

## Multispektrális felvételekre alapozott növényegészségügyi vizsgálatok őszi kalászos kultúrában

RADÓCZ LÁSZLÓ - TAMÁS ANDRÁS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

A precíziós mezőgazdaság és a digitalizáció fejlődése jelentős változásokat hozott az agrártechnológiákban és az adatvezérelt döntéshozatalban. A pilóta nélküli légi járművek (UAV) és a multispektrális képalkotó technológiák hatékony eszközei a növényállomány monitorozásának és a stresszállapotok (abiotikus, biotikus) felismerésének, a vegetációs indexek (NDVI, GNDVI, NDRE, LCI) számításával pedig részletes információt kaphatunk a növények élettani állapotáról és a stresszfaktorok térbeli eloszlásáról. A Debreceni Egyetemen végzett kutatásban az 'MV Nádor' őszi búzafajtát vizsgáltuk különböző talajművelési módok (őszi szántás, sávos művelés) és különböző tápanyagutánpótlási kezelések kombinációiban. A multispektrális adatgyűjtés során nagyfelbontású UAV felvételeket használtunk, amelyeket QGIS térinformatikai szoftverrel elemeztünk. A tápanyagok alkalmazása (nitrogén, foszfor, kálium) és a talajművelési módszerek jelentős hatást gyakoroltak a vegetációs indexekre, amelyek a növények egészségi állapotát és homogenitását vagy heterogenitását tükrözték. A vizsgálat adatai azt mutatják, hogy a sávos művelés és a magasabb tápanyagszintek kedvezőbb növekedést és homogénebb növényállományt eredményeznek. A statisztikai elemzések során a szórás és variancia értékei alapján következtettünk a stressztényezők térbeli hatásaira. Az NDVI és GNDVI indexek értékei növekvő trendet mutattak a tápanyagszintek emelésével, különösen a 160 kg/ha nitrogén kezelés esetében, amely egyöntetűbb fejlődést eredményezett. Az LCI és NDRE értékek alapján az őszi szántásban alkalmazott 160 kg N/ha-os kezelésnél jóval nagyobb variancia és SD értéket kaptunk, mint a sávos művelés esetében. Eredményeink alapján a precíziós technológiák lehetővé teszik a fenntarthatóbb és hatékonyabb növénytermesztést.

**Kulcsszavak:** őszi búza, multispektrális, UAV, tápanyag-utánpótlás, vegetációs indexek

## **Plant health studies based on multispectral images in autumn cereal crops**

L. RADÓCZ - A. TAMÁS

University of Debrecen, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Sciences,  
Institute of Land Use, Engineering and Precision Technology, Debrecen

### **Summary**

The development of precision agriculture and digitalisation has brought significant changes in agricultural technology and data-driven decision-making. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and multispectral imaging technologies are effective tools for monitoring plant populations and detecting stress conditions (abiotic, biotic). Vegetation indices (NDVI, GNDVI, NDRE, LCI) provide detailed information about the physiological state of plants and the spatial distribution of stress factors. In the research conducted at the University of Debrecen, the 'MV Nádor' winter wheat variety was examined in combinations of different tillage methods (autumn ploughing, strip tillage) and different nutrient supply treatments. During the multispectral data collection, high-resolution UAV images were used, which were analysed using the QGIS GIS software. The application of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) and tillage methods had a significant impact on vegetation indices, which reflected the health status and homogeneity or heterogeneity of the plants. The results mean that higher nutrient levels showed more favorable growth and homogeneous plant stand. During the statistical analyses, we infer the spatial effects of stress factors based on the standard deviation and variance values. The values of NDVI and GNDVI indices showed an increasing trend with increasing nutrient levels, especially in the case of the 160 kg/ha nitrogen treatment, which ensures more uniform development. Based on the LCI and NDRE values, we obtained a much higher variance and SD value for the 160 kg N/ha treatment applied in autumn ploughing than for strip cultivation. Based on the data, precision technologies enable more sustainable and predictable crop production.

**Keywords:** winter wheat, multispectral, UAV, fertilisers, vegetation indices

## Bevezetés

A precíziós mezőgazdaság rohamos fejlődése az elmúlt években átalakította a modern agrártechnológiákhoz való hozzáállást, a termelési folyamatokat, illetve az adatalapú döntéshozatalt. A digitalizáció, a fejlett informatikai rendszerek, valamint a könnyen hozzáférhető precíziós eszközök és szenzorok által gyűjtött adatok olyan lehetőségeket nyitottak meg, amelyek segítségével a gazdálkodók hatékonyabban reagálhatnak a növényi stresszre (*Karunathilake 2023*), optimalizálhatják a tápanyag-utánpótlást (tápanyaghiány, hiánybetegség-tünetek, növényvédelmi beavatkozások), és fenntarthatóbbá tehetik a mezőgazdasági tevékenységüket. A növényvédőszer-felhasználás csökkentése és a növényegészségügyi problémák korai felismerése kulcsfontosságú tényező, különösen a fenntartható és gazdaságos növénytermesztés érdekében.

A pilóta nélküli légi járművek (UAV) és a multispektrális képalkotást alkalmazó kamerarendszerek hatékony eszközként jelennek meg mind az adatgyűjtés, mind a növények állapotának monitorozása terén (*Guo et al. 2020*). Ezek a technológiák képesek nagy pontosságú adatok gyűjtésére, amelyek feldolgozásával a növények élettani és fejlettségi állapotáról kaphatunk részletes képet. A multispektrális kamerarendszerek több hullámhosszon is lehetővé teszik az adatok gyűjtését, értékes információkat nyújtva a növényegészségügyi állapotról, a növényi stressz térbeli eloszlásáról, illetve a növénykultúra fejlettségi állapotáról (*Assmann et al. 2018*).

A multispektrális képekből kinyerhető adatok és az ezek által létrehozott vegetációs index-térképek (NDVI, GNDVI, NDRE, LCI) részletes információt biztosítanak a növények élettani és fejlettségi állapotáról, ezenkívül növényvédelmi szempontból is relevánsak, mivel a táblán jelen lévő növényi stressz által okozott elváltozások is azonosíthatók (*Kanning et al. 2018*). A megfelelő szaktudás birtokában mind a gazdálkodók, az agronómusok és a kutatók is jól megalapozott döntéseket hozhatnak. A multispektrális képalkotásból nyert adatok elemzésével betekintést nyerhetnek a növények élettani állapotába, azonosíthatják a stresszes területeket vagy a potenciális betegségek kiterjedését, és megalapozott döntéseket hozhatnak a célzott beavatkozásokról (*Yao et al. 2018*). A kutatások szerint ezek az eszközök különösen értékesek a különböző fenológiai szakaszok megfigyelésében, mivel képesek időben jelezni a tápanyaghiány, a vadkár vagy más stresszfaktorok által okozott változásokat a növényállományban.

Az őszi kalászos kultúrák kiemelt jelentőségűek a hazai agrárium és a nemzetgazdaság számára egyaránt, hiszen ezek az alapvető élelmezési és takarmányozási szükségleteket szolgálják ki (*Pepó* 2010). A kutatás célja, hogy a precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazásával átfogó képet kapjunk az őszi kalászosok korai fenológiai szakaszairól, kiemelten a növényállomány kezdeti homogenitásáról és az esetlegesen jelentkező növényi stressz területi eloszlásáról. Az őszi időszakban végzett felmérés során multispektrális képalkotó eszközök segítségével adatokat gyűjtöttünk a kalászos kultúra korai fejlődési állapotairól. A vizsgálatok célja a növényállományban jelentkező eltérések korai felismerése, amely a tápelemhiány vagy a vízkészletek felhasználásából adódó eltérések, csírázási problémák vagy egyéb stresszhatások következményei lehetnek.

### Anyag és módszer

A vizsgálatok helyszíne a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság (AKIT) Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepe. A vizsgálatot az 'MV Nádor' őszi búzafajtaival végeztük, amely a magyarországi termesztési körülmények között jól alkalmazkodó, stabil terméshozamú fajtának mondható. A vizsgálat célja az 'MV Nádor' őszi búzafajta korai fenológiájában a növényegészségügyi állapotának értékelése volt különböző tápanyag-utánpótlási kezelések és talajművelési módok mellett. A kísérlet területi körülményei alapján a tábla azonos talajtani adottságokkal rendelkezik. A kísérleti elrendezésben két talajművelési módot vizsgáltunk és három tápanyag-utánpótlási kezelés kombinációjára épült.

A talajművelési módok a következők voltak:

- őszi szántás (ŐSZ): a hagyományos agrotechnikai módszer, teljes mélységű talajforgatást magában foglaló művelési mód;
- sávós talajművelés (SÁV): a talajt csak a vetési sor közvetlen környezetében lazítják, ezáltal kisebb a talaj bolygatása.

A tápanyag-utánpótlási kezelések kialakítása:

- kontroll: tápanyag-utánpótlás nélkül,
- kezelés 2: 80 kg N/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, és 90 kg K<sub>2</sub>O/ha mennyiségben;
- kezelés 3: 160 kg N/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, és 90 kg K<sub>2</sub>O/ha mennyiségben.

A tápanyagokat az alábbi formában alkalmaztuk:

- nitrogén (N) ammónium-nitrát műtrágya formájában,
- foszfor (P) monoammónium-foszfát (MAP) műtrágya formájában,
- kálium (K) kálisó műtrágya formájában.

A vizsgálathoz egy DJI Mavic 3 Multispectral mezőgazdasági monitoring-célokra optimalizált pilóta nélküli légi járművet (UAV) használtuk. Ez az eszköz nagy pontosságú multispektrális kamerarendszerrel van felszerelve, amely lehetővé teszi a több hullámhosszon történő adatgyűjtést. A multispektrális szenzorok az *1. táblázatban* ismertetett hullámhossz-tartományokban mérnek.

1. táblázat. *Mavic 3 MS kamera által rögzített csatornák és hullámhossz*

Hullámhossz-tartomány (1)	
Zöld (G) (2)	560 nm±16 nm
Piros (R) (3)	650 nm±16 nm
Vörös széle (Red Edge) (4)	730 nm±16 nm
Közeli infravörös (NIR) (5)	860 nm±26 nm

*Table 1.* Channels and wavelengths recorded by the Mavic 3 MS camera. (1) Wavelength, (2) Green (G), (3) Red (R), (4) Red Edge, (5) Near infrared

#### *A GNSS helymeghatározás*

Nagy pontosságú RTK-modul is van az eszközbe építve, amely biztosítja a pontos térbeli adatok felvételét és megbízhatóságát.

#### *A vizsgálati terület repülési paramétereit*

Repülési magasság: 90 méter. Átfedés: 80% frontális és oldalsó átfedés a felvételek között. Felvételek minősége: nagy felbontású HR (2 cm/px). Az adatgyűjtés során a korai fenológiai (november, tél előtti időszak) szakaszban hajtottuk végre a repülést. A repülés során gyűjtött multispektrális felvételek feldolgozásához a felvételeket WebOpen Drone Map használatával fűztük össze. A térinformatikai elemzéshez a QGIS (Quantum GIS 3.20+) térinformatikai szoftvert használtunk. Az ortomozaiokra ezt követően raszteres adatelemzési módszereket alkalmaztunk. A raszterkalkulátor segítségével négy különböző vegetációs

indexet állítottunk elő és a vizsgálatban négy különböző vegetációs indexet alkalmaztunk. Ezek a vegetációs indexek a következők (2. táblázat) voltak:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a növények fotoszintetikus aktivitását és egészségi állapotát jellemzi, szoros összefüggést mutat a klorofillkoncentrációval és a biomasszával.
- GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) a zöld hullámhossz-tartományra érzékenyebb index, amely a növény klorofilltartalmának pontosabb értékelésére alkalmas.
- NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) a vörös él sávot használja a képletben is. A növények stresszállapotára, genotípusára érzékenyebb index az abiotikus és biotikus károk felmérésben is egyaránt.
- LCI (Leaf Chlorophyll Index).

2. táblázat. A vizsgálatban szereplő vegetációs indexek számítási formulái és a hivatkozások

Vegetációs index (1)	Formula (2)	Hivatkozás (3)
NDVI	$(R_{NIR}-R_{Red})/(R_{NIR}+R_{Red})$	Rouse (1974)
GNDVI	$(R_{NIR}-R_{Green})/(R_{NIR}+R_{Green})$	Gitelson (1996)
NDRE	$(R_{NIR}-R_{Red\ Edge})/(R_{NIR}+R_{Red\ Edge})$	Gitelson (1997)
LCI	$(R_{NIR}-R_{Red\ Edge})/(R_{NIR}+R_{Red})$	Datt (1999)

Table 2. Raster calculation formula and references for the vegetation indices used in the study. (1) Vegetation index, (2) Formulae, (3) References

A QGIS-ban elvégzett zónastatisztika és a pixelalapú adatelemzés szerves része volt az adatok kinyerésének. A mintavételhez egységes méretű shp. fájlokat alkalmaztunk melynek méretei az alábbiak voltak: 1 m széles és 1,7 m hosszúságot fedtek le. Minden egyes mintavételi box 1200–1400 adatot tartalmazott. Minden kezelésben 5–5 darab mintavételi shp. került elhelyezésre randomizált elhelyezéssel. A raszteres rétegekből származó adatokat zónastatisztikai módszerrel elemeztük, amely lehetővé tette az egyes kezeléseket és talajművelési módokat érintett területek összehasonlítását. A vizsgálat során különös hangsúlyt fektettünk a következőkre: közel 40 000 adatból származtak az eredmények, az adatok szórása (SD) ezért fontos

paraméter a vizsgálatainkban a növényállomány heterogenitásának és stresszállapotának jellemzésére. A nagyobb szórás a stressz egyenetlen eloszlására, míg a kisebb szórás a homogénebb növényállapotra utal. A variancia az adatok szóródásának mértéke, amely értékes információval szolgált a stressz okozta eltérések (pl. tápanyaghiány, nem megfelelő tápanyag-hasznosulás, vízhiány, vadkár, biomassza) azonosításához. A szórás és a variancia értékek segítségével a területi eloszlás alapján pontosabb következtetéseket vonhattunk le a stressztényezők térbeli hatásairól. Az adatok statisztikai kiértékeléséhez R-alapú Jamovi 2.6.25 statisztikai programot használtunk.

### Eredmények

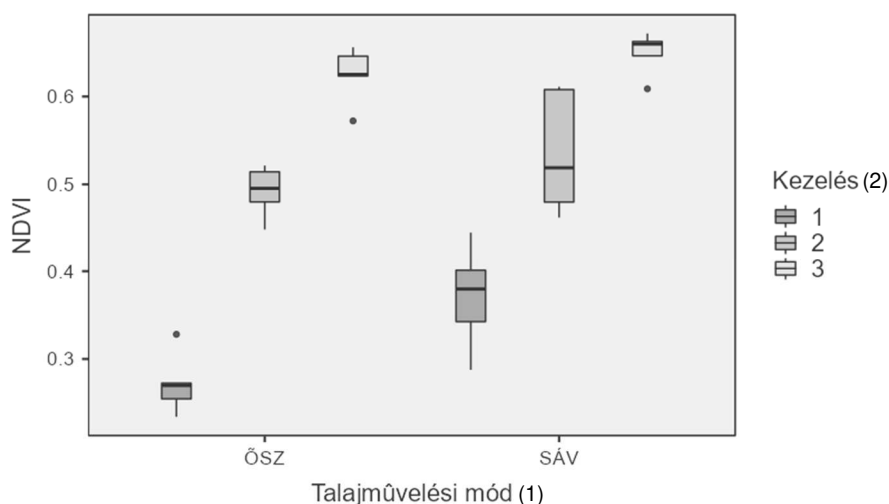
#### *NDVI*

Az NDVI eredmények az 1. ábrán lathatók. A vegetációs index átlagértékei növekvő trendet mutatnak 1–3-as kezelésig. A 160 kg N/ha-os kezelés esetében kaptuk a legnagyobb NDVI értékeket mind a két talajművelési (SÁV és ŐSZ) rendszer esetében. A sávos talajművelés esetében mérsékelten magasabb NDVI átlagot mért az eszköz. A szórás és variancia tekintetében a SÁV 3-as kezelésnél (160 kg N/ha) a legkisebb szórást  $2,472 \times 10^{-2}$  és variancia  $6,11 \times 10^{-4}$  értékeket mértünk, amely a legnagyobb tápanyag-utánpótlás mellett hozta ezeket az adatokat, ami egy kedvezőbb és egyöntetűbb fejlődésre utalhat. A 2-es és 1-es kezelés esetében a sávos művelésben nagyobb szórás és variancia értékek jelentkeztek, azonban az 1-es kezelés átlag NDVI értékei magasabbak voltak, mint az ŐSZ 1-es kezelés zónáiban.

#### *GNDVI*

A GNDVI eredmények a 2. ábrán lathatók. A vegetációs index átlagértékei növekvő trendet mutatnak ebben az esetben is 1–3-as kezelésig. Minél inkább nőtt a tápanyag-utánpótlási szint, annál jobban növekedett a zónákban mért GNDVI érték. A 160 kg N/ha-os kezelés esetében minimálisan magasabb GNDVI értékeket mértünk a sávos talajművelési zónákban, mint az őszi szántottban. A szórás és variancia tekintetében a SÁV 2-es kezelésnél (80 kg N/ha) a legnagyobb szórást  $0,7457$  és variancia  $5,56 \times 10^{-3}$  értékeket mértük, így a közepes tápanyag-utánpótlási szinten jelentősen nagyobb volt a változékonyság az adatok között.

1. ábra. Az őszi kalászos állomány NDVI értékei  
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: átlag, szórás, 1., 2., 3. kezelések esetében és a két talajművelési mód (SÁV – sávós és ŐSZ – őszi szántás).

Figure 1. NDVI values of the winter cereals stand (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Tillage methods, (2) Treatments, Note: mean, standard deviation, for treatments 1, 2, 3 and the two tillage systems (SÁV – strip-tillage and ŐSZ – autumn ploughing).

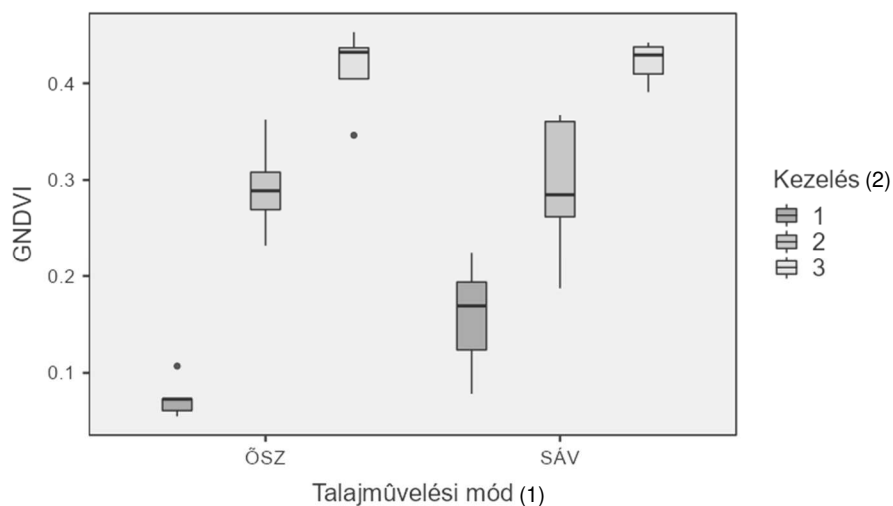
Ez utalhat abiotikus stressztényezők jelenlétére vagy nem megfelelő tápanyag-hasznosulásra – esetleg vízhasználatból eredő talajszerkezeti eltérésekből. Azonban a 3-as 160 kg N/ha-os kezelés esetében alacsony szórás és variancia jelentkezett, ami tovább erősíti a magasabb GNDVI értékeket.

#### NDRE

Az NDRE főként aszály/víz stressz és ezek mellett különböző klorotikus és egyéb (pigmentarány változások) kimutatására is jól alkalmazható vegetációs index. Az NDRE index értékei a 3. ábrán láthatók.

Az NDRE vegetációs index átlagértékei növekvő trendet mutatnak ebben az esetben is 1–3-as kezelésig. A tápanyag-utánpótlási szint növelésével együttesen nőttek az NDRE értékek is, a 160 kg N/ha-os kezelésnél volt a legnagyobb mérhető NDRE érték mind a két talajművelési módnál.

2. ábra. Az őszi kalászos állomány GNDVI értékei  
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: átlag, szórás, 1., 2., 3. kezelések esetében és a két talajművelési mód (SÁV - sávós és ŐSZ - őszi szántás).

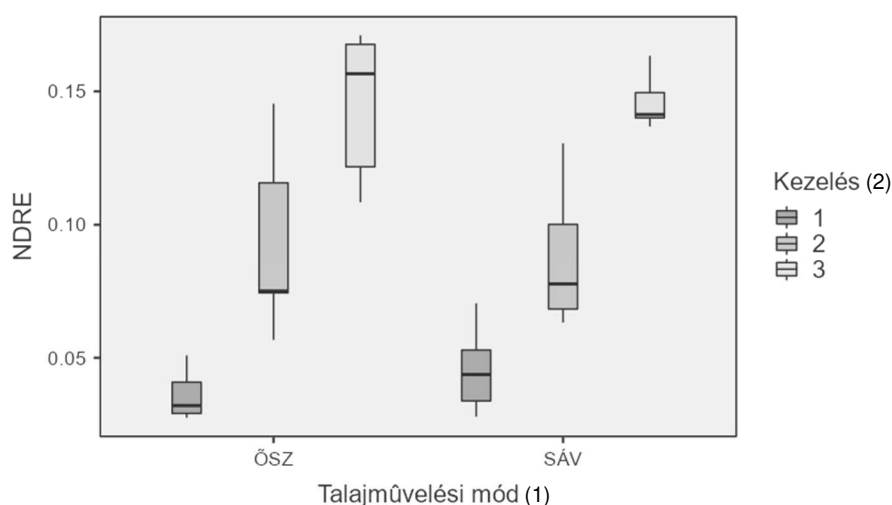
Figure 2. GNDVI values of the winter cereals stand (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Tillage methods, (2) Treatments, Note: mean, standard deviation, for treatments 1, 2, 3 and the two tillage systems (SÁV - strip-tillage and ŐSZ - autumn ploughing).

A 160 kg N/ha-os kezelés esetében hasonló, de egy kicsivel magasabb értékeket mértünk a sávós talajművelési zónákban, mint az őszi szántottban. A szórás és variancia tekintetében azonban az ŐSZ 3-as kezelésben  $2,829 \times 10^{-2}$  SD, a SÁV 3-as kezelésben pedig  $1,064 \times 10^{-2}$  SD értéket mértünk. Ez arra utal, hogy a nagy, 160 kg N/ha-os kezelésnél a sávós művelés esetében valamivel kedvezőbb és stabilabb növényállomány fejlődött, mint az őszi szántás esetében. A sávós művelés esetében továbbá az alacsonyabb SD érték utalhat jobb ví zhasználati képességre, főleg a nagyobb mennyiségű N-es kezelések esetében.

Mivel az NDRE esetében - hasonlóan az LCI index (4. ábra) eredményeihez - a 2-es kezelés esetében SÁV és az ŐSZ 2-es kezelésnél (80 kg N/ha) hasonló SD értékeket ( $3,627 \times 10^{-2}$  és  $2,77 \times 10^{-2}$ ) mértünk. Ennek a 2-es

tápanyagszintnek az NDRE index adatai alapján az adatok eloszlása sokkal heterogénebb volt, mint a két talajművelési mód esetében.

3. ábra. Az őszi kalászos állomány NDRE értékei  
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: átlag, szórás, 1., 2., 3. kezelések esetében és a két talajművelési mód (SÁV - sávós és ŐSZ - őszi szántás).

Figure 3. NDRE values of the winter cereals stand (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Tillage methods, (2) Treatments, Note: mean, standard deviation, for treatments 1, 2, 3 and the two tillage systems (SÁV - strip-tillage and ŐSZ - autumn ploughing).

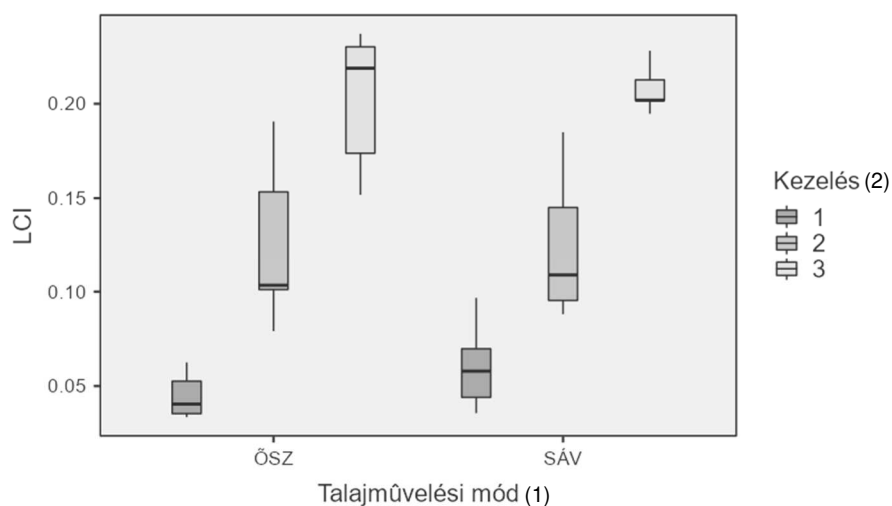
### LCI

Az LCI már egy valamivel érzékenyebb index, amiből jobban lehet következtetni esetlegesen a víz/aszály, illetve a klorofillkoncentrációból eredő eltérésekre. Ezen index értékei a 4. ábrán láthatóak.

A vegetációs index átlagértékei az LCI esetében növekvő trendet mutatnak, ebben az esetben is az 1-3-as kezelésig, tehát minél inkább nőtt a tápanyag-utánpótlási szint, annál jobban növekedett a mintavételi zónákban mért LCI érték. A 160 kg N/ha-os kezelés esetében minimálisan magasabb LCI értékeket mértünk a sávós talajművelési zónákban, mint az őszi szántottban. A szórás és variancia tekintetében azonban az ŐSZ 3-as kezelés  $3,748 \times 10^{-2}$  SD,

a SÁV 3-as kezelés pedig  $1,302 \times 10^{-2}$  SD értéket mutatott. Ez alapján a nagy, 160 kg N/ha-os kezelésnél a sávos művelés esetében valamivel kedvezőbb és stabilabb növényállomány fejlődött, az LCI mutató szerint a klorofilltartalom optimálisabb beépülése történt, mint az őszi szántás esetében.

4. ábra. Az őszi kalászos állomány LCI értékei  
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: átlag, szórás, 1., 2., 3. kezelések esetében és a két talajművelési mód (SÁV - sávos és ŐSZ - őszi szántás).

Figure 4. LCI values of the winter cereals stand (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Tillage methods, (2) Treatments, Note: mean, standard deviation, for treatments 1, 2, 3 and the two tillage systems (SÁV - strip-tillage and ŐSZ - autumn ploughing).

A SÁV és az ŐSZ 2-es kezelésnél (80 kg N/ha) hasonló SD értékeket ( $4,5 \times 10^{-2}$  és  $4 \times 10^{-2}$ ) mértünk. A 2-es tápanyagszint LCI adatai alapján az adatok eloszlása sokkal heterogénebb volt, mint a két talajművelési mód esetében.

### Következtetések

A vegetációs indexek (NDVI, GNDVI, NDRE, LCI) elemzése lehetőséget ad arra, hogy részletes információkat nyerjünk a növények fiziológiai állapotáról,

a stressz jeleiről, valamint a növénykultúra általános egészségügyi állapotáról (Peres és Cancelliere 2021). Az őszi fenológiai szakaszok különböző állapotaira koncentrálnak UAV-rendszerekkel nagyfelbontású képekből (HR 2 cm/pixel) ortomozaikákat készítettünk. Az adatok térinformatikai elemzését követően az ortofotókat feldolgoztuk Quantum GIS 3.20+ térinformatikai szoftverrel. Kiszámítottuk a vegetációs indexeket és elemeztük azok területi eloszlását. A vegetációs indexek értékeinek rendszerezésével egy átfogó adatbázis került összeállításra, amelyből a táblán belüli heterogenitásra lehet következtetni és megmutatkozhatnak a potenciális abiotikus stressztényezők.

A vizsgálatban a kiválasztott vegetációs indexek erős összefüggésben vannak a klorofillkoncentrációval, biomasszával, és így a növények egészségügyi állapotával. A talajszerkezeti eltérések, a változó víz háztartás vagy a tápanyagok egyenlőtlen eloszlása miatt eltérések lehetnek a kezdeti fenológiai fázisokban. Skendžić (2023) hasonlóan alkalmazta a GNDVI és az NDVI indexeket abiotikus stressztényezők feltárására őszi búza állományban. A sávos módszer következtében a tápanyagok és a víz elérhetősége helyileg változóbbá vált és ez a növényállományon belül nagyobb eltéréseket eredményezhetett, főleg az NDVI és GNDVI mutatókban, kifejezetten a 80 kg N/ha-os 2-es kezelés esetében volt nagyobb variancia. A GNDVI és NDVI esetében mind a két művelési módnál homogén állományok fejlődtek, azonban NDRE és LCI indexnél az Őszi szántás 3-as kezelésénél nagyobb variancia jelentkezett a sávos művelési módhoz képest. Az NDRE a víz- és nitrogénhasználat effektív vizsgálatára alkalmas őszi búza állományokban (Yang *et al.* 2020). A NDRE index főleg aszálystressz esetén alkalmazható jól a területi különbségek, adateloszlások, abiotikus stresszfaktorok részletesebb kimutatására. Megfelelő időjárási körülmények között az eltérések minimálisak lehetnek. Az őszi szántás talajművelési mód a magasabb tápanyag-utánpótlás mellett is viszonylag nagyobb eltéréseket hozott, amit a nagyobb szórás és variancia mutatott. Ez arra utalhat, hogy az őszi szántásos talajművelés nem biztosít olyan optimális környezetet a növények számára (víz- és nitrogénhasznosulás szempontjából), mint a sávos talajművelés. Az indexek és a szórás-variancia kombinált elemzése segíti a talajművelési módok és a tápanyag-utánpótlás hatásainak pontosabb vizsgálatára és az abiotikus stresszállapotok felmérésére.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a Debreceni Egyetem MÉK Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet munkatársainak. Köszönjük továbbá a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak. A kutatást az EKÖP-24-3-II-DE-150 azonosító számú EKÖP pályázat támogatta. A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

### IRODALOM

- Assmann, J. J.–Kerby, J. T.–Cunliffe, A. M.–Myers-Smith, I. H.:* 2018. Vegetation monitoring using multispectral sensors – best practices and lessons learned from high latitudes. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 7. 1: 54–75.
- Datt, B.:* 1999. A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: Tests using eucalyptus leaves. *J. Plant Physiol.* 154. 30: 36.
- Gitelson, A. A.–Kaufman, Y. J.–Merzlyak, M. N.:* 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* 58: 289–298.
- Gitelson, A. A.–Merzlyak, M. N.:* 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *Int. J. Remote Sens.* 18: 2691–2697.
- Guo, L.–Fu, P.–Shi, T.–Chen, Y.–Zhang, H.–Meng, R.–Wang, S.:* 2020. Mapping field-scale soil organic carbon with unmanned aircraft system-acquired time series multispectral images. *Soil and Tillage Research*. 196: 104477.
- Kanning, M.–Kühling, I.–Trautz, D.–Jarmer, T.:* 2018. High-resolution UAV-based hyperspectral imagery for LAI and chlorophyll estimations from wheat for yield prediction. *Remote Sensing*. 10. 12: 2000.
- Karunathilake, E. M. B. M.–Le, A. T.–Heo, S.–Chung, Y. S.–Mansoor, S.:* 2023. The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. *Agriculture*. 13. 8: 1593.
- Pepó P.:* 2010. A magyar búzatermesztés agronómiai értékelése. *Növénytermelés*. 59. 2: 85–100.
- Peres, D. J.–Cancelliere, A.:* 2021. Analysis of multi-spectral images acquired by UAVs to monitor water stress of citrus orchards in Sicily, Italy. [In: *World Environmental and Water Resources Congress 2021.*] 270–278.
- Rouse, J. Jr.–Haas, R.–Schell, J.–Deering, D.:* 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ.* 351: 309–317.

- Skendžić, S.–Zovko, M.–Lešić, V.–Pajač Živković, I.–Lemić, D.:* 2023. Detection and evaluation of environmental stress in winter wheat using remote and proximal sensing methods and vegetation indices review. *Diversity*. 15. 4: 481.
- Yang, M.–Hassan, M. A.–Xu, K.–Zheng, C.–Rasheed, A.–Zhang, Y.–He, Z.:* 2020. Assessment of water and nitrogen use efficiencies through UAV-based multispectral phenotyping in winter wheat. *Frontiers in Plant Science*. 11: 927.
- Yao, H.–Huang, Y.–Tang, L.–Tian, L.–Bhatnagar, D.–Cleveland, T. E.:* 2018. Using hyperspectral data in precision farming applications. [In: *Advanced Applications in Remote Sensing of Agricultural Crops and Natural Vegetation*.] CRC Press. 3–35.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Radócz László – Dr. Tamás András  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
\*radocz.laszlo@agr.unideb.hu