

DEBRECENI EGYETEM

KERPÉLY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető

Prof. Dr. Holb Imre

MTA doktora

Témavezető

Dr. Tamás András

adjunktus

**KÜLÖNBÖZŐ STRESSZFAKTOROK DETEKTÁLÁSA SZENZOROS
MÉRÉSEKKEL PRECÍZIÓS KUKORICATERMESZTÉSBEN**

Készítette:

Radócz László

doktorjelölt

DEBRECEN

2025

**KÜLÖNBÖZŐ STRESSZFAKTOROK DETEKTÁLÁSA SZENZOROS
MÉRÉSEKKEL PRECÍZIÓS KUKORICATERMESZTÉSBEN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében,
növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban.

Írta: **Radócz László**

okleveles növényorvos

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**
(Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető:

Dr. Tamás András

adjunktus

Az értekezés bírálói:

név	tudományos fokozat	aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

név	tudományos fokozat	aláírás
elnök:
tag:
titkár:

Az értekezés védésének időpontja: 2025.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	4
1.1. A kutatásom célkitűzései	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. Precíziós mezőgazdaság.....	7
2.2. A spektrális felbontás és a különböző szenzorok.....	8
2.3. Térinformatika	11
2.4. Az alkalmazható kamera technológiák (UAV- payload).....	13
2.4.1. DJI Phantom 4 RTK Multispectral	16
2.4.2. DJI Phantom 4 Pro V2 + Sentera Double4K NDVI+NDRE	17
2.4.3. Sentinel-2 műhold.....	18
2.5. Mezőgazdasági UAV-kel monitorozható paraméterek (növény és talaj).....	20
2.6. UAV adatgyűjtés és feldolgozás	21
2.7 Terepi mérésekhez használt mérőműszerek.....	24
2.7.1 SPAD 502 relatív klorofilltartalom mérő.....	24
2.7.2 Trimble GreenSeeker NDVI mérő műszer	25
2.8. A kukorica golyvásüszög (<i>Ustilago maydis</i> (DC.) Corda) bemutatása	26
2.8.1. A kórokozó általános jellemzése.....	26
2.8.2. Az üszöggombák jellemzése, terjedésük környezeti feltételei.....	29
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	31
3.1. A kísérleti terület bemutatása (2021 - 2023).....	31
3.2 Kísérleti évek ismertetése	31
3.2.1 2021. kísérleti év ismertetése	31
3.2.2 2022. kísérleti év ismertetése.....	33
3.2.3 2023. kísérleti év ismertetése	35
3.3 A kukoricagolyvásüszög (<i>Ustilago maydis</i>) bonitálási skálája.....	37
3.4 Az UAV specifikációi, beállítások és vegetációs indexek.....	38
3.5. Felhasznált Informatikai szoftverek.....	43
3.4.1. Összefűzés, képalkotás - WebODM (opendronemap.org/webodm).....	43
3.4.2. Quantum GIS 3.20 térinformatikai szoftver	44
3.6. Statisztikai vizsgálati módszerek	45
4. EREDMÉNYEK	47
4.1. A 2021. kísérleti év eredményei	47

4.1.1. A Desszert R73 csemegekukorica hibrid vegetációs index értékek eredményei a 2021. kísérleti évben.....	48
4.1.2. Az Armagnac takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben.....	51
4.1.3. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben.....	55
4.1.4. A Desszert R73 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben.....	59
4.1.5. A NOA csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben	66
4.2. A 2022. évi eredmények	70
4.2.1. Adateloszlási és korrelációs vizsgálatok a Desszert R78 hibrid esetében a 2022. vizsgálati évben.....	71
4.2.2. A varianciaanalízis eredményei a Desszert R78 hibrid VI értékeire vonatkozóan a 2022. vizsgálati évben.....	75
4.2.3. Adateloszlási vizsgálatok a P9025 hibrid esetében a 2022. vizsgálati évben	77
4.2.4. A Desszert R78 és a P9025 hibridek VI értékeinek vizsgálata hibridszeparáció céljából a 2022. vizsgálati évben.....	79
4.2.5. A Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2022. kísérleti évben.....	82
4.2.6. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2022. kísérleti évben.....	86
4.3. A 2023. évi eredmények	90
4.3.1. A Desszert R78-as és P9025-es hibrid GNDVI vegetációs index értékek eredményei a 2023. vizsgálati évben	90
4.3.2. A Desszert R78-as és P9025-es hibrid NDVI vegetációs index értékek eredményei a 2023. vizsgálati évben.....	93
4.3.3. A Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2023. kísérleti évben.....	95
4.3.4. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2023. kísérleti évben.....	98
4.4 Vegetációs indexek összehasonlítása 2022-2023. kísérleti évek átlagában Desszert R78 hibrid esetében.....	101
4.4.1 A Desszert R78 csemegekukorica hibrid vegetációs indexeinek varianciaanalízis eredményei évenkénti összehasonlításban (2022-2023)	102
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	103

6. ÖSSZEFOGLALÁS	109
7. SUMMARY	112
8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	114
9. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK	115
10. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	117
11. IRODALOMJEGYZÉK	121
12. PUBLIKÁCIÓS LISTA	136
NYILATKOZAT	139
MELLÉKLETEK	140

1. BEVEZETÉS

A mai modern mezőgazdaságban a digitalizáció és az adatalapú döntéshozatal egyre nagyobb szerepet kap a termelékenység és a fenntartható agrárium 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, növényzet, és a talaj pillanatnyi állapotáról. A mezőgazdasági UAV (Unmanned Aerial Vehicle) -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, amely 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 környezeti hatások is minimalizálhatók. A növények különböző spektrális tulajdonságai alapján az egyik legjelentősebb téma a szakterületen belül a növényi betegségek (súlyossági felmérése, azonosítása, kiterjedése) 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 karotinoid tartalmat, emellett nekrozis vagy klorózis (sárgulás / barnulás, halványodás, különböző szín elváltozás) alapú tüneteket produkálnak. További jelentős stressztényező kimutatására is alkalmasak: 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 legelterjedtebb körben 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 használható, mivel objektív és összehasonlítható adatokat szolgáltat. 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 dinamikusan fejlődő szakterület, amellyel számos publikáció, kutatás és fejlesztés foglalkozik.

1.1. A kutatásom célkitűzései

A növényi kórokozók detektálása és terjedésük nyomon követése 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 fertőzőtségi szintek vagy azok 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 területi szimptómák 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 a gyors, adatalapú különbségek kimutatásának.

3. Területi adateloszlások: A növényi fertőzések terjedésének és a fertőzés dinamikájának meghatározása 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. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Precíziós mezőgazdaság

Magyarországon egyes precíziós elemek gyakorlati alkalmazása valamivel a nemzetközi megjelenés utánra tehető. Ez az 1990-es évek első felének időszaka. A precíziós gazdálkodási gyakorlat legelőször a növénytermesztésben jelent meg.

A magyarországi klimatikus- és földrajzi tényezőket tekintve kijelenthető, hogy országunkban a mezőgazdaság egy igen jelentős nemzetgazdasági ág. A KSH adatok szerint a mezőgazdaság a nemzetgazdaság bruttó hozzáadott értékéből (GDP) 4,1%, a beruházások tekintetében 4,3%, a foglalkoztatásból pedig 4,6%-ot képviselt 2020-ban (KSH, 2020).

Az agráriumhoz kapcsolódó összes kutatási terület nem csak tudományos, hanem gazdasági előnyökkel járhat, amit a mai felgyorsult és egyre inkább digitalizált világban érdemes teljes mértékben kihasználni. A jelenlegi társadalomban nagy mennyiségű információ áll rendelkezésünkre, rengeteg forrásból. A mai precíziós mezőgazdaság is erre a területre fókuszál a leginkább. A mai precíziós mezőgazdasági alkalmazások sokféle mérési és megfigyelési adatot, a különböző szenzorok által mért paramétereket, a folyamatos precíz rögzítés mellett rendszer szinten integrálva próbálnak egy komplexebb képet mutatni, ami alapján (a területeinkkel kapcsolatban) új, hasznosítható információ keletkezik. Az új, kiegészítő információ pedig hozzájárul a megfelelő termesztéstechnológiai döntések meghozatalához. Napjainkban a gazdálkodók körében egyre nagyobb teret kapnak az úgynevezett „smart eszközök” és „smart megoldások”. Az informatikai rendszerek, eszközök és szolgáltatások egyre inkább bővülnek. Ez annak köszönhető, hogy a piacon egyre több termék van jelen, illetve az áruk is sokkal kedvezőbb manapság, mint korábban.

A precíziós mezőgazdaság használja a térinformatikát, a helymeghatározást, a távérzékelést és különböző szenzorok által gyűjtött adatokat, amelyek integrálásának fő célja az, hogy egyre inkább beépüljenek a modern növénytermesztési rendszerekbe. Jelenleg Magyarországon már körülbelül 20 éve jelen vannak a precíziós megoldások és ezek évről-évre egyre szélesebb körben terjednek a gazdálkodók között. Emellett a felhasználók köre is jelentős bővülést mutat.

2.2. A spektrális felbontás és a különböző szenzorok

A távérzékelés során az objektumról visszavert sugárzás mérésére különböző szenzorrendszereket tudunk alkalmazni. Sok esetben a megfelelő szenzorok kiválasztásával és alkalmazásával biztosítható a precíziós mezőgazdasági gyakorlat. Az adatgyűjtő rendszerek egyik legfontosabb paramétere a spektrális felbontás, amely meghatározza azt, hogy a szenzor milyen érzékenységgel tudja érzékelni az elektromágneses spektrum tartományait.

A spektrális felbontást maga a szenzor határozza meg, mégpedig azon az alapon, hogy az elektromágneses spektrumot hány (spektrális sávot), illetve milyen szűk spektrális tartományban képes érzékelni. A szűkebb spektrális tartományban vizsgált adatok sokkal részletesebb képet mutatnak a vizsgált objektumról (PURKIS és KLEMAS, 2011).

A felvételek információtartalmát a spektrális csatornák száma nagyban befolyásolja. Ahogy a digitális képalkotás fejlődik ezzel arányosan a szenzorok is modernizálódnak. Az érzékelő rendszerek csatornaszáma folyamatosan emelkedik, ezzel együtt a hullámhossz-sávok szélessége csökken. Ez azt eredményezi, hogy a távérzékeléshez használt műszerek spektrális felbontása egyre javul és jobb minőségű adatokat szolgáltatnak.

A multispektrális rendszerekkel pontos értékeket lehet begyűjteni a felszínről és a vizsgált objektumokról, viszont ezek a rendszerek általában kevés számú spektrális csatornával működnek (5-6). A részletesebb kutatásokhoz érdekesebb nagyobb spektrális felbontású rendszereket alkalmazni (KRUSE et al., 2003).

A hiperspektrális szenzorok a spektrális görbét 15-20 nm vagy még ennél is kisebb szélességű csatornákkal fedik le. A hiperspektrális rendszerek emiatt sokkal nagyobb spektrális felbontást nyújtanak (SMITH, 2006; ZHENG et al., 2001).

A hiperspektrális érzékelőkben található spektrográfok az optikai résen beérkező elektromágneses hullámokat optikai rácsok és prizmák segítségével több, különböző hullámhosszú sávra bontják szét (AIKIO, 2001).

Az ilyen felvételezési módszerrel (hiperspektrális) gyűjtött színeképek sokkal több információt tartalmaznak mivel sokkal részletesebbek, mint pl. egy multispektrális szenzorral készített felvétel (TUPIN et al., 2014).

1. táblázat: Sentinel műholdak sávszélessége és spektrális felbontása

Sentinel-2 MSI szenzorának spektrális sávjai					
Sentinel sávok	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Térbeli felbontás (m)
	Hullámhossz közepe (nm)	Sávszélesség (nm)	Hullámhossz közepe (nm)	Sávszélesség (nm)	
Sáv 1 (Tengerparti aeroszol)	442,7	21	442,3	21	60
Sáv 2 (Kék)	492,4	66	492,1	66	10
Sáv 3 (Zöld)	559,8	36	559	36	10
Sáv 4 (Vörös)	664,6	31	665	31	10
Sáv 5 (Vörös él)	704,1	15	703,8	16	20
Sáv 6 (Vörös él)	740,5	15	739,1	15	20
Sáv 7 (Vörös él)	782,8	20	779,7	20	20
Sáv 8 (Közeli infravörös)	832,8	106	833	106	10
Sáv 8a (Keskeny közeli infravörös)	864,7	21	864	22	20
Sáv 9 (Vízpára)	945,1	20	943,2	21	60
Sáv 10 (Közepes infravörös)	1373,5	31	1376,9	30	60
Sáv 11 (Közepes infravörös)	1613,7	91	1610,4	94	20
Sáv 12 (Közepes infravörös)	2202,4	175	2185,7	185	20

Forrás: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>

A precíziós növénytermesztés fontos eleme a vegetáció elemzés. A felvételekből ún. vegetációs indexeket (VI) lehet készíteni térinformatikai programokkal, melyek a növényzet mennyiségi és minőségi jellemzőit képesek mutatni közvetlenül a spektrumgörbékből kinyert információk és adatok által (TUCKER, 1979; BANNARI et al., 1995; ZILINYI, 1995).

A spektrális adatok, illetve információk rendkívül fontos bázist adnak a különböző térinformatikai rendszereknek. Egyben ezek a PA (Precision Agriculture) egyik alappillérei is. A növények reflektancia értékei azért rendkívül meghatározóak, mert a

növényekben található klorofill a földre érkező sugárzásból energiát nyel el. A klorofill erős abszorpciós képessége révén egy egészséges növényi szövetnek 460-670 nanométer hullámhossztartományban láthatók bizonyos kiugrásai a RED (Vörös) ÉS BLUE (Kék) tartományban (CHAPPELLE et al., 1992).

A Near Infra Red tartomány közelében (700nm környékén) az egészséges növényi szövetek reflektanciája megnő. Az egészséges növényzet a beérkező energia mennyiségének 40-50%-át visszaveri (LILLESAND és KIEFER, 1994). A növényi szövetek visszaverőképessége (700-1300 nm közötti hullámhossz tartományokban) a belső szerkezeti tulajdonságoktól nagyban függ (BERKE et al., 2004; JONES és VAUGHAN, 2010). Pl. a sejtfalak lignintartalma és a parenchima szövet szerkezete is meghatározza ezt (GATES et al., 1965). A Mid-INFRA tartományban 1300-2500 nm pedig információt gyűjthetünk a vizsgált növényzet víztartalmával kapcsolatban. A vízelnyelési spektrum az alábbi csatornákon 1450, 1940 és 2500 nm-en nagymértékben érzékeny a víztartalomra (KNIPLING, 1970; CLEVERS et al., 2008).

Normalizált Differenciál Vegetációs Index (NDVI) a gyakorlatban a leggyakrabban használt vegetációs index, amelyet (a biomassza) a felszíni növényborítottság vizsgálatára használnak (ROUSE et al., 1973). Az elektromágneses spektrum vörös (RED) és közeli infravörös (NIR) csatornáiban mért reflektancia értékekből határozzák meg a NDVI értéket, amely gyűjthető földi, légi- és űrtechnológias eszközökkel egyaránt (NEMÉNYI et al., 2010).

Az NDVI értéken kívül a NIR és a VIS tartományok különböző sávjait felhasználva a zöld növényi biomassza mennyiségén és a klorofilltartalomon kívül egyéb más információkat is gyűjthetünk a területen lévő növényekről. Ilyen meghatározható paraméter lehet pl. a levélfelület nagysága (QUAN et al., 2005), a növényi szövetek nitrogén ellátottsága, ami a klorofilltartalommal is szorosan összefügg (YODER és PETTIGREW-CROSBY, 1995; CABRERA-BOSQUET et al., 2011). A növényi szövetek nedvességtartalma is meghatározható lehet (PEÑUELAS et al., 1997; GAMON és QIU, 1999; CHAMPAGNE et al., 2001; NAGY et al., 2010).

A megfelelő csatornákat használva különböző vegetációs indexeket állíthatunk elő és ezek segítségével a növények fiziológiai változásait és a termés érését is nyomon követhetjük.

2.3. Térinformatika

A térinformatika vagy angolul Geographical Information System, GIS, magyarul pedig Földrajzi Információs Rendszer (FIR), nélkülözhetetlen eszközzé vált a térbeli adatok elemzéséhez és azok feldolgozásához. Az ilye GIS alapú rendszerek teszik lehetővé azt, hogy a térbeli információkat digitálisan kezeljük, szerkesszük és elemezzük. A mélyebb térinformatikai elemzések elvégzése számos területen fontos. Ennek az egyik legjelentősebb területe a PA (Precision Agriculture) vagyis a precíziós mezőgazdálkodás.

BLACKMORE (1994) szerint a GIS egy olyan szoftveres alkalmazás, amelyet kifejezetten arra célra fejlesztettek ki, hogy a térbeli adatokat tudja kezelni. Ezek az adatsorok olyan georeferált információs halmazok, amelyek lehetővé teszik a felhasználó számára, hogy különböző térkép rétegeket hozzanak létre és sokféle elemzést tudjanak végrehajtani. Ezek a térképek különböző döntéstámogató rendszerek alapját is biztosítják.

A hozamtérképek, illetve talajminták alapján készített rétegek jelentették az eredmények első típusát a precíziós gazdálkodásban. Például ezek már egy döntéstámogatási rendszer alapját is adhatják, amennyiben a szenzorok által mért értékekből létrehozott térkép fedvényről beszélünk. A hozamtérképezés hibáinak és algoritmusának első közlései kiemelik az adatgyűjtés során fellépő legfontosabb hibákat és azok kijavításának szükségességét. Az adatgyűjtés során a legfontosabb problémák közé tartoznak a különböző pontatlanságok a szenzorok kalibrációjában, az időbeli- és térbeli eltolódás (GPS kalibrációs hibái), a szemtermés áthaladási ideje, valamint az alkalmazott algoritmusok nem megfelelő működése. A fenti hibák kiküszöbölése szükséges a megbízható és pontos információk kinyeréséhez, amely által segítséget tudunk nyújtani a gazdálkodóknak és a kutatóknak a döntéshozatalban.

A hozam adatok gyűjtése során jelentkező hibák és pontatlanságok minimalizálására az automatikus szűrők beépítése a hozam adatokat gyűjtő szenzorokba javasolt. Ezáltal a gyűjtött, nyers adatok megbízhatósága jelentős mértékben javulhat.

A RANDS (1995) által kidolgozott „szakértői szűrő” tekinthető a legalkalmasabbnak. Ez a szűrési eljárás biztosítja azt, hogy az adatok pontosabbak legyenek, mielőtt a hozamtérkép rétegeket létrehoznák. Az input adatok szűrését követően a hozamtérképek létrehozása interpolációval lehetséges (BLACKMORE, 2000). Az interpoláció egy olyan módszer, amely ismeretlen pontok értékeit a már meglévő szomszédos értékek alapján

becsüli meg és helyettesíti, amennyiben az adott zónában vagy GPS koordináta ponton nem áll adat a rendelkezésünkre. THYLÉN és MURPHY (1996) cikkükben részletesen foglalkoznak a hozamtérkép készítés során elvégezhető interpolálási technikákkal. A krigelési eljárást, valamint az inverz távolságok négyzetének alkalmazását javasolják az interpolációs eljárásokhoz. Mind a két eljárás ma is egy gyakran használt megközelítés a térbeli adatok elemzésében. A krigelést OLIVER és WEBSTER (1991) statisztikai szempontból jobbnak minősíti, viszont matematikai oldalról komplikáltabb, mivel az alkalmazás során variogramok használatára is szükség van. A mai GIS szoftverek a krigelést beépített (Integrált) modulként végrehajtják, ezáltal a kevésbé tapasztaltak is könnyedén elvégezhetik ezzel az eljárással az interpolálást. A hozamtérképezéssel kapcsolatosan többen is foglalkoznak a hibák minimalizálásával. ROBINSON és METTERNICHT (2005) elemzik a hozamtérképezési eljárás során felmerülő lehetséges hibákat, illetve a hibák alacsonyabb szinten tartásának lehetőségeit. Több publikáció is fontosnak tartja a térinformatikát a precíziós gazdálkodásban, mint ahogy azt a kezdeti időszakban tették annak felhasználói (TÓZSA, 2001; BERKE et al., 1996). Az első átfogó, magyar nyelvű munkát a térinformatikáról 1995-ben DETREKŐI és SZABÓ (2000) szerzőpáros jelentette meg. Azóta ezt a munkát többször is újra kiadták, illetve a térinformatikai alapok elsajátításának egyik alap összefoglaló munkája lett. A térinformatikai alkalmazások felhasználási lehetőségei széleskörűek, pl. a bányaterületek rekultivációja (PIRKHOFFER, 2005), a városi fejlődési dinamikának a vizsgálata (NAGYVÁRADI et al., 2006). Az önkormányzati alkalmazások területén való felhasználhatóság vizsgálata során (NAGYVÁRADI – PIRKHOFFER, 2005), a szuburbanizáció és a közlekedési hálózat közötti kapcsolat is elemzésre került (BALASSA et al., 2007). A pécsi Földrajzi Intézet a térinformatikai alkalmazások földrajzi lehetőségéről (BUGYA et al., 2006; NAGYVÁRADI és VARGA, 2008), valamint a projektervezés felépítéséről (térinformatikai eszközök felhasználásával) publikált (GYENIZSE és NAGYVÁRADI, 2008). A térinformatika jelentős részét alkotja a precíziós mezőgazdaságnak. Több hazai egyetem és kutatóintézet (Debreceni Egyetem, Mosonmagyaróvár, Műszaki Egyetem, Budapest stb.) munkatársai is kiemelik azt, hogy a mezőgazdasági digitalizációban jelentős szerepet játszik (MILICS és NEMÉNYI, 2007; NEMÉNYI et al., 2006; SZABÓ et al., 2007; TAMÁS, 2001; NEMÉNYI et al., 2003).

2.4. Az alkalmazható kamera technológiák (UAV- payload)

A kameratechnológia fejlődése számos új alkalmazási területet nyitott meg, különböző szakterületek előtt az orvostudománytól a mezőgazdaságig. A mezőgazdasági vonatkozásban fontos területek a távérzékelés, a precíziós mezőgazdaság, a környezetvédelem és a hidrológiai vizsgálatok. Az RGB kamera technológia (RED-GREEN-BLUE) és a multispektrális kamerák a képalkotási technológiák két alaptípusát képviselik. Az RGB típusú szenzorok a látható fény spektrum három alapszínét képesek rögzíteni (vörös, zöld és kék). A multispektrális kamerák az RGB típusúaktól főleg abban térnek el, hogy a látható tartományon túl több hullámhosszon is képesek adatgyűjtésre. Az infravörös tartomány, illetve 700nm-en túli spektrumok megfigyelése már a multispektrális kamerák felhasználását igényli. Az RGB kamerák fő jellemzője továbbá az, hogy a három alapszín kombinációjából (vörös, zöld és kék) hozzák létre a felvételeket. Az RGB kamerák nagyjából ugyanazt a színtartományt fedik le, mint az emberi szem. Az RGB kamerák azonban térinformatikai és színeképelemzési célokra is felhasználhatók, mivel a kameralencsék általában a megfelelő optikai szűrőkkel vannak ellátva, ezáltal a csatornák különböztethetők. Az RGB kamerákkal végzett monitoring felmérések előnye az, hogy valós idejű felméréseket tudunk velünk végrehajtani és rengeteg olyan eltérést tudunk azonosítani a vizsgált területen, amelyek nem feltétlenül igényelnek vegetációs színeképelemzéseket. Az RGB kamerák felhasználási területe érinti továbbá a vagyonsvédelmet, a videók és fényképek rögzítését. Terepi megfigyelések és monitoring folyamatok megvalósítására is rendkívül alkalmasak. Mezőgazdasági felhasználásuk esetében főleg vízzel borított területek felmérése, vadkár, gyomosodás (főleg tarlón vagy sorközben) meghatározására. Az RGB technológia rendkívül jól alkalmazható továbbá a terület nagyságának és adottságainak (domborzat) felméréséhez is. Az RGB kamerák hátránya viszont az, hogy amennyiben vegetációs elemzéseket szeretnénk végrehajtani arra korlátozottak a lehetőségek, illetve az infravörös és UV tartomány érzékelése már nem lehetséges.

A multispektrális kamerák főbb jellemzői közé tartozik az, hogy a látható színes felvételek mellett a 700nm-es tartományon túl is képesek adatokat gyűjteni, ami 700-1000 nm közé tehető. Ezek közül kiemelendő a közeli infravörös tartomány vagy Near Infra Red tartomány (NIR), mivel rengeteg hasznos, a növényzettel kapcsolatos információ ebben a spektrumban érzékelhető (NIGON et al., 2016).

A spektrális sávok szétbontása és érzékelése minden esetben egy olyan kamera lencsével történik, ami a megfelelő optikai szűrőkkel van ellátva. Ezáltal csak egy bizonyos sáv szélességen fogja érzékelni az adott spektrumtartományt. A spektrális információk rengeteg hasznos információt biztosítanak a növényzet általános állapotáról, klorofilltartalmáról és a növényzet vízellátottságáról is.

A multispektrális kamerák több csatornán képesek rögzíteni az adatokat például RGB látható színes felvétel készítése mellett a vörös (RED, R) csatornát 650nm-en rögzítik. A zöld (Green, G) jelzésű csatornát 560 nm-en. A kék, vagyis (BLUE, B) csatornát 450 nm-en. A kék csatorna spektruma nem olyan fontos, főleg a növényzettel kapcsolatos vizsgálatok során és sok vegetációs index (VI) nem is alkalmazza csupán valamilyen korrekciós tényezőként. Ezért az új generációs, multispektrális kamerák már nem feltétlenül rögzítenek a kék csatornán adatokat. Pl. DJI MAVIC 3 Multispectral kamera rendszere már nem is tartalmazza a kék (BLUE, B) csatorna rögzítésére alkalmas lencsét. Vörös él vagy a vörös színtartománynak a széle (RED EDGE, RE) 730nm- és környéke, illetve a vegetációs elemzésekhez nagyon fontos közeli infravörös csatorna (NEAR INFRA RED, NIR) csatorna rögzítése 840nm-en történik.

A multispektrális kamerák alkalmazása ezáltal szinte elengedhetetlen mindenféle környezetvédelmi és mezőgazdasági alkalmazás vagy vizsgálat végrehajtásában.

A kamerák felbontásának tekintetében az RGB kamerák sokkal magasabb felbontást képesek előállítani, ezáltal jobb minőségű felvételek készíthetők velük. A jelenleg kereskedelemben kapható szenzorok szinte mindig külön RGB kamerával vannak felszerelve, a multispektrális szenzorok mellett. A multispektrális kamerák esetében sokkal fontosabb a spektrális adat, mint a pixel alapú felbontás mértéke (YANG et al., 2020).

A képképzés sebessége FPS (Frames Per Second) ami főleg a dinamikus érzékelés és a valós idejű megfigyelésekben lehet döntő tényező, mivel az RGB kamerák (főleg a komolyabb típusok a piacon) 60 képkocka/másodperc-el képesek az élő felvételeket rögzíteni, akár 4K- felbontás mellett. Ez a felbontás és képkocka sebesség szinte stúdióminőségű videóanyagok készítésére is alkalmas, ezáltal akár magas minőségű marketing anyagok is készíthetők. A multispektrális kamerák azonban egy sokkal alacsonyabb képképzési sebességgel működnek, viszont nem is ez a felhasználásuk elsődleges célja (EISMANN, 2012)

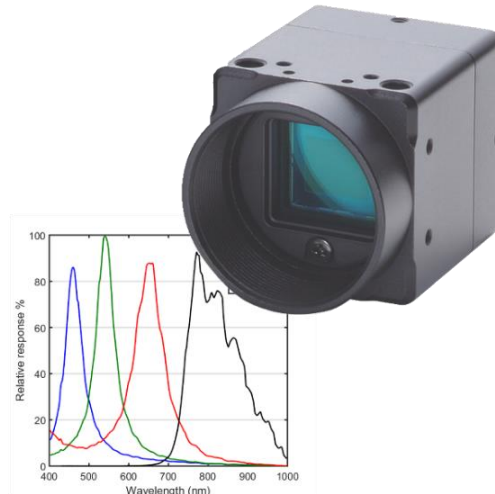
A multispektrális kamerák további felhasználási területei nem csak a mezőgazdasági növények vizsgálatára korlátozódnak. Kiterjedt talajvizsgálatok, szervesanyag-tartalom

és ásványianyag-összetétel meghatározására is alkalmasak. A vízminőség monitorozása, a szennyező anyagok továbbá az algásodásra hajlamos felszíni vizek méreteinek és kiterjedésének a felvételezése is lehetőséget adnak (PALMER et al., 2015).

A távérzékelésen belül a multispektrális kamerarendszerek nagy pontossággal képesek az urbanizációs folyamatok, erdőirtások, valamint az éghajlati/klimaváltozás által okozott változások követésére. A sivatagosodás kiterjedtségének, illetve a sarkkörü gleccserek olvadásának pontos mérései rendkívül fontos információkat biztosítanak a klímakutatások és a környezetvédelem számára (GOETZ et al., 2009).

A nemzetbiztonsági és katonai célú felhasználás is jelentős, ezen belül is a megfigyelő drónok alkalmazása segítheti ellenséges objektumok, rejtékhelyek, álcázott járművek felderítését. Mivel a vizsgált objektumok különböző kémiai/fizikai tulajdonságai miatt a vizsgált spektrális sávokban könnyebben detektálhatók, mint egy hagyományos RGB kamerával. A hőképezés tekintetében pedig drónokra rögzített termokamerák nagymértékben segíthetik a határvédelmet, illetve a gépek/élőlények által kibocsájtott hőmérsékletváltozás azonosítását. A műemlékvédelem szintén egy kiemelt terület. Ezen belül a régi, romos épületek vagy régészeti feltárások során előkerült objektumok 3D-s rekonstrukciójára, azok megfigyelésére. Magasan, hegyoldalban elterülő romok részletesebb felderítése. A művészettörténet is alkalmaz multispektrális kamerarendszereket, ezek használatával a festmény rétegeinek meghatározása esetlegesen a festmények rekonstrukciója válik lehetővé (PAPADOPOULOS és MELESSANAKI, 2016).

Összefoglalva a multispektrális kamerák alkalmazása rendkívül sok szakterületet érint az orvostudománytól kezdve a különböző természettudományokon át az ipari felhasználásig. Minden olyan alkalmazásban kulcsfontosságú szerepet játszanak ezek a szenzorrendszerek, amikor spektrális információk szükségesek.



1. ábra: RGB kamera és a spektrum görbék

Forrás: <https://spectraldevices.com/cdn/shop/products/msc2-rgb-1-a.png?v=1665604343&width=1445>

2.4.1. DJI Phantom 4 RTK Multispectral

Kamera szenzorok esetén hat 1/2,9” CMOS, amely tartalmaz egy RGB szenzort a látható fényű felvételek készítéséhez és öt monokróm szenzort a multispektrális felvételekhez (2.ábra). Minden szenzor effektív pixel 2,08 MP (2,12 MP összesen).

Szűrők és a rögzített sávok spektrális szélessége:

- Kék Blue (B): 450 nm ± 16 nm;
- Zöld Green (G): 560 nm ± 16 nm;
- Vörös Red (R): 650 nm ± 16 nm;
- Vörös él, Red edge (RE): 730 nm ± 16 nm;
- Közeli infra vörös Near-infrared (NIR): 840 nm ± 26 nm

Forrás: DJI (2022)

Lencsék:

- FOV (látómező): 62,7°
- Fókusz távolság: 5,74 mm (35 mm-es formátum megfelelője: 40 mm), autófókusz beállítása ∞ Rekesznyílás: f/2.2



2. ábra: Phantom 4 Multispectral 6 kamerás rendszere

Forrás: <https://jenacopterlabs.de/wp-content/uploads/2020/04/untitled-20200316-6060861-8107905-2-1024x683.jpg>

2.4.2. DJI Phantom 4 Pro V2 + Sentera Double4K NDVI+NDRE

Komplett mezőgazdasági felmérő drón szett: Az alap Phantom 4 pro-hoz hozzá van építve egy gimbalos platformon a Sentera kamerája, ami 12,3 MP-es TrueNDVI® és TrueNDRE® terményegészségügyi adatokat képes gyűjteni a területről (3. ábra).

Kameraszenzor adatok:

- Méret: 2,32" x 1,61" x 1,75" (59mm x 40,9mm x 44,5mm)
- Szenzor felbontás: 12,3 MPixel CMOS Sony Exmor R™ IMX377 Sensor
- Videó: 4K (H.264 kódolással)
- Fókusz távolság: 4,14 mm
- Látószög: 60 fok vízszintesen / 47 fok függőlegesen
- GSD érték: 3,5 cm/pixel (80 méter magasságból)
- NDVI színszűrő sáv szélesség:
- 625 nm-es vörös (RED) színsávon: 100 nm szélesség
- 850 nm-es NIR (infra közeli) színsávon: 40 nm szélesség
- NDRE színszűrő sáv szélesség:
- 720 nm-es Red-edge (vörös él) színsávon: 40 nm szélesség
- 840 nm-es NIR (infra közeli) színsávon: 20 nm szélesség

Forrás: DRONE24 (2024)



3. ábra: Sentera Double4K NDVI+NDRE

Forrás: dron.arukereso.hu/DJI/ (2024)

2.4.3. Sentinel-2 műhold

Az Európai Űrügynökség (European Space Agency ESA) által indított Copernicus program része a Sentinel-2 műholdak föld körüli pályára állítása (2015 és 2017). A Sentinel-2 két műholdból álló flotta, amelyet a föld megfigyelésére bocsájtottak az űrbe. A felszíni területek, vizek, mezőgazdasági tevékenység monitorozása a misszió fő célja. A Sentinel-2A és a Sentinel-2B alkotják ezt a műhold együttest. A műholdak MSI rendszere (MultiSpectral IMAGER) típusú szenzorrendszerekkel vannak ellátva. Az érzékelők különböző felbontással, több spektrális sávot is rögzítenek a földfelszínről. A Sentinel-2 MSI a látható spektrumtól a rövidhullámú infravörös (Short Wave Infra Red SWIR) tartományában is rögzít felvételeket. A műholdak pásztázási szélessége 290 km, ami igen nagy területeket fed le. A visszatérési idő pedig globálisan általában 5 nap, ami rendkívül alkalmas a növényzet állapotának dinamikus nyomonkövetésére. A felbontásokat tekintve 4 sávot kapunk 10m-es felbontásban (kék (BLUE), zöld (GREEN), vörös (RED), és a legfontosabb a közeli infra vörös (NIR)). További 6 sáv elérhető 20m-es felbontásban. Vörös széle (RED EDGE) ebből több csatorna is, emellett NIR és további SWIR sávok. A 60 méteres felbontásban további 3 sáv az, ami elérhető. Ezeket főként légköri korrekciókhoz és atmoszferikus megfigyelésekhez használják. A 10m-es

felbontású egységeket rendkívül hasznosan lehet alkalmazni, mind megfigyelési, mind kutatási célokra.

A Sentinel-2 műholdfelvételei minden regisztrált felhasználónak és érdeklődőnek ingyenesen elérhetők és letölthetők az alábbi weboldalról: <https://scihub.copernicus.eu/> (4. ábra).



4. ábra: Sentinel 2 MSI

Forrás: Copernicus 2022 esa.int

2. táblázat: Sentinel 2 műhold csatornáiból számítható VI formulák

Vegetációs Index	Formula	Hivatkozás
NDVI	$B8-B4 / B8+B4$	LIN S. et al. (2019)
NDRE1	$B6-B5 / B6+B5$	
NDRE2	$B8-B5 / B8+B5$	

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

Az alábbi táblázatban a különböző csatornákból számítható vegetációs indexek formulái és azok kombinációi találhatóak. Ezek a csatornák viszonylag nagy térbeli felbontással és mezőgazdasági felhasználás céljából alkalmazhatóak (2. táblázat).

2.5. Mezőgazdasági UAV-kel monitorozható paraméterek (növény és talaj)

A mezőgazdasági monitoring drónok és azok alkalmazása rendkívül sokoldalú és különböző célokra történik. A GIS szoftverekkel kombinációban a felmérő drónok elengedhetetlen elemei a precíziós gazdálkodásnak. Ezek a megfigyelések jelentős előnyt biztosítanak azoknak a gazdálkodóknak, akik ezeket a szoftverek és szenzorokat alkalmazzák. Az UAV-k által gyűjtött adatok felhasználhatók, például biomassza monitoringra (NÄSI et al., 2018; MAIMAITIJIANG et al., 2017). Ezáltal sokkal pontosabban nyomon követhető a biomassza, illetve a termesztett állomány fejlettsége. A nitrogénellátottság felmérése (NÄSI et al., 2018; BALLESTER et al., 2017) is lehetővé válik. A nitrogén, mint makro tápanyag a növények egészségi állapotához, valamint a növények megfelelő fejlődéséhez is kritikus tápelem (MAIMAITIJIANG et al., 2017; BHANDARI et al., 2018).

UAV alapú precíziós szenzorok által a növényi nedvességtartalom nyomonkövetése elengedhetetlen, akár a precíziós vízgazdálkodás vagy az optimális növényi vízellátás biztosításhoz (JORGE et al., 2019; BHANDARI et al., 2018). A növényi nedvességtartalom meghatározása szintén alapja lehet az öntözés vagy a szenzorosan vezérelt öntözőrendszerek döntéstámogatásához, az aktuális meteorológiai adatokkal kombinálva.

A vegetáció színek alapú elemzése (főleg a VIS-SWIR alapú rendszerek alapján pl. multispektrális kamera rendszerek - MCS- Multispectral Camera Systems) a vegetációs színek alapján elvégzett növényegészségügyi és növényfejlettségi állapotok felmérése (WAN et al., 2018; VARELA et al., 2018).

A vegetációs indexek és térképek alkalmazása szintén szoros korrelációban áll a növényi klorofilltartalom mennyiségével, mivel a klorofill spektrális tulajdonságai alapján ezek jól érzékelhetők (QUEBRAJO et al., 2018; BALLESTER et al., 2017). A klorofilltartalom alapján tudunk következtetni a területen bekövezett növényi stressz mértékére és a fotoszintézis hatékonyságára is.

A termesztett növényállomány hőmérséklet alapú vizsgálata is egy fontos lehetőség. A hőmérséklet alapján tudjuk azonosítani a hőstresszt (aszály stressz) esetlegesen a hőstressz által kiváltott vízhiányt, mivel a hőmérséklet egy jellemző indikátora ezeknek a típusú károsodásoknak (PASCUZZI et al., 2018; QUEBRAJO et al., 2018). Továbbá a növényzet méretének és alakjának vizsgálata, illetve ezen adatok kiegészítve a vegetációs

indexekkel egy sokkal részletesebb képet tudnak mutatni a termés állapotáról és annak esetleges mennyiségéről (DE CASTRO et al., 2018; GAO et al., 2018).

A vizsgált objektumok mindig különböző tulajdonságúak. Emellett a növények mérete, illetve alakja alapján több kutatás továbbfejlesztését és döntéstámogató adatsorok alapját képezhetik. Ebben az esetben is szintén VI-kel (vegetációs indexek) kiegészítve (VARELA et al., 2018; MARINO és ALVINO, 2018; MARCIAL-PABLO et al., 2019). A talajvizsgálatok tekintetében végzett kutatások alapján, az UAV-k szintén nagyon fontos szerepet játszanak, különösen a talaj nedvességtartalmának monitorozásában, amelyből következtethetünk a mezőgazdasági területek vízszolgáltató képességére és ezek alapján prognosztizálhatók a növényzet vízellátásának körülményei (JORGE et al., 2019; SOBAYO et al., 2018).

Ahogy a növényzet esetében, úgy a talaj vonatkozásában is kritikus indikátor a talajhőmérséklet. A talajok fizikai és biológiai tulajdonságai szintén szoros összefüggésben állnak a talaj hőmérsékletével (KRÍŽOVÁ et al., 2018; PASCUZZI et al., 2018).

Talaj elektromos vezetőképessége szintén fontos adatokat biztosíthat a gazdálkodók számára (soil electrical conductivity - SOIL EC). Mivel a talaj elektromos vezetőképessége információt ad a talaj sótartalmáról és ezek alapján optimális agrotechnikai és talajkezelési stratégiák alakíthatók ki (KRÍŽOVÁ et al., 2018).

2.6. UAV adatgyűjtés és feldolgozás

Tipikus képalapú légi felmérés UAV platformmal repülési- vagy küldetéstervezést és földi irányítópontokat igényel. Ground Control Point (GCP) mérés (ha még nem elérhető) georeferálási célból szükséges. A felvételek elkészítése után a képek összefűzése következik, és ezeket használják az ortomozaikok létrehozásához (NEITZEL és KLONOWSKI, 2011) vagy inputjai lehetnek a fotogrammetriai folyamatnak. Ebben az esetben a kamera kalibrálását és képháromszögelést végeznek, annak érdekében, hogy ezután létrehozható legyen egy DSM (Digital Surface Model) vagy digitális domborzati modellt. Ezek a termékek végül felhasználhatók ortomozaikok előállítására vagy 3D modellek készítésére, amelyek által további metrikus információkat tudunk kinyerni a felvételekből.

A kamera kalibrálása és a kép tájolása két alapvető előfeltétel a képekből történő metrikus rekonstrukciónak. A meteorológiai alkalmazásokban mindkét feladat két különböző lépésben történő szétválasztását kell előnyben részesíteni (REMONDINO és FRASER, 2006). Valójában különböző blokkgeometriákat igényelnek, amelyek jobban optimalizálhatók akkor, ha külön szakaszokban kezelik őket. Másrészt sok olyan alkalmazásban, ahol kisebb pontosságra van szükség a kalibráció és az orientáció egyidejűleg kiszámítható egy önkalibráló „bundle” csomag beállításával. Légi kamerák esetén a kamera kalibrálását általában a laborban végzik el, de repülés közbeni kalibrációt is lehetséges (COLOMINA et al., 2007). A kamerakalibrálási és képtájolási feladatok a lehető legtöbb képen látható közös jellemzők (kötési pontok) kinyerését igénylik, majd egy kötegbeállítást, azaz egy nemlineáris optimalizálási eljárást a megfelelő függvény minimalizálása érdekében (BROWN, 1976; TRIGGS et al., 2000; GRUEN és BEYER, 2001). A kötési pontok szakértő kezelő általi kézi azonosításán vagy a jelzett kódolt markereken alapuló eljárást széles körben használják manapság.

A közelmúltban teljesen automatizált eljárásokat fejlesztettek ki a marker nélküli, közeli képekből a konzisztens és redundáns kötési pontkészletek kinyerésére fotogrammetriai alkalmazásokban (BARAZZETTI et al., 2011; PIERROT-DESEILLIGNY és CLERY, 2011). Néhány hatékony kereskedelmi megoldás is megjelent a piacon (pl. Photo Modeler Scanner, Eos Inc; PhotoScan, Agisoft). A kereskedelmi szoftverek légi alkalmazásokhoz továbbra is igényelnek némi felhasználói interakciót, vagy GNSS/INS-adatok rendelkezésre állását az automatizált kötési pontok kinyeréséhez. A számítógépes képkalkotásban a kamera (belső és külső) paramétereinek és a 3D-s szerkezet egyidejű meghatározását általában „mozgásból származó szerkezetnek” (structure from motion) nevezik (HARTLEY és ZISSERMAN, 2004; SNAVELY et al., 2008; ROBERTSON és CIPOLLA, 2009). Néhány ingyenes webalapú megközelítés (pl. Photosynth, 123DCatch stb.) és nyílt forráskódú megoldások (VisualSfM (WU, 2011) Bundler (SNAVELY et al., 2007) is elérhető, bár általában nem elég megbízhatóak és pontosak, különösen változó alapvonalú és képléptékű nagy- és összetett képblokkok esetén. Az alkalmazott kötegkorrekciós algoritmusnak megbízhatónak kell lennie, képesnek kell lennie kezelni az esetleges kiugró értékeket, és statisztikai kimenetet kell biztosítani az eredmények érvényesítéséhez. Az összegyűjtött GNSS/INS adatok, ha rendelkezésre állnak, segíthetik az automatizált kapcsolódási pontok kinyerését, és lehetővé teszik a rögzített képek közvetlen földrajzi hivatkozását. Alacsony metrikus minőségi követelményeket támaztató

alkalmazásokban, például gyors adatgyűjtéshez és vészhelyzeti reagálás során történő térképezéshez, elegendő lehet a közvetlen GNSS/INS megfigyelés pontossága (PFEIFER et al., 2012; ZHOU, 2009). Ha a navigációs helymeghatározó rendszer nem használható közvetlenül (még autonóm repüléshez sem), mivel a jel erősen leromlott vagy nem elérhető (belvárosok, esőerdős területek stb.), akkor a tájékozódási fázisnak kizárólag képalapú megközelítésre kell támaszkodnia (EUGSTER és NEBIKER, 2008; WANG et al., 2008; BARAZZETTI et al., 2010; ANAI et al., 2012). Ezáltal a GCP-kre van szükség a méretezéshez és a földrajzi hivatkozásokhoz. Ez a két utóbbi lépés nagyon fontos a metrikus eredmények előállításához.

Felületrekonstrukció és ortomozaik készítése: A 3D rekonstrukciós és modellezési munkafolyamat a felület mérés, ortofotó készítés és a főbb jellemzők kinyerése. Az ismert kameratájolási paraméterekből kiindulva a jelenet interaktív módon, digitálisan rekonstruálható vagy automatizált sűrű képillesztési technikákkal pótolható.

A végtermék vagy „output” általában ritka vagy sűrű pontfelhő (point cloud). Az előbbi esetben a kiemelkedő sarkok és jellemzők leírása vagy az utóbbiban a vizsgált terület teljes felületének alakja. A sűrű képegyeztetési algoritmusoknak (Dense Image Matching Algorithms) képesnek kell lenniük arra, hogy a sűrű pontfelhőkből kinyerhesse az objektum fő geometriai egyenletlenségeit és meghatározza a felületét.

Ezért a pontsűrűséget adaptívan kell beállítani úgy, hogy megőrizze az éleket, és lehetőleg kerülje el a túl sok pontot a síkban. A legkorszerűbb technológia a több képpárosítási technika (Multi image matching technique) (SEITZ et al., 2006; VU et al., 2009; ZHU et al., 2010) illesztési algoritmusokon alapul. Ezek patch alapú módszerek (GERKE et al., 2010; HIRSCHMÜLLER, 2008) vagy optimális áramlási algoritmus (optimal flow) alapúak (FURUKAWA és PONCE, 2010; PIERROT-DESEILLIGNY és PAPARODITIS, 2006). Az utolsó két módszert a PMVS, illetve a MicMac nevű, nyílt forráskódú csomagokban implementálták. A származtatott, strukturálatlan pontfelhőknek végezetül strukturálnak és interpolálnak kell lenniük, esetleg egyszerűsítettnek és végül texturálnak a fotorealisztikus megjelenítés érdekében. A sűrű pontfelhőket általában előnyben részesítik domborzati/felületi rekonstrukció esetén (pl. régészeti feltárás, erdészeti terület stb.), míg a ritkás pontfelhők esetében, amelyeket később egyszerű sokszögűvé alakítanak előnyben részesíthetők a mesterséges objektumok, mint pl. az épületek. Ortofotók készítéséhez sűrű pontfelhő használata kötelező a pontos

ortorektifikáció elérése érdekében és a tereptorzulások teljes eltávolításához. Másfelől az alacsony pontosságú alkalmazások esetén (pl. gyors reagálás, katasztrófaértékelés stb.) egyszerű képjavítási módszer (sűrű képillesztés nélkül) alkalmazható (NEITZEL és KLONOWSKI, 2011).

2.7 Terepi mérésekhez használt mérőműszerek

2.7.1 SPAD 502 relatív klorofilltartalom mérő

A **SPAD-502** hordozható klorofillmérő műszer (5. ábra), amelyet főként mezőgazdasági, növényélettani, növényi stressz, nitrogén ellátottság, termésbecsléshez használnak gazdasági és kutatási környezetben egyaránt. (SUDU et al. 2022) 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. (SZÉLES et al. 2023.) 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 mérési felület a levélzetén 2mm. Elemes működése biztosított, így a karbantartása is csupán elemcserét igényel. A tisztítása az eszköznek indokolt amennyiben növényi maradványok vagy levéldarabkák szakadnak a mérőegység részére. A pormentesítés is gyakori hibákat okozhat a mérésben ezért fontos a mérőfelület tisztán tartása. Előnye, hogy gyors és hatékony méréseket lehet vele végezni, azonban ehhez több adat felvétele is szükséges . A SPAD 502 egyébként egy megbízható mérőműszer és széleskörben alkalmazzák a kutatók. (ZAGYI et al. 2022, SZILÁGYI et al. 2021)



5. ábra: SPAD-502 relatív klorofilltartalom mérő műszer

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

2.7.2 Trimble GreenSeeker NDVI mérő műszer

A Trimble GS műszere (6. ábra) távérzékelési technológián alapszik, a szántóföldön képesek vagyunk NDVI értékeket felvételteni. (ZSEBŐ et al. 2024) A GS NDVI értékek számos kutatásban szerepelnek és összehasonlítják UAV-k által felvételzett NDVI értékekkel. A GS NDVI értékei széleskörben felhasználhatóak termés prediktor modellekre, illetve növényi stressz diagnosztikára, annak mértékének értékelésére. A készülék Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) értékei számítja ki. A műszer mérési spektruma a Vörös fény tartományban 660 nm a Közeli infravörös fénytartományban (NIR) pedig 780 nm. (OGLESBY et al. 2022) A mérési távolság a növényzet méretétől is változhat de általában 60 cm-200 cm-ig terjed. Fontos, hogy a kezdeti stádiumokban a talaj értékek jobban jelentkeznek ezáltal alacsonyabb értékeket kapunk, mint már egy nagyobb növényi felület esetében. Az eszköz beépített akkumulátorral rendelkezik de külső tápegységet is lehet alkalmazni. A karbantartás szempontjából fontos a pormentesítés és szenzorok / lencsék tisztán tartása. Az eszköz előnye, hogy azonnali méréseket lehet vele végezni illetve, hogy a precíziós mezőgazdasági alkalmazásokban is széleskörben elterjedt az NDVI (LAPIDUS et al. 2022).



6. ábra: Trimble GS NDVI mérőműszer

Forrás: <https://extension.okstate.edu/programs/precision-ag-and-soil-fertility/site-files/greenseeker-sensor/images/greenseeker-sensor.jpg>

2.8. A kukorica golyvásüszög (*Ustilago maydis* (DC.) Corda) bemutatása

2.8.1. A kórokozó általános jellemzése

Az *Ustilago* nemzetségbe tartozó gombafajok esetén nagy fajszámról beszélhetünk, ugyanis körülbelül 330 üszöggomba faj található itt. Az itt található, kórokozó gombák jellemzően a *Poaceae* családba tartozó növényeken károsítanak (GLITS és FOLK, 2000). Az *Ustilago* nemzetség hazánkban is egyik legjelentősebb tagja a kukoricát megbetegítő golyvásüszög betegség kórokozója (*Ustilago maydis* DC. CORDA).

A kórokozó rendszertanilag az *Ustomycetes* osztályba, az *Ustilaginales* rendbe, az *Ustilaginaceae* családba és az *Ustilago* nemzetségbe tartozik (CHRISTENSEN, 1963). Az *Ustilago maydis* egy üszöggomba. A kórokozó főként csemegekukoricán, takarmánykukoricán és vetőmagkukoricán fordul elő.

A gomba magyar neve golyvásüszög, ami utal a fertőzött növényi egyedeken kialakult szimptomák jellegzetességére. A golyvafertőzés hatására a növényi szövetek megduzzadnak és tumorszerű kinövések képződnek. A fertőzés következtében az érintett növényi részek porszerű spóratömeggé válnak. A gomba könnyen vizsgálható és tenyészthető. Modell mikroorganizmusnak is hívják, mert fontos a szerepe a különféle

kutatásokban. A kórokozó és a gazdanövény közötti kölcsönhatás vizsgálatokra rendkívül alkalmas gombafaj (BÖLKER, 2001).

A fertőzés mértékét nagyban befolyásolja az évjárat hatása. A Magyarországon gyűjtött adatsorok alapján az a megállapítás tehető, hogy a fertőzés mértéke 2-10% körül változik. Abban az esetben, ha a növényállományban a fertőzési szint eléri a 10%-ot, akkor a termésveszteség a 3,5%-ot is elérheti (MENYHÉRT, 1985). A legnagyobb termésveszteségeket akkor okozza a gomba, ha a fertőzött növényi rész a cső (csőgolyva)(5.ábra) illetve a cső feletti részeket is érinti (PÉCSI, 1997).

Hibridkukorica termesztésnél rendkívül nagymértékű a kézi munkaerő igénybevétele. A címerzési munkák során mechanikai sérülések keletkeznek ennek következtében akár 80-100%-os golyvafertőzöttség is kialakulhat (HORVÁTH, 1995).

Az üszöggombák fejlődése és növekedése általában intracelluláris tehát sejten belül megy végbe. A golyvásüszög esetében a patogén gomba a sejtek közötti állományban fejlődik tehát intercellulárisan. A kórokozó sebzéseken keresztül jut be a növényi szövetekbe, ebből következően lokális sebzés. A sebek és sérülések keletkezhetnek biotikus és abiotikus okokból egyaránt. Az abiotikus tényezőkön belül az időjárási körülmények között a jégeső által okozott károk is utat nyitnak a gomba megjelenésének, mivel a jég fizikailag károsítja a zöld növényi részeket és sebzéseket is kialakít.

Másik jelentős tényező a növényi kártevők jelenléte az állományokban, amelyek jelentős károsítást tudnak okozni a táplálkozásukkal (rágás, lyuggatás, bibeszálak károsítása). A rovarok kártétele nyomán, a növényi részeken sebzések alakulnak ki, ezáltal fokozódik a kórokozó megjelenésének lehetősége és a fertőzöttségi szint is növekedhet. Nagy volumenű károkat tudnak okozni például az *Oscinella frit* (fritlégy), *Ostrinia nubilalis* (kukoricamoly), a *Helicoverpa armigera* (gyapottok-bagolylepke) lárvái, illetve a *Diabrotica virgifera* (kukoricabogár) lárvája és imágója. Továbbá a *Diabrotica virgifera* által okozott szárdőlés monokultúrában jellemzőbb, mint bi vagy trikultúrában. (PEPÓ, 2009). A golyvásüszög által kialakított tünetek alakja és mérete rendkívül változatos, és a kultúrnövény minden föld feletti részén megjelenhet (szár, levél, cső, címer) (ÉRSEK és NÉMETH, 2014).

A kezdeti stádiumban a golyvák színe fehér, azután idővel a színük kezd fehérről sárgára váltani majd, mikor eléri a teljes érettségi állapotot befeketednek. A fekete szín jelzi azt, hogy a golyva belsejében képződött üszögspórák teljesen érettek lettek. A tumorok 8-10 nap után eléri a végleges méretüket és a membránok felszakadnak majd a belsejében

lévő spórák a szél segítségével szétszóródnak a területen. Egy érett golyva általában 200 milliárd üszögspórát is tartalmazhat (BASSE és STEINBERG, 2004).

A gazdasági kártétel mértéke nagyban függ attól, hogy a gomba a kultúrnövény mely részeit támadja meg. A fiatal csíranövénykorban történt fertőzés hatására a növények deformálódnak, de súlyos fertőzés esetében akár a növények teljesen pusztulását is okozhatják.

A szárfertőzés fő tünete az, hogy a növények szára meggömbül és kialakulnak rajta a kórokozóra jellemző golyvák. A növény szára el is törhet, illetve a vízzállító szövetek is károsodnak ezáltal. A fertőzött szárrész feletti részek elszáradnak, a növények terméketlenné is válhatnak.

A levéltüneteken elsősorban a főér mentén jelentkeznek, először sárgulnak majd száradnak és végül nekrotizálódnak a levelek, ezáltal csökken az asszimilációs felület. A gomba a virágzás időszakában is képes fertőzni. A virágfertőzés esetében a generatív részek deformációja jelentkezik (7. ábra). A golyvák méretének és súlyának köszönhetően a címer meghajlik, amit „bókoló” címernek is neveznek, ennek következtében a teljes virágzati tengely is eltörhet (PÉCSI, 1997; ÉRSEK és NÉMETH, 2014; MAZAHERI – NAEINI et al., 2015). Vizsgálták a kórokozót és megállapították, hogy a golyvásüszög az epidermális gyökérsejtek között képes átjutni viszont ebben az esetben a fertőzés nem alakít ki tumorokat a növényekben.



7. ábra: Golyvásüszög fertőzés kukoricacsövön

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

2.8.2. Az üszöggombák jellemzése, terjedésük környezeti feltételei

Az *Ustilaginales* rend tagjai a növényeken a koromhoz hasonló fekete, porzó spóratömegekkel fertőznek (ALEXOPOULOS és MIMS, 1979). 50 nemzetségen belül, körülbelül 1200 faj található (VANKY, 1987). A fajok többségét két nagy nemzetségbe sorolják, a *Tilletia*-ba és az *Ustilago*-ba. A sok őshonos fűféle és más növények is a potenciális gazdák körében találhatóak. Az üszöggombáknak körülbelül 4000 gazdanövénye van. A teliospórák az *Ustilaginales* rend tagjainak jellegzetes ivartalan spórái. A teliospórák jellemzően gömb alakúak, sima, vagy tüskés felületűek, sárgától a barnáig pigmentált fallal rendelkeznek és a terjedésükben a legnagyobb segítséget a szél jelenti (ALEXOPOULOS és MIMS, 1979).

A teliospóra termelésének időszaka különböző az egyes üszöggombák esetében. HAMILTON (1959) arról számolt be, hogy a levegőben a *Tilletia* fajok spórakoncentrációja augusztus végén és szeptember elején tetőzik, míg az *Ustilago* fajok spóráinak szóródási csúcspontja a június és a július vége volt. A legtöbb gombára

jellemző módon e két nemzetség levegőben lévő spórakoncentrációja számos meteorológiai tényezőtől függ. A spóraszintek csökkennek, ha esős vagy rendkívül párás az időjárás. A ragyogó napsütéses időszakok, erős szelek és a magas légnyomás fokozzák az üszögspórák termelését (HAMILTON, 1959).

A „Dry Air spore” tagjaiként olyan időjárási körülmények, mint pl. az alacsony páratartalom és a viharos szél fokozza a spórák terjedését (HIRST,1953; LEVETIN, 1995).

Számos aerobiológiai vizsgálat kimutatta a spórák jelenlétét a légkörben, ökológiailag teljesen változatos helyszíneken. HALWAGY (1989) arról számolt be, hogy *Ustilago* fajok spórái voltak a második leggyakoribb gombaspóratípus a kuvaiti légkörben. SHAHEEN (1992) azonosította *Tilletia* és *Ustilago* spórákat Jordánia légkörében. A csúcskoncentráció a nyári időszakban jelentkezett. MISHRA (1987) azt mutatta ki, hogy az üszögspórák csúcspontjai száraz körülmények között a decemberi és januári időszakban voltak a legmagasabbak Indiában. RUBULIS (1984) arról számolt be, hogy az üszögspórák késő tavasszal és ősszel érték el a szóródási csúcspontjukat Svédországtól két városában. Ezen kívül rendszeresen jelentenek a levegőben szálló üszögspórákról az Aeroallergén Megfigyelő Hálózat tagjai is (Amerikai Allergia és Immunológiai Akadémia - AAAI, 1995).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérleti terület bemutatása (2021 - 2023)

A kísérleti beállítások szintén Hajdú-Bihar vármegyében 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 NVI intézetének bemutatókertje.

A talaj pH-ja 7,46, Arany-féle plaszticitási indexe 44. A talaj teljes szervesanyag-tartalma 2,4 % körül alakult a termőrétegben (0-30 cm). A 0-100 cm mélységben a teljes vízmennyiséget a vegetációs időszak kezdete előtt (2021.03.08.) mértük meg. A teljes víztérfogadatlaga a széles vizsgált szelvényben (0-100 cm) 20,02 m/m % volt. A legnagyobb vízmennyiség (23,42 m/m %) 10-40 cm mélység között volt. A talaj mélyebb részében (50-100 cm) a nedvességtartalom alacsonyabb volt (18,46 m/m %), mint a talajfelszínen (0-50 cm). A talajmintákat 105 Celsius fokon 5 napon át szárítókamrában szárítottuk. Az időjárási 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 eszközöket használtunk.

3.2 Kísérleti évek ismertetése

3.2.1 2021. kísérleti év ismertetése

A Debreceni Egyetem kísérleti területén 16 parcellát alakítottunk ki (8. ábra). A vizsgálatban két csemege és két takarmánykukorica hibrid vett részt (P9025, ARMAGNAC) csemegekukorica (NOA és DESSZERT R73). A mesterséges golyvásüszög (*Ustilago maydis* DC. Corda) fertőzést különböző spórakoncentrációkkal hajtottuk végre (spóraszámok 2.500, 5.000, 10.000 (spóra/mL + fertőzésmentes kontroll)). A vetés időpontja mind a négy hibrid esetében azonos volt – 2021. április 29. A vetés kézi vetőpuskával, szemenként történt 2021-ben.

A hőmérséklet magasabb volt, mint az elmúlt 30 év átlaga (19,72 °C). A maximális hőmérséklet 05.15-07.15 között 19-szer volt 30 °C-nál magasabb. 06.16-06.30 között

minden nap 30 °C felett volt a napi maximum hőmérséklet. Az átlagos páratartalom alacsony volt a vizsgálati időszak középső szakaszában. A növények mesterséges inokulációja után a relatív páratartalom magasabb (70%) volt, mint a két hónapos időszak átlaga.

A vizsgált időszakban a csapadék mennyisége elmaradt az elmúlt 30 év átlagától (136,1 mm). A csapadék eloszlása május 15. és július 15. között nem volt egyenletes. A csapadék jelentős része a vizsgált két hónap első és utolsó részében összpontosult. A csapadék össz mennyisége 89,1 mm volt.



8. ábra: 2021-es kísérleti terület a DE-MÉK NVI bemutatókertjében

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

Kísérleti terület: A parcellák azonos méretűek (kb 20 m²), randomizált elhelyezéssel. A kísérleti terület nagysága összesen: 400m². 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 spóra/cm³
- Közepes dózis: 5.000 spóra/cm³
- Magas dózis: 10.000 spóra/cm³

A vegetációs időszak alatt több időpontba is monitoroztam az állományt. Összesen három időpontban voltak felvételezések a területről. A monitoring vizsgálat időpontjai az alábbiak voltak:

1. 2021 június 10. (7 nappal a fertőzést követően)
2. 2021. június 17. (14 nappal a fertőzést követően)
3. 2021. június 24. (21 nappal a fertőzést követően)

3.2.2 2022. kísérleti év ismertetése.

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 kukorica hibridet választottunk ki a Desszert R78 csemegekukoricát és a Pioneer P 9025 takarmánykukoricát, amelyeket ebben a vizsgálatban is használtunk. Ezek a hibridek a korábbi eredményeink alapján ígéretesebbek voltak a további kutatások számára. A csemegekukorica hibrid a Desszert R78, a takarmánykukorica hibrid a Pioneer P 9025. 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 gyomirtó szereket (el akartunk kerülni mindenféle yellow-flash hatást a területen), így az nem befolyásolta a monitorozási 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 dózisú 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 alakítottunk ki a területen. Ezek mindegyike 24 m²-es volt [9. 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 fókuszált.



9. 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

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A vizsgálat fő célja annak tisztázása volt, hogy az alkalmazott dózisok okoztak-e eltéréseket a tünetek intenzitásában?

Hogyan befolyásolja a vegetációs indexek értékeit, és mennyiben tér el a nem fertőzött kontroll területektől (egészséges)?

Ezek mellett a kukorica golyvásüszög-fertőzés dinamikájára és térbeli eloszlására kíváncsiak voltunk.

A továbbiakban a különböző kezelésekre a következő rövidítésekkel fogok hivatkozni.

Csemegekukoricához (Desszert R78 hibrid):

- CS 0 (Egészséges, kezeletlen parcellák három ismétlésben)
- CS 5.000 (alacsony dózisu 5.000 sporidium/cm³ fertőzés három ismétlésben)
- CS 7.500 (közepes dózisu 7.500 sporidium/cm³ fertőzés három ismétlésben)

- CS 10.000 (magas dózisú 10 000 sporidium/ cm³ fertőzés három ismétlésben)

A takarmánykukorica-hibridre pedig, amely P9025 volt, így fogok hivatkozni:

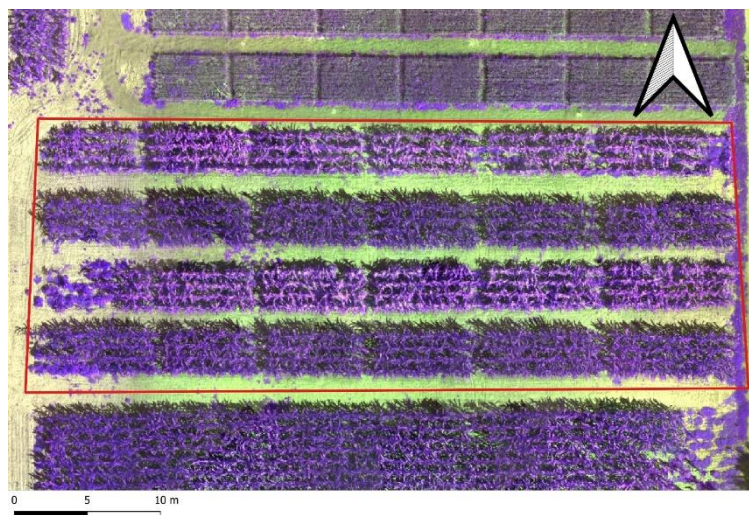
- T 0 (Egészséges, kezeletlen parcellák három ismétlésben)
- T 5.000 (alacsony dózisú 5.000 sporidium/cm³ fertőzés három ismétlésben)
- T 7.500 (közepes dózisú 7.500 sporidium/cm³ fertőzés három ismétlésben)
- T 10.000 (magas dózisú 10.000 sporidium/cm³ fertőzés három ismétlésben)

A kísérleti területet a fertőzést követően 2 alkalommal monitoroztam.

1. 2022. június 23. (20 nappal a fertőzést követően)
2. 2022. június 30. (27 nappal a fertőzést követően)

3.2.3 2023. kísérleti év ismertetése

A kísérleti beállítások folytatódtak 2023-ban a Debreceni Egyetem NVI intézetének bemutatókertjében. 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 kukorica-hibridet választottam ki a Desszert R78 csemegekukoricát és a Pioneer P9025 takarmánykukoricát, melyeket ebben a vizsgálatban is használtam, immár a harmadik évben. A vizsgálatra kiválasztott hibridek korábbi eredményeim 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 (10. ábra).



10. 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)

Megjegyzés: A Piros téglalap a kísérlet területét jelöli

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

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 ez nem befolyásolta a monitorozási szakaszokban számított különböző VI-értékeket.

A golyvásüszög (*Ustilago maydis* [DC]. Corda) fertőzését három különböző sporidium koncentrációval végeztük el, állatorvosi tömegoltó készülékkel (lásd: 4. számú melléklet). Alacsony, 5000 spóra/mL spórakoncentrációt (spóraszámot) állítottunk elő, a közepes dózis 7500 spóra/mL volt, a nagy dózisú fertőzésnél pedig 10.000 spóra/mL volt (11.ábra). 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



11. ábra: 10.000 spóra/mL koncentrációjú fertőző anyag

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

3.3 A kukoricagolyvásüszög (*Ustilago maydis*) bonítási 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 bonítási skálát alkalmaztam (3.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

3. táblázat: A kukoricagolyvásűszög (*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)

3.4 Az UAV specifikációi, beállítások és vegetációs indexek.

A területi monitoringhoz használ mezőgazdasági UAV specifikációi:

Mezőgazdasági UAV (drón): DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL RTK (12. ábra)

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

- Vörös él-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>



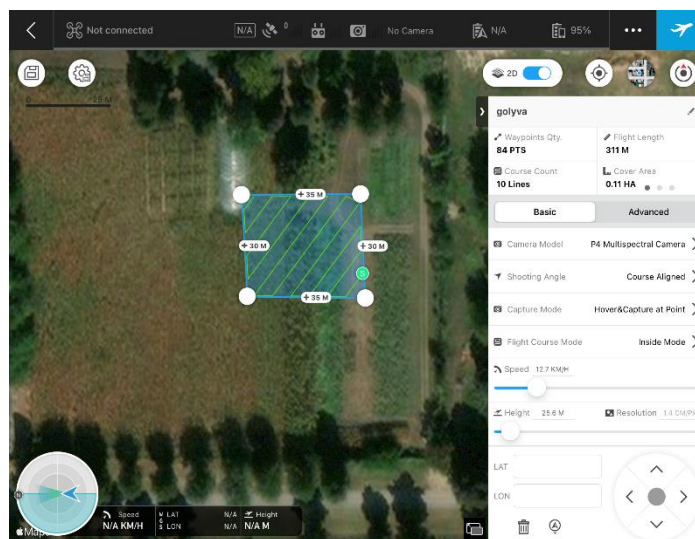
12. ábra: DJI P4M

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

Van lehetőség mellette Live NDVI, GNDVI és NDRE-re is rögzítésére is, de ezt a funkciót nem használtuk az adatgyűjtés során. RTK rendszer is alkalmazható az 1cm-es visszatérési pontosság eléréséhez.

A 2021-es évben továbbá Trimble GreenSeeker NDVI eszközt is alkalmaztam.

A mezőgazdasági drón vezérlő szoftvere IOS alapú rendszeren DJI GS PRO applikáció (Ipad Mini) (8.ábra).



13. ábra: 2021 UAV Repülési paraméterek és a misszió az irányítószoftver felületén (DJI GS PRO, Ipad Mini IOS)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

4. táblázat: UAV repülési paraméterek

Elülső és oldalsó átfedés	UAV Repülési Magassága	Felbontás GSD	UAV Sebessége
80%	30 m	1,8 cm/px	2 m/s
75%			

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021-23)

A repülési paraméterek a 4. táblázatban láthatóak. Mind a két felvétel esetében tiszta és napos idő volt (2022). A meleg nyári napokon nagyon oda kell figyelni a hőmérséklet okozta túlmelegedési kockázatokra. Minél tovább tart egy repülés annál fontosabb, hogy amennyiben megoldható a Remote controller egység vagy árnyékban, vagy árnyékosabb helyen legyen, és onnan tudjuk felügyelni a missziót, mivel a túlmelegedés esetében felléphetnek irányítástechnikai komplikációk. A túl magas hőmérséklet az akkumulátorok üzemképes működését is befolyásolja. 40-45 Celsius fokos kinti hőmérséklet esetében sokkal sűrűbben kell akkumulátort cserélni és törekedni kell arra, hogy minél rövidebb időt vegyen igénybe a felvételezés.

Az adatgyűjtéshez használt multispektrális drón DJI Phantom 4 MS volt mind a három kísérleti évben.

A vegetációs indexek sikeres kiszámítása után a raszter rétegekre különböző szűrési lehetőségeket alkalmaztam, így további vizsgálat céljából csak a háttértől elválasztott növényi pixeleket tudtam tovább elemezni. A felvételek összefűzését HR és ULTRA minőségben tudtuk előállítani WebODM web alapú összefűző szoftver segítségével. A 2022-es adatok esetében öt féle különböző vegetációs index került kiszámításra QGIS 3.36 térinformatikai szoftverben. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge), LCI (Leaf Chlorophyll Index).

Ez a raszterréteg szűrési módszer nagyon hasznos az adattisztítás szempontjából, és megbízhatóbb, valamint összehasonlíthatóbb adatokat biztosít a vizsgálatokhoz. A térképek maszkolása és szűrése után minden poligonra zónastatisztikát alkalmaztunk. A zónastatisztika tartalmazza a darabszámot, a mediánt, az átlagot, a min/max értékeket, illetve a varianciát. A statisztikai attribútum táblázatok xlsx-ben lettek exportálva. Miután az adatbázist MS Excelben véglegesítettem, csv formátumba exportáltam a statisztikai

elemzéshez, amelyet R alapú statisztikai szoftverben elemeztem tovább Jamovi 2.3.28.-ban.

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 QGIS 3.36-ot.

5. 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	$(R_{NIR}+R_{Green}-2xR_{Blue})/ (R_{NIR}+R_{Green}+2xR_{Blue})$

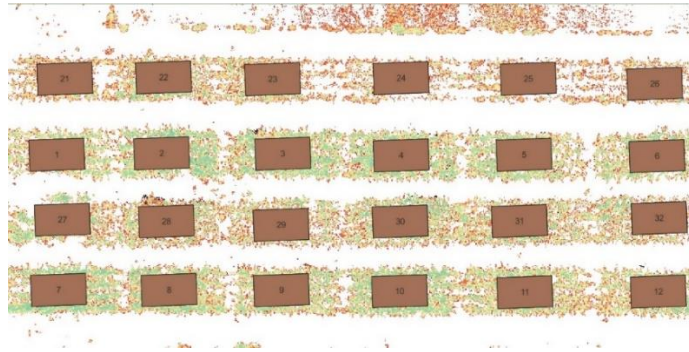
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

Az adatbázis exportálása xlsx. formátumban majd továbbá csv. formátumban került elemzésre Jamovi R. alapú statisztikai szoftverben. Az ábrákat MS Excel és a Jamovi szoftver felhasználásával készültek el.

A 2023-as évben is öt vegetációs indexet használtam a vizsgálatokban (5. 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).

A mintavétel szintén a parcellák közepére fókuszált az alábbi képen látható a shp poligonok helyzete a kísérleti területen (13. ábra).



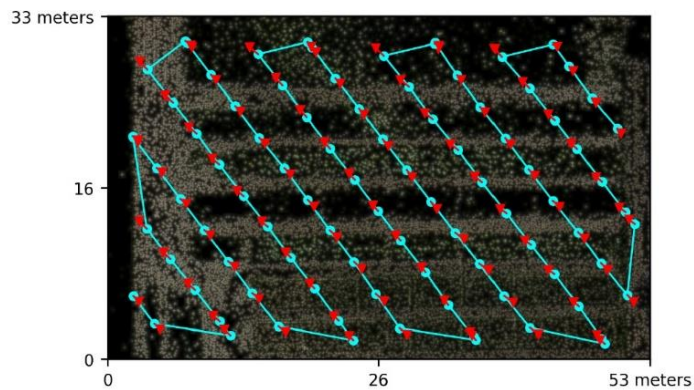
14. ábra: Mintavételi boxok a kísérleti területen 2023. QGIS 3.36 környezetben

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A 2023-as évben szintén a már jól beállított felvételezési paramétereket alkalmaztam. Az UAV repülési magassága 30 méter. Az UAV repülési sebessége 2m/s az átfedés pedig 80% és 75%.

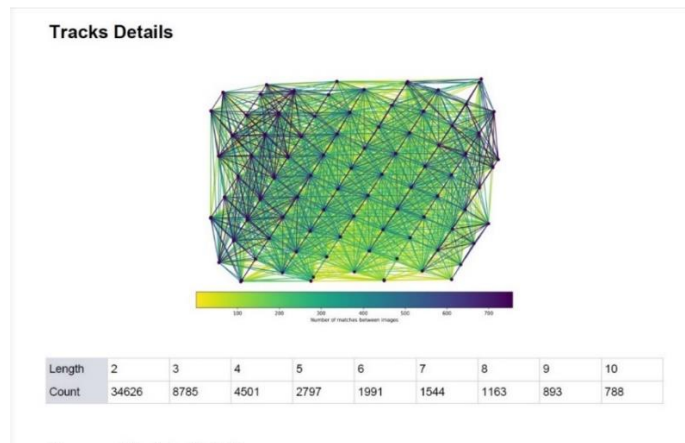
Az alábbi képen a kötési pontok az UAV haladási iránya és a misszió útvonala is látható (14. ábra). Az átlagos GSD érték 1.5 cm/px volt. a GPS error érték pedig 0.85 méter. A 15. ábrán pedig a már rekonstruált felvételek részletesebb kötési pontjai láthatóak.

Reconstructed Images	90 over 90 shots (100.0%)
Reconstructed Points (Sparse)	60332 over 70309 points (85.8%)
Reconstructed Points (Dense)	33,286,995 points
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.5 cm
Detected Features	10,766 features
Reconstructed Features	2,477 features
Geographic Reference	GPS
GPS errors	0.85 meters



15. ábra: 2023-as felmérés; Az UAV haladási iránya, a misszió útvonala és a kötési pontok láthatóak további rekonstrukciós paraméterekkel kiegészítve

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)



16. ábra: WebODM quality reportja; a köntési pontok pontos mennyisége és a rekonstrukció minősége látható

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

3.5. Felhasznált Informatikai szoftverek

3.4.1. Összefűzés, képalkotás - WebODM (opendronemap.org/webodm)

A WebODM egy ingyenes alkalmazás, amit a drónos képfeldolgozáshoz használtam. Légitelvételekből georeferált térképeket, azaz jó minőségű ortomozaiákat, pontfelhőket és texturált 3D modelleket (3D point clouds) lehet vele létrehozni. Az Open Drone Map (ODM) interface-e felhasználóbarát és megfelelő kezelést biztosít a fotogrammetriai elemzésekhez.

A szoftvert egyébként helyi hálózatokon keresztül vagy távoli elérés funkciókat is támogatja. Az alábbi formátumok támogatottak: **GeoTIFF**, **OBJ**, **LAS** vagy további **Point cloud** formátumok. A szoftver pluginekkel vagy különféle bővítményekkel is használható, ami szélesíti a felhasználhatóságát.

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.

3.4.2. Quantum GIS 3.20 térinformatikai szoftver

A QGIS nyílt forráskódú, ingyenesen hozzáférhető, GIS szoftver. Rendkívül széles a felhasználhatósági skálája. Az ArcGIS mellett a QGIS az egyik legelterjedtebb és nagyon népszerű a tudományos és a gyakorlati felhasználás szempontjából is. Minden platformon elérhető (MacOS, Windows és Linux) és itt is nagyon széles a tárháza a különböző plug-ineknek, illetve a felhasználók által készített (akár specifikus) bővítmények alkalmazásának is.

A különböző vegetációs index (VI) térképek készítéséhez és értékeléséhez a Quantum GIS 3.20 szoftvert használtam (NDVI, NDRE, GNDVI, LCI, ENDVI). Az alábbi formulák alapján (6. táblázat):

6. táblázat: Vegetációs indexek számítási formulái

Vegetációs index	Számítási Formula	Hivatkozás
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(R_{NIR} - R_{Red}) / (R_{NIR} + R_{Red})$	Tucker, C.J. (1979).
GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(R_{NIR} - R_{Green}) / (R_{NIR} + R_{Green})$	Gitelson, A.A. (1998)
NDRE (Normalized Difference Red Edge)	$(R_{NIR} - R_{RedEdge}) / (R_{NIR} + R_{RedEdge})$	Barnes et al. (2000).
LCI (Leaf Chlorophyll Index)	$(R_{NIR} - R_{RedEdge}) / (R_{NIR} + R_{Red})$	Datt, B. (1999).
ENDVI (Enhanced Normalized Diferrence Vegetation Index)	$(R_{NIR} + R_{Green} - 2 \times R_{Blue}) / (R_{NIR} + R_{Green} + 2 \times R_{Blue})$	Rasmussen J et al. (2016)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

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. A QGIS-ben számos lehetőség kínálkozik a talajképpontok (Soil pixels) UAV-adatoktól való elkülönítésére vagy maszkolására/szűrésére, valamint a pixelek méretezésére az egyes pixelértékek alapján. Különböző szűrési módszerekkel választottuk szét a PX értékeken alapuló QGIS Toolbox-ok alapján, raszteres rétegekhez speciálisan felhasználva. Ezáltal a talaj- és árnyékértékeket (Soil and Shadow) töröltük a vizsgált raszterrétegekből. Ez a funkció azért volt nagyon hasznos, mivel a további zónastatisztikák és attribútumok kinyeréséhez csupán csak a növényi pixeleket elemeztük tovább.

3.6. Statisztikai vizsgálati módszerek

Az ortofotókból készített vegetációs index (VI) térképeket QGIS. 3.20. térinformatikai programban készítettem el.

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 átlag értékei ezekről a parcellákról származtak, amelyeken statisztikai elemzéseket végeztem (17. ábra).

A statisztikai vizsgálatot R 4.1.2. statisztikai program (R CORE TEAM, 2022) RStudio (RSTUDIO TEAM, 2022) grafikus felülettel, „agricolae” (MENDINBURU, 2021) csomagokkal kiegészítve használtam. Az összes statisztikai vizsgálat során a beállított konfidencia intervallum az átlagokra 95% és az Alpha értéke pedig 0.05.

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

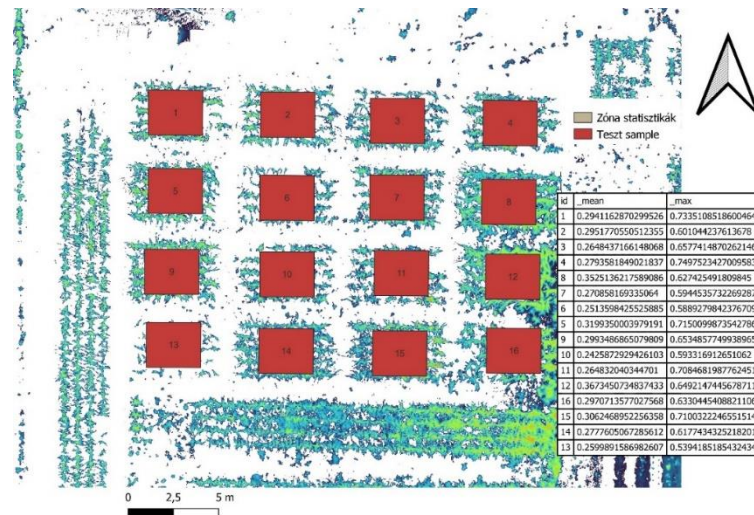
```
modell <- aov(Vegetációs_Index ~fertőzés +Error (parcella_azonosító/fertőzés), data =  
(adatbázis) summary(modell)
```

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

```
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))
```



17. ábra: Zónastatisztikák és a mintavételi „sample boxok” helyzete 2021.

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

Az ábrák és 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. A Jamovi szoftverben felhasznált csomagok és módszerek az alábbiak voltak (JAMOMI PRJOECT, 2022; R CORE TEAM, 2021; MARTINKOVA, 2018; SEOL H., 2022; SEOL H., 2023; KUHN M. et. al., 2022; HORTON, 2022; KASSAMBRA, 2020; WICKHAM et. al., 2018; PATIL, 2018; SERDAR BALCI, 2022). Az adatbázist MS Excelben hoztam létre, miután az attribútumokat exportáltam Quantum GIS 3.36-ból.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A 2021. kísérleti év eredményei

A szakirodalom szerint a termesztett kukorica esetében a csemegekukorica hibridek fogékonyabbak a golyvásüszög (*Ustilago maydis* DC. Corda) kórokozóra. Ez a saját vizsgálati eredmények alapján is megfigyelhető volt. A vizsgálatok során a kukoricagolyvásüszög (*Ustilago maydis*) fertőzöttséget 1-től 6-ig terjedő bonitálási skála alapján értékeltem, figyelembe véve a fertőzött növények arányát és az érintett növényi részeket. A csemegekukorica esetében 85-90% között alakult a fertőzöttség a kezelt parcellákon, ami bonitálási skála szerint 4-6 értéket fedt le. A tünetek súlyossága alapján B és C kategória volt megfigyelhető (lásd: 1.számú melléklet). A csőfejlődés még nem kezdődött el mivel ezekben a korai fenológiai fázisokban szár, levél, tünet volt erőteljesen megfigyelhető és a koncentrációval arányosan nőtt ezek kiterjedése. A takarmánykukorica P9025 hibridek esetében pedig a fertőzöttségi arány 75-85% volt (4-5. bonitálási érték). A tünetek tekintetében pedig mindenhol A kategóriába sorolható (csak enyhe levél tünet, enyhe szár tünet). A fertőzés a takarmánykukorica hibridek fejlődését egyáltalán nem hátráltatta. A kórokozó által a növények fejlődése nem volt korlátozott.

A kísérletben résztvevő négy hibrid esetében 5 féle vegetációs index lett raszter analízissel elkészítve:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
- GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)
- ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index)
- NDRE (Normalized Difference Red Edge)
- LCI (Leaf Chlorophyll Index)

7. 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)

A Desszert R73 csemege hibrid esetében a statisztikai vizsgálatok három Vegetációs index esetében is azt mutatták, hogy a fertőzési szinteknek hatása van a vegetációs index értékek változására (7. táblázat).

Kézi műszeres mérések felvételezési időpontjai: (SPAD 502, GS NDVI)

1. időpont 2021. június 4.
2. időpont 2021. június 11.
3. időpont 2021. június 25.
4. időpont 2021. július 15.
5. időpont 2021. augusztus 4.

4.1.1. A Desszert R73 csemegekukorica hibrid vegetációs index értékek eredményei a 2021. kísérleti évben

Az NDVI vegetációs index értékei a 18. ábra alapján a kontroll parcella értékei 0,3052 voltak a legmagasabbak. A legalacsonyabbat pedig a magas spóra koncentrációval fertőzött (Magas dózis 10.000) parcella értékei mutatták 0,2560.

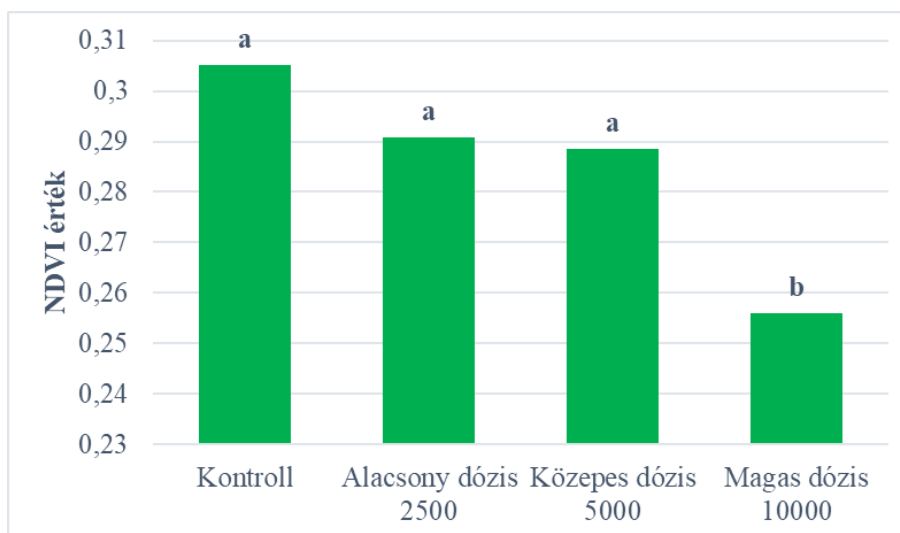
Az alacsony dózisú parcella értékei 0,2907 (Alacsony dózis 2.500), a közepes dózissal kezelt (Közepes dózis 5.000) parcella értékei 0,2886 NDVI értéket mutattak.

A kontroll parcella eredményei az Alacsony dózis 2.500, illetve a Közepes dózis 5.000 parcellától magasabb értékeket produkáltak, azonban szignifikánsan nem különböztek egymástól. A kontroll (a) parcella az NDVI eredmények alapján statisztikailag különbözik a Magas dózis 10.000-es értékeitől (b).

A Magas dózis 10.000 (b) parcella esetében az NDVI értékek mind a 2 kezeléstől és a fertőzésmentes kontroll parcellától is alacsonyabbak. A Magas dózis 10.000 (b) jelölésű parcella értékei szignifikánsan különböznek a többi parcella NDVI értékeitől.

Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékek elemzése alapján a 19. ábrán látható, hogy a legmagasabb értéket a kontroll parcella mutatta. Ezzel szemben a legalacsonyabb értékeket a magas spóra koncentrációval fertőzött parcella esetében mértem.

A spóra koncentráció növekedése jelentős hatással volt a növények egészségi állapotára. A kontroll parcella magasabb NDVI értékei a növények jó kondíciójára, egészséges növekedésére, valamint magasabb fotoszintetikus aktivitására utalnak. Ezzel szemben a fertőzött parcella alacsonyabb NDVI értékei azt jelzik, hogy a növények a magas spóra koncentráció következtében stresszállapotba kerültek.



18. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid NDVI értékek eredményei

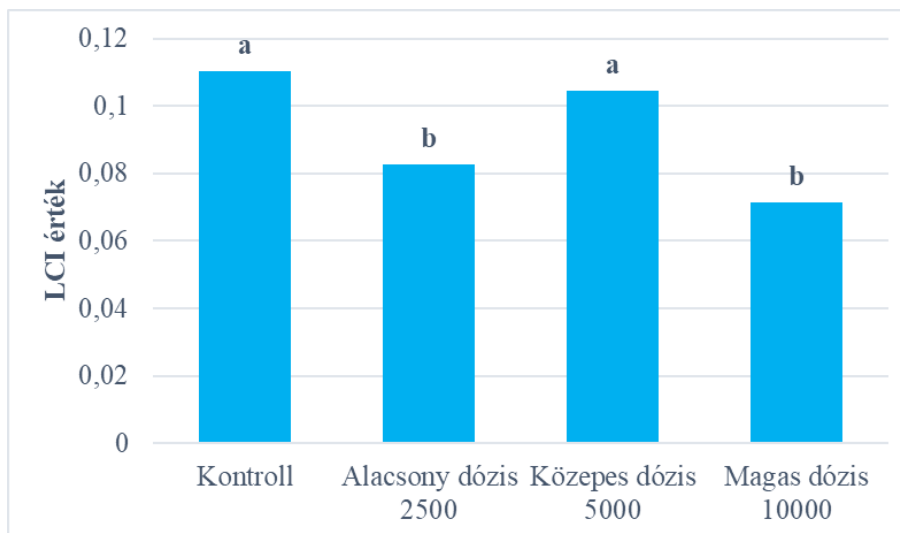
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A különböző betűkkel jelölt csoportok szignifikánsan különböznek egymástól; Alpha: 0,05 $Pr(>F)0,0165^$*

Az LCI vegetációs index értékek a 19. ábra alapján a kontroll parcella értékei 0,1102 LCI értékkel voltak a legmagasabbak a legalacsonyabb pedig a magas spóra koncentrációjú (Magas dózis 10.000) parcella értékei mutatták 0,07137.

Az alacsony dózisú parcella értékei 0,08258 (Alacsony dózis 2.500), a közepes dózissal kezelt (Közepes dózis 5.000) parcella értékei 0,1046 LCI értéket mutattak.

A kontroll parcella eredményei az Alacsony dózis 2.500, illetve a Közepes dózis 5.000 parcellától és a Magas dózis 10.000- parcellától is magasabb értékeket mutattak és szignifikánsan különbözött az Alacsony dózis 2.500-tól (b) és a Magas dózis 10.000-tól (b). A Kontroll (a) parcella a Közepes dózis 5.000(a)-tól szignifikánsan nem különbözött. A Magas dózis 10.000(b) parcella esetében az LCI értékek mind a 2 kezeléstől és a fertőzésmentes kontroll parcellától is alacsonyabbak. A Magas dózis 10.000(b) értékei szignifikánsan különböznek a Közepes dózis 5.000(a) és a Kontroll(a) parcella LCI értékeitől. A Magas dózis 10.000(b) parcella értékei az Alacsony dózis 2.500(b) értékeitől szignifikánsan nem különböztek (20. ábra).



19. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid LCI értékek eredményei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

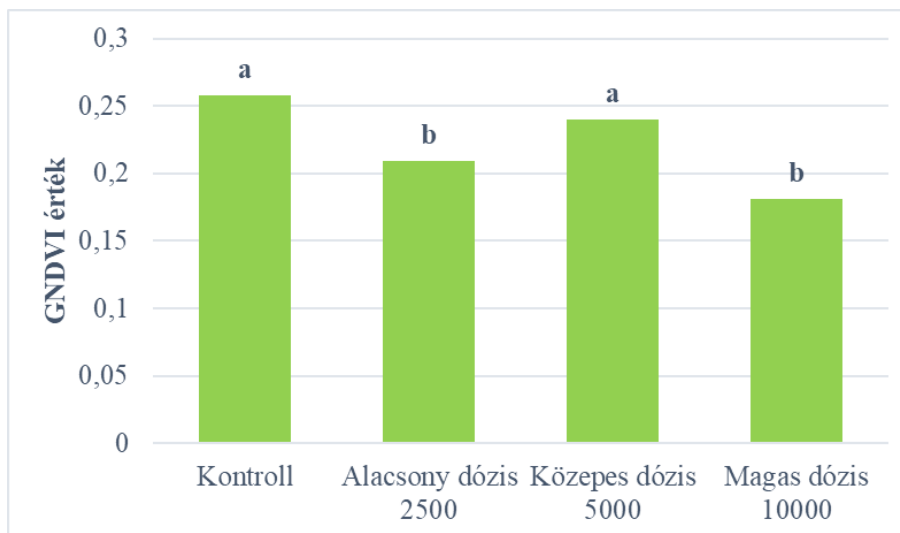
A különböző betűkkel jelölt csoportok szignifikánsan különböznek egymástól; Alpha: 0,05 Pr(>F) 0,00138**

A GNDVI vegetációs index átlagértékei a 20. ábra alapján a kontroll parcella értékei 0,2576 GNDVI értékkel voltak a legmagasabbak a legalacsonyabb pedig a magas spóra koncentrációjú (Magas dózis 10.000) parcella GNDVI értékei mutatták 0,1813.

Az alacsony dózisú parcella értékei 0,2095 (Alacsony dózis 2.500), a közepes dózissal kezelt (Közepes dózis 5.000) parcella értékei 0,2400 GNDVI értéket mutattak.

A kontroll parcella eredményei az Alacsony 2.500, illetve a Közepes 5.000 parcellától és a Magas dózis 10.000- parcellától is magasabb GNDVI értékeket mutattak és szignifikánsan különböztek az Alacsony 2.500-tól(b) és a Magas dózis 10.000-től(b). A Kontroll (a) parcella a Közepes 5.000(a)-tól szignifikánsan nem különbözött.

A Magas dózis 10.000 (b) parcella esetében az GNDVI értékek mind a 2 kezeléstől és a fertőzésmentes kontroll parcellától is alacsonyabbak voltak. A Magas dózis 10.000 (b) értékei szignifikánsan különböznek a Közepes dózis 5.000(a) és a Kontroll(a) parcella GNDVI értékeitől. A Magas dózis 10.000 (b) parcella értékei az Alacsony dózis 2.500 (b) értékeitől szignifikánsan nem különböztek.



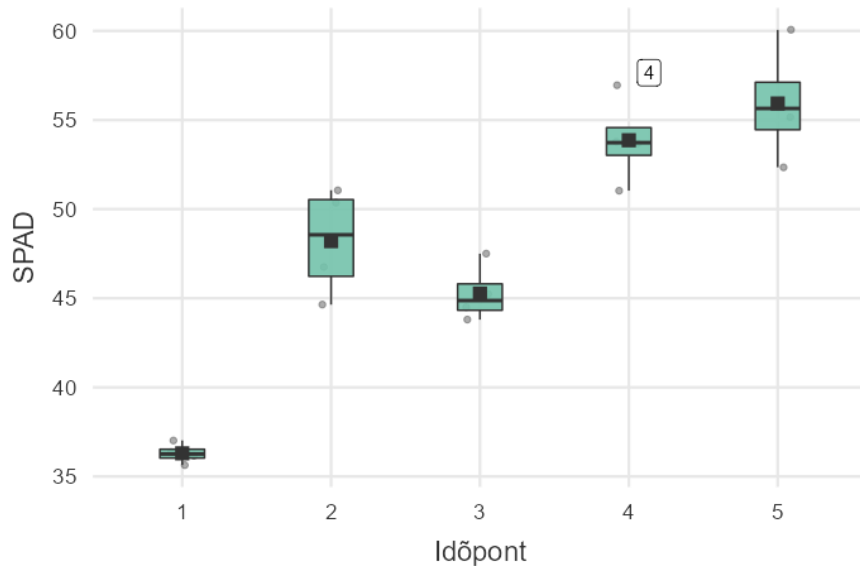
20. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid GNDVI értékek eredményei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

*A különböző betűkkel jelölt csoportok szignifikánsan különböznek egymástól; Alpha: 0,05 $Pr(>F)$ 0,00307***

4.1.2. Az Armagnac takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben

A Trimble GreenSeeker NDVI (GS) és a SPAD 502 mérések értékeit hibridenként fogom bemutatni ábrák és táblázatok segítségével. A kezelések hatására a SPAD, illetve GS NDVI értékek sem mutattak statisztikailag igazolható különbséget. A felvételezési időpontok azonban minden hibrid esetében mutattak statisztikailag igazolható eltéréseket az értékek. A golyvás egyedek érintettek voltak minden esetben a fertőzéssel és a tünetek is megjelentek a növényi részekben. A SPAD klorofillmérő esetében azonban lokálisan mér a műszer kb 2mm levélterületet fed le, ezért a pontosan nem klorózissal érintett területek nem térnek el nagy mértékben. Továbbá a statisztikai vizsgálatokat nehezíti, hogy a SPAD értékek időpontonként nagy variabilitást mutatnak, ezáltal a SD (Standard deviation) tehát a szórás is növekszik ez által nehezebb meghatározni a statisztikai különbséget. Amennyiben a mintákban lévő SD érték alacsony sokkal homogénebb és nagyobb pontosságú adatsorokat vizsgálunk a statisztikai eltérés is pontosabbá válik. A 21.ábrán látható az Armagnac hibrid SPAD értékei időpontonként



21. ábra: Az Armagnac hibrid SPAD átlagértékei időpontonként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

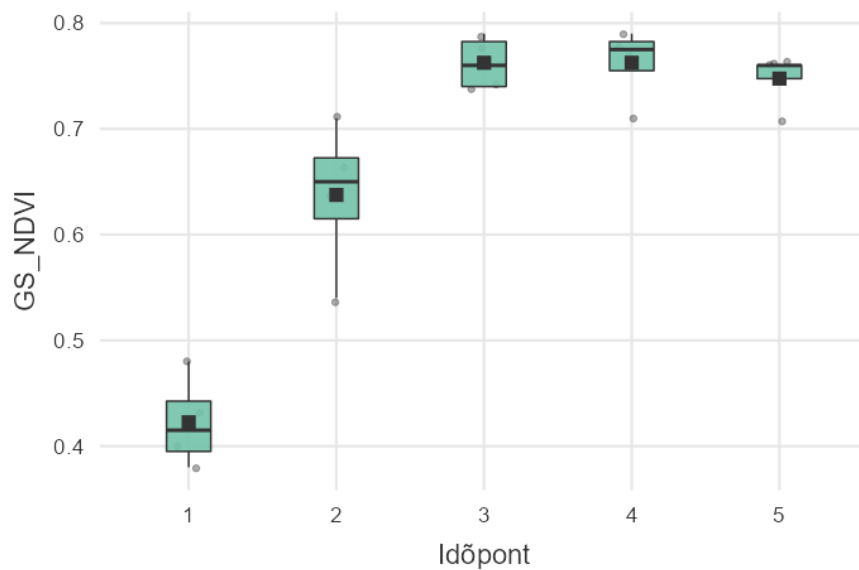
8. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Armagnac hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-11,91***	-8,965***	-17,570***	-19,633***
	p-érték	-	$3,10 \times 10^{-5}$	$6,68 \times 10^{-4}$	$2,39 \times 10^{-7}$	$5,41 \times 10^{-8}$
2. időpont	Átlag különbség		-	2,945	-5,660*	-7,723**
	p-érték		-	0,432	0,0291	0,00271
3. időpont	Átlag különbség			-	-8,605***	-10,668***
	p-érték			-	$9,96 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4}$
4. időpont	Átlag különbség				-	-2,063
	p-érték				-	0,73512
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A SPAD 502 értékeinek vizsgálati eredményeit a 8. táblázat mutatja be. Azt tapasztaltam, hogy az egészséges T 0 területeken mért átlagok értékei kicsivel magasabbak voltak, mint az üszöggombával kezelt parcellák értékei. Azonban statisztikailag igazolható különbség nem volt. A takarmány hibridek értékei viszonylag stabilak maradtak a fertőzés hatására és nem voltak jelentős eltérések. Az 1. időpont mind a 4 további felvételezési időponttól statisztikailag is igazolható különbséget mutatott. Az átlag eltérések értéke $-8,965^{***}$ és $-19,633^{***}$ között mozgott minden esetben alacsonyp-értékkel $p < .001^{***}$. Az Armagnac esetében a harmadik mérési időpontban volt egy kisebb esés az értékekben azonban ez a 4-5. időpontra nem volt már jellemző (21. ábra.)

A GS NDVI értékei az Armagnac hibrid esetében a 22. számú ábrán látható.



22. ábra: Az Armagnac hibrid GS NDVI értékei időpontonként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

9. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Armagnac hibrid esetén

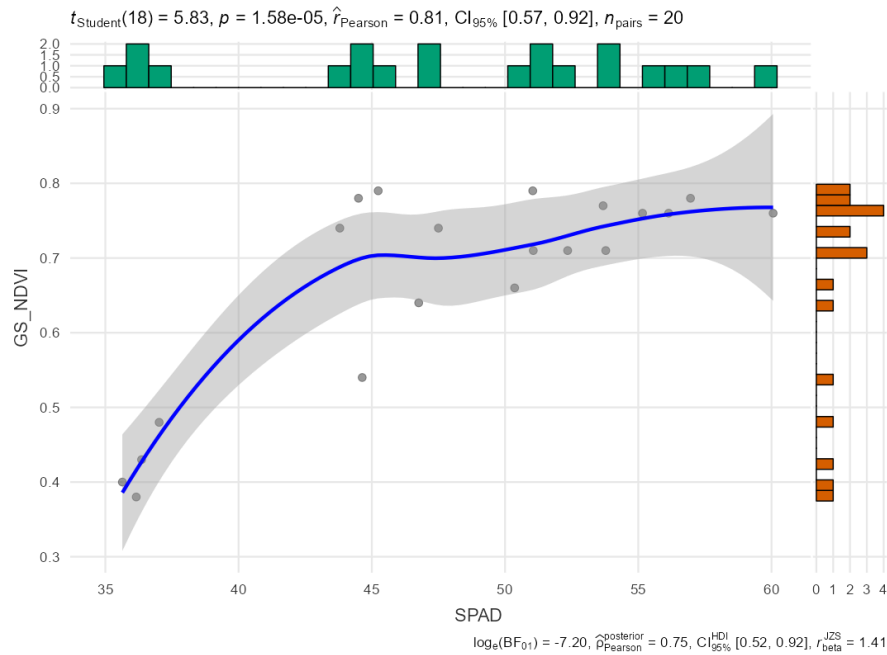
		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-0,2150***	-0,3400***	-0,3400***	-0,3250***
	p-érték	-	$4,02 \times 10^{-5}$	$1,28 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-7}$	$2,33 \times 10^{-7}$
2. időpont	Átlag különbség		-	-0,1250**	-0,1250**	-0,11000*
	p-érték		-	0,00812	0,00812	0,0207
3. időpont	Átlag különbség			-	0,0000	0,01500
	p-érték			-	1,0000	0,9877
4. időpont	Átlag különbség				-	0.01500
	p-érték				-	0,9877
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A GS NDVI értékeinek vizsgálati eredményeit a 9. táblázat mutatja be. A GS NDVI értékei a második mérési időpont után egy stabilizálódást mutattak és a címerhányás időszakát követően se csökkent jelentősen az értékük. Az 1. időpont mind a 4 másik mérési időponttól statisztikailag különbözött -0,2150***-tól -0,3400***-terjedt az átlagok eltérése alacsony $p < .001$ *** értékkel. A 2. időpont szintén az összes többi időponttól különbözött -0,1250**-tól -0,11000*-ig. A GS NDVI értékek változására a felvételezési időpont jelentős hatással van,

A Pearson-féle korrelációs együtthatót is vizsgáltam a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között. A lineáris kapcsolat a SPAD és a GS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékei között amint azt a 23. ábra is bemutatja. Az elvégzett számítások alapján a SPAD és a GS NDVI között egy erősebb korrelációs kapcsolat állt fent, az CCoe (Korrelációs Együttható) értéke $[r = 0,81]$ és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 1,58$

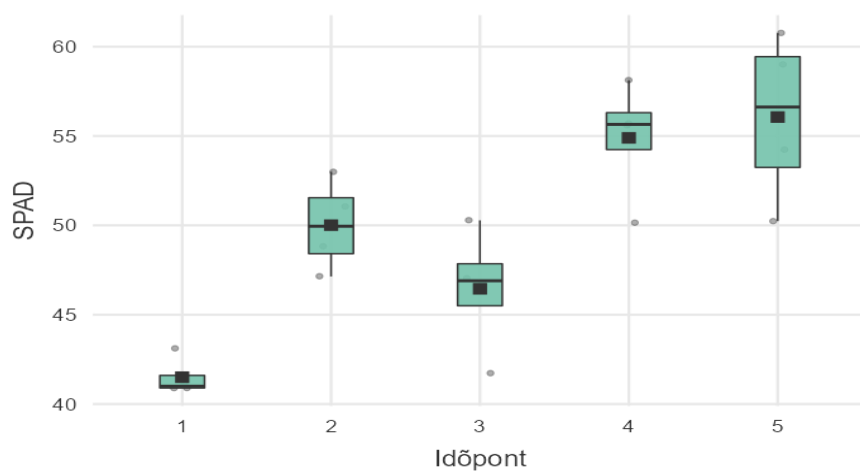
x 10⁻⁵. A 24. ábra és eredmények alapján az erős pozitív kapcsolat áll fent a SPAD és a GS NDVI értékek között.



23. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Armagnac hibrid esetén
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

4.1.3. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben

A SPAD értékek időpontként nagy variabilitást mutatnak a P9025 esetében. A 24. ábrán látható az P9025 hibrid SPAD értékei időpontként. A harmadik mérési időpontban figyelhető meg egy esés az értékekben.



24. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei

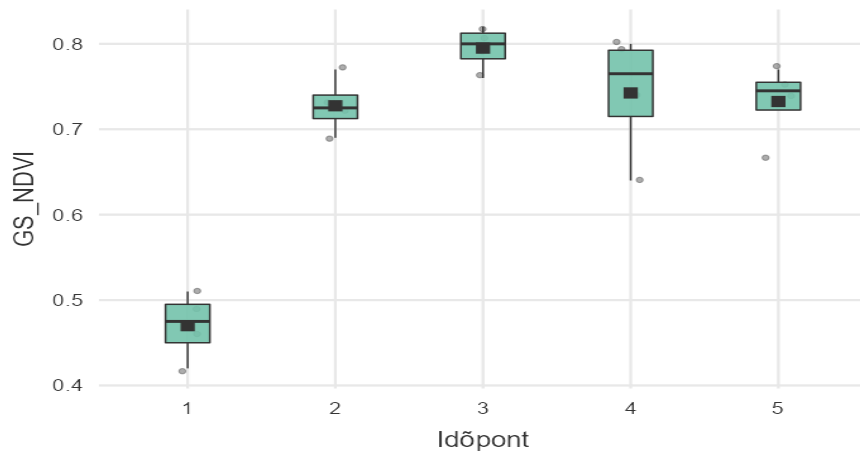
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

10. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-8,505*	-4,945	-13,390***	-14,555***
	p-érték	-	0,0170	0,260	$3,16 \times 10^{-4}$	$1,30 \times 10^{-4}$
2. időpont	Átlag különbség		-	3,560	-4,885	-6,050
	p-érték		-	0,560	0,2705	0,12056
3. időpont	Átlag különbség			-	-8,445*	-9,610**
	p-érték			-	0,0179	0,00678
4. időpont	Átlag különbség				-	-1,165
	p-érték				-	0,98606
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001,</i>						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A SPAD értékek vizsgálati eredményeit a 10. táblázat mutatja be. A SPAD értékei a az 1. időpont a 2. a 4. illetve a 5. időponttól statisztikailag eltér $-8,505^*$ -tól $-14,555^{***}$ az átlagkülönbség értéke a p érték $* p < .05$, és $*** p < .001$. Az 1. és a 3. időpont között nincs igazolható különbség. A 3. időpont 4. illetve az 5. időpontoktól is statisztikailag igazolható különbséget mutat $-8,445^*$ és $-9,610^{**}$ a p értékek pedig $0,0179$ és $0,00678$. A P9025 hibrid GS NDVI értékei a 25. ábrán látható.



25. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

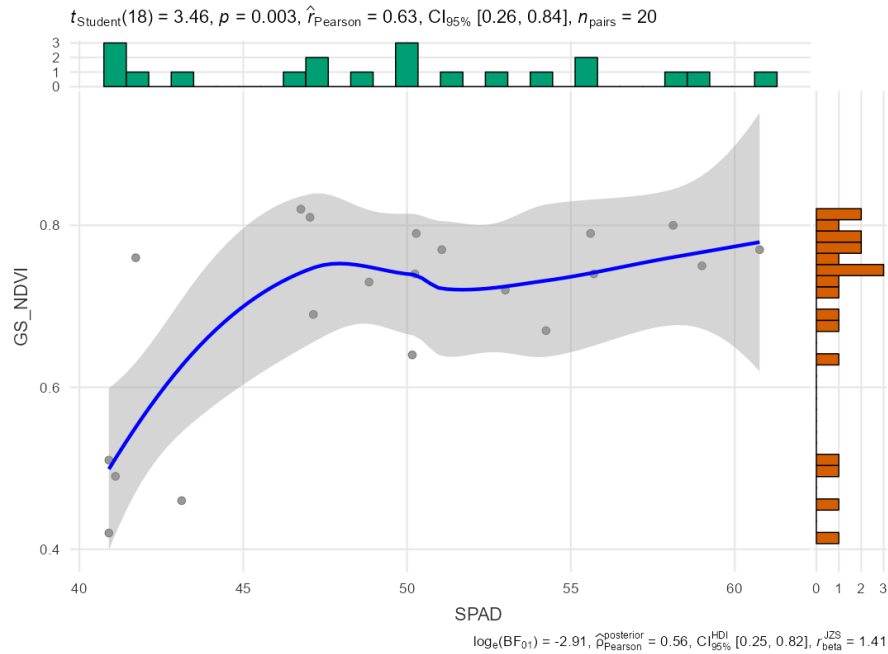
11. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-0,2575***	-0,3250***	-0,2725***	-0,2625***
	p-érték	-	$8,46 \times 10^{-6}$	$4,44 \times 10^{-7}$	$4,21 \times 10^{-6}$	$6,69 \times 10^{-6}$
2. időpont	Átlag különbség		-	-0,06750	-0,01500	-0,005000
	p-érték		-	0,280	0,990	1,000
3. időpont	Átlag különbség			-	0,05250	0,062500
	p-érték			-	0,511	0,348
4. időpont	Átlag különbség				-	0,010000
	p-érték				-	0,998
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A GS NDVI értékeinek vizsgálati eredményeit a 11. táblázat mutatja be. A GS NDVI értékei a második mérési időpont után szintén stabilizálódást mutattak és a címerhányás időszakát követően se csökkent jelentősen az értékük. Az 1. időpont mind a 4 másik mérési időponttól statisztikailag különbözött -0,2575***-tól -0,3250***-terjedt az átlagok eltérése alacsony $p < .001$ *** értékkel. A többi időpont nem különbözött statisztikailag.

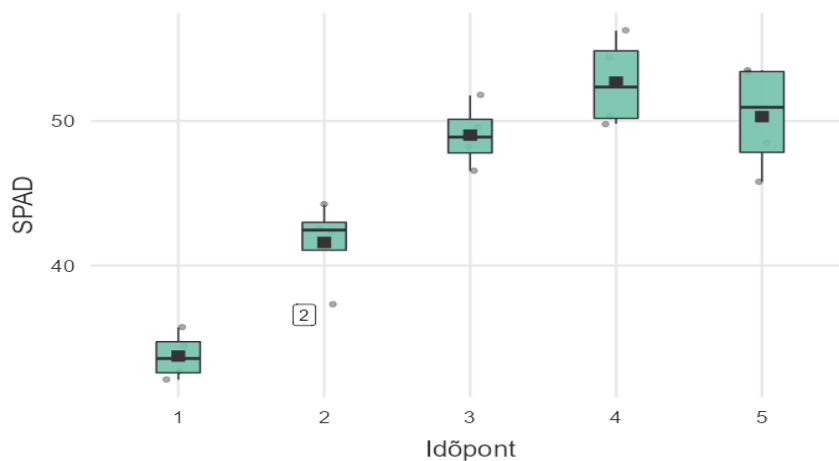
A Pearson-féle korrelációs együtthatót is vizsgáltam a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között. A lineáris kapcsolat a SPAD és a GS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékei között amint azt a 26. ábra is bemutatja. Az elvégzett számítások alapján a SPAD és a GS NDVI között egy közepes erősségű korrelációs kapcsolat állt fent, a CCoe (Korrelációs Együttható) értéke $[r = 0,63]$ és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 0,003$. A 26. ábra és eredmények alapján az közepes erősségű pozitív kapcsolat áll fent a P9025 SPAD és a GS NDVI értékek között.



26. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

4.1.4. A Desszert R73 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben

A SPAD értékek időpontonként nagy variabilitást mutatnak a Desszert R73 esetében is. A 27. ábrán látható a csemege Desszert R73 hibrid SPAD értékei időpontonként. A mérési időpontokban folyamatos emelkedés figyelhető meg. Az 5. időpontban augusztus 4-én már elkezdődik az értékek csökkenése.



27. ábra: A Desszert R73 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

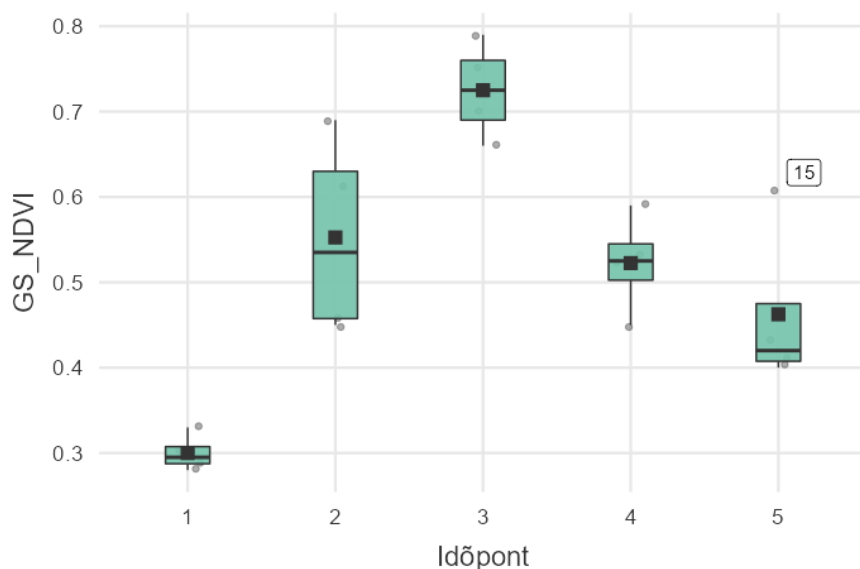
12. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R73 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-7,855*	-15,275***	-18,940***	-16,555***
	p-érték	-	0,0108	$1,47 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-6}$	$5,52 \times 10^{-6}$
2. időpont	Átlag különbség		-	-7,420*	-11,085***	-8,700**
	p-érték		-	0,0163	$5,11 \times 10^{-4}$	0,00478
3. időpont	Átlag különbség			-	-3,665	-1,280
	p-érték			-	0,401	0,96705
4. időpont	Átlag különbség				-	2,385
	p-érték				-	0,76163
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
Megjegyzés. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A Desszert R73 SPAD értékek vizsgálati eredményeit a 12. táblázat mutatja be. A SPAD értékei az 1. időpont mind a 4 további időponttól statisztikailag igazolható volt az eltérés a 2. a 4. illetve a 5. időponttól statisztikailag eltér -7,855*-tól -18,940***-ig terjedt az átlagkülönbség értéke a p érték * $p < .05$, és *** $p < .001$. Az 1. és a 3. időpont között nincs igazolható különbség. A 2. időpont is szintén mind a 4. további időponttól statisztikailag igazolhatóan eltért.

A Desszert R73 hibrid GS NDVI értékei a 28. ábrán látható. A csemegekukorica hibridek esetében megfigyelhető volt, hogy a 3. időpont után a GS NDVI értékei csökkenni kezdtek. Az értékek csökkenésének hátterében a címerhányás áll. A címer mérete és színe befolyásolja a GS NDVI értékeket elkezdnek stagnálni vagy csökkenni, ezzel ellentétben a relatív klorofilltartalom tovább növekszik, ahogy halad előre időben a vegetáció. Ez a megállítás a korrelációs vizsgálatoknál pontosabban kifejtésre kerül.



28. ábra: A Desszert R73 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

13. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis
 eredménye Desszert R73 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-0,2525**	-0,4250***	-0,22250**	-0,16250
	p-érték	-	0,00291	$1,21 \times 10^{-5}$	0,00831	0,06585
2. időpont	Átlag különbség		-	-0,1725*	0,03000	0,09000
	p-érték		-	0,0471	0,98123	0,50346
3. időpont	Átlag különbség			-	0,20250*	0,2650**
	p-érték			-	0,01675	0,00206
4. időpont	Átlag különbség				-	0,06000
	p-érték				-	0,81135
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-

Megjegyzés. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

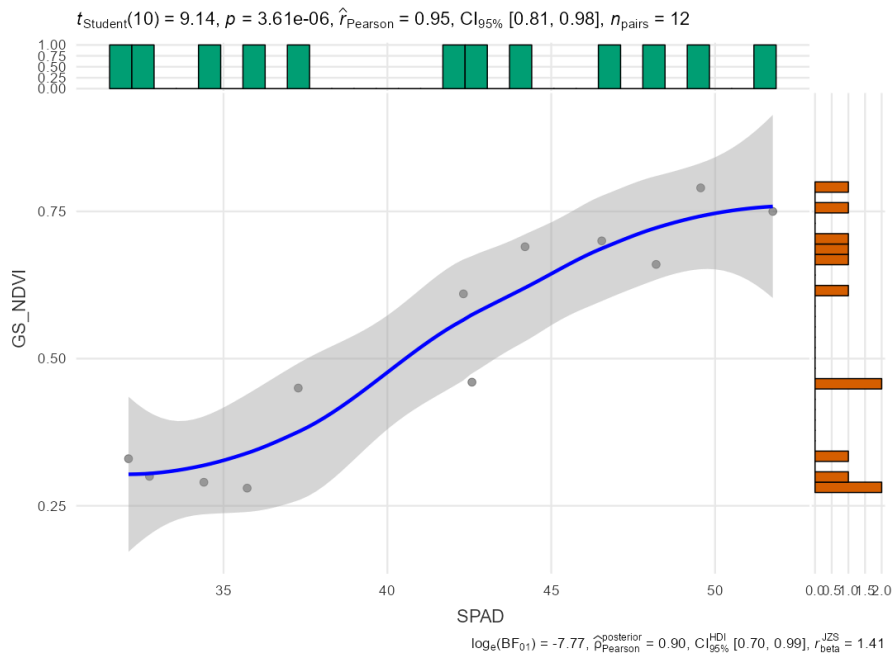
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A GS NDVI értékeinek vizsgálati eredményeit a 13. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a 2., 3. és 4. időpont adataitól statisztikailag különbözött $-0,2525^{**}$ -tól $-0,4250^{***}$ értékig terjedt az átlagok eltérése. Az 1. időpont az 5. időponttól nem különbözött. A 2. időpontban volt igazolható eltérés a 3.-tól. A 3. időpont továbbá eltért még a 4. és 5. időpont adataitól.

A Pearson-féle korrelációs együttható vizsgálta Desszert R73-as hibriden a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között. A lineáris kapcsolat a SPAD és a GS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékei között amint azt a 29. ábra és 30. ábra is bemutatja. A 29. ábra 1-3. időpont adatait tartalmazza a 30. ábra pedig 1-5. időpont adatait. Az elvégzett számítások alapján 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 $p = 3,06 \times 10^{-6}$.

A további korrelációs számítások alapján, ahol az adatsor az 1. időpont - 5. időpontig tartalmazza az adatokat (30. ábra) ahol a SPAD és a GS NDVI értékek között egy közepesen erős pozitív korrelációs kapcsolat állt fent, a CCoe (Korrelációs Együttható) értéke $[r = 0,6]$ és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 0,005$.

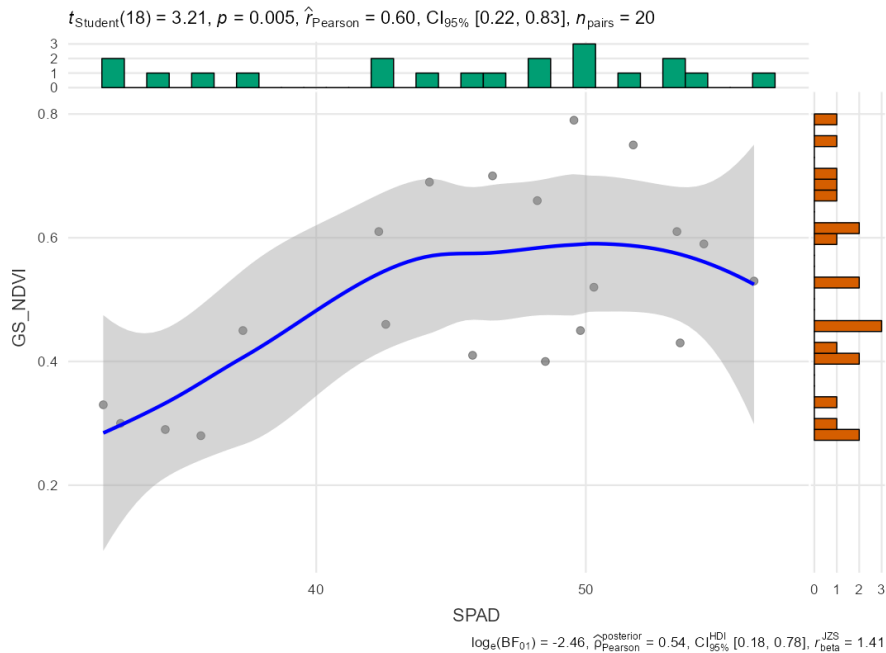
A kézi műszeres mérések több időpontban voltak felvételezve, mint az UAV repülések. A vegetáció előrehaladtával szépen kirajzolódik az ábrákon, hogy a kezdeti időszakban alacsony GS NDVI értékeket mértem a területen és a 3. felvételezési időpontban mutatta az állomány a legnagyobb GS NDVI értékeket (28. ábra). A kukorica címerhányását követően az GS NDVI értékek csökkennek, illetve a címer takarta a zöld növényi részeket, ezért is már ebben az időszakban nem volt nagy jelentősége a UAV felvételek készítésének.



29. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye Desszert R73 hibrid esetén

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

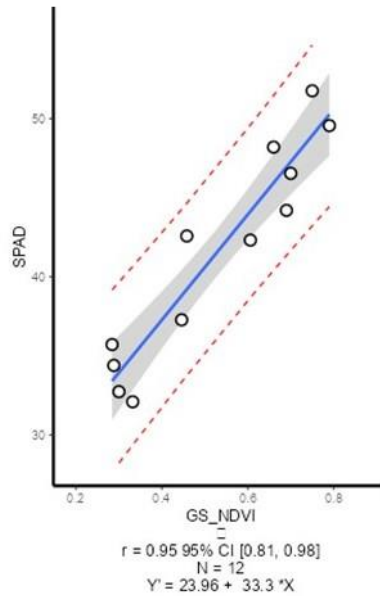
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)



30. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye Desszert R73 hibrid esetén

Megjegyzés: korrelációs vizsgálat eredményei 1-5. időpont adatait tartalmazza.

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)



31. ábra: SPAD és GS NDVI paraméterek között fennálló korrelációs kapcsolat

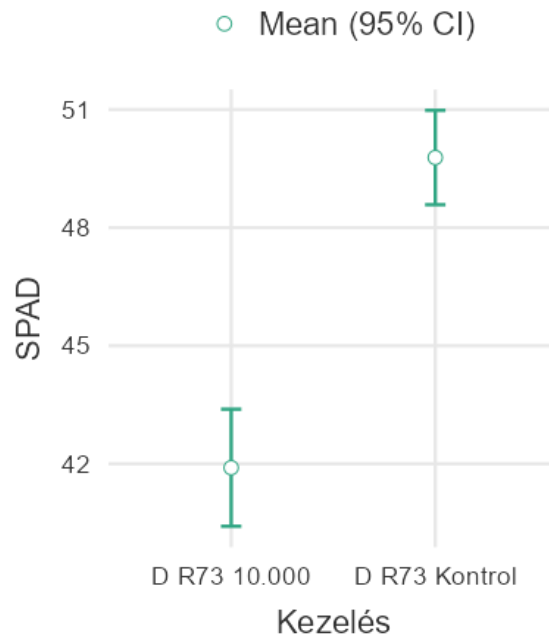
Desszert R73 hibrid esetében

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

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 (31.ábra) $Y' = 23,96 + 33,3 * X$, ami azt jelenti, hogy 0,15 egység GS NDVI érték növekedése 4,995 SPAD érték növekedését indukálja.

Továbbá a SPAD értékek nem mutattak statisztikailag igazolható különbséget a kezelések között. Az eszköz egyik hátránya, hogy lokálisan mér a növény levélfelületén kb 2mm-es átmérőben. A jelenség további tisztázására extra mérési adatokat vettem fel a Desszert R73-as hibrid állományában mivel ezt a hibridet súlyosan érintette a golyvásüszög által okozott tünetek. A SPAD értékek közvetlenül a klorózissal érintett területeken lettek felvételezve, ahol már a klorofill-bomlás folyamatára indukálódott a válaszreakció. A 32. ábrán jól látható a magas dózissal kezelt D73 10.000 nevű parcella adatai 95% CI- érték mellett a diagrammon is eltérést mutat a D73 Kontrol parcella értékeivel szemben.



32. ábra: Desszert R73 SPAD értékek varianciaanalízis vizsgálat eredményei

Megjegyzés: Desszert R73 10.000 parcella és Desszert R73 kontrol parcella értékei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

14. táblázat: Desszert R73 csemegekukorica hibrid SPAD varianciaanalízis eredményei

		D R73 10.000	D R73 Kontrol
D R73 10.000	Átlagkülönbség	-	-7,880***
	t-érték	-	-11,45
	df	-	8,000
	p-érték	-	$3,06 \times 10^{-6}$
D R73 Kontrol	Átlagkülönbség	-	-
	t-érték	-	-
	df	-	-
	p-érték	-	-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001 Desszert R73 10.000 parcella és Desszert R73 Kontrol parcella értékeit tartalmazza</i>			

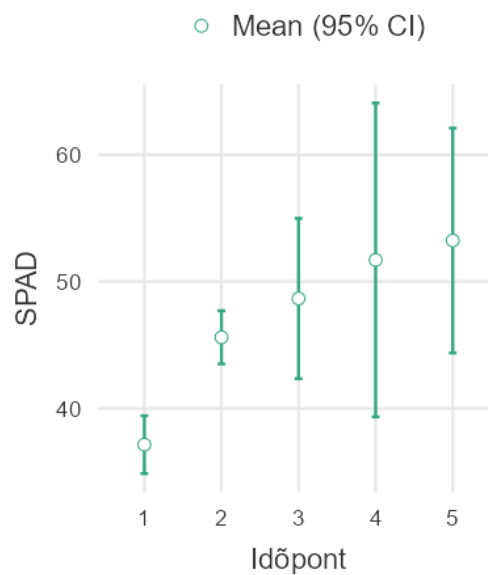
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

Az elvégzett varianciaanalízis statisztikailag igazolható különbséget mutatott a D R73 10.000 parcella és a D R73 Kontrol parcella értékei között 14. táblázat. Az átlag különbség -7,880*** tehát erősen szignifikáns t-érték -11,45 a df 8,000, illetve a nagyon

alacsony p-érték $3,06 \times 10^{-6}$ arra utal, hogy a csoportok közötti különbségek megbízhatóak a vizsgált tényezők között.

4.1.5. A NOA csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2021. kísérleti évben

A SPAD értékek időpontonként a 2. időpont után folyamatos növekedést mutatott, 3-4-5. időpontokban az adatok nagy variabilitást mutatnak. A 33. ábrán látható a csemege NOA hibrid SPAD értékei időpontonként. A mérési időpontokban továbbá folyamatos emelkedés figyelhető meg. Az 5. időpontban pedig szintén elkezd már csökkenni az érték.



33. ábra: NOA hibrid SPAD értékei közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei időpontonként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen 2021)

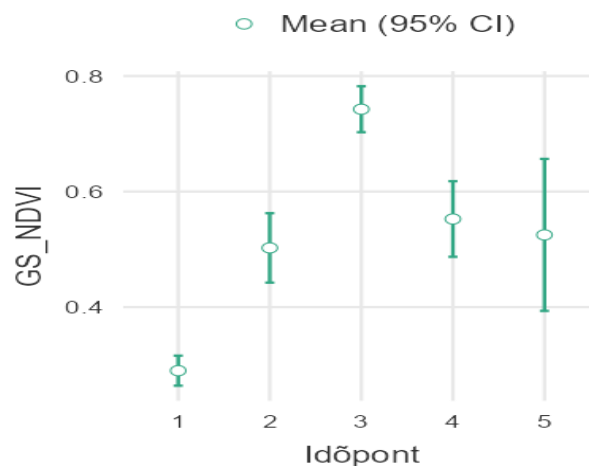
15. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye NOA hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-8,455	-11,515*	-14,555**	-16,085**
	p-érték	-	0,134	0,0249	0,00425	0,00176
2. időpont	Átlag különbség		-	-3,060	-6,100	-7,630
	p-érték		-	0,8853	0,39266	0,20129
3. időpont	Átlag különbség			-	-0,3040	-4,570
	p-érték			-	0,88761	0,65328
4. időpont	Átlag különbség				-	-1,530
	p-érték				-	0,98989
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-
Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001,						

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A SPAD értékeinek varianciaanalízis vizsgálati eredményeit a 15. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a 3., 4. és 5. időpont adataitól statisztikailag különbözött -11,515*-tól -16,085** értékig terjedt az átlagok különbsége. A többi időpont adatai statisztikailag nem mutattak igazolható eltérést.

A GS NDVI értékek időpontonként a 3. időpontig folyamatosan emelkedett. A NOA csemege esetében is megfigyelhető, hogy a címer mérete és színe milyen hatást gyakorol a GS NDVI értékekre. A 4-5. időpontba már csökkentek az értékek. A 34. ábrán látható a csemege NOA hibrid GS NDVI értékei időpontonként.



34. ábra: NOA hibrid GS NDVI értékei közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei időpontonként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

16. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye NOA hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont	4. időpont	5. időpont
1. időpont	Átlag különbség	-	-0,2125***	-0,4525***	-0,2625***	-0,2350***
	p-érték	-	$9,18 \times 10^{-5}$	$5,96 \times 10^{-9}$	$7,79 \times 10^{-6}$	$2,92 \times 10^{-5}$
2. időpont	Átlag különbség		-	-0,2400***	-0,05000	-0,02250
	p-érték		-	$2,28 \times 10^{-5}$	0,567	0,957
3. időpont	Átlag különbség			-	0,190***	-0,2175***
	p-érték			-	$3,06 \times 10^{-4}$	$7,08 \times 10^{-5}$
4. időpont	Átlag különbség				-	0,02750
	p-érték				-	0,915
5. időpont	Átlag különbség					-
	p-érték					-

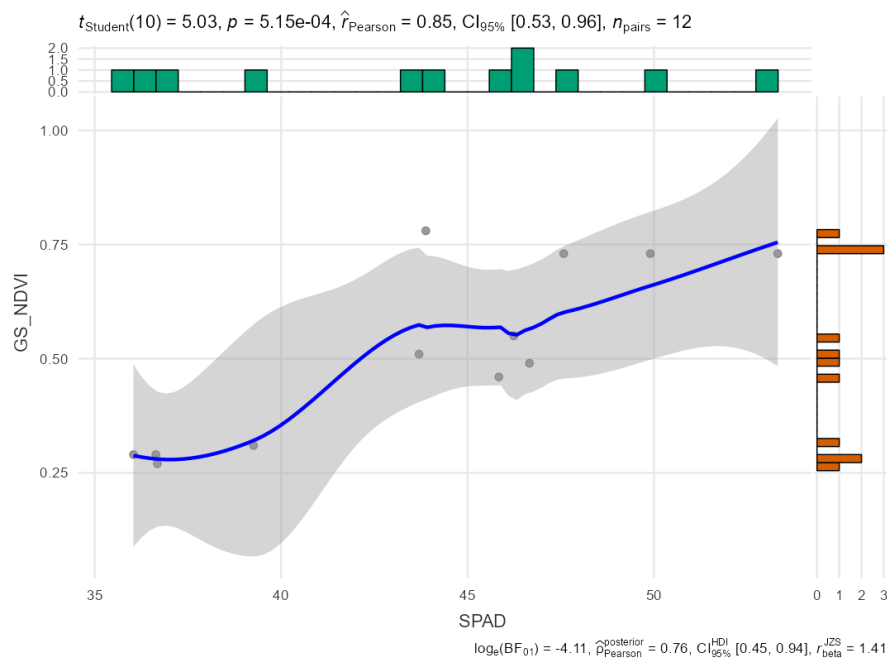
Megjegyzés. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$,

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

A GS NDVI értékeinek varianciaanalízis vizsgálati eredményeit NOA csemege hibridben a 16. táblázat mutatja be. Az 1. időpont az összes többi időpont adataitól statisztikailag igen szignifikánsan különbözött $-0,2125^{***}$ -tól $-0,4525^{***}$ értékig terjedt az átlagok különbsége minden esetben alacsony p értékkel. A 2. időpont pedig a 3.-tól mutatott szignifikáns különbséget. a 3. időpont pedig a 4. és 5. időponttól.

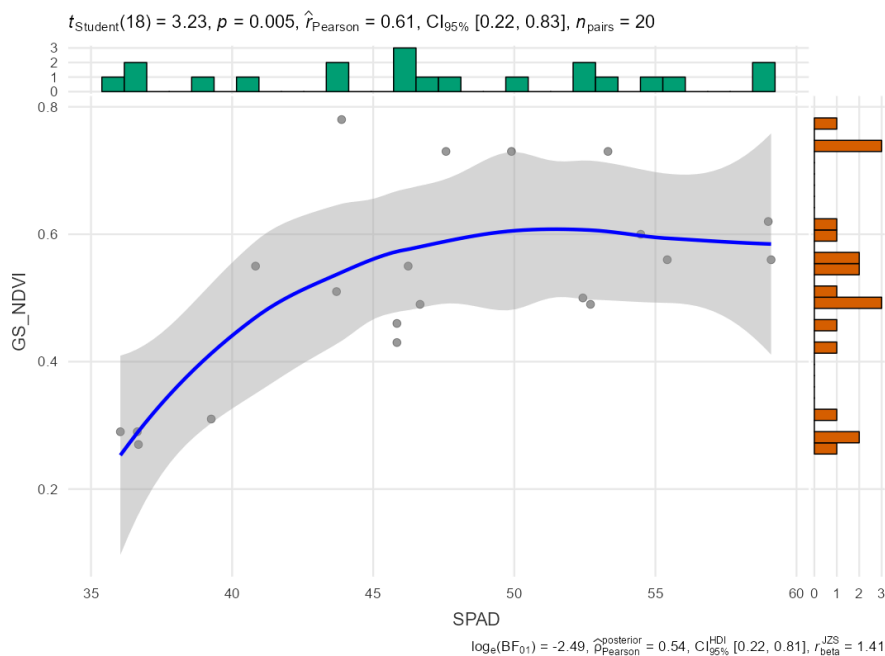
A Pearson-féle korrelációs együtthatóval végzett vizsgálat során a SPAD 502 klorofillmérő és a GreenSeeker NDVI értékek közötti kapcsolatot elemeztem különböző időpontokban. Az 1-3. időpontok (35. ábra) adatait vizsgálva nagyon erős pozitív korreláció állapítható meg a két együttható között a CCoe korrelációs együttható értéke $[r = 0,85]$ a szignifikancia p értéke pedig $p = 5,15 \times 10^{-4}$.

A 1. időpont - 5. időpont adatai esetében (36. ábra) a korreláció erőssége mérséklődött, ez közepesen erős pozitív kapcsolat. A CCoe (korrelációs együttható) értéke $[r = 0,61]$ és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 0,005$. A mérések időpontja jelentős hatással van a SPAD és GS NDVI értékek közötti kapcsolatra. A különböző időpontok közötti eltérések további információkat biztosítanak annak alkalmazásával kapcsolatban, főleg precíziós mezőgazdasági gyakorlatok esetében.



35. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye NOA hibrid esetén (1-3. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)



36. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye NOA hibrid esetén (1-5. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2021)

4.2. A 2022. évi eredmények

A 2022-es évben a tünetek szépen mutatkoztak a kísérleti területen. A fertőzés körülbelül 90-95% -ban okozott tünetek a kezelt növények esetében (bonitálási érték 5-6.). A csemegekukorica hibrid növényei nyilván sokkal jobban megsínylették a kórokozó által okozott elváltozásokat (B-C kategóriás tünetek) (lásd: 2.számú melléklet). A P9025 takarmánykukorica hibrid esetében is szépen jelentkeztek a tünetek. Kb. 90%-os arányban megjelentek a tünetek (bonitálási érték 5.) a kezelt növényeknél, azonban ez a fejlődési intenzitásukat csekély vagy semmilyen formában nem akadályozta. A tünetek kategória szerint A osztályba tartoztak. Az alábbi ábrán a Desszert R78-as csemegehibriden a golyvásüszög [*Ustilago maydis* [DC.] Corda] által okozott tünetek láthatóak. Jól megfigyelhető a klorofill és karotinoid pigmentek bomlása KOLORÓZIS (levél- és szártünet egyaránt) (37. ábra). A szár esetében a gomba által okozott tumorok formációja is megfigyelhető, A tumorok vagy golyvák a vegetáció későbbi szakaszában kerültek érett szakaszba majd elszáradva porszerű tömegben széteresztk a spórákat, mivel a golyvák felhasadnak.

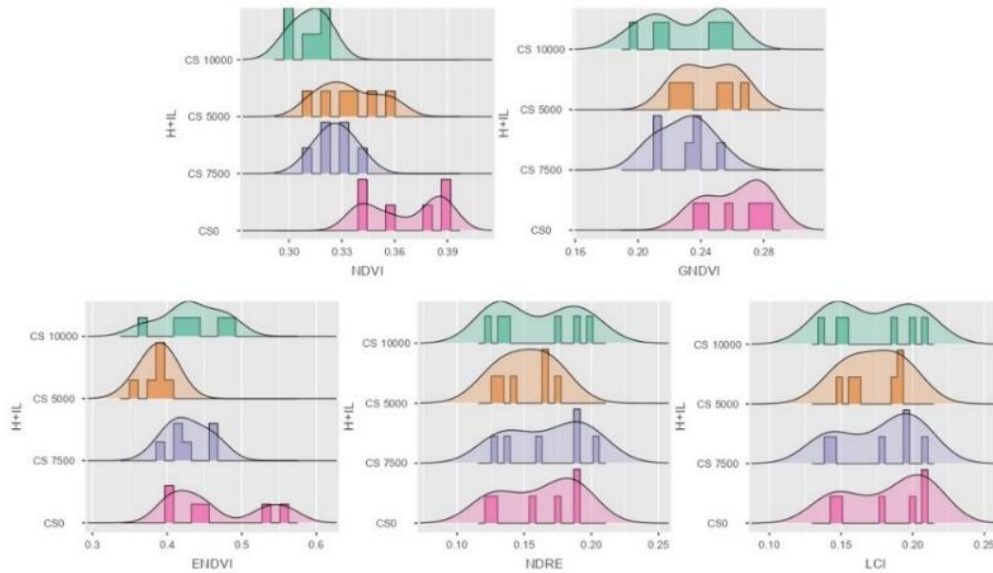


37. ábra: A fertőzés következtében kialakult golyvásüszög tünetek Desszert R78 hibriden

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

4.2.1. Adateloszlási és korrelációs vizsgálatok a Desszert R78 hibrid esetében a 2022. vizsgálati évben

A 38. ábrán megfigyelhető az, hogy a Desszert R78 csemegekukorica hibrid esetében jól láthatóak az adatok eloszlási különbségei. A magasabb VI értékek a CS0 kezelésben fordultak elő, mind az 5 vizsgált vegetációs index esetében. A magasabb VI intervallumban lévő nagyobb sűrűség (adatelőfordulási arány) értékes információt jelenthet a vegetációs indexekről, és arról, hogy ezek közül melyek lehetnek alkalmasak további vizsgálatokhoz. Minden VI átlagérték körülbelül 4500-5000 px adatot tartalmaz, és 4 kezelést reprezentál (CS 5.000, CS 7.500, CS 10.000), beleértve a nem fertőzött (CS 0) parcellákat is, 3 ismétlésben a szántóföldön.

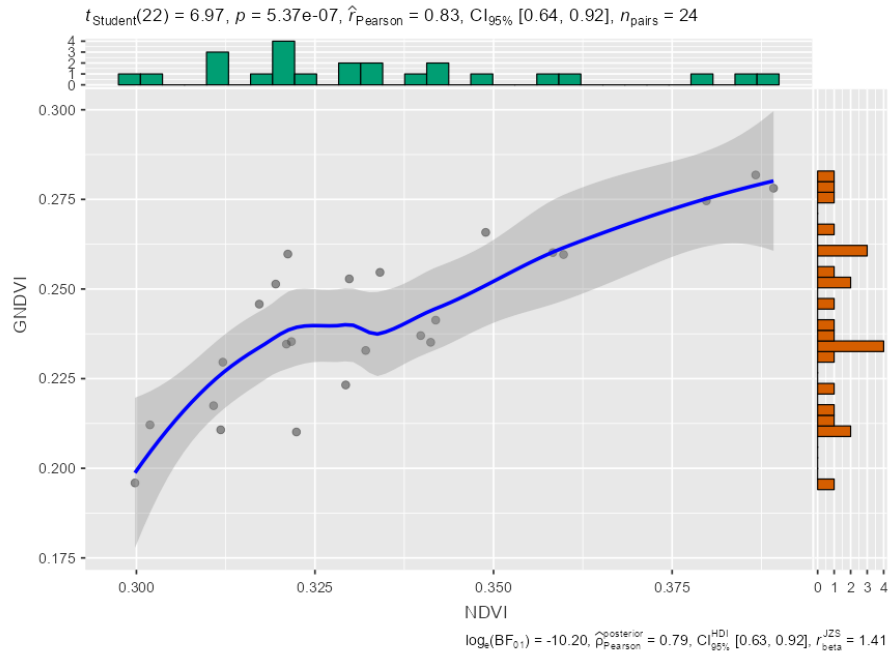


38. ábra: Dessert R78 csemegekukorica hibrid NDVI, GNDVI, ENDVI, NDRE és LCI indexértékek adateloszlása

Megjegyzés: Az Y tengelyen a H+IL (Hybrid and Infection Level) a hibrid és a fertőzési szinteket jelöli

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

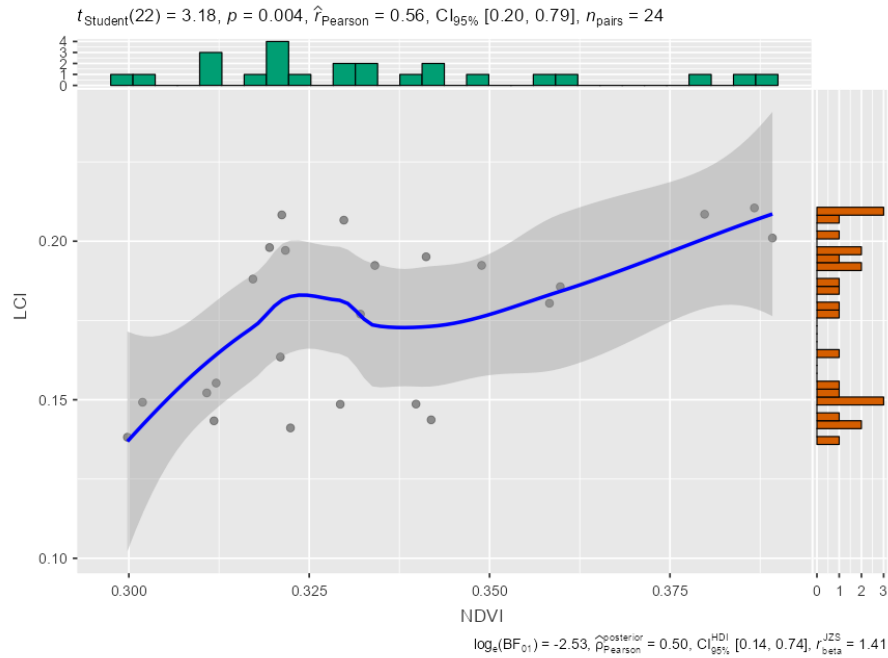
A Pearson-féle korrelációs együttható vizsgálatával értékelhető a lineáris kapcsolat a GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) és az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékei között amint azt a 39. ábra is bemutatja. Az elvégzett számítások alapján a GNDVI és az NDVI között egy erősebb korrelációs kapcsolat állt fent, az CCoe (Korrelációs Együttható) értéke [$r = 0,83$] és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 5,37 \times 10^{-7}$. A 39. ábra és eredmények alapján az erős pozitív kapcsolat a GNDVI és az NDVI között azt jelzi, hogy mind a két index hatékony a vegetációs állapot és a növényegészségügyi helyzet felmérésére.



39. ábra: GNDVI és NDVI korrelációs vizsgálata csemegekukorica Desszert R78 hibridben

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A Pearson-féle korrelációs együttható vizsgálatával értékelhető a lineáris kapcsolat a LCI (Leaf Chlorophyll Index) és az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékei között amint azt a 40. ábra is bemutatja. Az elvégzett számítások alapján a LCI és az NDVI között egy mérsékelt korrelációs kapcsolat állt fent, az CCoe (Correlation Coefficient) (Korrelációs Együttható) értéke $[r = 0,56]$ és a statisztikai szignifikancia p értéke $p = 0,004$. A 40. ábra és eredmények alapján a mérsékelt pozitív kapcsolat az LCI és az NDVI között azt jelzi, hogy mind a két index hatékony lehet a vegetációs állapot és a növényegészségügyi helyzet felmérésére.

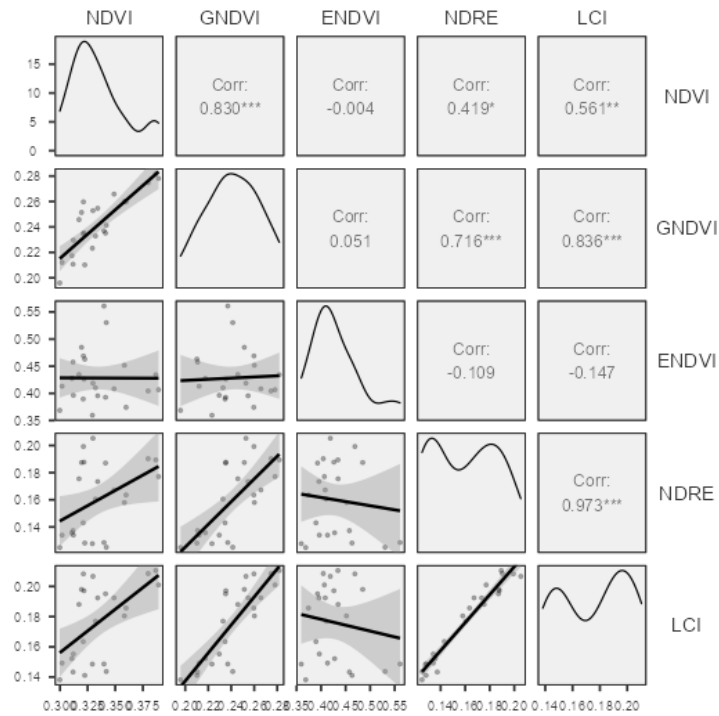


40. ábra: LCI és NDVI korrelációs vizsgálata csemegekukorica Desszert R78 hibridben
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A vizsgálat szempontjából megfigyeltük továbbá a vegetációs indexek korrelációs együtthatóit (41. ábra), valamint azt melyek azok, amelyek pozitívan korreláltak. Az NDVI erős korrelációt mutatott a GNDVI-vel CCoe [$r = 0,83$], közepes vagy mérsékelt korrelációt az LCI-vel [$r = 0,56$] ennek a két eredménynek láthattuk fentebb a részletesebb korrelációs elemzéseit (39 - 40. ábra). Pozitív korreláció volt ugyan megfigyelhető, viszont egy gyenge korrelációt mutatott az NDVI az NDRE-vel CCoe [$r = 0,419$].

Szintén erős korreláció volt a VI értékek között az LCI és a GNDVI esetében CCoe [$r = 0,836$]. Az LCI és az NDRE is erős korrelációt mutatott CCoe [$r = 0,973$] értékkel. Az NDRE és a GNDVI indexek korrelációs együtthatója CCoe [$r = 0,716$] értéket mutatott.

Az LCI és az NDRE erős korrelációja elsősorban az R_{RedEdge} -t csatornát használja a formulákban. Az erős pozitív korreláció a GNDVI és az NDVI esetében annak tulajdonítható, hogy mindkét index hasonló hullámhosszokat használ a számítási képletében. Az R_{NIR} (Near Infra Red) nagyon fontos minden olyan növénybetegség esetén, amelynek tünettípusa eltérő színváltozást/pigmentpusztulást vagy klorózist okozott (ZAHIR et. al., 2022).



41. ábra: A vizsgált vegetációs indexek korrelációs mátrixa

Megjegyzés: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, one-tailed (2022)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

4.2.2. A varianciaanalízis eredményei a Desszert R78 hibrid VI értékeire vonatkozóan a 2022. vizsgálati évben

Az egytényezős varianciaanalízist ANOVA-t R alapú statisztikai szoftverben Jamovi 2.36-ban végeztem. Az adathalmaz normalitás tesztjéhez (feltételezési ellenőrzéséhez) Shapiro-Wilk és post-hoc Tukey (Eq. HSD) tesztet használtam a 17. táblázat varianciaanalízisének összehasonlításához.

17. táblázat: NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben

		CS 0	CS 5.000	CS 7.500	CS 10.000
CS 0	Átlagkülönbség	-	-	-	-
	p-érték	-	-	-	-
CS 5.000	Átlagkülönbség	-0,03175*	-	0,0077	
	p-érték	0,01147	-	0,832	
CS 7.500	Átlagkülönbség	-0,03945**	-	-	
	p-érték	0,0017	-	-	
CS 10.000	Átlagkülönbség	-0,05422***	-0,02247	-0,01476	
	p-érték	$4,43 \times 10^{-5}$	0,0964	0,39	
<i>Megjegyzés.</i> * p < .05, ** p < .01, *** p < .001					

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

Az egytényezős varianciaanalízissel az NDVI átlagértékeket hasonlítottam össze és vizsgálatam meg. A 17. táblázat bemutatja a kapott eredményeket. Az NDVI index értékeinek eredményei mutatták 2022-ben a legjobb teljesítményt a golyvásüszög típusú fertőzés detektálásában. A felvételezések során a legmagasabb NDVI értékeket kaptuk a CS 0- vagyis a fertőzésmentes kontroll parcellák esetében. A CS 0 átlag értékei szignifikánsan magasabbak voltak, mint a CS 10.000 magas dózissal kezelt parcella értékei. Az átlagok közötti különbség 0,05422*** amely egy erős szignifikáns különbség a p érték $p = 4,43 \times 10^{-5}$ (ami rendkívül alacsony, tehát nagy az eredmény megbízhatósága.) Továbbá a közepes dózissal kezelt parcellák átlagértékei CS 7.500 esetében szintén statisztikailag igazolható volt a különbség. Ebben az esetben az átlagok eltérése 0,03945** volt és a p értéke $p = 0,0017$. Az alacsony dózissal kezelt parcellák (CS 5.000) és a fertőzésmentes parcellák (CS 0) átlag értékei között is szignifikáns különbség mutatkozott. Az átlagok eltérése 0,03175* a p értéke pedig $p = 0,01147$.

18. táblázat: GNDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben

		CS 0	CS 5.000	CS 7.500	CS 10.000
CS 0	Átlagkülönbség	-	-	$8,95 \times 10^{-4}$	-
	p-érték	-	-	1	-
CS 5.000	Átlagkülönbség	-0,01758	-	0,01509	
	p-érték	0,4434	-	0,57	
CS 7.500	Átlagkülönbség	-0,03267*	-	-	
	p-érték	0,047	-	-	
CS 10.000	Átlagkülönbség	-0,03177	-0,01419	$8,95 \times 10^{-4}$	
	p-érték	0,0551	0,616	1	
<i>Megjegyzés.</i> * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$					

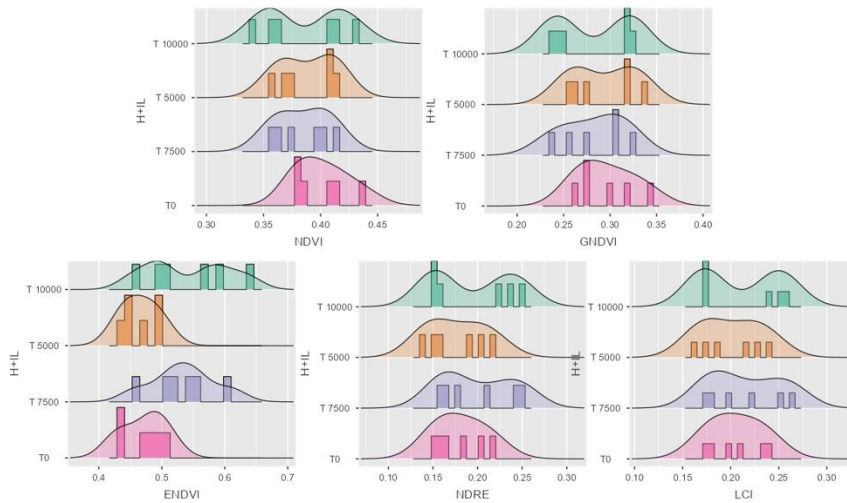
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A GNDVI vegetációs index értékeinek vizsgálati eredményeit a 18. táblázat mutatja be. Azt tapasztaltam, hogy az egészséges CS 0 területeken mért átlagok értékei magasabbak voltak, mint az üszöggombával kezelt parcellák értékei. Azonban statisztikailag igazolható különbség az egészséges parcellák között csak a közepes dózissal kezelt parcella esetében volt kimutatható. A CS 7.500 parcella értékei esetében az átlagok szignifikánsan különböztek $0,03267^*$ a p értéke pedig $p = 0,047$ volt. Az értékek alapján a GNDVI CS 0 és a GNDVI CS 7.500 parcellák értékei szignifikánsan különböztek. A CS 0 GNDVI értékei a CS 5.000-től és a CS 10.000-től szignifikánsan nem különböztek.

4.2.3. Adateloszlási vizsgálatok a P9025 hibrid esetében a 2022. vizsgálati évben

A kísérleti területen is látható volt, hogy a fertőzést követően a növényeken nem voltak különösebben szembetűnő tünetek, eltérések (42. ábra). Köztudott, hogy a betegség a takarmánykukorica növényeket is megtámadhatja. A takarmánykukorica azonban sokkal erősebb és nagyobb zöldtömeget (biomasszát) is képes produkálni, mint a csemegekukorica. A takarmánykukorica állományok alapvetően jóval kevésbé igényesek, és nagyobb a stressztűrő képességük mind az abiotikus, mind a biotikus stresszel szemben. Amint az a 42. ábrán is látható, az egyes kezeléseknél nem volt szignifikáns különbség. Ezen eredmények mellett az egytényezős varianciaanalízis (ANOVA) szintén nem mutatott ki szignifikáns eltérést az átlagértékek között. Ebben az esetben is mindegyik átlagot a QGIS zónastatisztikájával számítottam ki. Minden parcella

kb. 5000-5500 px adatot tartalmazott. Viszont az adatok eloszlásából a takarmánykukorica hibrid esetében viszonylag egy homogénebb állomány figyelhető meg az összes VI érték alapján. Továbbá a kezelések közötti eltérések sem rajzolódnak ki szembetűnően.



42. ábra: A P9025 takarmánykukorica hibrid NDVI, GNDVI, ENDVI, NDRE és LCI indexértékek adateloszlása

Megjegyzés: Az Y tengelyen a H+IL (Hybrid and Infection Level) a hibrid és a fertőzési szinteket jelöli

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

4.2.4. A Desszert R78 és a P9025 hibridek VI értékeinek vizsgálata hibridszeparáció céljából a 2022. vizsgálati évben

19. táblázat: A Desszert R78 és P9025 hibridek NDVI értékeinek összehasonlítása (varianciaanalízis)

		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> * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$					

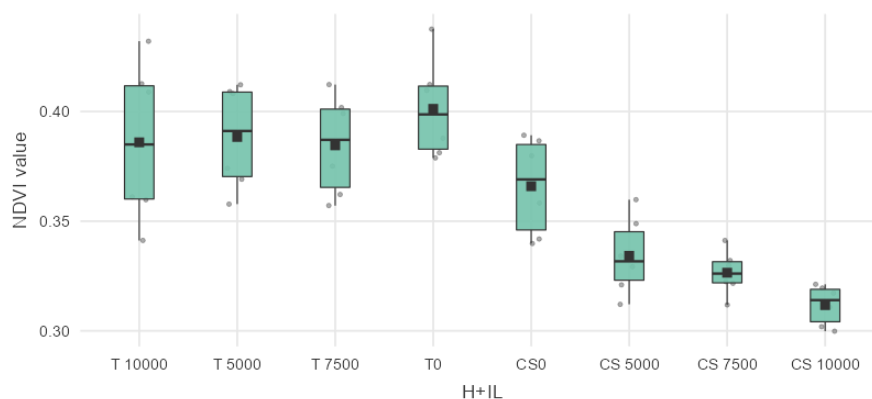
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

Az NDVI (Normalizált Vegetációs Index) értékei rendkívül jól teljesítettek a különböző kukorica hibridek értékeinek összehasonlításában, amit a 19. táblázat adatai is alátámasztanak. A különböző hibridek között a parcellákon mért NDVI átlagok között jelentős statisztikai eltéréseket figyeltünk meg.

Elsőként például a T 10.000 hibrid esetében az átlagos eltérés a CS 5.000 fertőzési szinthez képest 0,05177** volt, amely szignifikánsnak bizonyult (p értéke = 0,00537). Ehhez hasonlóképpen, a CS 7.500 közepes parcellákon mért NDVI átlagok eltérése 0,059467*** volt, amely szintén erősen szignifikáns a p értéke pedig $p = 9,11 \times 10^{-4}$. A legnagyobb eltérés a CS 10.000 parcellákon mért NDVI értékekben mutatkozott, ahol az átlagok eltérése 0,07423*** volt, a p értéke pedig rendkívül alacsony $p = 2,47 \times 10^{-5}$. A T 5.000 hibrid (Alacsony dózis) esetében a CS 5.000 parcellához képest mért átlagos eltérés 0,05422** volt a p értéke $p = 0,00309$, míg a CS 7.500 parcelláktól 0,061917*** különbséget mutatott, alacsony p érték mellett *** $p < .001$ $p = 5,07 \times 10^{-4}$. A CS 10.000 parcellák esetében ez az eltérés rendkívül szignifikáns 0,07668*** volt, p értéke $p = 1,34 \times 10^{-4}$. A T 7.500 közepes dózisú takarmány hibrid is szignifikáns különbségeket mutatott a csemegekukorica állományokban mért NDVI értékekhez viszonyítottn, ahol a CS 5.000 parcellához képest az átlagok eltérése 0,0504** volt a p értéke pedig $p = 0,00727$.

A CS 7.500 parcellánál 0,0581** eltérés mutatkozott az analízis során a p értéke pedig $p = 0,00126$, végül a CS 10.000 parcellánál ez az eltérés erősen szignifikáns 0,07287*** volt alacsony p értékkel ($p = 3,47 \times 10^{-5}$). A T 0 (nem fertőzött) hibridek esetében is szignifikáns különbségeket mértünk: a CS 5.000 fertőzött parcellához képest az átlagos eltérés erősen szignifikáns 0,06703*** volt ($p = 1,47 \times 10^{-4}$). A CS 7.500 parcellától szintén rendkívül szignifikáns 0,074733*** eltérés mutatkozott ($p = 2,18 \times 10^{-5}$). A legnagyobb eltérés pedig a magas dózissal kezelt a CS 10.000 parcellákhoz képest volt, ahol az átlagok különbsége 0,0895*** volt alacsony *** $p < 0,001$ p értékkel ($p = 5,48 \times 10^{-7}$).

A vizsgálat eredményeit boxplot diagrammal is szemléltettem, amely a 43. ábrán látható és az NDVI értékek vizuális eloszlását mutatja be a különböző kezelési szintek között. Ezek az eredmények jól szemléltetik azt, hogy az NDVI hatékonyan alkalmazható a különböző fertőzési szintek és hibridek közötti különbségek kimutatására. A területi hibrid szeparáció jelentős eredmény, amelyre az NDVI index alkalmas lehet. Az eredményeket tekintve rendkívül széles a felhasználhatósága.



43. ábra: Az NDVI átlagértékek a P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibridek esetében
 Megjegyzés: H+IL a hibrideket és fertőzési szinteket jelöli az X tengelyen; Az Y tengely az NDVI értékeket mutatja be

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

20. táblázat A Desszert R78 és P9025 hibridek ENDVI értékeinek összehasonlítása
(varianciaanalízis)

		CS 0	CS 5.000	CS 7.500	CS 10.000
T 10.000	Átlagkülönbség	0,076834	0,15432***	0,11348**	0,108638**
	p-érték	0,086	$1,42 \times 10^{-4}$	0,00195	0,00338
T 5.000	Átlagkülönbség	$7,40 \times 10^{-4}$	0,07822	0,03739	0,032544
	p-érték	1	0,0761	0,83159	0,90928
T 7.500	Átlagkülönbség	0,069322	0,14681***	0,10597**	0,101127**
	p-érték	0,1601	$3,59 \times 10^{-5}$	0,00456	0,00777
T 0	Átlagkülönbség	0,00665	0,08413*	0,0433	0,038455
	p-érték	1	0,0442	0,70488	0,81105
<i>Megjegyzés.</i> * p < .05, ** p < .01, *** p < .001					

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

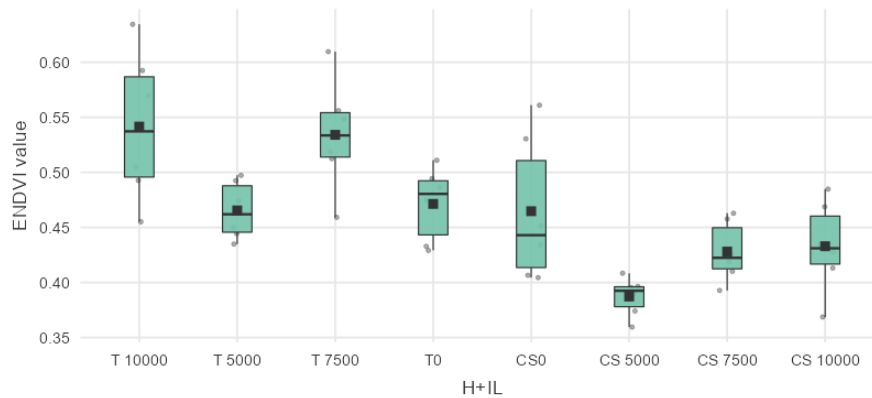
Az ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index) index értékeinek vizsgálatakor is szép eredményeket kaptam a takarmánykukorica és a csemegekukorica hibridek értékei között. Az ENDVI értékek alapján az eltérő hibridek szignifikáns különbségeket mutattak (20. táblázat). A T 10.000 magas dózissal kezelt P9025 hibrid rendkívül szignifikáns eltérést mutatott a CS 5.000 parcella értékeihez képest, az átlagok eltérése 0,15432*** alacsony p értékkel $p = 1,42 \times 10^{-5}$ (***) $p < .001$). A CS 7.500 parcella értékeihez képest is szignifikáns különbség mutatkozott 0,11348** $p < .01$, ($p = 0,00195$). A CS 10.000 szintén szignifikáns volt az eltérés 0,108638** a p érték pedig $p = 0,00338$.

A T 5.000 jelzésű parcellák esetében a hibridek ENDVI értékeiben nem találtunk statisztikailag igazolható eltéréseket.

A T 7.500 takarmánykukorica hibrid értékei szignifikáns különbségeket mutattak a CS 5.000 parcella értékeihez képest, ahol az átlagok eltérése rendkívül szignifikáns 0,14681*** a p érték pedig $p = 3,59 \times 10^{-5}$. A CS 7.500 ENDVI értékei is jelentős eltérést mutattak, az átlagok eltérése 0,10597** volt és a $p = 0,00456$. A CS 10.000 értékei a T 7.500-hoz viszonyítva szignifikáns eltéréseket mutattak 0,101127**, a p érték $p = 0,00777$.

Az ENDVI átlagok értékei alapján a T 0 parcella még szignifikánsan különbözött a CS 5.000 parcella értékeitől, az átlagok eltérése 0,08413 a $p = 0,0442$.

Az eredményeket a 44. ábrán boxplot diagram is szemlélteti, amely vizuálisan is jobban bemutatja a vizsgált hibridek és kezelések ENDVI értékeinek eloszlását és a különböző fertőzési szintek közötti különbségeket. Az eredmények alapján az ENDVI hatékony eszköz lehet a hibridek közötti VI értékek kimutatására, fertőzési szintek azonosítására és azok súlyosságának felmérésére.



44. ábra: Az ENDVI átlagértékek a P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) esetében

Megjegyzés: H+IL a hibrideket és fertőzési szinteket jelöli az X tengelyen; Az Y tengely az NDVI értékeket mutatja be

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A mérések az ENDVI esetében mutattak jól hasznosítható eredményeket. Az ENDVI egy alkalmas eszköz lehet a hibrid szintű elkülönítésre. A megfelelő adatszűrési módszerek alkalmazásával, a talaj és árnyékok kiszűrése/maszkolása a raszteres rétegekből lehetséges. A monitoring megfigyelések elvégzése a megfelelő fenológiai fázisban szintén kritikus tényező. A vegetációs indexek viszont hasznos eszközök lehetnek a hibrid szintű növényazonosításra. A vizsgálati eredmények alapján az NDVI és az ENDVI alkalmas erre a célú felhasználásra.

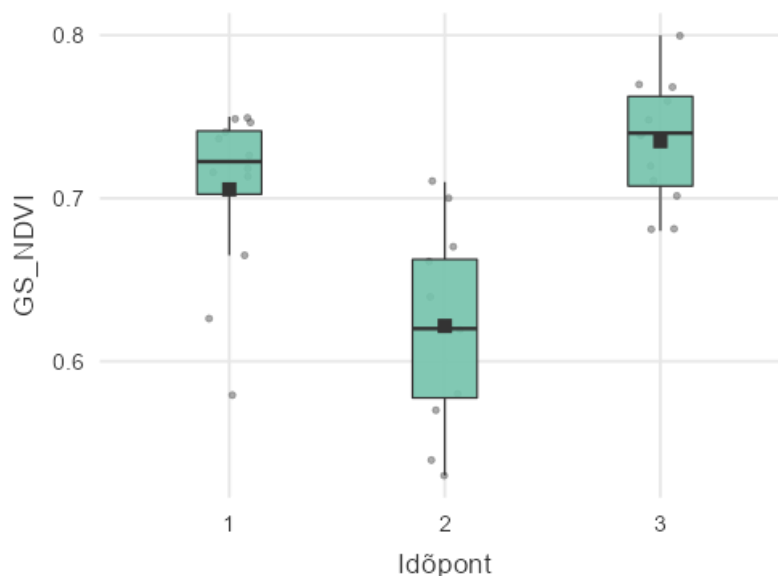
4.2.5. A Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2022. kísérleti évben.

Kézi műszeres mérések felvételezési időpontjai 2022-ben az alábbi időpontok voltak: (SPAD 502, GS NDVI)

1. időpont 2022. június 23.
2. időpont 2022. június 30.

3. időpont 2022. július 7.

A 45. ábrán a Desszert R78 csemegekukorica hibrid GS NDVI értékei láthatóak a három mérési időpontban. A második időpontban volt megfigyelhető egy csökkenés az értékekben majd a 3. időpontban ismét növekedett.



45. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

21. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén

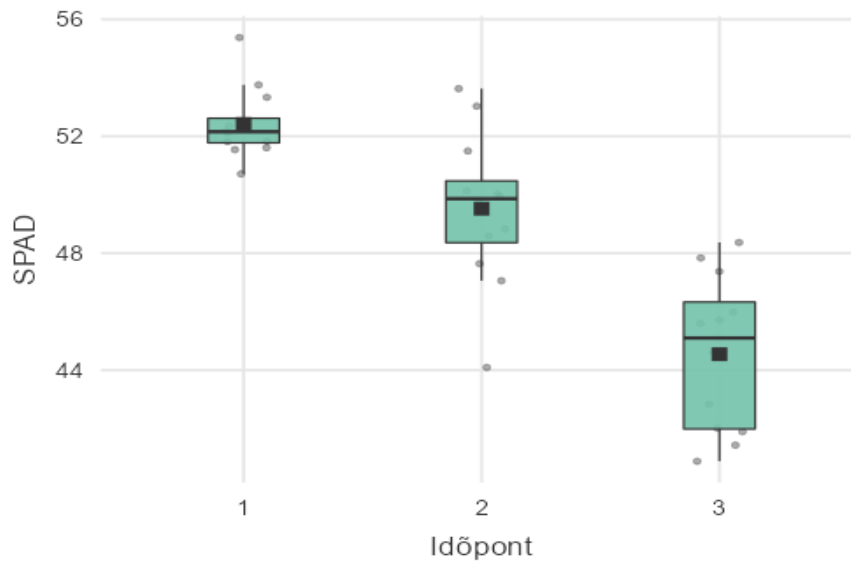
		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	0,08375***	-0,02958
	p-érték	-	$8,79 \times 10^{-4}$	0,341
2. időpont	Átlagkülönbség		-	-0,11333***
	p-érték		-	$1,41 \times 10^{-5}$
3. időpont	Átlagkülönbség			-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001</i>				

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A Desszert R78 csemege hibrid GS NDVI értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 21. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a második időponttól szignifikánsan különbözött az átlagkülönbség 0,08375*** és nagyon alacsony p érték $p = 8,79 \times 10^{-4}$. A 2. időpont

pedig a harmadik időpont adataitól statisztikailag igazolhatóan eltért. Az átlagkülönbség $-0,11333^{***}$ volt és a $p = 1,41 \times 10^{-5}$.

A 46. ábrán a Desszert R78 hibrid SPAD értékei láthatóak. Az első időpont értékei voltak a legmagasabbak majd a vegetáció előrehaladtával ez az érték folyamatosan csökkent.



46. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

22. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	2,898**	7,875***
	p-érték	-	0,00962	$2,16 \times 10^{-9}$
2. időpont	Átlagkülönbség		-	4,977***
	p-érték		-	$1,68 \times 10^{-5}$
3. időpont	Átlagkülönbség			-

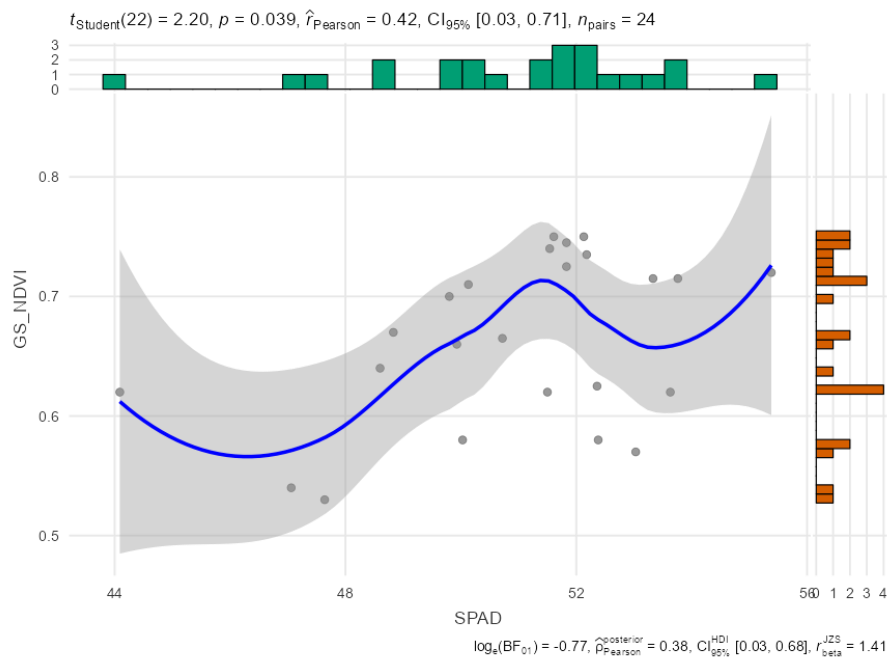
*Megjegyzés. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$*

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A Desszert R78 csemege hibrid SPAD értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 22. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a 2. időponttól és a 3. időponttól is eltért, emellett az értékek folyamatos csökkenést is mutattak. Az átlagkülönbség $2,898^{**}$ és alacsony p érték $p = 0,00962$, illetve az 1. és 3. időpont között az átlagkülönbség $7,875^{***}$ és

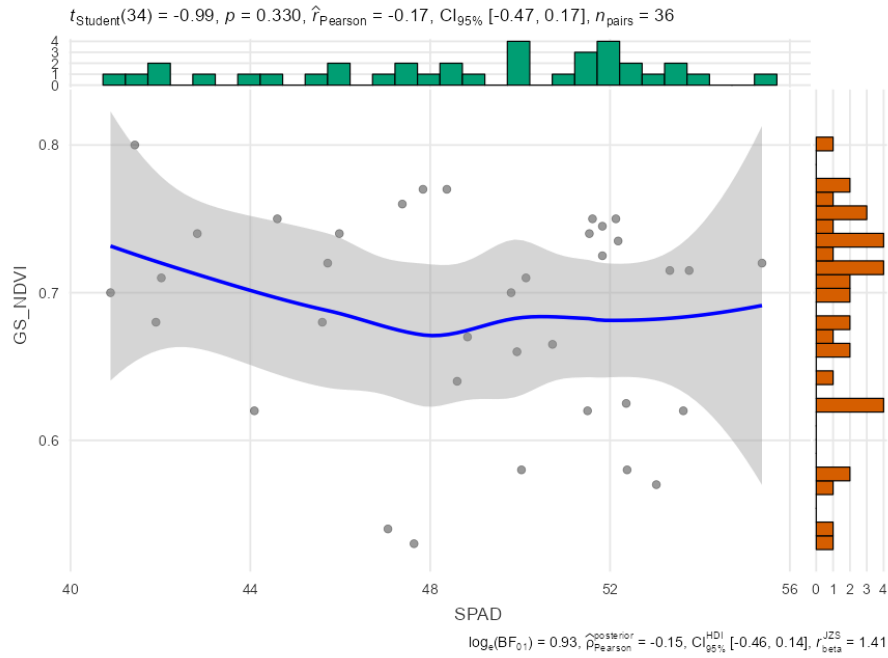
alacsony p érték $p = 2,16 \times 10^{-9}$. A 2. időpont eredményi alapján a harmadik időpont adataitól is statisztikailag igazolhatóan eltért. Az átlagkülönbség 4,977*** volt és a $p = 1,68 \times 10^{-5}$.

A Pearson-féle korrelációs együttható kiszámítását a 2022-es évek vizsgáltaira is alkalmaztam Desszert R78-as hibriden a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között. Az 1. és 2. időpont adatai alapján egy közepes erősségű korrelációs együttható volt kimutatható a CCoe [$r = 0,42$] $p = 0,039$. (47. ábra). A 48. ábrán pedig mind a három időpont adatait tartalmazta a vizsgálat. A három időpont vizsgálata alapján a két vizsgált változó között nincs korrelációs kapcsolat, sőt még negatív korrelációs kapcsolat lép fel CCoe [$r = -0,17$] a p értéke pedig $p = 0,330$.



47. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén (1-2. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

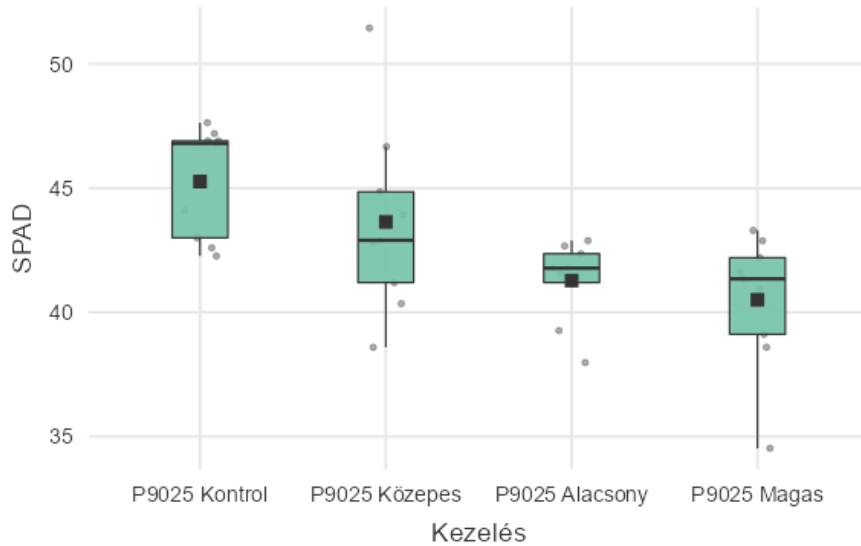


48. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén (1-3. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

4.2.6. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2022. kísérleti évben

A P9025 hibrid SPAD értékek vizsgálati eredményeit a 49. ábra mutatja be. A Kontrol parcella értékei voltak a legmagassabbak a P9025 Magas dózissal kezelt parcellák értékei pedig a legalacsonyabbak.



49. ábra: A P9025 hibrid SPAD átlagértékei kezelésenként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

23. táblázat: A SPAD értékek varianciaanalízis eredménye kezelésenként a P9025 hibrid esetén

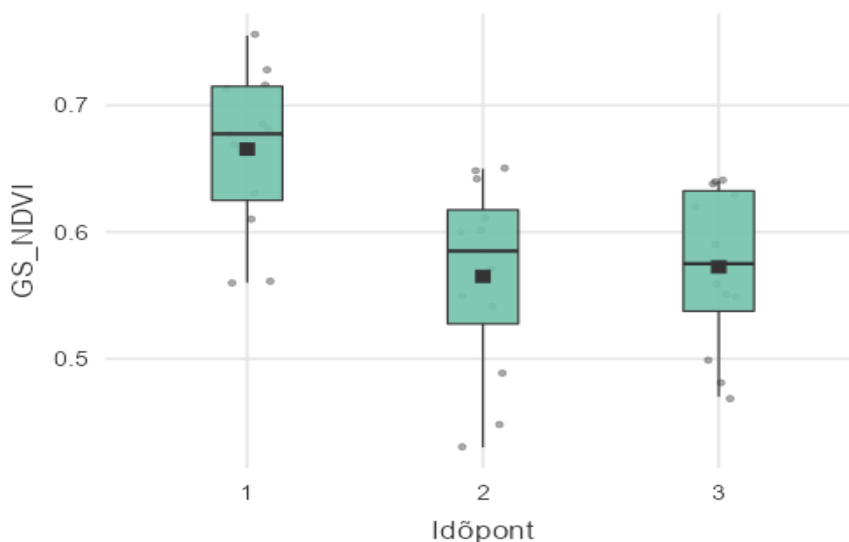
		P9025 Kontrol	P9025 Közepes	P9025 Alacsony	P9025 Magas
P9025 Kontrol	Átlagkülönbség	-	1,627	3,986*	4,7600**
	p-érték	-	0,587	0,0192	0,00403
P9025 Közepes	Átlagkülönbség		-	2,359	3,1333
	p-érték		-	0,2720	0,08790
P9025 Alacsony	Átlagkülönbség			-	0,7744
	p-érték			-	0,92959
P9025 Magas	Átlagkülönbség				-
	p-érték				-

*Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001*

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A P9025 hibrid értékek ANOVA vizsgálati eredményeit a 23. táblázat mutatja be. A kezelések SPAD értékei között volt statisztikailag igazolható különbség. A P9025 fertőzésmentes parcellák értékei szignifikáns különbséget mutattak a P9025 Alacsony

dózissal kezelt parcellák értékeitől az átlagkülönbség értéke $3,986^* p = 0,0192$ és a P9025 Magas dózissal kezelt parcella értékeitől is, az átlagkülönbség $4,7600^{**} p = 0,00403$. A P9025 hibrid GS NDVI értékeit az 50. ábra mutatja be időpontonként. Az első időszakot követően csökkentek az értékek.



50. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

24. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	0,1004**	0,092917**
	p-érték	-	0,00269	0,00555
2. időpont	Átlagkülönbség		-	-0,007500
	p-érték		-	0,96044
3. időpont	Átlagkülönbség			-

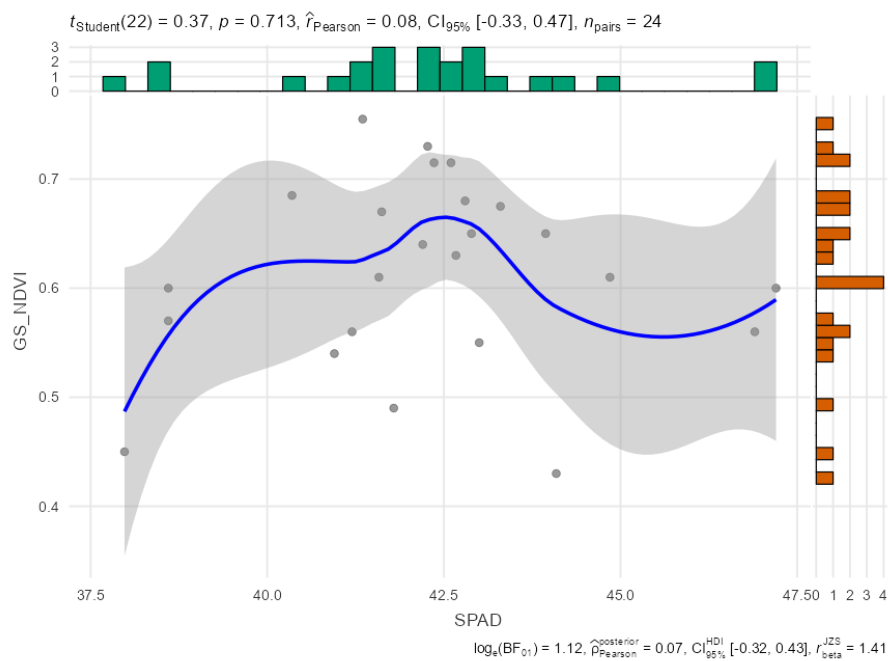
*Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001,*

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

A P9025 hibrid GS NDVI értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 24. táblázat mutatja be. Az időpontok között volt statisztikailag igazolható különbség. A P9025 1. időpont értékei szignifikáns különbséget mutattak a 2. és 3. időponttól is. A második

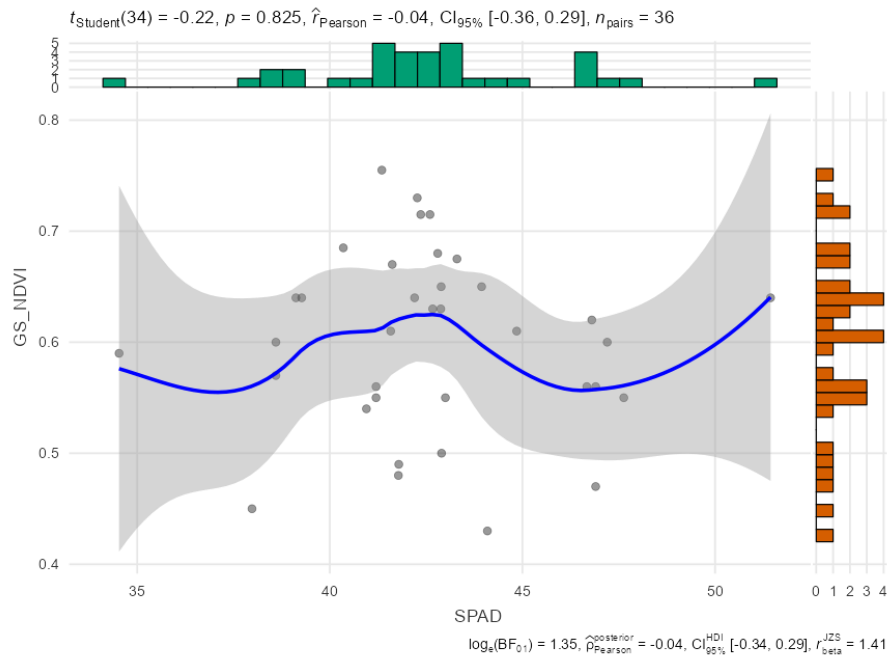
időponttól az átlagkülönbség értéke 0,1004** p = 0,00269 és a A harmadik mérési időpontnál az átlagkülönbség 0,092917** p = 0,00555.

A Pearson-féle korrelációs együttható kiszámítását a 2022-es évek vizsgáltaira is alkalmaztam P9025-ös takarmány hibriden a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között. Az 1. és 2. időpont adatai alapján egy gyenge erősségű pozitív korrelációs együttható volt kimutatható a CCoe [r = 0,08] p = 0,713. (51. ábra). A 52. ábrán pedig mind a három időpont adatait tartalmazta a vizsgálat. A harmadik időpont adataival kiegészítve pedig negatív korreláció áll fent a paraméterek között. [r = -0,04] p = 0,825.



51. ábra: A GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén (1-2. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)



52. ábra: A GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén (1-3. időpont)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022)

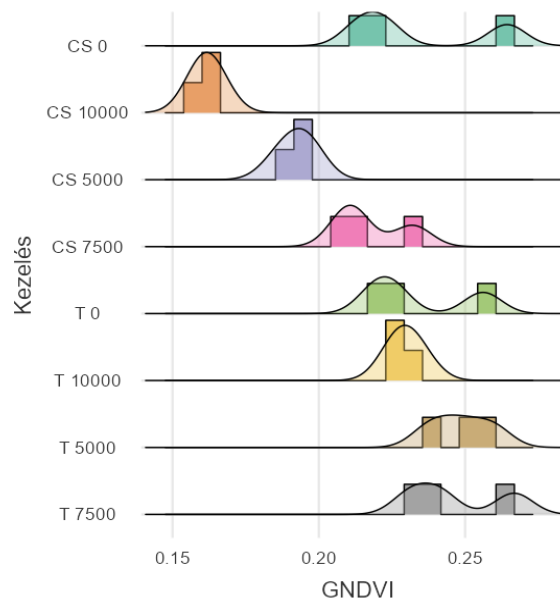
4.3. A 2023. évi eredmények

4.3.1. A Desszert R78-as és P9025-es hibrid GNDVI vegetációs index értékek eredményei a 2023. vizsgálati évben

A 2023-as évben a kísérleti területen ismét két hibrid vett részt a vizsgálatokban. A csemegekukorica esetében a fertőzöttség 80-90% között alakult a fertőzöttség a kezelt parcellákon, ami bonitálási skála szerint 5-6 értéket fedt le. A tünetek súlyossága alapján B és C kategória volt megfigyelhető (2023-ban főleg C). A csőfejlődés még nem kezdődött el mivel ezekben a korai fenológiai fázisokban szár, levél, tünet volt erőteljesen megfigyelhető és a koncentrációval arányosan nőtt ezek kiterjedése. A takarmánykukorica P9025 hibridek esetében pedig a fertőzöttségi arány 70-80% volt (3-4. bonitálási érték). A tünetek tekintetében pedig (A) kategóriába sorolható (csak enyhe levél tünet, enyhe szár tünet) (lásd: 3.sz melléklet). A fertőzés a takarmánykukorica hibridek fejlődését egyáltalán nem hátráltatta. A kórokozó által a növények fejlődése nem volt korlátozott. Az adatgyűjtést szintén a DJI Phantom 4 Multispectral mezőgazdasági UAV-vel végeztem el és 4 kezelés történt, 3 ismétlésben. A mintavétel az előző évekhez hasonlóan „sampling box” módszerrel készült, ami egységes méretű poligon shp-k fedtek

le. A vegetációs indexek átlagértékeit minden parcelláról bemértem és összesen 24 parcella került kialakításra a területen

A 53. ábra a GNDVI értékek eloszlását és sűrűségét mutatja a területen, kezelésenként. A CS 0 értékei voltak a legnagyobbak a csemege hibrid értékek közül, aminek az átlaga 0,2337. A CS 5.000 parcella átlag értéke 0,1924. A CS 7.500 parcella GNDVI átlag értéke 0,2178. A magas dózissal kezelt parcella értékei pedig a legalacsonyabbak volt a Desszert R78-as hibrid értékei között, ami 0,1618 volt.

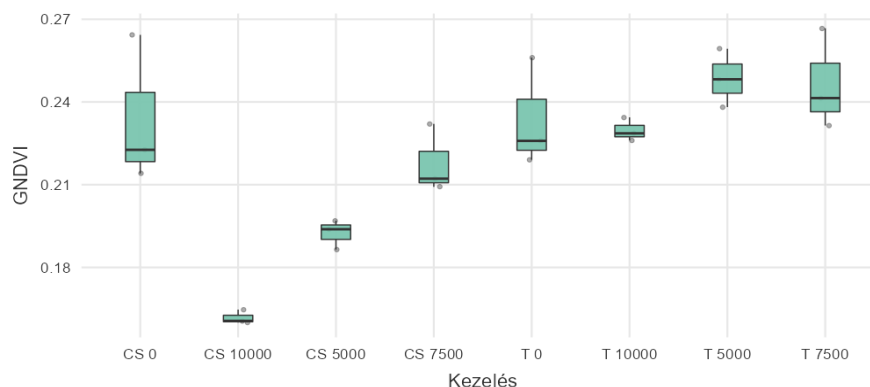


53. ábra: GNDVI értékek adateloszlása hisztogrammal és adat sűrűséggel szemléltetve
Desszert R78 (CS) és P9025 (T) hibridben

Megjegyzés: A számok az Y tengelyen a fertőzési szinteket jelölik

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A P9025 takarmánykukorica hibrid GNDVI értékei az alábbiak voltak. T 0 kezelés 0,2337 volt. A T 5.000 parcella értékei 0,2486 a T 7.500 parcella átlaga 0,2465. A magas dózissal kezelt takarmánykukorica parcella GNDVI átlagértéke pedig 0,2297. A további ábrák szemléltetik a kezelések és a fertőzési szintek közötti eltéréseket (54. ábra).



53. ábra: A GNDVI átlagértékei P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibrid esetében kezelésként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

25. táblázat: A GNDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben

		CS 0	CS 10.000	CS 5.000	CS 7.500
CS 0	Átlagkülönbség	-	0,07192**	0,04126*	0,01587
	p-érték	-	0,00175	0,0409	0,59506
CS 10.000	Átlagkülönbség		-	-0,03066	-0,05605**
	p-érték		-	0,1370	0,00815
CS 5.000	Átlagkülönbség			-	-0,02539
	p-érték			-	0,24448
CS 7.500	Átlagkülönbség				-
	p-érték				-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001</i>					

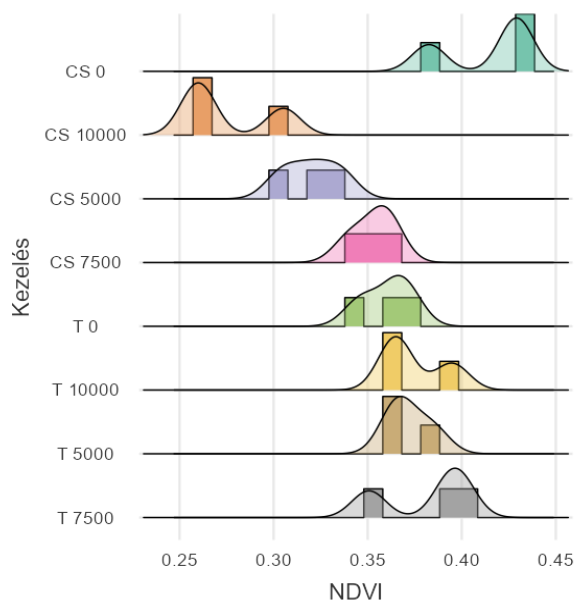
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A 2023-ban felvételezett eredmények esetében elvégzetem egytényezős variancia analízist (ANOVA) is az értékek további vizsgálatára. A GNDVI esetében (25. táblázat) a Desszert R78 esetében a CS 0-as parcella két kezeléstől is szignifikáns különbséget mutatott a CS 10.000 magas dózissal kezelt parcellával összevetve az átlag különbség 0,07192** alacsony p értékkel a $p = 0,00175$ (** $p < .01$). A CS 0 továbbá a CS 5.000 parcellával összevetve az átlagkülönbség 0,04126* a p érték pedig $p = 0,0409$ volt. A CS 0 nem fertőzött parcella átlag értékei a CS 7.500 parcellától statisztikailag igazolható különbséget nem mutattak, a 2023-as felvételek alapján. A CS 10.000 magas dózissal

kezelt parcella NDVI átlagai a CS 7.500 parcellától statisztikailag különböztek az átlagok eltérése 0,05605** p = 0,00815 (**p < .01).

4.3.2. A Desszert R78-as és P9025-es hibrid NDVI vegetációs index értékek eredményei a 2023. vizsgálati évben

A 55. ábra a NDVI értékek eloszlását és sűrűségét mutatja a területen kezelésenként, mind a csemegekukorica és a takarmánykukorica hibridekre vonatkozóan. A vizsgált hibridek NDVI átlagértékei között jelentős különbségek mutatkoztak.



54. ábra: Az NDVI értékek adateloszlása hisztogrammal és adat sűrűséggel szemléltetve

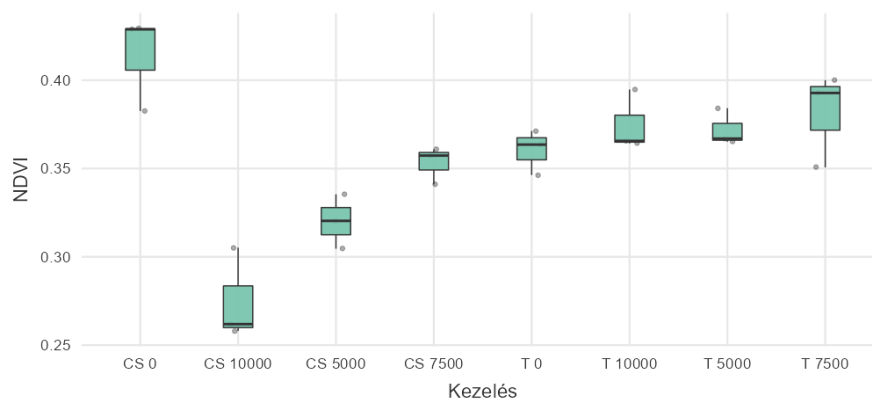
Desszert R78 (CS) és P9025 (T) hibridek esetén

Megjegyzés: A számok az Y tengelyen a fertőzési szinteket jelölik

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A nem fertőzött CS 0 értékei voltak a legnagyobbak a csemege hibrid értékek közül, aminek az NDVI átlaga 0,4136. Ez az adat jól tükrözi a nem fertőzött állomány optimális állapotát. Az üszöggombával kezelt parcellákon az átlag értékek csökkenése volt tapasztalható, a CS 5.000 parcella NDVI átlag értéke 0,3201 volt. A CS 7.500 parcella NDVI átlag értéke 0,3531 a közepes dózissal kezelt parcella értékei is csökkenést mutattak, azonban nem olyan mértékűt, mint a CS 5.000 vagy a CS 10.000 kezelések

esetében volt tapasztalható. A magas dózissal kezelt parcella értékei pedig a legalacsonyabbak voltak a Desszert R78-as hibrid NDVI értékei között (0,2750). A P9025 takarmánykukorica hibrid NDVI értékei az alábbiak voltak. T 0 fertőzésmentes kezelés átlaga 0,3604 volt. A T 5.000 parcella átlag értékei 0,3721 a T 7.500 parcella átlaga 0,3812. A magas dózissal kezelt takarmánykukorica parcella GNDVI átlagértéke pedig 0,3749. A takarmány kukorica értékei esetében nem jelentkeztek különösebb eltérések és a kezelések hatására az NDVI átlagértékek is viszonylag azonosak maradtak annak ellenére, hogy a területen megjelentek a kórokozó által előidézett tünetek. A további ábrák szemléltetik a kezelések és a fertőzési szintek közötti eltéréseket (56. ábra).



55. ábra: Az NDVI átlagértékek P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibridek esetében kezelésenként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

26. táblázat: Az NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben

		CS 0	CS 10.000	CS 5.000	CS 7.500
CS 0	Átlagkülönbség	-	0,1386***	0,09349**	0,06055*
	p-érték	-	$1,85 \times 10^{-4}$	0,00268	0,03137
CS 10.000	Átlagkülönbség		-	-0,04510	-0,07804**
	p-érték		-	0,11153	0,00804
CS 5.000	Átlagkülönbség			-	-0,03294
	p-érték			-	0,29129
CS 7.500	Átlagkülönbség				-
	p-érték				-

Megjegyzés. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

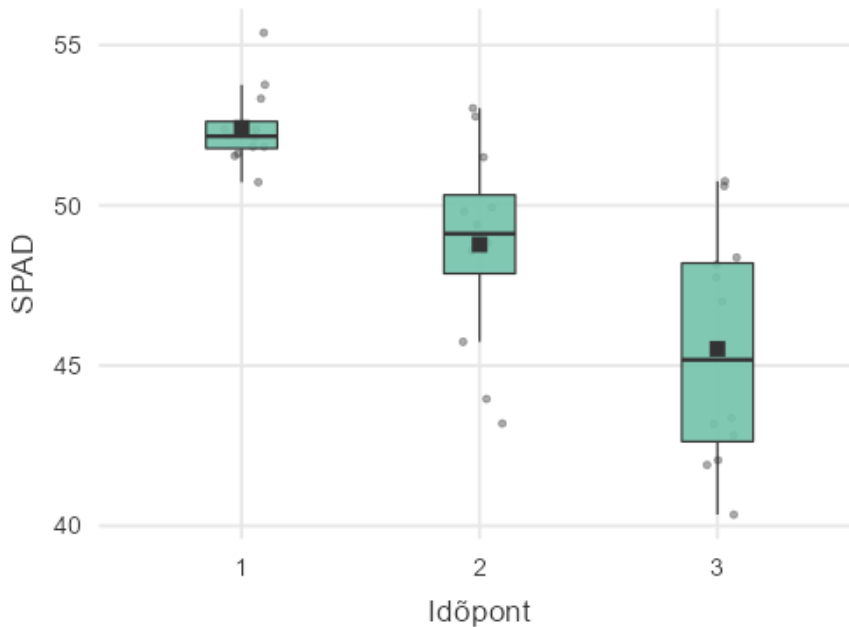
A Desszert R78 esetében elvégzett variancia analízis eredményei az alábbi táblázatban láthatóak (26. táblázat). A CS 0-as parcella három kezeléstől is szignifikáns különbséget mutatott a CS 10.000 magas dózissal kezelt parcellával összevetve az átlag különbség erősen szignifikáns 0,1386*** alacsony p értékkel a $p = 1,85 \times 10^{-4}$ (***) . A CS 0 továbbá a CS 5.000 parcellával összevetve az átlagkülönbség 0,09349** a p érték pedig $p = 0,00268$ volt. A CS 0 nem fertőzött parcella átlag értékei a CS 7.500 parcellától statisztikailag igazolható különbséget mutattot az átlag különbség 0,06055* a p érték pedig $p = 0,03137$. Az NDVI értékek alapján a CS 10.000 magas dózissal kezelt parcella átlag értékei statisztikailag igazolható különbséget mutattak a CS 7.500 közepes dózissal kezelt parcella átlag NDVI értékeitől az átlag különbség 0,07804** volt $p = 0,00804$ (** $p > .01$).

4.3.3. A Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2023. kísérleti évben

Kézi műszeres mérések felvételezési időpontjai 2023-ban az alábbi időpontok voltak: (SPAD 502, GS NDVI)

1. időpont 2023. június 23.
2. időpont 2023. június 30.
3. időpont 2023. július 7.

A 57. ábrán a Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD értékei látható a három mérési időpontban. Az első időpontot követően egy folyamatos csökkenés volt tapasztalható az értékekben.



56. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

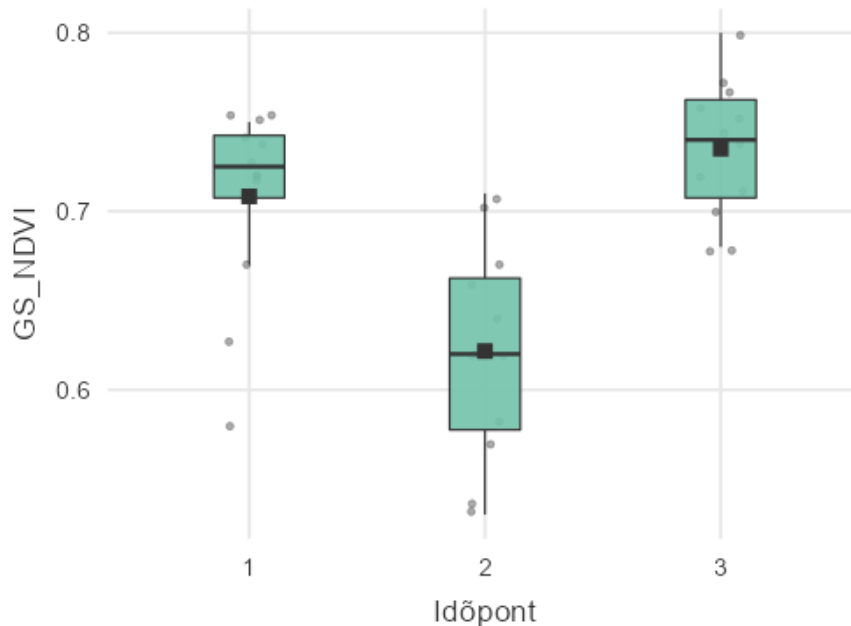
27. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	3,643**	6,898 ***
	p-érték	-	0,0101	$3,62 \times 10^{-6}$
2. időpont	Átlagkülönbség		-	3,255*
	p-érték		-	0,0229
3. időpont	Átlagkülönbség			-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001</i>				

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A Desszert R78 csemege hibrid SPAD értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 27. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a 2. időponttól és a 3. időponttól is eltért, emellett az értékek folyamatos csökkenést is mutatnak. az 1. és 2. időpont között az átlagkülönbség 3,643** és alacsony p érték $p = 0,0101$, illetve az 1. és 3. időpont között az átlagkülönbség 6,898*** és alacsony p érték $p = 3,62 \times 10^{-6}$. A 2. időpont eredményi alapján a harmadik időpont adataitól is statisztikailag igazolhatóan eltért. Az átlagkülönbség 3,255* volt és a $p = 0,0229$.

A 58. ábrán a Desszert R78 csemegekukorica hibrid SPAD értékei láthatóak a három mérési időpontban. A 2. időpontban mért GS NDVI értékek esést mutattak majd a 3. időpontban ismét növekedett.



57. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

28. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén

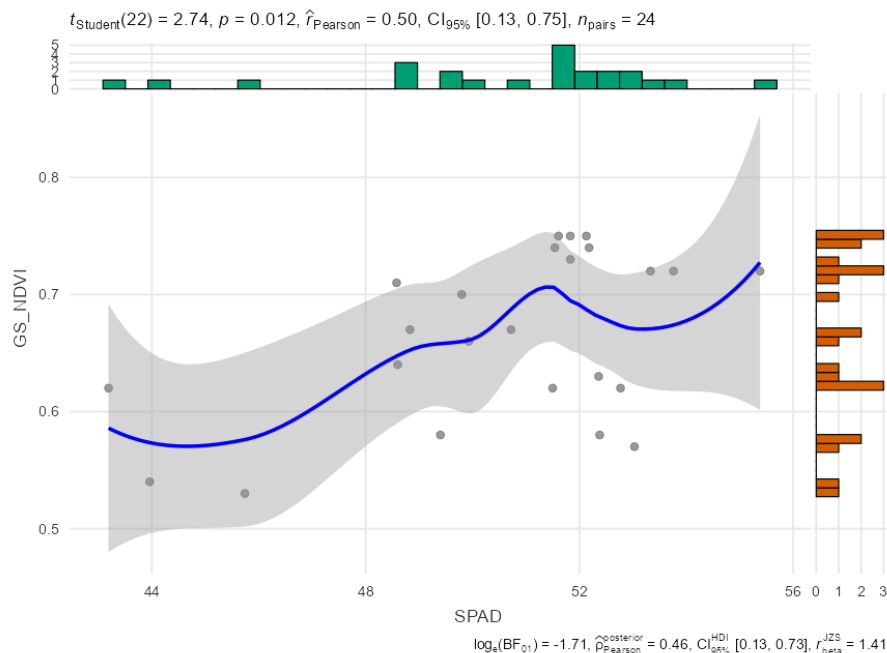
		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	0,08667***	-0,02667
	p-érték	-	$5,89 \times 10^{-4}$	0,414
2. időpont	Átlagkülönbség		-	-0,11333***
	p-érték		-	$1,41 \times 10^{-5}$
3. időpont	Átlagkülönbség			-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001</i>				

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

A Desszert R78 csemege hibrid GS NDVI értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 28. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a második időponttól szignifikánsan különbözött az átlagkülönbség 0,08667*** és nagyon alacsony p érték $p = 5,89 \times 10^{-4}$. A 2. időpont

pedig a harmadik időpont adataitól statisztikailag igazolhatóan eltért. Az átlagkülönbség $-0,11333^{***}$ volt és a $p = 1,41 \times 10^{-5}$.

A Pearson-féle korrelációs együttható kiszámítását a 2023-es évek adataira is elvégeztem. A Desszert R78-as hibriden a SPAD 502 és a GS NDVI értékek között az alábbi eredmények születtek. Az 1. és 2. időpont adatai alapján egy közepes erősségű korrelációs együttható volt kimutatható a CCoe $[r = 0,50]$ $p = 0,012$. (59. ábra). A korrelációs kapcsolat nem tökéletes, van összefüggés a paraméterek között viszont más tényezők is befolyásolják.

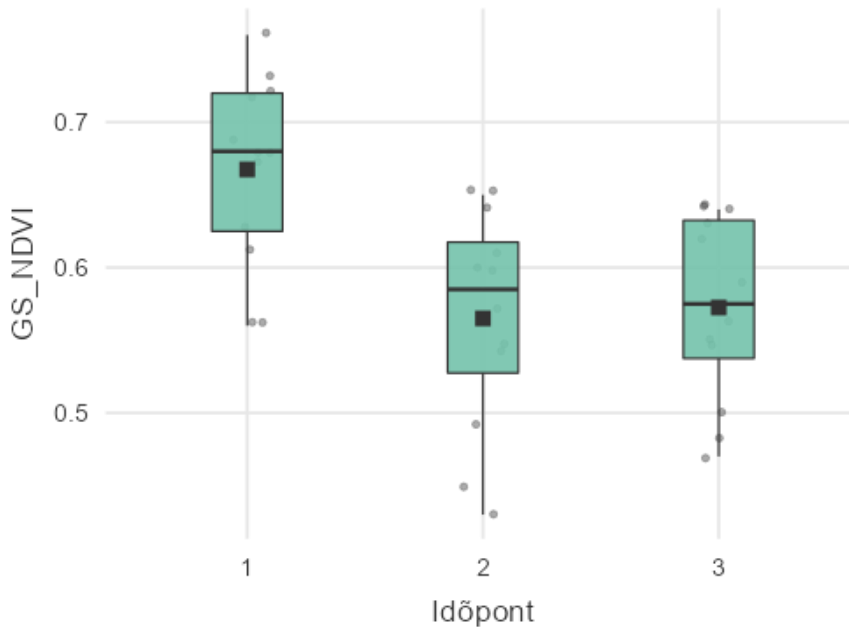


58. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

4.3.4. A P9025 takarmány kukorica hibrid SPAD 502 és GS NDVI mérési eredményei a 2023. kísérleti évben

A SPAD értékek tekintetében mind a három időpontban szinte teljesen megegyező stabil adatokat kaptam, a harmadik időpontra enyhe emelkedés volt megfigyelhető az értékekben. Statisztikailag igazolható eltérés a SPAD értékekben nem volt tapasztalható, se a kezelésként, se az időpontonként. A 60. ábrán a P9025 GS NDVI értékeit mutatom be, ahol a mérési időpontok között volt statisztikailag igazolható eltérés.



59. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei
Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

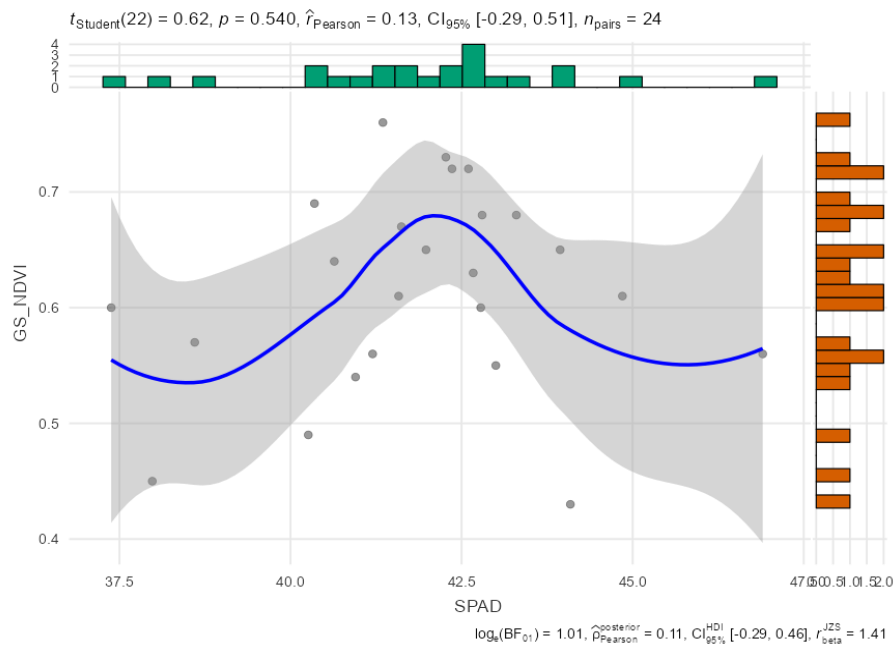
29. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén

		1. időpont	2. időpont	3. időpont
1. időpont	Átlagkülönbség	-	0,1025**	0,0950000**
	p-érték	-	0,00236	0,00487
2. időpont	Átlagkülönbség		-	-0,007500
	p-érték		-	0,96100
3. időpont	Átlagkülönbség			-
<i>Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001</i>				

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

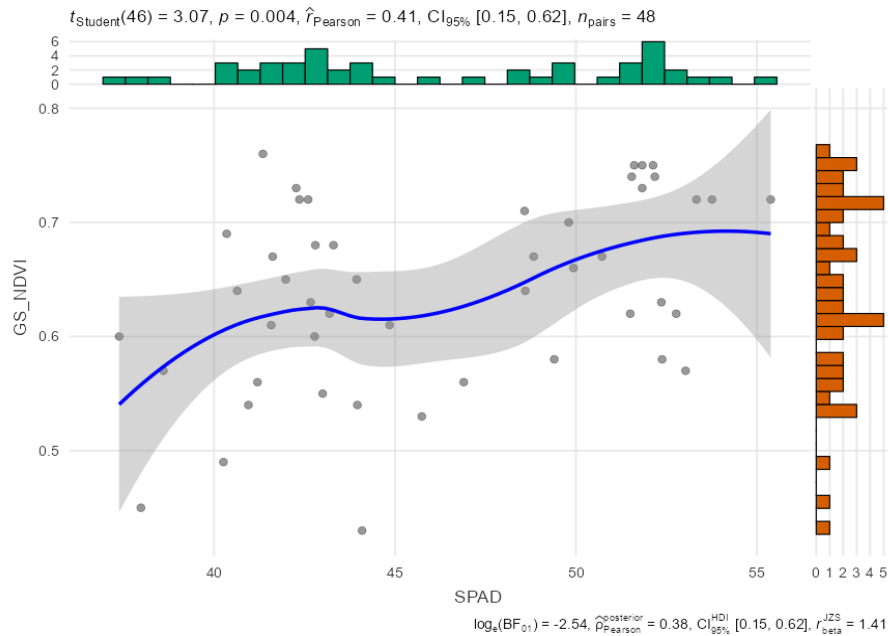
A P9025 takarmánykukorica hibrid GS NDVI értékeinek ANOVA vizsgálati eredményeit a 29. táblázat mutatja be. Az 1. időpont a második időponttól szignifikánsan különbözött az átlagkülönbség 0,1025** és nagyon alacsony p érték p = 0,00236. A 2. időpont pedig a harmadik időpont adataitól statisztikailag igazolhatóan eltért. Az átlagkülönbség - 0,0950000** volt és a p = 0,00487.

A Pearson-féle korrelációs együttható kiszámítását a P9025-ös hibriden is elvégeztem. A SPAD 502 és a GS NDVI értékek között az alábbi eredmények születtek. Az 1. és 2. időpont adatai alapján egy gyenge erősségű pozitív korrelációs együttható volt kimutatható a CCoe $[r = 0,13]$ $p = 0,540$. (61. ábra). A korrelációs kapcsolat gyengén pozitív, van egy gyenge összefüggés a paraméterek között viszont más tényezők is jelentősen befolyásolják. A 62. ábrán pedig a 2023-as adatsor minden értékét tartalmazza a két paraméter között közepes erősségű pozitív korreláció áll fen $[r = 0,41]$ $p = 0,004$.



60. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

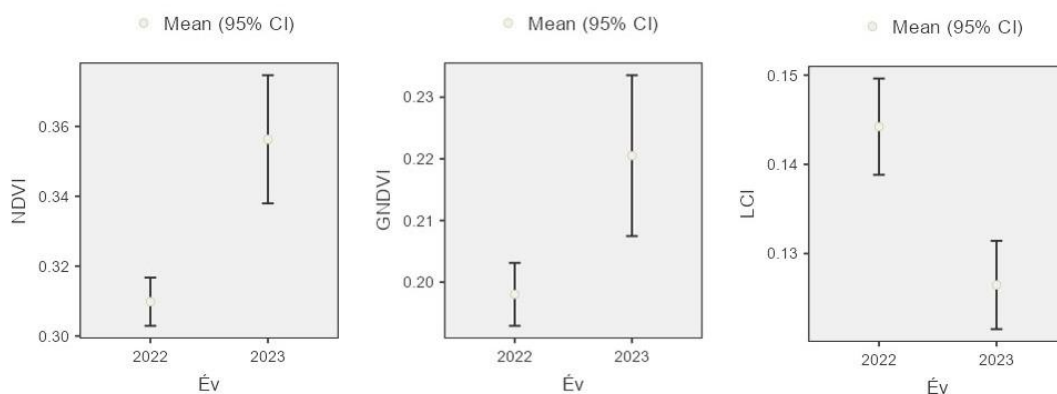


61. ábra GS NDVI és SPAD értékei közötti korrelációs vizsgálat eredményei (teljes adatsor)

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

4.4 Vegetációs indexek összehasonlítása 2022-2023. kísérleti évek átlagában Desszert R78 hibrid esetében

A 2022-es és 2023-as kísérleti évben, a területen mért VI-k adatait hasonlítottam össze. Közel azonos felvételezési időszakban. A Desszert R78-as csemegekukorica hibrid eredményei (63.ábra). Az NDVI és GNDVI értékek 2023-ban magasabbak voltak 0,3098 NDVI 0,3563 tehát 15,03%- al magasabb volt azonos korai fenológiai fázisban (június vége) A GNDVI 0,1980 (2022) 0,2205 (2023) pedig 11,36%-kal magasabb a 2023-as GNDVI átlagok értéke. Az LCI indexek értékeinek vizsgálatánál a 2022-es 0,1442 ezzel szemben a 2023-as adatok alapján az LCI értéke 0,1265 ez mintegy 14%-os különbség a 2022-23 as adatok között.



62. ábra: Desszert R78 NDVI, GNDVI, LCI közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei évenként

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

4.4.1 A Desszert R78 csemegekukorica hibrid vegetációs indexeinek varianciaanalízis eredményei évenkénti összehasonlításban (2022-2023)

Az LCI értékek vizsgálatánál az átlagkülönbség értéke 0,01775*** egy rendkívül alacsony p érték $8,1 \times 10^{-6}$ (31. táblázat). Az NDVI átlagok évenkénti vizsgálatánál az átlagkülönbség -0,04649*** és a különbség a két év között igazolhatóan szignifikáns az eltérés, a p értéke pedig $1,20 \times 10^{-5}$. A GNDVI értékek esetében az átlagkülönbség értéke -0,02250** a p értéke pedig 0,00176. A 2023-as évben mért VI-k két esetben is szignifikánsan magasabb értékeket (GNDVI, NDVI) mutattak, azonos fenológiai időszakban, Desszert R78-as hibridben.

30. táblázat Desszert R78 VI (NDVI, GNDVI és LCI) varianciaanalízis eredményei

		LCI 2023	NDVI 2023	GNDVI 2023
LCI 2022	Átlagkülönbség	0,01775***	-	-
	p-érték	$8,1 \times 10^{-6}$	-	-
NDVI 2022	Átlagkülönbség	-	-0,04649***	-
	p-érték	-	$1,20 \times 10^{-5}$	-
GNDVI 2022	Átlagkülönbség	-	-	-0,02250**
	p-érték	-	-	0,00176

*Megjegyzés. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001,*

Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2023)

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A VIS-SWIR távérzékelési technológiai módszernek az alapja a növények változatos spektrális reakciója különböző stressztényezőkre. A különböző betegségek által érintett növények víztartalma, sejtszerkezete, pigmenttartalmuk aránya 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 (Dessert R73 és NOA). A takarmánykukorica-hibridek esetében a VI-értékek csökkenése volt megfigyelhető, azonban az indexek között statisztikailag szignifikáns különbség nem volt kimutatható. Köztudott, hogy a takarmánykukorica hibridek sokkal toleránsabbak a kórokozó gombákkal szemben, de nem teljesen rezisztensek. A vizsgált csemegekukorica hibrid esetében a korábbi vizsgálatok is igazolták, hogy 11 DAI után (nappal a golyvásüszög fertőzés után) a növények fotoszintetikus pigmentjeinek koncentrációja jelentősen csökkent (SZŐKE et al., 2021).

Garcia-Ruiz és munkatársai (2013) HLB-vel (Hunaglobling) fertőzött citrusfákat vizsgáltak az USA Florida államában. Az azonosításhoz és a betegség osztályozáshoz multispektrális felvételeket használtak. A vizsgálatuk hét vegetációs indexet tartalmazott, ebből kettő saját vizsgálataimban is szerepelt (NDVI és GNDVI). Mindkettő jó használhatóságot mutatott a növény-kórokozó diagnosztikai célokra. Eredményeik azt mutatták, hogy az NDVI és GNDVI-nak az AIV értéke (átlagos indexértéke) a HLB-vel fertőzött fák esetében minden esetben alacsonyabb volt, vagy csökkenést mutatott az egészséges növényekhez viszonyítva. A HLB fertőzés hatással volt a levélzet fotoszintetikus pigmentjeire is, mint például a klorofillra és a karotinoidokra. A 2021-es év eredményei alapján is hasonló tendenciát figyeltem meg a magas (CS 10.000) koncentrációval fertőzött parcellák esetében a kontrollhoz képest. A fertőzött parcellák átlagos VI értékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak (GARCIA-RUIZ et al., 2013).

De Castro és munkatársai (2015) az avokádó „Laurel Wilt” gombás betegségének korai felismerésére összpontosítottak. A kiértékelés és elemzés céljából multispektrális felvételeket használtak, és különböző VI-eket számítottak ki. A spektrális adatok elemzése alapján szignifikáns különbséget találtak az egészséges és a LW-fertőzött növények

között az eltérő fertőzési stádiumokban. Eredményeik alapján a GNDVI optimálisan használható vegetációs index volt az ilyen típusú felmérésekhez. A 2021-es és későbbi vizsgálati eredményeim alapján GNDVI az ilyen jellegű célokra, a kukorica golyvásüszög esetében is jól teljesített.

Albetis és munkatársai (2017) is alkalmazták az NDVI-t és GNDVI-t tanulmányukban a *Flavescence dorée* nyomon követésére vörös és fehér szőlőfajtákban. Az NDVI és a GNDVI fontos paramétereket adtak a többváltozós osztályozási és mérési módszereikben.

Di Gennaro és munkatársai (2016) a szőlő korai tőkeelhalás betegségét (GLSD) multispektrális UAV-vel figyelték meg. Az eredményeik azt mutatták, hogy a GLSD szőlőbetegség befolyásolta az NDVI értékeket az egészséges növényekhez viszonyítva. Azt is megerősítették, hogy a GLSD betegség jelentősen befolyásolta az NDVI értékek csökkenését.

Abdulridha és munkatársai (2020) hiperspektrális felvételekből (UAV-alapú) számított vegetációs indexeket használtak a paradicsom betegségek kimutatására. A szerzők szerint az NDVI (850) segítségével a betegség kialakulásának minden szakaszában képesek voltak a bakteriális foltokat azonosítani.

Kaur és munkatársainak kutatásai (2015) alapján az LCI (Leaf Chlorophyll Index) $R^2=0,73$ regressziót mutatott a búza klorofilltartalmával. A saját kísérleteimben a Desszert R 73 hibrid esetében az LCI értékek képesek voltak kimutatni az *Ustilago maydis* [DC.] Corda kukoricagolyvásüszög hatását. A legmagasabb CS 10.000 spórakoncentrációval kezelt parcellák szignifikánsan alacsonyabb VI értéket mutattak, mint a kontroll CS 0.

Megállapítottam továbbá, hogy a fertőzés következtében, illetve a növekvő koncentrációval arányosan csökkentette a vegetációs indexek értékeit. A területet három különböző időpontban monitoroztam: a fertőzés után 7 nappal, 14 nappal és 21 nappal.

Huzsvai [42] példája alapján ismételt mérésű ANOVA (RMA) modellel vizsgáltam a rögzítési módszer hatását, a fertőzési szintet és ezek együttes hatását, valamint ezek befolyását a vegetációs index értékek dinamikai változására.

A Desszert R73 hibrid esetében három különböző VI is azt mutatta, hogy a fertőzés befolyásolta a kiszámított értékeket, a GNDVI, NDVI és LCI. A három vegetációs index jól használható a vizsgálati eredményeim alapján.

Vizsgálataim új megállapítása, hogy a kapott eredmények azt mutatják, hogy a GNDVI kiemelkedő eredményt nyújtott az *Ustilago maydis* [DC.] Corda betegség monitoring

esetében. Kimutatható volt továbbá, hogy a fertőzés szignifikánsan befolyásolta a mért értékeket a két csemegekukorica hibrid NOA és Desszert R 73 esetében. Az NDVI, LCI is kiváló eredményt mutatott az *Ustilago maydis* kórokozó által okozott elváltozások detektálására. Ez a két hibrid nagy népszerűségnek örvend a magyar csemegekukorica piacon, így minden ehhez kapcsolódó kutatás és gazdasági tanulmány releváns termelőink és kutatóink számára. A módosított RMA modell módszerrel kimutatható a különböző VI értékek változása a fertőzés időszakában. A koncentráció növelésével a 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 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, kiértékelés után kell meghatározni. Jelenleg a piacon elérhető multispektrális eszközökkel is megfelelő színvonalon és minőségben is megfigyelhetők a kísérleti helyszínek vagy mezőgazdasági területek.

A SPAD és GS NDVI értékek alapján kapott következtetések 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 növelési prediktor modellek kialakításában. A vizsgált hibridek esetében a SPAD érték időpontonként szinte minden esetben folyamatosan növekedést mutat, ez szorosan összefügg a relatív klorofilltartalommal, illetve GS NDVI értékeivel is egyaránt. A felvétlezési időpontok szignifikáns hatással voltak a felvétlezett értékekre. Ennek fontosságát továbbá Hnizil et al. (2024) is kiemeli. Továbbá a GS NDVI is széleskörben alkalmazott termés prediktor paraméter modellekben Aranguren et al. 2020. A GS NDVI és a SPAD értékek között a 2021-es évek eredményei alapján szinte minden esetben nagyon erős pozitív korrelációt lehetett kimutatni összhangban Zsebő S. et al 2024 eredményivel. A 4-5 időpont már mérsékelte ezt a jelenséget azonban a GS NDVI értékeket a címerhányás időszaka nagyban befolyásolja, illetve csökkent. A GS NDVI és SPAD értékek optimális időjárási és növekedési időszakban egymás prediktorai. A 2021-es adatok és a LR egyenlet alapján (Desszert R73-as hibridben [$r=0,9456$]) $Y'=23,96+33,3*X$ tehát 0,15 egység GS NDVI érték növekedés 4,995 SPAD egységgel növekszik.

A 2022-es évben is folytatódtak a kísérleteim. A következő 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, ami egy DJI Phantom 4 Multispectral típusú drón volt. A mezőgazdasági drón segítségével több alkalommal is monitroztam a területet a fertőzéseket követően. A 2022-es évben négy kezelés volt, három ismétlésben. A kísérleti területen 24 parcella volt kialakítva, ami a teljes monitoring időszak alatt mechanikai módszerekkel volt gyommentesen tartva, ezzel elkerülve a kémiai herbicidek felhasználását, illetve a gyomok zavaró hatását a VI értékekre. A Desszert R78 hibrid esetében a szimptómák rendszeren kifejlődtek és jól megfigyelhetők voltak a fertőzött területeken. Az adatok elemzése során megállapítottam, hogy a CS 0 (egészes) 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. Bhandari és munkatársai (2020) az őszi búza levélbetegségeinek felmérésére az UAV alapú, NDVI felvételeket használták. A kalászos levélbetegségek és az *Ustilago maydis* levéltünetei is hasonlóak, mivel a fertőzött levelek színét és sejtszerkezetét módosítják a kórokozók.

A GNDVI eredményei a tavalyi 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 alkalmas eszköz a növényi betegségek súlyossági szintjeinek azonosítására és értékelésére. Luo és munkatársai (2021) például az MDMV (Maize Dwarf Mosaic Virus) fertőzés tüneti súlyosságának megfigyelésére alkalmazták a GNDVI-t, kiváló eredményekkel kukorica állományokban.

A kísérleti eredmények tekintetében a takarmánykukorica hibrid értékeiben nem tapasztaltam nagy változatosságot. 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 lehetséges. A hibridek értékeinek összehasonlítására az NDVI és az ENDVI is megfelelő eredményeket produkált. 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 (ötözve machine learning [ML] alapú technikákkal) cirok hibridek azonosítására.

Liu és munkatársai (2022) UAV alapú felvételeket alkalmaztak rizs hibridek vetőmag előállításához. Ebben a tanulmányban is a multispektrális felvételek játszottak kiemelkedő szerepet. A magas korrelációs összefüggések a vegetációs indexek között szintén biztató eredményeket mutattak saját vizsgálataimban. A GNDVI és NDVI esetében $r = 0,83$ volt, az LCI és NDRE pedig $r = 0,973$. NJANE et. al. szintén hasonló korrelációs eredményeket kapott az index vizsgálatával kapcsolatosan. Továbbá Wang és munkatársai (2016) szintén az NDVI értékek idősoros elemzését végezték el kukorica növényi stressz azonosításának céljából. 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 GS NDVI értékek felvétele és vizsgálata is megtörtént. A 2022-es 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. A közepes pozitív korrelációt szintén több kutató is megfigyelt a paraméterek között. De negatív korreláció is előfordul sok esetben Yin, Q et. al 2023. A talajnedvesség, csapadékhiány extrém hőhatás negatívan befolyásolja 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/cm^3 , közepes dózis 7.500 spóra/cm^3 ; magas dózis $10.000 \text{ spóra/cm}^3$) 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 indexet számítottam ki NDVI, GNDVI, NDRE, LCI és ENDVI. A vizsgált vegetációs indexek közül az NDVI a csemegekukorica hibrid esetében megfelelő eredményeket produkált. A CS 0 parcella értékei esetében mind a három fertőzési szinttől szignifikánsan különbözött 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 stabilan alkalmasnak bizonyult a kórokozó által okozott elváltozások lekövetésére. A 2023-as SPAD és GS NDVI értékek tekintetében a Desszert R78-as

hibridben időpontonként csökkenés volt tapasztalható a SPAD értékekben. Illetve a mérési időpontok statisztikailag igazolható hatást mutattak mind a SPAD és a GS NDVI értékekre egyaránt. A korrelációs vizsgálatok sok esetben közepes pozitív korrelációt mutattak a paraméterek között. (SZÉLES et al. 2023, SZILÁGYI et al. 2021) A korrelációs kapcsolat a paraméterek között többnyire fenn áll és optimális körülmények között (nagyon erős pozitív kapcsolat áll fenn) egymás prediktorai is lehetnek. (JI et al. 2023) A kapott korrelációs eredmények Suplito M. et. al 2020 kutatásaival hasonló eredmények születtek cukornád növény esetében.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás fő célja a növényi kórokozók detektálhatósága és azok területi terjedésének nyomonkövetése volt. 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 termés minőségi és mennyiségi károkat okoznak. A VIS-SWIR távérzékelési technológia által nyújtott széleskörű és pontos területi adatgyűjtés egy új bázisa a fenntartható és precíziós mezőgazdaság gyakorlatának. A kutatásban egy DJI Phantom 4 Multispectral mezőgazdasági UAV-t használtam, amely magas minőségű és részletes adattérképeket biztosított a területről. A kutatás 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 lehetőségei. 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 alkalmazhatósága korai vagy már kialakult fertőzések azonosítására, illetve a kórfolyamat fejlődési dinamikájának 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, Dessert 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 célok elérésére. A 2021-es eredmények alapján a vizsgált csemegekukorica hibrid Dessert 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

variacionaalízis 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 vizsgálatai során több fontos tényező is megerősítést, illetve újabb összefüggések feltérképezésére került sor. Szinte minden esetben a felvételezési időpontok hatással vannak a SPAD és GS NDVI értékekre. A kezelések nagyobb arányban nem mutattak statisztikailag igazolható hatásokat a mért értékekre. A két paraméter között optimális körülmények között erős pozitív korreláció áll fenn, ezáltal egymás prediktorai, illetve különböző prediktor modellekben is jól alkalmazható paraméterek. Az évjáráthatás rendkívül befolyásolja a GS NDVI és SPAD közötti korrelációs értéket. A hibrid szeparációs vizsgálatok (szintén variacionaalízisre alapozva) a csemegekukorica Desszert R78 és a Pioneer P9025 VI értékeinek elkülönítése alapján közelítették meg. 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 eltérése. Különösen nagy csökkenést mutattak a legmagasabb spóradosissal kezelt csemegekukorica hibridek parcelláinak értékei. A takarmánykukorica hibridek (P9025) esetében szintén az előző évekkal 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.

Annak ellenére, hogy Magyarországon a drónos monitoring technológia pár éve jelent meg, az európai piacon 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.

7. SUMMARY

The main goal of this research was to determine the detectability of plant pathogen [*Ustilago maydis* [DC. Corda] and the monitoring of their territorial spread through VI data distribution. The tests were carried out for three years. Plant pathogens cause significant crop quality loss and quantity damage every year. The extensive and accurate spatial data collection provided by VIS-SWIR remote sensing technology is a new pillar of the practice of sustainable and precision agriculture. In this research, I used a DJI Phantom 4 Multispectral agricultural UAV, which provided high-quality and detailed vegetation maps of the area. In connection to the objectives of this research, I identified 4 main directions: 1. Detailed investigation of the spectral properties of the infected and healthy plant population based on multispectral recordings. 2. Appropriate data processing and data analysis options for plant protection purposes. 3. Identification of data distributions and deviations in the field and the application of the correct methodological steps. 4. Furthermore, a very important element was the applicability of the technology to identify early or already existing infections and follow the development dynamics of those diseases. Changes in the values of the vegetation indices caused by inoculations with different spore concentrations, and the selection of the vegetation indices suitable for identifying such problems.

The year 2021 was the first year of experiments, where I used two fodder maize hybrids (Pioneer P9025, Armagnac) and two sweet corn hybrids (NOA, Dessert R73). Based on the results of the first year, I used a unique RMA model to identify the dynamic change between the infection levels and the change in the vegetation index values caused by the smut fungus infection. In the year 2021, three vegetation indices were successfully applied to achieve the main goals of the study. Based on the result achieved in 2021, LCI, NDVI and GNDVI were successfully applied to the data series measured in the given year in case of the studied sweet maize hybrid (Dessert R73). In the following year, the research was focused on a more detailed mapping of the relationships between the severity of the infection and the vegetation indices. Of the sweet corn and fodder corn hybrids, only the hybrids that showed promising results in the first year were used in four treatments in three repetitions. The variance analysis tests showed good results to prove the reduction of VI values caused by the infection, especially in the case of the sweet corn (Dessert R78). NDVI and GNDVI were also suitable tools for this purpose in the second experimental year. In the future, the correlation studies and the examination of the

importance of the territorial data distributions were meant to reveal a more detailed relationship between the vegetation indices, which in many cases was the same as the research found in the international literature, and the results obtained in the present research could further strengthen these. Several important factors were confirmed and new correlations explored in the SPAD and GS NDVI analyses. In almost all cases, the dates of inclusion have an impact on the SPAD and GS NDVI values. A higher proportion of treatments did not show statistically verifiable effects on the measured values. Under optimal conditions, there is a strong positive correlation between the two parameters, making them predictors of each other and well-suited for use in different predictor models. The seasonal effect has a strong influence on the correlation between GS NDVI and SPAD. The hybrid separation tests were also based on the variance analysis based on the separation of the sweet corn Desszert R78 and Pioneer P9025 VI values. In the case of hybrids, NDVI and ENDVI showed adequate results for this type of use. In the last experimental year, the hybrids used in the previous year were sown, with similar settings, four treatments in three repetitions. The multispectral UAV data collected in the third year further confirmed the results obtained in the previous year. The NDVI values continued to decrease this year as the infection doses increased, and the difference in the averages could also be verified in the case of the GNDVI. The values of the plots of the sweet corn hybrids treated with the highest dose showed a particularly high rate of decrease. In the case of fodder corn hybrids (P9025), the same findings as in previous years were also found, that if the symptoms did develop in the infected plots, they did not cause serious growth retardation or tissue damage in the florets. Based on the test results, VIS-SWIR remote sensing technology is a fairly effective system for identifying corn smut [*Ustilago maydis* [DC] Corda] infection. Despite the fact that the monitoring technology appeared in Hungary a few years ago, it appeared on the European market around the end of 2019 and around 2020. Since then, many laws and regulations have been changed and formed in drone technology. Spectral properties and their examination have a history of several decades, however, their easier access and the fact that the technology becomes more user-friendly every year contributes significantly to the precision agricultural application, especially in the use for plant protection purposes.

8. 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 becslő 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].

9. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. A teljes adatszűrési és adattisztítási folyamat alkalmazását követően GIS rendszerekben elvégezhető területi különbségek részletesebb feltárása.
2. Az NDVI, GNDVI, ENDVI, és LCI vegetációs indexek alkalmazása más betegségek azonosítására, esetlegesen lehetséges a módszertan adaptálása más növényi kultúrákra.
3. A csemegekukorica Desszert R73 és Desszert R78-as állományok pontos és részletes növényegészségügyi felmérése VI-k használatával.
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 történjen (precíz időpont választást igényel).

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Dr. Tamás András adjunktusnak, a kísérletekben és a dolgozatomban nyújtott támogatásáért.

Köszönetemet szeretném kifejezni a DE-MÉK Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet munkatársainak, hallgatótársaimnak, akik aktívan segítettek a munkámat a doktori képzés alatt.

Végül pedig köszönettel és hálával tartozom a családomnak, akik bátorítottak és támogattak a kutatómunkám és a dolgozatom elkészítésének időszakában.

10. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. ábra: RGB kamera és a spektrum görbék.....	16
2. ábra: Phantom 4 Multispectral 6 kamerás rendszere	17
3. ábra: Sentera Double4K NDVI+NDRE	18
4. ábra: Sentinel 2 MSI	19
5. ábra: SPAD-502 relatív klorofilltartalom mérő műszer.....	25
6. ábra: Trimble GS NDVI mérőműszer	26
7. ábra: Golyvásüszög fertőzés kukoricacsövön.....	29
8. ábra: 2021-es kísérleti terület a DE-MÉK NVI bemutatókertjében.....	32
9. 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	34
10. 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)	36
11. ábra: 10.000 spóra/mL koncentrációjú fertőző anyag	37
12. ábra: DJI P4M.....	39
13. ábra: 2021 UAV Repülési paraméterek és a misszió az irányítószoftver felületén (DJI GS PRO, Ipad Mini IOS)	39
14. ábra: Mintavételi boxok a kísérleti területen 2023. QGIS 3.36 környezetben.....	42
15. ábra: 2023-as felmérés; Az UAV haladási iránya, a misszió útvonala és a kötési pontok láthatóak további rekonstrukciós paraméterekkel kiegészítve.....	42
16. ábra: WebODM quality reportja; a kötési pontok pontos mennyisége és a rekonstrukció minősége látható	43
17. ábra: Zónastatisztikák és a mintavételi „sample boxok” helyzete 2021.	46
18. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid NDVI értékek eredményei	49
19. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid LCI értékek eredményei	50
20. ábra: Desszert R73 csemegekukorica hibrid GNDVI értékek eredményei.....	51
21. ábra: Az Armagnac hibrid SPAD átlagértékei időpontonként.....	52
22. ábra: Az Armagnac hibrid GS NDVI értékei időpontonként.....	53
23. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Armagnac hibrid esetén	55
24. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei	56
25. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	57
26. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén	59
27. ábra: A Desszert R73 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei.....	59
28. ábra: A Desszert R73 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	61
29. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye Desszert R73 hibrid esetén	63
30. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye Desszert R73 hibrid esetén	63
31. ábra: SPAD és GS NDVI paraméterek között fennálló korrelációs kapcsolat Desszert R73 hibrid esetében.....	64
32. ábra: Desszert R73 SPAD értékek varianciaanalízis vizsgálat eredményei	65
33. ábra: NOA hibrid SPAD értékei közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei időpontonként	66
34. ábra: NOA hibrid GS NDVI értékei közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei időpontonként	68

35. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye NOA hibrid esetén (1-3. időpont) ...	69
36. ábra: GS NDVI- SPAD korreláció eredménye NOA hibrid esetén (1-5. időpont) ...	70
37. ábra: A fertőzés következtében kialakult golyvásüszög tünetek Desszert R78 hibriden	71
38. ábra: Desszert R78 csemegekukorica hibrid NDVI, GNDVI, ENDVI, NDRE és LCI indexértékek adateloszlása	72
39. ábra: GNDVI és NDVI korrelációs vizsgálata csemegekukorica Desszert R78 hibridben	73
40. ábra: LCI és NDVI korrelációs vizsgálata csemegekukorica Desszert R78 hibridben	74
41. ábra: A vizsgált vegetációs indexek korrelációs mátrixa	75
42. ábra: A P9025 takarmánykukorica hibrid NDVI, GNDVI, ENDVI, NDRE és LCI indexértékek adateloszlása	78
43. ábra: Az NDVI átlagértékek a P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibridek esetében	80
44. ábra: Az ENDVI átlagértékek a P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) esetében	82
45. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	83
46. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei <i>Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022).</i>	84
47. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén (1-2. időpont) <i>Forrás: saját szerkesztés (Debrecen, 2022).</i>	85
48. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén (1-3. időpont)	86
49. ábra: A P9025 hibrid SPAD átlagértékei kezelésenként	87
50. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	88
51. ábra: A GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén (1-2. időpont)	89
52. ábra: A GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén (1-3. időpont)	90
53. ábra: A GNDVI átlagértékei P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibrid esetében kezelésenként	92
54. ábra: Az NDVI értékek adateloszlása hisztogrammal és adat sűrűséggel szemlélítve Desszert R78 (CS) és P9025 (T) hibridek esetén	93
55. ábra: Az NDVI átlagértékek P9025 (T) és a DesszertR78 (CS) hibridek esetében kezelésenként	94
56. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért SPAD átlagértékei	96
57. ábra: A Desszert R78 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	97
58. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye Desszert R78 hibrid esetén	98
59. ábra: A P9025 hibrid különböző időpontokban mért GS NDVI átlagértékei	99
60. ábra: GS NDVI - SPAD korreláció eredménye P9025 hibrid esetén	100
61. ábra GS NDVI és SPAD értékei közötti korrelációs vizsgálat eredményei (teljes adatsor)	101
62. ábra: Desszert R78 NDVI, GNDVI, LCI közötti varianciaanalízis vizsgálat eredményei évenként	102

1. táblázat: Sentinel műholdak sáv szélessége és spektrális felbontása	9
2. táblázat: Sentinel 2 műhold csatornáiból számítható VI formulák	19
3. táblázat: A kukoricagolyväsüsözög (<i>Ustilago maydis</i>) fertözés súlyosságának bonitálási skálája	38
4. táblázat: UAV repülési paraméterek	40
5. táblázat: Vegetációs indexek és a számítási formulák	41
6. táblázat: Vegetációs indexek számítási formulái	44
7. táblázat: Vegetációs indexek eredményei Desszert R73 RMA modell	47
8. táblázat: A különbözö idöpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Armagnac hibrid esetén	52
9. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Armagnac hibrid esetén	54
10. táblázat: A különbözö idöpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén	56
11. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén	58
12. táblázat: A különbözö idöpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R73 hibrid esetén	60
13. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R73 hibrid esetén	61
14. táblázat: Desszert R73 csemegekukorica hibrid SPAD varianciaanalízis eredményei	65
15. táblázat: A különbözö idöpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye NOA hibrid esetén	67
16. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye NOA hibrid esetén	68
17. táblázat: NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben	76
18. táblázat: GNDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben	77
19. táblázat: A Desszert R78 és P9025 hibridek NDVI értékeinek összehasonlítása (varianciaanalízis)	79
20. táblázat A Desszert R78 és P9025 hibridek ENDVI értékeinek összehasonlítása (varianciaanalízis)	81
21. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén	83
22. táblázat: A különbözö idöpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén	84
23. táblázat: A SPAD értékek varianciaanalízis eredménye kezelésenként a P9025 hibrid esetén	87
24. táblázat: A különbözö idöpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén	88
25. táblázat: A GNDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben ..	92
26. táblázat: Az NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibridben ..	94

27. táblázat: A különböző időpontokban mért SPAD értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén	96
28. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye Desszert R78 hibrid esetén	97
29. táblázat: A különböző időpontokban mért GS NDVI értékek varianciaanalízis eredménye P9025 hibrid esetén	99
30. táblázat Desszert R78 VI (NDVI, GNDVI és LCI) varianciaanalízis eredményei .	102

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abdulridha, J., Ampatzidis, Y., Kakarla, S. C., & Roberts, P. (2020): Detection of target spot and bacterial spot diseases in tomato using UAV-based and benchtop-based hyperspectral imaging techniques. *Precision Agriculture*, 21, 955-978.
2. Aikio, M.: (2001): Hyperspectral prism-grating-prism imaging spectrograph. VTT Electronics. Technical Research Center of Finland. Espoo. 125 p.
3. Albetis, J., Duthoit, S., Guttler, F., Jacquin, A., Goulard, M., Poilvé, H., ... & Dedieu, G. (2017): Detection of Flavescence dorée grapevine disease using unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral imagery. *Remote Sensing*, 9(4), 308.
4. Alexopoulos, C.I. and Mims C.W. (1979): *Introductory Mycology*. Wiley, New York.
5. AMERICAN ACADEMY OF ALLERGY AND IMMUNOLOGY (AAAAI) (1995): *Pollen and Spore Report*. American Academy of Allergy and Immunology, Milwaukee, WI.
6. Anai T, Sasaki T, Osaragi K, Yamada M, Otomo F, Otani H (2012): Automatic exterior orientation procedure for low-cost UAV photogrammetry using video image tracking technique and GPS information. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia, 39 (7)
7. Aranguren, M., Castellón, A., & Aizpurua, A. (2020): Wheat yield estimation with NDVI values using a proximal sensing tool. *Remote Sensing*, 12(17), 2749.
8. Balassa B. – Nagyvárad L. – Szebényi A. (2007): Study of the relationship between traffic and suburbanization in Budapest agglomeration with GIS methods. In: *Traffic influence on the regional development of Bosnia and Hercegovina and neighbouring countries in the process of approaching European Union*. Tuzla, p. 22.
9. Ballester, C.; Hornbuckle, J.; Brinkhoff, J.; Smith, J.; Quayle, W. (2017): Assessment of in-season cotton nitrogen status and lint yield prediction from unmanned aerial system imagery. *Remote Sens.*, 9, 1149.

10. Bannari, D. – Morin, D. – Bonn, F. – Huete, A. R.: (1995): A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*. 13 (1-2): 95-120.
11. Barazzetti L, Remondino F, Scaioni M (2010): Fully automated UAV image-based sensor orientation. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Calgary, Canada, 38(1),
12. Barazzetti L, Scaioni M, Remondino F (2011): Orientation and 3D modeling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *Photogramm Rec* 25(132):356–381
13. Barnes, E. M., T. R. Clarke, ET AL. (2000): "Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data." *Proc. 5th Int. Conf. Precis Agric*. Bloomington, MN, USA
14. Basse, Cw. - Steinberg, G. (2004): *Ustilago maydis*, model system for analysis of the molecular basis of fungal pathogenicity. *Molecular Plant Pathology* 5 (2): 83-92. <<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00210.x>>
15. Berke J. – Hegedűs GY. CS. – Kelemen D. – Szabó J. (1996): *Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai*. Keszthelyi Akadémia Alapítvány, Keszthely, 202 p.
16. Berke J. – Kelemen D. – Szabó J.: (2004): *Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai*. PICTRON Kft., Keszthely. 80 p.
17. Bhandari, M., Ibrahim, A. M., Xue, Q., Jung, J., Chang, A., Rudd, J. C., ... & Landivar, J. (2020): Assessing winter wheat foliage disease severity using aerial imagery acquired from small Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105665.
18. Bhandari, S.; Raheja, A.; Chaichi, M.R.; Green, R.L.; Do, D.; Pham, F.H.; Aansari, M.; Wolf, J.G.; Sherman, T.M.; Espinas, A. (2018): Lessons Learned from UAV-Based Remote Sensing for Precision Agriculture. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Dallas, TX, USA, 12–15 June 2018; pp. 458–467.
19. Blackmore, B. S. (1994): Precision Farming; An Introduction. *Outlook on Agriculture*, Vol. 23 (4), pp. 275-280.
20. Blackmore, B. S. (2000): The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol 26 (2000), pp. 37-51.
21. Bölker, M. (2001): *Ustilago maydis*- a valuable model system for the study of fungal dimorphism and virulence. *Microbiology* 147: 1395-1401.

22. Brown DC (1976): The bundle adjustment—progress and prospects. In: International Archives of Photogrammetry, 21(3)
23. Bugya T. – Fábrián SZ. Á. – Geresdi I. – Gyenizse P. – Nagyváradi L. – Pirkhoffer E. (2006): A térinformatika módszerei és alkalmazásai I. Egyetemi jegyzet
24. Cabrera-Bosquet, L. – Molero, G. – Stellacci, A. M. – Bort, J. – Nogués, S. – Araus, J. L.: (2011): NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*. 39 (1): 147-159.
25. Champagne, C. – Pattey, E. – Bannari, A. – Strachan, I. B.: (2001): Mapping crop water status: Issues of scale in the detection of crop water stress using hyperspectral indices. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Aussois, France. 79-84.
26. Chappelle, E. W., Kim, M. S., & McMurtrey III, J. E. (1992): Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. *Remote sensing of environment*, 39(3), 239-247.
27. Christensen, J. J. (1963): Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Monograph No. Am Phytophatol. Soc., Saint Paul.
28. Clevers, J. G. P. W. – Kooistra, L. – Schaepman, M. E.: (2008): Using spectral information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 10 (3): 388-397.
29. Colomina I, Aigner E, Agea A, Pereira M, Vitoria T, Jarauta R, Pascual J, VENTURA J, SASTRE J Brechbühler De Pinho G, Derani A, Hasegawa J (2007): The uVISION project for helicopter-UAV photogrammetry and remote-sensing. Proc. of the 7th International Geomatic Week, Barcelona, Spain
30. COPERNICUS (2022): https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/266422/Sentinel-2-MSI_overview.jpg
31. Datt, B. (1999): A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: Tests using Eucalyptus leaves. *J. Plant. Physiol.* 1999, 154, 30–36.

32. De Castro, A. I., Ehsani, R., Ploetz, R., Crane, J. H., & Abdulridha, J. (2015): Optimum spectral and geometric parameters for early detection of laurel wilt disease in avocado. *Remote Sensing of Environment*, 171, 33-44.
33. De Castro, A.I.; Torres-Sánchez, J.; Peña, J.M.; Jiménez-Brenes, F.M.; Csillik, O.; López-Granados, F. (2018): An Automatic Random Forest-OBIA Algorithm for Early Weed Mapping between and within Crop Rows Using UAV Imagery. *Remote Sens.* 2018, 10, 285.
34. DE Mendinburu F. (2021): *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1. 3-5. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae> Available online: 25.01.2023
35. De Mendinburu F. (2021): *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1. 3-5. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
36. Detrekői Á. – Szabó GY. (2000): *Bevezetés a térinformatikába*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 250 p.
37. Di Gennaro, S. F., Battiston, E., Di Marco, S., Facini, O., Matese, A., Nocentini, M., ... & Mugnai, L. (2016): Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based remote sensing to monitor grapevine leaf stripe disease within a vineyard affected by esca complex. *Phytopathologia Mediterranea*, 262-275.
38. DJI (2022): <https://www.dji.com/hu/p4-multispectral> Letöltve: 2022.03.29
39. DRONE 24 (2022): <https://drone24.hu/termek/sentera-double-4k-true-ndvindre-gimbalos-kamera>
40. Eismann, M. T. (2012): *Hyperspectral Remote Sensing*. SPIE Press.
41. Érsek T. - Németh L. (2014): *Növénykórtan*. ÉTÉ Bt. Kiadó, Budapest 263pp.
42. Eugster H, Nebiker S (2008): UAV-based augmented monitoring– realtime georeferencing and integration of video imagery with virtual globes. In: *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, 37(B1): 1229–1235
43. Furukawa Y, Ponce J (2010): Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell (PAMI)* 32(8): 1362–1376
44. Gamon, J. A. – Qiu, H. L.: (1999): Ecological applications of remote sensing at multiple scales. [In: Pugnaire, F., Valladares, F. (szerk.): *Handbook of functional plant ecology*.] Marcel Dekker, New York. 805-845.

45. Gao, J.; Liao, W.; Nuytens, D.; Lootens, P.; Vangeyte, J.; Pižurica, A.; He, Y.; Pieters, J.G. (2018): Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2018, 67, 43–53
46. Garcia-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J. M., Lee, W. S., Rasmussen, J., & Ehsani, R. (2013): Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106-115.
47. Gates, D. M. – Keegan, H. J. – Schleter, J. C. – Weidner, V. R.: (1965): Spectral properties of plants. *Applied Optics*. 4. 11-20.
48. Gerke S, Morin K, Downey M, Boehrer N, Fuchs T (2010): Semi-global matching: an alternative to LiDAR for DSM generation? *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Calgary, Canada, 38 (1)
49. Gitelson, A.A.; Merzlyak, M.N. (1998): Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Adv. Space Res.* 1998, 22, 689–692.
50. Glits M. - Folk GY. (2000): *Kertészeti növénykórtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 75-150. p
51. Goetz, S. J., Bunn, A. G., Fiske, G. J., & Houghton, R. A. (2009): Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13521-13525.
52. Gruen A, Beyer H.A. (2001): System calibration through self-calibration. Calibration and orientation of cameras in computer vision. In: Gruen H (ed) *Springer Series in Information Sciences.*, pp 163–194
53. Gyenizse P. – Nagyvárad L. (2008): Térinformatikai eszközökkel támogatott projekttervezés felépítése. In: *Térinformatika és alkalmazása egyetemi jegyzet*. Szerk.: Nagyvárad L., Varga G., Pécs, pp. 77-90.
54. Halwagy, M.H. (1989): Seasonal airspora at three sites in Kuwait 1977-1982. *Mycol. Res.* 93, 208-213.
55. Hamilton, E.D. (1959): Studies on the air spora. *Acta Allergol.* 13, 152-153.
56. Hartley R, Zisserman A (2004): *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press

57. Hirschmüller H (2008): Stereo processing by semi-global matching and mutual information. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 30(2): 328–341
58. Hirst I.M. (1953): Changes in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 36, 375-393.
59. Hnizil, O., Baidani, A., Khilila, I., Nsarellah, N., Laamari, A., & Amamou, A. (2024): Integrating NDVI, SPAD, and Canopy Temperature for Strategic Nitrogen and Seeding Rate Management to Enhance Yield, Quality, and Sustainability in Wheat Cultivation. *Plants*, 13(11), 1574.
60. Horthon, T., Hornik, K., Strobl, C., & Zeileis, A. (2022): A Laboratory for Recursive Partytioning. [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=party>.
61. Horváth J. (1995): A szántóföldi növények betegségei. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 327 pp.
62. <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>
63. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mezo/2020/index.html>
64. Huzsvai L. – Balogh P.: (2015): Lineáris modellek az R-ben. Seneca Books, Debrecen. 109–124. http://seneca-books.hu/doc/Linearis_modellek.pdf
65. Ji, J., Li, N., Cui, H., Li, Y., Zhao, X., Zhang, H., & Ma, H. (2023): Study on monitoring SPAD values for multispatial spatial vertical scales of summer maize based on UAV multispectral remote sensing. *Agriculture*, 13(5), 1004.
66. Jones, H. G. – Vaughan, R. A.: (2010): Remote sensing of vegetation. Oxford University Press. 384.
67. Jorge, J.; Vallbé, M.; Soler, J.A. (2019): Detection of irrigation inhomogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. *Eur. J. Remote Sens.* 2019, 52, 169–177.
68. Kassambara, A. & Mundt, F. (2020): factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.
69. Kaur, R., Singh, B., Singh, M., & Thind, S. K. (2015): Hyperspectral indices, correlation and regression models for estimating growth parameters of wheat genotypes. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43, 551-558.
70. Knipling, E. B.: (1970): Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1 (3): 155-159.

71. Křížová, K., Haberle, J., Kroulík, M., Kumhálová, J., & Lukáš, J. (2018): Assessment of soil electrical conductivity using remotely sensed thermal data.
72. Kruse, F. A. – Boardman, J. W. – Huntington, J. F.: (2003):. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41 (6): 1388-1400.
73. Kuhn, M., et.al. (2022): caret: Classification and Regression Training. (Version 6.0-93) [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>.
74. Lapidus, D., Salem, M. E., Beach, R. H., Zayed, S., & Ortiz-Monasterio, I. (2022): Greenhouse gas mitigation benefits and profitability of the GreenSeeker Handheld NDVI sensor: evidence from Mexico. *Precision Agriculture*, 23(6), 2388-2406.
75. Levetin, E. (1995): Fungi. In: H. Burge (Ed.), *Bioaerosols*. Lewis, Boca Raton, FL, pp. 87-120.
76. Lillesand, T. – Kiefer, R. W.: (1994): *Remote sensing and image interpretation*. John Willey & Sons. 3rd edition. 768 p.
77. Lin, S., Li, J., Liu, Q., Li, L., Zhao, J., & Yu, W. (2019): Evaluating the effectiveness of using vegetation indices based on red-edge reflectance from Sentinel-2 to estimate gross primary productivity. *Remote Sensing*, 11(11), 1303.
78. Liu, H., Qi, Y., Xiao, W., Tian, H., Zhao, D., Zhang, K., ... & Zhang, Y. (2022): Identification of male and female parents for hybrid rice seed production using UAV-based mul-tispectral imagery. *Agriculture*, 12(7), 1005.
79. Luo, L., Chang, Q., Wang, Q., & Huang, Y. (2021): Identification and severity monitoring of maize dwarf mosaic virus infection based on hyperspectral measurements. *Remote Sensing*, 13(22), 4560.
80. Maimaitijiang, M.; Ghulam, A.; Sidike, P.; Hartling, S.; Maimaitiyiming, M.; Peterson, K.; Shavers, E.; Fishman, J.; Peterson, J.; Kadam, S.; et al. (2017): Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 134, 43–58.
81. Marcial-Pablo, M.D.J.; Gonzalez-Sanchez, A.; Jimenez-Jimenez, S.I.; Ontiveros-Capurata, R.E.; Ojeda-Bustamante, W. (2019): Estimation of vegetation fraction using RGB and multispectral images from UAV. *Int. J. Remote Sens.* 2019, 40, 420–438.

82. Marino, S.; Alvino, A. (2018): Detection of homogeneous wheat areas using multi-temporal UAS images and ground truth data analyzed by cluster analysis. *Eur. J. Remote Sens.* 2018, 51, 266–275
83. Martinkova, P., & Drabinova, A. (2018): ShinyItemAnalysis: for teaching psychometrics and to enforce routine analysis of educational tests. [R package]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ShinyItemAnalysis>.
84. Mazaheri - Naeini, M. - Sabbagh, Sk. - Martinez, Y. - Séjalon – Delmas, N. - Roux, C. (2015): Assessment of *Ustilago maydis* as a fungal model for root infection studies. *Fungal Biology*, 119 (2-3), pp. 145-153. <<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.12.002>>
85. Menyhért Z. (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 375–388
86. Milics G. – Neményi M. (2007): Adatgyűjtés műszaki és informatikai háttere. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 139-159.
87. Mishra, R.P. (1987): Studies on seasonal and diurnal variations in the occurrence of airborne spores of basidiomycetes. *Perspect. Mycol. Res.* I, 243-252.
88. Nagy A. – Tamás J. – Szabó Z. – Soltész J. – Nyéki J.: (2010): Fejlett nem invazív technológiák alkalmazása almatermésűek vízkészlet-gazdálkodásának értékelésére. [In: Kovács Gy. – Gelencsér G. (szerk.): Élhető vidékért 2010. Környezetgazdálkodási Konferencia Természeti Erőforrásaink a Globális Környezeti Folyamatok Tükrében, Siófok. 325-331.
89. Nagyváradai L. – Gyenizse P. – Pirkhoffer E. – Elekes T. (2006): A GIS analysis of urban development in Pécs – In: G. J. Halasi-Kun (Ed.): Pollution and water resources Columbia University seminar proceedings, Volume XXXVI. 2004-2005, Hungarian Academy of Sciences Centre for Regional Studies Transdanubian Research Institute, Pécs, Hungary, pp. 257-265.
90. Nagyváradai L. – Pirkhoffer E. (2005): A modern geográfia kihívása: a térinformatika önkormányzati alkalmazásának új lehetőségei. *Földrajzi Közlemények*.
91. Nagyváradai L. – Varga G. (2008): Térinformatika és alkalmazásai. Egyetemi jegyzet, Pécs, 101 p.
92. Näsi, R Viljanen, N.; Kaivosoja, J.; Alhonoja, K.; Hakala, T.; Markelin, L.; Honkavaara, E. (2018): Estimating Biomass and Nitrogen Amount of Barley and

- Grass Using UAV and Aircraft Based Spectral and Photogrammetric 3D Features. *Remote Sens.* 2018, 10, 1082.
93. Neitzel F, Klonowski J (2011): Mobile 3D mapping with low-cost UAV system. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zurich, Switzerland*, 38 (1/C22)
 94. Neményi M. – Mesterházi P. Á. – Milics G. (2006): An Application of Tillage Force Mapping as a Cropping Management Tool. *Biosystems Engineering, Academic Press, Elsevier Science Ltd. Vol. 94, Iss. 3, July 2006, pp. 351-357.*
 95. Neményi M. – Mesterházi P. Á. – Pecze ZS. – Stépán ZS. (2003): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 40. (1- 3), pp. 45-55.*
 96. Neményi M. – Tamás J. – Fenyvesi L. – Milics G.: (2010). A távérzékelés alkalmazása a biomassza és a vízkészletek mennyiségének, valamint minőségének megállapításánál. [In: Csete L. (szerk.): *Klíma-21 Füzetek.*] 59. *Klímaváltozás-Hatások-Válaszok. MTA-KSZI Klímavédelmi Kutatások Koordinációs Iroda, Budapest, 51-60.*
 97. Nigon, T. J., Mulla, D. J., Rosen, C. J., Cohen, Y., Alchanatis, V., & Knight, J. (2016): Hyperspectral airborne remote sensing for precision agriculture: Opportunities and challenges. *Precision Agriculture, 17(4), 671-691.*
 98. 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.*
 99. Oglesby, C., Fox, A. A., Singh, G., & Dhillon, J. (2022): Predicting In-Season Corn Grain Yield Using Optical Sensors. *Agronomy, 12(10), 2402.*
 100. Oliver, M. A. – Webster, R. (1991): How geostatistics can help You. *Soil Use Management, Vol 7, pp. 206-217.*
 101. Palmer, S. C. J., Kutser, T., & Hunter, P. D. (2015): Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. *Remote Sensing of Environment, 157, 1-8.*
 102. Papadopoulos, E., & Melessanaki, K. (2016): Multispectral imaging techniques for the study of cultural heritage. In *Proceedings of the International Conference on Digital Heritage.*
 103. Pascuzzi, S.; Anifantis, A.S.; Cimino, V.; Santoro, F. Unmanned aerial vehicle used for remote sensing on an apulian farm in southern Italy (2018): In

- Proceedings of the 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia, 23–25 May 2018; pp. 23–25.
104. Patil, I. (2018): ggstatsplot: 'ggplot2' Based Plots with Statistical Details. [R package]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ggstatsplot>.
105. Peñuelas, J. – Pinol, J. – Ogaya, R. – Filella, I.: (1997): Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18 (13): 2869-2875.
106. Pepó, P. (2009): A kukorica (*Zea mays* L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 58(3), 53-66.
107. Pécsi S. (1997): A kukorica betegségei. pp. 49-60. in: GLIST M. - HORVÁTH J. - KUROLI G. - PETRÓCZI I. (szerk.): *Növényvédelem*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
108. Pfeifer N, Glira P, Briese C (2012): Direct georeferencing with on board navigation components of light weight UAV platforms. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia, 39(7)
109. Pierrot-Deseilligny M, Clery I (2011): APERO, An Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of Set of Images. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38 (5/W16), Trento, Italy,
110. Pierrot-Deseilligny M, Paparoditis N (2006): A multiresolution and optimization-based image matching approach: an application to surface reconstruction from SPOT5-HRS stereo imagery. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Antalya, Turkey, 36 (1/W41),
111. Pirkhoffer E. (2005): Térinformatikával segített rekultiváció, Pécs város bányaterületeinek példáján. In: Bugya T. – Wilhelm Z. (szerk.): *Tanulmányok Tóth Józsefnek*. Földrajzi Intézet, Pécs, pp. 199-209.
112. Purkis, S. J. – Klemas, V. V.: (2011): *Remote sensing and global environmental change*. John Willey & Sons. 384 p.
113. Quan, W. – Adikua, S. – Tenhunena, J. – Granierb, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment* 94 (2): 244-255.

114. Quebrajo, L.; Perez-Ruiz, M.; Pérez-Urrestarazu, L.; Martínez, G.; Egea, G. (2018): Linking thermal imaging and soil remote sensing to enhance irrigation management of sugar beet. *Biosyst. Eng.* 2018, 165, 77–87.
115. R Core Team (2021): R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).
116. R CORE TEAM (2022): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/> Available online: 25.01.2023
117. Rands, M. (1995): The development of an expert filter to improve the quality of yield mapping data. MSc tézis, Silsoe College, Cranfield University, UK., kézirat
118. Rasmussen J, Ntakos G, Nielsen J, Svendsgaard J, Poulsen Rn, Christensen S. (2016): Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *Eur J Agron.* 74:75–92.
119. Remondino F, Fraser C (2006): Digital cameras calibration methods: considerations and comparisons. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci* 36(5):266–272
120. Robertson DP, Cipolla R (2009): Structure from Motion. *Practical Image Processing and Computer Vision*, John Wiley, Varga, M (eds)
121. Robinson, T. P. – Metternicht, G. (2005): Comparing the performance of techniques to improve the quality of yield maps. *Agricultural Systems* 85 (2005) Elsevier Science Ltd., pp. 19-41.
122. Rouse, J. W. – Haas, R. H. – Schell, J. A. – Deering, D.W.: (1973): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351 1*: 309-317.
123. RSTUDIO Team (2022): RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com/> Available online: 25.01.2023
124. Rubulis, J. (1984): Airborne fungal spores in Stockholm and Eskilstuna, Central Sweden. *Nordic Aerobiology*, pp. 85-93.
125. 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.

126. Seitz S, Curless B, Diebel J, Scharstein D, Szeliski R (2006): A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms. Proc. IEEE Conf. CVPR'06, New York, 17–22 June 2006, 1:519–528
127. Seol, H. (2023): seolmatrix: Correlations suite for jamovi. (Version 3.7.1) [jamovi module]. URL <https://github.com/hyunsooseol/seolmatrix>.
128. Seol, H. (2023): snowCluster: Multivariate Analysis. (Version 7.1.7) [jamovi module]. URL <https://github.com/hyunsooseol/snowCluster>.
129. Serdar Balci (2022): ClinicoPath jamovi Module doi:10.5281/zenodo.3997188. [R package]. Retrieved from <https://github.com/sbalci/ClinicoPathJamoviModule>. link.
130. Shaheen, Ina'am (1992): Aeromycology of Amman area, Jordan. Grana 31, 223-228.
131. Smith, R. B.: (2006): Introduction to hyperspectral imaging with TNTmips®. MicroImages Tutorial. Lincoln, Nebraska. 24 p.
132. Snavely N, Seitz SM, Szeliski R (2008): Modeling the world from Internet photo collections. Int J Comput Vis 80(2):189–210
133. Snavely S, Seitz SM, Szeliski R (2007): Modeling the world from internet photo collections. Int J Comput Vis 2(80):189–210
134. Sobayo, R.; Wu, H.H.; Ray, R.; Qian, L. (2018): Integration of Convolutional Neural Network and Thermal Images into Soil Moisture Estimation. In Proceedings of the 2018 1st International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS), South Padre Island, TX, USA, 8–10 April 2018; pp. 207–210.
135. Sudu, B., Rong, G., Guga, S., Li, K., Zhi, F., Guo, Y., ... & Bao, Y. (2022): Retrieving SPAD values of summer maize using UAV hyperspectral data based on multiple machine learning algorithm. Remote Sensing, 14(21), 5407.
136. Suplito, M. R., David, F. B., & Olalia, L. C. (2020): Relationship of vegetation indices and SPAD meter readings with sugarcane leaf nitrogen under Pampanga Mill District, Philippines condition. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 540, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
137. Szabó J. – Milics G. – Tamás J. – Pásztor L. (2007): Térinformatika a precíziós mezőgazdaságban. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 39-62.

138. Széles, A., Horváth, É., Simon, K., Zagy, P., & Huzsvai, L. (2023): Maize production under drought stress: nutrient supply, yield prediction. *Plants*, 12(18), 3301.
139. Szilágyi, A., Radócz, L., Hájos, M. T., Juhász, C., Kovács, B., Kovács, G., ... & Szőke, L. (2021). The impacts of woolly Cupgrass on the antioxidative system and growth of a maize hybrid. *Plants*, 10(5), 982.
140. 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
141. Tamás J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 144 p.
142. The jamovi project (2022): jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
143. Thylén, L. – Murphy, D.P.L. (1996): The control of Errors in Momentary Yield Data from Combine Harvesters. *J. of Agricultural Engineering Research*, Vol. 64., Issue 271.
144. Tózsá I. (2001): *A térinformatika alkalmazása a természeti és humán erőforrásgazdálkodásban*. Aula kiadó, Budapest, 190 p.
145. Triggs W, Mclauchlan P, Hartley R, Fitzgibbon A (2000): Bundle adjustment – A modern synthesis. Eds W. Triggs, A. Zisserman, and R Szeliski *Vision Algorithms: Theory and Practice*, LNCS, Springer Verlag, pp. 298–375.
146. Tucker, C. J.: (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8: 127-150.
147. Tupin, F. – Inglada, J. – Nicolas, J.-M.: (2014): *Remote sensing imagery*. John Willey & Sons and ISTE. 368 p.
148. Vanky, K. (1987): *Illustrated Genera of Smut Fungi*. Gustav Fischer, Stuttgart.
149. Varela, S.; Dhodda, P.; Hsu, W.; Prasad, P.; Assefa, Y.; Peralta, N.; Griffin, T.; Sharda, A.; Ferguson, A.; Ciampitti, I. (2018): Early-season stand count determination in corn via integration of imagery from unmanned aerial systems (UAS) and supervised learning techniques. *Remote Sens.* 2018, 10, 343.
150. Vu H, Keriven R, Labatut P, Pons J-P (2009): Towards high-resolution large-scale multi-view stereo. *Proc. IEEE Conf. CVPR'09*, 1430– 1437

151. Wan, L.; Li, Y.; Cen, H.; Zhu, J.; Yin, W.; Wu, W.; Zhu, H.; Sun, D.; Zhou, W.; He, Y. (2018): Combining UAV-Based Vegetation Indices and Image Classification to Estimate Flower Number in Oilseed Rape. *Remote Sens.* 2018, 10, 1484.
152. Wang J, Garratt M, Lambert A, Wang JJ, Han S, Sinclair D (2008): Integration of GPS/INS/vision sensors to navigate unmanned aerial vehicles. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, 37 (B1): 963–969
153. Wang, R., Cherkauer, K., & Bowling, L. (2016): Corn response to climate stress detected with satellite-based NDVI time series. *Remote Sensing*, 8(4), 269.
154. Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., & RStudio (2018). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. [R package]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>.
155. Wu C (2011): VisualSFM: A Visual Structure from Motion System, <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm/>
156. Yang, Z., Sun, Y., Qi, Y., & Sun, L. (2020): Design and application of a multispectral imaging system for detecting disease in tomatoes. *Sensors*, 20(18), 5401
157. 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.
158. Yoder, B. J. – Pettigrew-Crosby, R. E.: (1995): Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment*. 53 (3): 199-211. 128
159. Zagyai, P., Tamás, A., Rácz, D., Fejér, P., Radócz, L., & Horváth, É. (2022): Correlation analysis of relative chlorophyll content and yield of maize hybrids of different genotypes. *Acta Agraria Debreceniensis*, (1), 211-214.
160. Zahir, S. A. D. M., Omar, A. F., Jamlos, M. F., Azmi, M. A. M., & Muncan, J. (2022): A review of visible and near-infrared (Vis-NIR) spectroscopy application in plant stress detection. *Sensors and Actuators A: Physical*, 338, 113468.].

161. 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.
162. Zheng, L. – Tong, Q. – Zhang, B. – Li, X. – Liu, J.: (2001): Urban sensing by hyperspectral data. *Proceeding of ACRS 2001 – 22nd Asian Conference on Remote Sensing*. Singapore. 1: 754-759.
163. Zhou G (2009): Near real-time orthorectification and mosaic of small UAV video flow for time-critical event response. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 47(3):739–747
164. Zhu Q, Zhang Y, Wu B, Zhang Y (2010): Multiple close-range image matching based on self-adaptive triangle constraint. *Photogramm Rec* 25(132):437–453
165. Zilinyi V.: (1995): Természetes felszínek spektrális reflexiós tulajdonságai, és hasznosításuk az optikai távérzékelés interpretációjában. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 130 p.
166. 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.

12. PUBLIKÁCIÓS LISTA



**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.**, Sápi, L., Zagyai, 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.**, Rátonyi, 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., Bojtör, 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. Tavasz Szél 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., Görcsös, 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.) terméseredményeire 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/1110393>
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., Magyariné 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., Hadházy, 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., Bojtör, 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., Bojtör, 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.



NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán** Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Radócz László** doktorjelölt 2021 – 2025. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 20.....

.....

a témavezető(k) aláírása

MELLÉKLETEK

1. számú melléklet: Teljes pusztulás, „D” kategóriájú golyvás tünet jobbra, „C” kategória (Szár+erős levél tünetek) balra Desszert R73-as hibridben. (Debrecen 2021)



2. számú melléklet: „C” (Balra) és „B” (jobbra) kategóriák golyvás tünetek Desszert R78-as hibridben. (Debrecen 2022)



3. számú melléklet: Enyhe levéltünet „A” kategória P9025-ös takarmányhibridben, fertőzésmentes (Kontrol) állomány (Debreceen, 2023)



4. számú melléklet: Mesterséges fertőzés folyamata (Debreceen, 2023)

