



GREENSEEKER ÉS MICASENSE KAMERA NDVI ÉRTÉKEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, VALAMINT KAPCSOLATUK A HOZAMMAL

ZSEBŐ SÁNDOR¹ – KUKORELLI GÁBOR¹ – MILICS GÁBOR² – VONA
VIKTÓRIA MARGIT¹ – KULMÁNY ISTVÁN MIHÁLY¹

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Mosonmagyaróvár

²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

ÖSSZEFOGLALÁS

Az őszi búzát (*Triticum aestivum* L.) hazánkban átlagosan egymillió hektáron termesztik, ezzel az egyik legnagyobb területen vetett szántóföldi kultúra. A szélsőséges időjárási körülmények és az emelkedő inputanyagárak miatt elengedhetetlen az új technológiák termesztésbe történő integrálása. Ehhez nyújtanak segítséget a precíziós gazdálkodási eszközrendszerek. A precíziós gazdálkodás az adatokra épül, amelyek fontos szerepet töltenek be a hatékonyabb és fenntarthatóbb gazdálkodásban. Azonban ezeknek az adatoknak a hibás értelmezése, vagy a rossz döntések meghozatala komoly következményekkel járhat a termelésre, valamint a környezetre nézve.

Négy ismétléses, randomizált idősoros kísérlet lett beállítva, ahol egy GreenSeeker (GS) és egy MicaSense (MS) 10 csatornás multispektrális kamera adatai kerültek összehasonlításra, majd a különböző időpontokban végzett felvételezésekből származó kiszámított NDVI értékek kapcsolata lett vizsgálva a hozammal.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a MicaSense kamerával történő felvételezésnél 2022. 05. 24-én ($r^2=0,62$), míg a GreenSeeker mérésnél 2022. 05. 24-én, illetve 2022. 06. 07-én figyelhető meg ($r^2=0,60$) a legnagyobb korreláció a hozammal. A MicaSense kamera és a GreenSeeker szenzor összehasonlítása során arra a következtetésre jutottam, hogy nem mindegy melyik időpontban melyik eszközzel végzünk felvételezéseket, ugyanis 2022. 05. 12-én a MicaSense kamerával történő felvételezés során nem volt kimutatható különbség a különböző kezelések között.

Azonban ugyanebben az időpontban a GreenSeeker kézi szenzorral történő mérés során mérhető különbséget lehetett megállapítani a kezelések között.

Kulcsszavak: őszi búza, precíziós gazdálkodás, GreenSeeker, MicaSense, hozam, tápanyag

BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) Magyarország egyik legfontosabb szántóföldi növénye, amely hosszú évszázadok óta jelentős szerepet játszik az ország mezőgazdaságában és élelmiszeriparában. Az intenzív búzatermesztés érdekében a műtrágyák, azon belül is a nitrogénműtrágyák (N) felhasználása az utóbbi években jelentősen megnőtt. Az őszi búza hozamának növeléséhez a gazdálkodók gyakran – de tévesen az általános ajánlásnál nagyobb mennyiségben juttatnak ki nitrogénműtrágyát (Heffer *et al.* 2017).

A technológiák elmúlt években tapasztalt robbanásszerű fejlődése példátlan lehetőséget biztosít azon gazdálkodóknak, akik precíziósan szeretnének gazdálkodni (Mulla 2013). Ezen technológiák közül mind a távérzékelési-, mind a földközeli szenzorokat a növények tápanyag- és vízhiányának, a növények egészségének a nyomon követésére, valamint a talaj állapotának megfigyelésére használják (Lee *et al.* 2010, Nyéki *et al.* 2020).

A hagyományos gazdálkodási gyakorlatoknál az elmúlt évek során betakarított hozamok átlagai alapján határozzák meg a kijuttatandó N műtrágya mennyiségét (Stanford 1973). Azonban egy adott év hozama biztosan eltér az elmúlt évek átlagától (Dahnke *et al.* 1984), így a termés tér-időbeli változékonysága irreális N műtrágya-kijuttatáshoz és alacsony hasznosuláshoz vezethet. A növények fejlődéséhez, illetve szükségletéhez igazított műtrágya-kijuttatás nagymértékben javíthatja a műtrágyák hasznosulását (Tucker 1979).

Reeves *et al.* (1993) őszi búzában a Feekes-féle 5. fejlődési szakaszban próbálták előrejelezni a várható termésmennyiséget. Stone *et al.* (1996) és Solie *et al.* (1996) őszi búzában földközeli szenzorokkal vizsgálták a N-felvételt és kísérletet tettek meghatározni a hozamot. Kutatásuk során megállapították, hogy a Normalizált Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) mérések nagymértékben korreláltak az őszi búza N-felvételével és a hozammal. Raun *et al.* (2001) ezt az elméletet követték, és

az NDVI-mérések alapján az őszi búza terméshozamát nagy pontossággal meg tudták jósolni a Feekes-féle 4. és 6. növekedési szakaszban.

Az NDVI-t, amely a vörös és a közeli infravörös hullámhossz tartományban történő reflektancia különbségen alapul (Tucker, 1979) széles körben használják kutatási és mezőgazdasági célokra (Erdle et al. 2011, Guo et al. 2016, Inman et al. 2008, Lopes et al. 2012).

Először a Landsat műhold adatait felhasználva kísérelték meg a gabonák hozamát megbecsülni az NDVI értékek alapján (Aase et al. 1981, Tucker et al. 1980). Az NDVI érték jól korrelál a levélterület indexel (Leaf Area Index, LAI) és érzékeny a növény zöldtömeg-változására (Inman et al. 2008, Ma et al. 2001, Marti et al. 2007). Különböző gabonáknál az NDVI értéket a növények fejlődésének becslésére is használták (Lopresti et al. 2015, Mekliche et al. 2015, Morgounov et al. 2014).

Búzában a földi, földközeli NDVI mérések objektívebb adatokat szolgáltatnak a növényi stressz megbecsléséhez (Lopes et al. 2012), illetve a növények fejlődése során fellépő nitrogénigényre (Raun et al. 2002). Ugyanakkor az NDVI értékkel meghatározható még a nitrogéntartalom, a földfeletti nitrogén és a növény nitrogén-hasznosítása (Erdle et al. 2011, Foster et al. 2016, Samborski et al. 2015).

Az NDVI szoros kapcsolatban van a növények fiziológiai tulajdonságaival, amelynek értelmében az NDVI sokféle egyéb tényezőt magyarázhat meg, pl. talajnedvesség, nitrogén és fenofázis (Edwards et al. 2015, Foster et al. 2016, Marti et al., 2007), ezért a NDVI használatakor a kutatóknak meg kell bizonyosodniuk arról, hogy a kísérlet mely tényezőit szeretnék a vizsgálatok során a legjobban reprezentálni.

Az NDVI mérése általánosságban kétféle technológiával valósulhat meg. A vegetáció fejlődését műholdakkal (Lopresti et al. 2015, Pantazi et al. 2016, Zhang et al. 2016), illetve kézi vagy földközeli szenzorokkal lehet nyomon követni (Inman et al. 2008, Lopes et al. 2012).

A műholdas adatokból származó pixelméret általánosságban 5 és 30 méter közé tehető, így alkalmasak nagyobb táblák vagy régiók elemzésére, azonban nem alkalmasak szántóföldön történő nemesítési vagy agronómiai kísérletek pontos, valós idejű monitorozására (Guo et al. 2016, Perry et al. 2014, Tattaris et al. 2016). A földközeli, kézi szenzorok, vagy kamerák nagyobb pontossággal rendelkeznek, de korlátozottak mind időben, mind térben, valamint az adatgyűjtés során szubjektív mérési vagy az eszközt zavaró torzítás is előfordulhat (Schirrmann et al. 2016).

A teljesen automatizált technológiák, mint a géntechnológia, robotika, és automata képkalkítás nagyban hozzájárultak a termésmennyiségek növeléséhez (Araus *et al.* 2014, Chapman *et al.* 2014, Sharma *et al.* 2015). A pilóta nélküli légitárszervek (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) olyan technológiai fejlesztések, amelyeket egyre gyakrabban alkalmaznak a precíziós gazdálkodás során (Khot *et al.* 2016, Rasmussen *et al.* 2016, Zhang *et al.* 2012).

A képkalkítási technológiák fejlődésével (hiperspektrális, multispektrális vagy hőkamerák) lehetővé vált nagy térbeli felbontású képek készítése. Ennek köszönhetően például sokkal pontosabban jelezhetőek előre a várható terméshozamok (Fei *et al.* 2022, Maimaitijiang *et al.* 2020, Sun *et al.* 2022). Más kutatók is biztató eredményeket értek el búza (Wang *et al.* 2014), kukorica (Taghvaeian *et al.* 2012), és rizs (Reyniers *et al.* 2006) UAV-felvételek alapján történő hozambeállításánál.

A földközeli szenzorok, kamerák mellett kézi mérőeszközökkel is végeznek vizsgálatokat a kutatók. A várható hozamok előrejelzésére, a növényállomány fejlődésére, zöldtömegének mérésére, vagy a tápanyag-ellátottság megállapítására több kézi eszköz (Crop Circle, PlantPen, GreenSeeker) is a kutatók rendelkezésére áll, azonban az egyik leggyakrabban alkalmazott szenzor a GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, CA, USA). A GreenSeeker a vörös (660 nm) és a NIR (780 nm) hullámhossz reflektanciájának méréséből számítja ki az NDVI értéket (Saberioon *et al.* 2014).

Nakamo *et al.* (2023) GreenSeekerrel kísérelték meg meghatározni a rizs várható hozamát. Több kísérletnél nitrogén-műtrágya kijuttatását vizsgálták GreenSeeker segítségével, ahol erős korrelációt figyeltek meg a nitrogén és NDVI érték között (Lie *et al.* 2009, Franzen *et al.* 2016, Arnall *et al.* 2016, Tubana *et al.* 2008).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási terület Győr-Moson-Sopron vármegyében, Mosonmagyaróvár határában helyezkedik el (MEPAR kód: KUDVMH21). A termesztett növényi kultúra őszi búza, amelynek előveteménye repce volt. A kísérlet elrendezése randomizált blokk (1. ábra), ahol négy ismétlésben, négy különböző kezelés vizsgálata zajlott.

Őszi búza				
IV.	3	2	1	4
III.	1	4	3	2
II.	2	1	4	3
I.	4	3	2	1

1. ábra: A kísérlet randomizált blokk elrendezése

Figure 1: Randomised block design of the trial

A parcellák 4,2 x 20 métereseek, azaz egy parcella területe 84 m². A kísérleti terület talajának pH_{KCL}-ja 7,2-es, humusztartalma 3,2 (m/m%), Arany-féle kötöttségi értéke 45, a termőtalaj vastagsága 130 cm. A vetés 2021. 10. 25-én történt, az elvetett magmennyiség 4,5 millió csíra/ha.

A műtrágya kijuttatása két menetben történt (1. táblázat). Először alaptrágyaként lett kijuttatva különböző dózisokban a vetéssel egy menetben, majd fejtrágyaként 2022. március 1-én.

Az 1. táblázat tartalmazza a kezelések sorszámát, a kijuttatott nitrogén-foszfor-kálium hatóanyagot kg/ha-ban, az ősszel és tavasszal kijuttatott műtrágyák típusát, mennyiségét és a kijuttatásuk időpontját.

1. táblázat: A kezelések során kijuttatott hatóanyag (kg/ha), az ősszel és tavasszal kijuttatott műtrágya mennyisége, típusa és a kijuttatás dátuma

Table 1: Active substance applied during treatments (kg/ha), amount, type and date of application of fertiliser applied in autumn and spring

Kez. Sorsz.	Kijuttatott hatóanyag kg/ha			Kijuttatott műtrágya kg/ha (ŐSZ) 2021. 10. 21.		Kijuttatott műtrágya kg/ha (TAVASZ) 2022. 03. 01.	
	N	P	K	Típus	Menny.	Típus	Össz. Menny.
1.	-	-	-	-	-	-	-
2.	135, 3	77, 5	-	NP 15-25	310	Pétisó	329
3.	135, 1	91	-	NP 15-25	364	Pétisó	298
4.	135	75	45	NPK 5-18-18 Genezis NP 15-25	250 120	Pétisó	387

Az állomány felvételezése kéthetes időintervallumokban, összesen 4 alkalommal valósult meg 2022. 05. 12-én, 05. 24-én, 06. 07-én és 06. 21-én. A felvételezés során egy GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, CA, USA) kézi mérőeszközt és egy DJI Matrice 210 V2 (Da-Jing Innovation, Kína) típusú drónt egy 10 csatornás MicaSense RedEdge (MicaSense Inc., Seattle, WA, USA) kamerával felszerelve használtam.

A GreenSeeker egy aktív fényforrású optikai érzékelő, amelyet növények biomasszájának mérésére használtam és a mért adatokat NDVI értéként jeleníti meg. Minden parcellában 3 ismétlést végeztem, a mérőeszközt mindig 60 cm-rel a növényállomány fölé helyeztem, majd a kijelölt pont körül a rajta elhelyezett kart folyamatosan húzva 0,5m² területű növényállományt mértem meg. Minden egyes eredmény 10 darab mérés NDVI értékének átlagát jelenti, mivel az eszköz a mérési eredményekből egy átlagértéket készít, amely a kar elengedését követően azonnal megjelenik az LCD kijelzőn.

A drónos felvételezés 40 méter magasan történt az előzőleg megtervezett útvonal alapján. A MicaSense kamerához egy egyedi QR-kódú kalibrációs panel tartozik. A

repülések megkezdése előtt egy külön felvétel készült a panelről, amely alapján kalibrálni lehet az elkészült felvételeket. A repülések kezdetét 11:00-12:00 közé időzítettem, emellett mindig csak napos, vagy csak felhős időben végeztem a felvételezéseket, hogy a megvilágítás szempontjából homogén felvételeket kapjak. A rögzített felvételeket először az Agisoft Metashape fotogeometriai szoftverben kalibráltam, majd a képek összeillesztése következett, ezt követően az elkészült orthomozai kép a QGIS v3.16.0 (QGIS Development Team) nyílt forráskódú szoftverben lett tovább elemezve.

A parcellákban kijelölt három mérési pont körüli NDVI értéket megkaptam a kézi GreenSeekeres mérések során, azonban az elkészült orthomozai képből még ki kellett szűrni a szükséges adatokat, hogy a két eszköz adatai összehasonlíthatóak legyenek egymással.

Az adatok szűrését követően statisztikai számításokat végeztem a Microsoft Excelben (v.2016). Először leíró statisztikát alkalmaztam, ahol megnéztem hogyan oszlanak el az adatok egy adott mintában, valamint a kapcsolatok mértékét leíró korrelációt is vizsgáltam.

Ezt követően egytényezős varianciaanalízist végeztem, ahol a csoportokon belüli és a csoportok közötti variációt vizsgáltam.

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A parcellákban mért NDVI értékek átlagai és a hozam a *2. táblázatban* található. A különböző kezelések átlageredményeit tekintve a 4. kezelés (22,5 kg) érte el a legmagasabb hozamot, majd a 2. kezelés (22,1 kg), őt követi a 3. kezelés (21,9 kg) és végül a leggyengébb terméseredmények az első (16,9 kg), vagyis a kontrol parcellán termett.

2. táblázat: Különböző időpontokban mért GreenSeekeres (GS) és MicaSenses (MS) NDVI értékek, illetve a parcellák hozamai

Table 2: GreenSeeker (GS) and MicaSense (MS) NDVI values and plot yields measured at different times in the plots

Kez.	2022.05.12		2022.05.24		2022.06.07		2022.06.21		Hozam (kg)	Átlag (kg)
	GS	MS	GS	MS	GS	MS	GS	MS		
1./1.	0,57	0,84	0,43	0,76	0,38	0,66	0,10	0,30	16,86	16,9
1./2.	0,57	0,84	0,46	0,79	0,43	0,72	0,16	0,39	18,51	
1./3.	0,57	0,84	0,45	0,79	0,43	0,71	0,13	0,35	17,06	
1./4.	0,64	0,85	0,53	0,82	0,47	0,73	0,14	0,37	15,33	
2./1.	0,67	0,88	0,57	0,84	0,46	0,71	0,16	0,38	21,88	22,1
2./2.	0,68	0,91	0,58	0,87	0,55	0,82	0,26	0,54	22,71	
2./3.	0,65	0,77	0,57	0,83	0,50	0,76	0,20	0,50	22,24	
2./4.	0,70	0,88	0,60	0,85	0,52	0,78	0,18	0,46	21,38	
3./1.	0,70	0,89	0,63	0,86	0,56	0,78	0,21	0,47	23,3	21,9
3./2.	0,69	0,89	0,58	0,85	0,51	0,77	0,16	0,39	22,63	
3./3.	0,70	0,89	0,58	0,85	0,52	0,78	0,20	0,47	20,39	
3./4.	0,71	0,89	0,63	0,86	0,53	0,81	0,25	0,53	21,29	
4./1.	0,68	0,89	0,59	0,86	0,53	0,78	0,19	0,45	24,08	22,5
4./2.	0,67	0,89	0,58	0,84	0,49	0,74	0,15	0,37	21,22	
4./3.	0,67	0,89	0,56	0,85	0,50	0,78	0,16	0,43	21,85	
4./4.	0,71	0,90	0,63	0,88	0,58	0,83	0,27	0,54	22,94	

Ezt követően a parcellák NDVI értékeit és a hozamot hasonlítottam össze matematikai-statisztikai számításokkal. Az idősoros elemzésnek köszönhetően megállapítottam, hogy míg a MicaSensel történő felvételezéseknél egyértelmű, hogy május 24-én határozható meg ($r^2=0,62$) legpontosabban a várható hozam, addig a GreenSeeker eszközzel mért eredmények alapján május 24-én és június 7-én egyaránt ($r^2=0,60$) a legnagyobb százalékban lehet becsülni a várható terméseredményt.

A GreenSeeker és MicaSense mérésekből kapott NDVI értékek között mindegyik felvételezési időpontban (3. táblázat) 99 százalékos valószínűségi szinten szignifikáns ($p<0,01$) eltérés mutatható ki, így rendkívül kicsi annak az esélye, hogy a kapott értékek véletlen hibákból származnának.

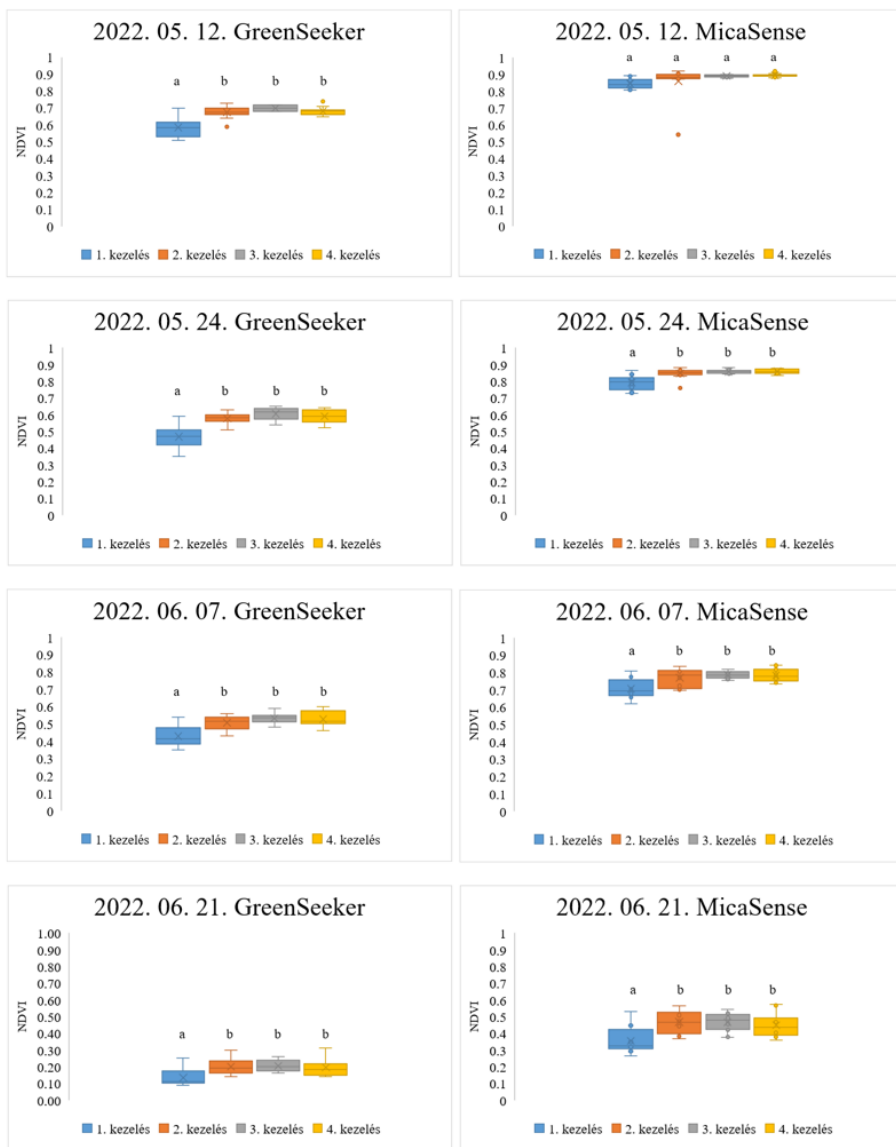
3. táblázat: GreenSeeker (GS) és MicaSense (MS) különböző időpontokban mért NDVI értékeinek kapcsolata a hozammal

Table 3: Relationship between NDVI values of GreenSeeker (GS) and MicaSense (MS) at different time and yield

	2022.05.12		2022.05.24		2022.06.07		2022.06.21	
	GS	MS	GS	MS	GS	MS	GS	MS
r-négyzet	0,58	0,20	0,60	0,62	0,60	0,47	0,43	0,43
p-érték	0,01*	0,01*	0,01*	0,01*	0,01*	0,01*	0,01*	0,01*

* 1%-os szignifikancia szint

A hozam és az NDVI kapcsolatának vizsgálatát követően a különböző eszközök ugyanazon ponton történő méréseit hasonlítottam össze box plot diagramokban. A diagramokon megfigyelhető az átlag, a medián, a szélső- és kiugró értékek, valamint az interkvartilis terjedelem is. Három időpontban (2. ábra) ugyanolyan eredményeket kaptam a GreenSeeker és a MicaSense kamera mérési eredményeinek összehasonlítása során. Az első, vagyis a kontrol kezelés mindegyik felvételezési időpontban szignifikánsan eltért a másik három kezeléstől, függetlenül attól, hogy melyik eszközzel történt a mérés.



2. ábra: Különböző kezelések GreenSeeker eszközzel és MicaSense kamerával mért eredményeinek összehasonlítása

Figure 2: Comparison of GreenSeeker and MicaSense camera results for different treatments

Azonban május 12-én a GreenSeeker eszközzel történő mérések során is ugyanolyan különbséget állapítottam meg (2. ábra) az első (kontrol) és a többi kezelés között, mint

az azt követő 3 felvételezési időpontban, vagyis szignifikánsan eltért a másik három kezeléstől.

Ellenben a MicaSense kamera által készített felvételeken nem lehet különbséget megfigyelni (2. ábra) a kezeléseik között.

Ennek oka az lehet, hogy a növényállomány már teljes mértékben összezáródott, valamint eltakarta a talajt, - a MicaSense kamera vörös és közeli infravörös hullámhosszú mérési tartománya pedig magasabb, mint a GreenSeekeré -, így a kapott NDVI értékek közelítettek a telítődési ponthoz, ezáltal hiába bokrosodott és fejlődött volna még jobban az állomány vagy hozott volna több levelet a kultúrnövény, a szenzor már nem tudott volna magasabb értékeket érzékelni.

Hasonló megállapításra jutottak *Gu et al.* (2013), akik a telítettséghez közel álló NDVI értékeket korrigálták annak érdekében, hogy pontosabban tudják megbecsülni a kukorica várható hozamát.

A május 12-ei felvételezést követően (BBCH55-59) már az NDVI érték folytonos csökkenését lehetett tapasztalni. Több kutató is arra a következtetésre jutott, hogy a GreenSeeker eszközzel való mérések jobban korrelálnak a hozammal a virágzás és differenciálódás szakaszában, mint a szemtelítődés időszakában (*Harrell et al.*, 2011). Ezek a megállapítások igazak a drónokkal mért NDVI elemzések vizsgálatainál (*Guan et al.*, 2019) és ugyanezeket az eredményeket kaptam a kutatásom során is.

Egy másik tanulmány arról számolt be, hogy a hozam erősebben korrelált a GreenSeekeres NDVI eredményekkel a virágzás időszakában, mint az aktív száradási szakaszban (*Ali et al.*, 2014), amelyet a kutatási eredményeim is részben igazolnak.

COMPARISON OF NDVI VALUES PROVIDED BY DIFFERENT DEVICES, AND RELATIONSHIP OF NDVI WITH YIELD

SÁNDOR ZSEBŐ¹ – GÁBOR KUKORELLI¹ – GÁBOR MILICS² – VIKTÓRIA
MARGIT VONA¹ – ISTVÁN MIHÁLY KULMÁNY¹

¹Széchenyi István University, Albert Kázmér Agricultural Faculty, Mosonmagyaróvár

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely sown arable crops in Hungary. Extreme weather conditions and rising input prices make it essential to integrate new technologies into cultivation. In recent years, traditional farming practices have been replaced by precision farming. Precision farming is based on data, which plays an important role in more efficient and sustainable farming. However misinterpreting this data or making the wrong decisions can have serious consequences for production and the environment.

Four replicate, randomized time-series experiments were set up comparing data from GreenSeeker (GS) and MicaSense (MS) multispectral cameras with 10 different wavelengths, and the relationship of calculated NDVI values from exposures at different time with yield was observed. The results show that the highest correlation with yield is observed for the MicaSense camera recording on 24. 05. 2022 ($r^2=0,62$), while the GreenSeeker recording on 24. 05. 2022 and 07. 06. 2022 ($r^2=0,60$). When is compared the MicaSense camera and GreenSeeker, it does not matter at which time, which instrument was used, as there was no detectable difference between the different treatments when using the MicaSense camera on 12.05.2022, whereas a measurable difference was observed when using GreenSeeker.

Keywords: winter wheat, precision agriculture, GreenSeeker, MicaSense, yield, nutrition

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-22-3-II-SZE-20 pályázati kódszámú, „Új Nemzeti Kiválóság Program” elnevezésű nemzeti felsőoktatási kiválóság ösztöndíj keretében meghirdetett Felsőoktatási Doktori Hallgatói, Kutatói Ösztöndíj pályázat támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aase, J.K. - Siddoway, F.H. (1981):* Assessing winter wheat dry matter production via spectral reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 11, 267–277.
- Ali, A.M. - Thind, H.S. - Sharma, S. - Varinderpal-Singh, (2014):* Prediction of dry direct seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. *Field Crop. Res.* 161, 11–15.
- Araus, J.L. - Cairns, J.E. (2014):* Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends Plant Sci.* 19, 52–61.
- Arnall, D.B. - Abit, M.J.M. - Taylor, R.K. - Raun W.R. (2016):* Development of an NDVI-based nitrogen rate calculator for cotton *Crop Sci.*, 56 (6), pp. 3263-3271.
- Dahnke, W.C. - Swenson, L.J. - Goos, R.J. - Leholm A.G. (1984):* Choosing a crop yield goal, *Better Crops with Plant Food (USA)*. Soil Science Department and Extension Agricultural Economics.
- Edwards, D. - Oldroyd, G. - Kyratzis, A. - Skarlatos, D. - Fotopoulos, V. - Vamvakousis, V. - Katsiotis, A. (2015):* Agriculture and climate change – adapting crops to increased uncertainty (AGRI 2015) investigating correlation among NDVI index derived by unmanned aerial vehicle photography and grain yield under late drought stress conditions. *Procedia Environ. Sci.* 29, 225–226.
- Erdle, K. - Mistele, B. - Schmidhalter, U. (2011):* Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Res.* 124, 74–84.
- Fei, S. - Hassan, M.A. - Xiao, Y. - Su, X. - Chen, Z. - Cheng, Q. - Duan, F. - Chen, R. - Ma, Y. (2022):* UAV-based multi-sensor data fusion and machine learning algorithm for yield prediction in wheat. *Precis. Agric* pp. 187-212.
- Foster, A.J. - Kakani, V.G. - Mosali, J. (2016):* Estimation of bioenergy crop yield and N status by hyperspectral canopy reflectance and partial least square regression. *Precis. Agric.* 1–18.
- Franzen, D. - Kitchen, N. - Holland, K. - Schepers, J. - Raun W. (2016):* Algorithms for in-season nutrient management in cereals *Agron. J.*, 108 (5), pp. 1775-1781.
- Gu, Y. - Wylie, B.K. - Howard, D.M. - Phuyal K.P. - Ji L. (2013):* NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA, *Ecological Indicators* Volume 30, July 2013, Pages 1-6

- Guan, S. - Fukami, K. - Matsunaka, H. - Okami, M. - Tanaka, R. - Nakano, H. - Sakai, T. Nakano, K. - Ohdan, H. - Takahashi, K. (2019):* Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sens.* 11, 112.
- Guo, L. - An, N. - Wang, K. (2016):* Reconciling the discrepancy in ground- and satellite-observed trends in the spring phenology of winter wheat in China from 1993 to 2008. *J. Geophys. Res. Atmos.* 121, 1027–1042.
- Harrell, D.L. - Tubaña, B.S. - Walker, T.W. - Phillips, S.B. (2011):* Estimating rice grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agron. J.* 103, 1717–1723.
- Heffer, P. - Gruère, A. - Roberts T. (2017):* Assessment of fertilizer use by crop at the global level International Fertilizer Industry Association, Paris.
- Inman, D. - Khosla, R. - Reich, R. - Westfall, D.G. (2008):* Normalized difference vegetation index and soil color-based management zones in irrigated maize. *Agron. J.* 100, 60–66.
- Khot, L.R. - Sankaran, S. - Carter, A.H. - Johnson, D.A. - Cummings, T.F. (2016):* UAS imaging-based decision tools for arid winter wheat and irrigated potato production management. *Int. J. Remote Sens.* 37, 125–137.
- Lee, W.S. - Alchanatis, V. - Yang, C. - Hirafuji, M. - Moshou, D. - Li, C. (2010):* Sensing technologies for precision specialty crop production, *Computers and Electronics in Agriculture*, 74, pp. 2–33.
- Lie, F. - Miao, Y. - Zhang, F. - Cui, Z. - Li, R. - Chen, X. et al. (2009):* In-season optical sensing improves nitrogen-use efficiency for winter wheat *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 73 (5), pp. 1566-1574.
- Lopes, M.S. - Reynolds, M.P. (2012):* Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *J. Exp. Bot.* 63, 3789–3798.
- Lopresti, M.F. - Di Bella, C.M. - Degioanni, A.J. (2015):* Relationship between MODIS-NDVI data and wheat yield: a case study in northern buenos aires province, argentina. *Inf. Process. Agric.* 2, 73–84.
- Ma, B.L. - Dwyer, L.M. - Costa, C. - Cober, E.R. - Morrison, M.J. (2001):* Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agron. J.* 93, 1227–1234.

- Maimaitijiang, M. - Sagan, V. - Sidike, P. - Hartling, S. - Esposito, F. - Fritschi, F.B.* (2020): Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sens. Environ.* 237, 111599.
- Marti, J. - Bort, J. - Slafer, G.A. - Araus, J.L.* (2007): Can wheat yield be assessed by early measurements of Normalized Difference Vegetation Index? *Ann. Appl. Biol.* 150, 253–257.
- Mekliche, A. - Hanifi-Mekliche, L. - Aidaoui, A. - Gate, P.H. - Bouthier, A. - Monneveux, P.H.* (2015): Grain yield and its components study and their association with normalized difference vegetation index (NDVI) under terminal water deficit and well-irrigated conditions in wheat (*Triticum durum* Desf. and *Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 14, 2142–2148.
- Morgounov, A. - Gummadov, N. - Belen, S. - Kaya, Y. - Keser, M. - Mursalova, J.* (2014): Association of digital photo parameters and NDVI with winter wheat grain yield in variable environments. *Turk. J. Agric. For.* 38, 624–632.
- Mulla, D. J.* (2013): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps, *Biosystems Engineering, Special Issue: Sensing in Agriculture*, pp. 358–371.
- Nakano, H. - Tanaka, R. - Guan, S. - Ohdan, H.* (2023): Predicting rice grain yield using normalized difference vegetation index from UAV and GreenSeeker. *Crop and Environment*.
- Nyéki, A. - Teschner G. - Ambrus, B. - Neményi, M. - Kovács, A.J.* (2020): Architecting farmer-centric internet of things for precision crop production. *Hungarian Agricultural Engineering*. 71-78.
- Pantazi, X.E. - Moshou, D. - Alexandridis, T. - Whetton, R.L. - Mouazen, A.M.* (2016): Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Comput. Electron. Agric.* 121, 57–65.
- Perry, E.M. - Morse-McNabb, E.M. - Nuttall, J.G. - O’Leary, G.J. - Clark, R.* (2014): Managing wheat from space: linking MODIS NDVI and crop models for predicting australian dryland wheat biomass. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 7, 3724–3731.
- Raun, W.R. - Solie, J.B. - Johnson, G.V. - Stone, M.L. - Lukina, E.V. - Thomason, W.E. et al.* (2001): In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance *Agron. J.*, 93, pp. 131-138.

- Raun, W.R. - Solie, J.B. - Johnson, G.V. - Stone, M.L. - Mullen, R.W. - Freeman, K.W. - Thomason, W.E. - Lukina, E.V. (2002):* Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agron. J.* 94, 815–820.
- Rasmussen, J. - Ntakos, G. - Nielsen, J. - Svendsgaard, J. - Poulsen, R.N. - 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.
- Reyniers, M. - Vrindts, E. - De Baerdemaeker, J. (2006):* Comparison of an aerial-based system and an on the ground continuous measuring device to predict yield of winter wheat. *Eur. J. Agron.* 24, 87–94.
- Saberioon, M.M. - Amin, M.S.M. - Gholizadeh, A. - Ezri, M.H. (2014):* A review of optical methods for assessing nitrogen contents during rice growth. *Appl. Eng. Agric.* 30, 657–669.
- Samborski, S.M. - Gozdowski, D. - Walsh, O.S. - Lamb, David. W. - Stępień, M. - Gacek, E.S. - Drzazga, T. (2015):* Winter wheat genotype effect on canopy reflectance: implications for using NDVI for in-season nitrogen topdressing recommendations. *Agron. J.* 107.
- Schirrmann, M. - Hamdorf, A. - Garz, A. - Ustyuzhanin, A. - Dammer, K.H. (2016):* Estimating wheat biomass by combining image clustering with crop height. *Comput. Electron. Agric.* 121, 374–384.
- Sharma, B. - Ritchie, G.L. - Rajan, N. (2015):* Near-remote green: red perpendicular vegetation index ground cover fraction estimation in cotton. *Crop Sci.* 55, 2252–2261.
- Solie, J.B. - Raun, W.R. - Whitney, R.W. - Stone, M.L. - Ringer J.D. (1996):* Optical sensor based field element size and sensing strategy for nitrogen application T. *ASAE*, 39 (6), pp. 1983-1992.
- Stanford G. (1973):* Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production, *J. Environ. Qual.*, 2, pp. 159-166.
- Stone, M.L. - Solie, J.B. - Raun, W.R. - Whitney, R.W. - Taylor, S.L. - Ringer J.D. (1996):* Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat *Trans ASAE*, 39 (5), pp. 1623-1631.
- Sun, Z. - Li, Q. - Jin, S. - Song, Y. - Xu, S. - Wang, X. - Cai, J. - Zhou, Q. - Ge, Y. - Zhang, R. - Zang, J. - Jiang, D. (2022):* Simultaneous Prediction of Wheat Yield and Grain Protein Content Using Multitask Deep Learning from Time-Series Proximal Sensing. *Plant Phenomics* 2022, 1–13.

Taghvaeian, S. - Chávez, J. - Hansen, N. (2012): Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in Northeastern Colorado. *Remote Sens.* 4, 3619.

Tubaña, B.S. - Arnall, D.B. - Walsh, O. - Chung, B. - Solie, J.B. - Girma, K. et al. (2008): Adjusting midseason nitrogen rate using a sensor-based optimization algorithm to increase use efficiency in corn *J. Plant. Nutr.*, 31 (8), pp. 1393-1419.

Tucker C.J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation *Remote Sens. Environ.*, 8 (2), pp. 127-150.

Tucker, C.J. - Holben, B.N. - Elgin, J. - McMurtrey, I. (1980): Relationship of spectral data to grain yield variation. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 46, 657–666 (19800051130).

Wang, L. - Tian, Y. - Yao, X. - Zhu, Y. - Cao, W. (2014): Predicting grain yield and protein content in wheat by fusing multi-sensor and multi-temporal remote-sensing images. *F. Crop. Res.* 164, 178–188.

Zhang, C. - Kovacs, J.M. (2012): The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precis. Agric.* 13, 693–712.

Zhang, L. - Guo, C.L. - Zhao, L.Y. - Zhu, Y. - Cao, W.X. - Tian, Y.C. - Cheng, T. - Wang, X. (2016): Estimating wheat yield by integrating the WheatGrow and PROSAIL models. *Field Crops Res.* 192, 55–66.

A szerző címe – Address of the author:

Z

SEBŐ SÁNDOR

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Biológiai Rendszerek és Precíziós Technológiai Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

zsebo.sandor@gmail.com