

Doktori (PhD) értekezés tézisei

KÜLÖNBÖZŐ STRESSZFAKTOROK DETEKTÁLÁSA SZENZOROS MÉRÉSEKKEL PRECÍZIÓS KUKORICATERMESZTÉSBEN

készítette:

Radócz László doktorjelölt

Témavezető: Dr. Tamás András



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen, 2024

1. BEVEZETÉS

A mai modern mezőgazdaságban a digitalizáció és az adatalapú döntéshozatal egyre nagyobb szerepet kap a termelékenység és a fenntartható agrárium céljainak megvalósításában. A precíziós mezőgazdaság és az elmúlt évek rohamléptékű technológiai fejlődése lehetővé tette azt, hogy a felhasználók (termelők, kutatók, fejlesztőmérnökök) valós idejű, precíz és nagy pontosságú adatokat gyűjtsenek a termőterület, a növényzet, és a talaj pillanatnyi állapotáról. A mezőgazdasági UAV-re alapozott távérzékelés és ezen belül is a multispektrális kamerarendszerek alkalmazása egyre szélesebb körben elterjedt. A térinformatikai szoftverek és digitális platformok segítségével komplexebb elemzéseket és átfogó értékeléseket végezhetünk el a vizsgált területekkel kapcsolatban. A mezőgazdasági drónokra felszerelt multispektrális kamerák jelentős eszközökké váltak a növényi betegségek és a különböző eredetű növényi stressz azonosítására, felmérésére, valamint a területen jelentkező eltérések feltérképezésére.

A távérzékelés alapú GIS (Geo Informatic System) vagy térinformatikai rendszerek integrálásával a gazdálkodók pontos és részletes információkat nyerhetnek a területükkel kapcsolatban, amelyek alapján időzíteni, ütemezni és optimalizálni lehet a beavatkozásokat is. A rendszerek különböző adatforrásokból származó információk együttes kezelésére is alkalmasak. Ilyenek például a talaj tulajdonságainak mutatói, növényi paraméterek, meteorológiai adatsorok vagy a multispektrális vegetációs térképekből származó különböző vegetációs indexek értékei pl. (NDVI, GNDVI, LCI). Az adatok együttes alkalmazása révén megvalósulhat akár a termelési költségek és az inputanyag felhasználás optimalizálása, vízhiány detektálása és az öntözés tervezése, illetve a negatív környezeti hatások is minimalizálhatók. A növények különböző spektrális tulajdonságai alapján az egyik legjelentősebb téma a szakterületen belül a növényi betegségek (azonosítása, kiterjedése, súlyosságának felmérése) és a növényi stresszállapot azonosítása. A növényvédelmi eljárások alkalmazása, fejlesztése, és optimalizálása, valamint a prognosztika mind-mind kulcsfontosságú területek, főleg ha az IPM (Integrated Pest Management) alapelveit is alkalmazni szeretnénk. A multispektrális kamerák alkalmasak a VIS-SWIR technológiai alapon akár korai diagnosztikai célokra is. Legfőképpen olyan típusú növénybetegségek azonosításában lehet hatékony ez a technológia, amelyek valamilyen módon érintik a klorofill vagy a karotinoid tartalmat, emellett nekrozis vagy klorózis (sárgulás/barnulás, halványodás,

különböző színelváltozások) alapú tüneteket produkálnak. További jelentős stressztényezők kimutatására is alkalmasak: pl. különösen tápanyaghiány és vízhiány azonosítására vagy esetlegesen kártevők jelenlétének a felismerésére.

A multispektrális kamerák által gyűjtött adatsorok segítségével vegetációs indexek hozhatók létre térinformatikai környezetben és ezek tovább elemezhetők. Manapság a legelterjedtebben használt vegetációs index az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). A vegetációs indexek alkalmazása rendkívül hatékony lehet területi különbségek, eltérések monitorozásához. Hosszú idősoros térképezési folyamatokhoz is jól használhatók, mivel objektív és összehasonlítható adatokat szolgáltatnak. A mezőgazdasági UAV alapú felmérések nem csak a precíziós mezőgazdaságban, hanem a növényvédelmi felmérések és beavatkozások területén is jelentős szerepet kapnak. A multispektrális alapú növényi stressz és növényi károsítók azonosítása egy dinamikus fejlődő szakterület, amellyel számos publikáció, kutatás és fejlesztés foglalkozik.

1.1. A kutatásom célkitűzései

A növényi kórokozók detektálása és terjedésük nyomonkövetése kulcsfontosságú a fenntartható mezőgazdasági célok megvalósításában. A növényi károsítók súlyos károkat okoznak a termés minőségi és mennyiségi paramétereiben egyaránt. A modern távérzékelési és adatelemzési technológiák kombinálása lehetővé teszi a nagy kiterjedésű területek gyors és pontos felmérését. A kutatásom fő célkitűzései között szerepel a távérzékelési technológiák felhasználhatóságának vizsgálata és azok módszertani fejlesztése növényi betegségek azonosítására és a fertőzöttségi szintek, valamint a betegség kiterjedtségének felmérésére.

A kutatásom főbb célkitűzései:

1. A fertőzött és egészséges növényállomány spektrális tulajdonságainak vizsgálata: A különböző növényi kórokozók által okozott elváltozások azonosítása távérzékelési adatok alapján. Multispektrális UAV technológiára alapozottan pontos és precíz adatgyűjtés. A fertőzések korai stádiumának detektálása, a szimptomák által okozott pigment arány elváltozás, víztartalom változás és a szöveti destrukció meghatározása.

2. Adatelemzés és feldolgozás: A nagymennyiségű adat hatékony feldolgozási módszertana és annak fejlesztése. Ezek alapját adhatják új algoritmusok kifejlesztésének és az adatalapú különbségek gyors kimutatásának.
3. Területi adateloszlások: A növényi fertőzések terjedésének és a fertőzés dinamikájának meghatározása az adott kórokozóra vonatkozóan. Az eredmények adaptálása egyéb növénykultúrákra és növényi betegségekre.
4. Fertőzési szintek monitorozása: A távérzékelési technológiák és módszerek alkalmazása különféle fertőzési szakaszokban. A technológiai elemek felhasználhatóságának vizsgálata a szoftveres (térinformatikai) környezettel kiegészítve. Ez a módszer elősegítheti a növényvédelmi beavatkozások pontos időzítését vagy (az IPM alapelvei alapján) elősegíti a hatékony prognosztikával a megelőzést.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kísérleti terület bemutatása (2021 - 2023)

A Debreceni Egyetem kísérleti területén 16 parcellát alakítottunk ki. A vizsgálatban két takarmány- és két csemegekukorica hibrid vett részt (P9025, ARMAGNAC) (csemegekukorica esetében NOA és DESSZERT R73). A mesterséges golyvásüszög (*Ustilago maydis* DC. Corda) fertőzést különböző spórakoncentrációkkal hajtottunk végre (spóraszámok 2.500, 5.000, 10.000 + fertőzésmentes kontroll). A vetés időpontja mind a négy hibrid esetében azonos volt 2021. évben – 2021. április 29. A vetés kézi vetőpuskával, szemenként történt 2021-ben.

Az időjárás- és talajállapot-adatbázis adatait a Debreceni Egyetem saját meteorológiai állomása mérte és gyűjtötte a kísérlet helyszínén.

A területet a vizsgálatok során gyommentesen tartottuk, ezért a különböző gyomfajok értékei (VI értékei) nem tudták befolyásolni a vizsgált parcellák értékeit. A sorokat tisztán tartottuk és a gyomirtó szerek használatát elkerültük, ezen a kis területen csak mechanikai gyomirtási eszközöket használtunk.

Kísérleti terület: A parcellák azonos méretűek (kb 20 m²) voltak, randomizált elhelyezéssel. A kísérleti terület nagysága összesen: 400 m². A kísérletben 3 különböző mértékű fertőzést hajtottunk végre június 3. án (V5 fenofázisban). A kísérletekhez felhasznált fertőző anyagot mind a három évben (2021, 2022 és 2023-ban) a DE-MÉK NVI munkatársai állították elő az intézet golyvásüszög *Ustilago maydis* törzsállományából.

- Alacsony dózis: 2.500 üszögspóra/cm³
- Közepes dózis: 5.000 üszögspóra/cm³
- Magas dózis: 10.000 üszögspóra/cm³

Az általam használt multispektrális drón paraméterei: 6 kamerás Multispectral Imaging System (MCS), 6 képet rögzít egyszerre különböző csatornákon.

- Vörös széle-Red Edge (RE): 730 nm ± 16 nm
- Közeli infravörös- Near-Infrared (NIR): 840 nm ± 26 nm
- Zöld- Green (G): 560 nm ± 16 nm
- Látható fény- Visible Light (RGB)
- Vörös- Red (R): 650 nm ± 16 nm
- Kék- Blue (B): 450 nm ± 16 nm

Forrás: <https://www.dji.com/hu/p4-multispectral>



1. ábra: DJI P4M típusú drón

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A kísérleti beállítások szintén Hajdú-Bihar megyében történtek a 2022-es évben Magyarország keleti régiójában. A kísérleti helyszín Google Maps GPS koordinátái: (47°33'06.5"N 21°36'07.1"E). A terület a Debreceni Egyetem (DE) kísérleti kertegységének része, a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetének bemutatókertje. A területen 24 parcellát alakítottunk ki a 2022-es évben, amelyek már további fejlesztései voltak az előző évi tapasztalatoknak és eredményeknek. Korábbi vizsgálataim alapján két különböző kukoricahibridet választottam ki a Desszert R78 csemegekukoricát és a Pioneer P 9025 takarmánykukoricát, amelyeket ebben a vizsgálati évben is használtam. Ezek a hibridek a korábbi eredményeink alapján ígéretesebbek voltak a további kutatások számára. A vetés GASPARDO 4 soros vetőgéppel történt 2022. május 4-én. Minden parcella négysoros, 18,5 cm-es tőtávolsággal és 75 cm sortávolsággal volt beállítva. A teljes terület nagysága 500 m² volt. A parcellák közötti és a sorok közötti területet mechanikai gyomirtással gyommentesen tartottuk a kísérlet végéig. A kutatási időszakban nem használtunk fel gyomirtószereket (el akartunk kerülni mindenféle yellow-flash hatást a területen), így az nem befolyásolta a felmérési szakaszokban számított különböző VI-értékeket.

A golyvásüszög (*Ustilago maydis* [DC]. Corda) fertőzését három különböző sporidium koncentrációval végeztük el 2022. június 3.-án, tömegoltó készülékkel. Alacsony, 5.000 spóra/mL spórakoncentrációt (spóraszámot) állítottunk elő, a közepes dózis 7.500 spóra/mL volt, a nagy dóziszú fertőzésnél pedig 10.000 spóra/mL volt. Az előző évekhez

viszonyítva a 2022-es és 2023-as évben az alacsony dózist 2.500-ról 5.000-re növeltük. A nem fertőzött, egészséges kontroll parcellákkal együtt 4 kezelést végeztünk, 3 ismétlésben, mindegyiket a vizsgálati helyszínen randomizálva (Random blokkos elrendezés - RCBD).

A kísérletben végzett négy kezelés:

- Nem fertőzött (egészséges kontroll).
- Alacsony dózis, 5.000 spóra/cm³
- Közepes dózis 7.500 spóra/cm³
- Magas dózis, 10.000 spóra/cm³

Összesen 24 parcellát alakítottak ki a területen. Ezek mindegyike 24 m²-es volt [2. ábra]. A növények mesterséges fertőzését minden esetben a parcella belső részeire koncentráltuk. Az UAV felvétel mintavételezése során a vegetációs index (VI) értékeinek kinyerésére a raszteres régiókból egy multipolygon shape (.shp) fájlt használtunk. Ezek a „mintavételi boxok/poligonok” mindegyike 4,5 m hosszú és 2,5 m széles volt. Minden egyesített mintavételi terület a parcellák belső részére koncentrálódt.

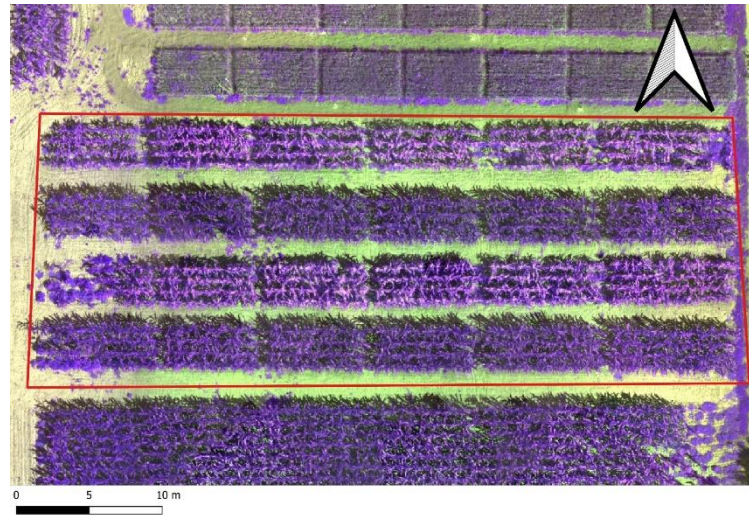


2. ábra: A Debreceni Egyetem kutatási területe NVI. DJI Phantom 4 MS multispektrális (a felvétel mind a hat csatornát tartalmazza) ortomozaik a QGIS 3.360 környezetében (2022).

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A kísérleti beállítások folytatódtak 2023-ban is, szintén Hajdú-Bihar megyében, Magyarország keleti régiójában. A terület a Debreceni Egyetem (DE) kísérleti

kertegységének része, a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetének bemutatókertje. A területen 24 parcellát alakítottam ki a 2023-es évben, amelyek már további fejlesztései voltak az előző évi tapasztalatoknak és eredményeknek. Korábbi vizsgálataim alapján két különböző kukoricahibridet választottam ki a Desszert R78 csemegekukoricát és a Pioneer P 9025 takarmánykukoricát, melyeket ebben a vizsgálatban is használtam, immár a harmadik évben. A vizsgálatra kiválasztott hibridek korábbi eredményeik alapján jobban reagáltak a golyvásüszög fertőzésre. A csemegekukorica hibrid a Desszert R78, a takarmánykukorica hibrid a Pioneer P 9025 volt. A vetés GASPARDO márkájú, 4 soros vetőgéppel történt, 2023. április 29.-én. Minden parcella négysoros, 18,5 cm-es tőtávolsággal és 75 cm sortávolsággal volt beállítva. A teljes terület nagysága: 500 m² volt [3. ábra].



3. ábra: A kísérleti terület 2023-ban; 24 parcella 4 kezelés 3 ismétlésben; A kép tartalmazza mind a 6 csatorna felvételét összekombinálva (P4M Ultrahigh (UH) resolution) (2023); A piros téglalap a kísérlet területét jelöli

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A kísérletben használt mezőgazdasági UAV DJI Phantom 4 Multispectral volt. Az adatfeldolgozás és a térképek összerakása szintén ugyanazzal a módszertannal készült el, mint a 2022-es évben. Összefűzésre a WebODM szoftvert használtam, a térképek és vegetációs indexek előállítására pedig QGIS 3.36 programot.

1. táblázat: Vegetációs indexek és a számítási formulák

NDVI	$(R_{NIR}-R_{Red})/(R_{NIR}+R_{Red})$
GNDVI	$(R_{NIR}-R_{Green})/(R_{NIR}+R_{Green})$
NDRE	$(R_{NIR}-R_{RedEdge})/(R_{NIR}+R_{RedEdge})$
LCI	$(R_{NIR}-R_{RedEdge})/ (R_{NIR}+R_{Red})$
ENDVI	$(R_{NIR}+R_{Green}-2 \times R_{Blue})/ (R_{NIR}+R_{Green}+2 \times R_{Blue})$

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A 2023-as évben is öt vegetációs indexet használtam a vizsgálatokban (1. táblázat).

1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index),
2. GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index),
3. ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index),
4. NDRE (Normalized Difference Red Edge),
5. LCI (Leaf Chlorophyll Index).

2.2 A kukoricagolyvásüszög (*Ustilago maydis*) bonitálási skálája

A kukoricagolyvásüszög (*Ustilago maydis*) a kukorica növény különböző részeit képes megfertőzni. A gombás betegség a növény minden részén képes tüneteket produkálni, a száron, levélen, csövön, és címeren is. A fertőzés mértékének és súlyosságának objektív értékelése érdekében hatfokozatú bonitálási skálát alkalmaztam (2.táblázat).

Az értékelésnek két fő szempontja volt:

A fertőzött növények aránya : 10-ből mennyi fertőződött meg.

A fertőzés súlyossága és kiterjedése: Az érintett növényi részek alapján kategorizálva (szár,levél,cső,címer)

Fertőzés súlyosságának kategóriái:

- A: csak a levélzet érintett
- B: Levél + szár tünet
- C:Szár + levél+ cső/címer
- D: szár+levél+cső+címer

2. táblázat: A kukoricagolyvásüszög (*Ustilago maydis*) fertőzés súlyosságának bonítási skálája

Bonítási érték	Fertőzött növények aránya (10/x)	Fertőzés súlyossága (tünetes részek)	Értékelés
1	0/10	nincs tünet	Egészséges állomány
2	1-3/10	A/B	Minimális fertőzés
3	4-5/10	B	Mérsékelt fertőzés
4	6-7/10	C	Közepesen súlyos fertőzés
5	8-9/10	C	Súlyos fertőzés
6	10/10	D	Nagyon súlyos fertőzés

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

2.3 A felhasznált informatikai szoftverek

2.3.1. Összefűzés képalkotás - Web ODM (opendronemap.org/webodm)

A WebODM egy ingyenes alkalmazás, amit a drónos képfeldolgozáshoz használtam. A saját felvételekből (High. res **HR** 2 cm/pixel) nagy felbontású ortofotókat készítettem (GeoTIFF formátumban). Összesen 6 ortofotó készül minden felvételezési időpontban a különböző csatornákon (Red, Green, Blue, Near Infra Red (NIR), Red Edge (RE), RGB). További összefűzésre alkalmazható még a DJI hivatalos szoftvere a DJI TERRA, viszont ez a szoftver licenzdíjas, tehát előfizetést igényel. A 2023-ban készült felvételek összefűzése DJI Terra szoftveres környezetben készült el, természetesen a WebODM-es összefűzések mellett.

2.3.2. Quantum GIS 3.20 Térinformatikai szoftver

A különböző vegetációs index (VI) térképek készítéséhez és értékeléséhez a Quantum GIS 3.20 szoftvert használtam (NDVI, NDRE, GNDVI, LCI, ENDVI). A QGIS-ben készült VI, ahogy a fejezetben is szerepel. A QGIS rendelkezik egy Shape file creating

tool nevű eszközzel. Ebben készültek a felhasznált Shape.shp file-ok és poligonok. A raszter analízis funkcióval pedig az összes vegetációs index térkép létrehozása történt meg.

A 100%-ban biztosított egység a mintavételezés egyik fő szempontja volt ezért a Copy and Move element funkcióval lettek sokszorosítva, ami a (QGIS-ben használt eszköz). Bővített digitalizálási eszköztár részét képezi. Az alakfájlok létrehozása során (Polygons) 1 sokszög került létrehozásra majd sokszorosításra.

2.4. Statisztikai vizsgálati módszerek

A shape file rétegben 16 mintavételi parcellát alakítottam ki (2021-ben). A 2022 és 2023-as évben a területeken 24 parcella helyezkedett el 4 kezelés, 3 ismétlésben, amelyek egységes méretűek voltak. A zónastatisztikák átlagértékei ezekről a parcellákról származtak, amelyeken statisztikai elemzéseket végeztem.

A statisztikai vizsgálatot R 4.1.2. statisztikai program csomagokkal kiegészítve használtam. Az összes statisztikai vizsgálat során a beállított konfidencia intervallum az átlagokra 95% és az Alpha értéke pedig 0.05 volt.

Az ábrákat és a grafikonokat Microsoft Excel 2016 programmal készítettem. (HUZSVAI és BALOGH, 2015) példája alapján ismételt mérési modellt (Repeated Measures Anova) RMA használva. 2021-ben a felvételezés módja, a fertőzés, valamint ezek együttes Vegetációs Index VI értékekre gyakorolt hatásának vizsgálatára volt.

A vizsgálatra használt, ismételt mérési modell példája RStudióban:

```
modell <- aov(Vegetációs_Index ~fertőzés +Error (parcella_azonosító/fertőzés), data =  
(adatbázis) summary(modell)
```

A középértékek összehasonlítását legkisebb szignifikáns különbség (least significant difference - LSD) módszerével (HUZSVAI és BALOGH, 2015) végeztem:

```
df=df.residual(modell$""parc_az:felvmod")  
mse=deviance(modell$""parc_az:felvmod")/df  
szignifikans_hatas <- with(adatbazis, LSD.test(Vegetációs_Index, fertőzés, df, mse,  
console = T)
```

Az ábrák és a grafikonok Jamovi 2.3.28-ban illetve MS Excelben készültek el. A statisztikai elemzésekhez a Jamovi 2.3.28-at használtam, beleértve a leíró statisztikákat és az egytényezős ANOVA-t is. A VI-k közötti Pearson-féle korrelációs vizsgálatokat is alkalmaztam, amelyeket több szempont szerint vizsgáltam meg (JAMOVI PROJECT, 2022).

2.5 A terepi mérésekhez használt mérőműszerek.

2.5.1 SPAD 502 relatív klorofilltartalom mérő

A SPAD-502 hordozható klorofillmérő műszer (4.ábra), amelyet főként mezőgazdasági, növényélettani, növényi stressz, nitrogén ellátottság, termésbecsléshez használnak gazdasági és kutatási környezetben egyaránt. A műszer nem destruktív módon képes méréseket végezni a növény levélzetén. A műszer gyártója Konica Minolta. A mérési elv transzmittancián alapul 650-nm vörös tartományban és NIR 940nm-es tartományban méri a fényelnyelés mértékét és ez alapján számít a műszer egy ún. SPAD értéket ami erős korrelációt mutat a növényi klorofilltartalommal.

A műszer méretét tekintve kicsi ezáltal hordozható és könnyen elvégezhető vele a mérés terepi körülmények között. A SPAD érték 0-99.9 ig terjed. A mérési idő körülbelül 2-3 mp-et vesz igénybe és a készülék LCD kijelzőjén jeleníti meg a mérési értékeket. A SPAD 502 egyébként egy megbízható mérőműszer és széleskörben alkalmazzák a kutatók.



4. ábra: SPAD-502 relatív klorofilltartalom mérő műszer

Forrás: https://www.kosmos.com.mx/tienda/catalog/images/thumbs/801_600/SPAD-502-Demo.jpg

2.5.2 Trimble GreenSeeker NDVI mérő műszer

A Trimble GS műszere távérzékelési technológián alapszik. Ennek használatával a szántóföldön képesek vagyunk NDVI értékeket felvételezni. A GS NDVI értékei széleskörben felhasználhatóak termésbecslési modellekre, illetve növényi stressz diagnosztikára, annak mértékének értékelésére. A készülék Normalized Difference Vegetation Index) VI értékeit számítja ki . A műszer mérési spektruma a Vörös fény tartományban 660 nm a Közeli Infravörös fenytartományban (NIR) pedig 780 nm. A mérési távolság a növényzet méretétől is változhat de általában 60 cm-200 cm-ig terjed.

3. EREDMÉNYEK

A VIS-SWIR távérzékelési technológiai módszernek az alapja a növények változatos spektrális reakciója a különböző stressztényezőkre. A különféle betegségek által érintett növények víztartalma, sejtszerkezete, pigmenttartalmuk aránya jelentős mértékben megváltozik. A multispektrális UAV-k által gyűjtött felvételek és az ezekből kalkulált vegetációs indexek kritikus szerepet játszanak a növénybetegségek azonosításában, a fertőzés súlyosságának meghatározásában, valamint a növényi fotoszintetikus aktivitás és stresszállapot felmérésben. A 2021-es kísérleti évben négy különböző kukorica hibridet vizsgáltam meg: két takarmánykukorica hibridet (Pioneer P 9025 és Armagnac), két csemegekukorica hibridet (Desszert R73 és NOA). A vizsgált csemegekukorica hibrid esetében a korábbi vizsgálatok is igazolták, hogy 11 DAI után (11 nappal a mesterséges golyvásüszög fertőzés után) a növények fotoszintetikus pigmentjeinek koncentrációja jelentősen csökkent (SZŐKE et al., 2021).

A 2021-es és későbbi vizsgálati eredményeim alapján megállapítottam, hogy a GNDVI az ilyen jellegű célokra, a kukorica golyvásüszög esetében is jól használható.

A saját kísérleteimben a Desszert R 73 hibrid esetében az LCI értékek képesek voltak tükrözni az *Ustilago maydis* [DC.] Corda kukorica golyvásüszög hatását. A legmagasabb CS 10.000 spórakoncentrációval kezelt parcellák szignifikánsan alacsonyabb VI értéket mutattak, mint a kontroll CS 0.

A Desszert R73 hibrid esetében a statisztikai vizsgálatok három vegetációs index esetében is azt mutatták, hogy a fertőzési szinteknek hatása van a vegetációs index értékek változására (3. táblázat).

3. Táblázat: Vegetációs indexek eredményei Desszert R73 RMA modell

Fertőzés	Df	Sum Sq	Átlag különbség	F érték	Pr(>F)
LCI	3	0,0030246	0,0010082	21,059	0,00138 **
NDVI	3	0,003874	0,0012913	7,927	0,0165 *
GNDVI	3	0,010228	0,003409	15,61	0,00307**

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

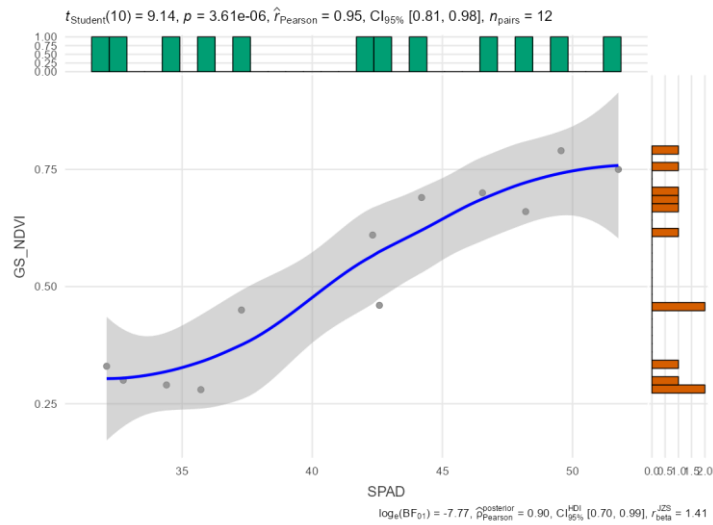
Megállapítottam továbbá, hogy a fertőzés a növekvő spórakoncentrációval arányosan csökkentette a vegetációs indexek értékeit. A területet három különböző időpontban mértem fel: a fertőzés után 7 nappal, 14 nappal és 21 nappal.

A Desszert R73 hibrid esetében három különböző VI is azt mutatta, hogy az üszögfertőzés jelentősen befolyásolta a kiszámított értékeket, a GNDVI, NDVI és LCI indexek esetében. A vizsgálati eredményeim alapján megállapítottam, hogy e három vegetációs index jól használható a betegség felmérésében. Vizsgálataim új megállapítása volt, hogy a kapott eredmények szerint a GNDVI kiemelkedő eredményt nyújtott az *Ustilago maydis* [DC.] Corda betegség monitoring esetében. Kimutatható volt továbbá az is, hogy a fertőzés szignifikánsan befolyásolta a mért értékeket a két csemegekukorica hibrid (NOA és Desszert R 73) esetében. Az NDVI, LCI és ENDVI is kiváló eredményt mutatott az *Ustilago maydis* kórokozó által okozott elváltozások detektálására. A módosított RMA modellel kimutatható volt a különböző VI értékek változása a fertőzés időszakában. A spórakoncentráció növelésével, a kórokozó gombával kezelt parcellákban az értékek alacsonyabbak lettek és a fertőzés dinamikája is szépen mutatkozott. A kísérletben használt felmérési és mintagyűjtési módszerrel a VI-k mintaértékei objektíven elemezhetők és értékelhetők, és akár más növényi kultúrákra is könnyen adaptálhatók. Az eredmények azt mutatták, hogy az értékek dinamikája az idő múlásával megváltozott. Továbbra is minden esetben szükséges a terepi validálás, a súlyossági skálák értékeit pedig a kultúrától függően, a kiértékelés után kell meghatározni. Jelenleg a piacon elérhető multispektrális eszközökkel is megfelelő színvonalon és minőségben megfigyelhetők a kísérleti helyszínek vagy az érintett mezőgazdasági területek.

A SPAD és GS NDVI értékek alapján megállapított következtetésem az alábbiak:

Mind a 4 vizsgált hibridben külön elvégeztem a statisztikai vizsgálatok illetve a paraméterek közötti összefüggések vizsgálatát. Mivel a SPAD széleskörben kutatott paraméter, főleg nitrogén menedzsment, és termés növekedést becsülő modellek kialakításában. A vizsgált hibridek esetében a SPAD érték időpontonként szinte minden esetben folyamatosan növekedést mutatott, ez szorosan összefügg a relatív klorofilltartalommal, illetve GS NDVI értékeivel is. A felvételezési időpontok szignifikáns hatással voltak a felvételezett értékekre. Továbbá a GS NDVI is széleskörben alkalmazott termésbecslő paraméter egyéb modellekben (ARANGUREN et al. 2020.). A GS NDVI és a SPAD értékek között (a 2021-es év eredményei alapján) szinte minden esetben nagyon erős pozitív korrelációt lehetett kimutatni, összhangban ZSEBŐ et al. 2024-as megállapításaival. A 4-5. felvételezési időpont már mérsékelte ezt a jelenséget azonban a GS NDVI értékeket a címerhányás időszaka nagyban befolyásolta. A GS

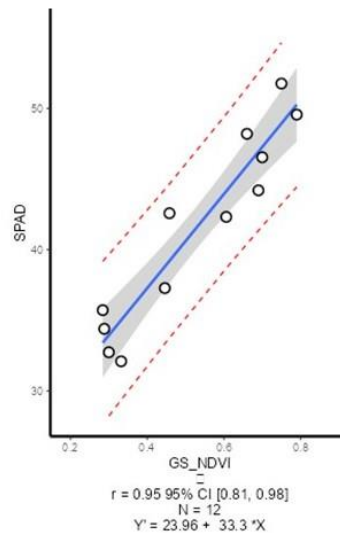
NDVI és SPAD értékek optimális időjárási és növekedési időszakban egymás prediktorai (5. ábra).



5. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye Desszert R73 hibrid esetén 1-3. időpont (2021)

Megjegyzés: korrelációs vizsgálat eredményei 1-3. időpont adatait tartalmazza.

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)



6. ábra: SPAD és GS NDVI paraméterek között fennálló korrelációs kapcsolat Desszert R73 hibrid esetében

Megjegyzés : X tengely GS_NDVI prediktor értékek, Y tengely SPAD prediktor értékek LRE: $Y' = 23,96 + 33,3 \cdot X$,

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A SPAD és a GS NDVI értékek között egy nagyon erős pozitív korrelációs kapcsolat állt fent, a CCoe (Korrelációs Együttható) értéke [$r = 0,95$] és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 3,06 \times 10^{-6}$. CI intervalluma [0,81, 0,98]. Továbbá mivel a két paraméter között ilyen erős a kapcsolat, széleskörben alkalmazható prediktor modellek beépítésébe. A számított lineáris regressziós egyenlet (6.ábra) $Y' = 23,96 + 33,3 * X$, ami azt jelenti, hogy 0,15 egység GS NDVI érték növekedése 4,995 SPAD érték növekedését indukálja.

A 2022-es évben is folytatódtak a kísérleteim. Ebben az évben már csak két hibrid vett részt a vizsgálatokban. A csemegekukorica hibrid Desszert R78 (CS hibrid) a takarmánykukorica hibrid pedig Pioneer P9025 (T hibrid) volt. A hibridek reakcióit vizsgáltam a mesterséges golyvásüszög fertőzésre mutlispektrális UAV-vel. A Desszert R78 hibrid esetében a tünetek rendszeresen kifejlődtek és jól megfigyelhetők voltak a fertőzött területeken. Az adatok elemzése során megállapítottam, hogy a CS 0 (egészséges) kontrol parcella NDVI értékei szignifikáns különbséget mutattak a három fertőzési szinttel összehasonlítva (CS 5.000, CS 7.500, CS 10.000). ZHAO és munkatársai (2020) vizsgálataiban szintén az NDVI indexeket (vegetációs index normalizálás) alkalmazta a növényi betegségek súlyossági szintjeinek azonosítására.

A GNDVI eredményei a 2023-as évben biztatóak voltak, azonban a 2022-es évben csupán egy különbséget lehetett statisztikailag igazolni a CS 0 és a CS 7.500 értékei között. A GNDVI azonban egy rendkívül jól alkalmazható eszköz a növényi betegségek súlyossági szintjeinek azonosítására és értékelésére. A kísérleti eredmények tekintetében a takarmánykukorica hibrid értékeiben nem tapasztaltam nagy eltéréseket. A P9025 (2022-es eredményei alapján) hibrid minden VI értéke viszonylag azonos volt és egyenletes területi eloszlást mutatott. A különböző kezelések nem voltak jelentős hatással a számított vegetációs index értékekre. A területen lévő növényzet vitális és egyöntetű volt. A kísérleti területemen azonban kimutattam, hogy a hibridek típusainak elkülönítése a vegetációs index értékek alapján megbízhatóan lehetséges. A hibridek értékeinek összehasonlítására az NDVI és az ENDVI is megfelelő eredményeket adott (4. táblázat).

4. táblázat: A vizsgált hibridek NDVI értékeinek összehasonlítása (varianciaanalízis)

Desszert R78 és P9025. (2022)

		CS 0	CS 5.000	CS 7.500	CS 10.000
T 10.000	Átlagkülönbség	0,02002	0,05177**	0,059467***	0,07423***
	p-érték	0,771	0,00537	$9,11 \times 10^{-4}$	$2,47 \times 10^{-5}$
T 5.000	Átlagkülönbség	0,02247	0,05422**	0,061917***	0,07668***
	p-érték	0,655	0,00309	$5,07 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$
T 7.500	Átlagkülönbség	0,01865	0,0504**	0,0581**	0,07287***
	p-érték	0,827	0,00727	0,00126	$3,47 \times 10^{-5}$
T 0	Átlagkülönbség	0,03528	0,06703***	0,074733***	0,0895***
	p-érték	0,138	$1,47 \times 10^{-4}$	$2,18 \times 10^{-5}$	$5,48 \times 10^{-7}$
<i>Megjegyzés.</i> * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$					

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

Az UAV alapú felvételek adatai alapján a hibridek azonosítása és elkülönítése egy igen széles körben kutatott terület. SANTANA és munkatársai (2024) például multispektrális felvételeket alkalmaztak (ötvözve machine learning [ML] alapú technikákkal) cirok hibridek azonosítására. Ebben a tanulmányban is a multispektrális felvételek játszottak kiemelkedő szerepet. A magas korrelációs összefüggések a vegetációs indexek között szintén biztató eredményeket adtak a saját vizsgálataimban. A GNDVI és NDVI esetében $r = 0,83$ volt, az LCI és NDRE pedig $r = 0,973$. NJANE et. al. (2023) szintén hasonló korrelációs eredményeket kapott az index vizsgálatával kapcsolatosan. Összegezve az NDVI és a hozzá hasonló vegetációs indexek is megfelelő bázisát adják az új módszereken alapuló, technológia alkalmazásoknak. A 2022 es évben vizsgált két hibrid esetében a SPAD és a GS NDVI értékek felvétele és vizsgálata is megtörtént. A 2022-es év, főleg Hajdú-Biharban egy nagyon aszályos és csapadékhiányos év volt. A felvételezett értékek a szélsőséges klimatikus tényezők hatására szemmel láthatóan is anomáliákat mutattak. A SPAD és a GS NDVI értékekre mind a két hibrid esetében szignifikáns hatást gyakorolt a felvételezési időpont. A kezelések nem mutattak hatást a mért paraméterekre. Közepes pozitív korrelációt szintén több kutató is megfigyelt a paraméterek között. De negatív korreláció is előfordult sok esetben (YIN et. al., 2023). A talajnedvesség, a csapadékhiány, az extrém hőhatás negatívan befolyásolják a korrelációt

a paraméterek között. A 2022-es év eredményei alapján, több esetben is negatív korreláció állt fent a SPAD és GSNDVI paraméterek között.

A 2023-as évben már az előző két kísérleti év tapasztalataira és eredményeire építkezve folytattam tovább a vizsgálataimat. A 2023-as vizsgálatok során szintén 4 kezelést (fertőzésmentes kontrol, alacsony dózis 5.000 spóra/cm³, közepes dózis 7.500 spóra/cm³; magas dózis 10.000 spóra/cm³) végeztem, 3 ismétlésben. Így összesen 24 parcella került kialakításra. A kísérletekben (a 2022-es évhez hasonlóan) a csemegekukorica hibrid a Desszert R78-as volt, a takarmánykukorica hibrid pedig a Pioneer P9025. A vizsgálatban öt vegetációs indexeket számítottam ki NDVI, GNDVI, NDRE, LCI és ENDVI. A vizsgált vegetációs indexek közül az NDVI a csemegekukorica hibrid esetében megfelelő eredményeket adott. A CS 0 parcella értékei mind a három fertőzési szinttől szignifikánsan különböztek, így statisztikailag is igazolható volt az átlagok eltérése. Az NDVI mellett a GNDVI szintén megfelelő eredményeket mutatott a fertőzési szintek közötti különbségek kimutatására. Ezen eredmények alapján már a 3. évben is az NDVI és a GNDVI indexek stabilan alkalmasnak bizonyultak a kórokozó által okozott elváltozások lekövetésére.

A 2023-as SPAD és GS NDVI értékek tekintetében a Desszert R78-as hibridben időpontként csökkenés volt tapasztalható a SPAD értékekben. A mérési időpontok is statisztikailag igazolható hatást mutattak, mind a SPAD, mind a GS NDVI értékekre vonatkozóan egyaránt. A korrelációs vizsgálatok sok esetben közepes pozitív korrelációt mutattak a mért paraméterek között. A korrelációs kapcsolat a paraméterek között többnyire fent áll és optimális körülmények között (amennyiben nagyon erős pozitív kapcsolat áll fent) egymás prediktorai is lehetnek.

A kutatásom fő célja a növényi kórokozók detektálhatósága és azok területi terjedésének nyomon követése volt szenzoros mérésekkel. A vizsgálatok három éven keresztül folytak és a mesterséges fertőzések végrehajtásához a kukorica golyvásüszög [*Ustilago maydis* [DC. Corda] kórokozó izolátumait használtam fel. A növényi károsítók minden évben jelentős minőségi és mennyiségi károkat okoznak a termésben. A VIS-SWIR távérzékelési technológia által nyújtott széleskörű és pontos területi adatgyűjtés egy új bázisa lehet a fenntartható és precíziós mezőgazdasági gyakorlatnak. A kutatásban egy DJI Phantom 4 Multispectral mezőgazdasági UAV-t használtam, amely magas minőségű és kellően részletes adattérképeket biztosított a vizsgált területekről. A kutatásom célkitűzéseiben 4 fő irányt jelöltem ki:

1. A fertőzött és egészséges növényállomány spektrális tulajdonságainak részletes vizsgálata multispektrális felvételek alapján.

2. Az adatok megfelelő feldolgozása és az adatelemzés növényvédelmi célokra való felhasználásának vizsgálata.

3. A területen jelentkező adateloszlások és azokban jelentkező eltérések azonosítása és a helyes módszertani metódus kialakítása.

4. Továbbá nagyon fontos eleme volt még a kutatásaimnak a technológia alkalmazhatóságának vizsgálata a korai vagy már kialakult fertőzések azonosítására, illetve a kórfolyamat fejlődési dinamikájának nyomon követésére.

Ezek mellett szenzoros méréseket is végeztem a SPAD és GS NDVI értékek felvételére és vizsgálatára.

A különböző spórakoncentrációkkal végrehajtott mesterséges fertőzések által okozott elváltozások megjelenítése a vegetációs indexek értékeiben, valamint a problémák azonosítására leginkább alkalmas vegetációs indexek kiválasztása is célom volt.

A 2021-es év volt a kísérletek első éve, amikor két takarmánykukorica hibridet (Pioneer P9025, Armagnac), és két csemegekukorica hibridet vizsgáltam (NOA, Desszert R73). Az első év eredményei alapján egyedi RMA modell felhasználásával azonosítottam a fertőzési szintek között kialakult dinamikai változást, illetve a fertőzés által kiváltott vegetációs index értékek változásait. A 2021-es évben sikerült három olyan vegetációs indexet is azonosítani, amelyek alkalmasak lehetnek a kitűzött vizsgálati célok elérésére. A 2021-es eredmények alapján a vizsgált csemegekukorica hibrid Desszert R73 esetében az LCI, az NDVI és a GNDVI sikeresen volt alkalmazható az adott évben mért adatsorokra.

A következő években a fertőzés súlyossága és a vegetációs indexek közötti kapcsolatok részletesebb feltérképezésére irányultak a kutatásaim. A csemegekukorica, illetve a takarmánykukorica esetében az előző évben megfelelő növényfiziológiai reakciókat mutató hibrideket alkalmaztam a továbbiakban négy kezeléssel, három ismétlésben. A varianciaanalízis vizsgálatok a fertőzés által okozott VI értékek negatív irányú változásainak igazolására meggyőző eredményeket mutattak, főleg a csemegekukorica (Desszert R78-as hibrid) esetében. Az NDVI és a GNDVI indexek alkalmazása a második kísérleti évben is alkalmasnak bizonyult a kísérleti célok elérésére.

A továbbiakban a korrelációs vizsgálatok, illetve a területi adateloszlások vizsgálata már a vegetációs indexek közötti részletesebb kapcsolódásokat kimutatására használtam. Ezek sok esetben átfedést mutattak a nemzetközi szakirodalomban is fellelhető kutatások eredményeivel, amelyek tovább erősítették a saját kutatásaimban elért eredmények használhatóságát.

A SPAD és GS NDVI értékek vizsgálata során több fontos tényező is megerősítést nyert, illetve újabb összefüggések feltérképezésére került sor. Megállapítottam, hogy minden esetben a felvételezési időpontok hatással vannak a SPAD és GS NDVI értékekre. A kezelések kevésbé mutattak statisztikailag igazolható hatásokat a mért értékekre. A két paraméter között optimális körülmények között erős pozitív korreláció áll fent, ezáltal egymás prediktorai illetve különböző prediktor modellekben is jól alkalmazható paraméterek lehetnek. Az évjáráthatás rendkívül befolyásolja a GS NDVI és SPAD közötti korrelációs értéket. A hibrid szeparációs vizsgálatok (szintén varianciaanalízisre alapozva) a csemegekukorica Desszert R78 és a Pioneer P9025 VI értékeinek elkülönítése alapján történtek. A hibridek esetében az NDVI illetve az ENDVI mutatott megfelelő használhatóságot erre a típusú elkülönítésre. A 2023-as kísérleti évben szintén az előző évben alkalmazott hibridek vetésére került sor, hasonló beállításokkal és ismétlésszámban. A harmadik évben gyűjtött multispektrális UAV adatok tovább erősítették az előző évben kapott eredményeket. A NDVI értékek ebben az évben is a fertőzési dózissal növekedésével tovább csökkentek, illetve a GNDVI esetében is igazolható volt az átlagok szignifikáns eltérése. Különösen nagy csökkenést mutattak a legmagasabb spóradozissal kezelt csemegekukorica hibridek parcelláiban található növények értékei. A takarmánykukorica hibridek (P9025) esetében szintén az előző

évekkel megegyező megállapítások születtek. Ezek alapján a tünetek amennyiben ki is alakultak a fertőzött parcellákon, súlyos növekedési elmaradást vagy szöveti károsodást nem okoztak a takarmánykukorica állományokban. A vizsgálati eredményeim alapján megállapítható, hogy a VIS-SWIR távérzékelési technológia egy hatékonyan alkalmazható rendszer a kukorica golyvásüszög [*Ustilago maydis* [DC] Corda] fertőzés azonosítására és a várható kártételének becslésére.

Annak ellenére, hogy Magyarországon a drónos monitoring technológia pár éve jelent meg, az európai mezőgazdaságban a spektrális jellemzők és azok vizsgálata már több mint tízéves múltra tekint vissza. A precíziós mezőgazdasági alkalmazást és a növényvédelmi célokra történő felhasználást is segíti ezeknek az eszközöknek a tömeges megjelenése, illetve az egyre inkább egyszerűsödő „felhasználóbarát” alkalmazásaik.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A vizsgálati évek eredményei alapján megállapítottam, hogy három vegetációs index is alkalmas lehet a kukorica golyvásüszög [*Ustilago maydis* [DC.] Corda] betegség azonosítására szabadföldi körülmények között. Ezek az LCI, NDVI és a GNDVI.
2. Megállapítottam, hogy az NDVI és az ENDVI indexek is alkalmasak a kukorica hibridek elkülönítésére (takarmány és csemege) VI adatok alapján, a vizsgált területeken.
3. A korrelációs vizsgálataim eredményei alapján megállapítottam, hogy a további VI-k kiválasztása és azok alkalmazása adott növényi betegségek nyomkövetése céljából lehetséges. GNDVI-NDVI CCoe [r= 0,83], LCI-NDRE CCoe [r= 0,97], NDRE-GNDVI CCoe [r=0,716]. Az itt kapott eredmények pedig hozzájárulhatnak fejlett növény-specifikus algoritmusok kifejlesztéséhez, vagy a további egyedi VI-k fejlesztéséhez, amelyek már betegség-specifikusak is lehetnek.
4. A kukorica golyvásüszög [*Ustilago maydis* [DC.] Corda] fertőzés a spórakoncentráció (spóra/mL) (0-10.000-ig) növelésével szignifikánsan csökkenti a vegetációs indexek (NDVI 20-50% csökkenti, GNDVI 25-45% arányban csökkenti, LCI 30-40% arányban csökken a VI-k értéke) átlagértékeit csemegekukorica Desszert R73 és Desszert R78-as állományokban.
5. A SPAD és GS NDVI paraméterek (optimális időjárási körülmények között) egymás prediktorai ezáltal rendkívül jól alkalmazható becselő modellek felépítésre. $Y' = 23,96 + 33,3 * X$ tehát 0,15 egység GS NDVI érték növekedés 4,995 SPAD egységgel növekszik. Desszert R73 –as hibridben (2021) CCoe [r = 0,95].
6. A SPAD és GS NDVI értékekre nagy hatással van a felvételezési időpont, illetve az évszázad klimatikus tényezői. Extrém időjárás (súlyos aszály stressz) esetében

negatív korreláció is mérhető a paraméterek között. D R78 (2022) CCoe [r = - 0,17].

5. A GYAKORLATBAN IS HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. A teljes adatszűrési és adattisztítási folyamat alkalmazását követően GIS rendszerekben elvégezhető a területi különbségek részletesebb feltárása.
2. Az NDVI, GNDVI, ENDVI, és LCI vegetációs indexek alkalmazása más betegségek azonosítására is alkalmas. Esetlegesen lehetséges a módszertan adaptálása más növényi kultúrákra.
3. A csemegekukorica állományok pontos és részletes növényegészségügyi felmérése VI-k használatával eredményesen megvalósítható.
4. A műszaki és repülési paraméterek alkalmazása, amelyek jelen tanulmány eredményei alapján precízebb beállításokat és jobb minőségű multispektrális felvételek készítését teszik lehetővé.
5. GS NDVI értékek vizsgálata csak optimális felvételezési időszakokban javasolt.
6. SPAD értékek felvétele a megfelelő fenológiai fázisban lehetséges (precíz időpont választás).

6. IRODALOM

1. Huzsvai L. – Balogh P.: (2015). Lineáris modellek az R-ben. Seneca Books, Debrecen. 109–124. http://seneca-books.hu/doc/Linearis_modellek.pdf
2. The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
3. Szőke, L.; Moloi, M.J.; Kovács, G.E.; Biró, G.; Radócz, L.; Hájos, M.T.; Kovács, B.; Rácz, D.; Danter, M.; Tóth, B. (2021). The application of phytohormones as biostimulants in corn smut infected Hungarian sweet and fodder corn hybrids. *Plants* 2021, 10, 1822
4. Aranguren, M., Castellón, A., & Aizpurua, A. (2020). Wheat yield estimation with NDVI values using a proximal sensing tool. *Remote Sensing*, 12(17), 2749.
5. Zsebő, S., Bede, L., Kukorelli, G., Kulmány, I. M., Milics, G., Stencinger, D., ... & Kovács, A. J. (2024). Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology. *Drones*, 8(3), 88.
6. Zhao, H., Yang, C., Guo, W., Zhang, L., & Zhang, D. (2020). Automatic estimation of crop disease severity levels based on vegetation index normalization. *Remote Sensing*, 12(12), 1930.
7. Santana, D. C., Theodoro, G. D. F., Gava, R., de Oliveira, J. L. G., Teodoro, L. P. R., de Oliveira, I. C., ... & Teodoro, P. E. (2024). A New Approach to Identifying Sorghum Hybrids Using UAV Imagery Using Multispectral Signature and Machine Learning. *Algorithms*, 17(1), 23.
8. Njane, S. N., Tsuda, S., Sugiura, R., Katayama, K., Goto, K., Tsuchiya, S., & Tsuji, H. (2023). Phenotyping system for precise monitoring of potato crops during growth. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 16(1), 24-36.
9. Yin, Q., Zhang, Y., Li, W., Wang, J., Wang, W., Ahmad, I., & Huo, Z. (2023). Better inversion of wheat canopy SPAD values before heading stage using spectral and texture indices based on UAV multispectral imagery. *Remote Sensing*, 15(20), 4935.

PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/586/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Radócz László
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10079425

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Radócz, L.**, Sági, L., Zagyó, P., Horváth, É., Tamás, A.: Analysis of the plant physiological effects of late, artificial corn smut infestation using remote sensing methods.
Agrártud. Közl. 2, 31-35, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/DOI: 10.34101/ACTAAGRAR/2/10367>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

2. **Radócz, L.**, Juhász, C., Tamás, A., Illés, Á., Ragán, P., Radócz, L.: Multispectral UAV-Based Disease Identification Using Vegetation Indices for Maize Hybrids.
Agriculture-Basel. 14 (11), 1-15, 2024. EISSN: 2077-0472.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture14112002>
IF: 3.3 (2023)
3. Tamás, A., Kovács, E., Horváth, É., Juhász, C., **Radócz, L.**, Rátónyi, T., Ragán, P.: Assessment of NDVI dynamics of maize (*Zea mays* L.) and its relation to grain yield in a polyfactorial experiment based on remote sensing.
Agriculture-Basel. 13 (3), 1-17, 2023. EISSN: 2077-0472.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030689>
IF: 3.3
4. **Radócz, L.**, Szabó, A., Tamás, A., Illés, Á., Bojtó, C., Ragán, P., Vad, A., Széles, A., Harsányi, E., Radócz, L.: Investigation of the detectability of corn smut fungus (*Ustilago maydis* DC. Corda) infection based on UAV multispectral technology.
Agronomy-Basel. 13 (6), 1-15, 2023. EISSN: 2073-4395.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061499>
IF: 3.3

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

5. **Radócz, L.**: Távérzékelési technológiák alkalmazhatósága a növényi stressz detektálására.
In: XXVI. Tavaszi Szel Konferencia 2023 - Absztrakt kötet. Szerk.: Hajdú Péter,
Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 47, 2023. ISBN: 9786156457233





További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

6. Radócz, L., Tarcali, G., Göröcsös, G., Irinyi, L., **Radócz, L.**, Kovács, G. E.: Egy megvalósuló biológiai védelem a szelídgesztenyésekben a gesztenyerák kórokozójával (cryphonectria parasitica) szemben (mikovirológia a gyakorlatban).
In: Növényorvos képzés Debrecenben / (szerk.) Tarcali Gábor, Kövics György, Radócz László, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 223-239, 2021. ISBN: 9789634903475

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

7. Tamás, A., **Radócz, L.**, Horváth, É., Zagy, P., Ragán, P.: A természetstechnológiai tényezők hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésereedményeire polifaktorális tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 71 (1), 67-80, 2022. ISSN: 0546-8191.
8. **Radócz, L.**, Illés, Á., Bojtör, C., Radócz, L., Szabó, A., Tamás, A., Kovács, G. E.: Fogékonysági vizsgálat *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr gombával fertőzött tölgy (*Quercus*) fajokon. *Növénytermelés*. 70 (4), 59-72, 2021. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

9. Zagy, P., Tamás, A., Rácz, D., Fejér, P., **Radócz, L.**, Horváth, É.: Correlation analysis of relative chlorophyll content and yield of maize hybrids of different genotypes. *Agrártud. Közl.* 1, 211-214, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/110393>
10. Tamás, A., **Radócz, L.**: Germination dynamics of different maize hybrids under different tillage systems. *Növénytermelés*. 70 (3), 121-124, 2021. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

11. Juhász, C., Mendlerné Drienyovszki, N., Magyarne Tábori, K., **Radócz, L.**, Zsombik, L.: Effect of Different Herbicides on Development and Productivity of Sweet White Lupine (*Lupinus albus* L.). *Agronomy-Basel*. 14 (3), 1-19, 2024. EISSN: 2073-4395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy14030488>
IF: 3.3 (2023)
12. Juhász, C., Abido, W. A. E., Hadrázy, Á., Pál, V., **Radócz, L.**, Zsombik, L.: Effect of Seeding Rates of the Mixture of Rye (*Secale cereale* L.) and Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth.) on Rye Yield. *J. Plant. Prod.* 14 (2), 21-29, 2023. ISSN: 2090-3669.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/jpp.2023.188098.1205>





13. Szabó, A., Széles, A., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., **Radócz, L.**, Nagy, J.: Effect of Different Nitrogen Supply on Maize Emergence Dynamics, Evaluation of Yield Parameters of Different Hybrids in Long-Term Field Experiments.
Agronomy-Basel. 12 (2), 1-13, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: [uhttp://dx.doi.org/10.3390/agronomy12020284](http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12020284)
IF: 3.7
14. Kovács, G. E., Szőke, L., Tóth, B., Kovács, B., Bojtor, C., Illés, Á., **Radócz, L.**, Moloi, M. J., Radócz, L.: The Physiological and Biochemical Responses of European Chestnut (*Castanea sativa* L.) to Blight Fungus (*Cryphonectria parasitica* (Murill) Barr).
Plants-Basel. 10 (10), 1-15, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10102136>
IF: 4.658

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

15. Tamás, A., Ragán, P., **Radócz, L.**, Nagy, J., Rátonyi, T.: Az évjárat és műtrágyázás hatása a kukorica (*zea mays* L.) terméseredményeire eltérő talajművelési módokban.
In: *Növény és környezet: a debreceni tartamkísérletek 40 éve*. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem MÉK Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 65, 2023. ISBN: 9789634905400

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 21,558

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9,9

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.12.04.

