https://doi.org/10.31852/EMF.35.2023.117.123

SZÁNTÓFÖLDI VIRÁGZÓ NÖVÉNYEK MONITOROZÁSA SENTINEL-2 MŰHOLDKÉPEKKEL

Vincze Csilla [(1)], Leelőssy Ádám [(1)], Kökényesi Tamás [(2)], Mészáros Róbert [(1)]

[(1)] ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
[(2)] BME VIK Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék, 1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2 Q.B124
e-mail: vcsicsi@student.elte.hu, adam.leelossy@ttk.elte.hu, Kokenyesi.Tamas@aut.bme.hu, meszaros.robert@ttk.elte.hu

Bevezetés

A műholdas produktumok fejlődésével új lehetőségek nyíltak a különböző virágzó növények detektálására is. A Magyarországon is elterjedt fontos virágzó, gazdasági célú növények termesztése nemcsak a faanyag, takarmány vagy élelmiszer előállítására szolgálhat, hanem a méhek számára is értékes táplálékforrást jelent. Azokat a növényeket vagy élőlények által kiválasztott cukros váladékokat, amelyek a méhek táplálékául szolgálnak, méhlegelőknek nevezzük. Itthon kiemelendők közülük a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), napraforgó (*Helianthus annuus*), őszi káposztarepce (*Brassica napus*), varádicslevelű mézontófű, vagy ahogyan a méhészek gyakran emlegetik, facélia (*Phacelia tanacetifolia*). Továbbá az invazív vaddohány (közönséges selyemkóró, selyemfű; *Asclepias syriaca*), a kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*) és a magas aranyvessző (*Solidago gigantea*).

A virágzó növények műholdas nyomon követésével sokkal nagyobb térbeli és időbeli skálán tudjuk mérni a virágzás dinamikáját és mértékét. A földfelszíni megfigyelések nagyobb emberi jelenlétet követelnek és több anyagi erőforrást is igényelnek ennél. A virágzás, rügyfakadás és kizöldülés detektálására különböző indexek állíthatók elő, amelyek jól leírják és könnyen azonosíthatóvá teszik az adott növényzetet. A mandulafa (*Prunus dulcis*) és az eukaliptuszfa (*Corymbia calophylla*) esetében a fehér virágok detektálásában az EBI (Enhanched Bloom Index) (Chen et al., 2019; Dixon et al., 2021) került alkalmazásra. A repce esetében a sárga virágok detektálásához használható indexek közé tartozik az NDYI (Normalized Difference Yellowness Index), a BNDVI (Blue Normalized Difference Vegetation Index) (Sulik & Long, 2016; d'Andrimont et al., 2020; Lukas et al., 2022), az RYI (Ratio Yellowness Index), az ACI (Ashourloo Canola Index), az NYI (Novel Yellowness Index) (Shao et al., 2023) és az NRFI (Normalized Rapeseed Flowering Index) (Han et al., 2021).

A műholdas monitorozás értékes adatokat nyújthat az adott növényzet fejlődéséről, új méhlegelők felderítéséről, és az évek közötti termelési különbségekről. Ez nagyon hasznos lehet az agrometeorológiai modellezés során, valamint előrejelzési célokra is alkalmazható. Emellett a műholdas adatok hosszú időtávon is rendelkezésre állnak, így visszamenőleges elemzésekre is alkalmazhatók.

Adatok és módszerek

Kutatásaink során a bevezetésben is említett, Magyarországon fontos gazdasági célú szántóföldi növények, a napraforgó és az őszi káposztarepce virágzásának monitorozását végeztük el. A parcella adatokat Erdőtelek vonzáskörzetéből kaptuk a 2018–2023 közötti időszakra (*1. ábra*). A két fontos méhlegelő növény mellett más növényeket is vizsgáltunk, és elemeztük a számított indexek éves menetét.

Ehhez a Sentinel-2 MSI műholdcsalád Level-2A produktumát használtuk fel, amely 20 méteres felbontáson, 10 spektrális tartományt fed le, 5 napos visszatérési idővel. A műholdcsalád két különálló multispektrális műholdból, a S2A és a S2B-ből áll, amelyek egész Európára elérhetők 2018 márciusa óta. A műholdcsalád mérései 2015-ben kezdődtek. Minden időpontban rendelkezésre áll egy klasszifikációs térkép, amely pixelenként különíti el a főbb osztályokat, például felhőt, felhőárnyékot, növényzetet, talajt, felszíni vizet, havat stb.

A szántóföldek meghatározásához a 2020-ban fejlesztett Magyarország Ökoszisztéma-alaptérképét használtuk fel, amely ugyancsak 20 méteres felbontással rendelkezik. Ezután idősorokat állítunk elő a különböző számított indexek segítségével, amelyeket az 1–7 egyenletek jelölnek. Az általunk használt hullámhossztartományokat a vegetációs indexekhez kapcsolódóan az *1. táblázatban* részletezzük. A vizsgálatban résztvevő indexek a következők:

$$NRFIr = \frac{\rho_{red} - \rho_{swir2}}{\rho_{red} + \rho_{swir2}} \quad (1)$$

$$NRFIg = \frac{\rho_{green} - \rho_{swir2}}{\rho_{green} + \rho_{swir2}} \quad (2)$$

$$NDVIa = \frac{\rho_{vnir5} - \rho_{red}}{\rho_{vnir5} + \rho_{red}} \quad (3)$$

$$NDYI = \frac{\rho_{green} - \rho_{blue}}{\rho_{green} + \rho_{blue}} \quad (4)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{vnir4} - \rho_{red}}{\rho_{vnir4} + \rho_{red}} \quad (5)$$

$$kNDVI = \frac{1 + k(\rho_{vnir4}, \rho_{red})}{1 - k(\rho_{vnir4}, \rho_{red})} \quad (6)$$

$$k(a,b) = exp\,\frac{-(a-b)^2}{(2\sigma)^2} \quad (6.1)$$

$$\sigma = 0.5 * (\rho_{vnir4} + \rho_{red}) \quad (6.2)$$

$$PSRI = \frac{\rho_{red} - \rho_{blue}}{\rho_{vnir2}} \quad (7)$$

Az egyenletekben szereplő színtartományokat jelölő értékek részleteit az *1. táblázat* tartalmazza. Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) index alkalmas a zöld növényzet azonosítására, valamint annak fejlődésének és vegetációs periódusainak nyomon követésére. Az NDVIa számításához a 20 méteres felbontáson elérhető B8A (~865 nm) közeli infravörös tartomány csatornáját használtuk fel, amely egy sokkal szűkebb hullámhossz tartomány között mozog, mint az NDVI indexnél használt B08 (~833 nm) csatorna. A vegetáció fejlődését ezen felül a kernel NDVI-al (kNDVI) is megvizsgáltuk, egy speciális vegetációs indexszel, amelyet többféle természetes borítású felszínen is használnak a GPP (*Bruttó Primer Produkció*) mintázatok rekonstruálására (Bellini et al., 2023). A vizsgálatokhoz a növény levélhullásához, valamint a gyümölcs éréséhez kapcsolódó vizsgálatokban használt PSRI (Plant Senescence Reflectance Index) (Merzlyak et al., 1999) értékét is alkalmaztuk.

A repce virágok azonosításához más indexek vannak gyakorlatban, mint például az NDYI, NRFIg, és az NRFIr. Ezen indexekkel való számításokat a repce esetén mi is elvégeztük, azonban egy esettanulmány keretében napraforgóra is kipróbáltuk. A repce azonosítása Magyarországon kihívást jelent, mivel április és május hónapban jellemzően nagyobb a felhőzöttség, mint júliusban. Ezt a problémát a későbbiekben újabb műholdas produktumok, mint például a Sentinel-1 A/B SAR (Synthetic Aperture Radar) bevonásával tervezzük megoldani (Han et al., 2021).

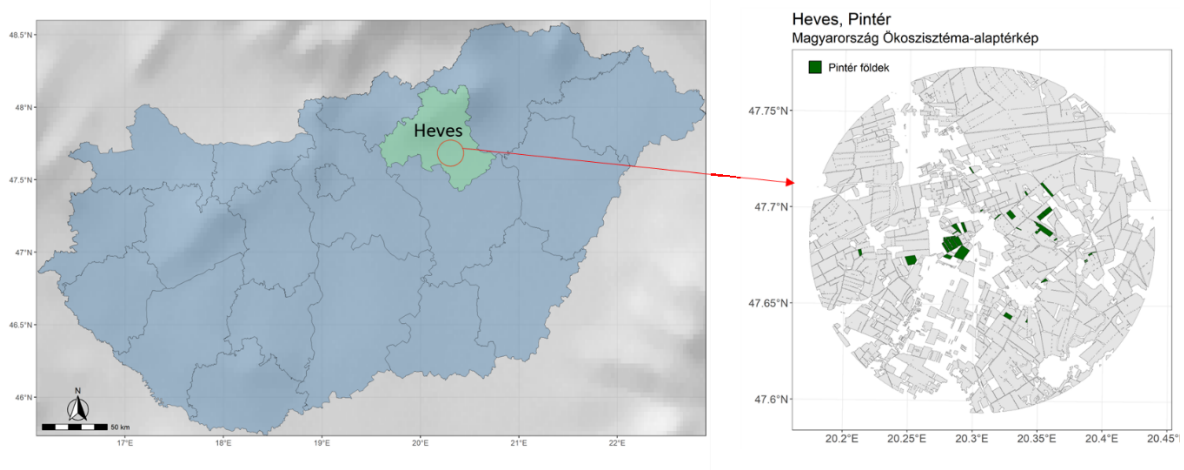
1. táblázat: A Sentinel-2 hullámhossztartományai 20 méteres felbontáson.

	Színtartomány neve	Csatorna száma	S2A hullámhossz középérték (nm)	S2B hullámhossz középérték (nm)
ρ_{blue}	kék (látható)	B02	492,4	492,1
ρ_{green}	zöld (látható)	B03	559,8	559,0
ρ_{red}	piros (látható)	B04	664,6	664,9
ρ_{vnir1}	közeli infravörös	B05	704,1	703,8
ρ_{vnir2}	közeli infravörös	B06	740,5	739,1
ρ_{vnir3}	közeli infravörös	B07	782,8	779,7
ρ_{vnir4}	közeli infravörös	B08	832,8	832,9
ρ_{vnir5}	közeli infravörös	B8A	864,7	864,0
ρ_{swir1}	rövid hullámhosszú infravörös	B11	1613,7	1610,4
ρ_{swir2}	rövid hullámhosszú infravörös	B12	2202,4	2185,7

Eredmények

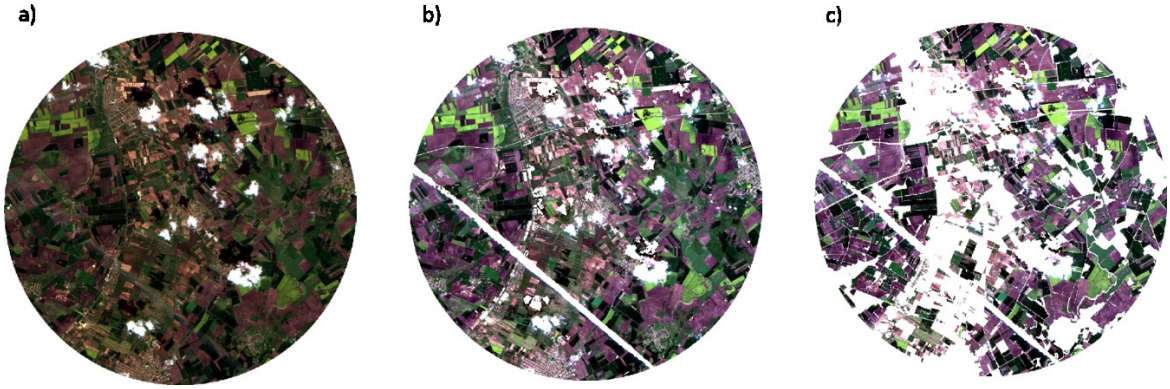
A mintaterületet és az egyes tisztítási folyamatokat az *1.* és a *2. ábra* szemlélteti, amelyet a repce virágzásának időpontjában választottunk ki (2021.05.04.). A vizsgálandó parcellákat a megjelölt szántóföldek középpontjától számított 10 km-es sugarú körben határoztuk meg. Az egyes vizsgált szántóföldterületeken a termesztett növényzetet fajonként leválogattuk, attól függően, hogy melyik került vetésre az adott évben. A kiválasztott parcellákat a sötétzöld poligonok (Pintér földek) jelölik.

A vizsgálatba bevont növények közé tartoztak a kukorica, búza, napraforgó, repce, dinnye, tritikálé, lucerna és cirok. Jelen tanulmányban kizárólag a napraforgót és a repcét fogjuk kiemelten tárgyalni.



1. ábra: A mintaterület és NÖSZTÉP (Magyarország Ökoszisztéma-alaptérképe) szántóföldekre szűrve. A vizsgált parcellákat (Pintér földek) sötétzöld színezéssel jelenítettük meg. A térképen ábrázolt adatok forrása: R nyelven elérhető rnaturalearth és osmdata OpenStreetMap (OSM).

A sárgászöld táblák a *2. ábrán* azok a további repceföldek, amelyek a vizsgálatban jelen esetben nem vettek rész. A *2. ábrán* a megjelenítéshez valós színes kompozitot használtunk (R/G/B = B04/B03/B02). Az eredeti műholdkép a *2.a) ábrán* látható. A felhők szűréshez használt SCL klasszifikációs térképpel tisztított műholdkép a *2.b) ábrán*, míg a szántóföldek további szűréséhez használt NÖSZTÉP alaptérkép eredményeit a *2.c) ábra* mutatja. A Sentinel-2 felhőszűrése sem minden esetben tökéletes, így az adatok feldolgozásánál célszerű hibakorrekciót végezni.

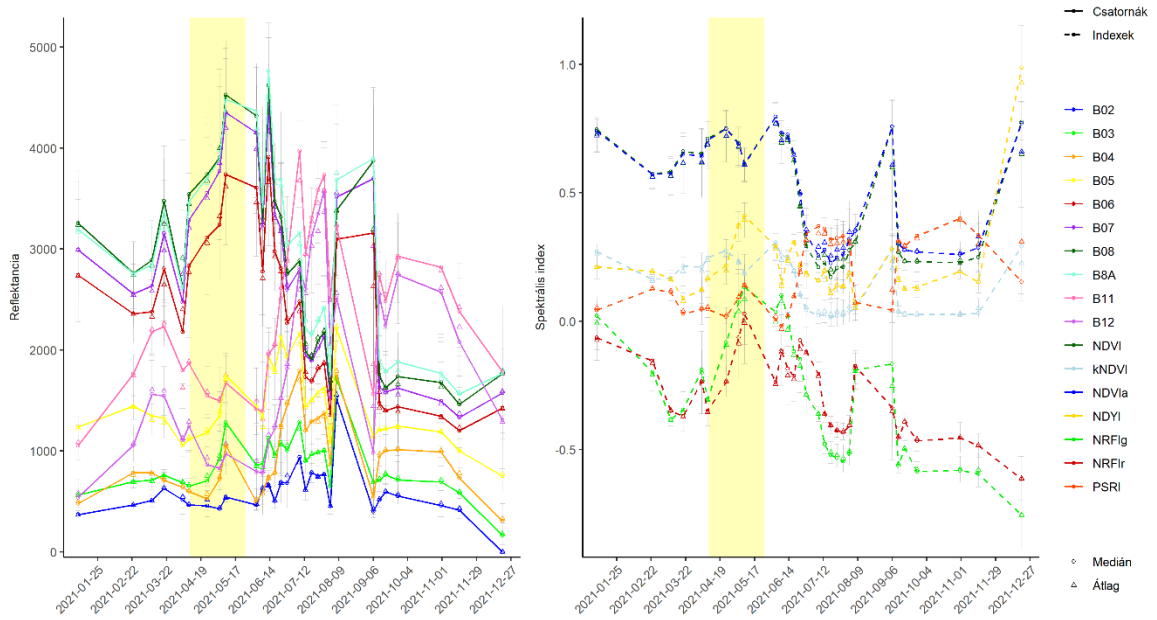


2. ábra: A műholdképek feldolgozásának menete – időpont: 2021.05.04.; a) szűrés nélkül; b) SCL szűréssel; c) SCL és NÖSZTÉP szűréssel. A sárgászöld parcellák a virágzó repcetáblák.

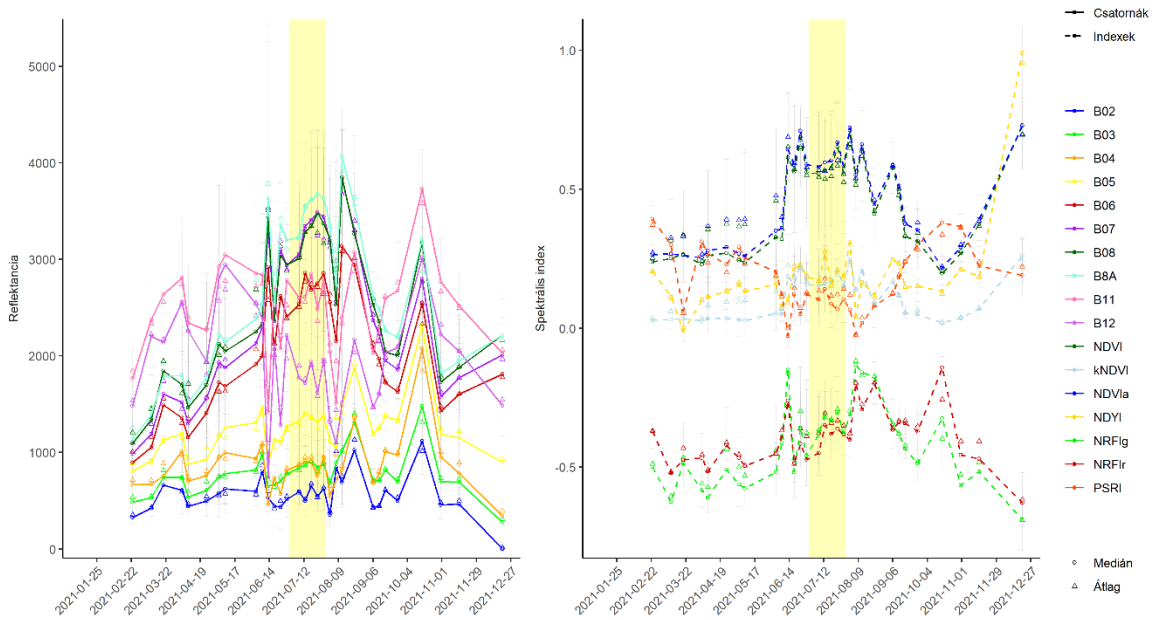
A fentebb részletezett vegetációs indexek idősoros elemzését a 2021-es évre a *3.* és a *4. ábra* mutatja. Az y tengelyen a reflektancia és a vegetációs indexek értékeit, míg az x tengelyen a dátumot jelöljük. A virágzást a közelben lévő méhészek kaptártömeg adatai alapján jelöltük ki, amelyet sárga területtel ábrázoltunk. A legmagasabb varianciával a közeli és távoli infravörös a B08, B07, B8A, és a B12 csatornák rendelkeznek, míg az optikai (R, G, B) csatornák kevésbé változók.

A közeli infravörös tartomány a repce virágzásakor egy erős növekedő menetet mutat, majd a virágzás végeztével csökken. A rövid hullámhosszú távoli infravörös tartomány épp ellenkezőleg viselkedik. Kisebb csökkenést mutat a sárga szín dominálásakor (2021.05.09.), majd erőteljesebb emelkedést a virágzás után. A *3. ábráról* látható, hogy a repce virágzásakor az NDVI és az NDVIa vegetációs indexek csökkennek, míg az NDYI és az NRFIr (piros), NRFIg (zöld) indexeknek maximuma van. Az NRFIr index hirtelen csúcsosodó, míg az NDYI inkább elnyúlt mintázatot mutat a virágzás idején. A PSRI értéke a virágzás után a termésérés időszakában emelkedik meg, a virágzáskor csak lokális maximumot mutat.

A napraforgó (*4. ábra*) esetében a közeli infravörös és a rövid hullámhosszú infravörös csatornák között már kisebb volt a különbség. Az NDYI értéke már nem olyan látványos. A virágzáshoz közelítve a távoli és a közeli infravörös tartományok szétválnak és a B11, B12 csatornák csökkennek, míg a B06–B8A csatornák tovább emelkednek. Az NDVI a virágzás kezdetén csökken, majd a virágzás idején stagnáló mintázatot mutat, feltehetőleg a túlnyomó sárga–narancssárga szín miatt. A virágzás dandár időszakában (amikor a virágok zöme már kinyílott a tányérban) az NDYI indexnek lokális maximuma van. A repcével ellentétben az NRFIg és NRFIr kevésbé mutat virágzásra utaló egyértelmű mintázatot.



3. ábra: Repceföldek reflektanciája és az azokra számított vegetációs indexek menete 2021-ben. A sárga terület a repce virágzását, a jobb oldali ábrán a szaggatott vonalak a vegetációs indexek (NDVI, NDVIa, kNDVI, NDYI, NRFIr, NRFIg, PSRI) mediánjainak időbeli változását, míg a bal oldali ábrán a folytonos vonalak az egyes hullámhossztartományok mediánjainak időbeli változását (B02–B12) jelölik. Az üres karikák és háromszögek rendre az egyes mérési időpontokban a mediánt és az átlagot jelölik. Az adatok szórását a hibasávok mutatják.



4. ábra: Napraforgóföldek reflektanciája és az azokra számított vegetációs indexek menete 2021-ben. A sárga terület a napraforgó virágzását, a jobb oldali ábrán a szaggatott vonalak a vegetációs indexek (NDVI, NDVIa, kNDVI, NDYI, NRFIr, NRFIg, PSRI) mediánjainak időbeli változását, míg a bal oldali ábrán a folytonos vonalak az egyes hullámhossztartományok mediánjainak időbeli változását (B02–B12) jelölik. Az üres karikák és háromszögek rendre az egyes mérési időpontokban a mediánt és az átlagot jelölik. Az adatok szórását a hibasávok mutatják.

Összefoglalás

A tanulmányban végzett műholdas monitorozás eredményeként számos fontos információt nyertünk a napraforgó és a repce virágzásáról. A vizsgált vegetációs indexek, mint például az NDVI, NDYI, NRFIg, NRFIr, lehetővé tették számunkra a növényzet fejlődésének és virágzásának nyomon követését. A repce esetében megfigyeltük, hogy a virágzás idején az NDVI indexek csökkentek, míg az NDYI és NRFIr, NRFIg indexek lokális maximumot mutattak. Ez az eredmény megegyezett Han et al. (2021) publikált eredményeivel. Az adatok zajosságát a kevés, illetve kisméretű parcellák okozzák, melyet további és nagyobb területek bevonásával lehet majd korrigálni.

A repce virágzásának vizsgálatát azonban megnehezítette a nagyobb kiterjedésű felhőzet április–május időszakban. A napraforgó esetében az NDYI értéke már nem volt olyan látványos, míg az NDVI a virágzás kezdetén csökkent, majd a virágzás idején stagnált. Ez valószínűleg a sárga színű tányérvirágzat a zöld levelekre való árnyékolásának köszönhető. A napraforgó dandár időszakában a NDYI indexnek lokális maximuma volt.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a műholdas monitorozás, és a számított indexek alkalmazása hasznos eszköz lehet a virágzó növények vizsgálatában. Az ehhez hasonló információk segítséget nyújthatnak a mezőgazdaságban, például a termelési tervezésben és az agrometeorológiai modellezésben. Az újabb műholdas technológiák bevonása további lehetőséget nyithat a pontosabb eredmények elérésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósult meg. A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Hivatkozások

Bellini, E., Moriondo, M., Dibari, C., Leolini, L., Staglianò, N., Stendardi, L., Filippa, G., Galvagno, M., Argenti, G., 2023: Impacts of Climate Change on European Grassland Phenology: A 20-Year Analysis of MODIS Satellite Data. *Remote Sensing*, 15: 218. https://doi.org/10.3390/rs15010218

Chen, B., Jin, Y., Brown, P., 2019: An enhanced bloom index for quantifying floral phenology using multi-scale remote sensing observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 156: 108–120. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.08.006

d'Andrimont, R., Taymans, M., Lemoine, G., Ceglar, A., Yordanov, M., van der Velde, M., 2020: Detecting flowering phenology in oil seed rape parcels with Sentinel-1 and -2 time series. *Remote Sensing of Environment*, 239: 111660. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111660

Dixon, D.J., Callow, J.N., Duncan, J.M.A., Setterfield, S.A., Pauli, N., 2021: Satellite prediction of forest flowering phenology. *Remote Sensing of Environment*, 255: 112197. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112197

Han, J., Zhang, Z., Cao, J., 2021: Developing a New Method to Identify Flowering Dynamics of Rapeseed Using Landsat 8 and Sentinel-1/2. *Remote Sensing*, 13: 105. https://doi.org/10.3390/rs13010105

Lukas, V., Huňady, I., Kintl, A., Mezera, J., Hammerschmiedt, T., Sobotková, J., Brtnický, M., Elbl, J., 2022: Using UAV to Identify the Optimal Vegetation Index for Yield Prediction of Oil Seed Rape (Brassica napus L.) at the Flowering Stage. *Remote Sensing*, 14: 4953. https://doi.org/10.3390/rs14194953

Merzlyak, M.N., Gitelson, A.A., Chivkunova, O.B., Rakitin, V.YU., 1999: Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 106: 135–141. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106119.x

Shao, C., Shuai, Y., Wu, H., Deng, X., Zhang, X., Xu, A., 2023: Development of a Spectral Index for the Detection of Yellow-Flowering Vegetation. *Remote Sensing*, 15: 1725. https://doi.org/10.3390/rs15071725

Sulik, J.J., Long, D.S., 2016: Spectral considerations for modeling yield of canola. *Remote Sensing of Environment*, 184: 161–174. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.016

A térképekhez felhasznált R csomagok

Mark Padgham, Bob Rudis, Robin Lovelace, Maëlle Salmon (2017). _osmdata_, volume 2 number 14. doi:10.21105/joss.00305

Massicotte P, South A (2023). _rnaturalearth: World Map Data from Natural Earth_. R package version 0.3.2, <https://CRAN.R-project.org/package=rnaturalearth>.

ORCID

Vincze Cs. https://orcid.org/0000-0002-6658-0090
Leelőssy Á. https://orcid.org/0000-0001-9583-0127
Mészáros R. https://orcid.org/0000-0002-0550-9266