

DIPLOMADOLGOZAT

NÉV: Besenyei Ágota
Szak: Osztatlan agrármérnök

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gödöllői Campus
Osztatlan agrármérnök

Tápanyagnak- és abiotikus stressznek kitett napraforgók
vizsgálata hőkamerával

Belső konzulens: Dr. Balogh János, egyetemi tanár

De Luca Giulia, PhD hallgató

Készítette: Besenyei Ágota

VPTVPR

Nappali tagozat

Tanszék: Növényélettan és Növényökológia
Tanszék

Gödöllő
2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	4
2. Szakirodalmi áttekintés	6
2.1. A növények vízgazdálkodása	6
2.1.1. A víz jelentősége a növények szervezetében	6
2.2. A növények ásványi táplálkozása	9
2.2.1. A tápanyagfelvétel folyamata.....	10
2.2.2. A nitrogén jelentősége.....	10
2.2.3. A bór jelentősége.....	12
2.3. A növényeket érő stresszhatások	13
2.3.1. A stressz meghatározása.....	13
2.3.2. A stressz szakaszai	14
2.3.3. A növényi stresszválaszok	14
2.3.4. Hőmérsékleti stressz.....	15
2.3.5. Víz- és szárazságstressz	16
2.4. Távérzékelés	17
2.4.1. A távérzékelés jelentősége a gazdálkodásban	17
2.4.2. A hőkamera jelentősége a mezőgazdaságban	19
2.5. A napraforgó termesztése és igényei	19
2.5.1. Napraforgó jelentősége	19
2.5.2. A napraforgó termesztési igényei.....	20
2.5.3. Napraforgó ökológiai igényei.....	20
3. A vizsgálatok módszerei	22
3.1. Laboratóriumi növénynevelés	22
3.2. A tápoldat összeállítása és összetevői	24

3.3. Műszerek, mérések és az adatfeldolgozás menete	25
4. Eredmények és értékelésük	27
4.1. A napraforgó leveleinek hőmérséklet elemzése hőkamerás képek segítségével	27
4.1.1. Kontroll és tápanyaghiány, illetve -többletes napraforgók	27
4.1.2. Gyenge vízhiány.....	27
4.1.3. Erős vízhiány.....	29
4.2. Főkomponens-analízis.....	32
5. Következtetések	40
6. Összefoglalás	42
7. Irodalomjegyzék	43
8. Mellékletek	46
9. Nyilatkozatok	52

1. Bevezetés és célkitűzés

Az éghajlatváltozás természetes jelenség, de korunkban ez a folyamat igen rövid idő alatt megy végbe, míg évezredek alatt kéne lefolynia, ezért tartósan változik az eddig tapasztalt átlaghőmérséklet (Dryzek et al. 2011). Ez a globális folyamat Magyarországon is megfigyelhető. 1901-2020 között az évszakok középhőmérséklete emelkedett, főleg a nyaraké. Az elmúlt 40 évet vizsgálva megfigyelhetjük, hogy a melegedés még intenzívebb volt, és a jövőben számíthatunk arra, hogy a felmelegedés tovább folytatódik. Habár az elmúlt 120 év átlagát tekintve az éves csapadékösszeg 4 %-kal csökkent, a legutóbbi pár évtizedben növekedés tapasztalható, és – ugyan kismértékben – a növekedő tendencia a jövőre nézve is megmarad. Ennek az az oka, hogy az őszi és téli évszakok csapadékosabbak lesznek, míg a nyarakat hosszabb ideig tartó csapadékmentes időszakok fogják jellemezni. A csapadék mennyiségének növekedése azonban nem feltétlenül jelenti azt, hogy a vízellátás is javulni fog, mivel a csapadék intenzitásának növekedése például a felszíni vízmérleg sérülékenységét növeli. Az utóbbi éveket igen szélsőséges időjárás jellemezte, gyakori volt, az aszályok és az özvízszerű esőzések előfordulása (Kohout 2022). Az időjárás-változás következtében stresszhatások érik a növényeket (pl. hőstressz, szárazságstressz), melyek jelentős mértékben befolyásolhatják a termés mennyiségét és minőségét is.

Az éghajlatváltozás mellett a népességnövekedés miatt is egyre fontosabb a mezőgazdaság fejlődése. Évente 75 millió fővel növekszik a népességszám (Dobos 2013), és e növekedés következtében csökkenni fog az egy főre jutó erőforrások mennyisége, így ahhoz, hogy az egyre növekvő élelmiszerigényt ki tudjuk elégíteni, hatékonyabb termelésre van szükség, vagyis adott területen nagyobb termésmennyiséget kell produkálni. A hatékonyság növeléséhez elengedhetetlen a precíziós növénytermesztés és annak fejlesztése, rendszerbe illesztése, mely révén a termőhelyek heterogenitását szem előtt tartó gazdaságos és fenntartható növénytermesztés folyhat a területeken. A területi változatossághoz igazodó tápanyagutánpótlás elengedhetetlen ahhoz, hogy minél stabilabb és jobb termésmennyiségeink legyenek. A többletmennyiség minimalizálásával egyaránt csökkenthetjük költségeinket és a környezeti terhelést is (Dobos 2013).

A távérzékeléses módszerek segítséget nyújtanak számunkra a változó világhoz való alkalmazkodásban. Az egyik ilyen módszer a hőtávérzékelés. Az adatokra műholdak, személyzet nélküli légi járművek, tornyokra szerelt és kézikamerák segítségével is szert tehetünk. Ezek az eszközök a termikus infravörös sugárzás közepső tartományában (3-8 μm) és

a nagy hatótávolságú infravörös (8-14 μm) tartományokban képesek mérni. Termikus képpontok segítségével akár egy adott növény levelei közt lévő különbségeket is meg tudjuk vizsgálni. A távérzékelés segít a hő- vagy vízstressznek kitett növények azonosításában, ugyanis ilyenkor a sztómák záródásának következtében csökken a párolgás, és ezzel együtt megnövekszik a levélhőmérséklet hullámozása. Ennek köszönhetően értékes információkat tudhatunk meg a növények, a talaj és a légkör vízenergia cseréjéről (Farella et al. 2022).

Kutatásom célja a napraforgóban jelentkező tápanyaghiány és egyéb stresszorok (vízhiány, magas hőmérséklet) hatásának hőtávérzékelési módszerekkel történő vizsgálata. A kutatástól azt várjuk, hogy a növényi stresszhatások időben történő érzékelésének lehetőségét a gyakorlatban adaptálva a gazdákat hozzásegítsük a stressztényezőkből fakadó problémák mérsékléséhez.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A növények vízgazdálkodása

2.1.1. A víz jelentősége a növények szervezetében

A növényi szervezetben jelentős vízforgalom zajlik, amibe beletartozik a vízfelvétel, vízszállítás és a vízleadás. Az anyagcsere folyamatokhoz elengedhetetlen a víz, hiszen szükség van rá az ásványi anyagok felvételéhez és szállításához is. Ebből következik, hogy a vízben nem oldódó anyagokat a növény nem képes felvenni és szállítani. A növények párologtatása egy, az ökológiai rendszerek működésének szempontjából is fontos életfolyamat, aminek szerepe van a hőmérséklet-szabályozásban is. Jelentősége a növényi túlmelegedés, illetve hőhalál elleni küzdelemben rejlik (Pethő 1993). Egyes növényi szövetek eltérő víztartalmúak, akár 80-95% vizet is tartalmazhatnak. A sejtalkotók víztartalma változó, a kloroplasztisz és mitokondrium esetében ez 50% körül alakul, míg a vakuolum akár 98% vizet is tartalmazhat. A víz a növényi szárazanyag-produkcióban is kulcsszerepet játszik, minden egyes gramm előállításához megközelítőleg 500 gramm vizet vesz fel a növény gyökérzetén keresztül, amit a levelekbe szállít, és utána a légkörbe adja le annak egy részét. Ha a vízfelvétel és -leadás egyensúlya megbomlik, a növény sejtanyagcseréjében változások következnek be. A víz egyik legfontosabb funkciója, hogy oldószerként tud működni, de ezen kívül fehérjék, membránok, nukleinsavak és számos molekulák szerkezetét is befolyásolja (Ördög & Molnár 2009).

2.1.2. A víz áramlása a növényekben

Vízpotenciál-gradiens a talaj, növény és a légköri rendszer között van, ami szabályozza a vízmozgás irányát, a vízszállítást, illetve a vízleadást (Anda 2009). A növényeken belül a víz áramlása a vízpotenciál-gradiensnek megfelelően a nagyobb vízpotenciálú területek felől a kisebb vízpotenciállal jellemezhető pontok felé zajlik (legmagasabban elhelyezkedő levelek), és ezen belül a szállítás távolságától függően megkülönböztetünk rövid-, illetve hosszútávú transzportot (Csiszár et al. 2019). A rövid távolságú szállítás sejtről sejtre diffúzióval történik, és a menetét további két módra tudjuk osztani. Az egyik a szimplazmás út, mely során a citoplazmán keresztül halad a víz sejtről sejtre. Ez egy igen lassú folyamat, mivel a citoplazma határhártyái ellenállást tanúsítanak a vízzel szemben. A másik mód az apoplazmás út. Ilyenkor a víz a sejtfalak mikropillárisaiban áramlik sejtről sejtre. A vízszállítás elsősorban ezen az úton zajlik, mely során a növény gyökérszőrei által felvett víz az apoplazmás út segítségével a

gyökérkéreg parenchimáján keresztül képes eljutni az endodermiszig. Az endodermisben azonban a sejtfalak hidrofób elemei nem engedik, hogy a víz útja továbbra is apoplazmatikusan folyjon, így itt a víz csakis a plazmodezmán átjutva érheti el a gyökér központi hengerét, ám ilyenkor már szimplazmás folyamatról beszélünk, hiszen belép a sejtek belsejébe.

Hosszútávú szállítás esetében a transzport a xilém és floém elemeken keresztül megy végbe a gyökér központi hengerében. A xilém-elemek miatt a víz gyorsabban el tud szállítani a levelekbe, majd a levelekből a mezofillumba kerül. A mezofillum sejtekben a levél edénnyalábjából a víz apoplazmikus úton képes mozogni, és a sejt közötti járatokban szállított víz a sztómákon keresztül távozik transzspiráció révén (Tuba & Csintalan 2009).

A víz mozgásához szükség van valamilyen erőre, hogy el tudjon jutni a talajból a levelekbe, környezetből a sejtekbe, illetve, hogy sejtről sejtire is tudjon szállítani. Ha rövid távról van szó, akkor a diffúzió révén mozog, hosszú táv esetén pedig a kiinduló és a végpont közötti nyomáskülönbségből eredő tömegáramlás segíti a mozgásban. Vannak azonban olyan esetek, amikor sem a diffúzió, sem a tömegáramlás nem elegendő a víz mozgásához. A sejtmembránon és egyéb organellek membránján át történő vízmozgás esetén a féligáteresztő membránon való áthaladást az ozmózis segíti. Itt a hajtóerő a koncentráció-gradiens és a nyomás-gradiens összege (Bratek et al. 2013).

2.1.3. A növények vízleadása

A növények vízleadása elsősorban párologtatással történik. Másik módja a guttáció, ami hidatodákon keresztül adja le a folyadékot, de ennek jelentősége hazánkban elhanyagolható. A párologtatás egy fizikai, diffúziós folyamat, amit a növények szabályozni képesek a sztómák révén. A transzspirációnak különböző módjai vannak, a párologtatás lehet sztómákon keresztüli, kutikuláris és peridermális is. A kutikuláris és a peridermális transzspiráció fizikai diffúziós folyamat, aminek élettani szabályozása nincs. A kutikulán keresztüli vízvesztést a kutikuláris diffúzió ellenállása határozza meg. Átlagosan a növények vízleadásának az 5%-a történik ilyen formában, ám a környezettől és a növényektől is függ ez a mennyiség, tehát ez az 5% lehet 10-15% is, de nagyon ritkán még a 20%-ot is elérheti. A peridermális transzspiráció parásodott felületű hajtástengelyről (fásszárúak) leadott vízmennyiség, de ennek mértéke általában elhanyagolható. A transzspiráció intenzitását kifejezhetjük egységnyi levélfelület által egységnyi idő alatt leadott vízmennyiség formájában (Tuba & Csintalan 2009).

Sztómáin keresztül adja le a növény a legtöbb vizet, ugyanis a növényi összes víz 90%-a ezen keresztül távozik (Ördög & Molnár 2009). A transzspiráció nyitott sztómák mellett tud végbemenni. A párologtatás egy időszakos folyamat. A reggeli óráktól délig a transzspiráció intenzitása növekszik, de sötétedést követően megszűnik. A vízleadás sebességét egyéb szempontok is befolyásolják, mint például a levél anatómiai jellemzői (szőrös levél esetében csökken a párolgás mértéke), a külső levegő hőmérséklete és páratartalma. A magasabb hőmérséklet fokozza a víz párolgását, a légmozgás erősödése pedig csökkenti a páratartalmat, így növekedni tud a transzspiráció. A sztómák működésére - és ezáltal a párologtatásra - a fény, szén-dioxid-koncentráció és a hőmérséklet, amik kiemelkedő hatással vannak. A fény hullámhosszait vizsgálva megállapítható, hogy a kék- és vörös fény hatására nyitódnak ki a sztómák, és indul be a fotoszintézis is, mely során szén-dioxid kötődés megy végbe, és oxigén képződik. Ez a gázcsere-folyamat a sztómákon keresztül valósul meg. Alacsony intercelluláris CO₂ koncentráció a gázcsere-nyitódását eredményezi (egyéb faktorok mellett), míg magas intercelluláris CO₂ koncentráció esetében a sztómák záródása figyelhető meg. A légrések szűkülése lehetővé teszi, hogy vízvesztését csökkentse a növény. A hőmérséklet is hatással van a sztóma záródására, mivel, ha a hőmérséklet emelkedik, a légzés biokémiai folyamatai jobban felgyorsulnak, mint a fotoszintézisé. Így az intercelluláris szén-dioxid koncentráció megnő egy időre, és ilyenkor részlegesen bezáródnak a sztómák. A vízhiány, illetve a gyökérben képződő, majd a xilém útján a hajtásba szállítódó abszcizinsav szintén sztómazáródást idéz elő, mely folyamat lényegében a növények szárazságstressz elleni védekezőmechanizmusa (Bratek et al. 2013).

2.1.4. A vízmérleg

A növények vízmérlegét a vízfelvétel és a vízleadás határozza meg. A vízkicserélődési arány a növényeknél igen fontos, és ahhoz, hogy az egyensúly fennmaradjon, pótolni kell a leadott vízmennyiséget. A sikeresség nemcsak a vízfelvételtől és vízleadástól, hanem a vízszállítástól is függ. A vízmérleg lehet pozitív és negatív is. Negatív vízmérleg akkor alakul ki, amikor az elpárologtatott vízmennyiséget nem tudja a növény elegendő mennyiségben pótolni. Ilyen esetben a sztómák nyitottsága mérséklődik, de a transzspiráció csökkenése mellett a vízfelvétel tovább zajlik, így a vízmérleg idővel újra egyensúlyba kerülhet. A növények vízmérlege nappal általában negatív, és az éjszaka során tud helyre állni, amennyiben a vízfelvételt nem akadályozza semmi, és a talaj vízellátottsága is megfelelő (Tuba & Csintalan 2009).

2.2. A növények ásványi táplálkozása

A növényeknek növekedésükhöz és életfenntartásukhoz tápanyagra van szükségük, amit a környezetből vesznek fel. A növények kedvező környezeti feltételek mellett a fényenergiát hasznosítják úgy, hogy a megkötött szén-dioxidot és a felvett vizet szervesanyaggá alakítják, melyből képesek fedezni energiaszükségleteiket. A talajból felvett szervesanyagokat a növények szintén képesek szerves vegyületekké, valamint vitaminokká alakítani (Tuba & Csintalan 2009).

Egy 1888-as években végzett vizsgálat során megállapították, hogy a növények életében tíz elengedhetetlen kémiai elem határozható meg (Tuba & Csintalan 2009). Bármelyik elem hiánya növekedési gondokat okoz, és a szaporodásukban is zavar keletkezik. Ezek a nélkülözhetetlen, vagyis esszenciális elemek a szén, hidrogén, oxigén, kálium, kalcium, magnézium, nitrogén, foszfor, kén és a vas. Az 1900-as években továbbá a mangánt, majd később a cinket, rézt, bórt, valamint a molibdént is az esszenciális elemek közé sorolták növényi vonatkozásban, így jelenleg összesen 17 a növények számára nélkülözhetetlen elemet tartanak számon (Tuba & Csintalan 2009).

Esszenciálisnak akkor tekinthetünk egy elemet, ha hiánya esetén a növény az életciklusa során nem tud életképes magot termelni, vagy olyan molekula, esetleg növényi alkotó rész felépítésében van szerepe, amely a növény számára fontos, pl. a fehérjékben a nitrogén. Ezeket két csoportba tudjuk osztani. A mikroelemek csoportjába tartoznak a 100 mg/kg-nál kisebb mennyiségben előforduló elemek (Mo, Ni, Cu, Zn, Mn, B, Fe, Cl) (Ördög & Molnár 2009, Tuba & Csintalan 2009), melyek kis mennyiségben fordulnak elő a növényekben, de szerepük igen fontos, hisz hiányuk esetén akár 40 %-os termés kiesés is kialakulhat (Antos et al. 2017). A makroelemek csoportjába a 1000 mg/kg-nál nagyobb mennyiségben előforduló elemek tartoznak (N, S, P, Mg, Ca, K, O, C, H) (Ördög & Molnár 2009, Tuba & Csintalan 2009). A legtöbb kémiai elemet a növény a talajból veszi fel, kivételt képeznek ez alól a hidrogén, az oxigén és a szén, melyekhez a vízből, illetve a levegő szén-dioxid tartalmából jut hozzá (Tuba & Csintalan 2009).

Érdekes az elemeket biokémiai és fiziológiai szerepeük szerint is csoportosítani, hisz a minimális igénynél gyakran magasabb koncentrációban vannak jelen bizonyos - olykor nem esszenciális - elemek a növényekben. Így 4 csoportot tudunk elkülöníteni. Az egyik csoportot a szerves vegyületeket alkotó elemek, tehát a szén, hidrogén, oxigén, nitrogén és a kén alkotják. A második csoportba tartozik a foszfor, a bór és a szilícium, melyek a szerves molekulákhoz

észter kötéssel kapcsolódnak. A harmadik csoport tagjai a kalcium, kálium, magnézium és a klór, melyek ionos formában találhatóak meg, vagy szerves vegyületekhez kapcsolódnak. Az utolsó csoportba az elektrontranszport-folyamatokban szerepet játszó vas, réz és a cink tartoznak (Tuba & Csintalan 2009).

2.2.1. A tápanyagfelvétel folyamata

A gyökér felületéig a tápelemek, vagyis az ásványi sók diffúzióval, a talajoldat tömegáramlásával, illetve maga a gyökér növekedése révén jutnak el. Abszorbeálásuk gyökérszőrőkkel vagy a növényekkel mutualista kapcsolatban élő mikorrhiza gombák által történik. A tápanyag felszívása maximum 1-2 cm-en belül lehetséges, és azt, hogy melyik elem melyik gyökérszakaszon szívódik fel, növényenként változhat (Tuba & Csintalan 2009).

2.2.2. A nitrogén jelentősége

A nitrogén elengedhetetlen a növények életében. Felvétele ásványi (NH_4^+ és NO_3^-) és szerves (pl. karbamid) formában egyaránt megvalósulhat, de az előbbi lényegesen nagyobb jelentőséggel bír. A nitrogén terméshajrást és hajtáshajrást eredményez, tehát a vegetatív fejlődésben kap szerepet (Füleky & Sárdi 2014). A növények nitrogéntartalma a szárazanyag 0,5-5%-a között változik, és az élettanilag aktív, fiatalabb szervek nagyobb mennyiségben tartalmazzák, mint az idősebbek (Antos et al. 2017).

Nitrogénhiány esetén növekedésgátlást tapasztalhatunk, mivel a protoplazma, illetve a sejtmagfehérje termelése, és ezzel együtt a növény növekedése is lelassul. Már a növények fejlődésének korai szakaszában is jelentkezhetnek hiánytünetek, mivel ilyenkor a felépítésben és szervképződésben fejlődési zavarok figyelhetők meg. Nitrogénhiány azonban a növény életében később is kialakulhat, ekkor a tartalékfehérjék képződésében lesznek problémák, és fehérje anyagcserezavar lép fel. Először az idősebb levelekben jelentkező hiánytünetek szemmel is jól láthatóak, mert sárgulás tapasztalható a növényeken, és a növekedésük is elmarad. A citokinin és abszcizinsav fitohormonok egyensúlya eltolódik, és klorofill lebomlás (sárgulás) tapasztalható (Füleky & Sárdi 2014). A sárgulás mellett néha eretük vöröslő színű lesz. Túlzott mértékű nitrogénhiány esetén barnás elszíneződés tapasztalható, ami a levélcúcstól, illetve a levélszélektől indul, végül pedig a levelek elszáradnak, a szár vékony és rövid marad (1. kép), a gyökérszövet nem megfelelően elágazó és megnyúlt lesz (2. kép) (Antos et al. 2017).



1-2 kép (balra: 1. kép, jobbra: 2. kép): Hét hetes napraforgó nitrogénhiány tünetei. Jobb oldalt nitrogénhiányos napraforgó gyökérzete. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

Bár a nitrogén igen fontos a növényeknek, túl nagy mennyiségben terméscsökkenést és minőségromlást eredményez. Ha a növényben a nitrogén felhalmozódik, a fotoszintézis során létrejövő szénhidrát vegyületek az anyagcsere folyamatokban a fehérjéképződésre fordítódnak, melynek következményeként egyéb vegyületek szintézisére kisebb mennyiségben állnak rendelkezésre. A nitrogénhiányhoz hasonlóan többlet tünetek is megfigyelhetők. A vegetatív szervek gyorsabban növekednek, a szárszilárdág csökken, így a megdőlés kockázata növekszik. Ez azzal magyarázható, hogy a szénhidrátok és fehérjék aránya nem megfelelő. A túlzott nitrogénellátás miatt az ammóniumion felvétel növekedhet, ami a kalcium és kálium mennyiségi csökkenését eredményezheti. Ezen kívül vízfelvételi zavarok is kialakulhatnak (Füleky & Sárdi 2014), illetve a lazább szövetek következtében a fertőzéseknek is jobban ki vannak téve ilyenkor a növények. Fokozott klorofill képződés indul be, és a megszokottól sötétebb zöld szín tapasztalható. A vegetatív időszak, és ezzel együtt a termésérés időpontja is kitolódhat (Antos et al. 2017).

A napraforgónak is nagyon fontos a megfelelő nitrogén ellátás, hisz növeli a hektáronkénti termésmennyiséget, de a vegetatív szervek képződése során is fontos szerepet játszik, ám a túlzott nitrogén ellátás következményeként az olajtartalom csökken, és a betegségekkel (főleg a fehérpenészes szártő- és tányérrothadással (*Sclerotinia sclerotiorum*) és a szürkepenészes

rothadással (*Botrytis cinerea*)) szemben is fogékonyabb lesz a növény. Ahogy más növényeknél, itt is fennáll a szárdölés veszélye. Az általános hiány- és többlet tünetek természetesen a napraforgóra is érvényesek (Beke et al. 2011).

2.2.3. A bór jelentősége

Magasabb rendű zöldnövények számára elengedhetetlenül fontos mikroelem (Pais 1980). 1927-ben Winifred Brenchley kijelentette, hogy a növényeknek a legfontosabb mikroeleme a bór (Brenchley & Warrington 1927). A bór több formában is előfordulhat, szerves anyaghoz, vagy anyagásványokban kötött, bórszilikátot és vízoldható bórt is találhatunk a talajban (Füleky & Sárdi 2014). A bór felvehetőségét csökkenti a talaj kötöttsége és szénsavas mésztartalmanak növekedése. A növények $B_4O_7^{2-}$, $H_2BO_3^-$, HBO_3^{2-} és BO_3^{3-} formában jutnak hozzá. Igen jelentős mikroelem, hisz szerepet játszik a tápelem felvételben, szén-hidrátok és más asszimiláták szállításában, esetleg felhalmozódásában, továbbá a gyökér- és szállítószövetek kialakításában, a virág- és termésképzésben is részt vesz, a bibe bórtartalma pedig a pollentömlő kihajtásáért felelős (Antos et al. 2017). A bór azért is fontos, mert a szerepet játszik a fehérjeszintézisben és a cukorképződésben is. Megfigyeltek összefüggéseket bizonyos elemek jelenlétével és a növények bórigenyével kapcsolatban is. A bórigeny növekszik, ha jó a kalcium ellátás, illetve, ha a talajban foszfáthiány jelentkezik. Ezzel szemben csökken a bórigeny nitrogénhiány, valamint foszfát többlet esetén (Pais 1980).

A bórhíáynak és -feleslegnek is vannak jellegzetes tünetei. A hiány következményeként több betegség is kialakulhat, mint például a répák szívrothadása vagy a karfiol barnarothadása, illetve több hiánytünete lehet, melyek növényfajonként eltérhetnek. Általánosan elmondható, hogy az osztódó-szövetek, vagyis a merisztémák degenerálódni kezdenek, így az alapszövet - a parenchima - sejtei összeesnek, és a szállításért felelős szövetek sem fejlődnek megfelelően. A csúcsnövekedéskor tapasztalhatunk színtelenedést és rozettásodást (Pais 1980). A bórhíány tünetei először a fiatalabb leveleken, illetve a hajtások és gyökerek tenyészőcsúcsain figyelhető meg. A levelek deformálódnak, megcsavarodnak vagy elgörbülnek, megvastagodhatnak, merevek és kemények lehetnek. A terminális rügy nyele és tenyészőkúp barnulása is gyakori bórhíány tünet. A növény gyökerei megbarnulnak, bojtosodnak, mivel sok rövid oldalgyökér képződik (Füleky & Sárdi 2014). A bórnak vannak indikátornövényei. A bórhíányt jól jelzi például a takarmányrépa, a zeller vagy a káposzta. A növényekben nemcsak hiány, hanem többlet is kialakulhat. Bórfelesleg fennállásakor a levélcsúcs megsárgul, de másra is utalhat ez a tünet, így célszerű analitikai adatokkal megerősíteni a diagnózist. Komoly eseteknél akár a

növény elhalása is előfordulhat. További tünetei, hogy a levélszéleknél és a levélsúcsnál égési jelek figyelhetőek meg (Pais 1980).

A napraforgóban a bórhiány miatt a levelek kisebbek lehetnek, a tányérok megsárgulnak, a kaszatok nem fejlődnek megfelelően, és deformálódhatnak is. Aszály következtében a bórhiány tünetei fokozódnak (Beke et al. 2011).



3. kép: Hét hetes napraforgó bórhiány tünetei. A levelek megsavarodtak, deformálódtak, elgörbültek, és elkezdtek bebarnulni. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotó).

2.3. A növényeket érő stresszhatások

2.3.1. A stressz meghatározása

A stressz befolyásolhatja a növények fejlődését és teljesítményét. Stressz meghatározására a következő fogalmat használhatjuk: „A stressz egy olyan terheléses állapot, amelyben a növényvel szembeni fokozott igénybevétel a funkciók kezdeti destabilizációját követően egy normalizálódáson át az ellenállóság fokozódásához vezet, majd a tűréshatár túllépésekor tartós károsodást vagy akár pusztulást is okoz (Larcher 1987).” Ebből következik, hogy a stressz destruktív és konstruktív is lehet (Szigeti 2007). Egy mai definíció alapján a növényi stressz egy olyan fiziológiai állapot, amelyben a környezeti hatások miatt a növények fejlődése, szaporodása és növekedésének mértéke a genomban meghatározott értékek alatt marad (Bratek et al. 2013). Természetes körülmények között a növényeket életük során valamilyen mértékben érni fogják stresszorok. A stressz többféle lehet, például időjárás változásból fakadó,

tápanyagstressz vagy akár versengési stressz is. Ha tartósan fennáll, de a növény képes azt túlélni, a folyamatos nyomás miatt jobban alkalmazkodott genotípusok jöhetnek létre generációkkal később (Szigeti 2018).

Stresszorokon belül elkülöníthetünk természetes vagy antropogén faktorokat, abiotikus és biotikus stressztényezőket. A természetes tényezőkhöz tartozik például a vízhiány, a szélsőséges hőmérsékletek és a fagyok. Az antropogén faktorok alatt herbicideket, légszennyező anyagokat említhetünk. Biotikus stressztényező a rágás, szivogatás vagy a kórokozók (vírusok, baktériumok és gombák) károsítása. Ezzel szemben abiotikus stressztényezők például az időjárás, nehézfémek, vegyszerek (Szigeti 2007).

2.3.2. A stressz szakaszai

A stresszre adott választ 3 fő részre tudjuk osztani. Ezek közül az első a vészreakció, utána az ellenállás szakasza, és végül a kimerülés fázisa következik. A vészreakció során a megszokottól eltérő működés megy végbe a növényekben a megterhelés miatt. Ilyenkor a vitalitás csökken, és nem a szintetizáló, valamint felépítő folyamatok fognak dominálni, hanem a lebontó anyagcsere, melynek következtében akár akut károsodás is bekövetkezhet. Ha a növény rezisztenciája megfelelő, akkor végbemegy az ellenállási szakasz, mely során a megváltozott körülményekhez alkalmazkodik, ellenállóképessége pedig megnő, és ezt követően a növény életműködése ismét stabilizálódik. Az utolsó szakasz a kimerülés. Az alkalmazkodóképesség energiát emészt fel, így, ha túl sokáig tart, krónikus károsodáshoz vezet, sőt akár a növény pusztulása is bekövetkezhet. Viszont, ha a stresszhatás megszűnik, a növény képes regenerálódni. Az alkalmazkodásra való hajlamot az adaptáció – több generáción át kialakult, öröklődő tartós ellenállóképesség - és az akklimatizáció – a növény életében bekövetkező stressz hatására történő alkalmazkodások és válaszok - képessége is befolyásolja (Szigeti 2007).

2.3.3. A növényi stresszválaszok

A növények stresszre adott válaszreakciói több mindentől függenek, így például a szenzortól, a jelátvivőktől, vagy az anyagcserében bekövetkező változások mértékétől. A stresszet elsőként érzékelő szenzorok a membránok, melyek rendkívüli módon érzékenyek a víz-, hő- és tápanyag-ellátottságra, továbbá a pH-ra, egyéb celluláris és külső környezeti hatásokra. A külső környezet változásait továbbítani kell annak érdekében, hogy az anyagcsere képes legyen

reagálni rá. A növényi hormonok alkalmasak az információ továbbításra, és fontos szerepet játszanak az anyagcsere szabályozásában. A teljes növény stresszválaszát tudják irányítani, ami azért lényeges, mert ha a teljes növényt vizsgáljuk, akkor megállapíthatjuk, hogy vannak olyan részei, mint például a gyökér és a hajtás, amik egymástól eltérő körülmények közt fejlődnek, léteznek. Az anyagcsere válaszok igen sokfélék lehetnek, vannak olyan stresszválasz reakciók, amik több szinten jutnak kifejezésre. Transzláció szintjén akkor tapasztalhatunk változást, ha pl. a növényt vízstressz éri, de egyéb stresszhatások miatt például módosul a membrán permeabilitása vagy akár az ionok szubcelluláris elosztása. A stresszor hatására a növények többféleképpen tudnak reagálni. Képesek a hatást eltérni, ha gyenge stressz éri őket, mert ilyenkor még magas anyagcsere aktivitást tudnak produkálni. Ha a stressz fokozódik, csökkentheti az anyagcsere aktivitását, ezzel elkerülve a pusztulást, sőt extrém stressz esetén az anyagcsere aktivitást minimalizálva képes nyugvó állapotba kerülni, így próbálva túlélni a nagy intenzitású stresszhatást. A növények harmadik lehetősége a reparáció, vagyis a kijavítás. A stresszorok hatására károsodások következhetnek be, és az irreverzibilis negatív jellegű változások elkerülése végett a növény a károkat megpróbálja kijavítani (Szigeti 2007).

Általában a növényeket nem egy stresszor éri. A sok stresszhatás egymást erősítheti, vagyis szinergista kapcsolatban állnak egymással, melynek következtében a károsodás nagyobb lesz, mintha csak egyesével érnék a stresszek a növényt. Antagonista, tehát ellentétes hatású viszony is lehet a stressztényezők között (Bratek et al. 2013).

2.3.4. Hőmérsékleti stressz

Hőstresszről akkor beszélhetünk, ha a tartós hőség vagy hőmérséklet emelkedése olyan hirtelen következik be, hogy a növények károsodnak, deformáltság és lankadás figyelhető meg. Utóbbi tünet akkor jelentkezik, amikor a gyökérzet nem képes akkora mennyiségű vizet felvenni a talajból, mint amennyit a levelek elpárologtatnak, még akkor sem, ha az a talajban rendelkezésre áll. Ezt fiziológiai vízhiánynak nevezzük. A hőstressz okoz még hervadást, megégést, pollenpusztulást, és a növény öregedése is felgyorsul miatta (Birkás 2017).

A tartós hőstressz a membránok és a proteinek konformációját befolyásolhatja. A kloroplasztiszok tilakoidmembránjai rendkívül érzékenyek a hőre, így a fotoszintetikus funkciók változásait tapasztalhatjuk először, ha hőstressz éri a növényt. A PSII, majd a széndioxid-fixáció gátlódik (Szigeti 2007). Az élő sejtek anyagcseréje legtöbbször hőérzékeny, melynek oka az, hogy 40 °C feletti tartós hőmérsékletnél nem stabilak egyes molekulák, mint

például az ATP, ahogyan DNS-ek, RNS-ek, valamint az enzimek sem. A magas hőmérséklet miatt denaturálódhatnak, és inaktívvá válhatnak. A növények igyekeznek ellenállni a magas hőmérsékletnek úgy, hogy pl. hősokkfehérjéket szintetizálnak (Balogh et al. 2007).

A hőstressz gyakran együtt jár a vízhiány-stresszel is, így ezek igen komoly problémákat tudnak okozni. Egyes hősokkfehérjék vízhiánystressz miatt is kialakulnak, nem csak a hőstressz miatt (Balogh et al. 2007). Ha a 20-25 °C-os hőmérsékletet hirtelen 35-40 °C-ra emeljük, akkor 30-50 db új hősokkfehérje is tud képződni 3-5 perc alatt. Vannak olyan hősokkfehérjék, amik az anyagcsere folyamatokban alapjáraton részt vesznek, így ezek a fehérjék a növényekben stresszmentes állapotban is megtalálhatóak, de stressz hatására megnő a számuk. A hőstressz csökkenti a növényi légzés és fotoszintézis intenzitását is. A növények hőtűrése eltérő lehet. A kísérletben alkalmazott napraforgónak az alsó hőmérsékleti határa -2-0 °C, míg a felső hőmérsékleti határ értéke 40-50 °C között van, optimális hőmérséklet tartománya 20-30, esetleg 40 °C közötti értékben mozog (Tuba & Csintalan 2009).

2.3.5. Víz- és szárazságstressz

A vízstressz nemcsak a növényekre, de a talajra is hat, ugyanis szerkezete mérsékelten károsodhat, felszínén kéreg alakul ki, amit kézzel még lehet porhanyítani. Ha a stressztényező megszűnik, akkor regenerálódhat a talaj (Birkás 2017).

Ha nincs megfelelő mennyiségű csapadék vagy öntözés, akkor a talaj fokozatosan elkezd kiszáradni, mivel a növény vizet fesz fel, és a talajból is párolog nedvesség. A növény vízpotenciálja ennek következtében egy idő után negatívvá válik. Az éjszaka folyamán a transzspiráció kisebb mértékű, így lehetőség van egy ideig a talaj és a növény vízpotenciál közötti egyensúlyt kialakítani. A talaj elérheti azt a vízpotenciájú állapotot, amikor már hervadási pont áll fenn, ilyenkor a talaj nedvességtartalma olyannyira lecsökken, hogy a növények vízfelvétele gátlódik. Vízhiány esetén a sztómák nyitottsága csökken annak érdekében, hogy a transzspirációból fakadó vízvesztést mérsékelje (Balogh et al. 2007). Kezdeti időszakban a sztómák részben záródnak csak be, melynek hatására a párolgás, és ezzel együtt a szén-dioxid felvétel is csökken. Ebben az esetben, ha a vízstressz megszűnik, a növény gyorsan tud regenerálódni. Viszont, ha tartós vízhiány áll fenn, akkor a sztómák teljes mértékben bezáródnak, melynek következtében teljesen megszűnik a szén-dioxid felvétel. Kutikulán keresztül a légzés és szén-dioxid leadás mellett kismértékű vízleadás is megvalósul, mely tartós problémákat okoz a növényeknek még akkor is, ha optimalizálódik a vízellátás. A

regenerálódás hosszú időbe telik, a növények növekedése és fejlődése mérsékelt lesz. A tartós vízhiány továbbá az anyagcsere folyamatokban is változásokat okoz. A növényi sejtek növekedése csökken, és akár le is állhat, 0,1 MPa vízpotenciál csökkenés már mérsékli a szöveteket, így a hajtások és gyökerek fejlődését is. Ilyen stressz esetén a növények éjszaka fognak növekedni. A sejtfal szintézise csökken, ami összefüggésben van a fehérjeszintézis csökkenésével. A vízhiányos stressz mindemellett az osztódó szövetekre is hatással van. Először csak csökkenés figyelhető meg az osztódási folyamatokban, később azonban teljes leállás is bekövetkezhet. A sejtek turgornyomása is csökkeni fog a vízhiány miatt, és a sejtek növekedését gátló növényi hormonok, az abszcizinsav termelődése így intenzívebb lesz. (A fokozódó termelést más tényezők is befolyásolhatják.) Ez azért fontos a növény számára, mert így képes a tartalékanyagait megőrizni, és a stressz elmúltával ez egy fontos felépülési tényező (Tuba & Csintalan 2009). A turgornyomás csökkenése az éppen növekvő sejtek méretét befolyásolja, vagyis, ha a növényt a kezdeti növekedési fázisban vízhiány éri, a levél felülete is kisebb lesz, így a szén-dioxid felvétel csökken. Ha virágzáskor éri a stressz, akkor a virágok száma kevesebb és méretük kisebb lehet, így a reprodukciós képessége gyengül. Ha termésérés közben következik be a vízhiányos stressz, akkor a termésteremtődést befolyásolhatja (Szigeti 2007).

A vízhiány a növények nitrogén-anyagcseréjében is változásokat okoz. Vízhiányos gyökerekben több nitrát és ammónia raktározódik (Szigeti 2007), ugyanis a párolgás mérséklődésével, a gyökerekből a levelekbe történő vízszállítás intenzitása (xilém út) mellett a nitrát mennyisége is csökken, valamint a szállítás időtartama is lassul. A levelek nitrát-tartalma és a nitrátreduktáz működésének intenzitása is mérséklődik, viszont a vízellátás helyreállításával ezek a folyamatok is újra rendesen működnek (Pethő 1993).

2.4. Távérzékelés

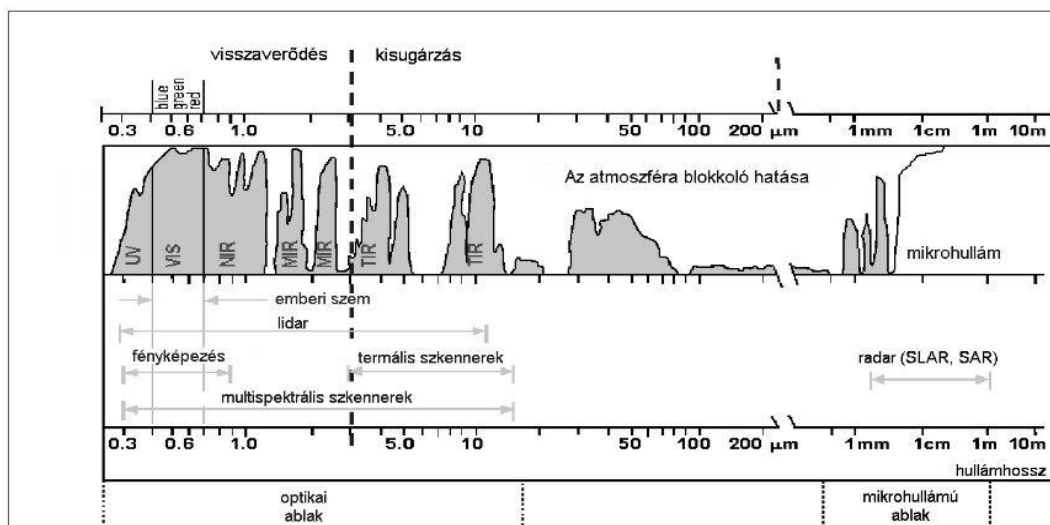
2.4.1. A távérzékelés jelentősége a gazdálkodásban

A távérzékelésnek köszönhetően adatokat tudunk gyűjteni, melyeket eltérő technikák segítségével fel is tudunk dolgozni. Közvetlen jelenlét nélkül képesek vagyunk bizonyos távolságokból is információt szerezni, amihez különböző eszközök (drónok, műholdak, kisrepülő) és módszerek nyújtanak segítséget (<http> 1).

A távérzékelésnek számos előnye van. Amíg ez a módszer nem állt rendelkezésünkre, addig csak in situ, vagyis fizikai helyszíni adatgyűjtésre volt lehetőségünk. Ezzel az eljárással

azonban az elektromágneses hullámok visszaverődésének, illetve sugárzásának mérésére, és az ebből kapott adatok értelmezésére van lehetőségünk. Információt kapunk fizikai és kémiai tulajdonságokról és geometriájáról is. Nehezen megközelíthető nagy területekről is tudunk méréseket és információkat gyűjteni. Mindemellett a fény látható tartományán kívül is tudunk vizsgálatokat végezni, az összegyűjtött adatok pedig tárolhatóak, így összehasonlíthatjuk más időpontokban készült vagy lokalizációjú felvételek eredményeivel.

Azonban számos előnye mellett néhány hátránnyal is számolnunk kell alkalmazásuk során. Az atmoszféra blokkoló hatása miatt a hullámhossz tartományokat befolyásolja. Ha a légköri abszorpció mértéke nagy, akkor a műszerek úgymond nem látnak át a légkör azon részén, így a földfelszín távérzékelése ott lehetséges, ahol a légkör elnyelése minimális. Ezeket a tartományokat ablakoknak nevezzük. Optikai és mikrohullámú ablakokat különítünk el. Az optikai ablakon belül a látható fényt (VIS=400-700 nm), közeli infravörös (NIR=700-1300 nm), középsőinfravörös (MIR=1300-2500 nm) és a termális infravörös (TIR=3500-14000 nm) hullámhossz tartományokat értjük. A mikrohullámú ablak az 1-70 cm közötti hullámhosszt jelenti (Belényesi et al. 2008).



1.ábra: Különböző hullámhosszokon a sugárzás elnyelésének, illetve átengedésének mértéke (Belényesi et al. 2008).

2.4.2. A hőkamera jelentősége a mezőgazdaságban

A felszín megfigyelésekor észlelhetjük, hogy minden tárgynak sajátos elnyelési és visszaverési spektruma van. Ez függ a megfigyelt tárgy fizikai, kémiai tulajdonságától és a geometriai viszonyaitól. Ha a növényzetet vizsgáljuk, akkor elkülöníthetjük egymástól a különböző vegetációtípusokat, illetve az állomány fiziológiai állapotáról is információkat kaphatunk (Belényesi et al. 2008).

A hő is rendelkezik egyedi hullámhosszú sugárzással, és a hőkamerának köszönhetően rögzíteni lehet a visszaverődő fényt. A szabad szemmel nem látható sugárzás (pl. infravörös és ultraibolya) is észlelhető vele. Minden tárgynak van infravörös sugárzása, de ez hő hatására változik, hisz, ha melegebb a vizsgált felület, akkor nagyobb az infravörös sugárzása, így a sugárzás mértékét megtudhatjuk a kamerák segítségével, és később meg lehet belőle állapítani a vizsgált tárgy hőmérsékletét. A mezőgazdaságban is egyre elterjedtebb, hogy a növényeket így vizsgálják annak érdekében, hogy megtudják, az állományuk fertőzött-e, milyen a vízigénye vagy milyen stressznek van kitéve. Egyre népszerűbbek a drónokra szerelhető hőkamerák, hisz így taposási kár nélkül, és a nehezen elérhető területeken is könnyedén megvizsgálhatjuk a termesztett növényeinket. Ezáltal olyan új információkat tudhatunk meg, amit eddig nem értünk el, vagy csak pontatlanul mérhettünk. Az eddig említett okok miatt a precíziós gazdaságok egyik alapfelszerelésévé váltak a hőkamerák (Török 2021).

2.5. A napraforgó termesztése és igényei

2.5.1. Napraforgó jelentősége

Magyarországon 2021-ben 663 491 hektáron termesztettek napraforgót (KSH adatok 1) és 1.8 millió tonna termést takarítottak be (KSH adatok 2).

A napraforgó termése 35-56% olajat tartalmaz. A kaszatokban lévő olajok 29,3-39,8 kJ/g energiát tartalmaznak, így jelentős élelmiszeripari alapanyag. Továbbá a takarmányozásban is jelentős szerepe van, az olajkinyerést követően keletkező olajpogácsa ugyanis állati takarmányként hasznosítható. 100 kg napraforgó kaszattól 30 kg olajpogácsa nyerhető ki. Mindemellett kozmetikai és gyógyászati alapanyag is, illetve az energiaiparnak termesztett biomasszaként is hasznosíthatjuk (Beke et al. 2011).

2.5.2. A napraforgó termesztési igényei

A napraforgót mind a 6 szántóföldi termőhelyi kategóriában lehet termesztani, de eltérő terméshozammal és beltartalmi értékekkel (I. Csernozjom talajok, II. Barna erdőtalajok, III. Kötött réti talajok, IV. Laza és homoktalajok, V. Szikes talajok, VI. Sekély rétegű, erodált talajok). Fogékony a betegségekre, így a visszakerülési ideje ugyanazon helyre 5 év. Igen jó előveteménynek számítanak az őszi kalászosok és a tavaszi árpa. Gyommentes kukorica is lehet előveteménye, de cukorrépa, burgonya, kender, len és paradicsom, az azonos kórokozók miatt nem. A pillangós előveteményt is kerülni szokták, mert a gyűjtött nitrogénből nagy a nitrogén felvétel, mely a lazább szövetek következtében a gombás fertőzések lehetőségét növelheti (Beke et al. 2011). A napraforgó vetési ideje április I-II. dekádja, ilyenkor a talaj hőmérséklete már 10 °C-os a magágy mélységében is. A tőszám 50-55 000 tő/ha, de intenzívebb termelés mellett 55-65 000 tő/ha is elfogadható. A vetés mélysége a talajtípustól függ (kötött talaj 4 cm, közép-kötött talaj 5 cm és homoktalaj esetén 6-8 cm) (Megyes 2013). A napraforgó kaszattermés előállításához a talajból tápanyagokat vesz fel (1 tonna kaszatterméshez kell nitrogénből 41 kg/t, foszforból 30 kg/t, káliumból 70 kg/t, mészből 24 kg/t és magnéziumból 12 kg/t) (Füleky & Sárdi 2014). A napraforgó leggyakoribb betegségei közé sorolhatjuk a peronoszpórát (*Plasmopara halstedii*), a diaportés szárkorhadást (*Diaporthe helianthi/Phomopsis helianthi*), a fómás szárfoltosságot (*Leptosphaeria lindquistii/Phoma macdonaldii*) és a fehérpenészes rothadást (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Megyes 2013). Állati kártevőiből kiemelkedőek például a drótféreg (*Agriotes spp.*), a sároshátú bogár (*Opatrum sabulosum*), a hegyesfarú barkó (*Tanymecus palliatus*) és a fekete barkó (*Psallidium maxillosum*). A betakarításra szeptember III. dekádjában kerül sor (Beke et al. 2011).

2.5.3. Napraforgó ökológiai igényei

Tenyészedőszaka során 500-550 mm vizet is felvehet a talajból. A napraforgónak mélyre hatoló, nagy kiterjedésű gyökérrendszere van, így képes a mélyebb talajrétegekből is vizet felvenni (Kocsisné Molnár et al. 2013). A talajfelszíntől számítva akár 1,5 méteres mélységben is képes ezt megtenni. Az átlagos napi vízfelhasználása a fejlődésével együtt növekszik, de általánoságban elmondható, hogy a növény keléséig napi 0,5-0,7 mm vízre van szüksége. A virágzás és szemtelítődés között napi 6-8 mm vízszükségletre is emelkedhet az igénye. A hőmérséklet emelkedésével a vízigény is növekszik (http 2). A legtöbb vizet a tányérképződéstől egészen a virágzás végéig használja fel. A virágzás előtt és után a kaszatok fejlődése, valamint az olajtartalom alakulása szempontjából a víz mennyisége meghatározó

(Beke et al. 2011). Június elejétől egészen július elejéig a napraforgó 200 mm vizet fész fel, ami a teljes vízigényének a 40%-a. A virágzás végétől kezdődő kéthetes időszakban, amikor kaszattelítődés folyik, 120-150 mm vízre is szüksége lehet, ami a teljes vízkészletének 25-30%-a (Kocsisné Molnár et al. 2013).



4. kép: A napraforgó vízigénye a különböző fenológiai fázisokban (Piukovics 2022).

Általában a tenyészidőszak nagyobb részében a tényleges párolgás több, mint az átlagosan lehullott csapadék (Beke et al. 2011). Transzspirációs koefficiense 470-550 l/1 kg szárazanyag között van (Kocsisné Molnár et al. 2013). A vízhiány nagy problémákat tud okozni a termés mennyiségének és minőségének alakulásában.

A napraforgó számára a csapadékosabb, melegebb áprilisi időjárás, az átlagos csapadékmennyiséggel jellemezhető május és június kedvez, a kaszatok fejlődéséhez és éréséhez pedig a 20-30 °C között alakuló júliusi, augusztusi és szeptemberi átlaghőmérséklet az ideális (Beke et al. 2011). Az elmúlt években azonban minden hónapban, főleg a nyári időszakban, az optimálisnál magasabb hőmérsékletet tapasztalhattunk. A március és az április szárazabbá vált, ami nem feltétlenül kedvez a napraforgónak, de a melegebb időjárás miatt a növények aktív időszaka korábban elkezdődik. Késő őszi lehűlések előfordulhatnak, így az érzékeny fajták fagykára jelentős lehet. Több hőségnapra, aszályokra kell számítani, melynek következtében a párolgás megnő, a vízmérleg egyensúlya feldől. A napraforgó ugyan jól bírja a meleg időszakokat, de a csapadék időbeli és eloszlási bizonytalansága miatt biztonságos termesztése labilissá válhat (Kohout 2022).

3. A vizsgálatok módszerei

3.1. Laboratóriumi növénynevelés

Laboratóriumi körülmények között neveltünk napraforgókat. A csíráztatás csíráztató tálca segítségével folyt, majd egy hét elteltével üvegedényekbe helyeztük át a növényeket.



5. kép: Növények csíráztatása a csíráztató tálca segítségével. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotó).

A hetedik hétig neveltük tovább az edényekben, melyekben a kísérletnek megfelelő tápoldat keverékeket helyeztük el (1. táblázat). A tápoldatokat heti rendszerességgel újra kevertünk, és lecseréltük az edényekben.

1. táblázat: A kísérletben használt tápanyag mennyiségek.

	Full teljes tápoldat	N10 nitrogén hiány	N50 nitrogén hiány	N150 nitrogén többlet	B10 bórhiány	B50 bórhiány	B75 bórhiány
Nitrogén mennyisége (ppm)	252	25,2	126	378	252	252	252
Bór mennyisége (ppm)	0,5076	0,5076	0,5076	0,5076	0,05076	0,2538	0,3807

Az edényeket fóliával vontuk be az algásodás elkerülésének érdekében, tetejüket pedig 3 lyukkal láttuk el, melyek közül az egyikbe magát a növényt helyeztük el úgy, hogy a gyökérzete teljesen az oldatba ért, így megfelelő mennyiségű tápoldatot tudott a napraforgó felvenni. A növény stabilitása érdekében szivaccsal tekertük körbe a szárát, de úgy, hogy a gyökérzettel ne érintkezzen az elrothadás veszélye miatt. A másik kettő lyuk a gázcserét tette lehetővé. A nevelés sikeressége érdekében optimális hőmérsékletet és páratartalmat biztosítottunk, továbbá állandó fényintenzitással neveltük fel a napraforgókat. A laboratóriumi nevelés lehetővé tette számunka, hogy optimális körülményeket teremtsünk, így csak az általunk okozott stresszhatások érték a növényeket. A biztosított körülmények és tápoldat keverékek miatt a növények fejlődése megfelelő ütemben zajlott, de néhol a hiánytünetek már észlelhetőek voltak a hatodik héten is. Sűrű gyökérzettel rendelkeztek, leveleik és hajtásaik a fejlődési szakaszoknak megfelelő méretűek voltak.



6-7. kép: Napraforgó optimális fejlődése. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

28 db napraforgót neveltünk fel két sorozatban tápoldat koncentrációnként négy-négy növényvel. Mindkét sorozatban négyes csoportokba osztottuk a növényeket: volt egy kontroll növényünk, egy hőstresszelt és a maradék kettőt pedig polietilén-glikol segítségével előidézett eltérő mértékű szárazságstressznek tettük ki a hatodik héten történő mérések után. A hetedik héten a méréseket megismételtük. A stresszhatások összetételét a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A különböző tápoldat keverékekben fejlődő növényeken alkalmazott négyféle stresszkezelés.

Növények	Full	N10	N50	N150	B10	B50	B75
Azonosítókód: 1	Nincs plusz abiotikus stressz, de tápanyaghiány az adott tápoldat alapján van.						
Azonosítókód: 2	PEG100 kezelés: a tápoldat ozmotikus potenciálja: -0,148348						
Azonosítókód: 3	PEG200 kezelés: a tápoldat ozmotikus potenciálja: -0,490673						
Azonosítókód: 4	Hőstressz						

3.2. A tápoldat összeállítása és összetevői

A mezőgazdaságban gyakran előforduló mikro- és makroelem hiánytüneteivel, illetve többletével foglalkoztunk a kísérletben, mely során arra törekedtünk, hogy a természetben is előforduló tápanyagzavaros állapotokat idézzünk elő, így makroelemnek a nitrogént választottuk, és annak hiányának, illetve többletének hatásait vizsgáltuk. A mikroelemnek közül a bórt és a hiányának negatív hatásait tanulmányoztuk.

A tápoldat keverékek összeállítását a törzsoldatok kikeverésével kezdtük. A törzsoldatokban minden olyan tápelem benne van, ami elengedhetetlen a növények fejlődése szempontjából. (A tápanyagok összetevőit a mellékletek 1. táblázata ismerteti.) 5 literes Erlenmeyer lombikokban készítettük el az oldatokat. A tápoldatokhoz szükséges törzsoldatmennyiségeket a mellékletekben a 2. táblázat tartalmazza. A törzsoldat megfelelő mennyiségét a lombikokba helyeztük és utána desztillált vízzel öntöttük fel őket, hogy pontosan 5 liter oldatunk legyen. A tápanyag összetételnek köszönhetően már 6-7 hetes korban jelentkeztek a hiánytünetek. A tápoldatokat 0,7 literes edényekben lévő 28 db napraforgó alatt heti gyakorisággal kellett pótolni. Azt tapasztaltuk, hogy a növény fejlődésének előrehaladtával egyre sűrűbben kellett a tápoldatokat cserélni, mivel az idő múlásával hamarabb felhasználta a tápanyagokat.



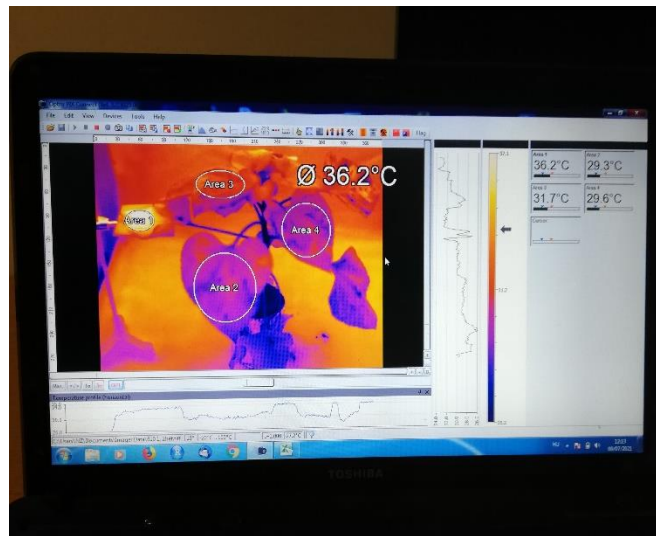
8-9. kép: Törzsoldatok készítése. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

3.3. Műszerek, mérések és az adatfeldolgozás menete

A mérések során egy optiris PI infravörös kamera volt segítségünkre. Az eszköznek köszönhetően a kisebb hőmérsékleti különbségeket is tudtuk rögzíteni. Az elkészült képeket optiris PIX Connect szoftveren keresztül dolgoztuk fel úgy, hogy a napraforgó csúcsi, oldalsó és alsó, valamint egy fehér lapkára helyezett levelét is megvizsgáltuk. A hatodik és hetedik héten is megismételtük a méréseket.



10-11 (balra: 10. kép, jobbra: 11. kép): A bal oldali képen a mérések folyamata látható. A jobb oldalon a fehér lapkára helyezett napragorgó levél mérése. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).



12. kép: A szoftver segítségével történő adatfeldolgozás. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotó).

Infravörös gázanalizátoros módszer (CIRAS-2 műszer, PPSsystems, UK gyártó) segítségével a levelek párologtatásának intenzitását is mérni tudtuk. A 6. és a 7. héten is elvégeztük a méréseket azonos hőmérsékleten és fényintenzitás mellett.



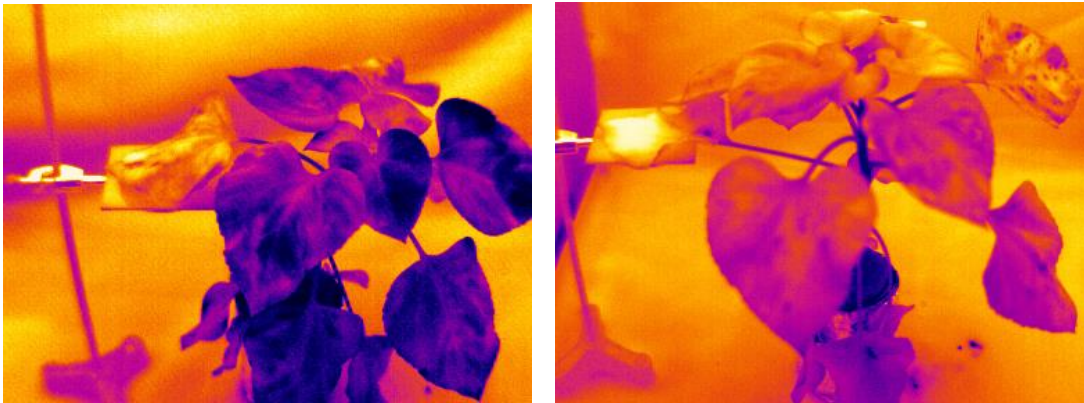
13. kép: CIRAS-2 műszerrel történő mérés mente. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotó).

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A napraforgó leveleinek hőmérséklet elemzése hőkamerás képek segítségével

4.1.1. Kontroll és tápanyaghiány, illetve -többletes napraforgók

Az egyes kóddal jelölt napraforgókat plusz abiotikus stresszhatás nem érte. A kontroll csoport (full-1) tápanyaghiányt sem kapott, viszont bórhiányt (B10-1, B50-1, B75-1), nitrogénhiányt (N10-1, N50-1) és nitrogén többletet (N150-1) bizonyos növények kaptak (melléklet 3-9. táblázat). A napraforgók átlagos felső levélhőmérséklete a 6. hétről a 7. hétre tápanyagstresszelt és nem stresszelt környezetben is emelkedett, viszont a párolgás mértéke csökkent (melléklet 3-9. táblázat). Bórhiány hatására a transzspiráció csökken (Wimmer & Eichert 2013), ebből az következik, hogy a sztómák záródnak, és így a növény hőmérséklete emelkedni tud. Más kutatások is azt bizonyítják, hogy nitrogénhiány hatására a levélhőmérséklet növekszik (Al-Abbas et al. 1972).

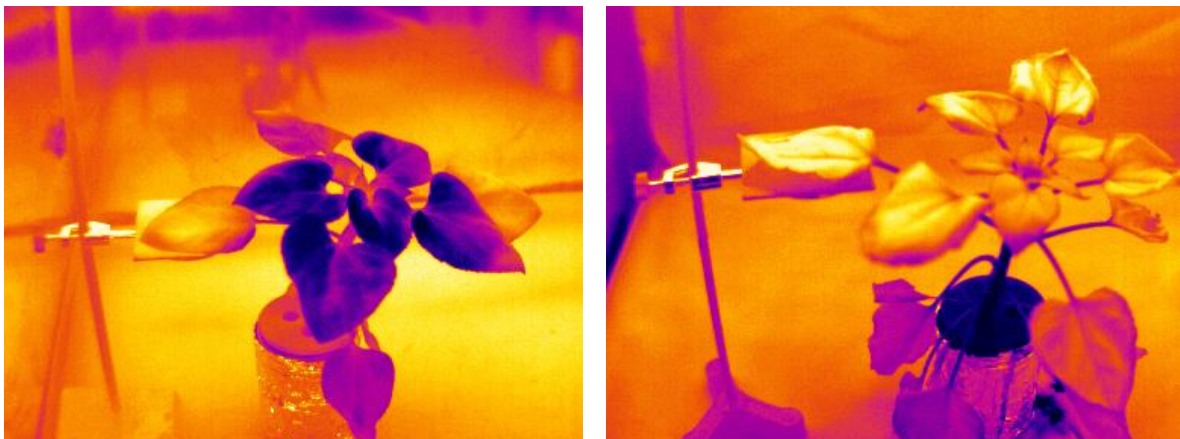


14-15. kép (balra: 14. kép, jobbra: 15. kép): Bal oldalon 6 hetes bórhiányos (B10-1) napraforgó látható, míg jobb oldalon ugyanaz a növény hét hetesen. A levelek hőmérséklet emelkedése jól megfigyelhető. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

4.1.2. Gyenge vízhiány

Növényeinket polietilén-glikol (PEG100) alkalmazásával szárazságstresszeltük, és 2. kóddal jelöltük őket. A PEG100 kezelések tápoldatának ozmotikus potenciálja $-0,148348$. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a szárazságstressz hatására a levelek átlagos hőmérséklete emelkedett, ezzel párhuzamosan a párologtatás mértéke csökkent (melléklet 3-9. táblázat), mivel a vízhiányra a napraforgó sztóma záródással reagált (Hamlyn & Ilkka 2003).

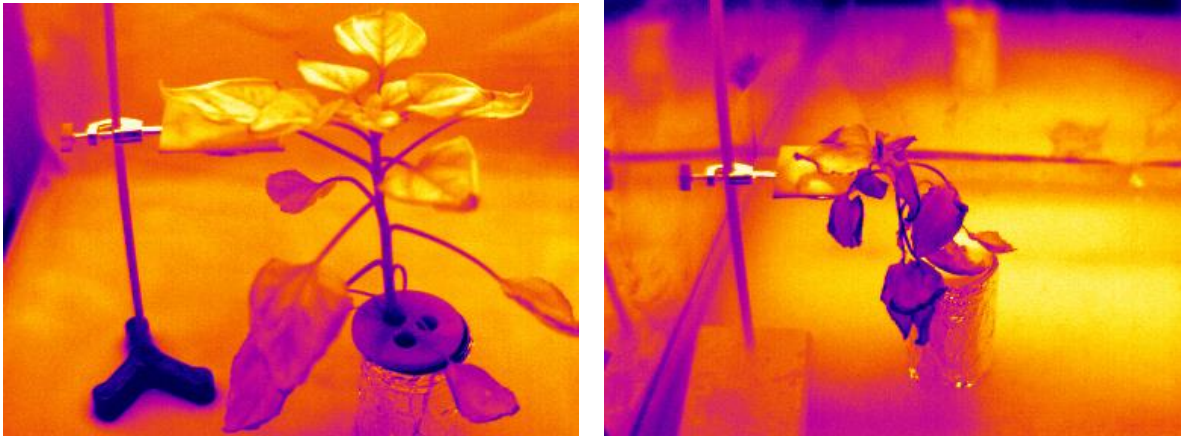
A kontroll csoport esetében (full-2), amit csak szárazságstressz ért, (tápanyaghiány vagy többlet nem), szintén 4-5 °C-kal nőtt az átlagos hőmérséklet (melléklet 3. táblázat), ugyanúgy, mint Yasushi et al. 1984-ben publikált kísérletében (Yasushi et al. 1984). Szárazságstresszelés után olyan összefüggést is megállapítottunk egyes növényeknél, hogy a felső levélállásban lévő levelek hőmérséklete nagyobb mértékben növekedett, mint az alsó leveleké pl.: B10-2, B50-2, B75-2 (melléklet 4-6. táblázat), és ez a jelenség nitrogén hiánnyal nevelt napraforgóknál (N50-2) is megfigyelhető volt (melléklet 8. táblázat). A nitrogén többlettel nevelt napraforgónál drasztikusabb hőmérsékletváltozást tapasztaltunk, hisz a felső levelek esetében ezen értékek 6 °C-kal, míg az alsóbb levelek csak 2 °C-kal emelkedtek (melléklet 9. táblázat). Ez alapján a felső levelek gyorsabban és súlyosabban reagálnak a stresszre. A felső levelek vízpotenciálja a legalacsonyabb (Csiszár et al. 2019), így valószínűleg a szárazságstressz miatt a sztóma vezetőképessége és a párolgás is csökken, így nagyobb hőmérséklet növekedésre volt képes a növény.



16-17. kép (balra: 16. kép, jobbra: 17. kép): Bal oldalt 6 hetes nitrogén többlettel (N150-2) nevelt napraforgó, míg jobb oldalt ugyanaz a növény 7 hetesen szárazságstresszelést követően. Szabad szemmel is jól látható a hőmérsékletváltozás. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

Ha a kontroll csoporthoz hasonlítjuk az eredményeinket, akkor olyan összefüggéseket láthatunk, hogy a bórhiánnyal (melléklet 4-6. táblázat) és nitrogénhiánnyal (melléklet 7-8. táblázat), illetve nitrogén többlettel (melléklet 9. táblázat) nevelt növényeink leveleinek átlagos hőmérsékletét nem befolyásolta nagymértékben a tápanyaghiány (Carrol et al. 2017), viszont szárazságstressz után a bórhiányos növények (melléklet 4-6. táblázat) levélhőmérséklete a kontrollhoz (melléklet 3. táblázat) képest némileg csökkent. Ez azzal magyarázható, hogy a bórhiány a növények vízhiánystresszre adott reakcióját befolyásolja. Szárazságstressz során a

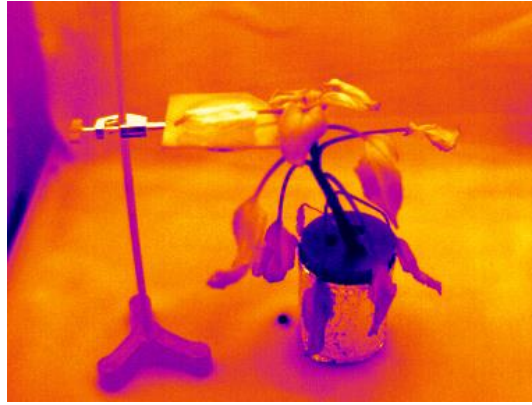
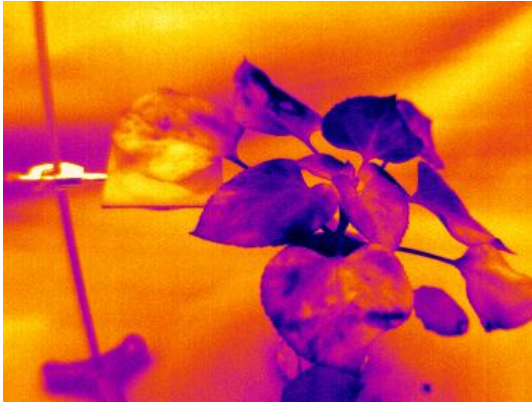
sztómak reakcióképessége csökken (Wimmer & Eichert 2013). Ezt az összefüggést a nitrogénhiánnyal (melléklet 7-8. táblázat) nevelt növényeknél is láthatjuk, ugyanakkor a nitrogéntöbblettel (melléklet 9. táblázat) nevelt napraforgók levélhőmérséklete nem változott. A nitrogén csökkenti az abiotikus stressz káros hatásait. Valószínűleg ezért nem tapasztaltunk jelentős változást (Waraich et al. 2012).



18-19. kép (balra: 18. kép, jobbra: 19. kép): Bal oldalt a 7 hetes szárazstressznek kitett kontroll (full-2) napraforgó látható. Jobb oldalt a 7 hetes szárazságstresszelt és bórhiánnyal (B50-2) nevelt napraforgó látható. A képeken a levélhőmérsékletben mutatkozó különbségek figyelhetők meg. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

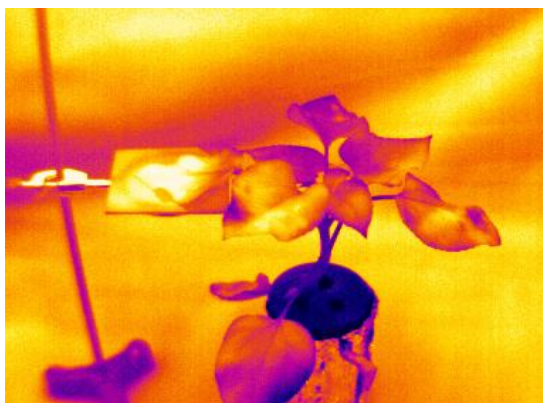
4.1.3. Erős vízhiány

A 3-as kóddal jelölt növényeinket is szárazságstresszeltük, de a 2-es csoporthoz képest itt a PEG200 kezelésnek a tápoldat ozmotikus potenciálja $-0,490673$, vagyis nagyobb mértékű szárazságstressznek voltak kitéve a napraforgók. A stressznek kitett növényeink átlagos levélhőmérséklete itt is növekedett a 6. héthez képest a mért adatok alapján (melléklet 3-9. táblázat), mert sztómazáródás következett be, ahogy azt Hamlyn és Ilkka 2003-ban kimutatta (Hamlyn & Ilkka 2003). Több esetben is a vízhiány hatására a levelek elszáradtak, emiatt a transzspiráció csökkent, így a sztómák záródtak, és a levélhőmérsékletek emelkedni kezdtek.



20-21. kép (balra: 20. kép, jobbra: 21. kép): Bal oldalt 6 hetes nitrogénhiánnyal (N50-3) nevelt napraforgó. Jobb oldalt 7 hetes szárazságstresszelt és nitrogénhiánnyal (N50-3) nevelt napraforgó. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

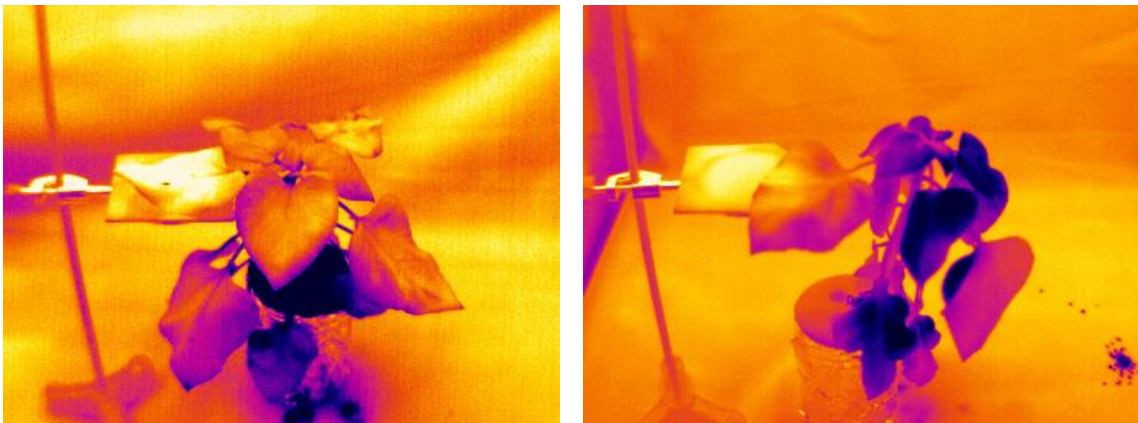
Megfelelő bór utánpótlás csökkenthetné a vízstresszből fakadó károkat (Neves et al. 2019). A nitrogénellátottság és a vízstressz között nem találtunk egyértelmű összefüggést, de az alacsony nitrogénszint növeli a sztóma érzékenységét szárazsággal szemben (Pirasteh-Anosheh 2016). Jelen tanulmány azt mutatja, hogy vízstressz során és eltérő nitrogén ellátottságok mellett a levélhőmérséklet értékek nem egyértelműen változnak, hisz a nitrogénszint emelkedésével nem mindig nő a levél hőmérséklete (Parameswaran 2000). Intenzívebb vízhiány esetén viszont nem jelenthetjük ki kétséget kizáróan, hogy a levélhőmérséklet csökkenne a kontrollhoz képest, úgy, mint gyengébb vízhiánynál tapasztaltuk. A vízhiány dominánsabban hat a napraforgóra, mint a tápanyaghiány, ezért lehet, hogy az adataink a kontrollhoz képest nem térnek el egyértelműen. Tehát a napraforgó nagyobb vízstressz során hasonlóan reagált, mint a kontroll csoport, hiába volt plusz tápanyagstressznek kitéve.



22-23. kép (balra: 22. kép, jobbra: 23. kép): Bal oldalt 6 hetes nitrogénhiánnyal (N10-3) nevelt napraforgó. Jobb oldalt 7 hetes szárazságstresszelt és nitrogénhiánnyal (N10-3) nevelt napraforgó. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

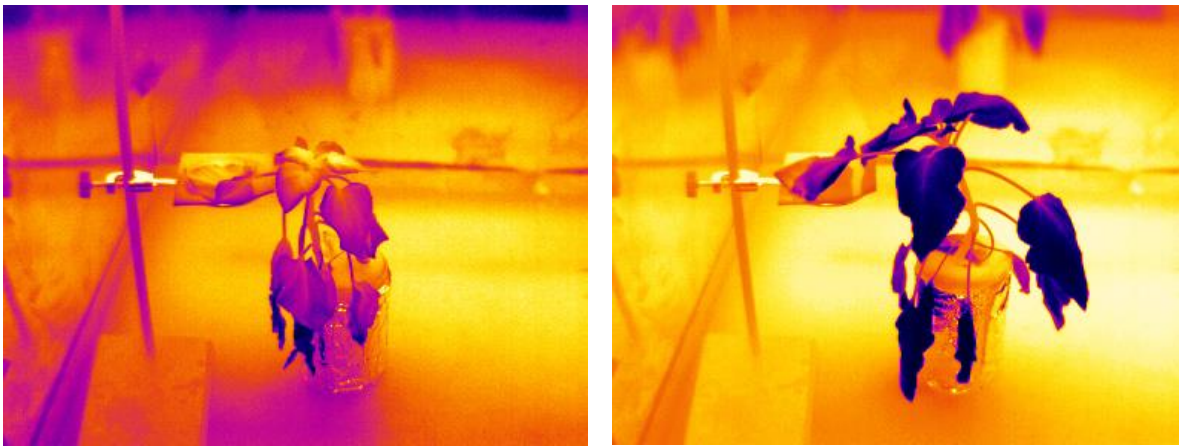
4.1.4. Hőstressz

A 4-es kóddal jelölt napraforgóinkat a 6. hét után hőstressznek tettük ki. A hőstresszt követően a növények leveleinek átlaghőmérséklete emelkedett, viszont bizonyos esetekben csökkenést tapasztaltunk, pl. a bórhiánnyal nevelt napraforgóknál (B10-4, illetve a B75-4) a felső levelek átlaghőmérséklete 3-4 °C-kal csökkent (melléklet 4., 6. táblázat). Nagyobb mértékű nitrogénhiány (N10-4) esetén is tapasztaltuk, hogy a felső és oldalsó levelek hőmérséklete csökkent hőstresszelést követően (melléklet 7. táblázat), míg az alsó leveleknél a hőmérséklet nőtt. A felső levelek jobban ki vannak téve a hőstressznek, így sztómáikat kinyitják, ezért tapasztalhatunk ott levélhőmérséklet csökkenést, míg az alsó levelek hőmérséklete nő, hisz a növénynek kevesebb energiát kell fektetnie a hőhalál kompenzálására, így sztómáik kevésbé zártak. A magas hőmérsékletet egy ideig képes tűrni a növény, de ha a tűrés határához ér, akkor elkezd intenzívebben transzspirálni (Firmansyah & Argosubekti 2019). A nitrogéntöbblettel nevelt napraforgók levélhőmérsékletei nem változtak nagy mértékben, így elmondhatjuk, hogy a nitrogén a hőstressz kezelését segíti (Waraich et al. 2012). A hőstressz miatt a növények a sztómáikat kinyitják, de ez gyakran jár együtt szárazságstresszel is, ilyenkor viszont sztómáikat nem nyitják ki azért, hogy a vízvesztésüket megtartsák. Ha a két eset együttesen lép fel, akkor a szárazságstressz lesz dominánsabb, és a levél hőmérséklete növekszik (Mittler 2006). Az eltérő levélhőmérsékletek emiatt is kialakulhattak.



24-25. kép (balra: 24. kép, jobbra: 25. kép): Balra 6 hetes bórhiánnyal (B75-4) nevelt napraforgó, míg jobb oldalt 7 hetes bórhiánnyal (B75-4) nevelt és hőstresszelt napraforgó hőkamerás képe látható. A felső levelek hőmérséklet csökkenése jól látható. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

Ha a hőstresszelt kontroll napraforgó adatait (full-4) összehasonlítjuk a bórhiánnyal (B10-4, B50-4) nevelt és szintén hőstresszelt növényekkel, akkor észrevehetjük, hogy a kontrollhoz képest a levél átlagos hőmérséklete csökken. Nitrogénhiány esetén is azt tapasztaltuk, hogy a hőstresszelt kontroll csoporthoz (melléklet 3. táblázat) képest a nitrogénhiányos (melléklet 7-8. táblázat) napraforgók leveleinek hőmérséklete csökkent, ahogyan a nitrogéntöbblettel (melléklet 9. táblázat) nevelteké is. Tehát a hőstressznek és a tápanyagstressznek kitett levelek hőmérséklete alacsonyabb, mint a csak szárazságstressznek kitett leveleké.

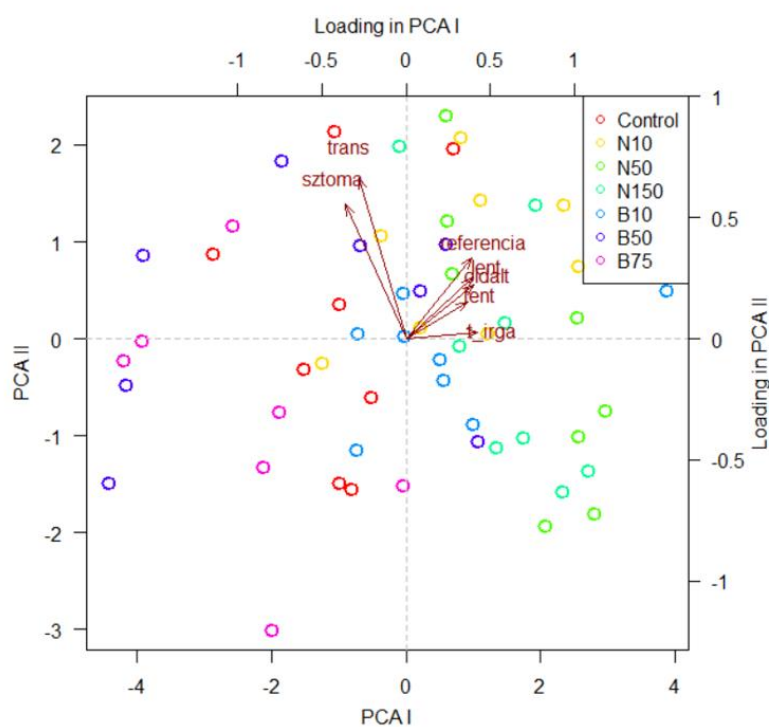


26-27. kép (balra: 26. kép, jobbra: 27. kép): Bal oldalon hőstressznek kitett 7 hetes napraforgó látható (full-4), míg jobb oldalon bórhiányosan nevelt és hőstresszelt napraforgót lehet látni (B10-4). A levelek hőmérséklet különbsége jól látható. Gödöllő, MATE, 2021 (saját fotók).

4.2. Főkomponens-analízis

A napraforgókat eltérő tápanyaghiány, illetve -többlet mellett neveltük fel, és később egyéb stresszeknek is kitettük. R Stúdió programmal az adatokat ábrázolni tudtuk. Az információk értelmezésére PCA-t (Principal Component Analysis) használtuk, a variancia segítségével pedig az eredmények közötti kapcsolatokat összehasonlítottuk. A PCA a változókból képes új komponens adatokat ábrázolni, és ezeket két tengely mentén jeleníti meg, míg az eredeti változókkal való összefüggést a nyilak iránya és mérete ismerteti. Az ábrákat egyes és kettes tengelyre tudjuk felosztani. Az egyes tengely maga az x tengely, így, ha az alapján tudjuk csoportosítani az eredményeket, akkor bal és jobb oldali részt tudunk elkülöníteni, illetve összehasonlítani. A második tengely az y, ahol felső és alsó rész alapján tudjuk csoportosítani az eredményeinket. Az ábrákon lévő nyilak iránya mutathat jobbra vagy balra, illetve fölfelé vagy lefelé.

A 2. ábra alapján a sztómakonduktancia vagyis a sztómák átjárhatósága és a transzspiráció egy irányba mutat, tehát a sztómakonduktancia és a transzspiráció együtt növekszik. Az 1. tengelyhez képest a levélhőmérséklet eredmények láthatóak. Az ábráról jól leolvasható, hogy a transzspiráció igen magas, és ezzel szemben a napraforgó levélhőmérsékletei alacsonyabbak. Ez az összefüggés akkor releváns, amikor a levélhőmérsékleteket vizsgáljuk, vagyis ahol a transzspiráció magas, ott a levelek hőmérséklete alacsonyabb lesz (Kimball & Bernacchi 2006). Továbbá látható a 2. ábrán az is, hogy bizonyos kezelések elkülönülnek egymástól. Az x tengely alapján tudjuk az eredményeinket jól csoportosítani, hisz a piros színnel jelölt kontroll az ábra bal oldalán, annak felső és alsó részén egyaránt megjelenik, ugyanúgy, mint a bórhiányos növények (B50-sötét kék, B75-lila), viszont a nitrogénhiányos, illetve – többletes növények (N10-sárga, N50-zöld, N150-türkiz) az ábra jobb oldalára húzódnak. Közülük az N10 (sárga) csak az ábra felső jobb oldali részén helyezkedik el, míg N50 (zöld) és N150 (türkiz) az ábra jobb oldali részén felül és alul is megtalálható. Az N10-es (sárga) kezelések a hőmérséklet eredményeiből generált nyilak irányában helyezkednek el, vagyis a levélhőmérsékletei magasabbak a többi csoporthoz képest (Al-Abbas et al. 1972). A kontroll (piros) növények nem kaptak tápanyagstresszhatást, így ők működnek a legegészségesebben. A transzspiráció és a sztómakonduktancia a kontroll (piros) felé mutat, így arra találhatóak az egészségesebb növények. A magasabb transzspiráció és sztómakonduktancia jobb működést, hatékonyabb fotoszintézist jelent, hiszen a fotoszintézisben hatékonyabbak, hiszen jobban nyitva vannak a sztómák, nincs gátló hatás. Az ábra alapján elmondhatjuk, hogy a nitrogénhiányos napraforgók a tápanyagstresszt nehezebben tolerálták, mint a bórhiányos napraforgók.

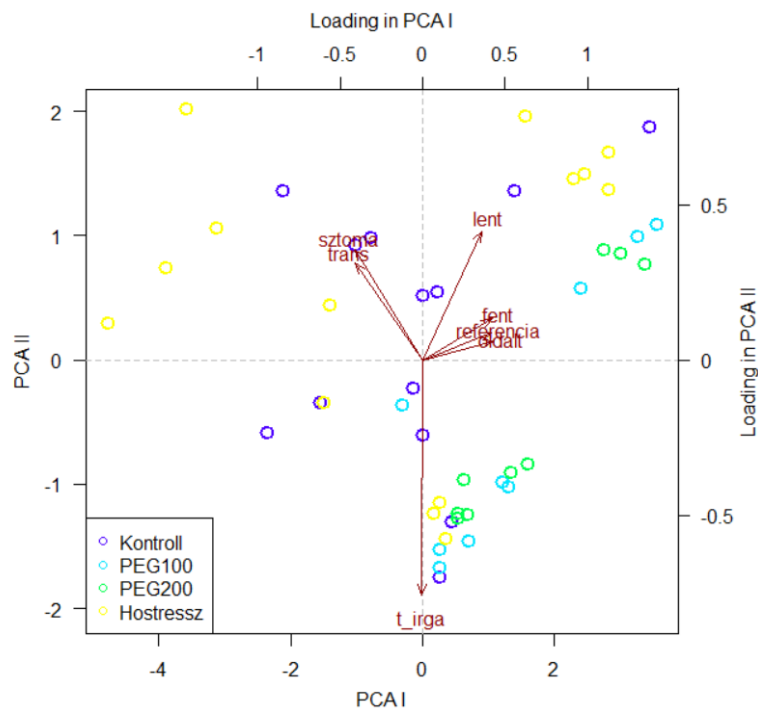


2. ábra: Tápanyaghiányt, illetve többletet kapott napraforgó eredményeinek ábrázolása főkomponens-analízis módszerrel.

A 3. ábrán látható, hogy az abiotikus stressznek való kitételt követően a mérések hogyan változtak. A stresszhatások alapján csoportosítottuk az eredményeket. A vízhiánystressz (zöld, türkiz) az x tengelyen jobb oldalon alul és felül jelenik meg, és a jobb felül elhelyezkedő pontok pozitív összefüggést mutatnak a levélhőmérséklet adatokkal, viszont az ábra alsó jobb oldalán is láthatóak kezelések. A két csoport elválását az okozhatja, hogy a hetedik hétre a vízhiánystressz miatt bizonyos levelek elszáradtak/elhaltak, ami miatt nem tudtak megfelelő mértékben transzspirálni a növények. Ez is bizonyítja, hogy a vízstresszre a napraforgó sztómazáródással reagál, így a transzspiráció csökken, a levélhőmérséklet pedig nő (Sadras et al. 2017).

A sztóma és a transzspiráció bal felső irányba mutat, ahol a kontroll és hőstresszelt levélhőmérséklet adatok egy része is megtalálható. A hőstresszelt növényeknél növekedett is a transzspiráció, hisz a stressz hatására kompenzációs céllal nőtt a vízfelvétel. A levélhőmérséklet csökkenéséhez nyitott sztómákra van szükség, hogy a párolgás mértéke növekedhessen, viszont hőstressz hatására a levelek hőmérséklete nőtt. Azonban az ábrán az is észrevehető, hogy a lenti

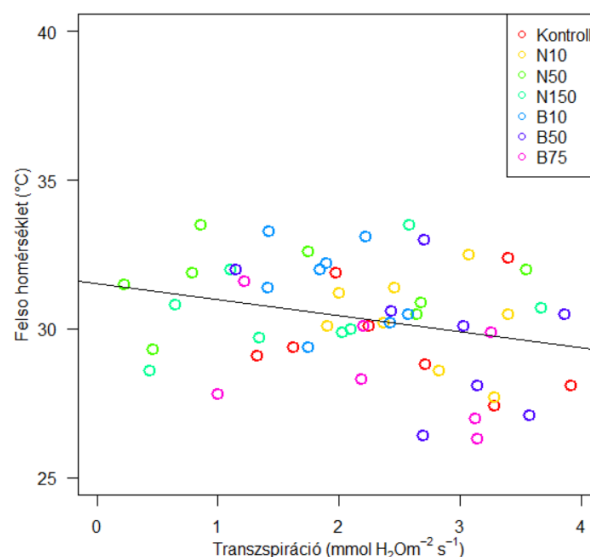
csoport elkülönül, melynek oka az lehet, hogy a levelek árnyékolt pozícióban helyezkedtek el, és így kisebb mértékben voltak megvilágításnak kitéve. Minél magasabban vannak a levelek, annál jobban ki vannak téve a sugárzásnak. A hőstressz együtt járhat szárazságstresszel is, ilyenkor a sztómák zárva maradnak (Mittler 2006). A T_irga növények levélhőmérséklete viszont nem a lámpák alatti hőkamerás adatokkal egyezik meg, ugyanis ezek az egyedek a gázanalizátorban tartózkodtak, így róluk hőkamerás képeket nem lehetett készíteni. Tehát ezek a folyamatok nem egy időben mentek végebe, ezért is különülnek el az eredményeink. A T_irga a sztómakonduktanciával és a transzspirációval a legellentétebben helyezkedik el, így következtethetünk arra, hogy ahol nagyobb a hőmérséklet, ott kisebb a transzspiráció, és fordítva (Kimball & Bernacchi 2006).



3. ábra: A különböző stresszhatások ábrázolása főkomponens-analízis módszerrel. Kontroll=nincs plusz abiotikus stressz, PEG100=peg 100-as beállítású vízhiány, PEG200=peg 200-as beállítású vízhiány és Hostressz=hőstressz.

A 4. ábrán a felső levelek hőmérsékletét ábrázoljuk a transzspiráció függvényében; ami az x tengelyen van, annak a függvényében ábrázolom az y tengelyen szereplő változókat. Lineáris regresszió mutatja meg az összefüggést a növények párologtatási szintje és a napraforgó felső levélhőmérséklete között a tápanyagstressz következtében. A 4. ábra lineáris regressziós vonala

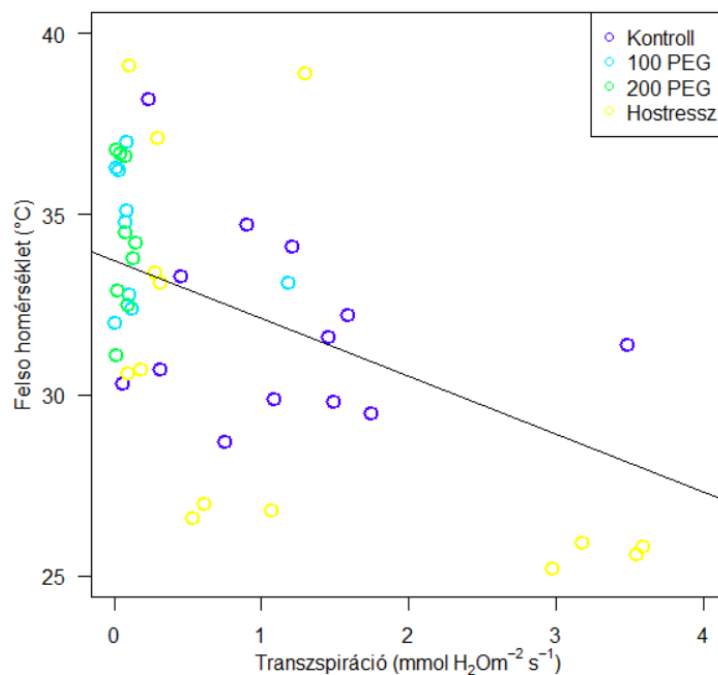
alapján negatív összefüggés van a felső levelek hőmérséklete és a transzspiráció között, vagyis a transzspiráció növekedésével a felső levelek hőmérséklete folyamatosan csökkent. A kontroll (piros) csoport a vonal közelében helyezkedik el. A lineáris regressziós vonal fölött elsősorban a nitrogénhiányos napraforgó adatok (N10-sárga, N50-zöld) jelennek meg, ebből arra következtethetünk, hogy a levélhőmérséklet értékei magasabbak, vagyis a tápanyaghiány mérsékli a levelek hőmérséklet csökkenését (Carrol et al. 2017). Ezzel szemben a bórhiányos (B75-lila) adatok a lineáris regressziós vonal alatt helyezkednek el, vagyis a levélhőmérséklet értékei alacsonyabbak, és a transzspiráció intenzívebb, viszont a bórhiánynak jobban kitett napraforgók (B10-világos kék) a lineáris regressziós vonal fölött húzódnak (Wimmer & Eicher 2013). A nitrogén többlettel (N150-türkiz) nevelt napraforgók a vonal közelében jelennek meg (Waraich et al. 2012). A lineáris regresszió akkor meghatározó, ha mindkét paramétere szignifikáns, mely összefüggést az R studio program segítségével ellenőriztük. Ebben az összefüggésben szignifikáns eredményeket kaptunk. A valószínűségi értéke (p) 0,04, ezért szignifikáns (0,05 érték alatt beszélhetünk szignifikáns összefüggésről). A vonal meredeksége -0,54, így, ha eggyel nő a transzspiráció, akkor -0,54-gyel csökken az átlagos levélhőmérséklet. Ha a transzspiráció értéke nulla, akkor 31,52 °C az átlagos levélhőmérséklet. R² értéke 0,06, ami azt mutatja meg, hogy 6 %-ban magyarázza meg az adatok eloszlásának varianciáját, vagyis 6%-ban felelős a transzspiráció a hőmérséklet változásáért.



4. ábra: A napraforgó felső leveleinek átlagos levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével a tápanyagstressz esetén. Az egyenes egyenlete: $y = 31,52 + x \cdot -0,54$.

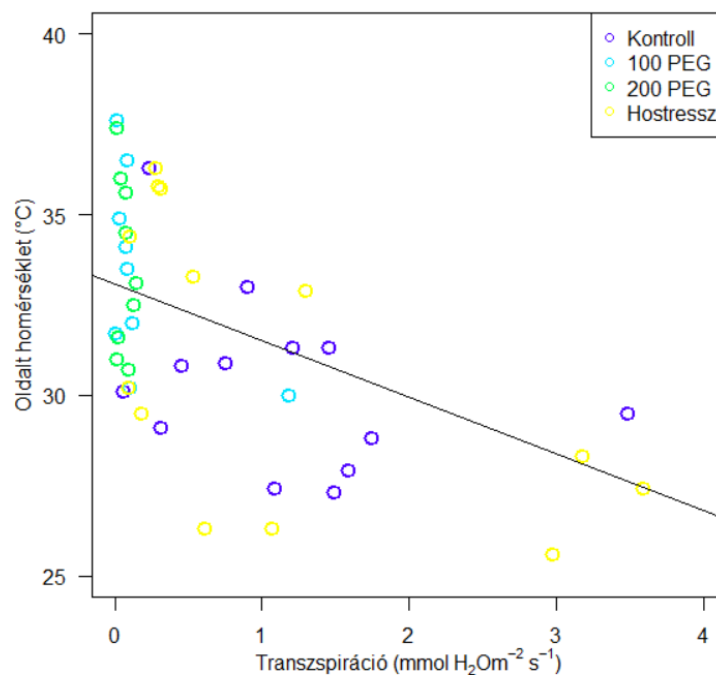
$$R^2 = 0,06.$$

Az 5. ábrán szintén lineáris regressziós vonal segítségével ábrázoljuk a transzspiráció és a felső levelek átlaghőmérséklete közötti összefüggéseket abiotikus stresszhatások után. A lineáris regressziós vonal alapján negatív összefüggés van a két vizsgált tényező között, a párologtatás növekedésével csökken a levelek átlagos hőmérséklete. A kontrollt (kék) jelölő pontok az ábra közepén a vonal közelében helyezkednek el, nem kaptak plusz abiotikus stresszhatást. Az ábra jól mutatja, hogy vízstressznek kitett növényeink transzspirációja drasztikusan alacsony, míg a hőmérséklete magas, ugyanis a vízhiányra sztómazáródással reagál a napraforgó (Sadras et al. 2017). Ezzel szemben a hőstresszelt növényeink esetében a transzspiráció értékei magasak, és az átlag levélhőmérséklet értékek csökkennek annak érdekében, hogy a hőhalált elkerüljék. Néhány hőstresszelt adat az mutatja, hogy a magas hőmérséklet ellenére a transzspiráció mértéke alacsonyan maradt. A hő- és szárazságstressz együttes fellépése miatt is lehet, hogy a transzspiráció alacsony maradt, vagy a napraforgó a magas hőmérsékletet még képes volt túrni (Mittler 2006, Firmansyah & Argosubekti 2019). Ebben az esetben is szignifikáns összefüggést tapasztaltunk ($p < 0,001$).



5. ábra: A napraforgó felső leveleinek átlagos levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével abiotikus stressz esetén. Az egyenes egyenlete: $y = 33,7 + x \cdot -1,6$. $R^2 = 0,31$.

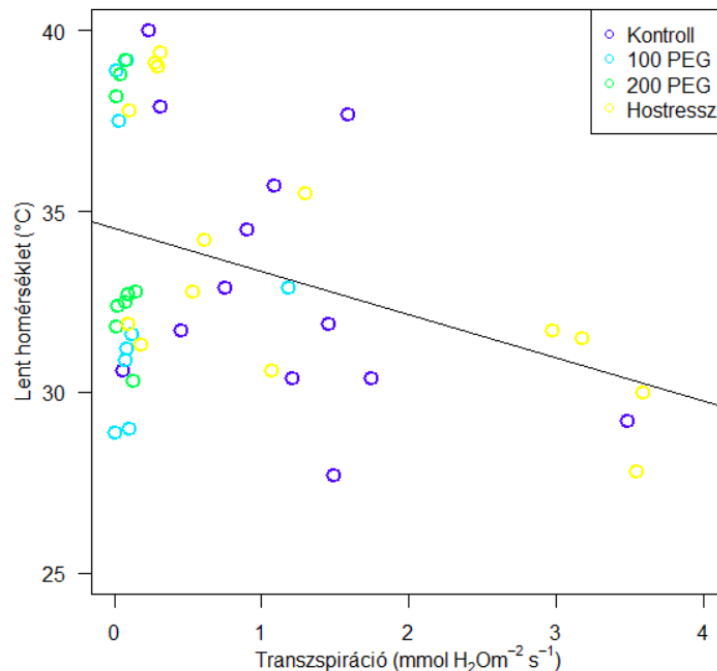
Szignifikáns összefüggést találtunk az oldalsó levelek átlaghőmérséklete és a transzspiráció között is abiotikus stresszelés után ($p < 0,001$). A 6. ábrán az oldalsó levelek átlaghőmérsékletét ábrázoljuk a transzspiráció függvényében. A lineáris regressziós vonal alapján negatív összefüggés van az összehasonlított tényezők között, mivel a hőmérséklet emelkedésével drasztikusan csökken a transzspiráció mértéke. A vízhiánynak kitett növények hőmérséklet értékei magasak, míg transzspirációjuk igen alacsony (Hamlyn & Ilkka 2003). A hőstresszelt növények egy része a lineáris regressziós vonal alatt helyezkedik el, és a hőmérsékletük igen alacsony, míg a transzspirációjuk más hőstresszelt növényekhez képest magas. Azok a növények elérték a magashőmérsékleti tűréshatárukat, így elkezdtek intenzívebben transzspirálni, és a leveleik hőmérséklete így csökkent, ezt Firmansyah és Argosubekti is kimutatta (Firmansyah & Argosubekti 2019).



6. ábra: A napraforgó oldalsó leveleinek átlagos levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével abiotikus stressz esetén. Az egyenes egyenlete $y = 33,06 + x \cdot -1,56$. Az $R^2 = 0,34$.

A 7. ábrán a napraforgó alsó leveleinek átlaghőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggést vizsgáltuk. A lineáris regressziós vonal alapján negatív összefüggés van az alsó

levél hőmérséklete és a transzspiráció között, tehát a transzspiráció növekedésével csökken az átlagos levélhőmérséklet. A víziánnyal nevelt napraforgók levélhőmérséklete igen magas, és a transzspirációs értékeik alacsonyak (Hamlyn & Ilkka 2003). A hőstresszelést követően azt várnánk, hogy a levélhőmérséklet csökken, míg a párologtatás megnő. Részben ez is történik, de a 7. ábrán azt is láthatjuk, hogy egy nagyobb csoport levélhőmérséklet adatai magasak maradtak, párologtatásuk pedig alacsony szinten van. Az alsó levelek felső levelektől eltérő hőstresszre adott reakciója magyarázható a nagyobb mértékű árnyékoltsággal és azzal, hogy kevésbé voltak kitéve a hőstressznek az alsó levelek. Szignifikáns összefüggés van az alsó levélhőmérséklet és a transzspiráció között abiotikus stresszkezelés után ($p=0,0008$).



7. ábra: A napraforgó átlagos alsó levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével abiotikus stressz esetén. Az egyenes egyenlete: $y=34,53+x*-1,2$. Az $R^2 = 0,17$.

5. Következtetések

Jelen tanulmányban a bór- és nitrogénhiány, illetve nitrogén többlettel nevelt napraforgókat vízhiány- és magashőmérsékleti stressznek tettük ki. A hőkamerás felvételektől azt vártuk, hogy minél előbb észrevegyük a kialakuló problémákat, és ezáltal időben segíthessünk a növényeken.

Arra a következtetésre jutottunk, hogy a tápanyagstressz önmagában a napraforgó levélhőmérsékleteit kevésbé befolyásolja, vagyis a 6. héten a levélhőmérséklet adatok hasonlóan alakultak, de plusz abiotikus stressz után már jelentős változásokat tapasztaltunk.

A vízhiánystresszre a napraforgó sztómazáródással védekezik, hogy csökkenteni tudja a párologtatásból fakadó vízvesztéséget. A sztómazáródás következtében a levelek hőmérséklete nő. A vízstressz komoly hatással van a napraforgó levélhőmérsékletére, hiszen akár 4-5 °C-os hőmérsékletnövekedést is előidézhet. Az abiotikus stresszhatásnak kitett, megfelelő tápanyagellátottságú kontroll csoportot a tápanyag- és gyenge vízhiánnyal nevelt napraforgókkal összehasonlítva az utóbbi csoport növényeiben már bór- és nitrogénhiány esetén is hőmérséklet csökkenést tapasztaltunk. A bórhiány hatással volt a sztóma működésére, mivel reakcióképessége csökken. Az abiotikus stressz okozta károk mérsékelten jelennek meg a nitrogén többlettel nevelt napraforgók esetében.

Jelentős vízhiánykor a levelek száradásnak indulnak, így a transzspiráció csökken, melynek hatására megemelkedik a levélhőmérséklet, illetve az intenzív vízhiány sztómazáródást indukál, ami szintén a hőmérséklet emelkedését segíti elő. Gyengébb vízhiánystressznél és tápanyaghiánynál levélhőmérséklet csökkenést tapasztaltunk a kontrollhoz képest, de intenzív vízhiánynál már a növény másképp reagál, így nagyobb vízstressz esetén és tápanyaghiány mellett nem tudjuk egyértelműen kimondani, hogy a levelek hőmérséklete csökkenne vagy nőne a kontrollhoz képest. A kontroll csoport adatai a bór- és nitrogénhiányos csoport eredményeihez hasonlóan alakultak, hisz a tápanyaghiány kevésbé bizonyult befolyásoló tényezőnek jelen esetben, így hasonló mértékben változtak a levélhőmérsékletek. Nitrogén többlettel részesített és szárazságstresszelt napraforgók levélhőmérséklet változása nem tért el a kontrollhoz képest, mivel a stresszhatást kompenzálta a nitrogén többlet.

A hőstresszt követően a levelek hőmérséklete növekedett, bár a felső levélállásban lévő leveknél tapasztaltunk hőmérséklet csökkenést is. Arra következtettünk ebből, hogy a felső levelek a hőstressznek jobban ki voltak téve, ezért intenzívebben transzspiráltak annak érdekében, hogy a levélhőmérsékletet csökkenteni tudják. A növény képes egy ideig túrni a

magas hőmérsékletet, mely idő alatt levélhőmérséklet növekedést tapasztalhatunk, de egy szint után elkezdi nagyobb mértékben párologtatni. Itt is azt tapasztaltuk, hogy a nitrogén többlet enyhíti a stressz okozta károkat. A felső és alsó állású levelek hőmérsékletértékei általában eltértek. Ez a felső levelek alacsonyabb vízpotenciáljával vagy a nagyobb mértékű stresszhatással magyarázható. Hő- és szárazságstressz együttes jelenléte esetében a szárazságstressz bizonyult dominánsabbnak.

Az adatok értelmezése során arra jutottunk, hogy a sztómakonduktancia és a transzspiráció együttes növekedése során a levélhőmérséklet csökkenése tapasztalható. Szignifikáns összefüggést találtunk a tápanyag- és abiotikus stressznek kitett felsőállású levél hőmérséklete és transzspirációja között. Továbbá az oldalsó és alsó levelek hőmérséklete és transzspirációja közötti összefüggés is szignifikánsnak bizonyult abiotikus stresszelés után.

6. Összefoglalás

A mezőgazdaságban is törekedni kell a fenntarthatóságra, hisz a változó körülmények (pl. éghajlatváltozás, népességnövekedés) ellenére megfelelő minőségi és mennyiségi termést kell termelni. A precíziós gazdálkodásba tartozik a távérzékelés, ami segítségünkre lehet ebben, mert akár fizikai jelenlét nélkül tudjuk vizsgálni a növényállományokat. A precíziós mezőgazdaság a tartós fennmaradást segítheti elő, hisz a területeket heterogénean térképezi fel, vagyis pontról pontra felméri a vizsgált terület tulajdonságait, és általa lehetőség van növényenként is feltérképezni az állapotokat, így a mezőgazdasági beavatkozásokat elég csak az érintett területeken elvégezni.

A hőkamera a fenntarthatóságot segíti elő, hisz megelőzés céljára tudjuk használni a mezőgazdaságban. A kezdődő, akár szabad szemmel nem is látható problémákat is érzékelhetjük, ezáltal időben tudunk védekezni. Az érintett területeken kevesebb hatóanyag alkalmazása is elegendő lehet. Kísérletünk célja, hogy elősegítsük a problémák időben történő észrevételét. Különböző, a mezőgazdaságban fontos szerepet betöltő tápanyag- (nitrogén, bór), illetve abiotikus stresszre (magas hőmérséklet, vízhiány) adott növényi válaszokat monitoroztuk hőkamerával 6-7 hetes napraforgó növényeken. Azt vizsgáltuk, hogy a hőkamera képekből hasznos információkat tudhatunk-e meg. A tápanyagstressz hatására egyértelmű összefüggéseket nem tudtunk megállapítani a levélhőmérséklet adatai alapján, de abiotikus stresszelés után igen. A hőkamera képekből az is láthatóvá vált, hogy a felső és alsó levelek különbözően reagálnak egyes stressztényezőkre.

A transzspiráció, sztómakonduktancia és levélhőmérséklet közötti összefüggéseket is vizsgáltunk, hisz a jövőben a párologtatás becslése fontos lehet a növényi stressz megállapításában a szántóföldi kultúrákban, különösen azokban, ahol öntözés is van. Erre jó lehetőséget adnak a hőkamerás megfigyelések. Kutatásunkban egyértelmű összefüggést találtunk a növényi lombzat hőmérséklete és transzspiráció között. Az ilyen összefüggések alapján válik becsülhetővé a növények vízleadása és ezáltal a vízhiánystressz detektálhatósága is javul.

Kutatásunk során a precíziós növénytermesztés szempontjából értékes eredmények születtek, melyek elősegíthetik a mezőgazdasági gyakorlat mindennapos kihívásaival szembeni küzdelmet, illetve lehetőséget nyújtanak a környezetkímélő és egyben gazdaságos növénytermesztés előtérbe helyezésére.

7. Irodalomjegyzék

- Al-Abbas, A. H., Barr, R., Hall, J. D., Crane, F. L. & Baumgardner, M. F. (1972): Spectra of Normal and Nutrient-Deficient Maize Leaves.: <https://docs.lib.purdue.edu/larstech/128/> (2023 március)
- Anda A. (2009): Adatgyűjtés, mérési alapok, a környezetgazdálkodás fontosabb műszerei.: https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/8457/90_eloadas.pdf?sequence=42&isAllo wed=y (2023 március)
- Antos G., Árendás T., Birkás M., Blaskó L., Farkas Cs., Gyuricza Cs., Harsányi E., Jakab P., Jolánkai M., Juhász Cs., Kadlicskó B., Kalocsai R., Lehoczky É., Megyes A., Milics G., Nyéki A., Percze A., Rátonyi T., Schmidt R., Szemők A., Szöllősi I., Tóth Z., Zsembeli J. & Zsigrai Gy. (2017): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda lap-és könyvkiadó, Budapest, 482 p.
- Balogh J., Fóti Sz., Nagy Z. & Tuba Z. (2007): Bevezetés a funkcionális növényökológiába. In: Tuba Z., Szerdahelyi T., Engloner A. & Nagy J. (szerk.): Botanika III. Bevezetés a növénytanba, algológiába, gombatanba és a funkcionális növényökológiába. Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest, 760 p., 629-752. p.
- Beke J., Bense L., Csikász T., Frank J., Horváth Z., Jóri J. I., Kapronczai I., Lajkó L., Lévai P., Romhány L., Szabó I., Szendrő P., Vágvölgyi S., Vecseri Cs., Virányi F., Walcz I. & Wendler G. (2011): A napraforgó. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 424 p.
- Belényesi M., Kristóf D. & Magyar J. (2008): Térinformatika elméleti jegyzet. Szent István Egyetem jegyzet, Gödöllő, 93 p.
- Birkás M. (2017): Talajművelési ABC. Mediaworks Hungary Zrt. Kiadó, Budapest, 293 p.
- Bratek Z., Fodor F., Király I., Nyitrai P., Parádi I., Rácz I., Rudnóy Sz., Sárvári É., Solti Á., Szigeti Z. & Tamás L. (2013): A növényi anyagcsere élettana. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 371 p.
- Brenchley, W. & Warington, K. (1927): The Role of Boron in the Growth of Plants. Oxford University Press, 41(161): 167-187.
- Carrol, D. A., Hansen, N. C., Hopkins, B. G. & DeJonge, K. C. (2017): Leaf temperature of maize and Crop Water Stress Index with variable irrigation and nitrogen supply. Springer, 35(6): 549-560.
- Csiszár J., Pécsváradi A., Ördögné Kolbert Z. & Fehér A. (2019): Növények élete. Szegedi Tudományegyetem jegyzet, Szeged, 278 p.
- Dobos A. Cs. (2013): Precíziós növényteresztés. Debreceni Egyetem. Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen, 63 p.
- Dryzek, J. S., Norgaard, R. B. & Schlosberg, D. (2011): The Oxford Handbook of Climate Change and Society. OUP Oxford, Oxford, 742 p.
- Farella, M. M., Fisher, J. B., Jiao, W., Key, K. B. & Barnes, M. L. (2022): Thermal remote sensing for plant ecology from leaf to globe. British ecological society, 110(9): 1996-2014.

- Firmansyah, C. & Argosubekti, N. (2019): A review of heat stress signaling in plants. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Makassar, 23-25. September 2019., 484.: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/484/1/012041/meta> (2023 április)
- Füleky Gy. & Sárdi K. (2014): Tápanyag-gazdálkodás mezőgazdasági mérnököknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 259 p.
- Hamlyn, G. J. & Ilkka, L. (2003): Thermal Imaging for the Study of Plant Water Relations. Journal of Agricultural Meteorology, 59(3): 205-217.
- http 1: <https://rfb-01.szie.hu/glossary/taverzekeles/> (2023 március)
- http 2: <https://wikifarmer.com/irrigation-of-sunflower/> (2023 március)
- Kimball, B. A. & Bernacchi, C. J. (2006): Evapotranspiration, Canopy Temperature, and Plant Water Relations. Springer, 187(17): 311-324.
- Kocsisné Molnár G., Kocsis L., Kovács J., Pepó P. & Tóth Z. (2013): Növénytermesztési és kertészeti termékek termelése. Debreceni Egyetem, Debrecen, 2013 p.
- Kohout Z. (2022): Több eső, több aszály, több hőstressz-mi történik? <https://mezohir.hu/kiadvany/mezohir-2022-junius/> (2023 március)
- KSH adatok 1: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/vet/20210601/index.html> (2023 február)
- KSH adatok 2: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/fobbnoveny/2021/index.html> (2023 február)
- Megyes A. (2013): Energianövény termesztési technológiák. Debreceni Egyetem. Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen, 50 p.
- Mittler, R. (2006): Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends in Plant Science, 11(1): 15-19.
- Neves, J. M., Aquino, L. A., Berger, P. G., Neves, J. C., Rocha, G. C. & Barbaosa, E. A. (2019): Silicon and boron mitigate the effects of water deficit on sunflower. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 23(3): 175-182.
- Ördög V. & Molnár Z. (2009): Növényélettan.: <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/8815> (2023 március)
- Pais I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 138 p.
- Parameswaran, M. (2000): Leaf temperature of sunflower as affected by nitrogen and water status.: <https://www.isasunflower.org/fileadmin/documents/aaProceedings/15thISCToulouse2000/PosterWorkshopA-D/Dau2.pdf> (2023 március)
- Pethő M. (1993): Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, Budapest, 507 p.

- Pirasteh-Anosheh, H., Sead-Moucheshi, A., Pakniyat, H. & Pessarakli, M. (2016): Stomatal responses to drought stress. In: Parvaiz, A. (ed.): *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*. Wiley Blackwell, 342 p., 24-40. p.
- Piukovics L. (2022): Napraforgó termesztés aszályos körülmények között.: <https://mezohir.hu/2022/11/14/agrar-napraforgo-termesztes-aszaly-korulmenyek-kozott-mezogazdasag/> (2023 március)
- Sadras, V. O., Villalobos, F. J., Orgaz, F. & Fereres, E. (2017): Effects of Water Stress on Crop Production. In: Villalobos, F. J. & Fereres, E. (ed.): *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, 555 p., 189-204. p.
- Szigeti Z. (2007): Növények és a stressz. In: Láng F. (szerk.): *Növényélettan. A növényi anyagcsere II*. Elte Eötvös Kiadó, Budapest, 1034 p., 950-1017. p.
- Szigeti Z. (2018): A növényi stresszel kapcsolatos felfogásunk változásai. *Botanikai Közlemények*, 105(2): 165-178.
- Török Gy. (2021): Így segítheti egy hőkamera a gazdálkodást.: <https://mezohir.hu/2021/10/02/igy-segitheti-egy-hokamera-a-gazdalkodast-mezogazdasag/> (2023 március)
- Tuba Z. & Csintalan Zs. (2009): *Növényélettan*. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 336 p.
- Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A. & Aziz, T. (2012): Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(2): 221-244.
- Wimmer, M. A. & Eichert, T. (2013): Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203(204): 25-32.
- Yasushi, H., Taketoshi, I., Paul, J. K., Aubrey, W. N. & Boyd, R. S. (1984): Dynamic Analysis of Water Stress of Sunflower Leaves by Means of a Thermal Image Processing System. *Plant Physiology*, 76(1): 266–269.

8. Mellékletek

1.táblázat: Törzsoldatok összetevői.

Stock solutions					
	Macronutrients	Mol wt	Conc. of stock M	stock ml	g in stock
A	KNO ₃	101.11	1	500	50.56
B	Ca(NO ₃) ₂ x 4 H ₂ O	236.15	1	500	118.08
C	NH ₄ H ₂ PO ₄	115.08	1	500	57.54
D	MgSO ₄ x 7 H ₂ O	246.48	1	250	61.62
E	K(H ₂ PO ₄)	136.09	1	250	34.02
G	CaSO ₄ x 2 H ₂ O	172.17	1	250	43.04
M	Micronutrient stock solution				
	MnCl ₂ · 4 H ₂ O	197.91	0.011	1000	2.18
	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	287.54	0.004	1000	1.15
	CuSO ₄ · 5 H ₂ O	249.68	0.0008	1000	0.20
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ x 4 H ₂ O	1235.86	0.0005	1000	0.62
	H ₃ BO ₃	61.83	0.047	1000	2.91
Fe	Iron stock solution				
	Fe-EDTA	367.05	0.0068	1000	2.50

2.táblázat: Az egyes tápoldatokhoz felhasznált törzsoldat mennyiségek.

	full	N10	N50	N150	B10	B50	B75
stock	ml / 5liter	ml / 5liter	ml / 5liter	ml / 5liter	ml / 5liter	ml / 5liter	ml / 5liter
A	30	3	15	50	30	30	30
B	20	2	10	32.5	20	20	20
C	20	2	10	20	20	20	20
D	5	5	5	5	5	5	5
E	0	25	15	0	0	0	0
G	0	20	10	0	0	0	0
M	5	5	5	5	0	0	0
M-B	0	0	0	0	5	5	5
Bór	0	0	0	0	0.5	2.5	3.75
Fe	100	100	100	100	100	100	100
víz ml	4820	4838	4830	4787.5	4819.5	4817.5	4816.25

Kétszer megismételt kísérlet átlag eredményeit 3-9. mellékelt táblázatok ismertetik.

3. táblázat: Teljes tápanyagellátással (nitrogén 252 ppm és a bór 0,5076 ppm mennyiségű) nevelt napraforgó leveleinek átlag levélhőmérsékletei. A 6. hét után a full-2, full-3 polietilén-glikol segítségével szárazságstressz, illetve a full-4 esetében hőstressz érte a növényeket. Továbbá párologtatás intenzitása.

	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	Full-1 (°C)	Full-2 (°C)	Full-3 (°C)	Full-4 (°C)	Full-1 (°C)	Full-2 (°C)	Full-3 (°C)	Full-4 (°C)	Full-1 (°C)	Full-2 (°C)	Full-3 (°C)	Full-4 (°C)	Full-1	Full-2	Full-3	Full-4
6.hét	29,8	30,3	29,5	29,15	30,1	30,45	29,7	29,35	29,95	31,5	30,5	31,4	1,69	2,21	2,22	3,35
7.hét	33,85	35,9	34,55	33,9	32,55	35,8	33,3	32,65	35,2	35,2	35,55	35,15	0,99	0,06	0,07	0,24

4. táblázat: Bórhiánnyal (0,05076 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete. 6. hét után plusz stressz tényezők B10-2, B10-3 (szárazságstressz) és B10-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke.

	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	B10-1 (°C)	B10-2 (°C)	B10-3 (°C)	B10-4 (°C)	B10-1 (°C)	B10-2 (°C)	B10-3 (°C)	B10-4 (°C)	B10-1 (°C)	B10-2 (°C)	B10-3 (°C)	B10-4 (°C)	B10-1	B10-2	B10-3	B10-4
6.hét	30,9	30,15	30,95	29,4	30,4	31,55	30,85	27,75	32,15	32,7	33,85	30,1	2,57	2,91	2,51	2,62
7.hét	30,05	34,95	34,75	25,9	30,2	35,45	34,2	29,45	31,05	35,2	34,45	32,25	2,12	0,19	0,13	1,75

5. táblázat: Bórhiánnyal (0,2538 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete.

6. hét után plusz stressz tényezők B50-2, B50-3 (szárazságstressz) és B50-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke.

	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	B50-1 (°C)	B50-2 (°C)	B50-3 (°C)	B50-4 (°C)	B50-1 (°C)	B50-2 (°C)	B50-3 (°C)	B50-4 (°C)	B50-1 (°C)	B50-2 (°C)	B50-3 (°C)	B50-4 (°C)	B50-1	B50-2	B50-3	B50-4
6.hét	31,95	31,6	31,25	32,1	32,1	29,3	33,55	33,4	32,7	34,35	31,55	33,35	2,24	2,06	2,62	2,35
7.hét	33,15	34,25	34,8	32,35	29,6	32,25	33,8	30,15	34,05	35,45	35,6	32,75	1,39	1,18	0,03	2,44

6. táblázat: Bórhiánnyal (0,3807 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete.

6. hét után plusz stressz tényezők B75-2, B75-3 (szárazságstressz) és B75-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke.

	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	B75-1 (°C)	B75-2 (°C)	B75-3 (°C)	B75-4 (°C)	B75-1 (°C)	B75-2 (°C)	B75-3 (°C)	B75-4 (°C)	B75-1 (°C)	B75-2 (°C)	B75-3 (°C)	B75-4 (°C)	B75-1	B75-2	B75-3	B75-4
6.hét	30,35	28,9	30,55	31,45	30,1	30,95	31,9	32,05	32,4	30,8	31,75	31,9	3,12	3,16	2,54	1,91
7.hét	31,6	34,1	33,4	29,5	29,1	33,3	32,65	32	33,7	33,2	35,85	35,45	0,77	0,03	0,07	1,75

7. táblázat: Nitrogénhiánnyal (25,2 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete. 6. hét után plusz stressz tényezők N10-2, N10-3 (szárazságstressz) és N10-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke.

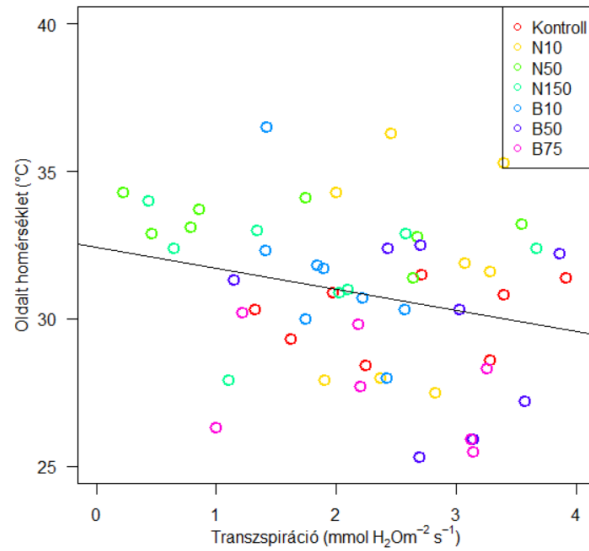
	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	N10-1 (°C)	N10-2 (°C)	N10-3 (°C)	N10-4 (°C)	N10-1 (°C)	N10-2 (°C)	N10-3 (°C)	N10-4 (°C)	N10-1 (°C)	N10-2 (°C)	N10-3 (°C)	N10-4 (°C)	N10-1	N10-2	N10-3	N10-4
6.hét	28,8	31,75	28,2	30,25	31,35	31,65	30,15	29,4	31,75	32,55	31	32,55	1,32	1,00	0,71	2,85
7.hét	31,15	33,6	35,2	28,8	30,2	34,25	33,95	28,25	34,9	34,8	35,75	33,05	0,89	0,11	0,14	0,35

8. táblázat: Nitrogénhiánnyal (126 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete. 6. hét után plusz stressz tényezők N50-2, N50-3 (szárazságstressz) és N50-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke.

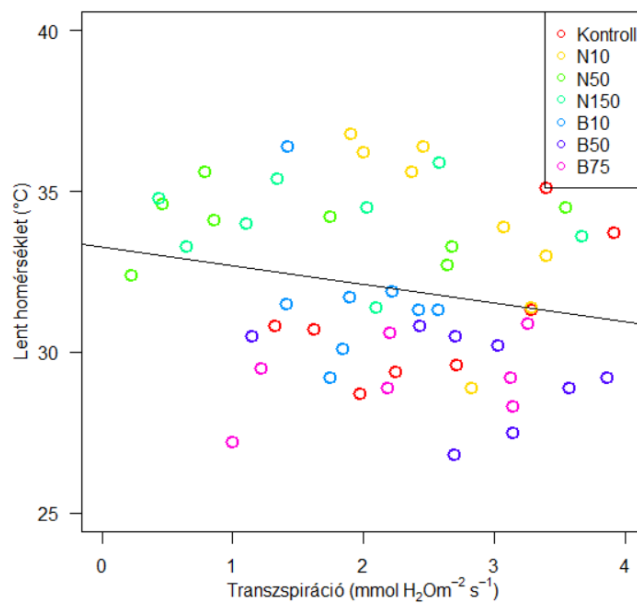
	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	N50-1 (°C)	N50-2 (°C)	N50-3 (°C)	N50-4 (°C)	N50-1 (°C)	N50-2 (°C)	N50-3 (°C)	N50-4 (°C)	N50-1 (°C)	N50-2 (°C)	N50-3 (°C)	N50-4 (°C)	N50-1	N50-2	N50-3	N50-4
6.hét	29,95	29,9	29,1	30,45	29,65	30,35	30,3	30,4	31,15	33	30,8	31,35	2,68	1,77	1,32	1,45
7.hét	30,3	34,9	33,6	30,1	30,1	33,35	34,6	31,3	30,6	34,1	35,65	34,85	0,05	0,09	0,01	0,67

9. táblázat: Nitrogéntöbblettel (378 ppm mennyiség) nevelt napraforgó átlagos levélhőmérséklete. 6. hét után plusz stressz tényezők N150-2, N150-3 (szárazságstressz) és N150-4 (hőstressz), illetve a párologtatás mértéke

	Felső levélállás				Oldalsó levélállás				Alsó levélállás				Párologtatás			
	N150-1 (°C)	N150-2 (°C)	N150-3 (°C)	N150-4 (°C)	N150-1 (°C)	N150-2 (°C)	N150-3 (°C)	N150-4 (°C)	N150-1 (°C)	N150-2 (°C)	N150-3 (°C)	N150-4 (°C)	N150-1	N150-2	N150-3	N150-4
6.hét	29,7	29,35	30,05	32,6	28,25	31,2	30,85	33,7	32,65	32,05	32,15	32,55	2,19	2,36	2,65	1,7
7.hét	32,25	35,55	35,65	32,35	30,15	35,85	36,5	29	31,1	34,9	35,35	32,8	1,19	0,04	0,04	1,83



1. ábra: A napraforgó átlagos oldalsó levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével tápanyagstressz esetén. Az egyenes egyenlete: $y=33,42+x \cdot -0,7$. Az $R^2 = 0,068$.



2. ábra: A napraforgó átlagos alsó levélhőmérséklete és a transzspiráció közötti összefüggések ábrázolása lineáris regresszió segítségével tápanyagstressz esetén. Az egyenes egyenlete: $y=33,28+x \cdot -0,59$. Az $R^2 = 0,125$.

9. Nyilatkozatok



Nzent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36 28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

4. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

NYILATKOZAT

Alulírott BESZNYEI ÁGOTA, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, GÖDÖLLŐ Campus, OSZTATLAN AGRÁR-ÉRŐVEL szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 04 hó 27 nap

Besznyei Ágota
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő 2023. év 04. hó 28. nap

[Signature]
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Besenyei Ágota
A Hallgató Neptun kódja: VPTUFR
A dolgozat címe: Tápanyag- és abiotikus stresszhez kötött raprafonji vizsgálata kóliamenáiban
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Növényélettan és Növénybiológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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 mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Kelt: 2023 év 05 hó 01 nap

Besenyei Ágota
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.