ellenállás fázisa, amit edződésnek is nevezhetünk. Ilyenkor a növény életműködése a védekezés és alkalmazkodás hatására helyreáll, vagy még erőteljesebb is lehet, mint normál helyzetben. Azonban, ha a stressz hatás ebben a fázisban sem szűnik meg, beáll a kimerülés fázisa, és a növény állapota romlani kezd. Attól függően, hogy a stresszhatás melyik szakaszban szűnik meg, változó mértékben képes regenerálódni a növény.



10. ábra A stressz- szindróma. (Bratek, et al., 2013)

2.3.3 A vizsgált stressz hatásokra adott általános reakciók

A leggyakoribb és a klímaváltozással egyre fokozódó stresszhatás a hőmérséklet növekedése és a vízhiány (aszály). A két hatás gyakran együtt jelentkezik, de az anyagcsere folyamatokra gyakorolt negatív hatásuk külön-külön is jelentős.

2.3.3.1 Szárazságstressz

Szárazságstresszt nemcsak a csapadék, illetve öntözővíz hiánya okozhat, hanem a megnövekedett sótartalom (pl.: szikes területeken, vagy sózás eredményeképpen), vagy az alacsony talajhőmérséklet, ami miatt a növény nem tudja felvenni a benne található vizet. Ezt a stresszhatást ezért ozmotikus stressznek is nevezik. A vízhiány hatására csökken a sejtek víztartalma, ezáltal ozmotikus és hormonális reakciók indulnak be a növényben. A szárazság elleni reakciók egyik legfontosabb hormonja az abszcizinsav, ami a gázcsere nyílások működésének szabályozásában vesz részt, csökkentve a zárósejtek oldott anyagainak

koncentrációját, ezzel vízleadást és turgor csökkenést idéz elő, ami sztómazáródáshoz vezet (Tuba & Csintalan, 2009). Ez eleinte a transpirációt jobban gátolja, mint a CO₂ felvételt, de az idő előre haladtával mindkettő jelentősen csökken, ezáltal a kloroplasztiszon belüli anyagcserét is gátolva. Ezzel, valamint a Hill-reakció intenzitásának csökkentésével a vízhiány erősen csökkenti a növény fotoszintetikus aktivitását.

Hussain, et al.(2018) a szárazság stressz napraforgóra gyakorolt hatását vizsgáló tanulmányukban megállapították, hogy ugyan a napraforgó közepesen szárazságtűrő növénynek minősül, az elhúzódó vízhiány negatívan befolyásolja az állomány növekedését, a termés hozamot és a termés olajtartalmát is.

Tóth (2001) a vízhiány és a nitrogénhiány hatását vizsgálta a kukorica levélnövekedésére és a fotoszintézis aktivitására. Azt állapította meg, hogy mindkét stresszhatás negatívan befolyásolta a levelek növekedését, valamint a CO₂ asszimiláció fényfüggését. Eredményei alapján a fotoszintézis ráta csökkenésének vízhiány esetén sztomatikus okai vannak.

2.3.3.2 Magas hőmérsékleti stressz

A magas hőmérsékletre a kloroplasztiszonok tilakoid membránrendszere kifejezetten érzékeny, mivel magas hőmérséklet hatására megváltozik a növények lipidmembránjának a halmazállapota (fluiditása), ezzel befolyásolva a membránhoz kötött fiziológiai folyamatokat (pl.: anyagfelvétel, fotoszintetikus és mitokondriális elektron transzport), ezáltal csökken, majd később megszűnik a fotoszintézis. Először a PS II gátlódik, ezt követi a széndioxid-fixáció gátlása. (Bratek, et al., 2013) A hőhatás kivédésére a leghatékonyabban specifikus hősokkproteinek (HSP) transzkripciójával és transzlációjával tud reagálni a növény, amihez a szokásos proteinek szintézisét csökkentenie kell. A hősokk fehérjék megvédik a fehérjéket a denaturálódástól és megakadályozzák a fehérje aggregátumok képződését, amit a hőstressz okozhatna.

Akladious (2013) vizsgálatainak az eredményei azt mutatták, hogy a hőmérsékleti stressznek kitett napraforgó növények növekedési paraméterei, klorofillszintje, a levelek relatív víztartalma, a termés olajtartalma, levél tápanyagállapota és nitrátreduktáz aktivitása jelentősen csökkent.

Carter et al.(2016) vizsgálatuk során elkülönítették a vízhiánystresszt a hőstressztől, és arra jutottak, hogy a magas hőmérséklet önmagában (öntözött területen) nem okoz különösebb károsodást a kukoricában, csak akkor, ha vízhiánnyal párosul.

3. Anyag és módszer

3.1 Növény nevelés

A laboratóriumi vizsgálatokra a MATE, Szent István Campus, Növénytermesztési-tudományok Intézet, Növényélettan és Növényökológia Tanszékhez tartozó laborban, Gödöllőn került sor.

A kísérlet során 24 kukorica, 19 napraforgó növényt neveltünk, és vizsgáltunk.

A növények csíráztatása csíráztató tálcában történt, egy hét után kerültek át a növények tápoldattal megtöltött üveg edényekbe. Az edényeket az algásodás elkerülése érdekében alufóliával tekertük körbe, fedőként egy három lyukú műanyag elem szolgál, amin az egyik lyukban a növény van, a másik kettő a gázcserét szolgálja. A növények szárát szivaccsal tekertük körbe, a megfelelő tartás érdekében. A növénynevelőben egyenletes megvilágítást (napi 12 óra megvilágítás) és optimális hőmérsékletet (22-25 °C), valamint páratartalmat (~70%) biztosítottunk a növényeknek, hogy a kísérlet tárgyát képező stressz hatásokon kívül más ne befolyásolja a növekedésüket.

Már a nevelés során tápanyaghiány stresszt állítottunk be a Nitrogén-hiány – mint legjellemzőbb makroelem-hiány – megfigyelésére, így Full és N10 (10%-os Nitrogéntartalom) jelöléssel ellátott Hoagland-féle tápoldatot készítettünk, aminek előállításához ioncserélt vizet használtunk, hogy egyéb anyagok ne kerülhessenek az oldatba. A tápoldatot 5 literes lombikokban készítettük, és hetente cseréltük a növényeken, úgy, hogy mindig a teljes gyökérzetet elfedje, így biztosítva volt a megfelelő tápanyag ellátás.

Full – teljes tápoldat (N koncentráció= 224 ppm)

N10 – nitrogénhiány (N koncentráció= 22 ppm)



11. ábra– Napraforgó növények a növénynevelőben – saját fotó

12. ábra – Kukorica növények a növénynevelőben – saját fotó

A növények az optimális körülményeknek köszönhetően gyorsan növekedtek, gyökereik és levélzetük erőteljes, és nagyjából egyforma méretű volt, a tápanyag hiánynak nem voltak látványos tünetei, azonban a napraforgón sajnos megjelent gyökérrothadás, ezért a vizsgálatokat egy héttel korábban kezdtük meg a tervezettnél.

Az első mérésekre a növények 4 hetes korában kerültek sor, a mérések után állítottuk be a növények egy részénél a szárazság-stresszt polietilén-glikol (PEG) segítségével. A PEG úgy „utánozza” a száraz talajt, hogy hatására megváltozik a víz (vagy tápanyag oldat) ozmotikus potenciálja, a növény nem tudja felvenni a PEG molekulákat, nem jut be az apoplastba, így a víz kifelé áramlik a sejtéből és a sejtfalából (van den Berg & Zeng, 2005). Ezen kívül előkészítettük a hő-stressz vizsgálathoz a klíma kamrát.

Egy héttel később, stressz hatás után, 5 hetes korban megismételtük a méréseket, majd szárítókamrába kerültek a növények – szárított tömeg mérés érdekében.

A vizsgálatok egy nagyobb kísérlet részét képezték, ezért a statisztikákat a fentebb leírtaktól eltérő számú növényre készítettem.

3.2 A vizsgálatok leírása

3.2.1 Reflektancia mérések

A reflektancia mérésére Qmini spektrométert (RGB Photonics, Németország) használtunk. A mérések előtt, referenciaként egy teljesen sötét (zaj) spektrumot és egy fehér lapról visszaverődő fehér spektrumot vettünk fel, majd 250-1050 nm-es tartományban, 0,3 nm-es felbontásban történt a levelek vizsgálata. A mintákat 40 cm távolságból, egy speciális fényforrással (ASD Illuminator Reflectance Lamp, Malvern Panalytical, USA) világítottuk meg. A méréseket már kifejlett, a hajtás felső részén található leveleken végeztük, a mérést minden növényen a negyedik és az ötödik héten is elvégeztük. A mért spektrumokat a Waves nevű programmal már a vizsgálat közben figyelemmel tudtuk kísérni.

3.2.2 Fluoreszcencia mérések

A fluoreszcencia méréséhez FMS-2 (Hansatech, Németország) fluorométert használtunk. A méréshez szükséges a levelek 15-20 percig tartó sötét adaptációja - ennyi idő alatt oxidálódnak a reakció centrumok, és leáll a fluoreszcencia - majd kis intenzitású, modulált fényvel megvilágítva rövid időn belül (30-40 milliomod másodperc) megkapjuk a fluoreszcencia lokális maximum értékét, ezt nevezzük alapfluoreszcenciának (F_0). A

maximális fluoreszcencia (F_m) értéknek nevezzük, azt az értéket, amit folyamatos megvilágítás hatására, a PS II. elektrontraszport telítődésekor kapunk. F_m és F_0 különbségéből kapjuk meg a változó fluoreszcencia (F_v) értéket, aminek segítségével (F_v / F_m) meghatározhatjuk PS II. maximális kvantum hatásfokát. A mérések során a megvilágítást az F_s érték (steady-state fluoreszcencia) eléréséig folytattuk (3 perc), mivel a terepen mért nap indukálta fluoreszcenciával (SIF) ez hasonlítható össze. A méréseket ebben az esetben is a negyedik és az ötödik héten végeztünk, ügyelve arra, hogy ugyanazt a levelet mérjük be, mint a reflektancia mérések esetében.

A kapott értékekből kiszámolható a vitalitási index (R_{Fd}), amit a fluoreszcencia csökkenésének értéke ($F_d = F_m - F_s$) és a Steady-state érték (F_s) hányadosa ad meg. Tehát $R_{Fd} = F_d / F_s$ (Lichtenthaler, et al., 2005)

Az NPQ – nem-fotokémia kioltás – érték az alábbi módon számolható ki: $NPQ = (F_m - F_m') / F_m'$ (Solti, 2013)

3.2.3 Transzspiráció mérések

A transzspiráció méréséhez CIRAS-2 (PPSystem Egyesült Királyság) infravörös gázanalizátort használtunk. A mérések során a növények vízveszteségéről kaptunk eredményt. A mérést ebben az esetben is a kifejlett leveleken végeztük, a gázanalizátor lámpájával megvilágítva, azonos hőmérsékleti és fényintenzitási beállításokkal.

3.2.4 Vegetációs indexek

Többféle vegetációs index létezik, mindegyiket valamilyen speciális állapot, vagy probléma felmérésére fejlesztették ki. Vizsgálatukhoz általában speciális szenzorral ellátott kamerára (multi- vagy hiperspektrális) van szükség, amivel felvétel készül a növényzetről (akár távérzékeléssel), és láthatóvá teszi az emberi szem számára nem érzékelhető fény spektrumok elnyelődését és visszaverődését (Gila-Rác, 2023). Jelen kutatásban a reflektancia mérésekhez Qmini spektrométert (RGB Photonics, Németország) használtunk.

Az alább felsorolt indexeket alkalmaztuk az adatelemzéshez:

1. A legismertebb ilyen index az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), aminek alapja, hogy a növények elnyelik a látható fénytartományból (400–700 nm), illetve azon belül is főleg a vörös fényből (600–600 nm) származó sugarakat, de az infravörös sugárzást (700–1100 nm) visszaverik. Stressz hatására a növények klorofill molekuláinak aktivitása csökken, és megnő az infravörös fény reflektanciája, így az

index alapján következtetni lehet a növények klorofill tartalmára és ebből a fotoszintetikus aktivitásra.

Az NDVI képlete: $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$ (Gila-Rácz, 2023)

2. Az NDVI₇₀₅ (más néven mNDVI -**M**odified red edge **N**ormalized **D**ifference **V**egetation **I**ndex) a hagyományos NDVI enyhe módosítása, az NDVI-tól eltérően a klorofill abszorpciós jellemző szélén (pl. 705 nm) egy szűkebb hullámhossz-sávot vesz figyelembe, a középső helyett. (Evangelides & Nobajas, 2020)
3. Az NDRE (Normalized Difference Red Edge) a szélső vörös spektrum indexe. Ezen a sávon ugrásszerűen nő a növények reflektanciája, így jó mutatója a klorofill összetételben történő változásoknak.

NDRE= $(NIR-RE)/(NIR+RE)$ (Gila-Rácz, 2023)

4. A PRI (**P**hotochemical **R**eflectance **I**ndex) a zöld fényvisszaverődés „púpja” (550 nm) mindkét oldalán méri a relatív fényvisszaverődést, és összehasonlítja a spektrum kék (klorofill és karotinoidok abszorpciója) tartományában mért fényvisszaverődést a vörös (csak klorofill abszorpciója) tartományban mért fényvisszaverődéssel. (Garbulsky, et al., 2011)
5. A PSRI (Plant Senescing Reflectance Index) a klorofill:karotinoid arányt mutatja a $(R_{678}-R_{500})/R_{750}$ tartományban, ami a levélöregedés és a gyümölcs érése mérésére használható (Merzlyak, et al., 2002)

3.3 Adatfeldolgozás módszerei

A különböző műszerekből kapott különböző formátumú adatokat MS Excel programba importáltuk csv formátumba majd xlsx. formátumban mentettük. Az adatok elemzése is az Excelben történt egy- és kéttényezős varianciaanalízisek használatával, és az azok eredményét ábrázoló diagrammok segítségével.

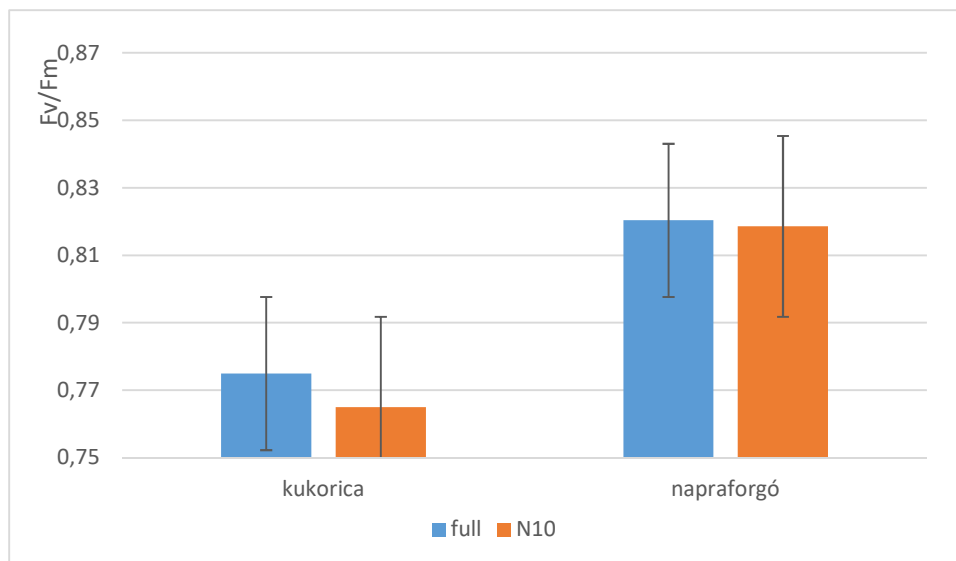
4 Eredmények és értékelésük

Az eredmények értékelésénél az alacsony mennyiségű mintadarab miatt a kétféle (vízhiány, illetve vízhiány és magas hőmérséklet) stresszel kezelt növényeket egy kategóriaként (stressz +) kezeltük. Az egy-, és kéttényezős varianciaanalízis táblázatok a mellékletekben találhatóak.

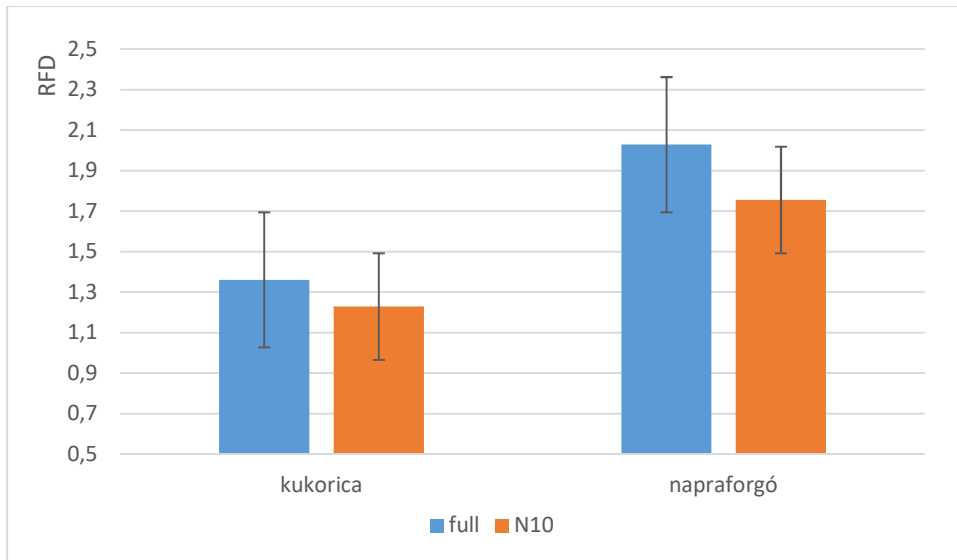
4.1 Fluoreszcencia mérések

A 13. és 14. ábrákon kizárólag a nitrogén hiány hatását vizsgáltam az F_v/F_m és R_{fd} értékek egytényezős variancia analízisével, és az azokból készült diagram segítségével. Az F_v/F_m érték segít meghatározni a PS II. maximális kvantum hatásfokát, az R_{fd} pedig vitalitási indexként ismert és az F_v/F_m érték mellett a másik széleskörűen alkalmazott fluoreszcencia paraméter stresszhatások detektálására (Lichtenthaler, et al., 2005).

Kísérletünkben mindkét esetben a kontrollcsoportban magasabb az R_{fd} értéke (14. Ábra) azonban statisztikák eredménye alapján a nitrogén hiányos tápoldatban nevelt növények fluoreszcencia értékei nem térnek el szignifikánsan a teljes tápoldatban nevelt növények fluoreszcencia értékeitől.



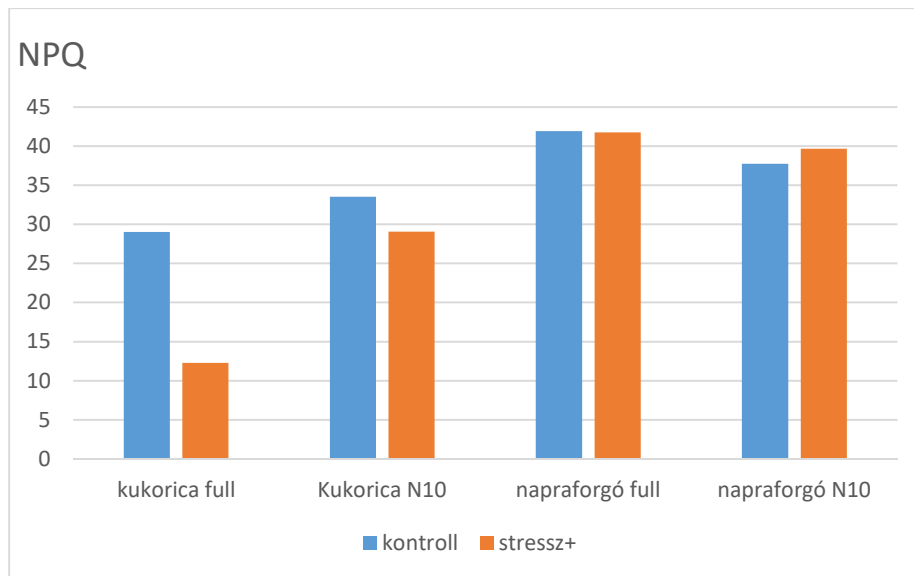
13. ábra – F_v/F_m érték változása az egyéb stresszel nem terhelt növényeken (saját szerkesztés, saját mérések alapján)



14. ábra– Rfd érték változása az egyéb stresszel nem terhelt növényeken (saját szerkesztés, saját mérések alapján)

A 15. ábrán a második mérés során mért NPQ adatok ANOVA-ban kiszámolt átlagai láthatóak. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a napraforgó esetében ennél az értéknél szignifikáns az eltérés a teljes tápoldatban nevelt és a nitrogénhiányos tápoldatban nevelt növények között, azonban a stressz hatás nem okoz szignifikáns eltérést a fluoreszcenciában. A kukoricán mért értékek között szignifikáns eltérés van mind a tápoldatok között, mind a kontroll és a stressz hatásnak kitett növények között, valamint a két tényező kölcsönhatása is szignifikáns. A nitrogénhiányos tápoldatban nevelt növények NPQ értéke kevésbé csökkent stressz hatására a kontroll csoporthoz képest, mint a teljes tápoldatban nevelt növényeknél.

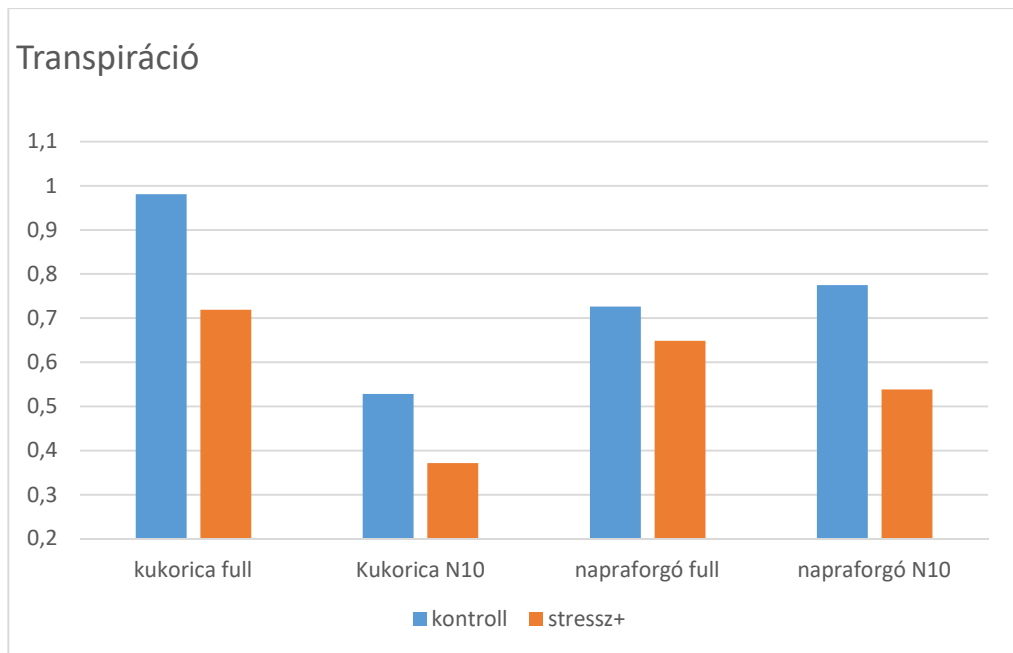
Routh, et al., (2019) napraforgó biológiai-fizikai paramétereit vizsgálták hiperspektrális távérzékelés segítségével és az NPQ vizsgálatot sikeresnek ítélték az Fv/Fm értékek visszakeresésében mind lombkorona szinten történő szántóföldi mérések esetén, mind laboratóriumi körlmények között levél vizsgálattal.



15. ábra – NPQ mérések eredményei (saját szerkesztés, saját mérések alapján)

4.2 Transzspirációs mérések

A 16. ábrán a transzspiráció adatok kéttényezős varianciaanalízisének átlagai láthatóak. Ezek alapján a beállított vízhiánystressz különböző mértékben hatott a kukorica és a napraforgó transzspirációjára. A kétféle tápoldatban nevelt kukoricák transzspirációja hasonló mértékben csökkent stressz hatására. A stresszhatásnak kitett növények párologtatása szignifikánsan eltért – alacsonyabb volt - a stressznek nem kitett növényekétől, azonban kölcsönhatás a két tényező között nem figyelhető meg. A napraforgó esetében azt figyelhettük meg, hogy a teljes tápoldatban nevelt növények párologtatása stressz hatására kisebb mértékben csökkent, mint a nitrogénhiányos tápoldatban nevelteké, azonban a statisztika alapján egyik eltérés sem szignifikáns. Ezzel szemben Vanaja, et al., (2011) talajban nevelt növényeken végzett kísérletükben azt állapították meg, hogy a vízhiány szignifikánsan befolyásolta a transzpirációt a kukorica és a napraforgó esetében is.



16. ábra - - A transpiráció változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján

4.3 Vegetációs indexek

Mivel a kísérlet egyik fontos kérdése a tápanyaghiány detektálhatósága volt, ezért vizsgáltuk a tápanyaghiány és az egyes indexek kapcsolatát. A pigmenttartalom változása sokszor már azelőtt bekövetkezik, hogy a növényeken szemmel látható tünetek jelennek meg, ez pedig jól nyomon követhető a különféle vegetációs indexek segítségével, így pl az mNDVI index esetében -ami terepi körülmények között is jól mérhető adat – többféle vegetáción is szignifikáns az összefüggés a klorofilltartalommal (*Chen et al. 2007*).

A vegetációs indexek adataiból készült statisztikák (17-19. ábra) azt mutatják, hogy a napraforgó esetében a nitrogénhiányos tápoldatban nevelt növények NDVI indexe szignifikáns eltérés a stressz hatására a kontroll csoporthoz képest és kölcsönhatás tapasztalható a két tényező között.

A kukorica esetében is csak az NDVI indexnél található szignifikáns eltérés, azonban az szépen látszik a diagramokon, hogy a két növény reflektanciája eltérően alakul stressz hatására.

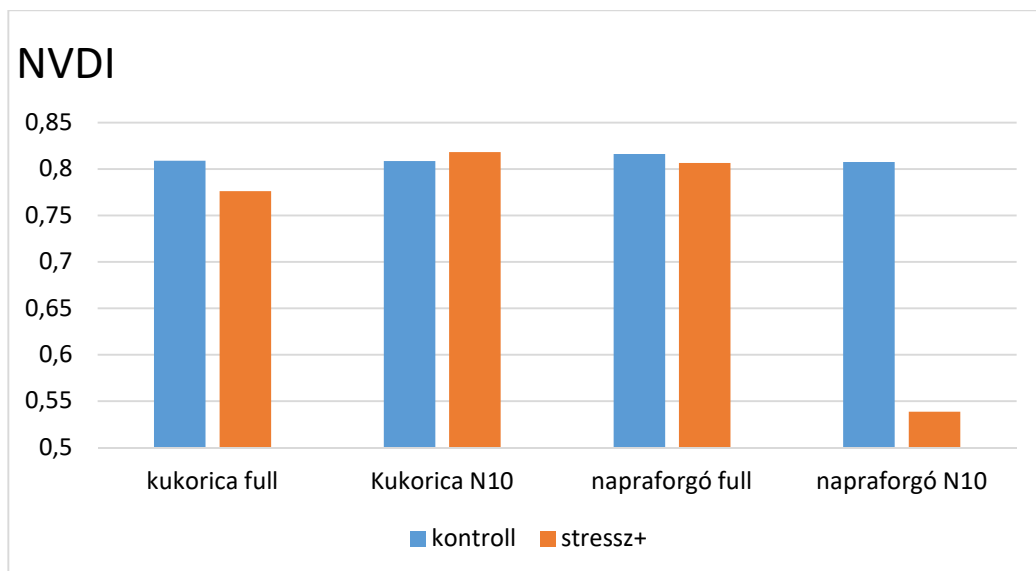
Wang, et al., (2016) műholdas NDVI index segítségével vizsgálták a kukorica éghajlati stresszre adott válaszát, különböző idősávokban. Sem a magas hőmérsékletre, sem a

vízhiányra nem találtak erős korrelációt az NDVI index adataival, azonban azt megállapították, hogy a virágzás kezdetén a legmagasabbak az NDVI értékek.

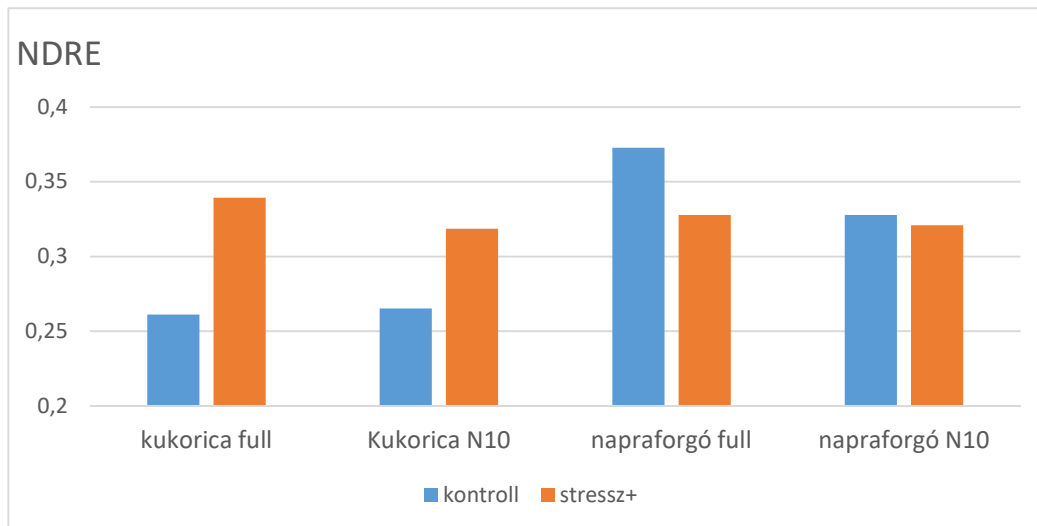
Az NDRE és mNDVI indexek mérésénél szignifikáns eltérés nem tapasztalható egyik növénynél sem a statisztikák alapján, azonban a 18. ábra - Az NDRE index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján látható, hogy a nitrogénhiányos növények NDRE értéke alacsonyabb, mint a teljes tápoldatban nevelteké.

Becker, et al., (2020) szántóföldi körülmények között vizsgálták a nitrogénhiány és a vízhiány közötti különbséget kukoricán, a kísérlet során többféle vegetációs indexet hasonlítottak össze. Azt állapították meg, hogy a nitrogén hiány detektálására önmagában az NDRE a legalkalmasabb, azonban hangsúlyozzák, hogy a reprodukív növekedési szakaszban egyértelműbben kimutatható a stressz az index segítségével, mint a vegetatív szakaszban.

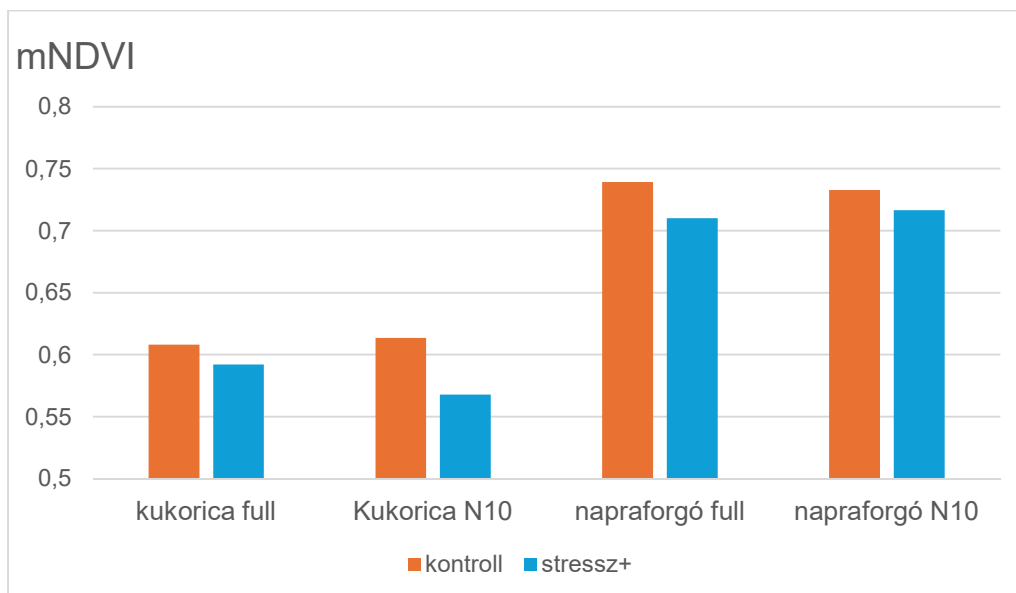
Az NDRE vegetációs indexről készült diagramon az látszik, hogy a kukorica értékei nőnek, a napraforgó értékei pedig csökkennek stressz hatására (mindkét tápoldatban), és az NDVI index diagramján is megfigyelhető, hogy a nitrogénhiányos oldatban nevelt kukorica értékei enyhén nőnek stressz hatására, a napraforgóé pedig szignifikánsan csökken.



17. ábra - Az NDVI index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján



18. ábra - Az NDRE index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján



19. ábra - Az mNDVI index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján (Vanaja, et al., 2011)

5.Következtetések és javaslatok

A laboratóriumi körülmények között zajlott kísérlet során tápanyaghiánynak és szárazságstressznek kitett kukorica és napraforgó élettani változásait figyeltük meg. Ezek a tényezők a globális klímaváltozás következtében egyre jelentősebbek már napjainkban is, de a lehetséges klímaforgatókönyvek szerint a jövőben a hőmérséklet növekedésével ezek egyre fokozódnak. Laboratóriumi körülmények között a párologtatás, fluoreszcencia és a reflektancia vizsgálatára és elemzésére helyeztük a hangsúlyt. A vizsgálatok eredményei alapján nem sikerült alátámasztani azt, hogy a nitrogénhiány önmagában negatívan befolyásolja a növények életfolyamatait, de feltételezésem szerint ez a vizsgált növények fiatal korából fakad, és idősebb növényeken más eredményt kaptunk volna.

Az azonban megállapítható a vizsgálatok eredményei alapján, hogy a napraforgó jobban viseli a nitrogénhiányt, mint a kukorica, a transzspirációs értékben és az NDVI indexben mutatott nagyobb eltérést stressz hatására a kukoricánál. A növények fotoszintézis típusa alapján a napraforgó lehetne érzékenyebb a stressztényezőkre, ennek ellenére – és ez az utóbbi évek termésadatai alapján is látszik – a kukorica mutatott nagyobb érzékenységet a stresszel szemben.

Nézőpontom szerint hasznos hasonló vizsgálatokat végezni, kiemelten a transzpirációra és a vegetációs indexre vonatkozó méréseket, valamint a vizsgálatokat kiterjeszteni idősebb növényekre és terepi körülményekre, annak érdekében, hogy jobban megismerjük az eltérő stressz tényezők kölcsönhatásait, és ez alapján megfelelő agrotechnika segítségével, kivédhessük a komolyabb károsodást a szántóföldi növénytermesztés során.

6. Összefoglalás

A mezőgazdaságnak, azon belül is a szántóföldi növénytermesztésnek kiemelt szerepe van mind a humán élelmezésben, mind a takarmányozásban, valamint jelentős kiszolgálója az iparnak. Az időjárásnak kitett ágazatot az utóbbi években egyre nagyobb mértékben sújtják a klímaváltozással járó extrém események, mint például a hosszan tartó aszályos időszakok és hőhullámok. Annak érdekében, hogy a szektor ki tudja védeni az éghajlat változásból származó károkat, illetve alkalmazkodni tudjon hozzá, fontos megismernünk természetett növényeink stressz tűrő képességét és a különböző stressz tényezőkre adott reakcióit.

Napjainkban egyre jobban terjednek a növények fotoszintézisét és reflektanciáját akár távérzékeléssel is megfigyelni és mérni képes műszerek, amik segítségével képet kaphatunk a növényzet fotoszintetikus aktivitásáról és egészségi állapotáról.

A dolgozat alapjául szolgáló vizsgálatokat laboratóriumi körülmények között végeztük. A vizsgálatok tárgyát napraforgó és kukorica növények képezték, mivel ezek a legnagyobb területen termesztett szántóföldi növények a búza után.

Mindkét növény típusból két csoportot képeztünk, az egyik csoportot teljes tápoldatban, a másik csoportot 1 hetes kortól kezdve nitrogénhiányos tápoldatban neveltük. A növényeken nevelést követően a 4. héten végeztük az első vizsgálatokat, majd minden csoportban meghagyva egy kontroll csoportot, vízhiány stresszt állítottunk be PEG oldat segítségével. A vízhiányos oldatban nevelt növények egy részét klímakamrában magas hőmérsékleti stressznek tettük ki, így 12 növénycsoportot kaptunk.

A csoportok: - teljes tápoldatban nevelt kukorica kontroll, - teljes tápoldatban nevelt kukorica vízhiány stressznek kitéve, - teljes tápoldatban nevelt kukorica vízhiány és magas hőmérsékleti stressznek kitéve – ugyanezek a csoportok nitrogénhiányos tápoldatban nevelt kukoricából, és mind a hat csoport ugyanígy napraforgóból.

A vizsgálatok arra irányultak, hogy hogyan befolyásolja a nitrogénhiány az eltérő fotoszintézis úttal rendelkező növények stresszre adott reakcióit, amire a 2. mérés során, a növények 5 hetes korában kapott eredmények alapján próbáltam válaszolni, azonban a statisztikák készítése során a stressznek kitett növényeket egy csoportként kezeltük.

A vizsgálatok során különböző módszerekkel mértük a növények fotoszintézisét, fluoreszcenciáját, transpirációját, valamint vegetációs indexeket is használtunk, hogy kellően árnyalt képet kapjunk a növények fotoszintetikus aktivitásáról, vitalitásáról, általános bioenergetikai állapotáról.

A vizsgálati eredményekből az Excel egy-, és kéttényezős varianciaanalízis moduljában statisztikákat készítettem és ezeknek az eredményét ábráztam diagramok segítségével, ezekből vontam le következtetéseket. Az eredmények alapján arra jutottam, hogy ilyen fiatal növényeken a nitrogénhiány önmagában még nem okoz releváns eltérést (kivéve a kukorica transpirációjában), azonban a stresszre adott válaszok változó mértékben módosulnak a teljes tápoldatban nevelt növények reakcióihoz képest. A vizsgált tulajdonságok nagy része azt

mutatja, hogy a napraforgó élettani folyamatait kevésbé befolyásolja a nitrogénhiány, mint a kukoricáét.

Véleményem szerint fontos ilyen, és ehhez hasonló kutatásokat végezni, lehetőleg kiegészíteni idősebb növényállományon végzett, és terepi mérésekkel. A laboratóriumi mérések eredményei önmagukban is hasznosak lehetnek, valamint támpontot adhatnak terepi mérések esetén ahhoz, hogy mely vizsgálatok azok, amik a leginkább relevánsak, melyeket érdemes elvégezni – ezzel csökkentve a terepi mérésekbe fektetendő időt, munkát és költséget.

7. Hivatkozások

Dilek Killi, Antonio Raschi and Filippo Bussotti , 2020. *PubMed*. [Online]

Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32659889/>

[Hozzáférés dátuma: 08 09 2025].

Evangelides, C. & Nobajas, A., 2020. *Science Direct*. [Online]

Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938519302320>

[Hozzáférés dátuma: 10 10 2025].

Garbulsky, M. F. és mtsai., 2011. *Science Direct*. [Online]

Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425710002634>

[Hozzáférés dátuma: 10 2025].

Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B. & Rakitin, V. Y., 2002.

Physiologia Plantarum. [Online]

Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1399-3054.1999.106119.x>

[Hozzáférés dátuma: 10 10 2025].

Akladios, S. A., 2013. *Springer Nature Link*. [Online]

Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00709-013-0563-2>

[Hozzáférés dátuma: 10 2025].

Antal, J., 2005. *Növénytermesztés tan I.. hely nélk.:Mezőgazda Kiadó.*

Becker, T., Nelsen, T. S., Leinfelder-Miles, M. & Lundy, M. E., 2020. *MDPI*. [Online]

Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1671>

Bellasio, C., Stuart-Williams, H., Farquhar, G. D. & Flexas, J., 2023. *New Phytologist*. [Online]

Available at: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.19299>

[Hozzáférés dátuma: 08 09 2025].

Berzsenyi, Z., 2013. *Növénytermesztés : környezeti, növekedési és termésreakciók.* hely nélk.:Agroinform.

Bratek, Z. és mtsai., 2013. *A növényi anyagcsere élettana.* hely nélk.:Eötvös Lóránd Tudományegyetem.

Carter, E. K., Melkonian, J., Riha, S. J. & Shaw, S. B., 2016. *IOPScience*. [Online]

Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/9/094012/meta#artAbst>

[Hozzáférés dátuma: 10 2025].

Fehér, A. S., Csiszár, J., Pécsváradi, A. & Ördögné Dr. Kolbert, Z., 2019. *A növények élete.* hely nélk.:Szegedi Tudományegyetem.

- Gila-Rácz, D., 2023. *Agrárágazat*. [Online]
Available at: <https://agraragazat.hu/hir/agrar-vegetacio-rgb-klorofilltartalom-mezogazdasag/>
[Hozzáférés dátuma: 10 2025].
- Hussain, M. és mtsai., 2018. *Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives*. [Online]
Available at:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418300787?via%3DiHub>
[Hozzáférés dátuma: 09 10 2025].
- Kalaji, H. M. és mtsai., 2016. *SpringerNature*. [Online]
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-016-2113-y#Fig2>
[Hozzáférés dátuma: 10 09 2025].
- Kinhal, D. V., 2023. [Online]
Available at: <https://cid-inc.com/blog/chlorophyll-fluorescence-importance-and-applications/>
[Hozzáférés dátuma: 10 09 2025].
- Komonyi, É., 2013. *Mezőgazdasági növénytermesztés tan alapjai*. hely nélk.: Főiskolai jegyzet.
- Lichtenthaler, H. K., Langsdorf, G., Lenk, S. & Buschmann, C., 2005. *PHOTOSYNTHETICA*. [Online]
Available at: <https://ps.ueb.cas.cz/pdfs/phs/2005/03/07.pdf>
[Hozzáférés dátuma: 10 2025].
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H. & Tsuchida, S., 2010. *MDPI*. [Online]
Available at: <https://www.mdpi.com/2072-4292/2/10/2369>
[Hozzáférés dátuma: 10 10 2025].
- nagawa.com, dátum nélk. *NAGAWA*. [Online]
Available at: <https://www.nagwa.com/en/explainers/812162636509/>
[Hozzáférés dátuma: 08 09 2025].
- Noel, S., 2016. *SeeGrow Developments Blog Page*. [Online]
Available at: <https://seegrowgrass.wordpress.com/2016/08/24/external-factors-affecting-photosynthesis>
[Hozzáférés dátuma: 08 09 2025].
- Pethő, M., 2002. *Mezőgazdasági növények élettana*. hely nélk.: Akadémia Kiadó.
- Pethő, M., 2003. *A növényélettan alapjai*. hely nélk.: Akadémia Kiadó Zrt.
- Radics, L. és mtsai., 2003. *Szántóföldi növénytermesztés*. hely nélk.: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem.

- Routh, P. és mtsai., 2019. *ISPRS*. [Online]
Available at: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-3-W6/623/2019/isprs-archives-XLII-3-W6-623-2019.html>
[Hozzáférés dátuma: 2025].
- Sárközy, P. & Seléndy, S., 1994. *Biogazda 2. Szántóföldi és kertészeti növénytermesztés*. hely nélkül.:Biokultúra egyesület.
- Solti, Á., 2013. A fluoreszcencia indukció. In: *Növényélettani vizsgáló módszerek*. hely nélkül.:Eötvös Lóránd Tudományegyetem, p. 45.
- Szigeti, Z., 2018. *A növényi stresszel kapcsolatos felfogásunk változásai*. hely nélkül.:ELTE Biológiai Intézet, Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszék.
- Tahmasebi, A. & Niazi, A., 2021. *Comparison of Transcriptional Response of C3 and C4 Plants to Drought Stress Using Meta-Analysis and Systems Biology Approach*. [Online]
Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.668736/full>
- Tóth, V., 2001. *Doktori értekezés tézisei*. [Online]
Available at: <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/8fa87000-6362-4285-b767-db60f561190e/content>
[Hozzáférés dátuma: 10 2025].
- Törös-Barczel, N., 2025. *Statisztikai szemle*. [Online]
Available at:
https://www.ksh.hu/statszemle_archive/all/2025/2025_09/2025_09_874.pdf
[Hozzáférés dátuma: 13 10 2025].
- Tuba, Z. & Csintalan, Z., 2009. Növényélettan. In: hely nélkül.:Egyetemi jegyzet.
- van den Berg, L. & Zeng, Y. J., 2005. *Science Direct*. [Online]
Available at:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629905000414?via%3Dihub#bib1>
[Hozzáférés dátuma: 10 2025].
- Vanaja, M. és mtsai., 2011. *Agriculture Journals*. [Online]
Available at: <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2011/05/03.pdf>
[Hozzáférés dátuma: 2025].
- Wang, R., Cherkauer, K. & Bowling, L., 2016. *MDPI*. [Online]
Available at: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/269>

Egyéb felhasznált irodalom:

- Növénytermesztés 2. tantárgy órai anyagának ppt-je

8. Ábrák jegyzéke

1. ábra A kukorica termésmennyiségének alakulása az EU legtöbb kukoricát termeszto 10 tagállamában. (Forrás: KSH)	4
2. ábra Kukorica termésátlaga (kg/ha) és termesztési területe (ezer ha) (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok alapján).....	5
3. ábra Napraforgó termésátlaga (kg/ha) és termesztési területe (ezer ha) (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok alapján).....	7
4. ábra - Fehér Attila Sándor által szerkesztett: A növények élete (2019).....	9
5. ábra - A kloroplasztisz felépítése (nagawa.com, dátum nélk.)	10
6. ábra A magasabb rendű növények fotoszintetikus pigmentjeinek abszorpciós spektruma szerves oldószerekben - (Pethő, 2003).....	11
7. ábra - Az elektrontranszportlánc főbb elemei - (Tuba & Csintalan, 2009)	12
8. ábra A C3-as és C4-es növények néhány fiziológiai mutatójának összehasonlítása (Pethő, 2002)	13
9. ábra - A CO2 koncentráció hatása a C3-as és C4-es növények	13
10. ábra A stressz- szindróma. (Bratek, et al., 2013).....	16
11. ábra – Napraforgó növények a növénynevelőben – saját fotó.....	18
12. ábra – Kukorica növények a növénynevelőben – saját fotó	18
13. ábra – Fv/Fm érték változása az egyéb stresszel nem terhelt növényeken (saját szerkesztés, saját mérések alapján).....	22
14. ábra – Rfd érték változása az egyéb stresszel nem terhelt növényeken (saját szerkesztés, saját mérések alapján).....	23
15. ábra – NPQ mérések eredményei (saját szerkesztés, saját mérések alapján).....	24
16. ábra - – A transpiráció változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján.....	25
17. ábra - Az NDVI index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján	26
18. ábra - Az NDRE index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján	27
19. ábra - Az mNDVI index változásai - saját szerkesztés, saját mérések alapján.....	27

9. Mellékletek

Egytényezős varianciaanalízisnél : Full és N10 tápoldat

Kéttényezős varianciaanalízisnél:

minta: kontroll és stressz+

oszlop: Full és N10 tápoldat

1. Fv/Fm értékek varianciaanalízise

VARIANCIAANALÍZIS- kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,001856	1	0,001856	0,365535	0,547586	3,990924
Csoporton belül	0,32497	64	0,005078			
Összesen	0,326826	65				

VARIANCIAANALÍZIS - Napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1,91E-05	1	1,91E-05	0,034584	0,854175	4,30095
Csoporton belül	0,012179	22	0,000554			
Összesen	0,012198	23				

2. RFD értékek varianciaanalízisei

VARIANCIAANALÍZIS - kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,065931	1	0,065931	0,205441	0,651897	3,990924
Csoporton belül	20,53924	64	0,320926			
Összesen	20,60518	65				

VARIANCIAANALÍZIS - napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,449355	1	0,449355	0,636448	0,433527	4,30095
Csoporton belül	15,53278	22	0,706035			
Összesen	15,98213	23				

3. NPQ értékek kéttényezős varianciaanalízise

VARIANCIAANALÍZIS - kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	674,16	1	674,16	71,16522	5,09E-08	4,351244
Oszlopok	680,535	1	680,535	71,83817	4,72E-08	4,351244
Kölcsönhatás	228,1666667	1	228,1667	24,08558	8,5E-05	4,351244
Belül	189,4633333	20	9,473167			
Összesen	1772,325	23				

VARIANCIAANALÍZIS - napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	4,59375	1	4,59375	0,387994	0,540394	4,351244
Oszlopok	59,85041667	1	59,85042	5,055041	0,035987	4,351244
Kölcsönhatás	6,720416667	1	6,720417	0,567615	0,459986	4,351244
Belül	236,795	20	11,83975			
Összesen	307,9595833	23				

4. Evap adatok kéttényezős variancia analízise

VARIANCIAANALÍZIS - kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	1,395842	1	1,395842	5,144609	0,025048	3,91755
Oszlopok	5,124001	1	5,124001	18,88536	2,86E-05	3,91755
Kölcsönhatás	0,088901	1	0,088901	0,327661	0,568076	3,91755
Belül	33,64384	124	0,271321			
Összesen	40,25258	127				

VARIANCIAANALÍZIS - Napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,296102	1	0,296102	1,780193	0,18899	4,061706
Oszlopok	0,011306	1	0,011306	0,067971	0,79553	4,061706
Kölcsönhatás	0,076002	1	0,076002	0,456931	0,502599	4,061706
Belül	7,318584	44	0,166331			
Összesen	7,701994	47				

5. NVDI indexek kéttényezős variancia analízise

VARIANCIAANALÍZIS - kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,004232	1	0,004232	1,549356	0,215577873	3,91755
Oszlopok	0,014103	1	0,014103	5,163284	0,024791489	3,91755
Kölcsönhatás	0,014476	1	0,014476	5,299848	0,022994711	3,91755
Belül	0,338683	124	0,002731			
Összesen	0,371493	127				

VARIANCIAANALÍZIS - Napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,233218862	1	0,233218862	4,699292	0,035627	4,061706
Oszlopok	0,229597878	1	0,229597878	4,62633	0,037017	4,061706
Kölcsönhatás	0,201843443	1	0,201843443	4,067087	0,049855	4,061706
Belül	2,18365442	44	0,04962851			
Összesen	2,848314603	47				

6. NDRE indexek kéttényezős variancia analízise

VARIANCIAANALÍZIS - kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,000259	1	0,000258866	0,120413671	0,730240526	4,06170646
Oszlopok	0,002267	1	0,002267077	1,054548367	0,310074413	4,06170646
Kölcsönhatás	0,000587	1	0,000587376	0,273222286	0,603800608	4,06170646
Belül	0,094592	44	0,002149809			
Összesen	0,097705	47				

VARIANCIAANALÍZIS- Napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,00638598	1	0,006386	2,073934	0,152355	3,91755
Oszlopok	0,00062002	1	0,00062	0,201359	0,65441	3,91755
Kölcsönhatás	0,00224602	1	0,002246	0,729427	0,394716	3,91755
Belül	0,38181622	124	0,003079			
Összesen	0,39106824	127				

7. mNDVI indexek kéttényezős variancia analízise

VARIANCIAANALÍZIS - Kukorica

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	0,030263	1	0,030263	3,08618	0,08142842	3,91754978
Oszlopok	0,002814	1	0,002814	0,286979	0,593122573	3,91754978
Kölcsönhatás	0,00716	1	0,00716	0,730191	0,394469189	3,91754978
Belül	1,215938	124	0,009806			
Összesen	1,256175	127				

VARIANCIAANALÍZIS- Napraforgó

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Minta	4,01E-08	1	4,0123E-08	1,4047E-05	0,997027	4,061706
Oszlopok	0,006242	1	0,00624188	2,185261555	0,146461	4,061706
Kölcsönhatás	0,000509	1	0,00050881	0,178131493	0,675039	4,061706
Belül	0,12568	44	0,00285635			
Összesen	0,13243	47				

NYILATKOZAT

Surány Judit Erzsébet (hallgató Neptun azonosítója: OXI35H) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre **javaslom / nem javaslom**¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2025 év november hó 8. nap


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

**a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről**

A hallgató neve: Surány Judit Erzsébet
A Hallgató Neptun kódja: OXI35H
A dolgozat címe: Stresszélettani vizsgálatok napraforgó és kukorica
növényeken
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Növénytemesztési- tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025 év november hó 8 nap


Hallgató aláírása

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Surány Judit Erzsébet
Neptun-kódja:	OXI35H
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat
A munka címe:	Stresszélettani vizsgálatok napraforgó és kukorica növényeken

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
ötletelés, szakirodalom keresés	ChatGPT	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helyállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025.november hó ⁸..... nap


.....
Hallgató aláírása


.....
Konzulens/Témavezető aláírása