

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОСІВІВ ПІД ЧАС ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЮ

В. П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
О. О. ОПРИШКО, кандидат технічних наук
Д. С. КОМАРЧУК, кандидат технічних наук
Н. А. ПАСІЧНИК, кандидат сільськогосподарських наук
e-mail: ozon.kiev@gmail.com

***Анотація.** Розглянуто підходи до використання безпілотних літальних апаратів стосовно програмування врожаю. Визначено перспективні параметри вимірювань шляхом підбору режиму зйомки рослин кукурудзи цифровим фотоапаратом.*

***Ключові слова:** програмування врожаю, безпілотний літальний апарат (БПЛА), вегетаційний індекс*

Розробка і впровадження системи моніторингу стану посівів із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої дасть змогу отримувати оперативну інформацію про стан посівів як передумову для максимальної економічної ефективності господарств.

Об'єктом дослідження є стан посівів, який оцінюється виходячи зі спектральних характеристик рослин, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів і наземних досліджень.

Предметом дослідження є залежність між спектральними характеристиками рослин і рівнем забезпечення їх елементами живлення.

Використання дистанційних методів діагностики живлення рослин поки не набуло поширення, що зумовлено їх новизною і недостатньою вивченістю в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах і на конкретних культурах. У світі нині застосовують безконтактні датчики, такі як Greenseeker (Trimble Agriculture – США), CropSpec (Topcon Positioning Systems – Японія), N-sensor (Yara International – Норвегія), які розміщуються безпосередньо на мобільному обладнанні і, виходячи з кольору рослин, визначають потребу і дозу добрив [1].

Принцип дії датчиків базується на здатності хлорофілу рослин відбивати світлові хвилі в ближньому інфрачервоному діапазоні і поглинати в інфрачервоному діапазоні (індекс NDVI). Більш широкий частотний діапазон (400–800 нм) використовується в датчиках Holland Scientific Crop Circle ACS-470 (США), що дає змогу отримувати більш повну інформацію (індекси NDVI, NDRE) [2]. Але в усіх цих датчиках використовується додаткове освітлення зразків, що обмежує можливість його використання на базі БПЛА класу мікро. Крім того, дане обладнання

не призначене для попередньої оцінки стану посівів на різних стадіях росту, що необхідно під час програмування врожаю.

У роботі Kang Yu, V.L.Wiedemann, X. Chen, G. Bareth [3] розглядалися різні спектри рослин на різних стадіях росту, при різному позиціонуванні листа по відношенню до сенсорів, і визначалися складові саме рослин, а не ґрунту. Дослідження, проведені в лабораторних умовах, дали змогу отримати спектральні портрети рослин, але при використанні цих методик у польових умовах необхідно враховувати випадковий характер освітлення і можливість випадання конденсату.

У польових умовах моніторинг посівів щодо азотного живлення, виходячи з їх спектральних характеристик, проводився УАО Xin-feng [4], але і в цьому випадку відстань між посівами і сенсором була незначною, і можливість використання методики для БПЛА не розглядалася.

Проведені дослідження [5], в яких дистанційно з борту БПЛА вивчалися спектри рослин, але метою роботи було виявлення забруднень поля хімічними речовинами, для чого використовувався лазер для підсвічування зразків, що енергетично складно піддається реалізації для підсвічування поля площею від 10 Га. Солоха М. О. [6] описав досвід використання БПЛА для моніторингу посівів без використання додаткового освітлення, але метою його досліджень було визначення ступеня дозрівання і сортимент рослин, тобто умови живлення рослин не розглядалися. Аналогічна робота проводилася J. Gago [7], але вивчався стан зволоження рослин і встановлювалася кількість біомаси, а не потреба в елементах живлення.

Індекси NDVI також отримували за допомогою аеро- і космічної фотозйомки [8], але в цих дослідженнях розглядали усереднене значення, зумовлене роздільною здатністю сенсора, достатнє для прогнозування врожаю, але недостатнє для диференціальної підгодівлі.

Аналіз літературних джерел свідчить, що для забезпечення листової діагностики з відстані понад 2 м, необхідно при кожному вимірі враховувати ступінь освітленості по всьому діагностованому спектру. У наземних дослідженнях це легко реалізувалося застосуванням оптичних шаблонів [9], що методологічно важко піддається реалізації на великих площах.

Мета досліджень – розробка і впровадження системи моніторингу стану посівів із використанням безпілотних літальних апаратів.

Матеріали і методика досліджень. Як досліджувану культуру взяли кукурудзу. Вегетаційний досвід було закладено, відповідно, до методики [10] у фітотроні з автоматизованим управлінням. У субстрат із низьким вмістом органіки і поживних речовин внесли різні дози азоту у вигляді мінерального добрива (аміачної селітри).

Результати досліджень. Цифрова фотокамера БПЛА розрахована на природне освітлення в безхмарну погоду і за наявності хмар, що визначається відповідними режимами в налаштуваннях фотокамери. Цим двом режимам були присвячені додаткові дослідження.

Апроксимуючі залежності для цих режимів зйомки виводилися виходячи з середньоарифметичних значень інтенсивності складових кольору для обох сторін листа (1):

$$I = I_1 \times (1 - e^{(-t/m1)}) + I_2 \times (1 - e^{(-t/m2)}) \quad (1)$$

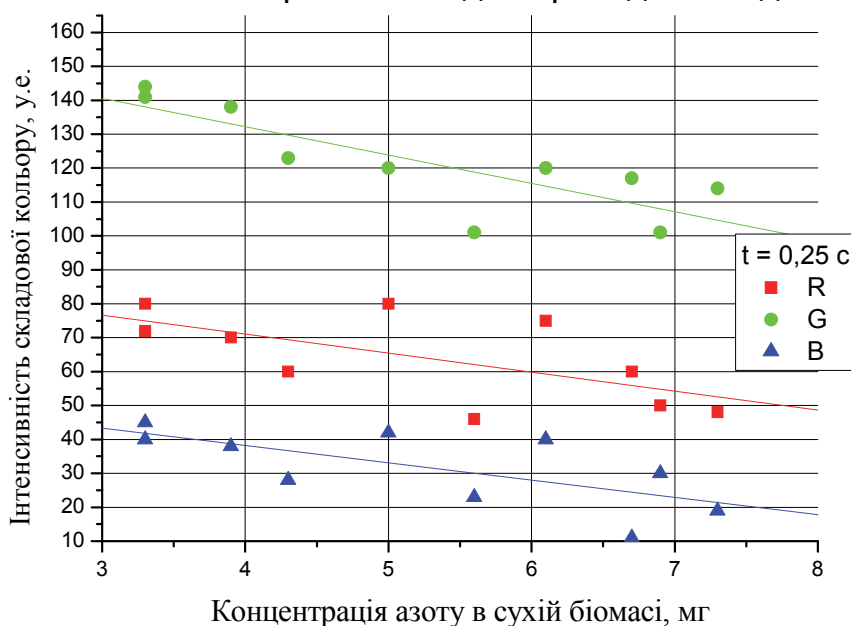
де: I – інтенсивність складової кольору;

I, m – коефіцієнти;

t – приведений час експозиції;

Було досліджено співвідношення між відхиленням середнього значення від розрахункового за апроксимуючою формулою для складових кольору листа і величини корекції експозиції. Було встановлено, що мінімальні відхилення спостерігаються для режиму зйомки «баланс білого – ясно» для червоної і зеленої складових, відповідно, саме ці канали кольору і режим зйомки найбільш прийнятні для польових досліджень з БПЛА.

На рисунку представлені залежності інтенсивностей складових кольору від концентрації азоту в біомасі кукурудзи для фази 5–6 листків. Саме ця фаза зростання і розвитку відповідає повному переходу рослин на кореневе живлення і є ефективною для проведення підживлення.



Залежність інтенсивності складових кольору листа від кількості N

Встановлено, що найбільш яскраво залежність спостерігається в зеленій і червоній складових кольору. Великий розкид значень пояснюється тим, що при дослідженнях сторін аркуша, значний відсоток поверхні становили прожилки листа, які мають світліші відтінки. При зйомках із дистанцій у кілька десятків метрів такий вплив на загальний колірний фон має зменшитися.

Висновки

- Цифровий фотоапарат може використовуватися в польових умовах для індикації рівня забезпечення рослин кукурудзи азотом, без додаткового штучного освітлення.
- Найбільш перспективними режимами зйомки для фотоапарата є значення «ясно» для параметра «баланс білого».
- За попередніми даними, найбільш перспективними оптичними каналами для досліджень в моделі RGB є зелений і червоний.

- У вегетаційному досвіді у фітотроні доцільно розглядати не частину верхнього листя, а лист цілком.
- Залежність оптичних показників рослин від забезпеченості їх азотом на різних етапах розвитку потребує продовження і розширення досліджень.

Список літератури

1. Любченко С. Азот потребує точності / С. Любченко // Пропозиція : укр. журн. з питань агробізнесу. – 2013. – № 5. – С. 120–124.
2. Fei Li, Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S. Ustin, X. Chen (2014) // Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 15 February, 111–123.
3. Kang Yu, V. L. Wiedemann, X. Chen, G. Bareth. (2014). Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, November, 58–77.
4. Y. Xin-feng, Y. Xia, T. Yong-chao, N. Jun, L. Xiao-jun, C. Wei-xing, Z. Yan (2013) // A New Method to Determine Central Wavelength and Optimal Bandwidth for Predicting Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat // *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (5), 788–802.
5. Гніденко В. В. / В. В. Гніденко, М. В. Наливайчук, В. О. Яценко Вимірювально-обчислювальна система на базі Авіаційного гіперспектрометра // Наукові праці НУХТ. – № 48. – 2013. – С. 17–22.
6. Солоха М. О. Динаміка спектральної яскравості посівів м'якої пшениці за даними аерофотозйомки / М. О. Солоха // Вісник ХНАУ. – № 2, 2013. – С. 57–62.
7. J. Gago, C. Douthe, R. E. Coopman, P. P. Gallego, M. Ribas-Carbo, J. Flexas, J. Escalona, H. Medrano (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture // *Agricultural Water Management*, 153, 1 May, 9–19.
8. Визначення вмісту гумусу в ґрунті неконтактними методами / С. Ю. Булигін, О. О. Опришко, Н. А. Гайбура, Д. І. Бідолах // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 4. – С. 34–37.
9. Андріїшина М. В. Удосконалена методика визначення вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах на базі цифрової фотометрії / М. В. Андріїшина, С. Ю. Булигін, О. О. Опришко // Аграрна наука і освіта. – 2007. – Т. 8. – № 5–6. – С. 80–84.
10. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. – М. : Наука, 1968. – 260 с.

References

1. Lubchenko, S. (2013). Azot potrebuye tochnosti [Nitrogen needs precision]. Offer: Ukrainian magazine for agribusiness, 5, 120–124.
2. Fei Li, Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S. Ustin, X. Chen (15 February 2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111–123.
3. Kang Yu, V. L. Wiedemann, X. Chen, G. Bareth (2014). Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, 58–77.
4. Y. Xin-feng, Y. Xia, T. Yong-chao, N. Jun, L. Xiao-jun, C. Wei-xing, Z. Yan (2013). A New Method to Determine Central Wavelength and Optimal Bandwidth for Predicting Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (5), 788–802.

5. Gnidenko, V. V., Nalivaychuk, M. V., Yatsenko, V. O. (2013). Vimiryuvalno-obchislualna systema na bazi Aviatsiynogo giperspektrometru [Measurement-computer system at the Aviation hyperspektrometr]. Proceedings of the National University of Food Technologies, 48, 17–22.

6. Soloha, M. O. (2013). Dinamika spektralnoy yarkosti posiviv myakoi pshenitsi za dannimy aerofotosyomki [The dynamics of the spectral brightness of the crops of wheat, according to aerial photography]. Bulletin of Kharkiv National Aviation University, 2, 57–62.

7. J. Gago, C. Douthe, R. E. Coopman, P. P. Gallego, M. Ribas-Carbo, J. Flexas, J. Escalona, H. Medrano (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. Agricultural Water Management, 153, 9–19.

8. Buligin, S. U., Opryshko, O. O., Gaybura, N. A., Bidolah, D. I. (2005). Vznaceniya vmistu gumusu v grunti nekontaktnimi metodamy [Determination of humus in the soil non-contact methods]. Journal of Agricultural Science, 4, 34–37.

9. Andriishina, M. V., Buligin, S. Yu., Opryshko, O. O. (2007). Improved method of determining the content of humus in the black earth soils based on digital photometry [Udoskonalena metodika viznachennya vmistu gumus v chornozemnih gruntah na bazi tsifrovoi fotometrii] Agricultural science and education, 5–6, 80–84.

10. Zurbitskiy, Z. E. (1968). Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda [Theory and practice of vegetation method]. Moscow, Russia: Science, 260.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОСЕВОВ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЯ

**В. Ф. Лысенко,
А. А. Опрышко,
Д. С. Комарчук,
Н. А. Пасичник**

***Аннотация.** Рассмотрены подходы к использованию беспилотных летательных аппаратов применительно к программированию урожая. Определены перспективные параметры измерений путём подбора режима съёмки растений кукурузы цифровым фотоаппаратом.*

***Ключевые слова:** программирование урожая, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), вегетационный индекс*

USING DRONES FOR REMOTE SENSING OF CROP YIELD FOR PROGRAMMING

**V. Lisenko,
A. Opryshko,
D. Komarchuk,
N. Pasychnik**

***Abstract.** The approach to the use of unmanned aerial vehicles in relation to programming the harvest. Perspective parameters measurements by selecting the shooting mode corn plants with a digital camera.*

***Keywords:** programming the harvest, an unmanned aerial vehicle (drones), the vegetation index*