

врожаю мали вплив й інші ланки технології вирощування, зокрема система живлення. Як показав аналіз технологій, система живлення СФГ «Ізгрев» включала основне внесення мінерального добрива (NP) та два підживлення мінеральним азотом по вегетації; ФГ АФ «Авангард» – два підживлення мінеральним азотом; Дослідне поле (Одеська ДСДС) – одне підживлення мінеральним азотом, а спеціалісти господарства органічного виробництва провели два обприскування посіву з використанням біологічних препаратів (Споромакс В + Гумісил Д + Вермикон; Фітоспорін + Добродій Калій + Триходермін).

Таким чином, слід відзначити:

- інтенсивність системи захисту визначає ступінь ушкодження зерна пшениці озимої клопом шкідлива черепашка;
- урожайність та вміст білка в зерні пшениці озимої мають обернену залежність від ступеня ушкодження клопом шкідлива черепашка (коефіцієнт парної кореляції коливається від $r=-0,99$ до $r=-0,14$);
- остаточні кількісні та якісні параметри врожаю пшениці озимої залежать від функції всіх ланок технологічного процесу вирощування.

Література

1. ДСТУ 3768: 2019. Пшениця. Технічні умови. [Чинний від 2019-01-06.]. Київ: Держспоживстандарт України, 2019. 17 с.
2. Глупак З. І., Радченко М. В., Данільченко О. М., Алієв Сімур. Основні зміни в новому стандарті на пшеницю. *Таврійський науковий вісник*. 2020. №111. С. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.6>.
3. Ярчук І. І., Черних С. А., Лемішко С. М. Технологічна оцінка якості зерна сортів пшениці озимої, пошкодженої клопом шкідливою черепашкою (*EURYGASTER INTEGRICEPS PUT.*) в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. №120. С. 253–260. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.32>.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОДОБРИВ У ПОСІВАХ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Вуколов А. Б., PhD

Циліурік О. І., д. с.-г. н., професор

Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
м. Дніпро, Україна

Соняшник є однією з провідних олійних культур у сільському господарстві України, площі посіву якого в Степовій зоні займають значну частку в структурі сівозмін. Проте сучасні зміни клімату, що супроводжуються

зростанням посушливості, підвищенням температурного режиму та нестабільністю опадів протягом вегетаційного періоду, висувають суворі вимоги до оптимізації елементів технології його вирощування. Одним із найважливіших чинників підвищення стійкості рослин до абіотичних стресів та реалізації їхнього генетичного потенціалу є збалансоване мінеральне живлення, зокрема своєчасне забезпечення мікроелементами [1].

Специфіка ґрунтово-кліматичних умов Північного Степу України полягає в тому, що на чорноземах звичайних нейтральної або слаболужної реакції доступність багатьох рухомих форм мікроелементів (особливо бору, цинку, заліза та марганцю) суттєво обмежується, особливо за умов дефіциту вологи в орному шарі. Традиційні методи діагностики дефіциту елементів живлення, які базуються на візуальній оцінці або відборі ґрунтових і рослинних зразків для подальшого хімічного аналізу, є недостатньо оперативними та трудомісткими. Втрата часу від моменту виникнення фізіологічного дефіциту до його усунення призводить до незворотного зниження продуктивності посівів [2].

У зв'язку з цим виключного значення набуває розробка та впровадження автоматизованих систем контролю та оцінки стану посівів на основі дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та наземних оптичних сенсорів. Це дозволяє здійснювати оперативний моніторинг динаміки накопичення біомаси, рівня хлорофілу та просторової неоднорідності посівів, диференційовано застосовувати мікродобрива та об'єктивно оцінювати їхню фізіологічну й агрономічну ефективність [3].

Метою роботи було науково обґрунтувати та оцінити ефективність застосування автоматизованих систем оптико-спектрального моніторингу посівів соняшнику при внесенні різних комплексів хелатованих мікродобрив у критичні фази розвитку рослин в умовах Північного Степу України.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

1. Дослідити динаміку спектральних індексів (NDVI, NDRE, EVI) у посівах соняшнику залежно від видів та доз мікродобрив у фази 2–3 пар справжніх листків та бутонізації.

2. Встановити ступінь кореляційного зв'язку між показниками автоматизованого моніторингу та біометричними параметрами рослин (площа листової поверхні, вміст хлорофілу, суха біомаса).

3. Визначити вплив автоматизованого оптимізованого застосування мікродобрив на елементи структури врожаю, насінневу продуктивність та олійність соняшнику.

4. Оцінити економічну ефективність впровадження елементів точного землеробства та автоматизованого контролю в технологію вирощування соняшнику.

Польові дослідження проводилися протягом 2026 рр. на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним середньосуглинковим із вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) 3,8–4,2%,

pH водного витягу – 6,8–7,2. Вміст рухомих форм фосфору та обмінного калію (за Чириковим) – високий, рухомого бору – 0,38–0,45 мг/кг, цинку – 0,62–0,78 мг/кг ґрунту, що відповідає низькому та середньому рівням забезпечення.

Схема польового дослідження передбачала вивчення варіантів позакореневого підживлення соняшнику гібрида Європрим (помірковано-інтенсивного типу) на фоні основного мінерального удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$:

1. Контроль (без позакореневого підживлення, обробка водою);
2. Мікродобриво Комплекс Бор (1,0 л/га у фазу 2–3 пар листків + 1,0 л/га у фазу бутонізації);
3. Мікродобриво Комплекс Цинк (1,0 л/га у фазу 2–3 пар листків);
4. Полікомпонентне мікродобриво (B + Zn + Fe + Cu + Mn) (1,5 л/га у фазу 2–3 пар листків + 1,5 л/га у фазу бутонізації);
5. Автоматизовано-диференційоване внесення полікомпонентного мікродобрива на основі карт-завдань, сформованих за даними NDVI (норма 1,0–2,0 л/га залежно від зони дефіциту).

Автоматизований контроль здійснювали за допомогою квадрокоптера DJI Phantom 4 Multispectral, обладнаного мультиспектральною камерою (каналі Blue, Green, Red, RedEdge, Near Infrared). Моніторинг проводили кожні 3–5 днів після внесення препаратів. Обробку спектральних даних та побудову карт вегетаційних індексів здійснювали у програмному забезпеченні Pix4Dfields та QGIS. Одночасно вимірювали вміст хлорофілу за допомогою портативного оптичного хлорофілометра N-Tester (Yara) та N-Sensor [4].

Результати багаторазового мультиспектрального моніторингу засвідчили, що реакція посівів соняшнику на позакореневе підживлення хелатованими мікродобривами фіксується автоматизованими системами вже на 3–4 добу після обробки. Найбільш чутливим до змін фізіологічного стану рослин виявився вегетаційний індекс NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), який більш точно описує вміст хлорофілу в умовах високої зімкнутості листового апарату, а також традиційний індекс NDVI.

На динаміку показників NDVI суттєвий вплив мав склад застосованих мікродобрив та фаза розвитку рослин (табл. 1).

Як свідчать дані таблиці 1, у фазу 5–6 пар листків (через 7 днів після першого підживлення) значення NDVI у варіантах із внесенням мікродобрив перевищували контроль на 0,04–0,11 ум. од. Найбільш виражений приріст спектральних показників спостерігався на варіантах 4 та 5, де застосовувалося полікомпонентне мікродобриво. У фазу бутонізації показник NDVI досягав максимальних значень (0,81–0,84 ум. од.), що на 14,0–18,3% вище за контрольні рослини.

Важливо зазначити, що варіант із автоматизовано-диференційованим внесенням (варіант 5) показав найвищу вирівняність посіву за значеннями NDVI по площі ділянки. Коефіцієнт варіації (C_v) спектрального індексу на цьому варіанті знизився з 14,2% до 4,8%, що свідчить про ефективне нівелювання просторової неоднорідності ґрунтової родючості за допомогою точного внесення необхідних доз мікроелементів.

Динаміка вегетаційного індексу NDVI посівів соняшнику залежно від застосування мікродобрив у 2026 р.

Варіанти мікродобрив	Фаза розвитку соняшнику			
	2–3 пари листків (до обробки)	5–6 пар листків (через 7 днів)	Бутонізація	Цвітіння
1. Контроль (без підживлення)	0,32	0,54	0,71	0,68
2. Комплекс Бор (1,0 + 1,0 л/га)	0,31	0,58	0,78	0,76
3. Комплекс Цинк (1,0 л/га)	0,33	0,61	0,75	0,71
4. Полікомпонентне мікродобриво (1,5 + 1,5 л/га)	0,32	0,63	0,81	0,79
5. Автоматизовано-диференційоване внесення	0,32	0,65	0,84	0,82

Результати контактних вимірювань вмісту хлорофілу приладом N-Tester підтвердили дані дистанційного моніторингу. Вміст хлорофілу в листках соняшнику у фазу бутонізації за застосування полікомпонентного мікродобрива зростав від 42,5 ум. од. (на контролі) до 51,8–54,2 ум. од., що прямо сприяло підвищенню фотосинтетичної активності та розширенню площі листової поверхні на 12,4–16,8%.

Оцінка біометричних показників та елементів структури врожаю свідчить про суттєвий позитивний вплив оптимізації мікроелементного живлення на формування продуктивності кошика соняшнику (табл. 2).

Застосування борного мікродобрива (варіант 2) суттєво зменшувало кількість незиготичного (пустозерного) насіння в центрі кошика, що забезпечило зростання маси 1000 насінин на 4,4 г та врожайності на 0,34 т/га (12,8%). Цинк сприяв більш інтенсивному початковому росту та формуванню кореневої системи, забезпечивши приріст урожайності на 0,21 т/га.

Найвищу насіннєву продуктивність соняшнику отримано у варіанті 5 із застосуванням автоматизовано-диференційованої системи підживлення – 3,21 т/га, що переважало контрольний варіант на 0,57 т/га (21,6%), а варіант із суцільним внесенням того ж мікродобрива (варіант 4) – на 0,09 т/га. Це пояснюється тим, що при автоматизованому розподілі доз мікроелементів ділянки з пригніченим ростом отримували підвищені норми хелатів, що дозволило максимально вирівняти стеблостій і підвищити загальний збір зерна з одиниці площі.

Таблиця 2

**Вплив мікродобрих на елементи структури врожаю та продуктивність
соняшнику в 2026 р.**

Варіант досліджу	Діаметр кошика, см	Маса 1000 насінин, г	Насіннєва продуктивність, т/га	Приріст до кон- тролю, т/га	Вміст олії, %
1. Контроль (без підживлення)	16,2	58,4	2,64	—	48,2
2. Комплекс Бор (1,0 + 1,0 л/га)	18,1	62,8	2,98	+0,34	49,5
3. Комплекс Цинк (1,0 л/га)	17,4	60,5	2,85	+0,21	48,9
4. Полікомпонентне мікродобриво (1,5 + 1,5 л/га)	19,0	65,2	3,12	+0,48	50,4
5. Автоматизовано- диференційоване внесення	19,5	66,8	3,21	+0,57	50,8

Окрім зростання урожайності, зафіксовано підвищення якісних показників насіння. Вміст олії під впливом полікомпонентного мікродобрива та автоматизованого підживлення зростає на 2,2–2,6% і досягає 50,4–50,8%.

Кореляційно-регресійний аналіз зібраних даних підтвердив наявність тісного зв'язку між показником NDVI у фазу бутонізації та урожайністю соняшнику ($r = 0,86$). Отримані рівняння регресії дозволяють з високою точністю (до 90–92%) прогнозувати майбутній урожай соняшнику за 30–40 днів до збирання, що є критично важливим для планування логістичних та економічних процесів у сільськогосподарських підприємствах.

Економічний аналіз показав, що впровадження автоматизованого моніторингу та диференційованого внесення мікродобрив, незважаючи на додаткові витрати на аерофотозйомку та аналітичну обробку даних (близько 250–300 грн/га), забезпечує високу окупність витрат за рахунок економії 10–15% бакових сумішей та отримання додаткового прибутку за рахунок збереженого врожаю. Рівень рентабельності вирощування соняшнику за даної технології зростає на 18,4–22,5% порівняно з базовою технологією.

Висновки

1. Автоматизований оптико-спектральний моніторинг із використанням БПЛА та розрахунком індексів NDVI і NDRE є високоефективним інструментом оперативного контролю стану посівів соняшнику та діагностики його потреби в мікроелементному живленні в умовах Північного Степу України.

2. Позакореневе застосування хелатованих мікродобрив викликає вірогідне зростання вегетаційних індексів вже на 3–5 добу після обробки.

Використання полікомпонентних препаратів підвищує показник NDVI у фазу бутонізації до 0,81–0,84 ум. од. (проти 0,71 на контролі).

3. Застосування автоматизовано-диференційованого внесення мікродобрив забезпечує нівелювання просторової неоднорідності посіву (зниження коефіцієнта варіації NDVI з 14,2% до 4,8%) та забезпечує максимальну врожайність соняшнику – 3,21 т/га з приростом до контролю 0,57 т/га (21,6%) і вмістом олії 50,8%.

4. Встановлено високий рівень кореляції ($r = 0,86$) між показниками дистанційного моніторингу у фазу бутонізації та підсумковою насінневою продуктивністю, що дозволяє використовувати автоматизовані системи для точного прогнозування врожайності.

Література

1. Базалій В. В., Добровольський А. В. Нові можливості підвищення ефективності виробництва продукції соняшника. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 93. С. 3–6.
2. Вожегова Р. А., Малярчук М. П., Митрофанов О. П., Мігальов А. В., Малярчук В. В. Ефективність сучасних технологій вирощування соняшнику за різних умов зволоження та способів і глибини основного обробітку ґрунту на півдні України. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 1. С. 19–22.
3. Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю., Момот А. С. Новітні системи та технології. Частина І. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД : навчальний посібник. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. 123 с.
4. Гамаюнова В. В., Коваленко О. А., Хоненко Л. Г. Сучасні підходи до ведення землеробської галузі на засадах біологізації та ресурсозбереження. *Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій : колективна монографія* / за ред. П. В. Писаренка, Т. О. Чайки, І. О. Яснолюб. Полтава : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2018. С. 232–342.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИПОСІВНОГО МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО

Галабан В. М., аспірант

Смірнов А. С., здобувач вищої освіти

Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв, Україна

Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) є важливою олійною культурою, продуктивність якої значною мірою визначається умовами росту та розвитку рослин в осінній період. Для формування високопродуктивного посіву необхідним є своєчасне забезпечення рослин доступними елементами