

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Bucskó Bálint**  
**Növényorvos MSc**

**Gödöllő**  
**2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Növényorvos MSc Szak**

**Napraforgó-peronoszpórával fertőzött növények élettani  
vizsgálata hiperspektrális reflektanciával**

**Belső konzulens:** Dr. habil Bán Rita  
egyetemi docens

**Külső konzulens:** Dr. habil Balogh János  
egyetemi tanár

**Készítette:** **Bucskó Bálint**  
GIARCU  
nappali tagozat

**Tanszék:**  
Integrált Növényvédelmi Tanszék

**Gödöllő**

**2023**

# Tartalomjegyzék

<b>1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK</b> .....	<b>4</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>6</b>
2.1. A NAPRAFORGÓ JELENTŐSÉGE .....	6
2.2. NAPRAFORGÓ-PERONOSZPÓRA.....	7
2.2.1. <i>Jelentősége</i> .....	7
2.2.2. <i>A napraforgó-peronoszpóra tünetei és fejlődésmenete</i> .....	8
2.2.3. <i>Plasmopara halstedii patotípusok jelentősége</i> .....	9
2.2.4. <i>A Plasmopara halstedii elleni integrált védekezés lehetőségei</i> .....	10
2.2.5. <i>Indukált rezisztencia</i> .....	11
2.3. TÁVÉRZÉKELÉS .....	12
2.3.1. <i>Multispektrális és hiperspektrális műszerek közötti különbségek</i> .....	13
2.3.2. <i>Hiperspektrális reflectancia indexek</i> .....	14
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	<b>16</b>
3.1. AZ ALKALMAZOTT NÖVÉNYFAJTA ÉS A KÓROKOZÓ IZOLÁTUM.....	16
3.2. NAPRAFORGÓ MAGOK CSÍRÁZTATÁSA, INDUKTORRAL TÖRTÉNŐ KEZELÉSE, INOKULÁLÁSA ÉS NEVELÉSE.....	16
3.2.1. <i>A napraforgó magok csíráztatása</i> .....	16
3.2.2. <i>A csíráztatott magok kezelése induktorral</i> .....	16
3.2.3. <i>A napraforgó növények inokulálása</i> .....	17
3.2.4. <i>A csírák vetése és a növények nevelése</i> .....	17
3.2.5. <i>Plasmopara halstedii kórokozóval inokulált növények sporuláltatása</i> .....	19
3.2.6. <i>A napraforgó-peronoszpóra tünetek értékelése</i> .....	19
3.3. MŰSZERES MÉRÉSEK ÉS AZ ADATFELDOLGOZÁS MENETE .....	20
3.3.1. <i>Reflektancia-mérések eszközei</i> .....	20
3.3.2. <i>Adatfeldolgozáshoz felhasznált programok</i> .....	21
3.3.3. <i>Az adatfeldolgozás során használt vegetációs indexek és statisztikai értékelésük</i> .....	21
3.4. AZ ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK ÉS BEÁLLÍTÁSAIK.....	24
3.4.1. <i>1. kísérlet</i> .....	24

3.4.2.	2. kísérlet .....	24
3.4.3.	3. kísérlet .....	25
<b>4.</b>	<b>EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....</b>	<b>26</b>
4.1.	Az 1. KÍSÉRLET EREDMÉNYEI EGÉSZSÉGES NÖVÉNYEK VIZSGÁLATÁVAL .....	26
4.2.	Az 2. KÍSÉRLET EREDMÉNYEI .....	28
4.2.1.	Módosított Klorofill Abszorpciós Reflektancia Index (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance, <b>MCARI1</b> ) .....	29
4.2.2.	Háromszög Vegetációs Index (Triangular Vegetation Index, <b>TVI</b> ) .....	30
4.2.3.	Módosított Vörös Él Normalizált Vegetációs Index (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, <b>mNDVI</b> ) .....	31
4.2.4.	Antociános Reflektancia Indexek (Anthocyanin Reflectance Index , <b>ARI</b> ) .....	32
4.3.	A FERTŐZÖTTTSÉGI ÉRTÉKEK ALAKULÁSA A 3. KÍSÉRLETBEN .....	34
4.4.	3. KÍSÉRLET VEGETÁCIÓS INDEX EREDMÉNYEK .....	35
4.4.1.	Módosított Klorofill Abszorpciós Reflektancia Index (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance, <b>MCARI</b> ) .....	36
4.4.2.	Háromszög Vegetációs Index (Triangular Vegetation Index, <b>TVI</b> ) .....	37
<b>5.</b>	<b>KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>	<b>41</b>
<b>7.</b>	<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>43</b>
<b>8.</b>	<b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>44</b>
<b>9.</b>	<b>MELLÉKLET .....</b>	<b>48</b>

# 1. Bevezetés és célkitűzések

A hétköznapi élet rengeteget változott az elmúlt 100 év során a technológiai fejlődésnek köszönhetően. Nincs ez máshogy a mezőgazdasági munka során sem. Az újabb és újabb technológiák megjelenése folyamatos adaptálódást és nyitott gondolkodást igényel, hogy a környezet által támasztott kihívásokra válaszolva versenyben lehessen maradni. Ez sokszor új módszerek vagy módszertanok kipróbálásával jár.

Magyarországot bizonyos környezeti tényezők (hőmennyiség, napfénytartam, napsugárzási intenzitás) a napraforgó termesztésre kifejezetten alkalmassá teszik. Ugyanakkor hazánkban sok olyan növénykórokozó is megtalálható, melyek jelentősek a napraforgó szempontjából. Ilyen fontos betegség például a fehérpenészes rothadás (*Sclerotinia sclerotiorum*) és a napraforgó-peronoszpóra (*Plasmopara halstedii*). Utóbbi jelentősége folyamatosan növekszik, ugyanis folyamatosan újabb és újabb változatok jelennek meg képesek letörni a korszerű hibridek rezisztenciáját is (Molinero-Ruiz 2019). Ezen kívül bizonyos változatok fungicidtoleranciája miatt is egy olyan kórokozó, amelynek változását fokozott figyelemmel érdemes követni (Körösi et al. 2021).

Tavaly, 2022-ban a napraforgó termésmennyisége évtizedes mélyponton volt, ugyanakkor a vetésterület megközelítette a 2017-es rekord év méretét (http1). Ez azt jelenti, hogy egyre több gazdálkodóknak lesz érdeke a fenntartható és gazdaságos napraforgó termesztés. Továbbá a csökkenő növényvédő szer hatóanyagok száma miatt a mezőgazdaságnak egyre nagyobb érdeke lesz a preventív technikák beépítése a termesztés-technológiába, melyeket az integrált védelem (IPM) foglal rendszerbe. A fenntarthatósági trendeket miatt az integrált védelem belül is érzékelhető az alternatív védekezési módok egyre növekvő részaránya, mint az indukált rezisztencia alkalmazása vagy különböző induktorok tesztelése (pl. NeemAzal), illetve a növényvédő szer használat csökkentés érdekében, a pontos betegség diagnózis. A precíziós növényvédelem meghatározó eleme a felesleges növényvédő szer használat kerülése, melyben a távérzékelési eljárásoknak nagy szerepe lehet.

A NeemAzal és különböző növényi induktorok hatása a napraforgó-peronoszpórával szemben az előzetes vizsgálatok alapján pozitív, de a kezelt és fertőzött növényekben lezajló életfolyamatokról keveset tudunk, márpedig ez alapvető a gyakorlati alkalmazás bevezetése előtt (Doshi et al. 2020, Körösi et al. 2021).

Munkám célja különböző vegetációs indexek alkalmazhatóságának tesztelése volt növényi

induktorokkal kezelt és napraforgó-peronoszpórával fertőzött növények életfolyamatainak vizsgálatához. Három különböző kísérletet hajtottunk végre. Először egészséges napraforgó növényeket vizsgáltunk, hogy a szakirodalomban fellelhető indexekről referencia értékeket kapjunk a növény különböző fejlődési szakaszaiban. A következő kísérletekben különböző induktorokkal kezelt és *P. halstedii* kórokozóval fertőzött növények reakcióját, életfolyamatait vizsgáltuk és jellemeztük vegetációs indexek segítségével.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1. A napraforgó jelentősége

Amerika felfedezését követően sok új, mára igen jelentős kultúrnövény került Európába és a világ más részeire. Az új növények egyik jelentős és nagy hatású képviselője a napraforgó (*Helianthus annuus* L.). A napraforgó eredete Észak-Amerika nyugati felére, a Sziklás-hegység és a Mississippi folyó között elterülő széles síkságra tehető. Feltételezések szerint 3000-5000 évvel ezelőtt házasították amerikai őslakosok. A nagy földrajzi felfedezéseket követően viszonylag gyorsan eljutott Európába, azon belül Oroszországba, ahol a modern olajsmagfajták elődeit nemesítették ki és termesztették (Park & Bruke 2020). Eleinte – a burgonyához hasonlóan – dísnövényként termesztették, ám egy 1716-os brit szabadalom nyomán olaj kinyerésére nyílt lehetőség. Magyarországon a XIX. század végére a napraforgó lett a legfontosabb olajnövény, melyet Észak- és Nyugat-Európába is importáltak (Schneiter & Putt 1997).

Egyre bővülő felhasználási körének köszönhetően a XX. század második felében folyamatosan növekedett vetésterülete. Míg 1961-ben 6,6 millió hektáron termesztettek 6,8 millió tonna napraforgó magot, addig egy 2018-as összesítés szerint ezek a számok már meghaladják a 26 millió hektárt és az 51 millió tonna magtermést ([http 2](#)). Hazánkban is hasonló növekedés volt megfigyelhető: 1961-ben a vetésterület és a betakarított termés 130 ezer hektár és 110 ezer tonna volt ([http2](#)), 2017-ben pedig 694 ezer hektár és több mint 2 millió tonna volt. Bár az ezt követő években kismértékű visszaesés volt tapasztalható, 2019-től újra növekszik a termésterület ([http1](#)). A világ harmadik legfontosabb olajos magjává vált és hazánk egyik legfontosabb olajnövényévé, amellet, hogy a világ napraforgó termelő országai közül Magyarországon termeszhető az egyik legmagasabb termésátlaggal (Pilorgé 2020).

A napraforgó legfontosabb betegségei közé tartozik a fehérpenészes szár- és tányérrothadás (*Sclerotinia sclerotiorum*), a botritiszes tányérrothadás (*Botryotinia fuckeliana* / *Botrytis cinerea*), az alternáriás betegség (*Alternariaster helianthi*, *A. helianthiinficiens*), a diaportés szárkorhadás (*Diaporthe helianthi* / *Phomopsis helianthi*) a makrofominás hervadás (*Macrophomina phaseolina* / *Sclerotium bataticola*), a rozsdá (*Puccinia helianthi*) és a napraforgó-peronoszpóra (*Plasmopara halstedii*). Korábban a diaportés szárkorhadást tartották az egyik legfontosabb betegségként, de az ellenálló napraforgó hibridek megjelenésével a

betegség jelentősen kezdett visszaszorulni (Pálincás et al. 2018). Ezzel szemben a napraforgó-peronoszpórának folyamatosan újabb és újabb változatai jelennek meg.

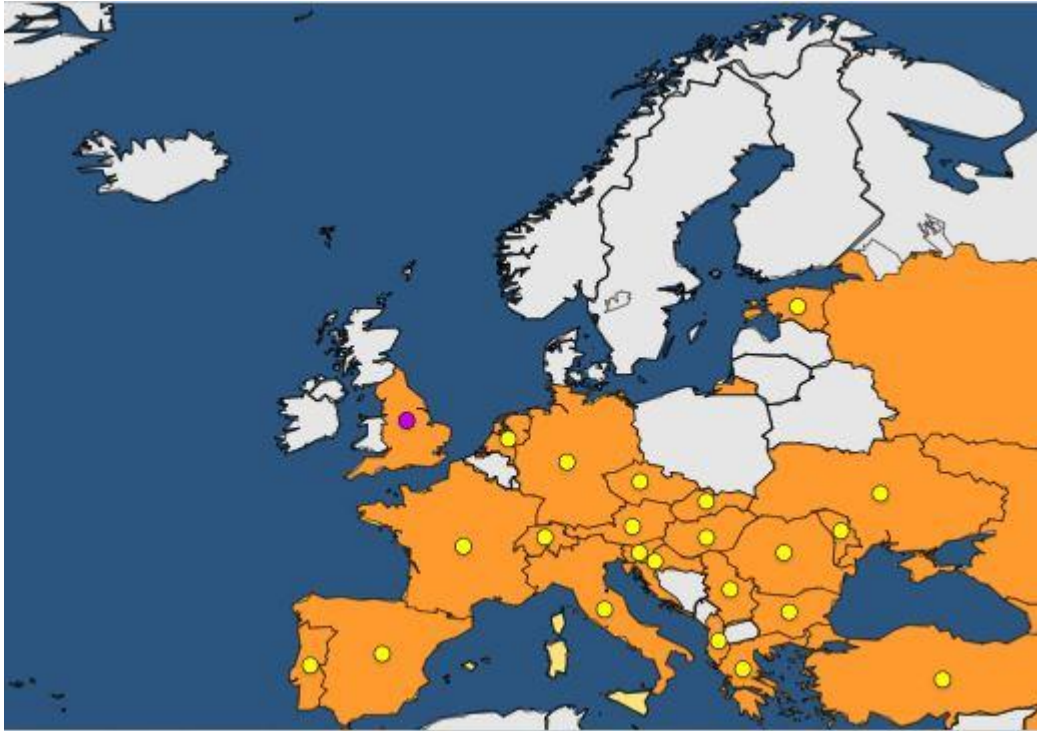
## **2.2. Napraforgó-peronoszpóra**

### **2.2.1. Jelentősége**

A napraforgó egyik legjelentősebb kórokozója a napraforgó-peronoszpóra (*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni). Ennek az az oka, a kórokozó nagyfokú változékonyságra képes és folyamatosan jelennek meg az újabb változatok, illetve a tünetek szántóföldi megjelenése után a betegség ellen már nem lehet hatékonyan védekezni (Pálincás et al. 2018). A hagyományos nemesítés egyik legnagyobb kihívása, hogy a kórokozó újabb és újabb változatok fejlesztésével képes letörni a korszerű hibridek rezisztenciáját is (Molinero-Ruiz 2019). Mindemellett, az alkalmazott csávázószer hatóanyagával szemben fungicidtoleráns változatok alakulnak ki, melyek csökkentik a kémiai védekezés hatékonyságát (Körösi et al. 2021).

Az Anktartisz kivételével minden kontinensen jelenlévő károsító, de környezeti igényei miatt csak a kontinensek egy-egy régiójában fordul elő. Európa országainak jelentős részén megtalálható a betegség, kivéve az északabbra fekvő országokat, Belgiumot, Bosznia-Hercegovinát, Montenegrót és Macedóniát (1. ábra).





**1. ábra: A *Plasmopara halstedii* jelenléte Európa országaiban (<http3>)**

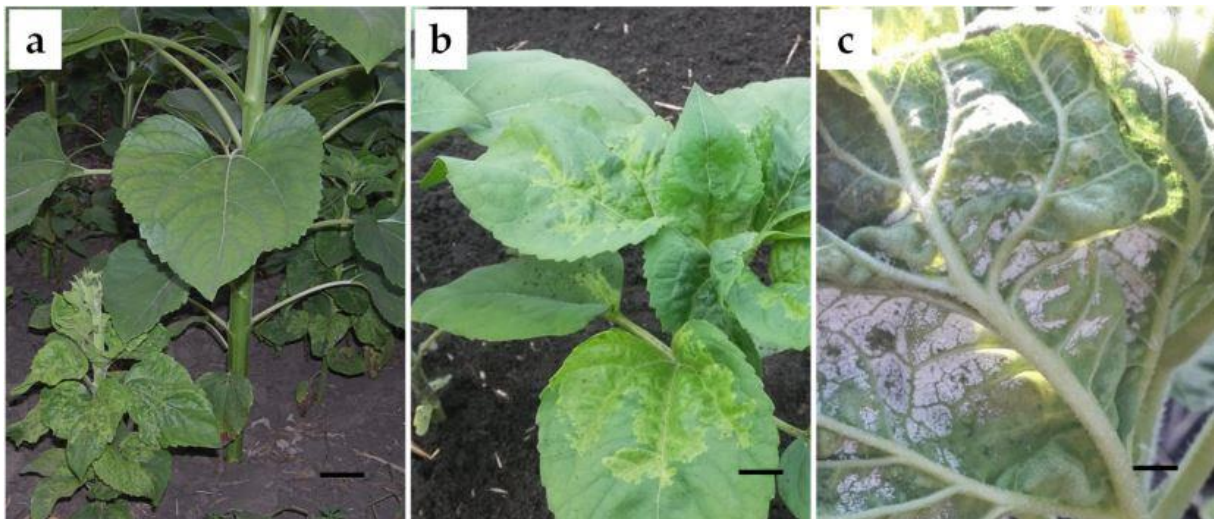
### 2.2.2. A napraforgó-peronoszpóra tünetei és fejlődésmenete

Rendszertanilag az Oomycota törzsbe és a *Plasmopara* nemzetségbe tartozik. A nemzetség jellegzetessége, hogy az ide tartozó fajok rendelkeznek rajzospórákkal. Életmódját tekintve biotróf endoparazita, vagyis csak élő növényi szövetekben képes élni és szaporodni (Bán et al. 2021). Fertőzés módja általában szisztémikus, tehát az egész növényre kiterjed. A látható tünetek megjelenésekor már az egész növény egyedét megfertőzte a kórokozó.

Fejlődését tekintve oospórával (ivaros, vastagfalú, áttelelő spóra) vagy micéliummal telel át, melyek vagy a talajba visszakerült növényi maradványokban, vagy a kaszatok belsejében maradnak fenn. Az áttelelt oospórákból sporangiumok fejlődnek, a sporangiumokból pedig rajzospórák szabadulnak ki. A *P. halstedii* rajzospórák (zoospóra) két flagellummal rendelkező, aktív mozgásra képes spóraalakok, melyek mozgásához szabad víz megléte szükséges. A gazdanövény gyökereit kemotaxissal keresik meg. Általában a fiatal növényeket fertőzik (Islam & Tahara 2001). A gyökérszőrökön megtapadva elveszítik flagellumaikat és fallal veszik körbe magukat, így cisztospórává alakulnak. Micélium fejlesztésével megfertőzik a növényeket. Az intercellulárisan terjedő a sejtekbe gömb alakú hausztóriumokat engednek be. Az egész növényben elterjedve (szisztémikus fertőzés) a levelek fonáki részein a gázcsere nyílásokon

keresztül sporangiumtartókat képez, melyek hármás végződésűek. A végeken nagyméretű tojásdad sporangiumokat fejleszt. A növény belsejében (általában a szárban) végbe megy az ivaros szaporodás, az oogámia, melynek keretében egyesül a női ivarjellegű oogónium és a hím ivarjellegű anterídium és létrejönnek az oospórák (Bán et al. 2023).

A napraforgó-peronoszpóra tünetei már csíra korban is jelentkezhetnek, mert a kórokozó talajlakó mikroorganizmusként a talajból fertőz. A szikleveleken fehér bevonat jelenik meg, ami sporangiumtartókból és sporangiumokból áll. A nagyon korai fertőzés következményeként a fiatal növények elpusztulhatnak (Gascuel et al. 2015). Hasonló fehér bevonat jelenik meg később a valódi levelek fonáki részén. A levél színén, az erek mentén klorotikus tünetek lesznek találhatóak, melyek a főértől terjednek az oldal erek irányába. Jellegzetes tünet még a növény törpülése (1. ábra). A náduszok megrövidülnek, a levélemeletek közelebb kerülnek egymáshoz, így alakul ki a sajátos „káposzta jelleg”, amikor tányér nem képződik vagy amennyiben mégis képződik nagyon apró és steril lesz. Az apró tányérban található kaszatok léhák lesznek.



**2. ábra: Napraforgó-peronoszpóra jellegzetes tünetei: (a) növény törpülése (Fotó: Bán R.), (b) klorózis a levél színén (Fotó: Pálinkás Z.) és (c) fehér bevonat a levél fonákon (Fotó: Körösi K.) A fotókon szereplő fekete vonal méretaránya: (a) 10 cm, (b) 2,4 cm, (c) 1,25 cm (Bán et al. 2023)**

### 2.2.3. *Plasmopara halstedii* patotípusok jelentősége

A napraforgó-peronoszpóra már az 1950-es évek óta ismert növénykórokozó hazánkban. Eleinte úgy tűnt, hogy megfelelő agrotechnikai, genetikai és fungicides védekezéssel kiválóan kordában tartható és már-már marginálissá tehető jelenléte (Fischl et al. 1995). Viszont az 1990-

es években világossá vált, hogy genetikai változékonysága miatt szerte a világon különböző patotípusok vannak jelen (Virányi & Gulya 1995). Napjainkra ez a szám jelentősen megnőtt, mintegy 50 patotípus azonosítottak világszerte (Bán et al. 2021). Az utóbbi évtizedben felgyorsult azon változatok megjelenése, melyek rezisztensek vagy toleránsak az egyik leghatékonyabb fungicides csávázószer hatóanyagával (mefenoxam) szemben, illetve képesek „letörni” a korszerű napraforgó hibridekbe épített rezisztenciát. 2010 előtt öt patotípust tartottak számon Magyarországon (100, 330, 700, 710, 730). Napjainkra további változatok jelentek meg (704, 714, 724, 734), melyek elterjedtsége folyamatosan növekszik. Ez legfőképp annak köszönhető, hogy az ellenállóságot az ún. *Pl* gének biztosítják, melyek közül a legjelentősebb a *Pl6*-os gén, mely a 2010 előtti patotípusokkal szemben nyújt hatékony védelmet (Bán et al. 2016). Ez a két védekezési mód értéktelenedésével egyre fontosabbá vált a gazdálkodók számára az elérhető agrotechnikai módszerek minél széleskörűbb használata, melyeket az integrált védekezés keretei között a legcélszerűbb megoldani.

#### 2.2.4. A *Plasmopara halstedii* elleni integrált védekezés lehetőségei

Napjainkban a szántóföldi növénytermesztésnek olyan kihívásokkal kell megküzdenie, mint a felhasználható növényvédőszer hatóanyagok, hatóanyag csoportok csökkenése, a globális felmelegedés hatásai vagy a nemzetközi fenntarthatósági klíma célok teljesítése. Ezért egyre inkább előtérbe kerül az integrált növényvédelem alkalmazása. Az integrált növényvédelem az összes rendelkezésre álló növényvédelmi módszer mérlegelésével, a megfelelő intézkedések integrálásával csökkenti a lehetőségét a károsító populáció kifejlődésének, a növényvédőszer alkalmazását és más beavatkozásokat gazdaságilag és ökológiailag indokolt szinten tartja, csökkenti vagy a lehető legalacsonyabb szinten tartja az emberi egészségre vagy környezetre kockázatot jelentő beavatkozásokat (Barzman et al. 2015).

A napraforgó-peronoszpóra elleni leghatékonyabb védekezés a megelőzés. Oospórái a talajban, akár 10 évig is megőrizhetik életképességüket (Virányi & Spring 2011). Alapvetően az lenne az ideális, ha 6-8 évente kerülne vissza ugyan arra a területre napraforgó, de figyelembe véve a vetésterület nagyságát és a vetésváltás lehetőségeit, a 4 éves vetésforgó betartása viszonylag jó kompromisszum gazdaságossági és növényvédelmi szempontból is (Pálinkás et al. 2018). A hibrid kiválasztás során érdemes figyelni arra, hogy minél több 2010 utáni (2.2.3. fejezetben felsorolt) új patotípussal szemben is rendelkezzen ellenállósággal az adott fajta. Tábla kiválasztás során, amennyiben megoldható érdemes kerülni a mélyebb fekvésű területeket, ugyanis a vízzel telített talaj, kedvező feltételeket biztosít a rajzóspórák mozgásához. A vetést

megelőzően fontos a gyomnövényzet visszaszorítása is, különösen a parlagfűre és a szerbtövisekre tekintettel, ugyanis ezek a növények gazdanövényei a peronoszpórának. Illetve a korábbi évekből esetlegesen megmaradt napraforgó árvakeléseket is érdemes kémiai vagy mechanikai módszerekkel eltávolítani. A vetés során meglehetősen ajánlott fémzárolt, egészséges vetőmag alkalmazása, továbbá fungicides csávázás használata saját magfogás esetén. Emellett jó kiegészítő védekezés lehet még különböző talajmikrobiológiai készítmények használata (pl. AZOTER SC), mert a bennük található antagonista gombák és baktériumok más talajlakó kórokozókkal együtt a *P. halstedii* ellen is hatásosak lehetnek.

A korábbi években detektált fungicid rezisztencia és a mefenoxam hatóanyag szántóföldi használati engedélyének visszavonása miatt, egyre inkább előtérbe kerülnek olyan alternatív védekezési módszerek, amelyek korábban egyáltalán nem vagy csak kis mértékben voltak használatban. Ilyen alternatív módszer lehet az indukált rezisztencia használata.

#### 2.2.5. Indukált rezisztencia

Az indukált rezisztencia szerzett ellenállóképesség, amely megvédi a növényt egy későbbi fertőzéssel szemben. Két fő típusa van: szisztémikus szerzett rezisztencia (SAR) és az indukált szisztémikus rezisztencia (ISR). Akkor beszélünk szisztémikus szerzett rezisztenciáról, amikor a növény kórokozóval érintkezve aktivál bizonyos fehérjéket (Durrant & Dong 2004). Amennyiben lokális fertőzés vagy szerves, szervetlen vegyületek, illetve mikrobiális komponensek váltják ki az ellenállóképességet, indukált szisztémikus rezisztenciáról beszélünk (Kuč 2001). A szisztémikus szerzett rezisztencia egyik formája, hogy ún. növényi induktorok vagy növényi aktivátorok váltják ki a növény saját védekező mechanizmusainak az elindulását. Ilyen induktor lehet a benzotiadiazol (BTH), izonikotinsav vagy az aminovajsav egyik izomerje a DL- $\beta$ -aminovajsav (BABA). A BTH egy szintetikus vegyület, melyet készítmény formában Bion 50 WG néven hoztak forgalomba. Ezt a készítményt használva a BTH képes rezisztenciát kiváltani fogékony napraforgó növényeken a napraforgó-peronoszpóra ellenében (Bán et al. 2004). A neemfa (*Azadirachta indica* A. Juss) egyes szöveteiből kivonható azadirachtin széles körűen alkalmazott a növényvédelemben, úgymint inszekticid, nematocid és antifungális tulajdonságokkal rendelkező környezetbarát hatóanyag. Ezen hatóanyag a NeemAzal T/S nevű készítményben található meg, mely hatékony lehet a *Plasmopara halstedii* elleni védekezésre napraforgóban (Doshi et al. 2020).

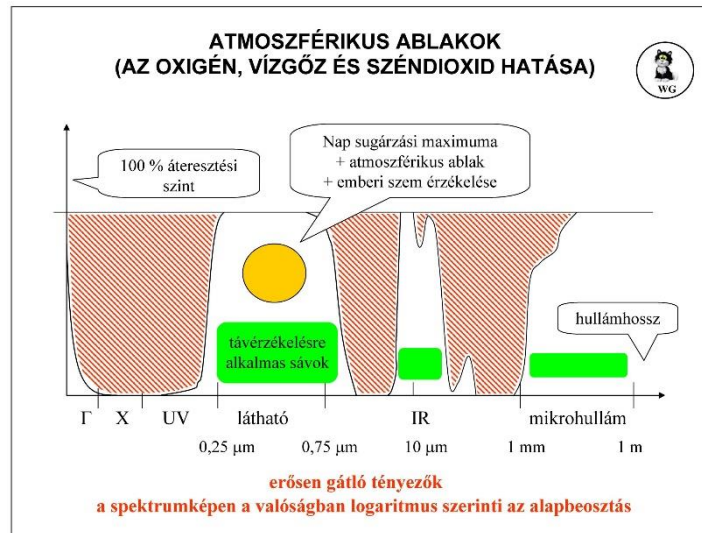
### 2.3. Távérzékelés

Évezredekén keresztül a gazdálkodó csak a talaj közelből figyelhette kultúrnövényeinek növekedését, ám az ipari forradalmat követően olyan lehetőségek nyíltak meg az emberiség számára, melyről addig nem is álmodhatott: repülő eszközökről figyelhette meg az alant elterülő tájat. Eleinte katonai felhasználás céljából fejlődött ez a rendkívül új tudományterület. A hidegháború alatt a katonai hírszerzés aknázza ki legjobban az ebben rejlő lehetőségeket. Így történhetett, hogy az 1960-as években már készültek nagy pontosságú légi fotók hazánkról (<http4>). A 90-es években, ahogy az más katonai rendszereknél is ismeretes (pl. GPS), előtérbe került a polgári felhasználás.

A távérzékelés olyan információszerzés, ahol a különböző célú adatfeldolgozás számára a vizsgált objektumról közvetett úton nyerhető információ, amely alkalmas a vizsgált objektumok geometriai paramétereinek, fizikai tulajdonságainak, tartalmának stb. meghatározására (Winkler 2020). Ezen információszerzést általános felhasználói gyakorlat jellege miatt leginkább az elektromágneses (EM) spektrumon vizsgálható. Minden, abszolút 0 fok feletti objektumnak van belső hőmozgása, mely jelenség következtében elektromágneses hullámokat bocsájt ki magából. A távérzékelésben fontos jellemző a hullámhossz, ami az egyik rezgésmaximumtól a másikig való távolságot jelenti. Vizsgált jelenségeink jelentős része hullámhosszfüggő, ezért az elektromágneses spektrumokat jórészt hullámhossz alapján rendszerezik. Leginkább két EM spektrum tartományt vizsgál ezen tudományág: a látható EM tartományt, mert a Nap ebben a tartományban sugároz a legintenzívebben; illetve 10  $\mu\text{m}$  hullámhossz környezetében (InfraRed), mert környezetünk átlagos hőmérsékletű objektumai ebben a tartományban adják le maximális sugárzásukat (Winkler 2020).

A távérzékelési folyamatok zöme a levegőn, mint közegen keresztül történik. Ezért az előbb említett tartományok mérését befolyásolják a levegő főbb összetevői (kivéve a nitrogén), így az oxigén, a szén-dioxid és a vízgőz. E hatás ezen gázok elektronhéjának egyedi tulajdonságaira vezethető vissza, ugyanis ha az elektromágneses sugárzás hasonló frekvencián rezeg mint az adott gáz elektronhéja, akkor rezonancia lép fel és a sugárzás elnyelődik. Így kialakulnak természetes atmoszférikus elnyelési sávok és természetes atmoszférikus észlelési ablakok. Az elnyelési sávokban nem lehetséges érzékelés, kizárólag az atmoszférikus ablakokban. Fontos megemlíteni, hogy ilyen hatások felléphetnek légszennyező anyagok esetén is, de hatásuk nem általános és időben is korlátozottak, ugyanis mértékükre rengeteg tényező hat.

Tehát az atmoszférikus ablakok olyan hullámhossz tartományok, ahol egyszerre legmagasabb a kibocsájtott sugárzás és legalacsonyabb a légkör gátló hatása (2.ábra). Érdekesség, hogy a 0,25  $\mu\text{m}$  és a 0,75  $\mu\text{m}$  közötti tartományú ablak az emberi látásnak is kedvező (Winkler 2020).



**3. ábra: Atmoszférikus ablakok hozzávetőleges hullámhossz tartományai (Winkler 2020)**

Az eddig taglalt rengeteg tényező mellett az is nagyon fontos, hogyan képes vagy hogyan nem képes az adott objektum felszínéről a fény visszaverődni. Ugyanis egy tárgyra beeső sugárzással három dolog történik:

- áthalad a tárgyon (pass-through)
- elnyelődik (absorption)
- visszaverődik (reflection)

A távérzékelés esetében a valódi információt hordozó érték a visszaverődött sugárzás. Távérzékeléssel nagyjából minden olyan jelenséget, állapotot lehet tanulmányozni, amihez elég a felszín vizsgálata. Ez jelentheti természeti katasztrófák előrejelzését, megfigyelését, például erdőtüzek észlelését. Használható vegetációtérképezésre és állapotbecslésre; geodéziai felmérésekre, környezeti hatástanulmányokra; bizonyos mértékben talajtérképezésre és földértékelésre is (Kontoes et al. 1993, Scaioni et al. 2018, Mazzanti & Romeo 2023).

### 2.3.1. Multispektrális és hiperspektrális műszerek közötti különbségek

Sok különféle érzékelővel lehet távérzékelési vizsgálatokat végezni. Ilyen érzékelők lehetnek a multispektrális, hiperspektrális, infravörös vagy RGB (valódi színes) kamerák (Makanza et al.

2018). Meg kell különböztetni a képalkotó és nem-képalkotó érzékelőket. A multi- és hiperspektrális szenzorok vagy kamerák által rögzített adatokból lehet különféle indexeket számolni, melyek különböző hullámhosszokat vagy hullámhossztartományokat lefedve információt nyújtanak az adott objektumról visszaverődött fény alapján. Amennyiben ezeket az indexeket növények vizsgálatára használják, a fent említett hullámhosszok a látható és a közeli infravörös tartományból kerülnek kiválasztásra.

A felhasznált szenzor behatárolja ugyanakkor, hogy milyen hullámhosszokon képes információt gyűjteni, ezáltal pedig milyen indexek számolhatók a kapott adatokból. Vagyis egy multispektrális kamera által mért adatokból csak multispektrális indexek számolhatóak, míg egy hiperspektrális kamera esetében hiperspektrális indexek is szóba jöhetnek. A hiperspektrális szenzorok előnye, hogy széles tartományban, nagy felbontással képes felvételt készíteni minden hullámhosszról. Például egy 250-1050 nanométer között érzékeny spektrométer egy felvétel során a teljes tartományról gyűjt adatot néhány nanométeres felbontás mellett. Tehát sokkal nagyobb mennyiségű index számolható így, ami többféle információt jelenthet. Viszont a fent említett példa nem képalkotó eszköz, ezért csak egy adott területet (annak átlagát) képes vizsgálni az adott felületen. A hiperspektrális képalkotó eszközök teljes képet készítenek, úgy, hogy egy-egy képpont tartalmazza a teljes spektrumot is (Lu et al. 2018). Ez óriási adattömeget jelent, melynek a feldolgozása és tárolása kihívást jelenthet. Ezzel szemben a multispektrális képalkotó szenzorok általában csak néhány csatornát látnak nagyobb sávszélesség mellett. Ennek következtében viszonylag gyorsan szolgáltatnak friss adatokat alacsonyabb információ minőség mellett. Így viszont az alacsonyabb műszaki követelmények miatt az eszköz ára alacsonyabb lehet (Thomas et al. 2017).

### 2.3.2. Hiperspektrális reflectancia indexek

Spektrális indexeket nem csak a mezőgazdaságban alkalmaznak, hanem az élet számos más területén is (2.3. fejezet). A kifejezetten növények vizsgálatára fejlesztett indexeket, spektrális vegetációs indexeknek (spectral vegetation index, SVI) hívjuk. Ezek az indexek olyan spektrális adatok alapján számolható értékek, melyek adatot szolgáltatnak valamely növényi tulajdonságról (Peteinatos et al. 2016). Közvetett módon pedig hasznosnak bizonyulnak növényi betegségek kimutatására (Mahlein et al. 2013). A 2010-es évektől kezdődően a kutatók betegség-specifikus indexeket kezdtek fejleszteni (spectral disease index, SDI). Így megjelentek lisztharmat, rozsdabetegség, cercospora, szőlő fitoplazma és fuzárium-specifikus indexek (Al-Saddik et al. 2017, Ashourloo et al. 2014, Meng et al. 2020, Zhang et al. 2020).



A napraforgóval kapcsolatban nem nagyon lelhető fel olyan publikáció melyben betegségeket vizsgálnak hiperspektrális indexek segítségével. Gyakoribb, hogy élettani jellemzőket tanulmányoznak ezek a kutatások (Penuelas et al. 1994, Garbulsky et al 2011).



## **3. Anyag és Módszer**

### **3.1. Az alkalmazott növényfajta és a kórokozó izolátum**

A vizsgálatokhoz Iregi szürke csíkos szabad elvirágzású napraforgó fajtát használtunk. Ez a fajta nem tartalmaz rezisztencia gént a napraforgó-peronoszpórával szemben, tehát fogékony minden patotípusával szemben.

A kísérletek során alkalmazott izolátumot 2020-ban gyűjtötték Magyarországon, az Alföldön. A mintákat ultramélyhűtőben tároltuk, melynek során  $-70\text{ °C}$ -on hosszú ideig megőrzi az életképességét a kórokozó.

### **3.2. Napraforgó magok csíráztatása, induktorral történő kezelése, inokulálása és nevelése**

#### **3.2.1. A napraforgó magok csíráztatása**

A csíráztatások során a szükséges mag mennyiség legalább másfélszeresével dolgoztunk, hogy biztosan elegendő és megfelelő minőségű csíra álljon a rendelkezésünkre. A magok fertőtlenítését hipóval (NaOCl 1 %-os vizes oldata) végeztük. Két-három perc áztatás után 6-8 percig öblítettük folyamatosan áramló csapvízben, majd átnedvesített szűrő papírba tekertük, bezacsizóztuk és  $19\text{ °C}$ -on 48-72 óráig csíráztattuk. Ezt követően a csírákat csapvízzel lemostuk, majd petri csészékbe helyezve inokuláltuk (ld. 3.2.3. fejezet) . Legalább 25 csíra került egy-egy petricsészébe,

#### **3.2.2. A csíráztatott magok kezelése induktorral**

Az induktoros kezelések során kétféle készítményt használtunk fel, külön-külön. Az egyik kezeléshez azadirachtin hatóanyagú NeemAzal T/S készítményt (Neem), melyből 0,1 V/V%-os oldatot készítettünk, illetve a másik kezeléshez a benzothiadiazol hatóanyagú Bion 50 WG készítményt (BTH), melyből 320 mg/l töménységű oldatot készítettünk.

Az alkalmazott kezelések a következők voltak:

- kezeletlen (bideszt vízbe tett), nem inokulált csírák (c)
- NeemAzal készítménnyel kezelt, nem inokulált csírák (Neem c)

- BTH-val kezelt, nem inokulált csírák (BTH c)
- Kezeletlen, inokulált csírák (izolátum)
- NeemAzal készítménnyel kezelt, inokulált csírák (Neem + I)
- BTH-val kezelt, inokulált csírák (BTH + I)

### 3.2.3. A napraforgó növények inokulálása

Először a mintákból izolátumot készítettünk, úgy hogy ecsettel egy főzőpohárba lemostuk a sporangiumokat a fertőzött napraforgó levelek felületéről (4. ábra). Az így kapott szuszpenzióból Bürker-kamra segítségével beállítottuk a sporangiumok koncentrációját (35 000 és 50 000 db sporangium/ml kísérlettől függően).



**4. ábra: A fertőzött napraforgó levelekről a sporangiumokat ecsettel mostuk le főzőpohárban (Fotó: Bucskó B., 2021)**

Ez után a kapott inokulátumot a már korábban előkészített, felületileg fertőtlenített és csíráztatott napraforgó kaszatokkal együtt petricsészékben 16 °C-on 24 órán keresztül sötétben inkubáltuk.

### 3.2.4. A csírák vetése és a növények nevelése

Az inokulálás után rögtön elvetettük a magokat perlittel megtöltött 6-7 cm átmérőjű műanyag cserepekbe (5-5 db csíra/cserép) (5. ábra).



**5. ábra: Perlit ültetőközegbe cserepenként 5-5 db csírákat vetettünk (Fotó: Bucskó B., 2021)**

A vetést követő napon egy komplex 14:7:21 összetételű, vízoldható NPK műtrágya vizes oldatával (0,2 mg/l) megöntöttük a csírákat. A növények nevelését zömében fitotronban végeztük 12 órás megvilágítással, állandó 22°C-os hőmérsékleten és 60 %-os páratartalom mellett (6. ábra). A kísérletek ideje alatt 2-3 naponta öntöttük csap vízzel a növényeket a vízfogyasztással arányosan.



**6. ábra: Kontrol növények a fitotronban nevelve (Fotó: Bucskó B., 2022)**

### 3.2.5. *Plasmopara halstedii* kórokozóval inokulált növények sporuláltatása

Nyolc nappal a vetés után került sor a sporuláltatásra, mely során páradús környezet megteremtésével kedvező környezetet teremtünk a peronoszpóra sporulálása számára. Ez az időszak a protokoll meghatározása szerint 24-48 óra, ami egy esetben munkaszervezési okokból közel 72 órára növekedett.

### 3.2.6. A napraforgó-peronoszpóra tünetek értékelése

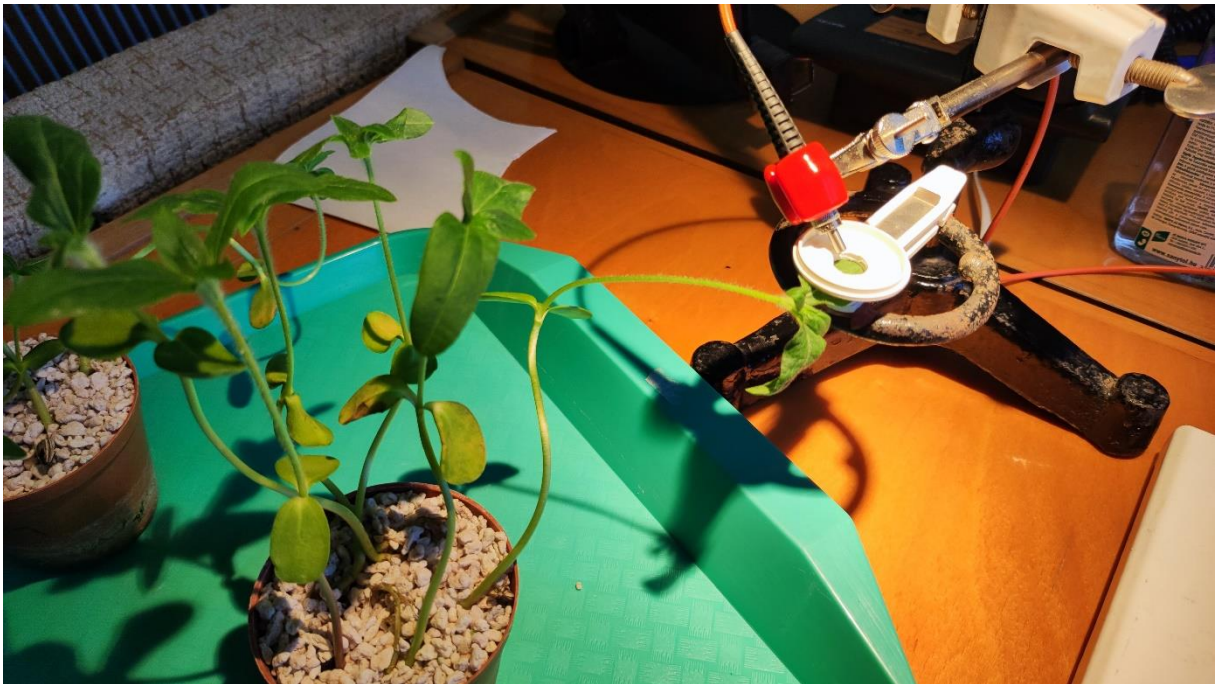
A napraforgó-peronoszpóra tünetek értékelése során megvizsgáltunk minden egyes növényt. Az első értékelést a sporuláltatást követően végeztük, amelynek során megállapítottuk a sporuláló (sziklevélen fehér bevonatot mutató) és az elhalt növények arányát az egészséges növényekhez viszonyítva. A második értékelést 1 héttel a vetést követően végeztük, amelynek során feljegyeztük a valódi leveleken klorózist mutató és az elpusztult egyedek arányát az egészséges növényekhez képest.



### 3.3. Műszeres mérések és az adatfeldolgozás menete

#### 3.3.1. Reflektancia-mérések eszközei

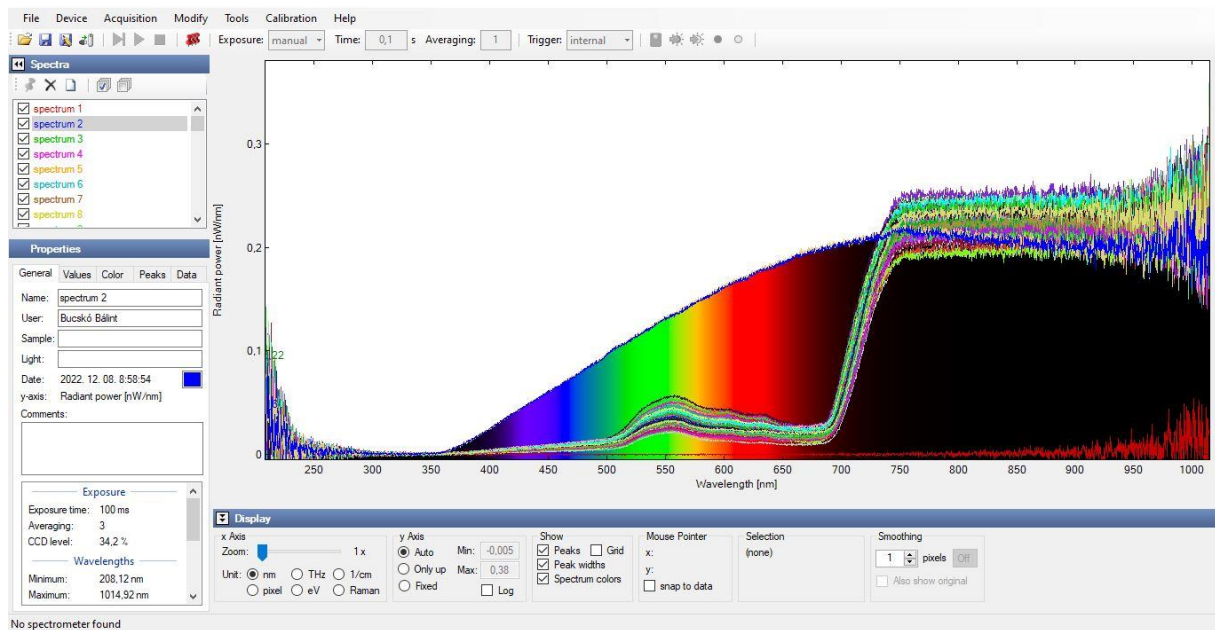
A reflektancia-mérésekhez Qmini spektrométer (RGB Photonics GmbH, Németország) száloptikáját néhány milliméteres, legfeljebb 1 centiméteres távolságból közel  $45^\circ$  szögben irányítottuk a vízszintesen rögzített levél felszínére (7. ábra). Amennyiben a levél felszíne valamilyen okból nedves volt, akkor a mérést megelőzően szárazra töröltük, hogy ne befolyásolja a mért értékeket.



**7. ábra:** A képen látható száloptikán keresztül rögzítettük a reflektancia adatokat (Fotó: Bucskó B., 2021)

Minden mérés előtt felvettünk egy sötét (zaj) és egy fehér teljes spektrumot is. A sötétet a műszer kupakja segítségével, a fehéret pedig egy fehér teflon felületről visszaverődve. A műszer 250-1050 nm-es tartományban érzékeny, 0,8 nm-es felbontás mellett.

A spektrométer USB csatlakozón keresztül csatlakozott egy laptopoz, melyen a Waves programmal (RGB Lasersysteme GmbH, Németország, leading Photonics) rögzítettük a mért adatokat (8. ábra).



**8. ábra: A spektrométer által mért adatokat a Waves programban rögzítettem**

Az egyenletes megvilágításért egy ASD Illuminator reflektancia lámpa (Malvern Panalytical, USA) felelt, így biztosítva, hogy az időjárás által befolyásolt külső napfényváltozások minél kevésbé zavarják a méréseket. Az eszköz egy 70 Wattos kvarc-wolfrám-halogén izzót tartalmaz, mely 350-2500 nanométeres tartományban képes stabilan a napfényhez nagyon hasonló fényt biztosítani.

### 3.3.2. Adatfeldolgozáshoz felhasznált programok

A spektrométer által biztosított adatok feldolgozása során Microsoft Excelt és R Studio fejlesztői környezetet használtam. Az R Studio előnye, hogy scriptek (parancssorból álló rövid program) segítségével jelentősen gyorsíthatóak a feldolgozási munkafolyamatok.

### 3.3.3. Az adatfeldolgozás során használt vegetációs indexek és statisztikai értékelésük

Az alábbi indexeket hiperspektrális mérésekhez fejlesztették ki és összefüggésbe hozhatók növényélettani paraméterekkel. Az indexek számításának módját az alábbi egyenletek mutatják (R az adott hullámhosszon mért reflektancia). A dolgozatban használt spektrális vegetációs indexekről általánosságban elmondható, hogy olyan mértékegységgel nem rendelkező értékek, melyek információt szolgáltatnak a növény fotoszintetikus pigment tartalmáról és a pigment-típusok arányairól (Gamon et al. 2016).

- **mNDVI:** Módosított Vörös Él Normalizált Vegetációs Index (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)  $705 = (R\ 750 - R\ 705) / (R\ 750 + R\ 705 - 2 * R\ 445)$  (Li & Guo 2018)

Az mNDVI esetében az index célja, hogy minél pontosabb képet adjon a vegetációt ért stresszhatás mértékéről. Fedetlen talajok vagy száraz növények esetében negatív értékeket vehet fel.
- **PRI:** Fotokémiai Reflektancia Index (Photochemical Reflectance Index)  $= (R\ 531 - R\ 570) / (R\ 531 + R\ 570)$  (Devadas et al. 2008)

Első sorban a karotinoid pigmentek mennyiségi változásait mutatja meg, ami által képet kaphatunk a fotoszintézis hatékonyságát illetően, illetve összefüggésbe hozható a növény stresszállapotával. A magasabb értékek jelölik a jobb fotoszintetikus aktivitást, míg az alacsonyabbak, főként a 0 alattiak a stresszes állapotot, illetve a növényi öregedést is jelezhetik alacsonyabb értékek alapján.
- **SIPI:** Fotoszintetikus Inaktív Pigmentek Indexe (Structure Intensive Pigment Index)  $= (R\ 800 - R\ 445) / (R\ 800 - R\ 680)$  (Blackburn 1998)

A karotinoidok (xantofill és  $\beta$ -karotin) és a klorofill- $\alpha$  közti arány becslésére szolgál. Alacsony pigment tartalom esetén csökken az index érzékenysége
- **PSRI:** Növényi Öregedési Reflektancia Index (Plant Senescence Reflectance Index)  $= (R\ 680 - R\ 500) / R\ 750$  (Devadas et al. 2008)

A PSRI index a karotinoid - klorofill arányt vizsgálja, melynek célja a levél „érés” folyamatainak számszerűsítése. Vagyis a vegetáció növekedését, mennyiségi és minőségi változásait mutatja meg. A negatív értékek a klorofill túlsúlyt jelölik, míg a pozitív értékek a karotinoid túlsúlyt.
- **CRI 1:** Karotin Reflektancia Index 1 (Carotenoid Reflectance Index 1-2)  $CRI\ 1 = (1 / R\ 510) - (1 / R\ 550)$  (Gitelson et al. 2002)

Karotinoid/klorofill arány kimutatására alkalmas kicsit nagyobb érzékenységgel, mint a SIPI index. A karotinoid tartalomra érzékenyebb, mint a klorofill tartalomra. Öt körüli érték nem jelent túl magas értéket.
- **MCARI 1** Módosított Klorofill Abszorpciós Reflektancia Index (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance (CAR) Index)  $= [(R\ 700 - R\ 670) - 0.2 * (R\ 700 - R\ 550)] * (R\ 700 / R\ 670)$  (Daughtry et al. 2000)

Az MCARI egy olyan index, mely képes kiszűrni a nem fotoszintetikusan aktív anyagok háttérsugárzását, melyek befolyásolhatják a klorofill koncentráció számítás helyességét.

Magas MCARI érték alacsony klorofill tartalmat jelent, de csak 9-es érték felett látható egyértelműen a különbség.

- **MCARI 2:** Módosított Klorofill Abszorpciós Reflektancia Index 2 (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance (CAR) Index 2) =  $1.5 * [2.5 * (R800 - R670) - 1.3 * (R800 - R550)] / \sqrt{2 * R800 + 1} - (6 * R800 - 5 * \sqrt{R670}) - 0.5$  (Zarco-Tejada et al. 2005)

- **TVI:** Háromszög Vegetációs Index (Triangular Vegetation Index) =  $0.5 * [120 * (R750 - R550) - 200 * (R670 - R550)]$  (Borge & Leblanc 2000)

Az index értéke egy háromszög területét mutatja meg (zöld csúcs, közeli infra-vörös vállak, klorofill abszorpciós minimum). A pigmentek által elnyelt sugárzási energiát írja le. A háromszög területe megnő a klorofill abszorpciója és a levélszövet bősége eredményeként. A sziklevelek várhatóan magasabb értékűek lesznek, mint a lomblevelek.

- **G:** Zöldességi Index (Greenness Index) =  $R554 / R677$  (Zarco-Tejada et al. 2005)

Zöld sáv széle és a vörös sáv közepének hányadosa. A zöldesség mértékét mutatja meg.

- **Chl 2** =  $R800/R700 - 1$  (Gitelson et al. 2001)

- **ARI1:** Antociános Reflektancia Index 1 (Anthocyanin Reflectance Index 1) =  $(1/R550nm) - (1/R700nm)$  (Devadas et al. 2008)

**ARI2:** Antociános Reflektancia Index 2 (Anthocyanin Reflectance Index 2) =  $R800nm [(1/550nm) - (1/700nm)]$  (Gitelson et al. 2001)

Az ARI indexek az antocián felhalmozódás becslésére szolgálnak. Az ARI 2 index az ARI 1 módosított változata, mely magasabb antocián koncentráció érzékelésére képes.

A reflektancia méréseket követően az R Studio program segítségével történt az adatok feldolgozása, a megfelelő hullámhosszok kiválasztása után, spektrális vegetációs indexek (SVI) számítása történt meg. Majd ugyancsak az R fejlesztői környezetet használva boxplot ábrák készültek a számított indexek adataiból. Továbbá a statisztikai elemzéshez szükséges számítások is az R programban lettek elvégezve.

Az ábrák készítését követően Student féle t-próbával és Welch-próbával szignifikáns eltérések keresése történt (Reiczigel et al. 2018). Azokat az eredményeket értelmeztem szignifikánsnak, ahol a  $p < 0,01$ .



### **3.4. Az elvégzett kísérletek és beállításaik**

A kísérleti munka során három különböző kísérletet hajtottunk végre. Az első kísérletben kezeletlen, nem inokulált növényeket, a második és harmadik kísérletben pedig induktorokkal kezelt és *P. halstedii* kórokozóval inokulált növények életfolyamatait vizsgáltuk reflektancia mérésekkel.

#### **3.4.1. 1. kísérlet**

Az első kísérlet során nem történt inokulálás és kezelés sem. Ötven darab csíra vetése és nevelése történt a 3.2.4. fejezetben leírtak alapján. A reflektancia mérések módja a 3.3.1. fejezetben került leírásra. A reflektancia mérések ideje a vetéstől számított 14., 17., 21. és 30. napon történtek. Míg a 14. napon kizárólag szikleveleket mértünk, addig a későbbi mérések során első és második valódi levél párokat is mértünk. Adott mérési napokon 15 – 30 – 45 – 50 darab spektrum felvétele történt.

#### **3.4.2. 2. kísérlet**

A második kísérlet során történtek inokulálások és induktoros kezelések, melyeket részletesen az 1. táblázat mutat be. Kezelésként 60 darab csíra került elültetésre. Az ültetés és növény nevelés módját a 3.2.4. fejezet írja le. A reflektancia mérések ideje a vetéstől számított 13., 17. és 20. napon történtek, kezelésként 15-15 darab spektrum rögzítésével. A 13. napon csak szikleveleket mértünk, míg a 17. és 20. napon csak lombleveleket (első valódi levél párokat).

**1. táblázat: A 2. kísérlet beállítása**

c	Neem c	BTH c	I	Neem + I	BTH + I
Kontrol	Neem pozitív kontrol	BTH pozitív kontrol	Csak inokulált	Neemmel kezelt és inokulált	BTH-val kezelt és inokulált
Kezeletlen, nem inokulált	0,1 V/V%-os NeemAzal T/S készítménnyel kezelt	320mg/l –es töménységű Bion 50 WG készítménnyel kezelt	50000 db sporangium/ml koncentrációjú 2-es izolátummal inokulált	0,1 V/V%-os NeemAzal T/S készítménnyel kezelt és 50000 db sporangium/ml koncentrációjú izolátummal inokulált	320mg/l –es Bion 50 WG készítménnyel kezelt és 50000 db sporangium/ml koncentrációjú izolátummal inokulált

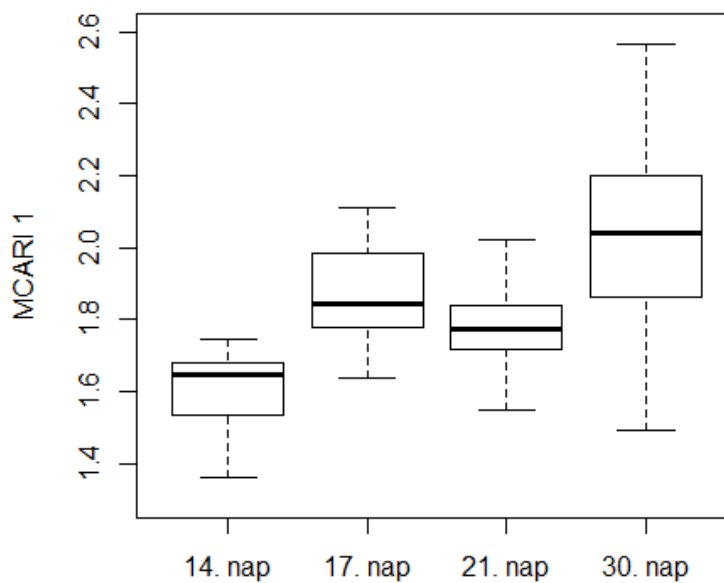
**3.4.3. 3. kísérlet**

A harmadik kísérlet megegyezik a 2. kísérlettel, de a sporangium szuszpenzió koncentrációját 35 000 darab sporangium/ml-re csökkentettük. . Kezelésenként 60 darab csíra került elültetésre. Az ültetés és növény nevelés módját a 3.2.4. fejezet írja le. A reflektancia mérések ideje a vetéstől számított 12., 18. és 21. napon történtek, kezelésenként 15-15 darab spektrum rögzítésével. A 12. napon csak szikleveleket mértünk, míg a 18. és 21. napon csak lombleveleket (első valódi levél párokat).

## 4. Eredmények és értékelésük

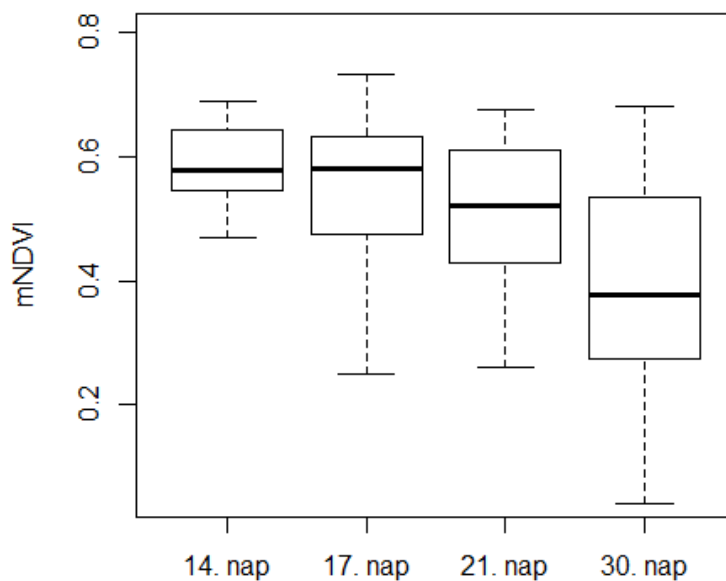
### 4.1. Az 1. kísérlet eredményei egészséges növények vizsgálatával

Az 1. kísérlet körülményei a 3.4.1. fejezetben kerültek ismertetésre. A 9. ábra megmutatja az MCARI 1 index számított értékeit. Az indexszel kapcsolatos tudnivalókról a 3.3.3. fejezet számol be. A 14. napi mérésekhez képest csak a 17. és a 30. napi mérések szignifikánsan nagyobbak. Többi napot érintő szignifikáns eltérések nincsenek.



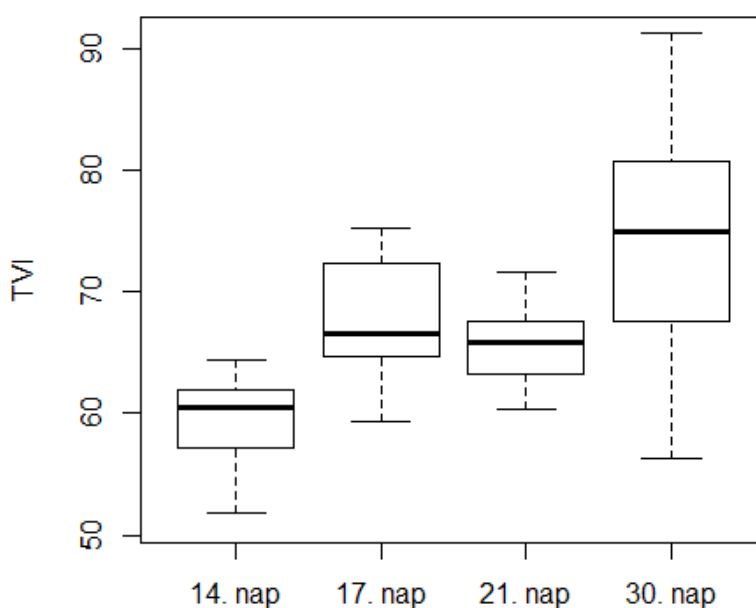
**9. ábra: Az MCARI 1 index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 1. kísérlet során.** Jelmagyarázat: MCARI 1: vegetációs index; 14. nap, 17. nap, 21. nap, 30. nap: vetést követő napok száma

A 10. ábra mutatja be az mNDVI index számított értékeit. Az indexszel kapcsolatos tudnivalókról a 3.3.3. fejezet számol be. A 14. napi mérésekhez képest csak a 30. napi mérések szignifikánsan nagyobbak, viszont a 30. napi mérésekhez viszonyítva a 17. és 21. napi mérések szignifikánsan kisebbek ( $p < 0,01$ ).



**10. ábra: Az mNDVI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 1. kísérlet során.** Jelmagyarázat: mNDVI: vegetációs index; 14. nap, 17. nap, 21. nap, 30. nap: vetést követő napok száma

A 11. ábra mutatja be az TVI index számított értékeit. Az indexszel kapcsolatos tudnivalókról a 3.3.3. fejezet számol be. Ez az index hasonlóan az MCARI 1 indexhez a 30. napon mért adatokat összevetve a 14. és 17. napon mért eredményekkel, a 30. napi adatok szignifikánsan nagyobbak.



**11. ábra: Az TVI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 1. kísérlet során.** Jelmagyarázat: TVI: vegetációs index; 14. nap, 17. nap, 21. nap, 30. nap: vetést követő napok száma

## 4.2. Az 2. kísérlet eredményei

A 2. táblázata mutatja a vizsgált vegetációs indexek értékeinek mérési naponkénti összehasonlítását. Bemutatja az inokulált kontrolhoz (I) képest; a NeemAzal T/S készítménnyel kezelt és inokulált növények (NI vagy Neem+I); és a Bion 50 WG készítménnyel kezelt és inokulált növények (BI vagy BTH+I) közötti szignifikáns különbségeket. Illetve a null kontrolhoz (c) képest; a NeemAzal T/S készítménnyel kezelt, nem inokulált növények (Nc vagy Neem c); és a Bion 50 WG készítménnyel kezelt, nem inokulált növények (Bc vagy BTH c) közötti szignifikáns különbségeket. Tehát adott mérési napon mért adatokból számított vegetációs indexek értékei az adott index két különböző kezelés adatainak hasonlósága jelenik meg p-érték formájában.

**2. táblázat: 2. kísérlet t-próba értékei láthatók. barna:  $p < 0,01$**

2. kísérlet		mNDVI	PRI	SIPI	PSRI	CRI1	ARI1	ARI2	MCARI_1	MCARI_2	G	TVI	Chl2
13. nap	I - NI	0.0980	0.1954	0.7060	0.9181	0.6820	0.9289	0.7437	0.3037	0.3442	0.2712	0.2366	0.0612
	I - BI	0.0331	0.0149	2.37E-04	0.0791	0.0050	0.0019	0.0016	0.0019	0.2125	0.0142	0.0018	0.0040
17. nap	I - NI	0.0872	0.6829	0.2140	0.6733	0.0787	0.8241	0.5423	0.0289	0.0235	0.9695	0.0298	0.1098
	I - BI	0.3012	0.8786	0.1180	0.0285	0.0782	0.0030	0.0034	0.0062	1.72E-04	4.48E-04	0.0057	0.5555
20. nap	I - NI	0.2316	0.5900	0.8620	0.9069	0.6073	0.5260	0.8101	0.4512	0.1710	0.3302	0.3781	0.2827
	I - BI	0.8743	0.7242	0.2294	0.3646	0.8463	0.0167	0.0237	0.0548	0.3278	0.1644	0.0599	0.8344
13. nap	c - Nc	0.0065	0.6070	0.0846	0.0014	0.0566	0.5026	0.6524	0.9306	0.0270	0.0964	0.8677	0.0101
	c - Bc	0.0049	0.9467	0.2288	4.08E-04	0.9825	0.3972	0.3659	0.0037	0.0019	2.10E-05	0.0089	0.0519
17. nap	c - Nc	0.9729	0.4340	0.1557	0.8033	0.4112	0.1854	0.1989	0.6972	0.5925	0.2511	0.7081	0.3335
	c - Bc	0.0031	0.0816	0.9710	0.0850	0.7959	0.0076	0.0090	0.0744	0.0098	0.1760	0.1633	0.0099
20. nap	c - Nc	0.3590	0.4358	0.2638	0.0806	0.2986	0.3525	0.3370	0.2110	0.1957	0.3705	0.1499	0.9329
	c - Bc	0.1600	0.2269	0.3457	0.2321	0.6102	0.0215	0.0233	0.8296	0.3986	0.5951	0.9174	0.1124

Jelmagyarázat: mNDVI, PRI, SIPI, PSRI, CRI1, ARI1, ARI2, MCARI\_1, MCARI\_2, G, TVI, Chl2: vegetációs indexek; 13. nap, 17. nap, 20. nap: vetést követő napok száma; I – NI, I – BI, c – Nc, c – Bc: összehasonlító párok a különböző kezelésekre és a kontrol növények között

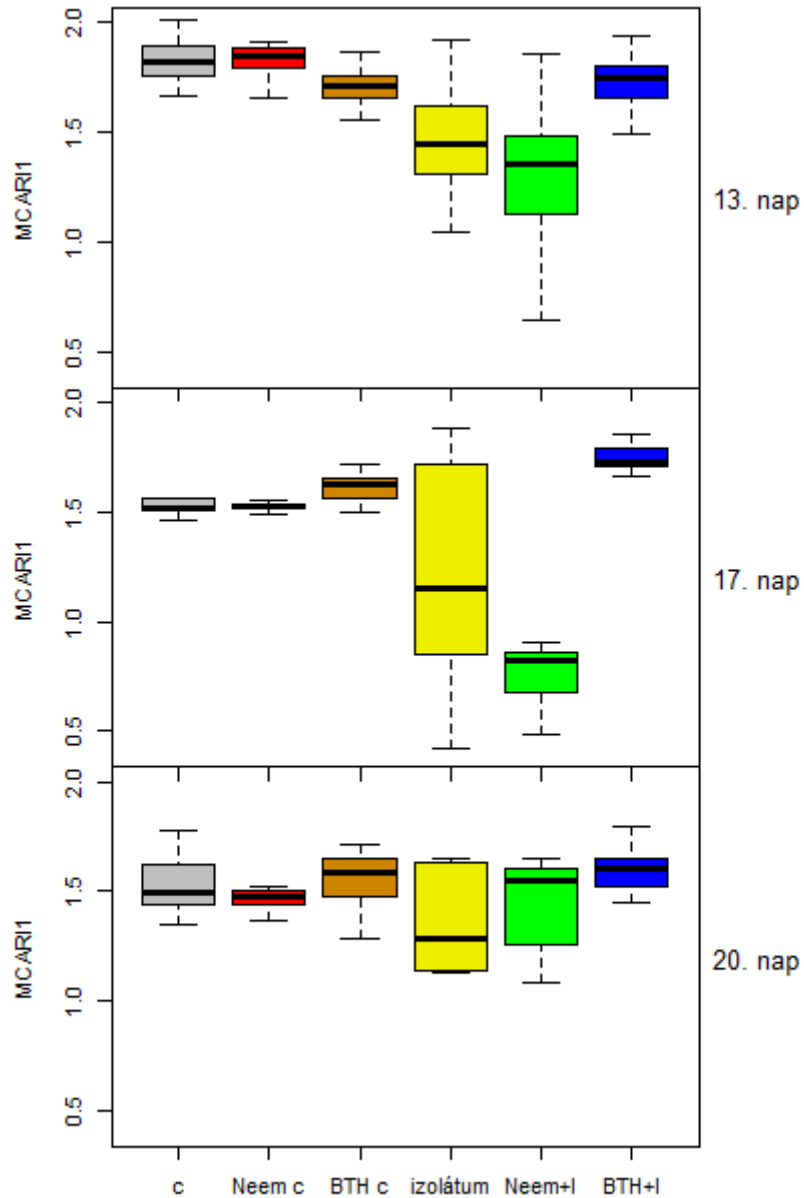
A 13. napi mérések során a Neem induktórral kezelt (NI és Nc) növények esetében csak az mNDVI és PSRI vegetációs indexnél tapasztalható szignifikáns eltérés, összehasonlítva a null kontrol (c) értékeivel. Ugyanezen napon a BTH-val kezelt inokulált növények (BI) az inokulált kontrolhoz (I) képest csak a SIPI, CRI1, ARI1, ARI2, MCARI 1, TVI, Chl2 vegetációs indexek esetében látható szignifikáns eltérés. Míg a BTH-val kezelt nem inokulált (Bc)

növények a null kontrolhoz (c) viszonyítva a 13. napon csak az mNDVI, PSRI, MCARI 1, MCARI 2, G, TVI indexek különböznek szignifikánsan. A 17. napon egyik Neemmel történő kezelés sem mutatott statisztikailag szignifikáns eltérést az inokulált kontrol (I) és a null kontrolhoz (c) viszonyítva. Ugyanakkor a BTH-val kezelt inokulált növények (BI) az inokulált kontrolhoz (I) viszonyítva az ARI1, ARI2, MCARI\_1, MCARI\_2, G, TVI indexek szignifikánsan eltértek. A 20. napi adatok összehasonlítása során egyetlen esetben sem található statisztikailag szignifikáns eltérés.

A 2. táblázat csak a lehetséges szignifikáns különbségeket mutatja meg, viszont a következő néhány ábráról leolvasható, hogy az adott index esetében szignifikánsan nagyobb vagy kisebb eltérésről van-e szó.

#### 4.2.1. Módosított Klorofill Abszorpciós Reflektancia Index (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance, MCARI1)

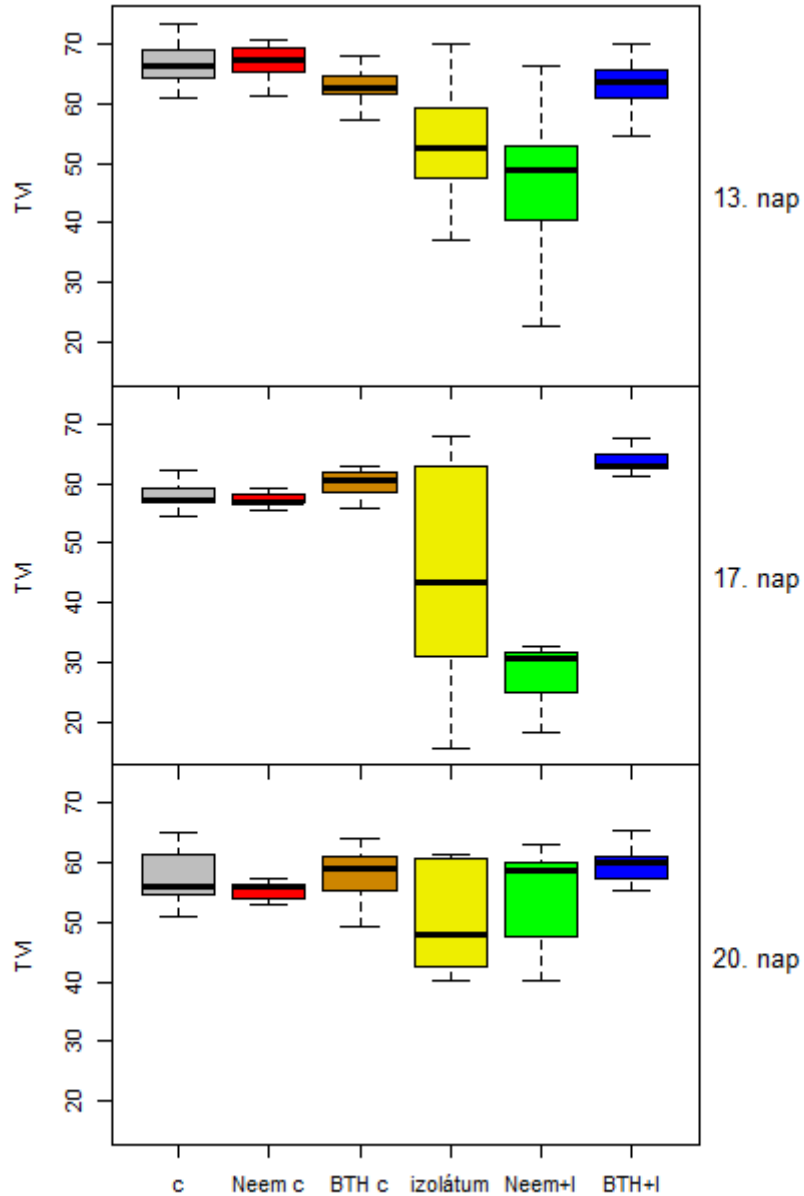
Az MCARI 1 indexet vizsgálva megfigyelhető, hogy a BTH-val kezelt inokulált napraforgók értékei a 13. és 17. napon szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a *P. halstedii* kórokozóval inokulált kezeletlen növények értékei. Ugyanakkor a BTH-val kezelt, nem inokulált növények értékei szignifikánsabbak voltak a 13. napon, mint a null kontrol (c). Ez az index a Neemes kezelést kapott növények esetében csak a 17. napon mért inokulált és Neemmel kezelt inokulált növények között nem mutatott szignifikáns eltérést (12. ábra).



**12. ábra: Az MCARI 1 index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 2. kísérlet során**

#### 4.2.2. Háromszög Vegetációs Index (Triangular Vegetation Index, TVI)

Az TVI index esetében is megfigyelhető, hogy a BTH-val kezelt inokulált napraforgók értékei a 13. és 17. napon szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a *P. halstedii* kórokozóval inokulált kezeletlen növények értékei. Ugyanakkor a BTH-val kezelt, nem inokulált növények értékei szignifikánsabb kisebbek voltak a 13. napon, mint a null kontrol (c).

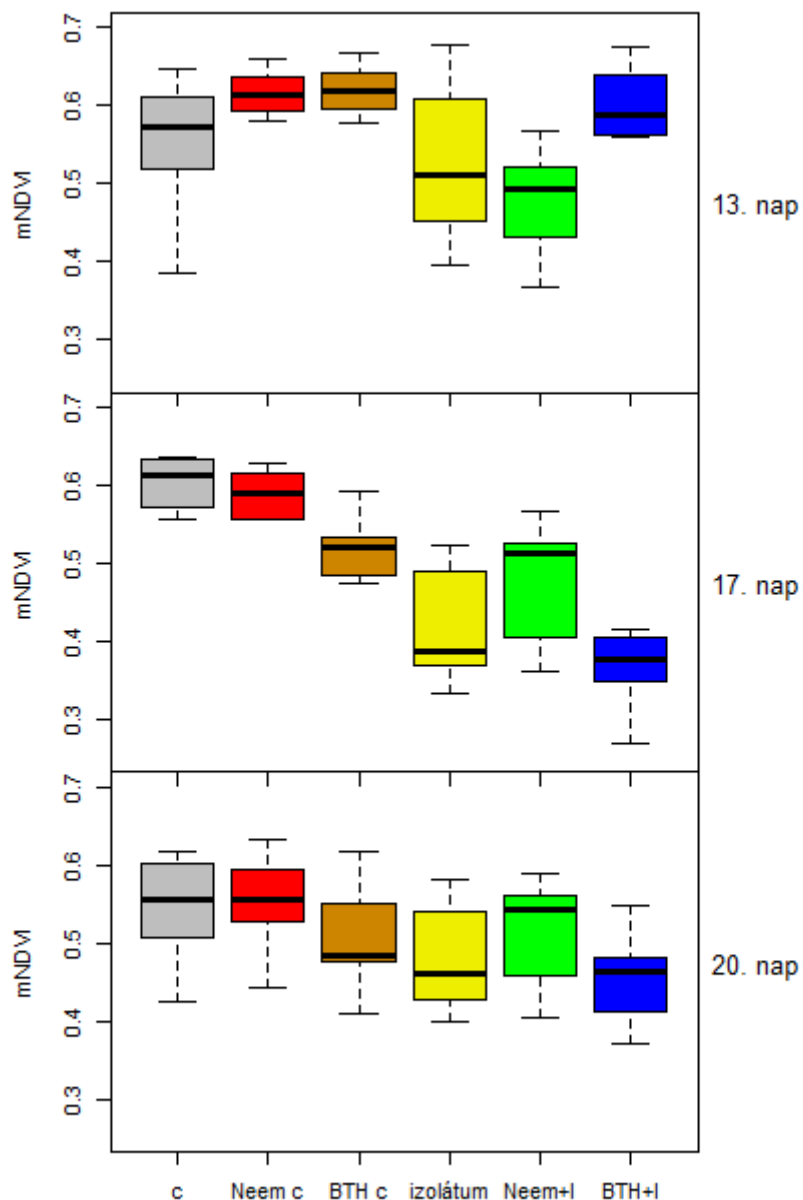


**13. ábra: Az TVI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 2. kísérlet során**

#### 4.2.3. Módosított Vörös Él Normalizált Vegetációs Index (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, mNDVI)

Az inokulált növények esetében nincs szignifikáns különbség. Viszont a 13. napon a kontrol (c) és a kezelt kontrolok (Neem c és BTH c) mindkét esetben szignifikánsan nagyobbak voltak (14. ábra). Míg a 17. napon csak a null kontrol – BTH kontrol esetében volt szignifikáns eltérés. Ebben az esetben már szignifikánsan kisebb volt a BTH kontrol értéke.

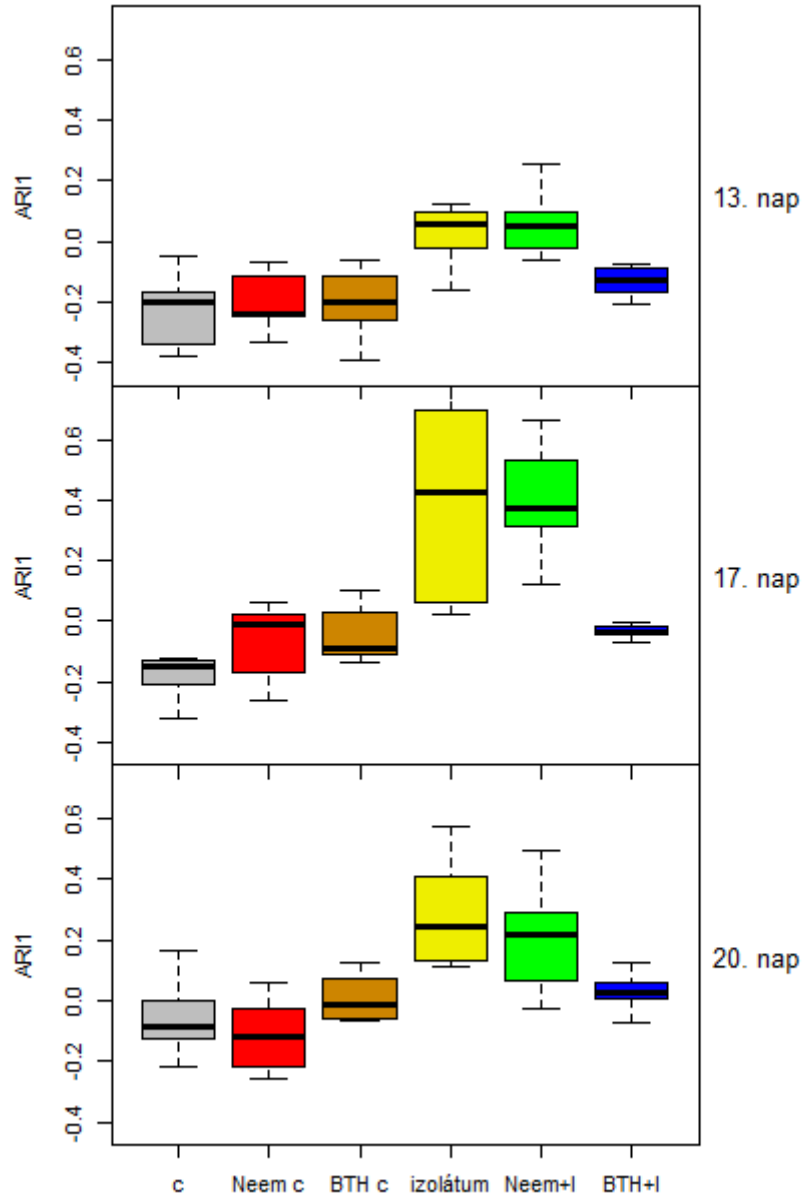




**14. ábra: Az mNDVI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 2. kísérlet során**

#### 4.2.4. Antociános Reflektancia Indexek (Anthocyanin Reflectance Index , **ARI**)

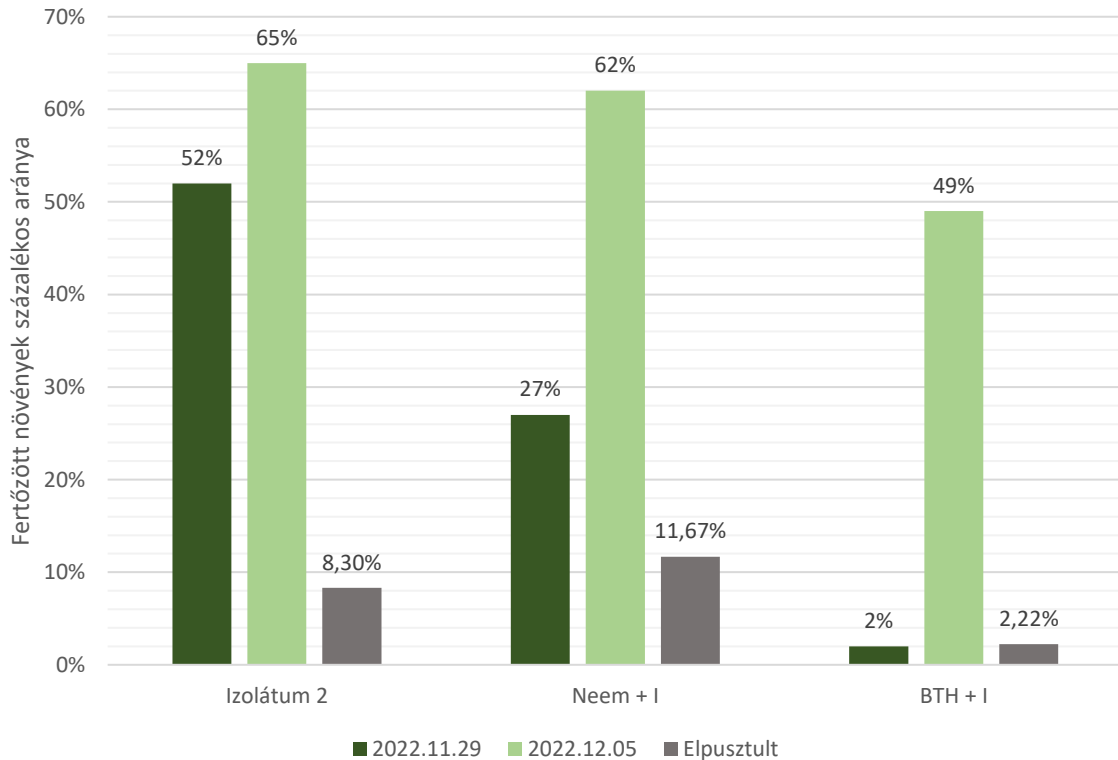
Az ARI indexek esetében csak a BTH kezelések esetében volt szignifikáns eltérés (kivéve a kontrol csoportokat a 13. és 20. napokon), bár ellentétes irányú. Míg az inokulált csoportok esetében a BTH-val kezelt és inokulált növények értékei szignifikánsan kisebbek voltak, addig a kezeletlen kontrol csoportoknál a BTH-val kezelt nem inokulált növények értékei a 17. napon szignifikánsan nagyobbak voltak (15. ábra).



**15. ábra: Az ARI 1 index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 2. kísérlet során**

### 4.3. A fertőzöttségi értékek alakulása a 3. kísérletben

A 3. kísérlet során számolt fertőzött növények százalékos arányát mutatja be a 16. ábra.



**16. ábra: 3. kísérlet során kapott fertőzöttségi értékek és az elpusztult egyedek százalékos aránya az összes fertőzött növényhez képest**

Megfigyelhető, hogy azokban a beállításokban, ahol valamilyen induktoros kezelést történt, az első mérés alkalmával szignifikánsan alacsonyabb volt a megbetegedés mértéke, mint a kizárólag inokulált növények esetében. A második mérés alkalmával viszont a tüneteket mutató növények aránya jelentősen emelkedett, minden inokulált beállítás esetében (I, Neem+I, BTH+I). Viszont a kísérlet során elhalt növények számában már jelentős eltérés volt tapasztalható. A BTH-val kezelt növények majdnem fele mutatott tüneteket, melyek *Plasmopara halstedii* fertőzöttségre utaltak, ellenben az elhalt növények száma jelentősen kevesebb volt, mint a másik két kísérleti beállítás esetében.

#### 4.4. 3. kísérlet vegetációs index eredmények

A 3. táblázata mutatja a vizsgált vegetációs indexek értékeinek mérési naponkénti összehasonlítását. Bemutatja az inokulált kontrolhoz (I) képest; a NeemAzal T/S készítménnyel kezelt és inokulált növények (NI vagy Neem+I); és a Bion 50 WG készítménnyel kezelt és inokulált növények (BI vagy BTH+I) közötti szignifikáns különbségeket. Illetve a null kontrolhoz (c) képest; a NeemAzal T/S készítménnyel kezelt, nem inokulált növények (Nc vagy Neem c); és a Bion 50 WG készítménnyel kezelt, nem inokulált növények (Bc vagy BTH c) közötti szignifikáns különbségeket. Tehát adott mérési napon mért adatokból számított vegetációs indexek értékei az adott index két különböző kezelés adatainak hasonlósága jelenik meg p-érték formájában.

#### 3. táblázat: 3. kísérlet t-próba értékei láthatók. barna: $p < 0,01$

3. kísérlet	mNDVI	PRI	SIPI	PSRI	CRI1	ARI1	ARI2	MCARI_1	MCARI_2	G	TVI	Chl2	
12. nap	I - NI	0.7969	0.4405	0.0635	0.6312	0.1061	0.1772	0.3221	0.1083	0.4405	0.1862	0.1260	0.3674
	I - BI	0.3533	0.1042	0.0275	0.2066	0.0984	0.3830	0.7418	0.0720	0.7005	0.1990	0.1078	0.0466
18. nap	I - NI	0.7208	0.7607	0.0538	0.0500	0.0690	0.9191	0.9331	0.4828	0.4666	0.1771	0.3347	0.3875
	I - BI	0.7423	0.7544	0.6938	0.9998	0.5452	0.0303	0.0323	0.7255	0.6704	0.5377	0.5811	0.5259
21. nap	I - NI	0.9044	0.2838	0.7311	0.0026	0.1967	0.0144	0.0128	4.00E-04	0.9850	0.8165	2.99E-03	0.6707
	I - BI	0.9590	0.6805	0.2424	0.0091	0.0651	0.0203	0.0166	0.0269	0.6195	0.9104	0.0492	0.8994
12. nap	c - Nc	0.3856	0.0791	0.3646	0.0893	0.3036	0.0498	0.0511	0.1031	0.3734	0.5469	0.1625	0.7292
	c - Bc	0.0012	0.0084	0.2218	0.8079	0.0114	5.72E-04	5.49E-04	1.08E-06	0.0047	0.9773	2.54E-06	0.0028
18. nap	c - Nc	0.6899	0.6528	0.9860	0.0882	0.7837	0.9657	0.9405	0.0306	0.3339	0.3494	0.0358	0.9491
	c - Bc	0.2646	0.7083	0.1758	0.2390	0.2061	0.9798	0.9985	0.9598	0.8828	0.8340	0.5700	0.1426
21. nap	c - Nc	0.0267	0.2268	0.2471	0.0705	0.1232	0.9627	0.8254	1.13E-04	0.9850	0.0989	1.77E-04	0.0090
	c - Bc	0.8711	0.0820	0.1033	0.0899	0.1356	0.4468	0.3898	0.4218	0.6195	0.6840	0.5627	0.5383

Jelmagyarázat: mNDVI, PRI, SIPI, PSRI, CRI1, ARI1, ARI2, MCARI\_1, MCARI\_2, G, TVI, Chl2: vegetációs indexek; 12. nap, 18. nap, 21. nap: vetést követő napok száma; I – NI, I – BI, c – Nc, c – Bc: összehasonlító párok a különböző kezelések és a kontrol növények között

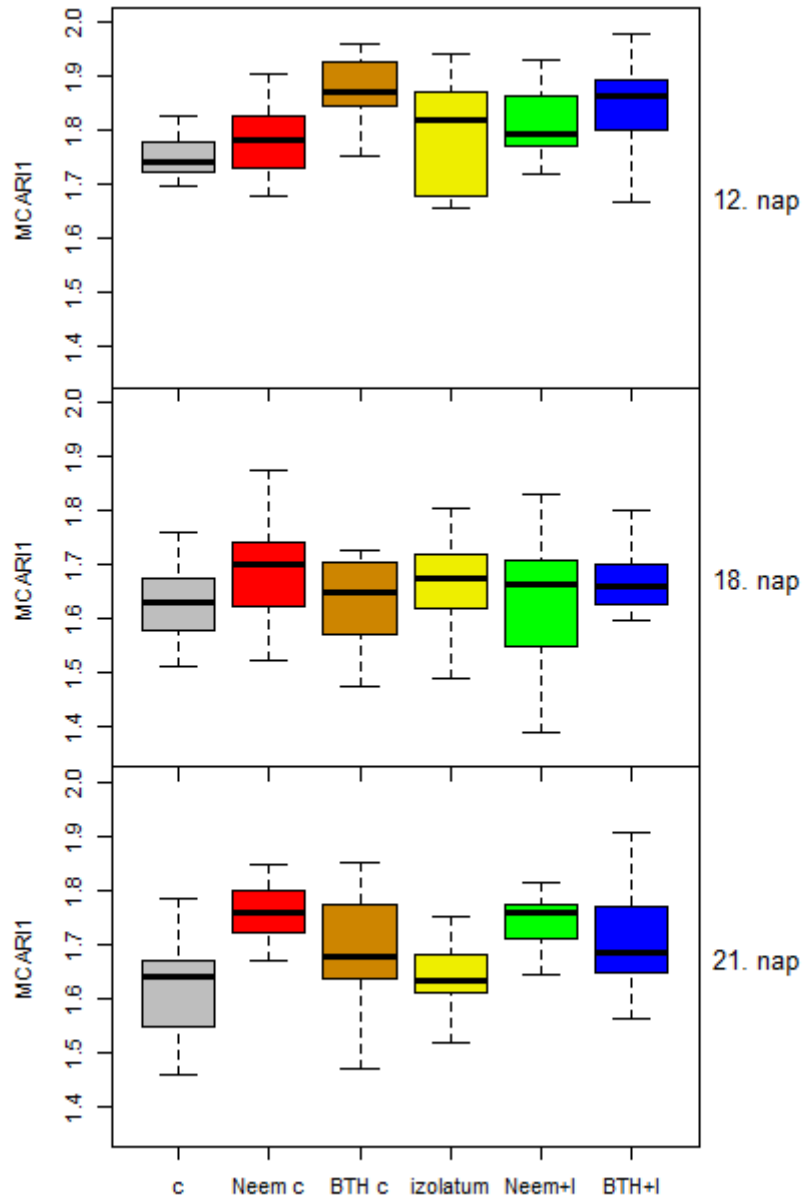
A 12. napi mérések során kapott vegetációs indexekkel kapcsolatos adatokat összevetve látható, hogy az inokulált növények eredményei között nincsen szignifikáns különbség. Ezzel szemben a null kontrolhoz (c) viszonyítva a BTH-val kezelt nem inokulált (Bc) növények a következő indexek esetében voltak szignifikáns eltérések: mNDVI, PRI, ARI1, ARI2, MCARI 1, MCARI 2, TVI, Chl2. A 18. napi adatok összehasonlítása során egyetlen esetben sem található statisztikailag szignifikáns eltérés. A 21. nap adatait vizsgálva látható, hogy az inokulált kontrolhoz (I) viszonyítva a Neemmel kezelt inokulált (NI) beállításnál csak ekkor tapasztalható szignifikáns eltérés a PSRI, MCARI 1, TVI indexek esetében. Ugyanezen napi adatok esetében az inokulált kontrolhoz (I) viszonyítva a BTH-val kezelt inokulált (BI) növények, szignifikáns különbséget mutatott a PSRI index. A null kontrolhoz (c) viszonyítva a

Neemmel kezelt nem inokulált (Nc) növények esetében kizárólag az MCARI 1, TVI, Chl2 indexek esetében látható szignifikáns különbség.

A 3. táblázat csak a lehetséges szignifikáns különbségeket mutatja meg, viszont a következő néhány ábráról leolvasható, hogy az adott index esetében szignifikánsan nagyobb vagy kisebb eltérésekről van-e szó.

#### 4.4.1. Módosított Klorofill Abszorpciók Reflektancia Index (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance, MCARI)

Az MCARI 1 index esetében a kontrol (c) és kezelt kontrolokat (Neem c és BTH c) összehasonlítva csak a 21. napon felfedezhetőek szignifikánsan nagyobb eltérések (17. ábra). A csak Bion 50 WG-vel kezelt növények a 12. napon szignifikánsan ( $p < 0,01$ ) magasabb értéket vettek fel a kontrolhoz képest. Míg a 21. napon a Neem kontrol ért el hasonlóan magasabb szignifikáns értéket.

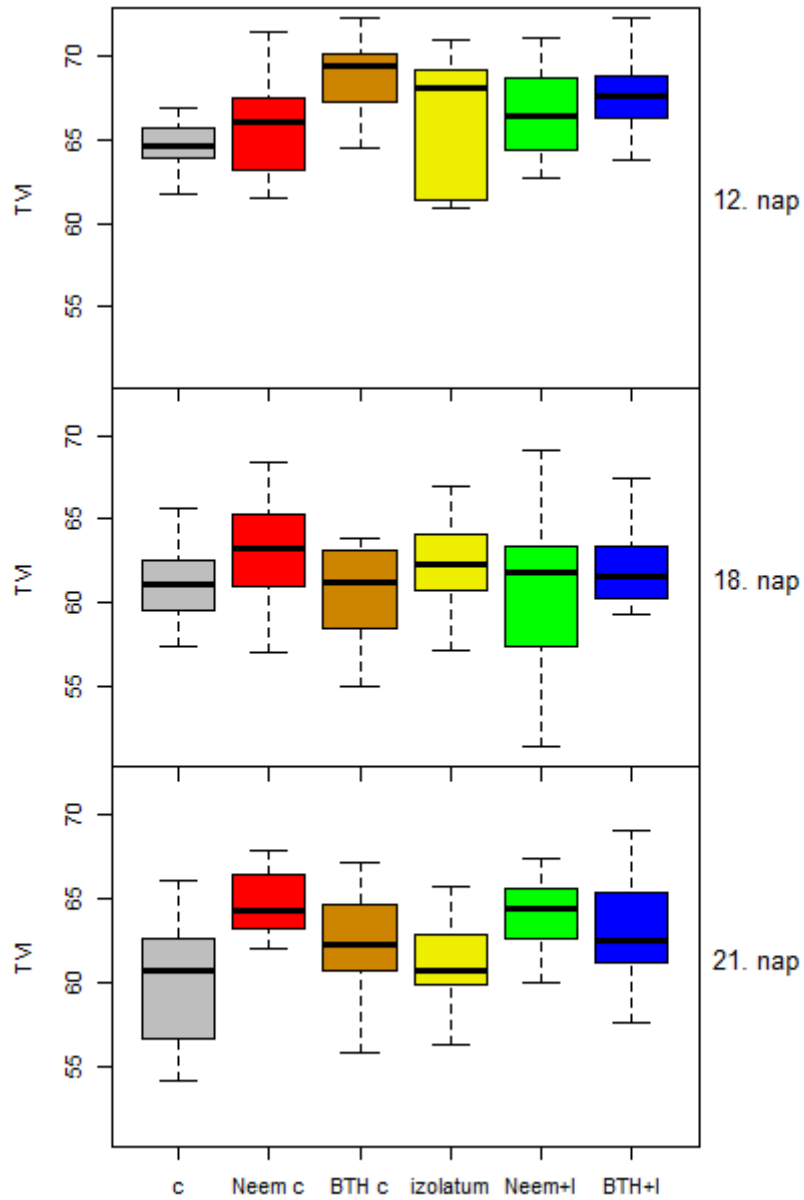


**17. ábra: : Az MCARI 1 index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 3. kísérlet során**

#### 4.4.2. Háromszög Vegetációs Index (Triangular Vegetation Index, TVI)

Az MCARI 1 indexre ebben az esetben is nagyon hasonlít a TVI index. A null kontrol (c) és kezelt nem inokulált (Neem c és BTH c) növényeket összehasonlítva csak a 21. napon felfedezhetőek szignifikánsan nagyobb eltérések (17. ábra). A csak Bion 50 WG-vel kezelt növények a 12. napon szignifikánsan ( $p < 0,01$ ) magasabb értéket vettek fel a kontrolhoz képest.

Míg a 21.napon a Neemmel kezelt nem inokulált növények érték el hasonlóan magasabb szignifikáns értéket.



**18. ábra: Az TVI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 3. kísérlet során**

## 5. Következtetések és javaslatok

Mindkét induktoros kísérletnél (4.2. és a 4.4. fejezet) jól látszódik, hogy a Bion 50 WG-vel (BTH) végzett kezelések esetében jelentős mennyiségű szignifikáns eltérés volt tapasztalható a NeemAzal T/S (Neem) készítménnyel kezelt növényekhez képest. Ezek a szignifikáns eltérések általában azt bizonyították, hogy a BTH-val történő kezelés a növény hasznára vált. A 2. és 3. kísérlet során a BTH kezelés időtartama minden esetben 1 óra volt 320 ppm-es koncentráció mellett, míg a szakirodalom szerint elegendő lehet a 30 perces kezelési időtartam akár 160 ppm-es koncentráció mellett is (Bán et al. 2004). Ehhez képest a NeemAzal T/S (Neem) készítményes kezelések a null kontrolhoz (c) és az inokulált kontrolhoz (I) viszonyításokban sokkal kevesebb szignifikáns eltérést mutatott. A 3. kísérlet fertőzöttségi értékelése folyamán a Neemmel kezelt és inokulált (Neem + I) növények közül halt el a legtöbb növény. Doshi et al. (2020) által végzett kísérlet során a NeemAzal T/S-sel történő kezelés alatt a csírák 2 órás kezelésben részesültek a 24 órás inokulálást megelőzően. A vegetációs index eredményeket és a fertőzöttségi százalékos arányokat és az elpusztult növények százalékos arányait összevetve látható, hogy az MCARI1 és a TVI vegetációs indexek kiválóan megmutatták a BTH-val történő kezelés hatásosságát és a Neemmel történő kezelés sikertelenségét. Ezek teljesen új eredmények nem nagyon lelhető fel olyan tanulmány, mely az indukált rezisztencia hatásait hiperspektrális reflektancia mérésekkel vizsgálta volna.

A napraforgó reflektancia vizsgálatait illetően a szakirodalomban nagyon kevés adat áll rendelkezésre. Garbulsky et al. (2011) szerint 84 db PRI vegetációs indexszel foglalkozó tanulmányból mindössze 3 foglalkozik a napraforgóval. Például Gamon et al. (2001) megállapítja, hogy a PRI index értékének csökkenése összefügg az öregedéssel, ez pedig megfigyelhető a Melléklet 1. ábráján is a szórások tekintetében. Ugyanis többféle fejlettségű levelet is mértünk a 17., 21. és 30. napon az 1. kísérlet során.

Elérhetőek a szakirodalomban olyan tanulmányok, melyek egy másik *Plasmopara* nemzetségbe tartozó faj, a szőlő-peronoszpóra (*Plasmopara viticola*) vizsgálatai esetében használtak hiperspektrális reflektancia méréseket. Pithan et al. (2021) vizsgálatában nem használt spektrális vegetációs indexeket, hanem olyan reflektancia hányadosokat kerestek, amelyek indikátorok lehetnek a *P. viticola* esetében. Lacotte et al. (2022) sem használt indexeket, hanem hiperspektrális képalkotás segítségével egy program csomagot fejlesztett (Support Vector Machine classifier), mely a betegség korai felismerésében segíthet, még a tünetek megjelenése előtt továbbá a betegség súlyosságát jelezheti előre.



A kísérletek folytatása mindenképpen érdemes, ugyanis nagyon kevés olyan szakirodalom áll rendelkezésre, mely a napraforgót vizsgálja spektrális módszerekkel, különösen gomba betegségek tekintetében. Érdemes lenne új műszerek bevonása a kísérletekbe, például hiperspektrális kamera, aminek a segítségével gyorsítható a mérések folyamata laboratóriumi és akár terepi mérések folyamán, illetve bővítené az adatok felhasználási körét.

Fontos leszögezni, hogy jelen dolgozat a már meglévő adatoknak csak egy részét elemezte ezért a továbbiakban új megközelítések és esetleg modellek alkotása (pl. PLSR) sok új információval szolgálhat.

## 6. Összefoglalás

A napraforgó hazánk legfontosabb étkezési célú olajnövénye. A napraforgó-peronoszpóra jelentősége folyamatosan növekszik, ugyanis folyamatosan újabb és újabb változatok jelennek meg képesek letörni a korszerű hibridek rezisztenciáját is (Molinero-Ruiz 2019). Ezen kívül bizonyos változatok fungicidtoleranciája miatt is egy olyan kórokozó, amelynek változását fokozott figyelemmel érdemes követni (Körösi et al. 2021).

Munkám célja különböző vegetációs indexek alkalmazhatóságának tesztelése volt növényi induktorokkal kezelt és napraforgó-peronoszpórával fertőzött növények életfolyamatainak vizsgálatához.

A NeemAzal és különböző növényi induktorok hatása a napraforgó-peronoszpórával szemben az előzetes vizsgálatok alapján pozitív, de a kezelt és fertőzött növényekben lezajló életfolyamatokról keveset tudunk, márpedig ez alapvető a gyakorlati alkalmazás bevezetése előtt (Doshi et al. 2020, Körösi et al. 2021).

A távérzékelés olyan információszerzés, ahol a különböző célú adatfeldolgozás számára a vizsgált objektumról közvetett úton nyerhető információ, amely alkalmas a vizsgált objektumok geometriai paramétereinek, fizikai tulajdonságainak, tartalmának stb. meghatározására (Winkler 2020). Sok különféle érzékelővel lehet távérzékelési vizsgálatokat végezni. Ilyen érzékelők lehetnek a multispektrális, hiperspektrális, infravörös vagy RGB (valódi színes) kamerák (Makanza et al. 2018). A multi- és hiperspektrális szenzorok vagy kamerák által rögzített adatokból lehet különféle indexeket számolni. A kifejezetten növények vizsgálatára fejlesztett indexeket, spektrális vegetációs indexeknek (spectral vegetation index, SVI) hívjuk. Ezek az indexek olyan spektrális adatok alapján számolható értékek, melyek adatot szolgáltatnak valamely növényi tulajdonságról (Peteinatos et al. 2016). Közvetett módon pedig hasznosnak bizonyulnak növényi betegségek kimutatására (Mahlein et al. 2013).

A vizsgálatokhoz Iregi szürke csíkos szabad elvirágzású napraforgó fajtát használtunk. Három különböző kísérletet hajtottunk végre. Először egészséges napraforgó növényeket vizsgáltunk, hogy a szakirodalomban fellelhető indexekről referencia értékeket kapjunk a növény különböző fejlődési szakaszaiban. Majd a következő kísérletekben különböző induktorokkal (Bion 50 WG és NeemAzal T/S készítménnyel) kezelt és *Plasmopara halstedii* kórokozóval inokulált növények reakcióját, életfolyamatait vizsgáltuk és jellemeztük vegetációs indexek segítségével.

A 2. és 3. kísérlet értékelése folyamán tisztán látszott, hogy a NeemAzal T/S készítménnyel végzett kezelés nem érte el a célját, ezzel szemben a Bion 50 WG készítménnyel történő kezelés hatásosnak bizonyult nem csak a fertőzöttségi arányok elemzése folyamán, hanem a vegetációs indexek esetében is. Az MCARI1 és a TVI vegetációs index bizonyult a leginkább alkalmasnak arra, hogy napraforgó-peronoszpórával fertőzött növények érintettsége gyanítható legyen.

## **7. Köszönetnyilvánítás**

Ez úton is szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Dr. Bán Ritának és Dr. Balogh Jánosnak, akik munkájukkal és érdemleges tanácsaikkal hozzájárultak a mérések és a dolgozat minél precízebb elkészültéhez. Továbbá szeretném megköszönni Baraksó Rita laboránsnak, Arbnora Berisha PhD hallgatónak Molnár Eszter és Dana Galymzhankyzy hallgató társaimnak, hogy aktívan segítséget nyújtottak a mérések kivitelezésében.

## 8. Irodalomjegyzék

- AL-Saddik, H., Simon, J.-C. & Cointault, F. (2017): Development of Spectral Disease Indices for ‘Flavescence Dorée’ Grapevine Disease Identification. *Sensors*, 17(12): 2772.
- Ashourloo, D., Mobasher, M.R. & Huete, A. (2014): Developing Two Spectral Disease Indices for Detection of Wheat Leaf Rust (*Puccinia triticina*). *Remote Sensing*, 6: 4723-4740.
- Bán R., Kiss J., Pálkás Z. & Körösi K. (2023): Placing Management of Sunflower Downy Mildew (*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni) under an Integrated Pest Management (IPM) System Approach: Challenges and New Perspectives. *Agronomy*, 13(4): 1029. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041029>
- Bán R., Kovács A., Baglyas G., Perczel M., Égei M., Turóczy Gy. & Körösi K. (2016): Napraforgó-peronoszpóra (*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni) patotípusok elterjedése hazánkban. *Növényvédelem*, 77 (52): 391-396.
- Bán R., Kovács A., Nisha, N., Pálkás Z., Zalai M., Jousif, A.L.A. & Körösi K. (2021): New and High Virulent Pathotypes of Sunflower Downy Mildew (*Plasmopara halstedii*) in Seven Countries in Europe. *Journal of Fungi*, 7(7): 549. <https://doi.org/10.3390/jof7070549>
- Bán, R., Virányi, F. & Komjáti, H. (2004): Benzothiadiazole-Induced Resistance to *Plasmopara Halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni in Sunflower. In *Advances in Downy Mildew Research—Volume 2*, 265-273p.
- Barzman, M., Barberi, P., Birch, N., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichane, J.M., Messean, A., Moonen, C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L. & Sattin, M. (2015): Eight principles of Integrated Pest Management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4): 1199–1215.
- Blackburn, G. A. (1998): Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. *International Journal of remote sensing*, 19(4): 657-675.
- Borge, N. H. & Leblanc, E. (2000): Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76: 156-172.
- Daughtry, C.S., Walthall, C.L., Kim, M.S., De Colstoun, E.B., & McMurtrey Iii, J.E. (2000): Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2): 229-239.
- Devadas, R., Lamb, D.W., Simpfendorfer, S. & Backhouse, D. (2008): Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agriculture*, 10:459–470.

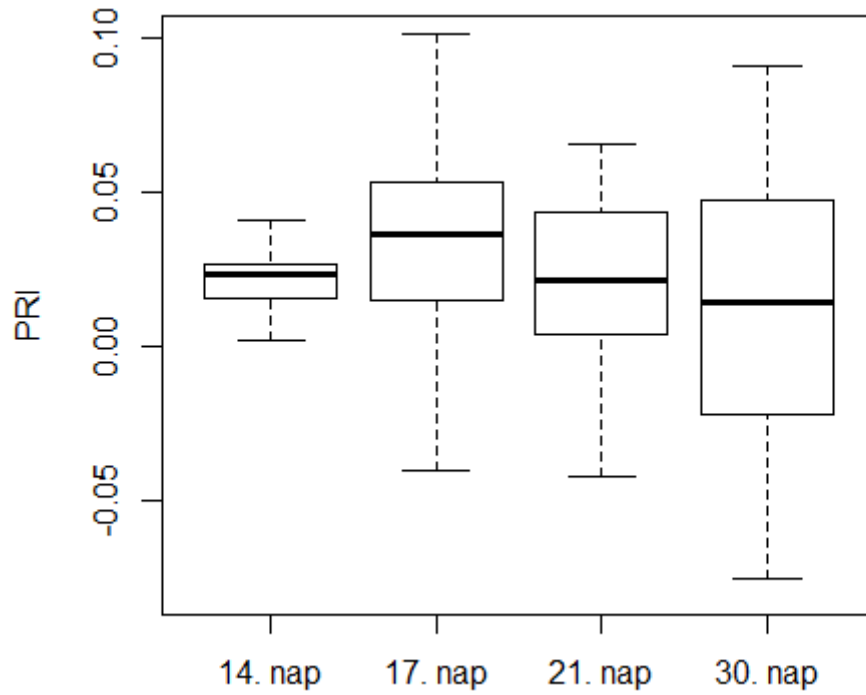
- Doshi, P., Nisha, N., Yousif, A.I.A., Körösi K., Bán R. & Turóczy G. (2020): Preliminary Investigation of Effect of Neem-Derived Pesticides on *Plasmopara halstedii* Pathotype 704 in Sunflower under *In Vitro* and *In Vivo* Conditions. *Plants*, 9(4): 535. <https://doi.org/10.3390/plants9040535>
- Durrant, W.E. & Dong, X. (2004): Systemic acquired resistance. *Annual review of phytopathology*, 42(1): 185-209.
- Gamon, J. A., Field, C. B., Fredeen A. L., & Thayer, S. (2001): Assessing photosynthetic downregulation in sunflower stands with an optically-based model, *Photosynthesis Research* 67: 113–125.
- Gamon, J.A., Huemmrich, K.F., Wong, C.Y.S., Ensminger, I., Garrity, S., Hollinger, D.Y., Noormets, A. & Penuelas, J. (2016): A remotely sensed pigment index reveals photosynthetic phenology in evergreen conifers. *Biological sciences*, 113(46): 13087-13092.
- Gascuel, Q.M.Y., Boniface, M.-C., Vear, F., Pichon, M. & Godiard, L. (2015): The sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Molecular Plant Pathology* 16(2): 109–122, <https://doi.org/10.1111/mpp.12164>
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N. & Chivkunova, O.B. (2001): Optical Properties and Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Plant Leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 74(1): 38–45.
- Gitelson, A. A., Zur, Y., Chivkunova, O.B. & Merzlyak, M.N. (2002): Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75(3): 272–281.
- Islam, M.T. & Tahara, S. (2001): Chemotaxis of Fungal Zoospores, with Special Reference to *Aphanomyces cochlioides*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65(9): 1933-1948., <https://doi.org/10.1271/bbb.65.1933>
- Kontoes, C., Wilkinson, G.G., Burill, A., Goffredo, S. & Mégier, J. (1993): An experimental system for the integration of GIS data in knowledge-based image analysis for remote sensing of agriculture. *International Journal of Geographical Information Systems* 7: 247-262., [doi.org/10.1080/02693799308901955](https://doi.org/10.1080/02693799308901955)
- Körösi K., Kovács A., Nisha, N., Bóta I., Perczel M., Yousif, A.I.A., Kiss J., Bán R. (2021): New data on pathotype distribution and mefenoxam tolerance of *Plasmopara halstedii* in Hungary. *Plant Protection Science.*, 57(1): 31–37.
- Kuč, J. (2001): Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. *European Journal of Plant Pathology*, 107(1): 7-12.
- Lacotte, V.; Peignier, S.; Raynal, M.; Demeaux, I.; Delmotte, F.; da Silva, P. (2022): Spatial–Spectral Analysis of Hyperspectral Images Reveals Early Detection of Downy Mildew on Grapevine Leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17): 10012.

- Li, Z. & Guo, X. (2018): Non-photosynthetic vegetation biomass estimation in semiarid Canadian mixed grasslands using ground hyperspectral data, Landsat 8 OLI, and Sentinel-2 images. *International Journal of Remote Sensing*, 39(20): 6893-6913.
- Lu, X., Zhang, Y., Zhang, W. & Wang, T. (2018): Advances in hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(14): 2353-2365.
- Makanza, R., Zaman-Allah, M., Cairns, J.E., Magorokosho, C., Tarekegne, A., Olsen, M. & Prasanna BM. (2018): High-Throughput Phenotyping of Canopy Cover and Senescence in Maize Field Trials Using Aerial Digital Canopy Imaging. *Remote Sensing*, 10(2): 330., <https://doi.org/10.3390/rs10020330>
- Mazzanti P. & Romeo S. (2023): Introduction to a Thematic Set of Papers on Remote Sensing for Natural Hazards Assessment and Control. *Remote Sensing*, 15(4): 1048. <https://doi.org/10.3390/rs15041048>
- Meng, R., Lv, Z., Yan, J., Chen, G., Zhao, F., Zeng, L. & Xu, B. (2020): Development of Spectral Disease Indices for Southern Corn Rust Detection and Severity Classification. *Remote Sensing*, 12(19): 3233.
- Molinero-Ruiz, L. (2019): Recent advances on the characterization and control of sunflower soilborne pathogens under climate change conditions. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 26(2): 9.
- Pálinkás Z., Perczel M., Szénási Á., Dorner Z., Kiss J. & Bán R. (2018): A napraforgó integrált védelme. *Növényvédelem*, 79(54): 11.
- Park, B. & Bruke, J.M. (2020): Phylogeography and the Evolutionary History of Sunflower (*Helianthus annuus* L.): Wild Diversity and the Dynamics of Domestication. 11(3): 266., <https://doi.org/10.3390/genes11030266>
- Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J. & Field, C.B. (1994): Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48(2): 135-146.
- Peteinatos, G.G., Korsath, A., Berge, T.W. & Gerhards, R. (2016): Using Optical Sensors to Identify Water Deprivation, Nitrogen Shortage, Weed Presence and Fungal Infection in Wheat. *Agriculture*, 6(2): 24.
- Pilorgé, E. (2020): Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. 27(34): 11., <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
- Pithan, P. A., Ducati, J. R., Garrido, L. R., Arruda, D. C., Thum, A. B., & Hoff, R. (2021). Spectral characterization of fungal diseases downy mildew, powdery mildew, black-foot and Petri disease on *Vitis vinifera* leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 42(15), 5680–5697.
- Reiczigel J., Harnos A. & Solymosi N. (2018): *Biostatistika nem statisztikusoknak*. Pars Kft., Nagykovács, 452 p.

- Scaioni, M., Marsella, M., Crosetto, M., Tornatore, V. & Wang, J. (2018): Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring. *Sensors*, 18(11): 3682. <https://doi.org/10.3390/s18113682>
- Putt, E.D. (1997): Early History of Sunflower. In: Schneiter, A.A. (ed.): *Sunflower Technology and Production*. Science Society of America-Soil Science Society of America, Madison, WI (USA), 834 p., 1-19. p.
- Thomas, S., Kuska, M.T., Bohnenkamp, D., Brügger, A., Alisaac, E., Wahabzada, M., Behmann, J. & Mahlein, A.-K. (2017): Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125: 5-20.
- Virányi, F. & Spring, O. (2011): Advances in sunflower downy mildew research. *European Journal of Plant Pathology*, 129: 207–220.
- Winkler, G. (2020): A távérzékelés felvételi eszközei és geometriájuk. Akadémiai Kiadó, Budapest, online kiadás ([https://mersz.hu/hivatkozas/m691atfeeg\\_impreszum#m691atfeeg\\_impreszum](https://mersz.hu/hivatkozas/m691atfeeg_impreszum#m691atfeeg_impreszum))
- Zarco-Tejada, P., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J., Martín, P., Cachorro, V., González, M. & de Frutos, A. (2005) Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3): 271–287.
- Zhang, D., Wang, Q., Lin, F., Yin, X., Gu, C. & Qiao, H. (2020): Development and Evaluation of a New Spectral Disease Index to Detect Wheat Fusarium Head Blight Using Hyperspectral Imaging. *Sensors*, 20(8): 2260.
- http 1 KSH. [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0078.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0078.html) (2021 december)
- http 2 UNdata. <http://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode:267> (2021 december)
- http 3 PLASHA Distribution <https://gd.eppo.int/taxon/PLASHA/distribution> (2021 december)
- http4 Magyarország az 1960-as években, a CORONA kéműhold felvételein. <https://mapire.eu/hu/map/corona-hungary/?layers=173&bbox=2040269.588305684%2C5992388.857079166%2C2241298.9726956976%2C6053538.479707307> (2020 április)



## 9. Melléklet



**1. ábra: Az PRI index értékeinek alakulása a különböző mérési időpontokban az 1. kísérlet során**

## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Bucskó Bálint (név) (hallgató Neptun azonosítója: GIARCU)  
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az  
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól  
tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>3</sup>

Kelt: 2023. év        május        hó 9. nap

*Báth Rita*

---

Belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Bucskó Bálint  
A Hallgató Neptun kódja: GIARCU  
A dolgozat címe: Napraforgó-peronoszpórával fertőzött növények élettani vizsgálata hiperspektrális reflektanciával  
A megjelenés éve: 2023.  
A konzulens tanszék neve: Integrált Növényvédelmi Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat<sup>2</sup> egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

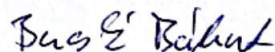
Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

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 tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Kelt: Budapest, 2023. május 9.

  
Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.