

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВЕГЕТАЦИОННИТЕ ИНДЕКСИ ГЕНЕРИРАНИ ОТ БЛА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ДОБИВА НА БИОЛОГИЧЕН ЛИМЕЦ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Милен Чанев^{1,2}, Лъчезар Филчев¹, Богдан Бончев³, Дарина Вълчева²

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт по земеделие – Карнобат – Селскостопанска академия

³Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово – Селскостопанска академия
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Ключови думи: БЛА, вегетационни индекси, биологично земеделие

Резюме: Целта на настоящото изследване е да се установи група от вегетационни индекси генерирани от данни получени от безпилотен летателен апарат за прогнозиране на добивите от лимец отглеждан в условия на биологично земеделие. Експериментът е проведен през стопанската 2020-2021 г. на сертифицирано биологично поле, намиращо се в община Първомай, област Пловдив.

APPLICATION OF VEGETATION INDEXES GENERATED BY UAV TO DETERMINE THE YIELD OF ORGANIC EINKORN (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Milen Chanev^{1,2}, Lachezar Filchev¹, Bogdan Bonchev³, Darina Valcheva²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Institute of Agriculture - Karnobat - Agricultural Academy

³Institute of plant genetic resources “Konstantin Malkov” – Sadovo - Agricultural Academy
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Keywords: UAV, vegetation indices, organic farming

Abstract: The aim of the present study is to establish a group of vegetation indices generated from data obtained from an unmanned aerial vehicle for predicting the yields of einkorn grown in organic farming conditions. The experiment was conducted during the agriculture year 2020-2021 on a certified organic field located in the municipality of Parvomai, Plovdiv region.

Въведение

Дистанционните методи (ДМ) са широко използвани за селскостопански приложения. Те стоят в основата на прецизното земеделие и то не може да съществува без тях [2, 10, 12]. Дистанционните методи предлагат нови перспективи и методологични подходи за прецизно земеделие [1, 4, 5, 9, 11, 13, 16].

Чрез използването на ДМ може да се подобри прехода от конвенционално към биологично земеделие. Според Gitelson [7], технологиите за дистанционно наблюдение в различни мащаби често се оказват подходящ инструмент за мониторинг на селскостопанските култури. Потенциала на тези технологии по отношение на биологичното земеделие не е проучен напълно [3]. Технологията за дистанционно наблюдение в биологичното земеделие трябва да генерира информация на различни нива, която да се използва за планирането на ресурсите и да спомогне за устойчиво селскостопанско производство [15].

Използването на дистанционните методи, GPS технологиите и хиперспектралния анализ на изображенията спомогат на земеделските производители за преминаването към

агроекологично и биологично земеделие, което е повратна точка в земеделието [14]. Научните изследвания и технологичният напредък в областта на дистанционните изследвания значително подобриха способността ни да откриваме и количествено определяме физическите и биологичните натоварвания, които влияят върху производителността на селскостопанските култури [7, 8]. Технологиите на прецизното земеделие, които са базирани на аерокосмическите методи могат да се справят с някои проблеми в биологичното земеделие, свързани с управлението на водите и почвите, растителната защита и механизацията [6]. В това проучване показваме възможностите за употреба на данни получени от безпилотен летателен апарат (БЛА) и прогнозиране на добивите при биологично отглеждане на културата лимец (*Triticum monocossum*).

Материал и метод

Заснемането с БЛА се извърши на сертифицирано биологично поле от лимец намиращо се в землището на с. Бяла река, община Първомай по време на фенологичните фази вретенене и млечна зрялост. Използван е БЛА тип крило марка WingtraOne с мултиспектрална камера MicaSense RedEdge-MX и RGB камера Canon.

Първичната фотограметрична обработка на данните получени от БЛА е направена в специализираният софтуер Pix4D. В същият софтуер са генерирани и картите на вегетационни индекси (ВИ) по данни от БЛА.

Биометрични измервания

Получените данни са верифицирани чрез биометрични измервания в полето при достигане на технологична зрялост на посева.

Измерени са следните показатели върху 25 растения от дванадесет метровки:

- Височина на растенията (cm)
- Дължина на класа (cm)
- Брой зърна в класа
- Маса на зърното в класа (g)
- Биологичен добив (kg/dka)
- Маса на 1000 зърна (g).

Статистически анализи

Софтуерният продукт SPSS20, е използван за корелационен анализ за статистическо доказване на най-подходящите за употреба ВИ получени от БЛА на ниво пиксел и елементите на продуктивност и добива. Приема се, че когато коефициента на корелация (r) е от 0 до 0.33 – корелацията е слаба, когато r е в границите от 0.34 до 0.66 е средна и от 0.67 до 0.99 е силна.

Резултати

В Таблица 1 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (VCSH 45). Добивът като крайна резултативна величина е най-важният показател за посева. Поради това от най-голям интерес са корелациите между него и вегетационните индекси. Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива ($r=0.654^*$). На фигура 2 е представена картосхема на ВИ BSI във ваза вретенене. През тази фаза доказани средни корелации съществуват с индексите VVI и VARI, като при VARI тя е отрицателна. С елементите на продуктивността са установени силни положителни корелации с TVI, TGI и BIM по показателя брой класоносни стъбла на m^2 като съответно ($r=0.666^*$, $r=0.723^{**}$ и $r=0.685^*$). BIM е в силна положителна корелационна връзка с показателя брой зърна в клас ($r=0.848^{**}$) и средна с тегло на зърното от растение ($r=0.631^*$). VVI корелира силно с височина на растението ($r=0.713^{**}$). Съществува средна положителна корелация на DATТ с маса на 1000 зърна ($r=0.640^*$).

Таблица 1. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и ВИ от БЛА във фаза вретенене

| Показатели Индекси | Височина на растенията | Дължина на класа | Брой класоносни стъбла на m ² | Брой на зърната в класа | Тегло на зърната в клас | Тегло на зърното от растение | Маса на 1000 зърна | Добив |
|-----------------------|------------------------|------------------|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------|---------|
| VARI | -0.472 | -0.008 | -0.648* | -0.816* | 0.558 | -0.632* | -0.200 | -0.603* |
| TVI | 0.437 | -0.090 | 0.666* | 0.363 | 0.525 | 0.502 | 0.570 | 0.280 |
| TGI | 0.375 | -0.247 | 0.723** | 0.508 | 0.551 | 0.541 | 0.503 | 0.269 |
| SI | -0.309 | 0.008 | -0.311 | 0.024 | -0.245 | -0.223 | -0.445 | -0.257 |
| Shpshape_index | -0.432 | -0.141 | -0.384 | -0.097 | -0.324 | -0.337 | -0.433 | -0.457 |
| SCI | -0.105 | 0.109 | -0.170 | 0.179 | -0.102 | -0.052 | -0.360 | 0.021 |
| SAVI | 0.364 | -0.075 | 0.544 | 0.208 | 0.420 | 0.387 | 0.534 | 0.199 |
| RVI | 0.190 | -0.040 | 0.195 | -0.178 | 0.127 | 0.073 | 0.402 | 0.047 |
| RSAVI | -0.333 | 0.170 | -0.532 | -0.229 | -0.389 | -0.372 | -0.494 | -0.292 |
| RGBVI | -0.024 | -0.149 | 0.071 | -0.256 | 0.018 | -0.043 | 0.290 | -0.175 |
| OSAVI | 0.263 | -0.064 | 0.393 | 0.037 | 0.293 | 0.251 | 0.473 | 0.094 |
| NGRDI | 0.105 | -0.109 | 0.170 | -0.179 | 0.102 | 0.052 | 0.360 | -0.021 |
| NDVI_RE | 0.037 | -0.071 | 0.078 | -0.268 | 0.026 | -0.029 | 0.299 | -0.104 |
| NDVI | 0.067 | -0.034 | 0.099 | -0.260 | 0.051 | -0.004 | 0.328 | -0.099 |
| NDRE | 0.298 | 0.090 | 0.280 | -0.122 | 0.239 | 0.187 | 0.516 | 0.074 |
| MSAVI | 0.327 | -0.074 | 0.479 | 0.130 | 0.361 | 0.325 | 0.509 | 0.170 |
| HUE | -0.452 | 0.197 | -0.798 | -0.619* | -0.625* | -0.629* | -0.513 | -0.359 |
| HI | 0.139 | -0.054 | 0.192 | -0.152 | 0.131 | 0.092 | 0.369 | 0.039 |
| GRVI | 0.105 | -0.109 | 0.170 | -0.179 | 0.102 | 0.052 | 0.360 | -0.021 |
| GNDVI | 0.118 | 0.144 | 0.036 | -0.348 | 0.021 | -0.041 | 0.333 | -0.108 |
| GLI | 0.029 | -0.144 | 0.113 | -0.229 | 0.047 | -0.012 | 0.318 | -0.120 |
| GLAI | 0.133 | -0.090 | 0.189 | -0.158 | 0.124 | 0.079 | 0.375 | 0.020 |
| GCI | 0.151 | 0.155 | 0.059 | -0.333 | 0.037 | -0.026 | 0.351 | -0.066 |
| EVI | 0.398 | -0.071 | 0.582* | 0.254 | 0.458 | 0.430 | 0.553 | 0.247 |
| DVI | 0.448 | -0.078 | 0.672* | 0.368 | 0.532 | 0.509 | 0.575 | 0.287 |
| DATT | 0.504 | 0.224 | 0.421 | 0.021 | 0.391 | 0.350 | 0.640* | 0.238 |
| CVI | -0.053 | 0.263 | -0.222 | 0.070 | -0.134 | -0.094 | -0.343 | -0.015 |
| CIRE | 0.300 | 0.074 | 0.291 | -0.109 | 0.248 | 0.195 | 0.523 | 0.085 |
| CI | -0.314 | 0.016 | -0.313 | 0.009 | -0.254 | -0.233 | -0.449 | -0.268 |
| Chlorophyl_index | -0.074 | 0.105 | -0.145 | 0.200 | -0.082 | -0.031 | -0.341 | 0.056 |
| BNDVI | -0.067 | -0.058 | -0.030 | -0.367 | 0.059 | -0.131 | 0.244 | -0.286 |
| BIM | 0.418 | -0.103 | 0.685* | 0.848** | 0.569 | 0.631* | 0.205 | 0.506 |
| BSI | -0.728** | -0.682* | -0.273 | 0.061 | -0.174 | -0.218 | -0.323 | 0.654* |
| VVI | 0.713** | 0.515 | 0.223 | -0.054 | 0.226 | 0.247 | 0.367 | 0.600* |

На Таблица 2 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза млечна зрялост (BBCH 75). От данните прави впечатление, че във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност. По показателя дължина на класа нито един от 33 ВИ не е в корелационна зависимост. Височината на растението е също от показателите, който почти не корелират с ВИ. Установена е само една средна положителна корелация във фаза млечна зрялост. Вегетационният индекс SCI прави най-много положителни корелации, от които 5 са силни – добив ($r=0.657^*$), брой на зърната в класа ($r=0.731^{**}$), тегло на зърната в клас ($r=0.786^{**}$) и растение ($r=0.806^{**}$) и маса на 1000 зърна ($r=0.706^*$). SCI корелира средно положително и с брой класоносни стъбла на m².

С добива корелират 7 от ВИ, при които 3 са силни положителни и 4 силни отрицателни. Освен ВИ SCI в силна положителна връзка с добива са CVI ($r=0.689^*$) и Chlorophyl_index ($r=0.653^*$).

Установени са силни отрицателни корелации между добива и NGRDI ($r = -0.657^*$), GRDI ($r = -0.657^*$) и CLI ($r = -0.671^*$). Интерес представляват и установените силни положителни корелации на CI, BIM и BSI с показателите брой зърна в класа, които са съответно (0.742^{**} , 0.689^* , 0.659^*), тегло на зърното в клас (0.696^* , 0.679^* и 0.672^*).

Таблица 2. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост

| Показатели Индекси | Височина на растенията | Дължина на класа | Брой класоносни стъбла на m^2 | Брой на зърната в класа | Тегло на зърната в клас | Тегло на зърното от растение | Маса на 1000 зърна | Добив |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|--------|
| VARI | -0.446 | 0.210 | -0.522 | -0.624 | -0.704 | -0.724 | -0.684 | -0.671 |
| TVI | 0.001 | -0.060 | 0.093 | 0.052 | 0.024 | 0.046 | 0.275 | 0.505 |
| TGI | 0.074 | 0.006 | 0.070 | 0.233 | 0.181 | 0.151 | -0.100 | -0.404 |
| SI | 0.376 | -0.065 | 0.610 | 0.744** | 0.707* | 0.725** | 0.493 | 0.351 |
| shpshapeindex | 0.396 | -0.069 | -0.573 | 0.761** | 0.712** | 0.729** | 0.462 | 0.317 |
| SCI | 0.480 | -0.199 | 0.603 | 0.731** | 0.786** | 0.807** | 0.706* | 0.657* |
| SAVI | -0.011 | 0.053 | 0.094 | 0.179 | 0.032 | 0.115 | 0.231 | 0.195 |
| RVI | -0.470 | 0.188 | -0.680 | -0.780 | -0.800 | -0.810 | -0.634 | -0.548 |
| RSAVI | -0.110 | 0.005 | -0.141 | -0.023 | -0.150 | -0.075 | -0.352 | -0.092 |
| RGBVI | 0.331 | 0.353 | 0.054 | 0.186 | 0.250 | 0.322 | 0.134 | 0.552 |
| OSAVI | 0.100 | 0.176 | 0.051 | 0.149 | 0.082 | 0.163 | -0.136 | 0.289 |
| NGRDI | -0.480 | 0.480 | -0.603 | -0.731 | -0.786 | -0.807 | -0.706 | -0.657 |
| NDVI_RE | -0.543 | 0.212 | -0.658 | -0.806 | -0.891 | -0.894 | -0.766 | -0.573 |
| NDVI | -0.501 | 0.251 | -0.604 | -0.830 | -0.884 | -0.882 | -0.710 | -0.495 |
| NDRE | -0.155 | 0.270 | -0.274 | -0.631 | -0.512 | -0.506 | -0.201 | -0.092 |
| MSAVI | -0.046 | 0.082 | -0.154 | -0.026 | -0.118 | -0.136 | -0.352 | -0.541 |
| HUE | -0.125 | -0.003 | -0.095 | -0.262 | -0.246 | -0.215 | -0.025 | -0.332 |
| HI | -0.510 | 0.170 | -0.614 | -0.800 | -0.838 | -0.859 | -0.699 | -0.609 |
| GRVI | -0.480 | 0.199 | -0.603 | -0.731 | -0.786 | -0.807 | -0.706 | -0.657 |
| GNDVI | 0.322 | 0.510 | -0.337 | -0.308 | -0.007 | -0.022 | 0.168 | -0.153 |
| GLI | -0.451 | -0.215 | -0.519 | -0.629 | -0.709 | -0.729 | -0.685 | -0.671 |
| GLAI | -0.487 | 0.188 | -0.619 | -0.755 | -0.802 | -0.824 | -0.705 | -0.646 |
| GCI | -0.378 | 0.177 | -0.525 | -0.715 | -0.701 | -0.681 | -0.426 | -0.174 |
| EVI | -0.071 | 0.089 | -0.179 | -0.069 | -0.168 | -0.185 | -0.391 | -0.556 |
| DVI | 0.025 | 0.048 | -0.071 | 0.088 | 0.014 | -0.008 | -0.244 | -0.488 |
| DATT | -0.240 | -0.100 | 0.636 | -0.594 | -0.503 | -0.542 | -0.272 | -0.285 |
| CVI | 0.283 | -0.022 | 0.305 | 0.291 | 0.348 | 0.401 | 0.448 | 0.689* |
| CIRE | -0.152 | 0.259 | -0.276 | -0.624 | -0.505 | -0.500 | -0.195 | -0.086 |
| CI | 0.374 | -0.058 | 0.618 | 0.742** | 0.696* | 0.714** | 0.474 | 0.344 |
| Chlorophyl_index | 0.495 | -0.196 | 0.585 | 0.742** | 0.802** | 0.823** | 0.714** | 0.653* |
| BNDVI | 0.324 | 0.421 | -0.220 | 0.017 | 0.185 | 0.227 | 0.173 | 0.400 |
| BIM | 0.382 | -0.183 | 0.422 | 0.689* | 0.679* | 0.655* | 0.357 | -0.007 |
| BSI | 0.364 | -0.180 | 0.390 | 0.659* | 0.672* | 0.642 | 0.367 | 0.367 |
| VVI | 0.415 | 0.243 | 0.421 | -0.688 | 0.716** | -0.689 | -0.437 | -0.071 |

Заклучение

По отношение на добива и елементите на продуктивност се установява, че данните получени от БЛА при фазата млечна зрялост са по-подходящи, за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива. Установено, е че от всички проучени ВИ само BSI има силна положителна корелационна връзка с добива, а ВИ VARI е в средна отрицателна корелационна връзка с добива по време на фаза вретенене.

По време на фаза млечна зрялост ВИ, които са в силна корелационна връзка с добива са CVI, SCI и Chlorophyl_index, докато ВИ VARI, NGRDI, HI, GRVI, GLI и GLAI, са в силна отрицателна корелационна връзка. ВИ CI, BIM и BS са в силни положителни корелации с показателите брой зърна в класа и тегло на зърното в клас, което показва, че също биха били много успешно да прогнозираат добива.

Литература:

1. Baranyai, L. and F. Firtha. 1997. Comparison of grain color and shape by image analysis, <http://physics2.kee.hu/default.php?id=6> (in Hungarian).
2. Bendig, J., Bolten, A., & Bareth, G. 2013. UAV-based Imaging for Multi-Temporal, very high Resolution Crop Surface Models to monitor Crop Growth Variability. *Photogrammetrie—Fernerkundung—Geoinformation*. 2013 (6), pp. 551–562.
3. Diacono, M., D. De Benedetto, A. Castrignanò, P. Rubino, C. Vitti, H.M. Abdelrahman, D. Sollitto, C. Cocozza, D. Ventrella, 2013. “A combined approach of geostatistics and geographical clustering for delineating homogeneous zones in a durum wheat field in organic farming”, *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, Volumes 64–65, pp. 47–57.
4. Fekete, A., Földesi, I., Kovács, L., Kókai, M., Héger, L. 2004. Automatic control systems for precision farming (in Hungarian). *Proceedings of NKFP Conference, Bábolna*.
5. Felföldi, J., A. Fekete, E. Gyori, and A. Szepes. 2001. Variety identification by computer vision. *Acta Horticulturae*. 562, pp. 341–345.
6. Ferreira, S., Sánchez, J. M., Gonçalves, J. M. Can 2021. Organic Farming development be driven by Remote Sensing technology? in *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Agronomy*, 3–17 May 2021, MDPI: Basel, Switzerland, doi:10.3390/IECAG2021-10014
7. Gitelson, A., 2012. Remote sensing estimation of crop biophysical characteristics at various scales. In: *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A., Eds., CRC Press. USA. ISBN 978-1-4398-4537-0.
8. Hatfield, P. L. and P. Pinter. 1993. Remote sensing for crop protection. *Crop Protection*. 12(6): 403–413. doi:10.1016/0261-2194(93)90001-y.
9. Jung, A., Hegedűs, B., Drexler, D. & Vohland, M., 2014. Rapid treatment monitoring by field spectroscopy. In *Proceedings of the 18th IFOAM World Congress, Istanbul, Turkey (FP)*.
10. Jung, A., Kardeván, P., & Tókei, L. 2006. Hyperspectral technology in vegetation analysis. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 2(1), pp. 95–117.
11. Lang, Z., J. Kriston-Vizi, and S. Molnar. 2000. Precision Farming in Fruit Production. MTA. AMB Conference. Godollo, Hungary. (in Hungarian)
12. Mulla, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114(4), pp. 358–371.
13. Németh, T., & Neményi, M. 2004. Precision farming. *Biotechnológiai és Agrárgazdasági Fejlesztések*, 67–76.
14. Niggli, U., Wang-Müller, Q., Willer, H., & Fuchs, J. 2021. Innovation in agroecological and organic farming systems. *中国生态农业学报 (中英文)*, 29(3), 1. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200469
15. Syiem, M. D. 2003. Impact of agricultural literature on organic farming in northeastern region. *Indian Journal of Hill Farming (India)*.
16. Tamas, J. 2001. Precision Agriculture, *Mezogazdasagi Szaktudas Kiado, Budapest* (in Hungarian).