

ILUSTRACIJA POTENCIALNE RABE MULTISPEKTRALNEGA SLIKANJA Z BREZPILOTNIM LETALNIKOM PRI OCENI FUNGICIDNEGA POSKUSA V PŠENICI

Matej KNAPIČ¹, Uroš ŽIBRAT², Meta URBANČIČ ZEMLJIČ³, Metka ŽERJAV⁴,
Neja MAROLT⁵

¹⁻⁵Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana

IZVLEČEK

Pri preizkušanju učinkovitosti fitofarmaceutskih sredstev in oceni njihovega delovanja pretežno uporabljamo vizualne ocene pojavnosti določenega škodljivega organizma ali poškodb, ki jih povzročata in le redko merljive lastnosti rastlin. Multispektralno slikanje rastlinstva meri odboj posameznega dela svetlobnega spektra in med ostalim omogoča zaznavanje upada fotosintetsko aktivne listne površine, ki je rezultat širjenja določene glivične bolezni na listih rastlin. Uporabnost multispektralnega slikanja pri oceni učinkovitosti fungicidov smo preizkusili na mikroposkusu v pšenici, v katerem smo preverjali učinkovitost devetih fungicidnih kombinacij za zatiranje pšenične listne pegavosti (*Zymoseptoria tritici*) ter fuzarioz klasa (*Fusarium* sp.). Slikanje poskusa smo izvedli 14 dni po zadnji terenski oceni pojavnosti bolezni in hkrati določili položaj poskusnih parcel z GNNS sprejemnikom centimetrsko natančnosti. S programsko opremo Pix4D smo posnetke ustrezno obdelali ter izračunali 12 vegetacijskih indeksov. Izračun vrednosti indeksov posamezne poskusne parcele smo opravili z ArcGIS programsko opremo ter jih statistično ovrednotili s programom StatGraphics Centurion XVI. Statistično značilne razlike v pojavnosti pšenične listne pegavosti med fungicidnimi obravnavami so pokazali vsi obravnavani indeksi, razlike pa sta pravilno razvrstila indeksa NDVI in PSSR. Razvrstitev učinkovitosti fungicidnih kombinacij za zatiranje pšenične listne pegavosti na osnovi multispektralnega slikanja je bila enaka razvrstitvi z vizualno oceno. Rezultati multispektralnega slikanja niso uspeli ustrezno oceniti pojavnosti fuzarioz klasa.

Ključne besede: brezpilotni letalnik, *Fusarium* sp., multispektralno slikanje, vegetacijski indeksi, *Zymoseptoria tritici*

ABSTRACT

ILLUSTRATION OF POTENTIAL USE OF MULTISPECTRAL IMAGING BY DRONE IN EVALUATION PROCESS OF FUNGICIDE TRIAL IN WHEAT

¹ mag., univ. dipl. inž. agr., Hacquetova 17, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: matej.knopic@kis.si

² dr., prav tam

³ mag., univ. dipl. inž. agr., prav tam

⁴ mag., univ. dipl. inž. agr., prav tam

⁵ mag. inž. agr., prav tam

When testing the efficacy of plant protection products and assessing their performance, the visual estimates of the occurrence of a particular harmful organism and the rarely measurable properties of plants are used to a greater extent. Multispectral imaging of vegetation measures the reflection of an individual part of the light spectrum, and among other things, it permits detection of a decrease in the photosynthetic active leaf surface resulting from the spread of a certain fungal disease on the leaves of plants. The application of multispectral imaging in assessing the efficacy of fungicides was tested on a micro-trial in wheat. In the micro trial, the effectiveness of nine fungicidal combinations for the control of wheat leaf spot (*Zymoseptoria tritici*) and fusariosis of class were tested (*Fusarium sp.*). The imaging of experiment was carried out 14 days after the final field assessment of the incidence of the disease, on 21 June, and at the same time the position of experimental plots was determined with a GNSS receiver of centimeters accuracy. With the Pix4D software, the recordings were properly processed and 12 vegetation indices were calculated. The calculation of the value of the indices of each experimental plot was performed with ArcGIS software and was statistically evaluated with the StatGraphics Centurion XVI program. Statistically significant differences between fungicidal treatments and the assessment of the appearance of wheat leaf spot were shown by all the indexes analyzed, and the differences were classified best by the indices NDVI and PSSR. The classification of the efficacy of fungicidal combinations against the wheat leaf spot based on multispectral imaging was the same as the field rating. The results of multispectral imaging failed to adequately assess the incidence of fusariosis of the ears of wheat.

Keywords: drone, *Fusarium sp.*, multispectral imaging, vegetation indices, *Zymoseptoria tritici*

1 UVOD

Pri preizkušanju učinkovitosti sredstev za varstvo rastlin največkrat ocenjujemo delovanje sredstev v preizkusu s pomočjo terenske vizualne ocene. Za dobro terensko oceno delovanja fitofarmaceutskih sredstev je potrebno izdelati lestvico z jasnimi kriteriji, ki omogočajo ponovljivost ocene. Več o zasnovi in obdelavi podatkov poskusov o učinkovitosti delovanja sredstev za varstvo rastlin govori EPPO standard (<https://pp1.eppo.int/standards/PP1-152-4>). Le redko imamo pri oceni delovanja sredstev za varstvo rastlin možnost uporabe merljivih količin, ki bi bile cenovno sprejemljive in bi onemogočale morebitno subjektivnost terenske ocene. To dejstvo nekoliko spreminja možnost uporabe daljinskega zaznavanja pri oceni stanja rastlin. V zadnjem času se v kmetijstvu vse bolj uveljavlja spremljanje stanja rastlin z brezpilotnimi letalniki (droni), ki omogočajo slikanje s spektralnimi kamerami. Praviloma se uporabljajo multispektralne kamere, ki beležijo odboj svetlobe v več pasovih valovne dolžine, predvsem cena pa botruje redki uporabi hiperspektralnih kamer. Poleg beleženja odboja v rdečem, zelenem in modrem delu vidne svetlobe, multispektralne kamere beležijo odboj tudi v bližnjem infrardečem delu svetlobe. Nekatere kamere, ki so namenjene predvsem rabi v kmetijstvu, vključujejo tudi beleženje odboja v robnem delu rdeče valovne dolžine. V tem delu spektra imajo

spremembe v odboju v vegetaciji najbolj strm naklon (Sanches in sod., 2013) in so očitne že pri majhnih spremembah v deležu klorofila in kot takšne primerne za oceno obsega stresnih dejavnikov, indeksa listne površine (LAI) in vsebnosti dušika (Barnes in sod., 2000; Delegido in sod., 2013; Magney in sod., 2017).

Mnoge poškodbe, ki jih povzročijo škodljivi organizmi, se odrazijo v zmanjšanju primarnega metabolizma in aktivne listne površine, saj rastline aktivirajo različne obrambne mehanizme, ki praviloma vodijo v propad napadenih celic in posledično zmanjšanje fotosintetsko aktivne površine. Prav tako lahko propad rastlinskih celic povzroči napad škodljivega organizma (Berger in sod., 2007). Te spremembe so v določeni fazi napada vidne tudi človeškemu očesu, seveda pa zgolj s pogledom obsega poškodb ne zmoremo natančno oceniti. Najbrž je odveč poudariti, da se vidne spremembe odrazijo s spremenjenim odbojem svetlobe v posameznem območju valovne dolžine. Bolj kot same spremembe odboja v posameznem pasu valovne dolžine, se pri obdelavi multispektralnega slikanja uporabljajo vegetacijski indeksi. Vegetacijski indeksi predstavljajo razmerja odboja posameznega valovnega območju. Najbolj pogosti so indeksi, ki poleg odboja v bližnjem infrardečem delu spektra vključujejo še odboj v določenem pasu valovne dolžine. Takšni so denimo indeks normaliziranih razlik v vegetaciji (NDVI), zeleni vegetacijski indeks normaliziranih razlik (GNDVI), indeks enostavnega razmerja (PSSR), itd.. Različni indeksi različno uspešno ocenijo posamezen dejavnik vegetacije. Primernost za oceno posameznega dejavnika se spreminja hkrati z razvojem vegetacije, kar otežuje povsem avtomatično izbiro indeksa za oceno stanja vegetacije. V odvisnosti od proučevanega dejavnika lahko multispektralno slikanje uporabimo za potrditev terenskih ocen in za izdelavo vmesnih ocen med prvo in zadnjo terensko oceno proučevanega dejavnika (Steddom in sod., 2005; Devadas in sod., 2009).

V nadaljevanju predstavljamo rezultate multispektralnega slikanja z dronom pri oceni učinkovitosti devetih fungicidnih kombinacij za zatiranje pšenične listne pegavosti (*Zymoseptoria tritici*) ter fuzarioz klasa (*Fusarium sp.*).

2 METODE DELA

Poskus učinkovitosti različnih fungicidnih kombinacij je bil izveden na poskusnem posestvu Kmetijskega inštituta Slovenije v Jablah. Fungicidne kombinacije so bile sestavljene tako, da so zajele vse ustaljene strategije varstva pred obema glivičnima boleznima ter so hkrati zajele aktivne snovi posameznih skupin, ki jih uporabljamo pri varstvu obeh bolezni (DMI, SDHI QoI, morfolini ter ostali fungicidi). Škropljenje s fungicidi je bilo opravljeno v treh različnih razvojnih fazah pšenice, odvisno od strategije varstva (preglednica 1). Poskus je bil izveden v naključni bločni zasnovi v štirih ponovitvah v ozimni pšenici, sorta Ingenio. Površina osnovne parcelice je bila 24 m². Multispektralno slikanje smo izvedli z RedEdge kamero proizvajalca MicaSense. Kamera poleg merjenja odboja v standardnih pasovih (rdeč, zelen, moder in bližnje infrardeč) beleži odboj tudi v robnem rdečem delu spektra.

Preglednica 1: Številka poskusne kombinacije, fungicidni pripravek ter čas aplikacije.
Table 1: Treatment number, time of application and fungicide.

Št. obravnavanja/Čas aplikacije in pripravek	T1 = BBCH 33 24. april	T2 = BBCH 39 3. maj	T3 = BBCH 61 17. maj
1	KONTROLA - neškropljeno		
2	Amistar opti 2,5	Elatus era 1,0	
3	Archer max 1,0		Magnello 1,0
4		Elatus era 1,0	
5	Zantara 1,5		Prosaro 1,0
6		Zantara 1,5	Prosaro 1,0
7	Seguris Xtra 1,0		Prosaro 1,0
8	Buzz ultra DF 0,33	Seguris Xtra 1,0	
9	Opus 1 1,5	Priaxor 1,0	
10	Opus 1 1,5		Caramba 1,5

286

Multispektralno slikanje poskusa smo izvedli 14 dni po zadnji terenski oceni učinkovitosti delovanja posamezne fungicidnega obravnavanja (21.6.2018). Takrat smo tudi določili položaj poskusnih parcel z GNSS sprejemnikom centimetske natančnosti. S programsko opremo Pix4D smo posnetke združili v mozaik, pripravili normalizirane slike odboja ter izračunali 12 vegetacijskih indeksov (NDVI, GNDVI, NDVRE, PSSR, OSAVI, MCARI 1, MCARI 2, modificiran MSAVI, TCARI, MTV 1 ter posameznih vrednosti odboja v REDEEDGE in NIR spektru). Zaradi pomanjkanja prostora je opis posameznih indeksov na internetnem portalu <https://www.indexdatabase.de/db/i.php>. Z ArcGIS programsko opremo smo slike posameznih indeksov georeferencirali s podatki terenskega zajema položaja parcelic. Hkrati smo na parcelah izločili robni vpliv (zmanjšali širino in dolžino parcelic za 0,5 m) ter naredili presek vrednosti indeksov posamezne poskusne parcele. Rezultate skupnega odboja na parceli smo statistično ovrednotili s programom StatGraphics Centurion XVI. Vse statistične teste smo naredili pri 95% zaupanju. Posamezne vplive na merjene lastnosti smo analizirali z analizo variance (ANOVA). Statistično značilne razlike med obravnavanji smo v drugem koraku preverjali z analizo mnogoterih primerjav z Duncan-ovim testom.

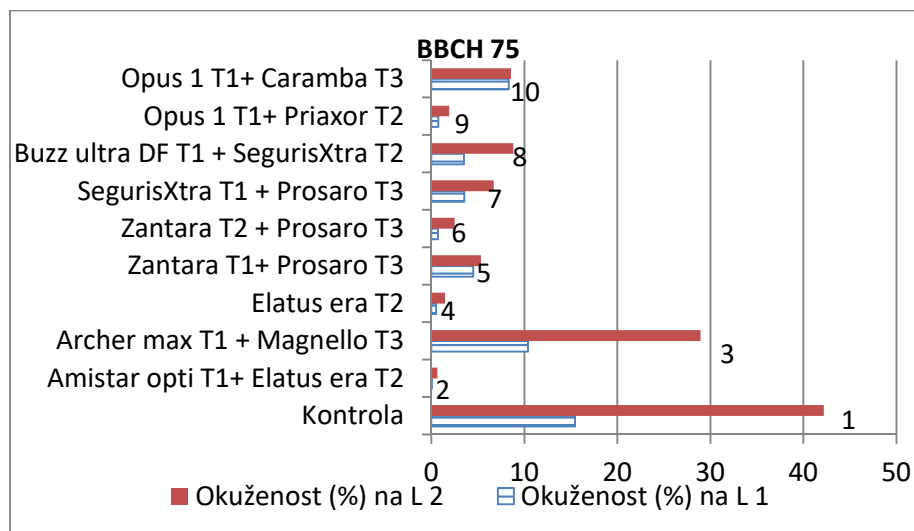
3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Ocena učinkovitosti fungicidnih obravnavanj pri zatiranju pšenične listne pegavosti z multispektralnim slikanjem

Analiza multispektralnega slikanja za ugotavljanje učinkovitosti posamezne fungicidne kombinacije za zatiranje pšenične listne pegavosti je potekala brez prejšnjega poznavanja terenskih ocen učinkovitosti. V prvem koraku smo analizirali vrednosti posameznega vegetacijskega indeksa ter vrednosti odboja v robnem rdečem pasu in v bližnje infrardečem delu. Prvi rezultati so pokazali, da so vsi indeksi, kot tudi vrednosti odboja obeh proučevanih pasov, uspešno razvrstili kontrolo in poskusno kombinacijo številka 2, ki je imela najboljšo delovanje proti pšenični listni pegavosti. Tudi zaradi velikih razlik v obsegu poškodovane listne površine med kontrolnim obravnavanjem in obravnavanjem št. 2, so bile vse razlike statistično značilne. Rezultati odboja v robnem

rdečem pasu so pokazali najslabšo sposobnost razvrščanja fungicidnih kombinacij, saj je pravilno razvrstil le kontrolno obravnavanje in obravnavanje z najboljšim delovanjem. Indeksi MSAVI, TCARI, NDVRE, VTI in MCARI 1 ter vrednosti odboja v bližnjem infrardečem delu, so uspeli določiti obravnavanja z najslabšo učinkovitostjo zatiranja pšenične listne pegavosti. Poleg kontrolnega obravnavanja so to še obravnavanja številka 3, 10 in 8. Ostali indeksi so podobno razvrščali obravnavanja z dobro učinkovitostjo, le da so se razlikovali v razvrščanju obravnavanj 4,6 in 9.

287



Slika 1: Rezultati okužb pšenične listne pegavosti na prvem in drugem listu pšenice posameznih obravnavanj ob zadnji terenski oceni (BBCH 75).

Figure 1: Results of wheat leaf spot infestations on first and second wheat leaf of each treatment at last field evaluation (BBCH 75).

V drugem koraku smo se seznanili z rezultati terenske ocene (slika 1) in ugotovili, da sta indeksa NDVI in PSSR edina razvrstila učinkovitost delovanja obravnavanj skladno s terensko oceno. Po drugi strani je analiza mnogoterih primerjav pokazala, da navkljub pravilni razvrstitvi obravnavanj glede učinkovitosti zatiranja pšenične listne pegavosti, nista jasno izpostavila statistično značilnih razlik med njimi.

OSAVI indeks je zamenjal vrstni red učinkovitosti 9 in 6 obravnavanja, kjer so razlike majhne. Če primerjamo rezultate analize mnogoterih primerjav lahko ugotovimo, da je OSAVI indeks tisti, ki je bolj jasno razmejeval razlike med najbolj učinkovitimi obravnavanji (preglednica 2).

Preglednica 2: Rezultati testa mnogoterih primerjav indeksov NDVI in OSAVI.
Table 2: Results of multiple range test.

NDVI razvrstitev	Povprečje	Homogene skupine	OSAVI razvrstitev	Povprečje	Homogene skupine
1	0.354965	X	1	0.375297	X
3	0.374447	X	3	0.404144	X
10	0.390139	XX	10	0.423178	XX
8	0.423645	XX	8	0.458479	XX
5	0.427035	XX	5	0.4652	XX
7	0.429975	XX	7	0.471607	XX
6	0.437213	XXX	9	0.480993	X
9	0.444444	XX	6	0.484759	X
4	0.447822	XX	4	0.48949	XX
2	0.481785	X	2	0.535826	X

288

3.2 Ocena učinkovitosti fungicidnih obravnavanj pri zatiranju fuzarioz klasa z multispektralnim slikanjem

Analiza multispektralnega slikanja za oceno učinkovitosti fungicidnih obravnavanj za obvladovanje fuzarioz klasa je pokazala, da z multispektralnim slikanjem ne moremo oceniti učinkovitosti delovanja fungicidnih obravnavanj. Nobeden od obravnavanih vegetacijskih indeksov se ni niti približal rezultatom, ki bi lahko dali upanje, da je metoda multispektralnega slikanja uporabna za namen ocene učinkovitosti obvladovanja fuzarioz klasa. Če pogledamo razloge za takšen rezultat nekoliko pobliže, lahko ugotovimo, da je rezultat logičen. Večina uporabljenih vegetacijskih indeksov neposredno oziroma posredno ocenjuje fotosintetsko aktivnost rastlin in ob zmanjšani fotosintetski površini le to tudi zazna. Fuzarioze klasa sicer povzročijo predčasno zorenje in spremembe v fotosintetski aktivnosti klasa, vendar so te spremembe, tudi zaradi lege klasa, neprimerljive z obsegom fotosintetske površine listov, zato jih multispektralno slikanje ne uspe zaznati. Boljše rezultate bi lahko pričakovali bodisi s povečano spektralno ločljivostjo kamere ali z uporabo metod strojnega učenja, hkrati s povečanim naborom vegetacijskih indeksov.

4 SKLEPI

Uporaba drona in multispektralnega slikanja je lahko dobra dopolnilna metoda pri vrednotenju poskusov učinkovitosti fungicidov. Kot so pokazali rezultati multispektralnega slikanja v našem primeru, metoda ni ustrežna za oceno vsake glivične bolezni, ampak le tistih, ki močnejše zaznamujejo spremembe v obsegu aktivne fotosintetske površine. Zaradi tega dejstva smo z multispektralnim slikanjem bili

uspešni pri vrednotenju učinkovitosti fungicidov pri zatiranju pšenične listne pegavosti, vendar nismo uspeli vrednotiti učinkovitosti fungicidnih kombinacij pri fuzariozah klasa.

Kadar so razlike med obravnavanji manjše, avtomatska izbira najustreznjšega vegetacijskega indeksa za pravilno razvrščanje učinkovitosti posameznega obravnavanja ni možna. Ustreznost posameznega vegetacijskega indeksa se lahko spreminja z rastnimi razmerami in je zanesljiva, če so na voljo tudi podatki terenskega vrednotenja. V našem primeru so najboljše rezultate dosegli indeksi, ki so neposredno določali obseg fotosinteze, torej indeksi, ki temeljijo na odboju v bližnje infrardečem delu in rdečem delu spektra. Metodo multispektralnega slikanja lahko uporabimo za vmesna spremljanja učinkovitosti in zmanjšamo število terenskih ocen. Prednost te metode je predvsem, da temelji na merljivih optičnih lastnostih proučevanega dejavnika, ki jih lahko ustrezno statistično vrednotimo in ki izključujejo morebitno subjektivnost ocen.

5 LITERATURA

289

- Barnes E.M., Clarke T.R., Richards S.E., Colaizzi P.D., Haberland J., Kostrzewski M., Waller P., Choi C., Riley E., Thompson T. 2000. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture and other resource management July 16-19, 2000, Bloomington, MN USA
- Berger S., Sinha A.K., Roitsch T. 2007. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant–pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany*, 58, 15–16: 4019–4026
- Delegido J., Verrelst J., Meza C.M., Rivera J.P., Alonso L., Moreno J. 2013. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 46, 42–52
- Devadas R., Lamb D.W., Simpfendorfer S., Backhouse D. 2009. Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agriculture*, 10, 6: 459–470
- Magney T.S., Eitel J.U.H., Vierling L.A. 2017. Mapping wheat nitrogen uptake from RapidEye vegetation indices. *Precision Agriculture*, 18, 4: 429–451
- Sanchez I.D., Souza Filho C.R., Magalhães L.A., Quitério G.C.M., Alves M.N., Oliveira W.J. 2013. Unravelling remote sensing signatures of plants contaminated with gasoline and diesel: An approach using the red edge spectral feature. *Environmental Pollution*, 174, 16–27
- Steddom K., Bredehoeft M.W., Khan M., Rush C.M. 2005. Comparison of Visual and Multispectral Radiometric Disease Evaluations of *Cercospora* Leaf Spot of Sugar Beet. *Plant Disease*, 89, 2: 153–158