

НОРМАЛІЗОВАНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС І ВІДСОТОК ЗЕЛЕНОГО ПОКРИВУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ОЗИМОГО РІПАКУ ТА САФЛОРУ

ЛИХОВИД П.В. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант
orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку агротехнологій вимагає поступового трансферу від традиційних систем землеробства до інформатизованих систем точного землеробства, що нерозривно пов'язано з масовим впровадженням у виробничий процес засобів і технологічних пристроїв для отримання та інтерпретації даних супутникового моніторингу з їх подальшою інтеграцією в моделі автоматизованого прийняття управлінських рішень, програмування продуктивності агроєкосистем, моніторинг стану довкілля, тощо [1, 2]. Отже, вітчизняна наука повинна дати аграріям алгоритми ефективного зчитування даних супутникового моніторингу та використання інформаційних технологій в практичних реаліях сьогодення, оскільки зараз український агровиробник помітно відстає від західноєвропейського чи американського в плані ефективного використання сучасних технологічних можливостей і засобів у сфері виробництва продукції рослинництва. З одного боку, існує недостатня обізнаність вітчизняного агровиробника з останніми інноваційними винаходами в галузі, а з іншого – вітчизняний ринок не пропонує достатньо якісного та доступного у фінансовому плані обладнання та систем для роботи на засадах точного землеробства. Наприклад, прогнози продуктивності сільськогосподарських культур та моніторинг їх стану можна виконувати за допомогою використання супутникових даних щодо нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), що є дуже зручним і простим інструментом [3]. Однак, комерційні продукти, що пропонують європейські платформи, часто є надто високовартісними для придбання українським аграрієм. Водночас, безкоштовні сервіси та сервіси для академічних установ (наприклад, Copernicus) не завжди забезпечують належну якість одержуваної інформації, покривають обмежені території з обмеженим часовим параметром (як кратності знімків за період часу, так і тривалості історичного періоду в цілому), можуть потребувати камеральної доробки «сирих» супутникових знімків, а отже, не завжди можуть слугувати якісною альтернативою. Таким чином, постає закономірна потреба у пошуку можливостей одержання даних щодо вегетаційного індексу «на місцях» за мінімальних витрат і з максимальною можливою точністю. На допомогу може прийти конвертація площі зеленого покриву (FGCC) в NDVI на основі регресійної моделі. Площа зеленого покриву – доступний індекс, який можна одержати лише в кілька кроків маючи смартфон з камерою. Фотографічний знімок, виконаний паралельно до поверхні поля на висоті 1,5-2,5 м автоматично обраховується в професійному безкоштовному мобільному додатку Saporeo, і вже за

кілька секунд фермер отримує інформацію щодо відсотку покриття сфотографованої ділянки рослинністю [4]. Метод є дуже зручним, інтуїтивно простим, мало витратним, а головне – результати розрахунків можна використовувати як напряму в моделях продуктивності кормових угідь або для визначення біомаси рослин [5], так і для конвертації в більш поширений у системах точного землеробства індекс NDVI [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями було встановлено наявність тісного кореляційного зв'язку між величиною NDVI та FGCC для ряду культурних рослин. Обидва вегетаційні індекси успішно використовувалися в моделях продуктивності та моніторингу стану посівів, втім, до останнього часу перевага та більша вивченість за правом належать супутниковому NDVI. Вивчення взаємозв'язку між NDVI та FGCC протягом останніх десятиліть здійснено для овочевих і садових культур, кукурудзи, сої, пшениці та ячменю. Вища тіснота зв'язку та відповідність між величинами NDVI та FGCC, очевидно, належать культурам суцільного способу сівби. Втім, наразі наявних у науковій літературі результатів недостатньо для того, щоб мати повне уявлення про взаємовідношення між NDVI та FGCC, оскільки спектр досліджених культур не є повним, а моделі часто обмежені лінійним зв'язком [7–10].

Мета. Здійснити аналітичну оцінку взаємозв'язку між супутниковим NDVI та безпосередньо одержаним в полі за допомогою мобільного додатку Saporeo FGCC для надання моделей можливої їх взаємної конвертації під час вирощування культур озимого ріпаку та сафлору.

Матеріали та методика досліджень. Для виконання аналітичної оцінки було використано фотографічні знімки посівів озимого ріпаку та сафлору (дослідні поля Інституту зрошуваного землеробства НААН) в період вегетації 2021 року, виконані на камеру смартфона Sony Xperia XZ2 Premium та оброблені в мобільному додатку Saporeo, розробленому в Університеті Огайо (США), за стандартних налаштувань спектрографічної оцінки. Фотографічні знімки посівів виконували в періоди «початок цвітіння – кінець досягання» ріпаку озимого та «10–12 справжніх листків – кінець досягання» сафлору. За даними геолокації в подальшому фотознімки було асоційовано зі знімками супутникового NDVI з платформи OneSoil AI (роздільна здатність платформи дозволяє виокремлювати в конкретні пікселі квадрати площею 25 м²), таким чином, було одержано по 100 пар даних для кожної з досліджуваних культур, які було проаналізовано методами нелінійного регресійного аналізу [11]. За результатами аналітичних розрахунків було запропоновано моделі-поліноми взаємної

конвертації величин NDVI та площі зеленого покриву для досліджуваних культур. Точність моделей оцінювали за величинами коефіцієнту детермінації та абсолютної середньої похибки у відсотках.

Результати досліджень. У результаті виконаних статистичних розрахунків було розроблено по дві моделі для кожної з досліджуваних культур, які відображають тісноту взаємозв'язку між параметрами NDVI та FGCC, а також слугують у якості «конвертера» між двома вегетаційними індексами.

Величина коефіцієнту детермінації R² вказує на високу якість підгону моделей (>0,90), похибка розрахунків складає 2,87–37,88% для моделей озимого ріпаку та 2,15–4,95% для моделей сафлору, відповідно. Апроксимаційні криві та рівняння моделей наведено на рис. 1.

Максимальну похибку дала модель конвертації площі зеленого покриву ріпаку озимого в NDVI, що може бути пов'язано з особливостями листового апарату культури та спотвореннями величини вегетаційного індексу

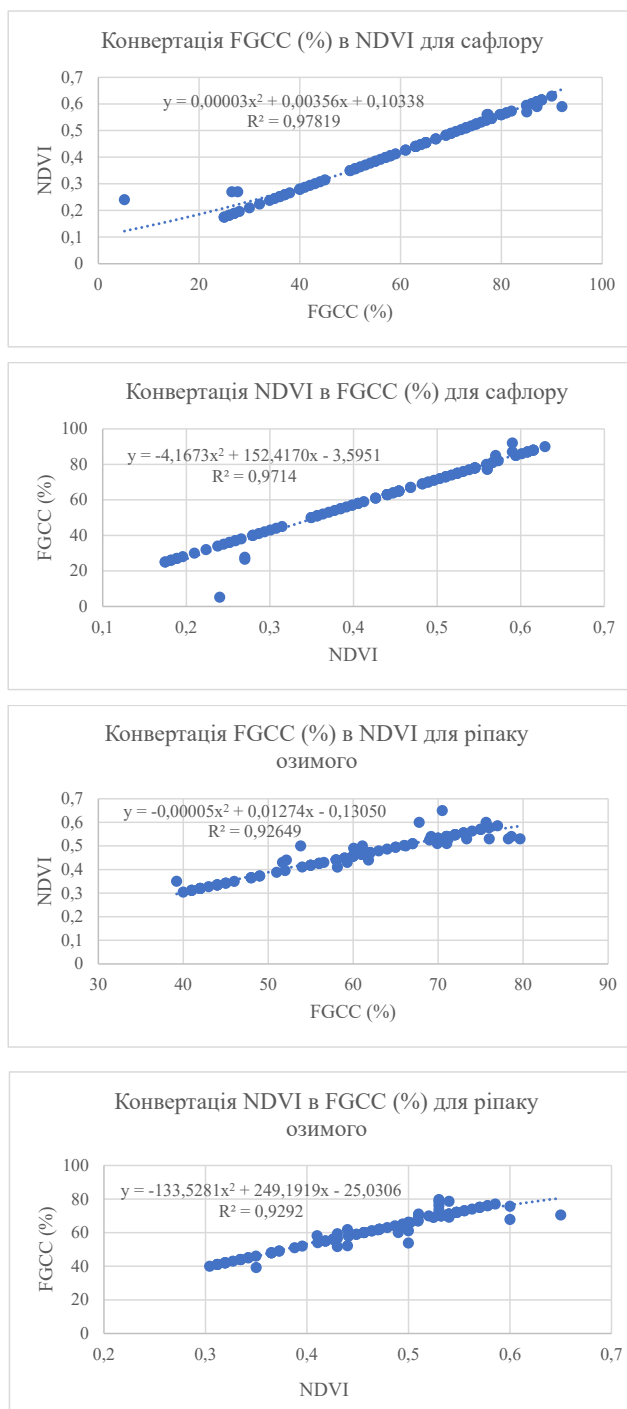


Рис. 1. Моделі для взаємної конвертації між NDVI та FGCC для ріпаку озимого та сафлору

внаслідок яскраво-жовтого кольору квіток у культури під час її масового цвітіння (це дає певний відсоток похибки при супутниковому моніторингу вегетаційного індексу, який розраховується на основі різниці у спектральних відбиттях світла від поверхні посівів) [12]. У той же час, усі моделі конвертації NDVI у FGCC показали відмінну точність із похибкою менше 10%, що дозволяє рекомендувати їх для практичного впровадження у комплексні моделі оцінки стану посівів та їх продуктивності в рамках підходів і систем точного землеробства.

Застосування розробки дозволить будь-якому фермеру, який володіє сучасним смартфоном на базі ОС Android або iOS шляхом простих маніпуляцій у мобільному додатку Сапорео отримати не тільки відсоток покриття культурою земельної ділянки (що само по собі вже цінно та дає змогу опосередковано аналізувати темпи наростання біомаси та прогнозувати вихід кормової продукції в зеленому конвеєрі), але й шляхом перерахунку для конкретної культури одержати актуальні дані щодо величини NDVI на ділянці без додаткових витрат. У майбутньому планується надання подібних рекомендацій щодо взаємної конвертації між FGCC та NDVI для більшості основних сільськогосподарських культур, вирощуваних у зрошуваних та неполивних умовах Півдня України, а також створення для більшої зручності мобільного додатку для швидкої взаємної конвертації вегетаційних індексів.

Висновки. Результатами дослідження доведено високу спорідненість та можливість взаємної конвертації між нормалізованим диференційним вегетаційним індексом, одержуваним за даними супутникового моніторингу, та відсотковим відношенням площі зеленого покриву на посівах озимого ріпаку та сафлору. Результати розробки можуть бути вдосконалені збільшенням вихідного набору даних та впроваджені у системи точного землеробства в науково-теоретичних і практичних цілях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Jones J. W., Hoogenboom G., Porter C. H., Boote K. J., Batchelor W. D., Hunt L. A., Wilkens P. W., Singh U., Gijsman A. J., Ritchie J. T. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 2003. Vol. 18(3–4). P. 235–265.
2. Liaghat S., Balasundram S. K. A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5(1). P. 50–55.
3. Shafi U., Mumtaz R., García-Nieto J., Hassan S. A., Zaidi S. A. R., Iqbal N. Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors*. 2019. Vol. 19(17). P. 3796.
4. Patrignani A., Ochsner T. E. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107(6). P. 2312–2320.
5. Jáuregui J. M., Delbino F. G., Bonvini M. I. B., Berhongaray G. Determining yield of forage crops using the Canopeo mobile phone app. *Journal of New Zealand Grasslands*. 2019. P. 41–46.
6. Reed V., Arnall D. B., Finch B., Bigatao Souza J. L. Predicting Winter Wheat Grain Yield Using Fractional Green Canopy Cover (FGCC). *International Journal of Agronomy*. 2021. Vol. 2021.
7. McGlinch G. J., Jacquemin S. J., Lindsey L. E. Evaluating winter malting barley grain yield with fractional green canopy cover. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2021. Vol. 7(1), P. e20079.
8. Lukina E. V., Stone M. L., Raun W. R. Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*. 1999. Vol. 22(2). P. 341–350.
9. De la Casa A., Ovando G., Bressanini L., Martínez J., Díaz G., Miranda C. Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. Vol. 146. P. 531–547.
10. Trout T. J., Johnson L. F., Gartung J. Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *HortScience*. 2008. Vol. 43(2). P. 333–337.
11. Chatterjee S., Hadi A. S. Regression analysis by example. John Wiley & Sons, 2013.
12. Білинський Й. Й., Книш, Б. П. Аналіз характеристик та обґрунтування індексів рослинності. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. Вип. (2). С. 7–14.

REFERENCES:

1. Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 235–265.
2. Liaghat, S., & Balasundram, S. K. (2010). A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 50–55.
3. Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Zaidi, S. A. R., & Iqbal, N. (2019). Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors*, 19(17), 3796.
4. Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312–2320.
5. Jáuregui, J. M., Delbino, F. G., Bonvini, M. I. B., & Berhongaray, G. (2019). Determining yield of forage crops using the Canopeo mobile phone app. *Journal of New Zealand Grasslands*, 41–46.
6. Reed, V., Arnall, D. B., Finch, B., & Bigatao Souza, J. L. (2021). Predicting Winter Wheat Grain Yield Using Fractional Green Canopy Cover (FGCC). *International Journal of Agronomy*, 2021, 1443191.
7. McGlinch, G. J., Jacquemin, S. J., & Lindsey, L. E. (2021). Evaluating winter malting barley grain yield with fractional green canopy cover. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 7(1), e20079.
8. Lukina, E. V., Stone, M. L., & Raun, W. R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2), 341–350.
9. De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J., Díaz, G., & Miranda, C. (2018). Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 531–547.
10. Trout, T. J., Johnson, L. F., & Gartung, J. (2008). Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *HortScience*, 43(2), 333–337.
11. Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2013). *Regression analysis by example*. John Wiley & Sons. [In English]
12. Bilynskyi, Yo. Yo., & Knysh, B. P. (2021). Analiz kharakterystyk ta obgruntuvannia indeksiv roslynnosti

[Analysis of characteristics and justification of vegetation indices]. *Herald of Vinnytsia Polytechnical Institute*, (2), 7–14. [In Ukrainian]

Лиховид П.В. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс і відсоток зеленого покриву при вирощуванні озимого ріпаку та сафлору

Мета. Здійснити аналітичну оцінку взаємозв'язку між супутниковим NDVI та безпосередньо одержаним в полі за допомогою мобільного додатку Canopeo FGCC для надання моделей можливої їх взаємної конвертації під час вирощування культур озимого ріпаку та сафлору.

Методи. Польові зйомки фотографічних матеріалів посівів ріпаку озимого та сафлору в періоди «початок цвітіння – кінець досягання» та «10–12 справжніх листків – кінець досягання», відповідно. Обробка фотознімків у програмному продукті Canopeo для розрахунку величини відсоткового зеленого покриття культурами земельних ділянок (FGCC). Прив'язка за даними геотегінгу місць фотозйомки до величин супутникового нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) на платформі OneSoil AI. Статистична обробка результатів методом поліноміальної регресії, формування моделей конвертації між вегетаційними індексами та оцінка точності моделей за величиною абсолютної середньої похибки у відсотках.

Результати. Встановлено, що досліджувані вегетаційні індекси мають високу тісноту нелінійного зв'язку, розроблені поліноміальні криві та моделі мають високу якість підгону з коефіцієнтом детермінації понад 0,90, а також відрізняються достатнім рівнем точності (похибка розрахунків для більшості моделей не перевищує 10%). Максимальну похибку (37,88%) дала модель конвертації площі зеленого покриву (FGCC) ріпаку озимого в NDVI, що пов'язано з особливостями листового апарату культури та спотвореннями величини вегетаційного індексу внаслідок яскраво-жовтого кольору квіток у культури під час її масового цвітіння. Перспективною є розробка подібних моделей для всіх основних культур, вирощуваних на Півдні України, та створення спеціального мобільного додатку для автоматизованої конвертації між вегетаційними індексами.

Висновки. Результатами дослідження доведено високу спорідненість та можливість взаємної конвертації між нормалізованим диференційним вегетаційним індексом (NDVI), одержуваним за даними супутникового моніторингу, та відсотковим відношенням площі зеленого покриву (FGCC) на посівах озимого ріпаку та сафлору. Результати розробки можуть бути вдосконалені збільшенням вихідного набору даних та впроваджені у системи точного землеробства в науково-теоретичних і практичних цілях.

Ключові слова: Canopeo, модель, поліном, регресія, точне землеробство.

Lykhovyd P.V. Normalized difference vegetation index and fractional green canopy cover under winter rapeseed and safflower crops

Purpose. Perform an analytical assessment of the relationship between satellite NDVI and FGCC obtained directly in the field using the Canopeo mobile application to provide models of their possible mutual conversion for winter rapeseed and safflower crops.

Methods. Field photography of photographic materials in winter rapeseed and safflower crops during the periods 'beginning of flowering – end of ripening' and '10–12 true leaves – end of ripening', respectively. Processing of photographs in the software product Canopeo to calculate the fractional green canopy cover in the crops (FGCC). Binding, according to geotagging data, of photographic sites to the values of the spatial normalized differentiated vegetation index (NDVI) on the OneSoil AI platform. Statistical processing of the results by the method of polynomial regression, the formation of conversion models between vegetation indices and the assessment of the accuracy of the models by the magnitude of the mean absolute percentage error.

Results. It has been established that the studied vegetation indices have a high tightness of non-linear relationship, the developed polynomial curves and models have a high quality of fitting with a determination coefficient of more than 0.90, and also have a sufficient level of accuracy (the calculation error for most models does not exceed 10%). The maximum error (37.88%) was given by the model for converting the fractional green canopy cover area (FGCC) of winter rapeseed into NDVI, which is associated with the characteristics of the leaf apparatus of the crop and distortions in the value of the vegetation index due to the bright yellow color of the crop flowers during its mass blooming. It is promising to develop such models for all major crops cultivated in the South of Ukraine and create a special mobile application for automated conversion between vegetation indices.

Conclusions. The results of the study showed a high relationship and the possibility of mutual conversion between the normalized differentiated vegetation index (NDVI), obtained from satellite monitoring data, and the fractional green canopy cover area (FGCC) in winter rapeseed and safflower crops. The development results can be improved by increasing the initial data set and implemented in precision farming systems for scientific, theoretical, and practical purposes.

Key words: Canopeo, model, polynomic, regression, precision agriculture.