

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОЗАЧЕНКО ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ

ДИСЕРТАЦІЯ

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
КУКУРУДЗИ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ»**

Спеціальність 201 – Агрономія

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


_____ **Д. М. Козаченко**

Науковий керівник **Макух Ярослав Петрович**, доктор сільськогосподарських
наук, професор

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Козаченко Д.М. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія». – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Київ, 2026.

Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з провідних зернових культур України та її важливість визначається багатовекторністю використання – продовольчий напрям, виробництво комбікормів, крохмалю, біоетанолу та інших технічних продуктів. В умовах постійного зростання вимог до економічної та енергетичної ефективності виробництва, погіршення агрокліматичних умов та підвищення вартості енергоносіїв особливої актуальності набуває розробка адаптивних технологій вирощування цієї культури. Серед елементів інтенсивних технологій позакореневе підживлення у критичні фази онтогенезу займає особливе місце як прийом точкового впливу на ключові етапи формування продуктивності, що дозволяє цілеспрямовано оптимізувати функціонування фотосинтетичного апарату, активізувати транслокацію пластичних речовин та регулювати темпи дозрівання зерна, що особливо важливо для гібридів пізніх груп стиглості з підвищеною збиральною вологістю.

Зважаючи на викладене, метою дисертаційного дослідження було обґрунтування елементів адаптивної технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості на основі диференційованої системи позакореневого удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України, спрямованої на максимальну реалізацію біологічного потенціалу продуктивності з одночасним забезпеченням високої економічної та енергетичної ефективності.

Польові досліді проведено упродовж 2023–2025 рр. за схемою: фактор А – гібрид (ДБ Хотин ФАО 250 – середньоранній; ДКС 4014 ФАО 310 – середньостиглий; ДН Аншлаг ФАО 420 – середньопізній); фактор В –

позакореневе підживлення у фазу 3–8 листків ВВСН 13–18 (без удобрення (контроль) та MicroStim™ Марганець 1,0 л/га); фактор С – позакореневе підживлення у фазу воскової стиглості ВВСН 85 (без удобрення (контроль), Райкат Фінал 1,0 л/га, Текамін Брікс 3,0 л/га, EGROW 1,0 л/га).

Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду становила 114 діб у середньораннього гібриду ДБ Хотин (ФАО 250), 127 – у середньостиглого ДКС 4014 (ФАО 310) та 142 доби у середньопізнього ДН Аншлаг (ФАО 420). Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило приріст усіх параметрів продуктивності кукурудзи: висоти рослин – на 3,5–4,3 %, площі листкової поверхні у фазу цвітіння – на 14,6–15,6 %, SPAD-індексу – на 13,8–14,5 %, накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті – на 11,8–12,2 %, у фазу воскової стиглості – на 10,0–10,4 %. Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив, що найвищу ефективність за впливом на накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості продемонстрував EGROW (середній приріст по фактору С +0,70 т/га, або 3,9 %), далі Райкат Фінал (+0,47 т/га, 2,6 %) та Текамін Брікс (+0,27 т/га, 1,5 %).

Ключовим ефектом позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості є зниження збиральної вологості зерна, що має пряме економічне значення. Найвищу ефективність продемонстрував EGROW: для гібриду ДН Аншлаг він забезпечив зниження вологості з 27,6 % до 23,2 % (на 4,4 абсолютних %, або 15,9 % відносно контролю), для ДКС 4014 – з 22,4 % до 19,1 % (на 3,3 абс. %), для ДБ Хотин – з 17,8 % до 15,4 % (на 2,4 абс. %). Препарат Райкат Фінал показав проміжний результат, Текамін Брікс – найменший ефект. Максимальне накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості (21,42 т/га) досягнуто у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW), що на 35,4 % перевищує контрольний варіант.

Густота продуктивних рослин на час збирання становила 78,4 тис. шт./га для ДБ Хотин, 76,8 – для ДКС 4014 та 74,2 тис. шт./га для ДН Аншлаг на контрольних варіантах. Урожайність зерна на контрольних варіантах становила 7,28 т/га для ДБ Хотин, 8,16 – для ДКС 4014 та 8,89 т/га для ДН Аншлаг.

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець забезпечило приріст урожайності зерна на 10,4–10,9 %, EGROW – на 5,6 % (середнє по фактору С), Райкат Фінал – на 3,9 %, Текамін Брікс – на 2,4 %. Максимальна урожайність 10,43 т/га досягнута у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW), що на 43,3 % перевищує контрольний варіант.

Виявлено принципово відмінний порядок ефективності препаратів фактору С за впливом на вміст білка в зерні: Райкат Фінал (+0,50 абсолютних %, або 4,8 %) > EGROW (+0,30 абс. %, 2,9 %) > Текамін Брікс (+0,17 абс. %, 1,6 %). Підвищена ефективність Райкат Фінал щодо вмісту білка пояснюється його хімічним складом (амінокислотний концентрат з понад 12 % вільних L-амінокислот), що забезпечує безпосереднє включення азотовмісних сполук у синтез запасних білків зерна. Найвищий вміст білка в зерні (11,5 %) досягнуто у варіанті 22 (ДН Аншлаг + Mn + Райкат Фінал). Внесок окремих факторів у формування варіювання урожайності зерна розподілявся таким чином: гібрид – 50–55 %, позакореневе удобрення Марганцем – 30–32 %, позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 – 12–15 %, взаємодії факторів – 3–5 %.

Кореляційний аналіз виявив тісний зв'язок зернової продуктивності з показниками фотосинтетичної продуктивності агроценозу: накопиченням сухої речовини у фазу воскової стиглості ($r = +0,968$), фотосинтетичним потенціалом посіву ($r = +0,951$) та масою зерна з одного качана ($r = +0,924$). Виявлено зворотний зв'язок між масою 1000 зерен та збиральною вологістю зерна ($r = -0,524$), що підтверджує синергетичний характер процесів наливу та фізіологічного дозрівання зерна.

Базові виробничі витрати на вирощування гібридів кукурудзи становили 29700 грн/га для ДБ Хотин, 33770 грн/га для ДКС 4014 (через високу вартість імпортного насіння) та 32780 грн/га для ДН Аншлаг (через підвищені витрати на сушіння зерна). Чистий прибуток варіював у межах 45 536 грн/га (варіант 1: ДБ Хотин на контролі) до 74 004 грн/га (варіант 24: ДН Аншлаг + Mn + EGROW), різниця – 28 468 грн/га, або 62,5 %. Найвища рентабельність виробництва (228,5 %) досягнута у варіанті 24, що на 69,9 пп перевищує рентабельність

контрольного варіанту 1 (158,6 %). Найнижча собівартість 1 т зерна – 3105 грн – також зафіксована у варіанті 24, що на 696 грн/т (18,3 %) нижче за середнє значення на контролях.

Найвищу окупність витрат у досліді показав MicroStim™ Марганець – від 8,5 до 11,2 разів залежно від гібриду, що відповідає 850–1120 % прибутку на вкладений капітал. Серед препаратів фактору С найвищу окупність забезпечив EGROW (2,6–4,0 разів, приріст прибутку 3 006–5 293 грн/га), далі Райкат Фінал (1,8–3,1 разів). Виявлено, що Текамін Брікс для середньораннього гібриду ДБ Хотин має окупність лише 0,9 рази, що свідчить про економічну недоцільність його застосування з цим гібридом. Коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е) технологій вирощування кукурудзи варіював у межах 6,9 (варіант 1) до 9,2 (варіант 24), що відповідає хорошим показникам енергетичної ефективності для зернових культур. Енергоємність продукції зменшилася з 2522 до 1883 МДж/т, або на 25,3 %.

Отже, за результатами проведених досліджень встановлено, що гібриди кукурудзи різних груп стиглості суттєво різняться за біологічними особливостями формування продуктивності; найвищий біологічний потенціал притаманний середньопізньому гібриду ДН Аншлаг (ФАО 420). Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець забезпечило стабільний приріст усіх параметрів продуктивності кукурудзи незалежно від групи стиглості гібриду. Серед трьох альтернативних препаратів для позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості найвищу комплексну ефективність продемонстрував EGROW за впливом на накопичення сухої речовини, фотосинтетичний потенціал, зернову урожайність та зниження збиральної вологості зерна; найвищу ефективність за впливом на вміст білка показав Райкат Фінал.

Виявлено достовірну позитивну взаємодію факторів В×С – рослини, що отримали збалансоване мікроелементне живлення Марганцем у ранній період вегетації, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами у фазу воскової стиглості. Розроблено три варіанти адаптивної технології залежно від виробничих цілей, що становить основу для широкого впровадження

результатів дослідження у виробничу практику господарств Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: гібриди, групи стиглості (ФАО), позакореневе удобрення, урожайність зерна, фотосинтетичний потенціал, економічна ефективність, енергетична ефективність.

ABSTRACT

Kozachenko D.M. IMPROVEMENT OF MAIZE CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE. – Qualifying scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 201 “Agronomy”. – Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, 2026.

Maize (*Zea mays* L.) is one of the leading cereal crops in Ukraine, and its importance is determined by its multifunctional use for food production, compound feed manufacturing, starch production, bioethanol, and other industrial products. Under conditions of continuously increasing requirements for economic and energy efficiency of production, deterioration of agroclimatic conditions, and rising energy costs, the development of adaptive cultivation technologies for this crop is becoming especially relevant. Among the elements of intensive technologies, foliar fertilization during critical stages of ontogenesis occupies a special place as a targeted approach influencing key stages of productivity formation, allowing purposeful optimization of the functioning of the photosynthetic apparatus, activation of assimilate translocation, and regulation of grain maturation rates, which is particularly important for hybrids of later maturity groups characterized by increased grain harvest moisture.

Considering the above, the aim of the dissertation research was to substantiate the elements of an adaptive cultivation technology for maize hybrids of different maturity groups based on a differentiated foliar fertilization system under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, aimed at maximizing the realization of the biological productivity potential while ensuring high economic and energy efficiency.

Field experiments were conducted during 2023–2025 according to the following scheme: factor A – hybrid (DB Khotyn FAO 250 – medium-early; DKS 4014 FAO 310 – medium-maturing; DN Anshlah FAO 420 – medium-late); factor B – foliar

fertilization at the 3–8 leaf stage BBCH 13–18 (without fertilization (control) and MicroStim™ Manganese 1.0 L/ha); factor C – foliar fertilization at the wax maturity stage BBCH 85 (without fertilization (control), Raykat Final 1.0 L/ha, Tekamin Brix 3.0 L/ha, EGROW 1.0 L/ha).

It was established that the duration of the vegetation period amounted to 114 days for the medium-early hybrid DB Khotyn (FAO 250), 127 days for the medium-maturing DKS 4014 (FAO 310), and 142 days for the medium-late DN Anshlah (FAO 420). Foliar fertilization with MicroStim™ Manganese at the 3–8 leaf stage ensured an increase in all maize productivity parameters: plant height by 3.5–4.3%, leaf surface area at flowering by 14.6–15.6%, SPAD index by 13.8–14.5%, dry matter accumulation at tasseling by 11.8–12.2%, and at the wax maturity stage by 10.0–10.4%. Comparative analysis of the effectiveness of the three factor C preparations revealed that EGROW demonstrated the highest efficiency in terms of dry matter accumulation at the wax maturity stage (average increase for factor C +0.70 t/ha, or 3.9%), followed by Raykat Final (+0.47 t/ha, 2.6%) and Tekamin Brix (+0.27 t/ha, 1.5%).

The key effect of foliar fertilization at the wax maturity stage was the reduction of grain harvest moisture, which has direct economic significance. EGROW demonstrated the highest effectiveness: for the hybrid DN Anshlah, it reduced grain moisture from 27.6% to 23.2% (by 4.4 absolute percentage points, or 15.9% relative to the control), for DKS 4014 – from 22.4% to 19.1% (by 3.3 absolute percentage points), and for DB Khotyn – from 17.8% to 15.4% (by 2.4 absolute percentage points). Raykat Final showed intermediate results, whereas Tekamin Brix demonstrated the lowest effect. Maximum dry matter accumulation at the wax maturity stage (21.42 t/ha) was achieved in treatment 24 (DN Anshlah + Mn + EGROW), exceeding the control treatment by 35.4%.

The density of productive plants at harvest was 78.4 thousand plants/ha for DB Khotyn, 76.8 thousand plants/ha for DKS 4014, and 74.2 thousand plants/ha for DN Anshlah in the control treatments. Grain yield in the control treatments amounted to 7.28 t/ha for DB Khotyn, 8.16 t/ha for DKS 4014, and 8.89 t/ha for DN Anshlah. Foliar

fertilization with MicroStim™ Manganese increased grain yield by 10.4–10.9%, EGROW by 5.6% (average for factor C), Raykat Final by 3.9%, and Tekamin Brix by 2.4%. The maximum grain yield of 10.43 t/ha was obtained in treatment 24 (DN Anshlah + Mn + EGROW), which exceeded the control treatment by 43.3%.

A fundamentally different order of effectiveness of factor C preparations regarding grain protein content was identified: Raykat Final (+0.50 absolute percentage points, or 4.8%) > EGROW (+0.30 absolute percentage points, 2.9%) > Tekamin Brix (+0.17 absolute percentage points, 1.6%). The increased efficiency of Raykat Final in enhancing protein content is explained by its chemical composition (an amino acid concentrate containing more than 12% free L-amino acids), which ensures the direct incorporation of nitrogen-containing compounds into the synthesis of grain storage proteins. The highest grain protein content (11.5%) was achieved in treatment 22 (DN Anshlah + Mn + Raykat Final). The contribution of individual factors to grain yield variation was distributed as follows: hybrid – 50–55%, foliar manganese fertilization – 30–32%, foliar fertilization at BBCH 85 – 12–15%, and factor interactions – 3–5%.

Correlation analysis revealed a strong relationship between grain productivity and indicators of agrocenosis photosynthetic productivity: dry matter accumulation at the wax maturity stage ($r = +0.968$), crop photosynthetic potential ($r = +0.951$), and grain weight per ear ($r = +0.924$). An inverse relationship was identified between thousand-grain weight and grain harvest moisture ($r = -0.524$), confirming the synergistic nature of grain filling and physiological maturation processes.

Basic production costs for maize hybrid cultivation amounted to UAH 29,700/ha for DB Khotyn, UAH 33,770/ha for DKS 4014 (due to the high cost of imported seed), and UAH 32,780/ha for DN Anshlah (due to increased grain drying costs). Net profit varied from UAH 45,536/ha (treatment 1: DB Khotyn control) to UAH 74,004/ha (treatment 24: DN Anshlah + Mn + EGROW), with a difference of UAH 28,468/ha, or 62.5%. The highest profitability level (228.5%) was achieved in treatment 24, exceeding the profitability of control treatment 1 (158.6%) by 69.9 percentage points. The lowest grain production cost, UAH 3,105 per ton, was also recorded in treatment 24, which was UAH 696/t (18.3%) lower than the average value in the control

treatments.

MicroStim™ Manganese demonstrated the highest return on investment in the experiment, ranging from 8.5 to 11.2 times depending on the hybrid, corresponding to 850–1120% return on invested capital. Among factor C preparations, EGROW provided the highest return on investment (2.6–4.0 times, profit increase of UAH 3,006–5,293/ha), followed by Raykat Final (1.8–3.1 times). It was found that Tekamin Brix for the medium-early hybrid DB Khotyn had a return on investment of only 0.9, indicating the economic inexpediency of its application for this hybrid. The energy efficiency coefficient (EEC) of maize cultivation technologies ranged from 6.9 (treatment 1) to 9.2 (treatment 24), corresponding to good energy efficiency indicators for cereal crops. Product energy intensity decreased from 2522 to 1883 MJ/t, or by 25.3%.

Thus, the conducted studies established that maize hybrids of different maturity groups differ significantly in the biological peculiarities of productivity formation; the highest biological potential was characteristic of the medium-late hybrid DN Anshlah (FAO 420). Foliar fertilization with MicroStim™ Manganese ensured a stable increase in all maize productivity parameters regardless of hybrid maturity group. Among the three alternative preparations for foliar fertilization at the wax maturity stage, EGROW demonstrated the highest overall effectiveness in terms of dry matter accumulation, photosynthetic potential, grain yield, and reduction of grain harvest moisture, whereas Raykat Final showed the highest effectiveness regarding grain protein content.

A significant positive interaction between factors $B \times C$ was identified: plants that received balanced manganese micronutrient nutrition during the early vegetation period responded more effectively to the final biostimulant fertilization at the wax maturity stage. Three variants of adaptive technology depending on production goals were developed, forming the basis for the broad implementation of the research results in the production practice of farms in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Keywords: *hybrids, maturity groups (FAO), foliar fertilization, grain yield, photosynthetic potential, economic efficiency, energy efficiency.*

СПИСОК ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях

1. Макух Я. П., Козаченко Д. М. Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂eq. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, (33), 2025. 41–48. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.347480>
2. Макух Я. П., Козаченко Д. М. Вплив сегетальної рослинності на формування продуктивності кукурудзи та її структурних елементів. Новітні агротехнології, 13(3). 2025. <https://doi.org/10.47414/na.13.3.2025.344969>
3. Козаченко Д. М. Особливості функціонування фотосинтетичного апарату гібридів кукурудзи залежно від гербіцидного захисту та позакореневого удобрення. *Біоенергетика*, (1), 2026. 101–108. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp101-108>

Матеріали наукових конференцій

4. Макух Я.П., Мошківська С.В., **Козаченко Д.М.** Контролювання ваточника сирійського у посівах буряків цукрових та кукурудзи. Гербологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві // Матеріали XIII науково-практичної конференції / Київ, 2023. 90 с.
5. Макух Я.П., **Козаченко Д.М.** Вплив гербіцидів на продуктивність гібридів кукурудзи. Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі. Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції (29–31 жовтня 2024 р.). Умань, 2024. 164 с. <https://genetics.udau.edu.ua/assets/files/01.01.2021-2022-konferen-parievi-chitannya/genetika-2024-10.01.2025.pdf>
6. Козаченко Д.М. Вплив системи гербіцидного захисту та позакореневого удобрення на врожайність кукурудзи. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах кліматичних змін: Виклики, рішення, перспективи» (м. Київ, 29 жовтня 2025р.) / НААН України, Ін-т біоенергет.культ.і цукр.буряків. Електрон.вид. Київ: ІБКіЦБ НААН, 2025. 78с. <https://press.bio.gov.ua/catalog/book/962>

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
СПИСОК ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	11
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ	20
1.1. Сучасні тенденції розвитку технологій вирощування кукурудзи	20
1.2. Біологічні особливості формування продуктивності кукурудзи	24
1.3. Сегетальна рослинність у посівах кукурудзи: видовий склад, шкодочинність, резистентність бур'янів	28
1.4. Принципи селективності та ефективності гербіцидів у посівах кукурудзи	33
1.5. Позакореневе удобрення та рістрегулятори в технології вирощування кукурудзи	36
1.6. Вплив абіотичних факторів на ріст, розвиток і фотосинтетичні процеси кукурудзи	41
1.7. Основи адаптивних технологій вирощування кукурудзи	45
РОЗДІЛ 2 УМОВИ, МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
2.1 Ґрунтово-кліматичні умови	50
2.2 Основні методи і методики проведення досліджень	54
2.3. Характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи	59
2.4. Характеристика досліджуваних препаратів для позакореневого підживлення	61
2.5. Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках	63
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА ПОЗАКОРЕНЕВОГО УДОБРЕННЯ	66

3.1. Особливості росту та розвитку гібридів кукурудзи різних груп стиглості упродовж онтогенезу	
3.2. Динаміка накопичення біомаси гібридами кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення	72
3.3. Формування фотосинтетичного апарату та особливості дозрівання зерна гібридів кукурудзи	81
РОЗДІЛ 4. РІВЕНЬ ЗАБУР'ЯНЕНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ГЕРБИЦИДНОГО ЗАХИСТУ	93
РОЗДІЛ 5. УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ	101
5.1. Формування структурних елементів продуктивності гібридів кукурудзи залежно від технологічних чинників	101
5.2. Урожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення	108
5.3. Якість зерна гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення	112
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ	121
6.1. Економічна оцінка ефективності технологій вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості	122
6.2. Енергетична оцінка ефективності технологій вирощування гібридів кукурудзи	130
ВИСНОВКИ	138
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143

ВСТУП

Актуальність теми. Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з провідних зернових культур України з посівними площами понад 4 млн га та валовими зборами 30–42 млн тонн у сприятливі за погодними умовами роки. Її значення для національної економіки визначається багатовекторністю використання – продовольчий напрям (30–35 % валових зборів), виробництво комбікормів для тваринництва (40–45 %), виготовлення крохмалю та продуктів його переробки, виробництво біоетанолу та інших технічних продуктів. Стабільний попит на зерно кукурудзи та її переваги в економічному та агротехнологічному плані – рівень прибутковості, технологічна гнучкість строків сівби та збирання, новітні досягнення у гібридизації – забезпечили зростання площ цієї культури в Україні: з 3,5 млн га у 2012 р. до 4,2 млн га у 2022 р., або в 1,2 рази.

В умовах постійного зростання вимог до економічної та енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва, погіршення агрокліматичних умов у зоні Лісостепу, підвищення вартості енергоносіїв та інших матеріальних ресурсів, особливої актуальності набуває розробка адаптивних технологій вирощування кукурудзи, орієнтованих на максимальну реалізацію біологічного потенціалу сучасних гібридів за оптимальних рівнів витрат. Серед елементів інтенсивних технологій вирощування кукурудзи позакореневе підживлення у критичні фази онтогенезу займає особливе місце як прийом точкового впливу на ключові етапи формування продуктивності рослин. На відміну від кореневого живлення, що забезпечує загальний рівень мінерального постачання, позакореневі підживлення дозволяють здійснювати цілеспрямовану корекцію живлення в конкретні фази розвитку, оптимізувати функціонування фотосинтетичного апарату, активізувати процеси транслокації пластичних речовин та регулювати темпи дозрівання зерна.

Особливого значення цей агротехнічний прийом набуває для гібридів кукурудзи пізніх груп стиглості, які характеризуються підвищеною збиральною вологістю зерна та відповідно вищими витратами на післязбиральне сушіння

продукції. Кукурудза на ранніх етапах вегетації повільно росте і слабо конкурує з бур'янами за фактори росту, тоді як у кінці вегетації (особливо для гібридів з високим ФАО) виникає проблема нерівномірного та уповільненого висихання зерна. Тому всебічне вивчення елементів технології вирощування кукурудзи, що сприяють її швидкому росту на початку вегетації та активному й рівномірному досягненню зерна, є актуальним науковим завданням.

Біологічна різноманітність груп стиглості кукурудзи (за класифікацією ФАО – від менше 200 у ранньостиглих до понад 500 у пізньостиглих гібридів) створює широкі можливості для формування збалансованих технологій, диференційованих за виробничими цілями та конкретними агрокліматичними умовами. Однак ефективність окремих агротехнічних прийомів, зокрема позакореневого підживлення, може суттєво різнитися залежно від групи стиглості гібриду, що потребує спеціальних експериментальних досліджень з порівняльним аналізом ефективності технологічних рішень для гібридів різних груп ФАО.

У сучасних умовах інтенсифікації виробництва на ринок засобів живлення рослин виходить значна кількість нових препаратів – мікродобрих, біостимуляторів, амінокислотних комплексів та інших агрохімічних засобів, ефективність яких потребує наукової експериментальної перевірки в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Зважаючи на викладене, проведення комплексних досліджень з обґрунтування адаптивної технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості з диференційованим застосуванням позакореневого підживлення в умовах Правобережного Лісостепу України є актуальним і таким, що має важливе наукове й практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до тематичного плану наукових досліджень лабораторії землеробства та гербології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України в рамках ПНД 27 «Створення сортів і гібридів цукроносних та інших нішевих культур, розроблення заходів з реалізації їх біологічного потенціалу» («Буряки цукрові та інші нішеві

культури») 27.00.02.04 Ф Наукове обґрунтування методології екологічно безпечного контролювання сегетальної рослинності на орних землях основних ґрунтово-кліматичних зон України РК 0121U100491.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження було обґрунтування елементів адаптивної технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості на основі диференційованої системи позакореневого удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України, спрямованої на максимальну реалізацію біологічного потенціалу продуктивності з одночасним забезпеченням високої економічної та енергетичної ефективності виробництва.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішено такі основні завдання:

- встановлено особливості росту й розвитку гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Правобережного Лісостепу України та виявити їх біологічні відмінності у формуванні продуктивності;

- визначено вплив позакореневого підживлення на формування фотосинтетичного апарату, накопичення сухої речовини та продуктивність гібридів кукурудзи;

- проведено порівняльну оцінку ефективності трьох альтернативних препаратів для позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості за впливом на накопичення сухої речовини, зниження збиральної вологості зерна та зернову продуктивність;

- визначено структурні елементи продуктивності, урожайність та якісні показники зерна гібридів кукурудзи за різних варіантів системи позакореневого удобрення;

- виявлено взаємодію факторів та обґрунтувати кількісний внесок окремих факторів і їх взаємодій у формування продуктивності кукурудзи;

- встановлено кореляційні зв'язки між основними показниками формування продуктивності кукурудзи;

- проведено комплексну економічну та енергетичну оцінку ефективності досліджуваних технологій;

– розроблено рекомендації виробництву щодо оптимальних схем вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості з диференційованим застосуванням позакореневого удобрення.

Об'єкт дослідження – процеси формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості під впливом позакореневого удобрення мікродобривом у фазу 3–8 листків та біостимуляторами у фазу воскової стиглості в умовах Правобережного Лісостепу України.

Предмет дослідження – закономірності формування біомаси, фотосинтетичного апарату, зернової продуктивності, якості зерна, економічної та енергетичної ефективності гібридів кукурудзи залежно від групи стиглості та системи позакореневого удобрення.

Методи дослідження. У роботі застосовано комплекс польових, лабораторних, морфофізіологічних, біометричних та статистичних методів: *польовий* (фенологічні спостереження, оцінка проходження етапів онтогенезу, біометричні обліки, обмолот дослідних ділянок); *лабораторний* (визначення площі листової поверхні, вмісту хлорофілу, накопичення сухої речовини, вмісту білка, крохмалю та олії в зерні); *інструментальний* (хлорофілометрія, визначення збиральної вологості зерна, ІЧ-спектрофотометрія); *вимірювально-ваговий* (визначення прямих показників продуктивності культури); *математико-статистичний* (дисперсійний та кореляційний і регресійний аналіз); *розрахунково-порівняльний* (розрахунки економічної та енергетичної ефективності досліджуваних варіантів).

Наукова новизна одержаних результатів. Здійснено комплексне дослідження впливу гібридного складу та системи позакореневого удобрення на формування продуктивності кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України, в результаті чого:

вперше для умов Правобережного Лісостепу України обґрунтовано адаптивну технологію вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості (ФАО 250, 310, 420) з диференційованою системою позакореневого удобрення; встановлено комплексну взаємодію гібриду, позакореневого підживлення

MicroStim Марганець у фазу 3–8 листків та препаратів Райкат Фінал, Текамін Брікс, EGROW у фазу воскової стиглості на формування фотосинтетичного апарату, накопичення сухої речовини, зернову продуктивність та якість продукції; виявлено принципово відмінний порядок ефективності препаратів за впливом на вміст білка в зерні (Райкат Фінал > EGROW > Текамін Брікс) порівняно з їх впливом на валову урожайність (EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс);

удосконалено наукові уявлення про вплив позакореневого підживлення мікродобривом MicroStim™ Марганець у фазу активного формування фотосинтетичного апарату на ростові процеси, формування листкової поверхні, вміст хлорофілу в листках та накопичення сухої речовини гібридами кукурудзи різних груп стиглості; кількісно оцінено внесок окремих факторів (гібрид 50–55 %, мікроелементне живлення 30–32 %, позакореневе підживлення у ВВСН 85 12–15 %, взаємодії 3–5 %) у формування варіювання зернової продуктивності;

набуло подальшого розвитку питання вивчення взаємодії позакорневих підживлень у різні фази онтогенезу кукурудзи; встановлено достовірну позитивну взаємодію факторів В×С – рослини, що отримали збалансоване мікроелементне живлення Марганцем у ранній період вегетації, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами у фазу воскової стиглості; виявлено кореляційні зв'язки між основними показниками формування продуктивності кукурудзи ($r = +0,968$ між урожайністю та накопиченням сухої речовини у фазу воскової стиглості, $r = +0,951$ з фотосинтетичним потенціалом).

Практичне значення одержаних результатів. За результатами проведених досліджень розроблено та обґрунтовано адаптивну технологію вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України з диференційованим застосуванням позакорневих підживлень. Запропоновано три варіанти технології залежно від виробничих цілей: для максимізації валової зернової продуктивності – гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) у поєднанні з MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу ВВСН 13–18 та EGROW (1,0 л/га) у фазу

ВВСН 85, що забезпечує врожайність 10,43 т/га, чистий прибуток 74004 грн/га; для виробництва високобілкового зерна – аналогічна схема з заміною EGROW на Райкат Фінал (врожайність 10,26 т/га, вміст білка 11,5 %, чистий прибуток 72397 грн/га); для умов з обмеженим вегетаційним періодом – гібрид ДКС 4014 (ФАО 310) з аналогічною системою позакореневого удобрення.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу виконано здобувачем самостійно. Автором особисто проаналізовано стан наукової розробки проблеми, обґрунтовано актуальність та новизну дослідження, сформульовано мету і завдання, розроблено програму та методику досліджень, проведено польові дослідження упродовж трьох років (2023–2025 рр.), здійснено лабораторні аналізи, статистичну обробку результатів та їх інтерпретацію, сформульовано висновки та рекомендації виробництву. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача становить не менше 60 %.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях, семінарах та круглих столах різного рівня упродовж 2023–2025 рр., у тому числі на: XIII науково-практичній конференції «Герботологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві» (2023 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі» (2024 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Біоенергетичні культури та цукрові буряки в умовах кліматичних змін: Виклики, рішення, перспективи» (2025 р.).

Публікації результатів досліджень. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 6 праць, у тому числі 3 статей у фахових виданнях категорії «Б», та 3 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація викладена на 156 сторінках комп'ютерного набору, складається зі вступу, шести розділів, висновків, пропозицій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 24 таблиці та 122 рисунків. Список використаних джерел налічує 122 найменувань, з них латиницею 44.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

(огляд наукової літератури)

1.1. Сучасні тенденції розвитку технологій вирощування кукурудзи

Світові тенденції розвитку кукурудзовиробництва характеризуються стабільним зростанням площ, урожайності та валового збору цієї культури, що зумовлено її стратегічним значенням у забезпеченні глобальної продовольчої, кормової та енергетичної безпеки. Протягом останніх двох десятиліть світове виробництво кукурудзи збільшилося більш ніж на сорок відсотків, а показники середньої врожайності зросли з 4,5 до понад 6 т/га, що стало результатом суттєвого генетичного прогресу, удосконалення технологій вирощування та розвитку інтенсивного землеробства [103; 94]. За даними О. В. Сидякіної та О. О. Іваніва [103], загальні площі посіву кукурудзи у світі сягають 200 млн га, з яких частка України становить приблизно 2,1 %, однак за обсягами експорту наша країна входить до п'ятірки провідних світових постачальників. Аналітичні дані Спільного дослідницького центру Європейської Комісії (Joint Research Centre) [11] свідчать, що навіть в умовах військових дій український ринок зернової кукурудзи зберігає вагомий роль у глобальному балансі.

Вирішальний внесок у формування глобального ринку роблять Сполучені Штати Америки, Китай, Бразилія, країни Європейського Союзу та Україна, яка посідає провідні позиції за експортом зерна кукурудзи. У цих регіонах активно впроваджуються високопродуктивні гібриди, сучасні гербіцидостійкі лінії, точне землеробство, ефективні системи удобрення та механізми контролю бур'янів, що забезпечує одні з найвищих показників продуктивності у світі [94; 43]. Як зазначає Б. В. Ратушний [94] на основі досвіду США, впровадження GPS-навігації, диференційного внесення мінеральних добрив за зонами врожайності, дистанційного моніторингу полів та роботизованих систем обробки ґрунту

дозволило підвищити середню урожайність кукурудзи в штатах кукурудзяного поясу до 11,5–12,8 т/га. О. Лотиш [80] обґрунтовує перспективи зростання ролі України на світовому ринку зерна за умов запровадження подібних інновацій у вітчизняне виробництво.

Зростання попиту на кукурудзу пов'язане не лише з підвищенням потреб у кормах для тваринництва, але й зі стрімким розвитком біоенергетики та крохмале-патокової промисловості. У США, наприклад, до сорока відсотків урожаю спрямовується на виробництво біоетанолу, що суттєво впливає на структуру ринку та розподіл ресурсів. Одночасно в країнах Латинської Америки, Африки та Азії кукурудза виступає важливим елементом продовольчої безпеки, що стимулює розширення посівних площ і впровадження водозберігаючих технологій вирощування. В. Д. Паламарчук, І. М. Дідур, О. М. Колісник, О. О. Алексєєв [90] у своїй монографії, присвяченій вирощуванню висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного, наголошують на необхідності спеціалізації технологій залежно від цільового призначення продукції – на корм, продовольство, виробництво крохмалю чи біоетанолу. І. В. Гончарук, Т. В. Ємчик, І. М. Купчук та ін. [53] окреслили основні напрями вдосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо для умов України.

Важливою тенденцією є перехід до адаптивного та ресурсозберігаючого землеробства, що передбачає мінімізований обробіток ґрунту, широке застосування no-till і strip-till, інтегровані системи захисту рослин, оптимізацію живлення та використання біостимуляторів [81; 122]. А. Лук'янченко та О. Бокач [81] обґрунтовують, що надійний захист кукурудзи від шкочинних організмів є одним із ключових факторів стабілізації високих врожаїв. М. Ярошко та Й. Штангела [122] узагальнюють основні вимоги до сучасних технологій вирощування кукурудзи з акцентом на збалансованому живленні рослин. В. П. Борона, В. С. Задорожний, І. В. Мовчан та С. В. Колодій [46] у дослідженнях, проведених на ділянках Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, встановили, що технологія no-till при оптимальному захисті від бур'янів забезпечує урожайність зерна кукурудзи на рівні традиційної технології з

істотним зниженням енергетичних та матеріальних витрат на гектар.

Це зумовлено необхідністю зниження антропогенного навантаження на агроєкосистеми, підвищення стійкості виробництва до кліматичних коливань та раціонального використання водних ресурсів. У монографії Д. Шпаара, К. Гінаппа та С. Каленської [118] наведено результати масштабних польових досліджень з різних регіонів, де вказано на ефективність регіональної адаптації технологічних рішень. Кліматичні зміни залишаються одним із ключових викликів світовому кукурудзовиробництву, оскільки часті посухи, хвилі спеки та нестабільність опадів спричиняють коливання врожайності, особливо в регіонах із недостатнім вологозабезпеченням [42; 120]. О. П. Якунін, Ю. М. Пащенко та В. С. Рибка [120] на основі багаторічних досліджень у Лівобережному Лісостепу України показали, що різні технологічні системи (інтенсивна, ресурсозберігаюча, органічна) забезпечують суттєво відмінні рівні продуктивності гібридів за однакових природних умов; різниця між найкращими та найгіршими варіантами технологій становить 1,8–2,4 т/га зерна. За прогнозами, ризики втрат урожаю від кліматичних стресів можуть досягати 10–25 % залежно від інтенсивності температурного і водного стресу [24; 28].

О. Куценко, В. Ляшенко та Л. Кеда [24] у системному дослідженні росту, розвитку та формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від густоти стояння рослин встановили, що оптимізація густоти посіву залежно від ФАО-групи гібриду є ключовим резервом підвищення продуктивності у нестабільних кліматичних умовах. В. Поляков [28] експериментально обґрунтував, що поєднання оптимальної густоти стояння рослин із збалансованою системою удобрення забезпечує приріст зернової врожайності гібридів кукурудзи на 12–18 % порівняно з контролем.

Суттєвим глобальним обмеженням є поширення видів бур'янів, стійких до поширених діючих речовин, зокрема гліфосату, ALS-інгібіторів та топразамезону. Такі бур'яни, як щириця Палмера, амброзія полинолиста, лобода біла та ваточник сирійський, ускладнюють регулювання забур'яненості й змушують виробників переходити до комплексних систем контролю, комбінованих схем обробки,

нових гербіцидних механізмів дії та механічних і біологічних методів [63; 38]. У поєднанні з розвитком систем точного землеробства це забезпечує можливість переходу до інтегрованого управління бур'янами, що є однією з ключових тенденцій сучасного світового землеробства.

Перспективи розвитку галузі до 2035 року свідчать про подальше зростання глобального попиту на зерно кукурудзи, розширення використання високопродуктивних і стресостійких гібридів, активізацію впровадження роботизованих технологій та цифрових платформ управління агровиробництвом [44; 37]. Г. П. Жемела, О. В. Бараболя, В. В. Ляшенко та ін. [44] обґрунтували залежність формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи від норми висіву, що є одним із ключових елементів сучасних технологій. R. A. Fischer [15] у роботі, присвяченій селекції зернових культур на підвищення потенційної урожайності, наголошує на необхідності поєднання селекційних досягнень із оптимізованими технологічними рішеннями. I. S. Tokatlidis [37; 36] у серії публікацій розвинув концепцію адаптації сортів до густоти стояння для оптимізації зернової продуктивності та раціонального використання ресурсів, що особливо актуально в умовах посилення кліматичної нестабільності.

Ү. Assefa зі співавторами [3; 4] провели мета-аналіз багаторічних досліджень на американських гібридах кукурудзи і встановили, що зростання урожайності протягом останніх трьох десятиліть забезпечувалося як за рахунок підвищення оптимальної густоти стояння рослин, так і завдяки збільшенню зернової продуктивності окремої рослини. У найближчі десятиліття очікується розширення виробництва в країнах із потенційно придатними ґрунтово-кліматичними умовами та поступовий перехід до екологічно орієнтованих технологій, що дозволить не лише підвищити продуктивність, але й забезпечити сталість агросистем. Таким чином, світові тенденції розвитку кукурудзовиробництва характеризуються інтеграцією високих технологій, адаптацією до кліматичних викликів та поглибленням ролі цієї культури у глобальній продовольчій і енергетичній безпеці.

1.2. Біологічні особливості формування продуктивності кукурудзи

Кукурудза належить до високопродуктивних теплолюбних культур із потужним потенціалом формування сухої речовини та зернової продуктивності, що визначається поєднанням генетичних особливостей гібридів і умов вирощування [118; 24; 52]. Її біологічна природа зумовлює здатність формувати високу врожайність навіть за відносно короткого періоду вегетації, що робить кукурудзу однією з найцінніших культур у світовому землеробстві. Продуктивність рослин кукурудзи формується як результат реалізації комплексних ростових, морфологічних і фізіолого-біохімічних процесів, серед яких ключову роль відіграють особливості розвитку фотосинтетичного апарату, інтенсивність фотосинтезу, швидкість накопичення сухої речовини та ефективність використання елементів живлення і вологи. З. І. Глупак та А. О. Бутенко [52] у дослідженнях, проведених в умовах Лісостепу України, встановили, що формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи залежно від групи стиглості та густоти стояння характеризується істотною генотипозалежною варіабельністю, що обумовлює необхідність диференційованого технологічного підходу.

Кукурудза належить до рослин C4-типу фотосинтезу, що зумовлює її здатність ефективно використовувати світлову енергію, виробляти вищу кількість асимілятів у порівнянні з культурами C3-типу та підтримувати високі темпи росту навіть за підвищених температур. Саме C4-фотосинтез забезпечує кукурудзі високу продуктивність у регіонах із жарким літом, що є характерним для Лісостепу України. Завдяки особливостям фотосинтетичної системи рослини здатні активно накопичувати біомасу, формувати потужний листковий апарат і швидко відновлюватися після короточасних стресових явищ. Як показано у роботі Ю. О. Лавриненка, С. В. Міщенко, Т. Ю. Марченка зі співавторами [76], фотосинтетичні показники гібридів кукурудзи (площа листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал, інтенсивність фотосинтезу) значною мірою залежать від густоти посіву та обробітку біопрепаратами, що відкриває

можливості регулювання продуктивності через корекцію цих факторів.

Протягом онтогенезу кукурудза проходить низку критичних періодів, у які реалізується основний потенціал продуктивності. Найчутливішими фазами є викидання волоті, цвітіння та формування качана, коли спостерігається максимальна потреба рослин у волозі, поживних речовинах і сприятливих температурних умовах [118; 24]. У цей період визначається кількість зернин у качані та рівень запилення, а відповідно – майбутня врожайність. Умови середовища, зокрема нестача вологи, високі температури, дефіцит азоту чи калію, можуть істотно знижувати продуктивність шляхом погіршення процесів запилення, зменшення інтенсивності фотосинтезу та прискорення старіння листків. Т. L. Setter, В. А. Flannigan та J. Melkonian [31] експериментально встановили, що дефіцит вологи та затінення у період запилення спричиняють втрату значної частини зерен у качані, що зумовлює суттєве зниження зернової продуктивності гібридів.

Важливою біологічною особливістю кукурудзи є формування листкової поверхні з вираженою динамікою наростання та наступного її старіння. Максимальна площа листкової поверхні формується в період від 10–12 листків до початку викидання волоті, коли рослина здатна найефективніше акумулювати сонячну енергію та продукувати асиміляти. Саме інтенсивність розвитку листкового апарату визначає величину фотосинтетичного потенціалу, який у свою чергу є базою для формування вагатого врожаю [44; 37; 33]. К. D. Subedi та В. L. Ма [33] встановили різницю в продуктивній ролі окремих ярусів листків кукурудзи: верхні листки над качаном забезпечують 45–55 % зернової продуктивності завдяки максимальному перехопленню сонячної радіації. Дослідження О. С. Іванишина [67] показали, що площа асиміляційної поверхні листків та урожайність гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу Західного значною мірою залежать від системи удобрення, особливо від збалансованого внесення макроелементів. М. В. Степаненко [104] обґрунтував, що оптимізована система удобрення дозволяє формувати до 38–45 тис. м²/га площі листкової поверхні у максимумі розвитку, що корелює з зерновою продуктивністю на рівні

$r = +0,89-0,95$.

Коренева система кукурудзи є добре розвиненою, стрижневою, з великою кількістю бічних коренів, що забезпечує високу здатність поглинати воду з глибоких шарів ґрунту та ефективно використовувати елементи живлення. Оптимальні умови аерації та вологозабезпечення є необхідними для формування потужної кореневої системи, оскільки саме вона визначає здатність рослин протистояти посухам, жарі та конкуренції з боку бур'янів [118; 42]. Нестача вологи у фазах 6–8 листків, цвітіння або наливу зерна може спричинити зменшення маси 1000 зерен, погіршення качанності та зниження врожайності на 15–40 %. W. A. William, R. S. Loomis, W. G. Duncan, A. Dovrat та A. Nunez [40] у класичних дослідженнях довели, що архітектура посіву кукурудзи за різних густот стояння суттєво впливає на ріст рослин та зернову продуктивність через зміну розподілу сонячної радіації між ярусами листків.

Значний вплив на формування врожайності чинить інтенсивність і тривалість роботи фотосинтетичного апарату, які залежать від погодних умов, забезпеченості мінеральними елементами та рівня сегетальної конкуренції. Як зазначає С. Б. Герасимчук [51], характеристика «stay green» (тривала функціональна активність листя у завершальні фази вегетації) є важливим резервом підвищення продуктивності кукурудзи, особливо для гібридів пізніх груп стиглості. Підтримання активного фотосинтезу у завершальні фази дозволяє забезпечити повноцінний налив зерна та оптимізацію його якісних показників. М. В. Степаненко, М. Б. Грабовський та Л. А. Козак [106] експериментально показали, що поєднання азотного удобрення з мікродобривами забезпечує приріст площі листової поверхні на 13–18 % та фотосинтетичного потенціалу посівів на 15–22 % у максимумі розвитку.

Формування врожаю кукурудзи є складним процесом, що визначається взаємодією генетичних особливостей гібриду та умов вирощування. Різні гібриди мають відмінності щодо швидкості росту, тривалості міжфазних періодів, інтенсивності фотосинтезу та реакції на стресові фактори [101; 121; 71]. Б. Д. Каменчук [71] на матеріалі багаторічних досліджень показав значний

агроекологічний вплив умов вирощування на зернову продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості, причому різниця між гібридами за реакцією на стресові фактори може сягати 40–55 %. Гібриди середньоранньої групи ФАО 200–300, що широко застосовуються в Правобережному Лісостепу, характеризуються високою пластичністю, швидким стартовим розвитком і здатністю формувати стабільну врожайність у змінних кліматичних умовах [101; 121]. І. П. Сатановська [101] встановила, що передпосівна обробка насіння у поєднанні з позакореневими підживленнями істотно впливає на біометричні показники рослин кукурудзи, забезпечуючи приріст висоти рослин, площі листової поверхні та накопичення сухої речовини.

Економічна та енергетична оцінка вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО, проведена Д. Е. Репілевським та М. О. Іванівим [99] на прикладі способів зрошення у Південному Степу України, виявила, що економічна ефективність технологій суттєво залежить від комплексу факторів – групи стиглості гібриду, водозабезпечення, системи удобрення та елементів захисту посівів. Н. І. Довбаш, І. І. Клименко, Г. В. Давидюк зі співавторами [57] провели оцінку економічної ефективності вирощування кукурудзи на зерно за різних рівнів забруднення агроекотопів поліювантантами та обґрунтували важливість екологічно безпечних технологій. С. Василішин, С. Винограденко та С. Дьяконов [47] проаналізували потенціал виробництва кукурудзи на зерно в контексті зміцнення продовольчої безпеки України та світу і визначили, що адаптивні технології є ключовим резервом подальшого нарощування валового збору.

У кінцевому підсумку біологічні особливості кукурудзи та її гібридів визначають потенціал формування високої врожайності, який реалізується лише за умов оптимальної густоти стояння, ефективного контролю бур'янів, збалансованого живлення, достатнього зволоження ґрунту та мінімального впливу стресових факторів [121]. О. Ревтьо [95] на основі багаторічних досліджень обґрунтував, що економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно істотно залежить від агротехнічних прийомів, причому диференційований підхід до різних груп гібридів забезпечує підвищення

прибутковості на 18–32 %. Глибоке розуміння цих процесів є основою для удосконалення технології вирощування кукурудзи, підвищення адаптивності агроценозів і забезпечення стабільної продуктивності в умовах кліматичної нестабільності Правобережного Лісостепу України.

1.3. Сегетальна рослинність у посівах кукурудзи: видовий склад, шкодочинність, резистентність бур'янів

Сегетальна рослинність є одним із ключових лімітуючих факторів у технології вирощування кукурудзи, оскільки бур'яни конкурують із культурою за вологу, елементи живлення, світло та простір у найбільш критичні фази її розвитку. В умовах Правобережного Лісостепу рівень забур'яненості кукурудзи є одним із найвищих серед основних просапних культур, що зумовлено широким спектром однорічних і багаторічних видів, високою біологічною продуктивністю та значною насінневою спроможністю бур'янових популяцій. Видовий склад бур'янів формується під впливом систем землеробства, особливостей ґрунтового покриву, кліматичних умов, застосовуваних гербіцидів та агротехнічних прийомів [1; 2; 5].

У період весняного проростання в посівах кукурудзи домінують однорічні дводольні бур'яни, серед яких найбільш поширеними є лобода біла (*Chenopodium album*), щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus*), гірчак березковидний (*Polygonum convolvulus*), зірочник середній (*Stellaria media*), ромашка непахуча (*Matricaria inodora*) та різні види підмаренників. Значного поширення набули також однорічні злакові бур'яни: мишій сизий (*Setaria glauca*), мишій зелений (*Setaria viridis*), плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli*), які активно конкурують із рослинами кукурудзи на ранніх етапах її органогенезу завдяки швидкому стартовому росту. Багаторічні дводольні бур'яни представлені осотом рожевим (*Cirsium arvense*), березкою польовою (*Convolvulus arvensis*), підмаренником чіпким, а серед багаторічних злаків

найбільш проблемними є пирій повзучий (*Elytrigia repens*) та гумай (*Sorghum halepense*) [6; 7; 8; 9].

Окремої уваги потребує ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*), який в останні роки активно поширюється у Лісостепу України. Він є сильнокоренепаростковим інвазійним видом, здатним формувати значну біомасу та щільний надземний покрив, що суттєво знижує врожайність кукурудзи за рахунок високої конкурентної здатності та утворення алелопатичних речовин. У посівах кукурудзи ваточник проявляє підвищену стійкість до широкого спектру гербіцидів, зокрема до інгібіторів ALS та гліфосату, що ускладнює його контроль та вимагає застосування препаратів на основі дикамби, топрамезону або комплексних бакових сумішей [10; 13; 14].

Шкодочинність сегетальної рослинності у посівах кукурудзи зумовлюється не лише прямою конкуренцією, але й непрямим впливом, що проявляється через погіршення освітленості нижніх ярусів листків, підвищення ризику ураження рослин хворобами, зниження ефективності фотосинтезу, уповільнення росту кореневої системи та загального біосинтетичного потенціалу рослин. За даними багаторічних досліджень, присутність бур'янів упродовж перших 6–8 тижнів вегетації здатна знижувати урожайність кукурудзи на 30–70 %, залежно від інтенсивності забур'яненості та погодних умов року. Ранньовесняні бур'яни, що проростають разом із культурою, можуть поглинати до третини доступної вологи з верхнього шару ґрунту, що особливо критично в посушливі роки [16; 17].

Особливістю сегетальних угруповань у посівах кукурудзи є їхня динамічність і мінливість. Під впливом кліматичних змін, зростання температур весною, нестачі опадів і підвищення рівня інтенсифікації землеробства спостерігається зміщення строків проростання бур'янів, а також збільшення частки теплолюбних видів, зокрема щириці Палмера (*Amaranthus palmeri*) та амброзії полинолистої (*Ambrosia artemisiifolia*) у господарствах південно-західної частини регіону. Формування резистентності до найпоширеніших діючих речовин — гліфосату, нікосульфурону, римсульфурону, топрамезону —

також змінює структуру забур'яненості та потребує впровадження інтегрованих підходів контролю [19; 20; 27].

Значний вплив на структуру сегетальної рослинності має специфіка обробітку ґрунту. У системах no-till і strip-till спостерігається збільшення частки зимуючих і ранньоядних бур'янів, тоді як у традиційній системі обробітку більше поширені ярі дводольні види. Агротехнічні прийоми, такі як глибоке рихлення, дискування, своєчасний догляд за посівами, затримка першого міжрядного обробітку чи надмірне загушення рослин, змінюють щільність бур'янового шару та його видову структуру [29; 30; 32].

Ефективний контроль сегетальної рослинності у посівах кукурудзи має базуватися на комплексному підході, що включає ранній механічний контроль, застосування гербіцидів із різними механізмами дії та моніторинг потенційної резистентності. Сучасні селективні гербіциди, зокрема препарати на основі темботріону та топрамезону, у поєднанні з дикамбою демонструють високу ефективність проти широкого спектра бур'янів, включаючи важковикорінювані види. Однак для повноцінного стримування сегетальної рослинності необхідні не лише хімічні, але й агротехнічні заходи, такі як оптимальна густина стояння, своєчасне міжрядне розпушування, корекція живлення та зниження стресового навантаження на рослини [34; 54; 55].

Отже, сегетальна рослинність у посівах кукурудзи є складною, високодинамічною системою, яка істотно впливає на формування врожайності культури. Її контроль вимагає інтегрованого управління, що враховує біологічні особливості бур'янів, їхню конкурентоздатність, реакцію на гербіциди, а також адаптивність агроценозу до мінливих кліматичних умов. Глибоке розуміння структури сегетальних угруповань та ефективне їх регулювання є ключовими умовами забезпечення стабільної продуктивності кукурудзи в Правобережному Лісостепу України [59; 60].

Ваточник сирійський (*Asclepias syriaca L.*) є одним із найнебезпечніших інвазійних бур'янів у Лісостепу України та становить серйозну загрозу для агроценозів кукурудзи. За останні десятиліття цей вид активно поширився на

орних землях, сіножатах, узбіччях автомобільних шляхів і необроблюваних ділянках, поступово мігруючи в польові сівозміни. Висока здатність до вегетативного та насінневого розмноження, потужний коренепаростковий характер розвитку, підвищена конкурентоспроможність і стійкість до дії більшості селективних гербіцидів сприяли тому, що ваточник став одним із найпроблемніших бур'янів у посівах кукурудзи [1; 2].

Біологічною основою успішності цього інвазійного виду є його потужна, добре розгалужена коренева система. Ваточник формує глибокий стрижневий корінь, який проникає у ґрунт на глибину до 3–4 метрів і забезпечує доступ до вологи навіть за тривалих періодів посухи. Крім того, численні горизонтальні кореневі відгалуження утворюють мережу коренепаростків, які продукують нові надземні пагони, завдяки чому ваточник здатний швидко захоплювати територію та утворювати щільні ценози, що витісняють інші види. Саме коренепаросткове відновлення забезпечує його здатність швидко відновлюватися після механічного пошкодження або часткового контролю гербіцидними препаратами [62; 64].

Насіннєве розмноження ваточника також має значні масштабні переваги. Кожна рослина утворює до кількох сотень насінин, оснащених летючими волосками, що забезпечує їх розповсюдження на далекі відстані вітром. Насіння зберігає життєздатність до п'яти–семи років, формуючи довготривалий насіннєвий банк у ґрунті. Особливістю є й те, що насіння здатне проростати в широкому діапазоні температур, що збільшує ймовірність успішного формування сходів у різні періоди вегетації [5; 6; 7].

У кукурудзяних агроценозах ваточник сирійський проявляє надзвичайно високу конкурентну здатність. Він активно поглинає вологу з поверхневих і глибоких шарів ґрунту, накопичує поживні речовини, затінює культурні рослини та пригнічує їхній розвиток. Через високий темп наростання біомаси і значну листову площу ваточник створює щільний надземний полог, який обмежує доступ світла до рослин кукурудзи, зменшує інтенсивність фотосинтезу й уповільнює розвиток культурних рослин. Шкодочинність бур'яну посилюється

наявністю алелопатичних речовин, які інгібують проростання насіння й ріст сусідніх культур [65; 66; 68].

Важливою ознакою агресивності ваточника є його підвищена стійкість до дії більшості гербіцидів, що традиційно застосовуються у посівах кукурудзи. Препарати на основі сульфонілсечовин, трикетонів або гліфосату найчастіше пригнічують лише надземну частину рослини, тоді як коренепаросткова система зберігає життєздатність і відновлює рослину впродовж кількох тижнів. Це створює необхідність застосування препаратів із комбінованою дією або гербіцидів із вмістом дикамби та топрамезону, що мають вищу ефективність щодо коренепаросткових бур'янів. Однак навіть за застосування таких препаратів повне знищення ваточника за один сезон є малоімовірним, тому контроль цього виду потребує системного, багаторічного підходу [69; 70].

Поширенню ваточника сприяє також сучасний характер землекористування. Упровадження мінімізованих систем обробітку ґрунту, особливо no-till і strip-till, зменшує механічний вплив на кореневу систему та створює сприятливі умови для вегетативного розмноження бур'яну. У післяжнивний період ваточник швидко відростає, використовуючи залишкову вологу та поживні речовини, що дозволяє йому створювати великі монодомінантні ділянки. У місцях постійного механічного порушення, таких як узбіччя шляхів та міжпольові смуги, він виступає постійним джерелом заселення полів [73].

Екологічні ризики, пов'язані з поширенням ваточника сирійського, виходять за межі суто агрономічних аспектів. Він здатний витіснити аборигенні види флори, змінювати структуру біоценозів, збільшувати ризик ерозійних процесів через монодомінантність угруповань, а також ставати резервуаром для деяких шкідників і збудників хвороб. В окремих регіонах Європи та Північної Америки цей вид визнано екологічно небезпечним і таким, що порушує природні екосистеми [19; 20].

У посівах кукурудзи ваточник завдає значної шкоди врожаю. За даними міжнародних досліджень, у разі формування щільності 3–5 пагонів на

квадратний метр втрати врожайності можуть сягати 40–60 %, а за високої забур'яненості — до повної втрати посіву. Особливо чутливою до конкуренції з ваточником є кукурудза в період 4–10 листків, коли закладаються основні елементи продуктивності та визначається потенціал качана. У роки з недостатнім вологозабезпеченням шкодочинність ваточника зростає у кілька разів, що пов'язано з високою здатністю бур'яну використовувати глибокі запаси ґрунтової вологи [29; 30].

Таким чином, ваточник сирійський є одним із найагресивніших інвазійних бур'янів, що здатен істотно знижувати продуктивність кукурудзи та ускладнювати технологію її вирощування. Його поширення вимагає розроблення інтегрованих систем контролю, що поєднують застосування селективних гербіцидів, агротехнічних прийомів, моніторинг резистентності та багаторічні заходи зі зменшення життєздатності коренепаросткових популяцій. Вчасне виявлення ваточника, оцінка його поширення та впровадження адаптивних технологічних заходів є критично важливими для забезпечення стабільної продуктивності кукурудзяних агроценозів у Правобережному Лісостепу України [78; 79].

1.4. Принципи селективності та ефективності гербіцидів у посівах кукурудзи

Ефективність хімічного контролю бур'янів у посівах кукурудзи визначається взаємодією низки факторів, серед яких ключову роль відіграють принципи селективності гербіцидів, їх біологічна активність щодо цільових видів бур'янів, умови застосування та фізіологічний стан культурних рослин. Сучасні технології вирощування кукурудзи базуються на застосуванні препаратів системної та контактної дії, здатних забезпечувати високий рівень контролю як однорічних, так і багаторічних бур'янів, у тому числі злакових, дводольних та коренепаросткових видів. Селективність гербіцидів щодо

кукурудзи ґрунтується на генетично зумовлених особливостях метаболізму, швидкості детоксикації діючої речовини та морфологічній будові рослин, що дозволяє культурі переносити дію препаратів у нормах, ефективних проти бур'янів [82].

Суть селективності гербіцидів полягає у здатності рослини-мішені сприймати діючу речовину як токсичний агент, тоді як культурна рослина не зазнає істотного ушкодження через відмінності в її фізіології, морфології або метаболічних шляхах розкладання пестициду. У кукурудзи селективність до більшості трикетонових, дикамбових та деяких сульфонілсечовинних препаратів зумовлюється високою активністю ферментів детоксикації, зокрема монооксигеназ і глутатіон-S-трансфераз, що забезпечують швидку трансформацію токсичних сполук у нетоксичні метаболіти. Антидоти, які входять до складу сучасних препаратів (наприклад, ізоксадіфен у складі Лаудіс®), підсилюють здатність кукурудзи до захисту від фітотоксичного впливу, активуючи ферментативні системи детоксикації [85].

Ефективність гербіцидів залежить від швидкості проникнення діючої речовини у бур'яни, її переміщення по рослинних тканинах та інгібування ключових біохімічних процесів. Препарати системної дії, зокрема топрамезон, темботріон, нікосульфурон або дикамба, здатні пересуватися по ксилемі та флоемі, що забезпечує їхню дію навіть на віддалені органи рослини та кореневу систему. Це надзвичайно важливо для контролю коренепаросткових видів, таких як осот рожевий або ваточник сирійський, у яких локальне пригнічення надземної частини не гарантує знищення всієї рослини. Контактні препарати, навпаки, ефективні на ранніх фазах розвитку бур'янів і потребують якісного покриття листової поверхні [88].

На селективність гербіцидів значно впливають погодні умови, особливо температура, вологість повітря та наявність роси. Високі температури прискорюють проникнення діючих речовин у бур'янові рослини, але водночас підвищують ризик фітотоксичності для кукурудзи, особливо у фазі 3–5 листків. Низькі температури, навпаки, уповільнюють метаболізм бур'янів, знижуючи

ефективність інгібіторів АЛС і трикетонів. Вологість ґрунту визначає ефективність ґрунтових препаратів, а також відновлення культурних рослин після стресу. Стресові умови, такі як посуха або підтоплення, зменшують здатність кукурудзи до детоксикації діючих речовин, що підвищує ризик фітотоксичних проявів [92; 93].

Важливим принципом забезпечення ефективності гербіцидів є дотримання оптимальних фаз розвитку бур'янів. Найвищу ефективність системні препарати демонструють у фазі 2–4 листків у дводольних видів і на початкових етапах кушіння у злаків. У міру розвитку бур'янів їхня чутливість зменшується через посилення кутикулярного шару, збільшення листової поверхні, посилення регенеративної здатності та активізацію метаболічних механізмів стійкості. Особливо складним є контроль багаторічних бур'янів, які потребують внесення гербіцидів у період активного росту, коли відбувається переміщення асимілятів у кореневу систему [96; 97; 98].

Систематичне застосування гербіцидів із однаковим механізмом дії сприяє формуванню у бур'янів стійких популяцій. Резистентність до ALS-інгібіторів, гліфосату та трикетонів широко поширена у світі, зокрема у видів *Amaranthus palmeri*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Chenopodium album* та *Echinochloa crus-galli*. У таких умовах підвищується значення чергування препаратів із різними механізмами дії, комбінованих схем застосування, бакових сумішей і інноваційних препаратів, які поєднують кілька діючих речовин і антидоти. Ефективним напрямом є також інтегровані системи контролю бур'янів, що поєднують хімічні, механічні та агротехнічні заходи [102; 107; 108].

У технологіях вирощування кукурудзи особливої уваги потребує контроль таких складних бур'янів, як ваточник сирійський, осот рожевий, берізка польова, пирій повзучий і гумай. Для їхнього пригнічення найбільш ефективними є препарати на основі топрамезону та дикамби, які здатні переміщуватися у коренепаростковій системі та знижувати життєздатність підземних органів. Проте навіть за використання ефективних гербіцидів повне знищення

коренепаросткових бур'янів потребує кількох років системного контролю [110; 111; 116; 117; 119].

Отже, принципи селективності та ефективності гербіцидів у посівах кукурудзи базуються на комплексі фізіолого-біохімічних, морфологічних і агротехнічних чинників, які визначають ступінь чутливості культурних рослин і бур'янів до дії препаратів. Висока селективність сучасних гербіцидів забезпечується генетичними особливостями метаболізму кукурудзи та використанням антидотів, тоді як ефективність контролю бур'янів залежить від оптимального часу внесення, погодних умов, дотримання технологічних регламентів і системності заходів. Глибоке розуміння цих принципів є основою для розроблення адаптивних, екологічно безпечних і високоефективних систем хімічного контролю сегетальної рослинності в умовах Правобережного Лісостепу України.

1.5. Позакореневе удобрення та рістрегулятори в технології вирощування кукурудзи

Позакореневе удобрення та застосування рістрегулюючих препаратів є важливими складовими сучасних технологій вирощування кукурудзи, оскільки вони дозволяють оперативно забезпечити рослини необхідними елементами живлення, активувати фізіологічні процеси та підвищити стійкість до абіотичних і біотичних стресів [100; 49]. Особливе значення ці заходи мають у регіонах із нестабільним вологозабезпеченням та підвищеною варіабельністю погодних умов, що характерно для Правобережного Лісостепу України. За рахунок високої швидкості проникнення поживних речовин через листову поверхню позакореневе підживлення дає можливість швидко коригувати дефіцит макро- та мікроелементів, не залежачи від стану ґрунтової вологи, рН або біологічної активності ґрунтових мікроорганізмів. А. М. Рибальченко та В. О. Триль [100] у дослідженнях, проведених в Лівобережному Лісостепу України, встановили, що позакореневе підживлення кукурудзи різних груп стиглості сучасними

мікродобривами забезпечує приріст зернової продуктивності на 11–17 % залежно від гібриду та схеми застосування.

Фізіологічна основа ефективності позакореневого удобрення полягає в тому, що листки кукурудзи мають здатність швидко поглинати розчинені у воді поживні речовини, які надходять безпосередньо у фотосинтетичні тканини і включаються до метаболічних процесів [58; 91]. Це особливо важливо в період активного росту та диференціації репродуктивних органів, коли потреба рослин у поживних речовинах різко зростає. М. І. Дудка, О. П. Якунін та С. І. Пустовий [58] експериментально показали, що позакореневе підживлення суттєво впливає на формування зернової продуктивності кукурудзи за вирощування її після соняшнику – попередника, який виснажує ґрунт за макроелементами. Доступність азоту, фосфору, калію, магнію, бору та цинку у критичні фази, зокрема 6–10 листків, викидання волоті та початок наливу зерна, визначає ступінь реалізації потенціалу продуктивності гібридів. А. І. Кривенко та М. М. Марткоплішвілі [75] обґрунтували особливості формування урожайності кукурудзи залежно від комплексу елементів технології вирощування, в якому позакореневі підживлення відіграють ключову роль. За дефіциту цих елементів у ґрунті або порушення засвоєння через стресові умови позакореневе удобрення є одним із найбільш ефективних способів оперативного забезпечення рослин необхідним живленням.

Рістрегулятори, що застосовуються в технології вирощування кукурудзи, представляють групу фізіологічно активних речовин – амінокислотних комплексів, гумінових і фульвових кислот, фітогормонів, полісахаридів, мікроелементів та антистресантів, які впливають на інтенсивність ростових процесів, формування листової поверхні, розвиток кореневої системи та активність фотосинтетичного апарату [49; 114; 109; 45; 74]. Л. А. Шевченко, О. П. Чмель та С. В. Хоменко [114; 115] у дослідженнях, проведених в умовах Півночі України, встановили, що поєднане застосування мікродобрив та рістрегуляторів забезпечує приріст продуктивності гібридів кукурудзи на 14–19 % порівняно з традиційною технологією. О. О. Ткачук [109] узагальнила вплив

рістрегулюючих речовин на фізіологічні особливості та продуктивність рослин, наголошуючи на важливості їх дозованого застосування у критичні фази онтогенезу. О. Khodanitska, О. Shevchuk, О. Tkachuk та О. Matviichuk [22] експериментально показали фізіологічну активність стимуляторів росту рослин у поєднанні з оптимізованою системою живлення. Їх використання дає змогу підвищувати ефективність використання елементів живлення, активізувати роботу антиоксидантної системи рослин, покращувати проникність мембран, регулювати водний режим рослин і сприяти швидкому відновленню після дії стресових факторів. А. П. Білітюк, О. В. Скуротівська зі співавторами [45] у дослідженнях довели роль регуляторів росту у формуванні врожайності зернових культур, що повністю узгоджується з результатами наступних досліджень для кукурудзи.

Особливо важливим є застосування рістрегуляторів у поєднанні з мікродобривами та біостимуляторами на основі рослинних екстрактів, амінокислот, фітогормонів та поліфенолів. Т. Marchenko, R. Vozhegova, Y. Lavrynenko та P. Zabara [26] у дослідженні впливу біопрепаратів на біометричні показники ліній – батьківських компонентів гібридів кукурудзи різних груп ФАО показали, що обробка біопрепаратами сприяє формуванню потужнішої кореневої системи, збільшенню площі листової поверхні та підвищенню стресостійкості рослин. Я. М. Гадзало, Р. А. Вожегова, С. В. Коковіхін зі співавторами [50] провели наукове обґрунтування технологій вирощування кукурудзи на зрошуваних землях з урахуванням гідротермічних чинників і змін клімату; автори наголосили на критичній ролі позакореневих підживлень як адаптивного елемента в умовах нестабільної кліматичної ситуації.

У фазу ВВСН 85, коли рослина завершує активний ріст, а основні процеси зосереджені на наливі зерна, позакореневе удобрення дозволяє поліпшити переміщення пластичних речовин до репродуктивних органів. Препарати, що містять калій, бор, амінокислоти та вуглеводні компоненти, підсилюють роботу ферментних систем, підтримують тургор клітин та забезпечують рівномірне дозрівання зерна [91; 114; 72]. М. Я. Кирпа зі співавторами [72] дослідили якість

насіння гібридів кукурудзи залежно від збиральної вологості і умов дозрівання та показали, що оптимізація умов завершальних фаз вегетації дозволяє підвищити посівні якості та технологічні показники зерна. Застосування таких препаратів, як Текамін Брікс або комплексних мікродобрих на основі органічних кислот, сприяє підвищенню маси 1000 зерен, поліпшенню вмісту сухої речовини та покращенню загальних якісних показників продукції. В. Д. Паламарчук та А. М. Соломон [91] провели дослідження формування площі асиміляційної поверхні кукурудзи залежно від позакоренових підживлень і виявили, що позакореневе внесення комплексних добрив у фазах активного росту збільшує площу листової поверхні на 12–17 % та подовжує період її функціональної активності.

Надзвичайно важливим аспектом є вплив позакоренового підживлення на фотосинтетичну діяльність рослин. Рістрегулятори підсилюють інтенсивність фотосинтезу, підвищують уміст хлорофілу, посилюють активність ферментів циклу Кальвіна та покращують розвиток листового апарату [76; 91; 74; 61]. Л. А. Козак зі співавторами [74] довели ефективність застосування регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи на зерно за контрастних умов навколишнього середовища; за результатами багаторічних польових досліджень встановлено, що такі препарати забезпечують стабілізацію врожайності в умовах посушливих років та сприяють її подальшому зростанню у вологозабезпечені роки. О. І. Заболотний, А. В. Заболотна, І. Б. Леонтюк, Л. В. Розборська та О. В. Голодрига [61] дослідили основні фізіологічні процеси у рослинах кукурудзи за внесення гербіциду Стеллар, у поєднанні з біостимуляторами, що дозволяє зменшити гербіцидний стрес та активізувати фотосинтетичну активність.

Крім того, рістрегулятори відіграють значну роль у стійкості кукурудзи до стресів, зокрема до перегрівання, нестачі вологи, різких температурних коливань або підвищеної інсоляції. Амінокислотні препарати забезпечують формування більш розгалуженої кореневої системи, що підвищує здатність рослин швидко відновлювати водний баланс після короточасних стресів. О. Г. Міленко, І. С. Солод, П. Г. Могилат зі співавторами [87] показали ефективність застосування

біостимуляторів у поєднанні з післясходовими гербіцидами для нейтралізації негативного впливу останніх на фотосинтетичну активність кукурудзи. О. В. Гурманчук, Н. М. Плотницька зі співавторами [56] дослідили вплив комплексу страхових гербіцидів та біостимуляторів на стан посівів і показали, що такий поєднаний підхід знижує негативні наслідки стрес-агентів.

Особливо ефективним є застосування біостимуляторів у поєднанні зі знеженою системою удобрення. О. І. Ленъ [77] експериментально встановив, що поєднання позакоренових підживлень та оптимізованого основного обробітку ґрунту забезпечує максимальну ефективність використання поживних речовин та підвищення продуктивності гібридів кукурудзи у Лісостепу України. В. С. Вахняк та А. В. Баранник [48] провели спеціальне дослідження оптимізації спільного застосування гербіцидів і біостимуляторів у посівах кукурудзи, обґрунтувавши, що такий комплексний підхід забезпечує синергетичний ефект – одночасне підвищення зернової продуктивності, зниження стрес-навантаження на рослини та поліпшення якісних показників продукції.

Результативність позакоренового внесення значною мірою залежить від погодних умов, часу доби, концентрації робочого розчину та стану рослин. Найвища ефективність спостерігається за помірних температур, оптимальної вологості повітря та відсутності роси [114; 26]. Важливо також враховувати взаємодію препаратів у бакових сумішах, оскільки деякі мікроелементи або регулятори росту можуть впливати на стабільність діючих речовин гербіцидів, змінюючи їхню токсичність або швидкість проникнення в тканини. Yu. I. Tkalic, A. I. Tsyliuryk, S. V. Masliiov та V. I. Kozechko [35] у дослідженні взаємодії післясходових гербіцидів та регуляторів росту рослин у бакових сумішах показали, що оптимальний підбір компонентів дозволяє суттєво підвищити загальну ефективність технології.

Отже, позакоренове удобрення та ріст-регулятори відіграють важливу роль у формуванні продуктивності кукурудзи, оскільки вони забезпечують рослинам додаткові ресурси для активного росту, підвищують їхню стійкість до стресових факторів та сприяють реалізації генетичного потенціалу гібридів. У системі

адаптивних технологій за умов Правобережного Лісостепу України вони є ефективним інструментом оптимізації живлення, посилення фотосинтетичної діяльності та підвищення стабільності врожайності у змінних кліматичних умовах.

1.6. Вплив абіотичних факторів на ріст, розвиток і фотосинтетичні процеси кукурудзи

Ріст і розвиток кукурудзи як високопродуктивної теплолюбної культури визначаються складною взаємодією генетичних властивостей гібридів і абіотичних факторів середовища, які формують умови реалізації її біологічного потенціалу [113]. До найважливіших абіотичних чинників належать температура повітря і ґрунту, вологозабезпечення, світловий режим, забезпеченість елементами живлення та фізико-хімічні властивості ґрунту. Їхня дія на рослини кукурудзи є багатогранною, проявляючись через зміни інтенсивності фотосинтетичної діяльності, формування листкової поверхні, динаміки накопичення сухої речовини та функціонування кореневої системи, що безпосередньо визначає величину врожаю. Д. О. Шацман [113] на матеріалі багаторічних досліджень у Лівобережному Лісостепу України обґрунтував, що продуктивність кукурудзи за беззмінного вирощування суттєво залежить від комплексу абіотичних факторів та системи захисту посівів.

Температурний фактор є одним із ключових регуляторів ростових і фізіологічних процесів кукурудзи. Як культура тропічного походження, вона потребує відносно високих температур для проростання та початкового розвитку. Оптимальна температура ґрунту для проростання насіння становить 10–12 °С, тоді як температура повітря 20–30 °С забезпечує найвищу інтенсивність фотосинтезу та синтезу органічних речовин [118]. Л. Чернобай [112] детально проаналізувала особливості росту кукурудзи в літній період і встановила, що періоди температурного стресу (>32 °С) спричиняють зниження інтенсивності фотосинтезу на 25–40 %. Відхилення температури від

оптимальної, особливо в період цвітіння та формування зерна, різко знижують продуктивність. Високі температури понад 35–37 °С пригнічують фотосинтетичний апарат, порушують роботу ферментативних систем та викликають часткове стерилізування пилку, що призводить до недозапилення качанів. Низькі температури навесні затримують стартовий ріст, збільшують міжфазні періоди та підвищують ризик ушкодження молодих рослин.

Вологозабезпечення є визначальним фактором стабільності врожайності кукурудзи, оскільки культура споживає значні обсяги води протягом усього періоду вегетації [57; 47]. Найбільш критичними щодо нестачі вологи є фази 6–10 листків, викидання волоті, цвітіння та наливу зерна. Дефіцит вологи в ці періоди порушує тургор клітин, зменшує площу листової поверхні та інтенсивність утворення асимілятів, а також порушує переміщення поживних речовин до репродуктивних органів. Наслідком є зменшення кількості зерен у качані, зниження маси 1000 зерен і загальної врожайності. Т. L. Setter, В. А. Flannigan та J. Melkonian [31] у класичному дослідженні встановили, що поєднання водного дефіциту та затінення у період запилення може спричинити втрату до 30–55 % зернин у качані. У посушливих умовах Лісостепу, де нерівномірність опадів є типовою, здатність гібридів формувати глибоку кореневу систему та ефективно використовувати доступну вологу є критично важливою адаптивною ознакою. Ж. А. Молдован та В. Г. Молдован [89] у дослідженнях, проведених в умовах Лісостепу Західного, показали, що мінеральне живлення суттєво впливає на формування площі листової поверхні рослинами кукурудзи в роки з різним рівнем вологозабезпечення.

Світловий режим істотно впливає на фотосинтетичну активність кукурудзи, оскільки вона є С4-рослиною, здатною максимально ефективно використовувати інтенсивне освітлення. Високий рівень інсоляції сприяє швидкому накопиченню сухої речовини та формуванню потужного фотосинтетичного апарату. Проте надмірна сонячна радіація в умовах підвищених температур призводить до фотодеструкції хлорофілу, перегрівання листків та підвищення втрат води через транспірацію. Затінення рослин, яке

часто виникає під дією бур'янів або в загущених посівах, знижує активність фотосинтезу, порушує формування качана і зменшує продуктивність [40]. I. J. Wright, N. Dong, I. C. Maire та ін. [41] виявили глобальні кліматичні драйвери розміру листків у рослин, що має пряме практичне значення для прогнозування формування листкового апарату кукурудзи в різних агрокліматичних зонах.

Забезпеченість елементами живлення є одним із основних чинників, що визначають ріст і розвиток кукурудзи. Азот впливає на інтенсивність росту листків і синтез білків, фосфор – на розвиток кореневої системи та енергетичні процеси, калій – на водний режим і стійкість рослин до стресів [21; 39]. G. L. Drescher, N. A. Slaton, T. L. Roberts та A. D. Smartt [12] експериментально встановили оптимальні дози фосфорних і калійних добрив для зернової кукурудзи в США. L. Hlushchenko, R. Olerir, O. Len та ін. [21] у дослідженнях, проведених в Україні, обґрунтували вплив різних систем удобрення та погодних умов на продуктивність кукурудзи при беззмінному вирощуванні. Z. Wei, H. Ying, X. Guo та ін. [39] провели мета-аналіз досліджень із заміни мінеральних добрив органічними у системах вирощування кукурудзи та показали, що такий підхід дозволяє знизити витрати азоту та емісію вуглецю при збереженні продуктивності. Недостатність мікроелементів, зокрема цинку, бору, марганцю, магнію, порушує роботу ферментативних систем, знижує фотосинтез та уповільнює наливу зерна. Особливо важливим є збалансоване живлення у критичні фази органогенезу, оскільки нестача окремих елементів у ці періоди практично не компенсується надалі.

Фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема структура, щільність, водопроникність та аерація, визначають умови розвитку кореневої системи та доступність поживних речовин [18; 23; 25]. X. Gao, Y. He, Y. Chen та M. Wang [18] у дослідженні, проведеному на Юньнань-Гуйчжоуському плато (Китай), показали, що використання бобових сидеральних культур підвищує продуктивність кукурудзи через активізацію роботи кореневої системи та підвищення ефективності використання макроелементів. J. Kucerik, M. Brtnicky, A. Mustafa та ін. [23] обґрунтували, що різноманітні покривні культури як

сидерати збільшують вміст органічного вуглецю в ґрунті, активують біологічну активність та забезпечують ріст кукурудзи. Р. Li, L. Jia, Q. Chen та ін. [25] провели адаптивну оцінку сільськогосподарської сталості різних систем удобрення для ротації «сидерат – кукурудза». Надмірно ущільнені ґрунти обмежують проникнення коренів, погіршують газообмін і знижують здатність рослин поглинати воду, що особливо негативно впливає на кукурудзу в роки з дефіцитом опадів. Чергування сухих і вологих періодів може викликати розтріскування ґрунту та переривання контакту коренів із ґрунтовою вологою, що погіршує водний режим рослин.

Суттєвий вплив на фотосинтетичні процеси мають також екстремальні погодні явища, такі як тривалі посухи, сильні зливи, гради, нічні похолодання або тривалі періоди спеки. Вони здатні викликати структурні ушкодження фотосинтетичного апарату, зменшення кількості хлорофілу, порушення транспорту асимілятів та деградацію ферментативних систем, що в підсумку знижує продуктивність більшою мірою, ніж окремі фактори дефіциту живлення чи світла [74; 112]. Тривалі стресові періоди впливають на ефективність позакореневого підживлення, оскільки рослини обмежують поглинання речовин через зменшення транспіраційного потоку та активного транспорту в листкових клітинах.

Реакція кукурудзи на абіотичні стреси значною мірою визначається генетичними характеристиками гібриду. Як показано у роботі Б. Д. Каменщука [71], гібриди різних груп стиглості суттєво відрізняються за реакцією на температурні та водні стреси – середньоранні гібриди характеризуються вищою стійкістю до посушливих явищ другої половини літа за рахунок коротшого вегетаційного періоду, тоді як середньопізні мають більший потенціал продуктивності, але потребують стабільнішого водозабезпечення. Це обумовлює необхідність диференційованого підбору гібридного складу для конкретних агрокліматичних умов та диференційованого застосування технологічних прийомів захисту посівів від абіотичних стресів.

Отже, ріст, розвиток і фотосинтетичні процеси кукурудзи тісно залежать

від комплексу абіотичних факторів середовища, які формують умови для реалізації біологічного потенціалу цієї культури. Нерівномірність температурного режиму, чергування періодів дефіциту та надлишку вологи, коливання інсоляції та часто несприятливі ґрунтові умови значною мірою впливають на продуктивність гібридів у Правобережному Лісостепу України. Розуміння механізмів дії цих факторів є науковою основою для впровадження адаптивних технологій вирощування, що дають змогу зменшити вплив стресів і забезпечити стабільно високі урожаї в умовах кліматичних змін.

1.7. Основи адаптивних технологій вирощування кукурудзи

Адаптивні технології вирощування кукурудзи ґрунтуються на принципі узгодження біологічних властивостей культури з умовами довкілля та специфікою агроєкосистеми з метою забезпечення стабільного формування високої продуктивності в умовах мінливого клімату [47; 105]. Теоретичні засади цих технологій виходять із положення, що потенціал урожайності рослин реалізується не ізольовано, а у постійній взаємодії з абіотичними, біотичними та антропогенними факторами, які визначають ступінь стресового впливу та можливості рослин до адаптації. М. В. Степаненко та М. Б. Грабовський [105] обґрунтували важливість оптимізації способів сівби для формування маси 1000 зерен як одного з ключових елементів структури продуктивності гібридів кукурудзи. Адаптивна технологія є системною, динамічною моделлю, спрямованою на забезпечення оптимальних умов росту рослин протягом усього періоду вегетації та на підвищення стійкості агроценозу до несприятливих факторів.

Базовим елементом теоретичного підґрунтя адаптивних технологій є концепція екологічної пластичності гібридів. Кукурудза як культура вирізняється значною генетичною різноманітністю та здатністю до адаптації, що проявляється у варіабельності тривалості вегетаційного періоду, стійкості до

посухи, жаростійкості, реакції на густоту стояння, толерантності до гербіцидного стресу та різних стратегій забезпечення елементами живлення [24; 37; 36; 71]. Селекційні досягнення останніх десятиліть спрямовані на створення гібридів із покращеними механізмами регуляції водного режиму, оптимізованою фотосинтетичною діяльністю та підвищеною жаро- та стресостійкістю. R. A. Fischer [15] показав важливість селекційного відбору на ранніх етапах в умовах конкуренції за світло і поживні речовини. I. S. Tokatlidis [37; 36] обґрунтував, що адаптація гібриду до густоти стояння є критично важливим селекційним критерієм для підвищення зернової продуктивності та сталого використання ресурсів. Теоретичною передумовою адаптивних технологій є врахування саме цих властивостей під час розроблення технологічних схем для різних ґрунтово-кліматичних умов.

Іншим фундаментальним положенням є взаємозв'язок між структурою агроценозу та здатністю рослин до компенсації несприятливих умов. Кукурудзяний агроценоз є складною біологічною системою, у якій просторове розміщення рослин, рівномірність сходів, густота стояння та характеристика міжрядь визначають ступінь конкуренції за ресурси та інтенсивність фотосинтетичних процесів [24; 3; 4]. Теоретична модель оптимальної густоти стояння базується на положенні, що рослини повинні максимально використовувати сонячну радіацію, не створюючи затінення критичних зон фотосинтезу та забезпечуючи активну вентиляцію посівів. Y. Assefa та ін. [3; 4] на основі мета-аналізу показали, що сучасні гібриди кукурудзи США оптимально реалізують потенціал урожайності при густотах 78–86 тис. рослин/га (для умов достатнього зволоження). Залежно від генотипу гібриду та умов волого- і теплозабезпечення густота стояння може бути гнучким технологічним елементом, що регулює врожайність через механізми компенсації або конкуренції. О. Куценко, В. Ляшенко та Л. Кеда [24] експериментально обґрунтували, що для умов Лісостепу України оптимальні густоти стояння для різних груп стиглості становлять: 70–75 тис./га для ранніх (ФАО 200–250), 75–80 тис./га для середньостиглих (ФАО 280–320), 65–70 тис./га для пізніх (ФАО

380–450).

Важливим теоретичним компонентом адаптивних технологій є принцип динамічної оптимізації живлення рослин. Потреба кукурудзи в елементах живлення є неоднаковою у різні фази органогенезу, тому адаптивна технологія передбачає цілеспрямоване внесення добрив відповідно до критичних періодів потреби у макро- і мікроелементах [104; 106; 49; 58]. М. В. Степаненко [104] дослідив формування площі листової поверхні кукурудзи залежно від системи удобрення та показав, що збалансоване комплексне внесення макро- і мікроелементів забезпечує найвищу ефективність використання поживних речовин. Сучасні моделі живлення, що лежать в основі адаптивних технологій, враховують не лише обсяги доступних елементів, а й їхню мобільність у ґрунті, форми зв'язування, буферну здатність ґрунту, стан кореневої системи та її фізіологічну активність. Позакореневе удобрення, у свою чергу, розглядається як механізм оперативної корекції дефіцитів у критичні періоди формування урожаю.

Теоретичним підґрунтям адаптивного контролю шкодочинних організмів є концепція інтегрованого управління, яка базується на моніторингу видового складу, визначенні порогів шкодочинності та використанні засобів захисту з різними механізмами дії. Сучасні системи захисту посівів кукурудзи від бур'янів, шкідників та хвороб є важливою складовою адаптивних технологій, однак їх застосування має бути максимально селективним і поєднуватися з агротехнічними заходами, що знижують стресовий вплив на культурні рослини [87; 56; 86]. Е. Г. Міленко, А. В. Німчин та Є. Г. Міленко [86] на основі багаторічних досліджень обґрунтували, що ефективна система захисту посівів від бур'янів забезпечує приріст урожайності кукурудзи на 25–40 % порівняно з варіантом без захисту.

Теоретична база адаптивних технологій включає також положення про стрес-фізіологію кукурудзи. Рослини реагують на абіотичні стреси – посуху, перегрів, надмірне зволоження, різкі температурні амплітуди – через зміни в роботі фотосинтетичного апарату, модифікацію будови листків, регуляцію

транспірації та активацію систем антиоксидантного захисту [25–60, 48]. У межах адаптивних технологій передбачено оптимізацію умов для мінімізації стресів: своєчасне внесення рістрегуляторів і антистресантів, корекція густоти стояння, запобігання затіненню, зниження гербіцидного навантаження та збереження аерації ґрунту.

Окремим теоретичним аспектом є інтеграція кліматично орієнтованих підходів у технологію вирощування кукурудзи. В умовах глобальних кліматичних змін адаптивні технології передбачають прогнозування ризиків погодних аномалій, використання даних моніторингу, моделювання стресових сценаріїв та впровадження систем точного землеробства [47]. Застосування GPS-технологій, сенсорних систем, дистанційного зондування, картування урожайності і диференційованого внесення ресурсів дозволяє адаптувати технологію в режимі реального часу. Б. В. Ратушний [94] на основі досвіду США показав, що впровадження точного землеробства дозволяє зменшити витрати на матеріальні ресурси на 12–20 % при одночасному підвищенні урожайності на 8–15 %.

У контексті сучасних біологічних теорій адаптивні технології розглядаються не лише як комплекс агротехнічних прийомів, а як цілісна система управління агроєкосистемою, що поєднує генетичний потенціал гібридів, біологічні особливості кукурудзи, стан ґрунту, погодні умови та технологічні інструменти. Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальне середовище для розвитку рослин і формування високої продуктивності навіть за підвищеного рівня кліматичних стресів.

Таким чином, теоретичні основи адаптивних технологій вирощування кукурудзи ґрунтуються на принципах екологічної пластичності гібридів, оптимізації структури агроценозу, динамічного управління живленням, інтегрованого контролю шкочинних організмів та мінімізації абіотичних стресів. Вони створюють наукове підґрунтя для розроблення сучасних високоефективних технологій, спрямованих на забезпечення стабільної та екологічно безпечної продуктивності кукурудзи в умовах Правобережного

Лісостепу України.

Висновок до розділу 1. Аналіз літератури виявив низку невирішених проблем, що потребують спеціальних експериментальних досліджень: відсутні узагальнені дані про порівняльну ефективність сучасних препаратів для позакореневого підживлення у вирощуванні гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Правобережного Лісостепу України; не вивчена взаємодія факторів «гібрид × позакореневе підживлення у фазі 3–8 листків × позакореневе підживлення у фазі воскової стиглості» у формуванні зернової продуктивності та якості зерна; недостатньо обґрунтовані економічні та енергетичні параметри адаптивних технологій з диференційованим застосуванням позакореневого удобрення для гібридів кукурудзи різних груп ФАО. Розв'язання цих проблем визначає актуальність та цільову спрямованість представленого дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови

Дослідження проводилися впродовж 2023- 2025 рр. у ТОВ «Світанок Плюс» с. Григорівка, Обухівський району, Київської області. Територія господарства знаходиться в зоні нестійкого зволоження в Правобережному Лісостепу України. За рельєфом зона діяльності являє підвищене плато з нахилом з заходу на схід.

Згідно морфологічного районування територія Обухівського району відноситься до височини. Характер геологічної будови, значне підвищення (345-390м) території району над рівнем моря і та обставина, що до складу ґрунтоутворних порід входять переважно леси і лесовидні суглинки, що легко розмиваються водою, обумовлюють тут розвиток ерозійних процесів.

Саме тому, за місцезнаходженням і розташуванням господарство характеризується ознаками Лісостепу. Середньорічна температура повітря становить +7°C, сума активних температур (більше 10°C) – 2600-2900, гідротермічний коефіцієнт – 1,1-1,2, річна сума опадів 490 мм.

Ґрунти дослідної ділянки, де проводились дослідження, сірі лісові опідзолені, середньо суглинкові на лесі з вмістом гумусу в орному шарі 1,6-1,9% (за Тюриним), рН сольової витяжки 5,1-6,0, гідролітична кислотність 200-250 гекв/1 кг ґрунту, сума ввібраних основ 120-160 мг-екв/1 кг ґрунту. В 1кг ґрунту міститься 100-120 г легкогідролізованого азоту, 100-140 г обмінного калію та 100-150 г рухомого фосфору.

Як бачимо, сірі лісові ґрунти за морфологічними ознаками займають проміжне положення між дерново-підзолистими та чорноземами. Вони мало забезпечені гумусом. Баланс гумусу в сірих опідзолених ґрунтах області за останні 35 років зводиться з дефіцитом в 0,5 т/га щорічно і в дальшому 28

спостерігається тенденція до його зростання. Отже, посіви багаторічних трав в цих умовах можуть сприяти накопиченню гумусу.

За багаторічними даними, клімат зони є помірно континентальним із чітко вираженими сезонними коливаннями температури та нерівномірним розподілом опадів упродовж року. Аналіз графіків свідчить, що у 2023–2025 рр. спостерігалися значні відхилення від середньобагаторічних норм, особливо в літній період, що суттєво впливало на вологозабезпечення посівів і перебіг вегетації сільськогосподарських культур.

Погодні умови 2023 року були контрастними. У березні зафіксовано надмірну кількість опадів (понад 60 мм), що вдвічі перевищувало середньорічну норму, тоді як температура повітря перебувала на рівні близькому до нульового. У квітні опадів було мало (приблизно 15 мм), проте середньодобова температура швидко зростала, досягаючи значень, близьких до середніх багаторічних. У травні опадів випало лише близько 18 мм, тоді як температури різко підвищились — понад 27 °С, що спричинило швидке висушування верхніх шарів ґрунту.

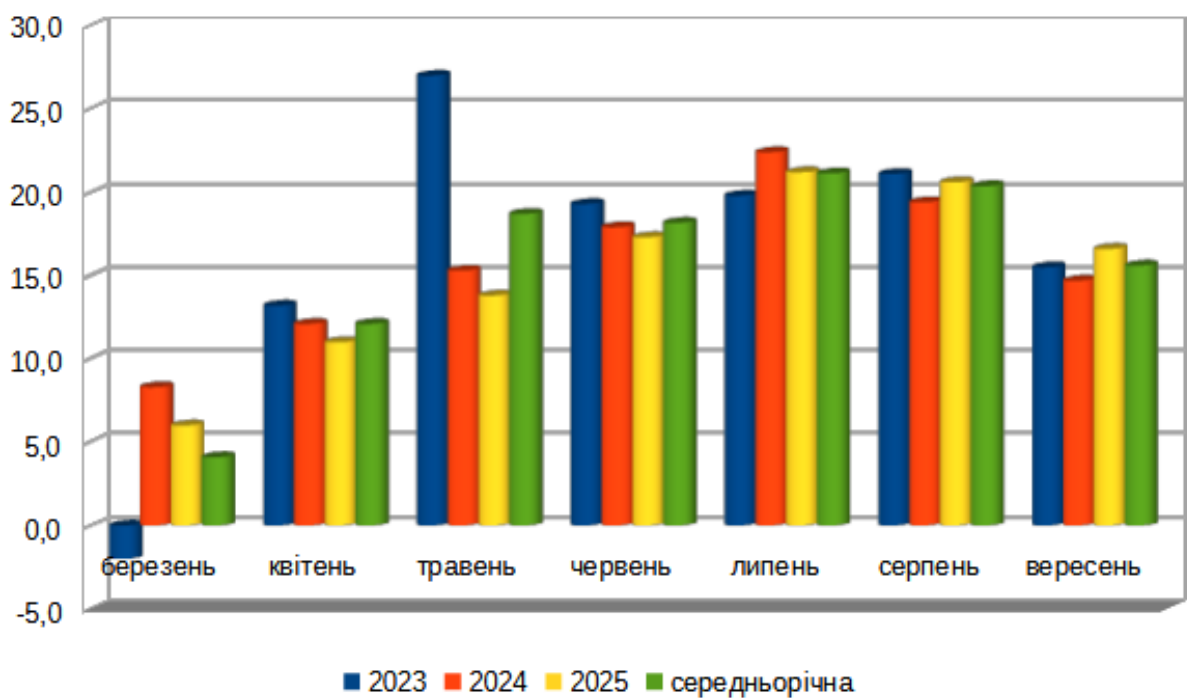
Найтриваліші та інтенсивні дощі припадали на червень (близько 145 мм), що більш ніж удвічі перевищувало середньобагаторічний показник. У липні температура становила майже 20 °С, а кількість опадів наближалась до норми. У серпні відмічалось суттєве зменшення дощів — лише близько 25 мм, що разом із температурою понад 21 °С погіршувало умови вологозабезпечення. Вересень був помірно теплим (понад 16 °С) і відзначався ряснішими опадами (близько 50 мм), що перевищувало середні значення.

Погодні умови 2024 року були більш вирівняними та ближчими до середньорічних показників. У березні температура була помірно низькою (приблизно 8–9 °С), а кількість опадів становила близько 25 мм. У квітні температура залишалась нижчою за норму, але кількість опадів становила близько 30–35 мм, що відповідало типовим умовам сезону. У травні температура сягала 15–16 °С, а кількість опадів становила близько 40 мм.

У червні випало приблизно 25 мм опадів — значно менше від норми, тоді як температура становила близько 19 °С. У липні спостерігалась невелика

кількість дощів (приблизно 32 мм), але температура підвищувалась до 20–21 °С. Серпень характеризувався стабільно теплою погодою (близько 21 °С) та помірними опадами. На початку осені (вересень) температура знизилася до 15 °С, а кількість опадів склала приблизно 20 мм, що нижче середньорічного рівня.

У 2025 році погодні умови відзначалися переважно підвищеними температурами та нерівномірністю випадання опадів. У березні опадів випало близько 50 мм, що відповідає багаторічним значенням, але температура становила лише близько 6 °С. Квітень був відносно сухим (близько 40 мм) і теплим: температура зростала до 12–13 °С. У травні зафіксовано різке збільшення опадів (близько 70 мм), при температурі в межах 14–15 °С, що сприяло накопиченню вологи у ґрунті.



**Рис. 2.1. Температура повітря за період березень – вересень, 2023-2025 рр
°С**

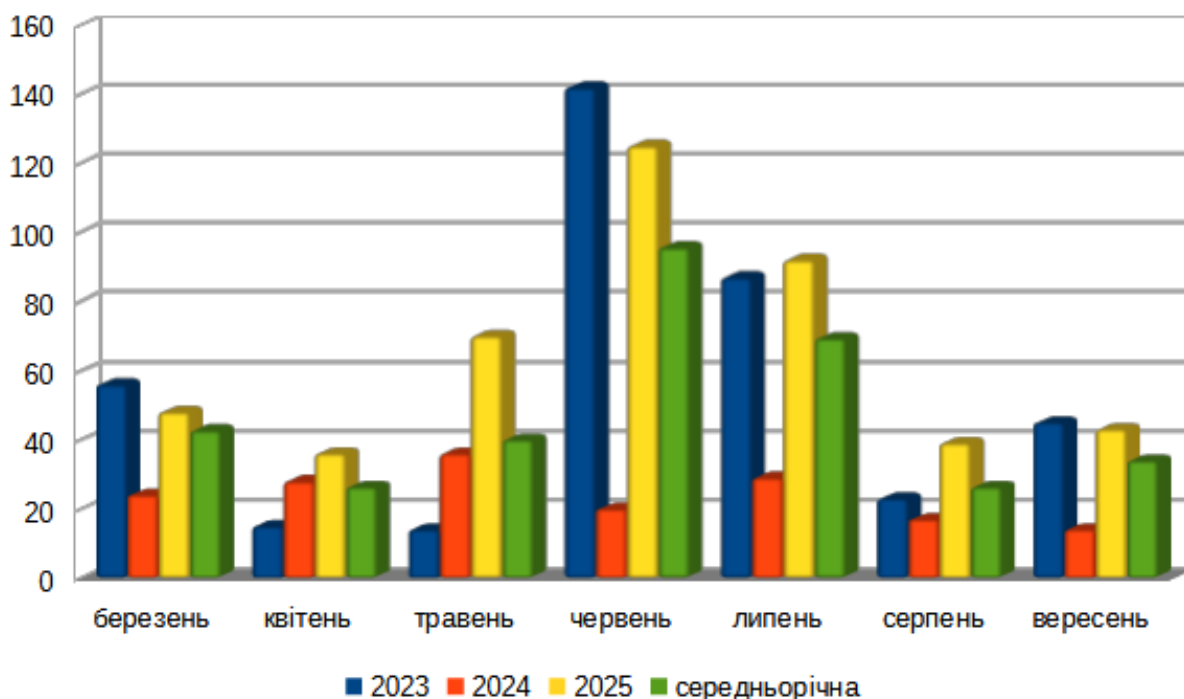


Рис. 2.2. Середньомісячна кількість опадів за вегетаційний період, мм

Червень характеризувався рясними дощами (понад 130 мм) при температурі близько 18 °С — умови були сприятливими для активного росту культур. У липні випало майже 95 мм опадів, а середньодобова температура становила понад 22 °С. У серпні кількість опадів була помірною (близько 40 мм), температура залишалася високою (21–22 °С), що сприяло швидкому випаровуванню. У вересні опади становили близько 45 мм, а температура знизилася до 17 °С, що відповідало середнім багаторічним умовам.

Усі три роки характеризуються тенденцією до підвищення температур порівняно з багаторічними нормами, особливо в літні місяці. Найбільш контрастним та нестабільним був 2023 рік: чергувався надмір опадів із дефіцитом вологи, що могло призводити як до перезволоження, так і до літніх пересушувань. У 2024 році погодні умови були найближчими до типових, тоді як 2025 рік визначався комбінацією підвищеного тепла та рясних дощів у першій половині літа.

Такі коливання свідчать про посилення кліматичної мінливості, що необхідно враховувати при плануванні агротехнічних заходів, виборі культур, строків їх сівби та систем захисту.

2.2. Основні методи і методики проведення досліджень

Дослідження проводили відповідно до індивідуального навчального плану та тематичного плану наукових досліджень лабораторії землеробства та гербології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

Сівбу проводили сівалкою прямої сівби *Massey Ferguson MF 555*, агрегатованою з трактором *Challenger 8122* на глибину 4–5 см. Густота сівби становила 75-80 тис. шт./га. Добрива вносили з розрахунку $N_{100}P_{70}K_{70}$ під ранньовесняну культивуацію шляхом рівномірного розкидання по поверхні. При посіві вносили $N_{20}P_{20}K_{20}$.

Дослідження проведене у формі трифакторного польового досліду за схемою $3 \times 2 \times 4$, що включала 24 варіанти комбінацій трьох гібридів кукурудзи різних груп стиглості (ДБ Хотин ФАО 250, ДКС 4014 ФАО 310, ДН Аншлаг ФАО 420), двох варіантів позакореневого підживлення у фазу 3–8 листків (без підживлення; *MicroStim™ Марганець*, 1,0 л/га) та чотирьох варіантів обробки у фазу воскової стиглості (без підживлення; *Райкат Фінал*, 1,0 л/га; *Текамін Брікс*, 3 л/га; *EGROW*, 1,0 л/га). Така структура досліду дозволила виявити як головні ефекти кожного фактора, так і їхні взаємодії, оцінити ефективність трьох альтернативних препаратів для позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості та обґрунтувати оптимальні комбінації технологічних прийомів для гібридів різних груп стиглості.

Контрольними вважали варіанти 1, 9 і 17 — повністю без позакоренево внесених препаратів (одна комбінація на кожен гібрид). Польовий дослід закладено систематичним методом у чотириразовій повторності. Облікова площа ділянки становила 25 м², загальна — 50 м². Розміщення варіантів — рендомізоване в межах повторності. Статистичне опрацювання даних здійснено методом дисперсійного аналізу за Б. А. Доспеховим з визначенням найменшої істотної різниці на 5 %-му рівні значимості ($HP_{0,05}$) для головних ефектів та їхньої взаємодії.

Узагальнена схема дослідних варіантів наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Схема трифакторного польового досліджу

№	Гібрид (фактор А)	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 13–18 (фактор В)	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)
1	ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобрення (контроль)	Без удобрення (контроль)
2		Без удобрення	Райкат Фінал, 1,0 л/га
3		Без удобрення	Текамін Брікс, 3 л/га
4		Без удобрення	EGROW, 1,0 л/га
5		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Без удобрення
6		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Райкат Фінал, 1,0 л/га
7		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Текамін Брікс, 3 л/га
8		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	EGROW, 1,0 л/га
9	ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобрення (контроль)	Без удобрення (контроль)
10		Без удобрення	Райкат Фінал, 1,0 л/га
11		Без удобрення	Текамін Брікс, 3 л/га
12		Без удобрення	EGROW, 1,0 л/га
13		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Без удобрення
14		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Райкат Фінал, 1,0 л/га
15		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Текамін Брікс, 3 л/га
16		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	EGROW, 1,0 л/га
17	ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобрення (контроль)	Без удобрення (контроль)
18		Без удобрення	Райкат Фінал, 1,0 л/га
19		Без удобрення	Текамін Брікс, 3 л/га
20		Без удобрення	EGROW, 1,0 л/га
21		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Без удобрення
22		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Райкат Фінал, 1,0 л/га
23		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	Текамін Брікс, 3 л/га
24		MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га	EGROW, 1,0 л/га

У ході дослідження застосовано комплекс польових, лабораторних, морфофізіологічних, біометричних та статистичних методів, що дозволив отримати всебічну характеристику впливу досліджуваних факторів на формування продуктивності гібридів кукурудзи.

Спостереження за проходженням основних фаз росту і розвитку рослин кукурудзи проводили на чотирьох постійних обліково-спостережних майданчиках кожного варіанту (по одному на повторність). Фази фіксували за міжнародною шкалою BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie). Фіксовані фази: сходи (BBCH 09), 3 листки (BBCH 13), 5 листків (BBCH 15), 8 листків (BBCH 18), 10 листків (BBCH 19–32), викидання волоті (BBCH 51–59), цвітіння (BBCH 65), молочна стиглість (BBCH 75), воскова стиглість (BBCH 85), повна стиглість (BBCH 89). Початком фази вважали її настання у 10 % рослин на ділянці, масовою фазою – у 75 % рослин.

Морфометричні показники рослин (висота, кількість листків, висота прикріплення качана) визначали в основні фази розвитку (3–8 листків, викидання волоті, цвітіння, молочна стиглість, воскова стиглість) на 10 типових рослинах із кожної повторності (40 рослин на варіант). Висоту рослин вимірювали від поверхні ґрунту до основи волоті стрічковою рулеткою з точністю 1 см. Кількість листків підраховували візуально, враховуючи лише повністю розвинуті листки. Густоту стояння рослин визначали методом суцільного обліку на спостережній ділянці шляхом підрахунку рослин у фазі сходів та на час збирання.

Площу листової поверхні визначали методом висічок із застосуванням коректуючого коефіцієнта для листків кукурудзи ($K = 0,75$), як рекомендує А. А. Ничипорович. У фазі цвітіння з кожної повторності відбирали по 10 типових рослин, окремо для кожного варіанту, та проводили зважування всіх листків. Із кожного зразка робили висічки відомої площі (5 см^2) для перерахунку загальної маси листової поверхні в площу. Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП) розраховували як добуток середньої площі листової поверхні на тривалість періоду (за період активного функціонування фотосинтетичного апарату, в днях) із наступним перерахунком на 1 га площі посіву ($\text{тис. м}^2 \times \text{дїб/га}$).

Вміст хлорофілу в листках оцінювали неруйнівним методом за допомогою портативного хлорофілометра SPAD-502 Plus (Konica Minolta, Японія). Вимірювання проводили на серединній частині третього зверху повністю розвиненого листка у фазі цвітіння (BBCH 65). На кожному варіанті здійснювали

40 вимірювань (10 рослин × 4 повторності), результати усереднювали. Прилад калібрували перед кожним днем вимірювань. Висока кореляція між значеннями SPAD та фактичним вмістом хлорофілу в листках кукурудзи ($r > 0,9$) підтверджена численними дослідженнями.

Накопичення сухої речовини рослинами визначали методом висушування зразків до постійної маси. У фазі викидання волоті, цвітіння та воскової стиглості з кожної повторності відбирали по 10 типових рослин (40 на варіант), які зважували в свіжому стані, потім подрібнювали та висушували в термостаті при температурі 60 °C (4–6 годин) із доведенням до постійної маси при 105 °C (1–2 години). Перерахунок здійснювали на стандартну густоту стояння рослин та на 1 га посіву.

Структурний аналіз урожаю проводили перед збиранням на 10 типових качанах із кожної повторності (40 качанів на варіант). Визначали: довжину качана (см), кількість рядів зерен, кількість зерен у ряду, загальну кількість зерен у качані (шт.), масу зерна з одного качана (г), вихід зерна (% від маси качана). Масу 1000 зерен визначали ваговим методом за ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості»: відраховували 2 проби по 500 зерен, зважували, обчислювали середнє арифметичне значення з перерахунком на стандартну вологість 14 %.

Збиральну вологість зерна визначали безпосередньо на полі під час збирання електронним вимірювачем вологості зерна Wile 65 (Farmcomp, Фінляндія) із автоматичним контролем температури та електропровідністю. Зразки відбирали з кожного качана типових 10 рослин кожної повторності та усереднювали. Прилад калібрували згідно з інструкцією виробника не рідше ніж раз на тиждень.

Урожайність обліковували методом суцільного обмолоту дослідних ділянок комбайном Samro Rosenlew SR-2010 (Фінляндія), обладнаним кукурудзяною жаткою СМС-6 та транспортною ємністю для зважування. Зерно з кожної повторності зважували окремо. Урожайність перераховували на стандартну вологість зерна 14 % за формулою $Y_{14} = Y_{\text{ф}} \times (100 - W_{\text{ф}}) / (100 -$

14), де $Y_{\text{ф}}$ – фактична урожайність, $W_{\text{ф}}$ – фактична вологість у відсотках. Результати з кожної повторності усереднювали, отримуючи середнє значення за варіантом, далі – середнє багаторічне значення за 2023–2025 рр.

Якісні показники зерна (вміст білка, крохмалю, олії, клітковини) визначали з використанням інфрачервоного спектрофотометра Infracum FT-12 (РФ, повірений). Аналіз проводили на 200 г зерна кожного варіанту після усереднення зразків з усіх повторностей. Дані перераховували на абсолютно суху речовину. Калібрування приладу проводили за стандартними зразками національного метрологічного інституту України.

Економічну ефективність технологій вирощування досліджуваних варіантів оцінювали за чинними у травні 2026 р. цінами на матеріальні ресурси (насіння, добрива, ПММ, запчастини, заробітна плата) та середньоринковою ціною реалізації зерна кукурудзи (10 200 грн/т). Для кожного варіанту розраховували: повну собівартість виробництва (грн/га), валовий дохід (грн/га), чистий прибуток (грн/га), собівартість 1 т зерна (грн/т), рентабельність виробництва (%). Окупність витрат на досліджувані препарати визначали як відношення додаткового прибутку до додаткових витрат.

Енергетичну оцінку технологій проведено за загальноприйнятою методикою (М. М. Городній, О. К. Медведовський та ін.) з використанням стандартних енергетичних еквівалентів: зерно кукурудзи – 17,3 МДж/кг, дизельне паливо – 42,5 МДж/л, азотні добрива – 78,0 МДж/кг діючої речовини, фосфорні – 17,5 МДж/кг д.р., калійні – 13,8 МДж/кг д.р., пестициди – 300 МДж/кг д.р., праця механізаторів – 0,2 МДж/хв. Розраховували: загальні витрати енергії на технологію (МДж/га), енергію врожаю (МДж/га), коефіцієнт енергетичної ефективності $K_{\text{е}} = \text{енергія врожаю} / \text{енергетичні витрати}$, енергоємність продукції (МДж/т зерна).

Статистичне опрацювання експериментальних даних здійснено методом дисперсійного аналізу із визначенням найменшої істотної різниці на 5 %-му рівні значимості ($HP_{0,05}$) для головних ефектів кожного фактора, а також взаємодій АВС. Розраховували коефіцієнти варіації (CV, %) як показник стабільності

ознаки за роками. Кореляційний та регресійний аналіз взаємозв'язків між основними показниками формування продуктивності кукурудзи проводили в середовищі STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc., США). Достовірність коефіцієнтів кореляції оцінювали за критерієм Стьюдента при заданих рівнях значимості ($P = 0,05; 0,01; 0,001$). Внесок окремих факторів та їх взаємодій у загальне варіювання показників визначали через частку пояснюваного варіювання у дисперсійному аналізі.

2.3. Характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи

У трифакторному польовому досліді (фактор А) досліджували три гібриди кукурудзи різних груп стиглості, які представляють різну селекційну школу та забезпечують репрезентативне охоплення основних виробничих типів гібридів, що нині використовуються в умовах Правобережного Лісостепу України: середньоранній (ФАО 250) ДБ Хотин вітчизняної селекції, середньостиглий (ФАО 310) ДКС 4014 селекції компанії Dekalb (Bayer Crop Science) та середньопізній (ФАО 420) ДН Аншлаг селекції ДУ Інституту зернових культур НААН України.

Гібрид ДБ Хотин (ФАО 250) – середньоранній простий міжлінійний гібрид зубоподібного типу зерна вітчизняної селекції. Створений науковцями ДУ Інститут зернових культур НААН України. Тривалість вегетаційного періоду в умовах Лісостепу України – 110–115 діб. Висота рослин при оптимальних умовах вирощування – 230–250 см. Розташування качанів – на висоті 85–95 см. Качан циліндричної форми, довжиною 18–22 см, із 14–16 рядами зерен. Зерно напівзубоподібне, жовто-оранжевого забарвлення. Маса 1000 зерен – 300–320 г. Потенційна врожайність – 12–14 т/га. Висока вологовіддача зерна при дозріванні – одна з ключових переваг гібриду, що дозволяє планувати раннє збирання та зменшити витрати на сушіння. Гібрид стійкий до основних хвороб – пухирчастої та летючої сажки, фузаріозу качана. Рекомендована густина стояння рослин – 75–80 тис./га у зоні достатнього зволоження, 65–70 тис./га – у зоні нестійкого

зволоження. Гібрид характеризується інтенсивним початковим ростом, добре переносить ранньовесняні похолодання, що дозволяє проводити ранні строки сівби. Особливо рекомендується для ранньостиглих сівозмін та господарств, де планується пізніший термін сівби озимих культур.

Гібрид ДКС 4014 (ФАО 310) – середньостиглий простий міжлінійний гібрид зубоподібного типу зерна, створений селекційною компанією Dekalb (підрозділ Bayer Crop Science). Поєднує високу потенційну продуктивність із комплексною стійкістю до основних стресових чинників. Тривалість вегетаційного періоду в умовах Правобережного Лісостепу України – 120–130 діб. Висота рослин – 250–280 см, висота прикріплення качана – 95–110 см. Качан великий, циліндричної форми, довжиною 20–24 см, із 16–18 рядами зерен. Зерно жовтого забарвлення, зубоподібного типу. Маса 1000 зерен – 290–310 г. Потенційна врожайність – 13–15 т/га. Гібрид характеризується посухостійкістю та толерантністю до підвищених температур, що робить його придатним для вирощування в умовах кліматичних змін. Має генетичну стійкість до пухирчастої сажки, фузаріозу качана, листкових хвороб. Рекомендована густина стояння рослин – 70–75 тис./га. Завдяки збалансованому розвитку вегетативної та генеративної сфери, ДКС 4014 рекомендується як універсальний гібрид для зернового призначення в умовах нестійкого зволоження.

Гібрид ДН Анилаг (ФАО 420) – середньопізній простий міжлінійний гібрид кременистого типу зерна вітчизняної селекції. Створений науковцями ДУ Інститут зернових культур НААН України. Тривалість вегетаційного періоду в умовах Лісостепу України – 138–145 діб. Висота рослин – 280–310 см, висота прикріплення качана – 110–125 см. Качан великий, циліндрично-конічної форми, довжиною 22–26 см, із 16–18 рядами зерен. Кількість зерен у качані – 480–520 шт. Зерно великого розміру, жовто-оранжевого забарвлення, напівкременистого типу. Маса 1000 зерен – 300–310 г. Потенційна врожайність – 14–16 т/га. Гібрид характеризується найвищим серед досліджуваних потенціалом зернової продуктивності, однак потребує більшої тривалості вегетаційного періоду та підвищеної суми активних температур. Збиральна вологість зерна підвищена

(24–28 %), що зумовлює необхідність застосування агротехнічних прийомів для прискорення дозрівання. Має комплексну стійкість до основних хвороб і вилягання. Рекомендована густина стояння рослин – 65–70 тис./га у зоні достатнього зволоження. Гібрид особливо доцільний для господарств із наявною базою післязбирального доробітку зерна та можливістю пізніших термінів збирання.

2.4. Характеристика досліджуваних препаратів для позакореневого підживлення

У досліді як засоби позакореневого підживлення застосовували чотири препарати, що представляють різні класи агрохімічних засобів живлення рослин і дозволяють здійснювати цілеспрямований вплив на специфічні фізіологічні процеси на ключових етапах формування продуктивності кукурудзи.

MicroStim™ Марганець (виробник – ТОВ «AgroPro», Україна) – висококонцентроване рідке мікродобриво на основі марганцю в хелатній формі (комплекс з ЕДТА). Хімічний склад: марганець (Mn) – не менше 80 г/л, азот (N) – 35 г/л, сірка (S) – 25 г/л, додаткові мікроелементи (Zn, B, Cu, Mo) у незначних кількостях. Препарат призначений для оперативної корекції марганцевого живлення рослин у фазі активного формування фотосинтетичного апарату. Марганець відіграє ключову роль у фотолізі води в процесі фотосинтезу (комплекс виділення кисню фотосистеми II), активує ферменти декарбоксилування та відновлення нітратів, бере участь у синтезі хлорофілу та білків. Дефіцит марганцю особливо часто проявляється на ґрунтах з нейтральною та слаболужною реакцією, до яких відносяться й сірі лісові опідзолені ґрунти дослідної ділянки. Норма застосування у досліді – 1,0 л/га при витраті робочого розчину 250–300 л/га. Фаза застосування – 3–8 листків кукурудзи (ВВСН 13–18), що відповідає періоду інтенсивного формування листової поверхні та фотосинтетичного апарату.

Райкат Фінал (виробник – компанія Atlántica Agrícola, Іспанія) –

висококонтрований амінокислотний концентрат із підвищеним вмістом фосфору та калію для позакореневого застосування у завершальних фазах вегетації культур. Хімічний склад: вільні L-амінокислоти – 6 %, загальний азот (N) – 4 %, фосфор (P_2O_5) – 8 %, калій (K_2O) – 6 %, мікроелементи (B, Fe, Mn, Mo, Zn) – у збалансованих співвідношеннях. Амінокислотна складова препарату (L-пролін, L-аргінін, L-валін, L-аланін та інші) виконує функцію готових будівельних блоків для синтезу запасних білків зерна, а також активує реакції транслокації пластичних речовин з вегетативних органів до зернівок у період формування врожаю. Підвищений вміст фосфору сприяє активізації енергетичного обміну та забезпеченню формування повноцінних зернівок. Норма застосування у досліді – 1,0 л/га при витраті робочого розчину 250–300 л/га. Фаза застосування – воскова стиглість (ВВСН 85), що відповідає завершальному етапу формування врожаю та має визначальне значення для накопичення запасних білків.

Текамін Брікс (виробник – компанія Agrotécnologías Naturales, S.L., Іспанія) – рідкий висококонтрований препарат із підвищеним вмістом калію та комплексом сполук, що сприяють цукроутворенню та накопиченню запасних вуглеводів у плодах і зерні. Хімічний склад: калій (K_2O) – 24 %, бор (B) – 0,5 %, амінокислоти – 4 %, вуглеводно-органічний комплекс із моласової основи. Препарат покликаний активізувати процеси наливу зерна за рахунок інтенсифікації фотосинтетичної транслокації та підвищення концентрації цукрів у тканинах. Калій бере провідну роль у регуляції водного режиму рослин, активації понад 60 ферментативних реакцій, забезпеченні стресостійкості. Норма застосування у досліді – 3,0 л/га при витраті робочого розчину 250–300 л/га. Фаза застосування – воскова стиглість (ВВСН 85). Перевагою препарату є комплексна дія на метаболізм вуглеводів та активізацію процесів дозрівання.

EGROW (виробник – компанія Daumsa, Іспанія) – багатоконпонентний рідкий біостимулятор на основі ферментованих рослинних екстрактів із додаванням органічного азоту, фосфору, калію та комплексу мікроелементів. Хімічний склад: загальний азот (N) – 3 %, фосфор (P_2O_5) – 5 %, калій (K_2O) – 8

%, органічна речовина – 25 %, екстракти морських водоростей (*Ascophyllum nodosum*), фітогормони рослинного походження (цитокініни, ауксини), поліфеноли, бетаїни. Біостимулююча дія препарату спрямована на активізацію кінцевих етапів формування зернівки, прискорення дозрівання, рівномірне зниження вологості зерна. Завдяки наявності природних фітогормонів препарат регулює фізіологічні процеси транслокації пластичних речовин до зернівок та оптимізує співвідношення «вегетативна маса : генеративна продуктивність». Норма застосування у досліді – 1,0 л/га при витраті робочого розчину 250–300 л/га. Фаза застосування – воскова стиглість (ВВСН 85). Завдяки комплексному впливу на процеси дозрівання EGROW особливо ефективний у поєднанні з гібридами пізніх груп стиглості, для яких актуальною є проблема високої збиральної вологості зерна.

2.5. Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках

Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках упродовж 2023–2025 рр. базувалася на загальноприйнятих для зони Правобережного Лісостепу України принципах інтенсивного вирощування з урахуванням специфіки трифакторного польового досліді. Технологічна схема включала весь комплекс агротехнічних заходів від основного обробітку ґрунту до збирання врожаю, з диференційованим застосуванням позакореневих підживлень за варіантами досліді (фактори В та С).

Попередник. Кукурудза висівалася після зернових колосових культур (озима пшениця, у 2024 р. – також ярий ячмінь), що є оптимальним попередником для кукурудзи в умовах Лісостепу. Після збирання попередника ділянка очищалася від пожнивних залишків.

Основний обробіток ґрунту. У вересні – першій декаді жовтня попереднього року проводили дискування стерні на глибину 10–12 см дисковою бороною Catros 3001 (Amazone, Німеччина), агрегатованою з трактором Massey Ferguson MF 7716. Через 2–3 тижні (після проростання падалиці та бур'янів)

виконували оранку на глибину 25–27 см плугом ПЛН-5-35, агрегатованим із трактором John Deere 6155M, з обертанням пласта.

Передпосівний обробіток. Ранньовесняне закриття вологи проводили боронами зубовими БЗТУ-1,0 у два сліди при досягненні фізичної стиглості ґрунту. Передпосівну культивуацію виконували комбінованим агрегатом «Європак» на глибину 6–8 см за 2–3 дні до сівби з одночасним розрівнюванням і прикочуванням.

Система удобрення. Мінеральні добрива вносили з розрахунку $N_{100}P_{70}K_{70}$ під ранньовесняну культивуацію шляхом рівномірного розкидання нітроамофоски (16-16-16) розкидачем мінеральних добрив Amazone ZA-M на дозу 440 кг/га. При сівбі вносили стартове удобрення з розрахунку $N_{20}P_{20}K_{20}$ нітроамофоскою (16-16-16) на дозу 125 кг/га через тукові апарати сівалки. Загальна доза мінеральних добрив за основним і припосівним внесенням становила $N_{120}P_{90}K_{90}$, що відповідає рекомендованим для досягнення планової урожайності 10–12 т/га на сірих лісових ґрунтах.

Сівба. Сівбу проводили сівалкою прямої сівби Massey Ferguson MF 555 точного висіву, агрегатованою з трактором Challenger 8122. Глибина загортання насіння – 4–5 см. Спосіб сівби – пунктирний з шириною міжрядь 70 см. Терміни сівби – оптимальні для зони (20–28 квітня залежно від року), при стійкому прогріванні ґрунту на глибині загортання до +10–12 °С. Норма висіву диференційована за гібридами: ДБ Хотин (ФАО 250) – 80 тис. насінин/га, ДКС 4014 (ФАО 310) – 75 тис. насінин/га, ДН Аншлаг (ФАО 420) – 70 тис. насінин/га, з урахуванням загальноприйнятих рекомендацій для конкретних груп стиглості в зоні нестійкого зволоження. Передпосівне інкрустування насіння проводилося виробником-постачальником із застосуванням протруйників, інсектицидних протруйників та плівкоутворюючих компонентів.

Захист посівів. Для контролю бур'янів у фазі 2–4 листків кукурудзи проводили внесення гербіцидної композиції на основі мезотріону (Каллісто, 100 г/л, 0,2 л/га) та нікосульфурону (Мілагро, 40 г/л, 1,0 л/га), що забезпечило ефективний контроль однорічних дводольних і злакових бур'янів. Інсектицидний

захист від кукурудзяного метелика (*Ostrinia nubilalis*) проводили у фазі викидання волоті препаратом Кораген (хлорантраніліпрол, 200 г/л, 150 мл/га). Фунгіцидний захист від листових хвороб (фузаріоз, гельмінтоспоріоз) у фазі 8–10 листків застосовували препарат Імпакт (флутріяфол, 250 г/л, 0,5 л/га) – на варіантах досліду, що потребували контролю фітопатологічного фону.

Позакореневі підживлення (досліджувані фактори). Позакореневі підживлення за фактором В проводили в фазі 3–8 листків (ВВСН 13–18) обприскувачем Verthoud Tenor 32 із розрахунку 250 л робочого розчину на гектар. MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) застосовували згідно зі схемою досліду на варіантах 5–8, 13–16, 21–24. Позакореневі підживлення за фактором С проводили у фазі воскової стиглості зерна (ВВСН 85) тим же обприскувачем при витраті робочого розчину 250 л/га: Райкат Фінал (1,0 л/га) – на варіантах 2, 6, 10, 14, 18, 22; Текамін Брікс (3,0 л/га) – на варіантах 3, 7, 11, 15, 19, 23; EGROW (1,0 л/га) – на варіантах 4, 8, 12, 16, 20, 24. Контрольні варіанти (1, 9, 17) залишалися без позакоренево внесених препаратів. Обробки виконували у ранкові години (з 6:00 до 10:00) за відсутності вітру (швидкість до 3 м/с) та температури повітря 18–24 °С для уникнення випаровування робочого розчину.

Збирання врожаю. Збирання проводили у фазі повної стиглості зерна (вологість зерна 14–28 % залежно від варіанту та гібриду) комбайном Samro Rosenlew SR-2010, обладнаним кукурудзяною жаткою СМС-6. Терміни збирання за гібридами: ДБ Хотин – перша декада вересня (8–12 вересня залежно від року); ДКС 4014 – друга-третья декади вересня (18–25 вересня); ДН Аншлаг – перша декада жовтня (3–10 жовтня). Збирання здійснювали окремо за кожним варіантом і повторністю. Зерно зважували, відбирали зразки для визначення вологості, якості та аналізу структури врожаю. Урожайність перераховували на стандартну вологість 14 % і 100 % чистоту згідно з ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови».

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА ПОЗАКОРЕНЕВОГО УДОБРЕННЯ

Формування продуктивності кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України визначається складною взаємодією генетичних особливостей гібридів, рівня технологічного забезпечення та лімітуючих факторів навколишнього середовища. У сучасних агрокліматичних реаліях, що характеризуються підвищенням амплітуди температурних коливань, частішими посушливими явищами і нерівномірним розподілом опадів, вибір адаптивних гібридів різних груп стиглості та оптимізація системи позакореневого живлення є ключовими елементами стабілізації врожайності.

Біологічна різноманітність груп стиглості, що використовуються у виробництві, дозволяє формувати збалансовані технології, які знижують ризики, пов'язані зі стресовими явищами в окремі періоди вегетації. Середньоранні гібриди (ФАО до 300) проходять критичні фази раніше, оминаючи пік літньої посухи, проте можуть поступатися за біологічним потенціалом продуктивності. Середньостиглі (ФАО 300–400) є золотою серединою між адаптивністю та продуктивністю, тоді як середньопізні (ФАО понад 400) формують найвищу біомасу та потенційну врожайність, проте є більш вибагливими до тривалості теплового періоду й вологозабезпечення. Окрім того, гібриди з високим показником ФАО мають подовжений період наливу та фізіологічного дозрівання зерна, що часто супроводжується підвищеною вологістю зерна на момент збирання й, як наслідок, додатковими витратами на післязбиральне сушіння.

Позакореневе підживлення кукурудзи в різні фази онтогенезу виконує принципово різні фізіологічні функції. Підживлення у ранні фази вегетації (ВВСН 13–18, 3–8 листків) спрямоване на стимулювання стартового росту, формування потужного фотосинтетичного апарату та оптимізацію живлення мікроелементами, які беруть участь у ключових ферментативних реакціях. Зокрема, позакореневе внесення Марганцю (препарат MicroStim™ Марганець,

1,0 л/га) у цей період активізує роботу фотосистеми II, забезпечує оптимальний синтез хлорофілу та сприяє формуванню розгалуженої кореневої системи.

Натомість позакореневе підживлення у фазу воскової стиглості (ВВСН 85) переслідує іншу мету – прискорення процесів дозрівання та інтенсифікації висихання зерна. У дослідженні розглянуто три перспективні препарати, призначені для застосування у цій фазі: Райкат Фінал (1,0 л/га) – амінокислотний концентрат, що активізує транслокацію пластичних речовин з вегетативних органів у зернівку; Текамін Брікс (3 л/га) – препарат з підвищеним вмістом калію та цукроутворюючих сполук, що оптимізує осмотичні процеси та сприяє накопиченню сухих речовин у зерні; EGROW (1,0 л/га) – біостимулятор на основі ферментованих рослинних екстрактів, що прискорює процеси клітинного дозрівання та фізіологічного старіння листового апарату. Усі три препарати застосовували роздільно як альтернативні варіанти позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості, що дозволило порівняти їхню ефективність у близьких агротехнічних умовах. Цей технологічний прийом є особливо цінним для гібридів пізніх груп стиглості (ФАО понад 400), які традиційно характеризуються затягнутим періодом дозрівання та підвищеною вологістю зерна на час збирання. Зниження збиральної вологості зерна навіть на 2–3 % дозволяє суттєво скоротити витрати на сушіння й підвищити економічну ефективність виробництва.

3.1. Особливості росту та розвитку гібридів кукурудзи різних груп стиглості упродовж онтогенезу

Ріст і розвиток кукурудзи протягом онтогенезу є складним інтегральним процесом, що визначається взаємодією генетично зумовлених особливостей гібриду й комплексу екологічних факторів. Гібриди різних груп стиглості суттєво відрізняються за тривалістю міжфазних періодів, інтенсивністю накопичення біомаси, динамікою формування листового апарату та темпами проходження критичних фаз органогенезу. У комплексі ці характеристики

визначають здатність генотипу максимально реалізувати свій біологічний потенціал у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Гібрид ДБ Хотин (ФАО 250) як представник середньоранньої групи стиглості характеризується скороченим вегетаційним періодом, прискореним проходженням ранніх фаз органогенезу та раннім формуванням генеративних органів. Така біологічна особливість надає гібриду значні переваги в умовах літнього температурного стресу – критичні фази цвітіння та запліднення припадають на період до настання максимальних температурних навантажень. Однак потенціал біологічної продуктивності цього гібриду обмежений коротшим періодом функціонування фотосинтетичного апарату.

Середньостиглий гібрид ДКС 4014 (ФАО 310) є типовим представником генотипів інтенсивного типу з помірною тривалістю вегетації. Він характеризується збалансованим розвитком вегетативної та генеративної фаз, потужним фотосинтетичним апаратом і високою адаптивністю до варіювання гідротермічних умов. Особливістю даного гібриду є здатність формувати високий рівень продуктивності в широкому діапазоні погодних умов, що робить його перспективним для впровадження в адаптивних технологіях.

Середньопізній гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) відрізняється подовженим вегетаційним періодом, потужним розвитком вегетативної маси та найвищим потенціалом продуктивності з-поміж досліджуваних. Подовжений період активного функціонування фотосинтетичного апарату забезпечує накопичення значної кількості сухої речовини, проте підвищує залежність гібриду від тривалості теплого періоду й вологозабезпечення у другій половині літа. Слід також зазначити, що цей гібрид характеризується подовженим періодом досягання та підвищеною збиральною вологістю зерна, що актуалізує застосування агротехнічних прийомів, які прискорюють процеси висихання зерна – насамперед позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості.

Динаміка висоти рослин гібридів кукурудзи відображає інтегральний вплив генотипу та позакореневого підживлення Марганцем у ранній період вегетації. Узагальнені дані за середніми результатами трьох років досліджень

(2023–2025 рр.) наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Динаміка висоти рослин гібридів кукурудзи залежно від позакореневого
удобрення у фазу ВВСН 13–18, см (середнє за 2023–2025 рр.)**

Фаза розвитку (ВВСН)	ДБ Хотин (ФАО 250)		ДКС 4014 (ФАО 310)		ДН Аншлаг (ФАО 420)	
	Без Mn	3 Mn	Без Mn	3 Mn	Без Mn	3 Mn
14 (4 листки)	23	25	25	27	27	29
16 (6 листків)	47	51	51	55	54	58
18 (8 листків)	76	82	82	89	87	94
32 (видовження стебла)	125	134	139	149	148	158
51 (викидання волоті)	168	178	191	202	210	221
61 (початок цвітіння)	201	211	224	235	244	255
85 (воскова стиглість)	234	244	260	270	285	295

Примітка. «Без Mn» – без позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18 (контроль); «3 Mn» – позакоренево внесення MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу ВВСН 13–18. НІР_{0,05} для фактору А (гібрид) у фазу воскової стиглості становить 4,2 см; для фактору В (Марганець) – 3,8 см; для взаємодії А×В – 6,1 см.

Аналіз даних таблиці 3.1 виявив достовірний вплив обох досліджуваних факторів – як гібриду, так і позакореневого підживлення Марганцем – на динаміку росту рослин кукурудзи у висоту. На контрольних варіантах (без позакореневого удобрення) висота рослин у фазу воскової стиглості становила 234 см у ДБ Хотин, 260 см у ДКС 4014 та 285 см у ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 51 см (+21,8 %), що

відображає принципову різницю у вегетативній потужності гібридів різних груп стиглості.

Позакоренеve внесення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18) забезпечило стабільний стимулюючий ефект на ростові процеси в усіх досліджуваних гібридах. На завершальному етапі вегетації приріст висоти від застосування Марганцю становив 10 см у ДБ Хотин, 10 см у ДКС 4014 та 10 см у ДН Аншлаг (у відносних показниках – 4,3, 3,8 та 3,5 % відповідно). Слід відзначити, що відносна ефективність Марганцю була дещо вищою у середньораннього гібриду, що пояснюється більшою чутливістю його ростових процесів до оптимізації мікроелементного живлення в ранній період вегетації.

Особливо помітний ефект Марганцю спостерігали у фазі активного формування листкового апарату (ВВСН 18, 8 листків): приріст висоти від застосування цього мікродобрива становив 6–7 см у всіх гібридів, або 7,9–8,5 % відносно контролю. Це пояснюється фізіологічною роллю Марганцю як кофактора численних ферментів, що беруть участь у синтезі хлорофілу, фотолізі води в фотосистемі II та активізації метаболічних процесів. Своєчасне внесення Марганцю у фазу активного формування листкового апарату дозволяє оптимізувати роботу фотосинтетичного апарату та стимулює ростові процеси саме у критичний період закладання потенційної продуктивності.

Таким чином, аналіз динаміки висоти рослин засвідчив достовірний вплив генотипу та позакореневого підживлення Марганцем на ростові процеси кукурудзи. Найвищі абсолютні значення висоти формував гібрид ДН Аншлаг (295 см на варіанті з Марганцем), однак найбільший відносний ефект від застосування Марганцю спостерігали у середньораннього ДБ Хотин.

Важливою характеристикою гібридів є тривалість міжфазних періодів, яка визначає терміни проходження критичних фаз онтогенезу та чутливість рослин до стресових факторів. Узагальнені дані щодо тривалості основних періодів вегетації наведено в таблиці 3.2.

**Тривалість міжфазних періодів гібридів кукурудзи різних груп стиглості,
діб (середнє за 2023–2025 рр.)**

Міжфазний період	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	НІР _{0,05}
Сівба–повні сходи	10	11	12	0,5
Сходи–3-й листок	12	13	14	0,7
3-й–8-й листок	19	21	23	0,9
8-й листок–викидання волоті	28	32	36	1,1
Викидання волоті–цвітіння	7	8	9	0,3
Цвітіння–молочна стиглість	18	20	23	0,8
Молочна–воскова стиглість	20	22	25	0,9
Загальна тривалість вегетації	114	127	142	2,4

Аналіз тривалості міжфазних періодів виявив закономірне зростання вегетаційного періоду з підвищенням групи стиглості – від 114 діб у середньораннього ДБ Хотин до 142 діб у середньопізнього ДН Аншлаг. Середньостиглий ДКС 4014 займав проміжне положення з тривалістю вегетації 127 діб. Різниця у 28 діб між середньораннім і середньопізнім гібридами є важливою з агрономічної точки зору, оскільки визначає терміни висіву, можливості для післяжнивних культур у сівозміні, а також ризику потрапляння критичних фаз у несприятливі погодні умови.

Найбільш суттєві відмінності між гібридами спостерігали у періоді від фази 8-го листка до викидання волоті (28 діб у ДБ Хотин, 32 – у ДКС 4014, 36 – у ДН Аншлаг). Саме у цей період закладаються основні структурні елементи майбутньої продуктивності – кількість рядів зерен у качані, кількість зерен у ряду, потенційна маса 1000 зерен. Подовження цього періоду в гібридах пізніших груп стиглості забезпечує більш повноцінне формування репродуктивних органів за умови забезпеченості рослин усіма факторами життя.

Особливий інтерес становить тривалість періоду наливу та досягання зерна (від цвітіння до воскової стиглості), яка у середньопізннього гібриду ДН Аншлаг становила 48 діб, що на 10 діб більше, ніж у ДБ Хотин (38 діб). Триваліший період наливу створює передумови для формування більшої маси 1000 зерен у середньопізніх гібридів, проте водночас підвищує ймовірність затягування процесів дозрівання у разі настання прохолодної дощової погоди в кінці серпня – на початку вересня. У таких умовах зерно середньопізніх гібридів може досягати збиральної вологості 25–30 %, що потребує застосування інтенсивного післязбирального сушіння та збільшує собівартість продукції. Саме тому позакореневе підживлення у фазу воскової стиглості, спрямоване на прискорення дозрівання зерна, набуває особливої актуальності для гібридів з високим показником ФАО.

Загалом, гібриди різних груп стиглості реалізують принципово відмінні біологічні стратегії формування продуктивності. Середньоранні гібриди (ДБ Хотин) проходять критичні фази швидко, що зменшує ризики стресових явищ, проте обмежує біологічний потенціал. Середньопізні гібриди (ДН Аншлаг) формують найвищу потенційну продуктивність завдяки подовженому періоду активної асиміляції, однак потребують специфічних агротехнічних прийомів для забезпечення своєчасного дозрівання зерна. Середньостиглі гібриди (ДКС 4014) поєднують переваги обох підходів і характеризуються найвищою адаптивною стійкістю.

3.2. Динаміка накопичення біомаси гібридами кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення

Накопичення сухої речовини є інтегральним показником, що відображає сумарну ефективність ростових процесів, фотосинтетичної діяльності та засвоєння елементів живлення впродовж онтогенезу. Темпи приросту біомаси визначають можливості формування потужного асиміляційного апарату та запаси пластичних речовин, що використовуються в репродуктивний період для

формування генеративних органів і наливу зерна. Дослідження впливу гібридів кукурудзи різних груп стиглості та позакореневого удобрення на динаміку накопичення сухої речовини дозволяє виявити синергетичні ефекти технологічних прийомів та обґрунтувати оптимальні варіанти технології.

У схемі досліджуваного трифакторного дослідження позакореневого підживлення у різні фази вегетації виконують принципово відмінні фізіологічні функції. Підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18, фактор В) спрямоване на оптимізацію роботи фотосинтетичного апарату в період його активного формування. Натомість підживлення у фазу воскової стиглості (ВВСН 85, фактор С) орієнтоване на завершальну стадію онтогенезу і впливає на процеси дозрівання, налив зерна та фізіологічну зрілість зернівки. У дослідженні фактор С представлений чотирма градаціями: контролем (без удобрення) та трьома альтернативними препаратами – Райкат Фінал (1,0 л/га), Текамін Брікс (3 л/га) та EGROW (1,0 л/га), що дозволяє порівняти їхню ефективність у близьких агротехнічних умовах. Тому динаміку накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті (ВВСН 51) визначає винятково фактор В, тоді як у фазу воскової стиглості – спільна дія факторів В та С з диференціацією за типом препарату.

Дані щодо накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті за різних варіантів позакореневого удобрення Марганцем у фазу 3–8 листків наведено в таблиці 3.3.

Аналіз даних таблиці 3.3 виявив достовірний вплив як фактору гібриду, так і фактору позакореневого удобрення Марганцем на накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті. На контрольному варіанті (без позакореневого удобрення) накопичення сухої речовини коливалося в межах 6,42–7,68 т/га: найменші значення відмічено для середньораннього гібриду ДБ Хотин, найбільші – для середньопізнього ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 1,26 т/га, або 19,6 %, що відображає принципову різницю в біологічному потенціалі вегетативної продуктивності гібридів різних груп стиглості.

Таблиця 3.3

Накопичення сухої речовини надземної маси гібридами кукурудзи у фазу викидання волоті (ВВСН 51) залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Без удобрення у ВВСН 13–18 (контроль)	MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га у ВВСН 13–18	Приріст від Мп, т/га	Приріст, %
ДБ Хотин (ФАО 250)	6,42	7,18	+0,76	11,8
ДКС 4014 (ФАО 310)	7,12	7,96	+0,84	11,8
ДН Аншлаг (ФАО 420)	7,68	8,62	+0,94	12,2
Середнє по фактору В	7,07	7,92	+0,85	12,0

Примітка. $HP_{0,05}$ для фактору А (гібрид) – 0,21 т/га; для фактору В (Марганець) – 0,18 т/га; для взаємодії А×В – 0,32 т/га.

Позакореневе внесення MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу 3–8 листків забезпечило стабільний достовірний приріст сухої речовини в усіх досліджуваних гібридах: 0,76 т/га (11,8 %) у ДБ Хотин, 0,84 т/га (11,8 %) у ДКС 4014 та 0,94 т/га (12,2 %) у ДН Аншлаг. Найбільший абсолютний приріст від застосування Марганцю спостерігали в середньопізнього гібриду ДН Аншлаг, що пояснюється його більшим вегетативним потенціалом і здатністю ефективніше реагувати на оптимізацію мікроелементного живлення. Однак у відносних показниках реакція гібридів була доволі вирівняною, що свідчить про універсальність позитивного впливу Марганцю на ростові процеси кукурудзи незалежно від групи стиглості.

Біологічна основа ефективності Марганцю пов'язана з його фундаментальною роллю у процесах фотосинтезу. Марганець є кофактором близько 35 ферментів, найбільш значущим з яких є марганцево-кальцієвий кластер фотосистеми II, безпосередньо відповідальний за фотоліз води –

реакцію, що постачає електрони для всього фотосинтетичного ланцюга. Дефіцит Марганцю призводить до зниження ефективності фотосинтезу навіть за оптимального вмісту хлорофілу, оскільки порушує саму первинну реакцію фотохімічного перетворення енергії. Окрім того, Марганець бере участь в активізації ферментів азотного обміну, синтезі ароматичних амінокислот та формуванні стійкості рослин до окисного стресу.

Своєчасне позакореневе внесення Марганцю саме у фазу 3–8 листків є технологічно обґрунтованим – у цей період відбувається активне формування листкового апарату та закладається його функціональна основа на весь подальший вегетаційний період. Оптимізація живлення Марганцем у цей критичний період забезпечує підвищену ефективність фотосинтезу та інтенсивніше накопичення біомаси не лише у фазу викидання волоті, а й у наступні етапи онтогенезу.

Дані щодо накопичення сухої речовини надземної маси у фазу воскової стиглості (ВВСН 85) за варіантами дослідів наведено в таблиці 3.4. У цій фазі на формування біомаси впливає сумісна дія обох позакореневих підживлень – Марганцю у ранній період та одного з трьох біостимуляторів (Райкат Фінал, Текамін Брікс або EGROW) у завершальній фазі вегетації.

Дані таблиці 3.4 свідчать про достовірний вплив усіх трьох досліджуваних факторів на накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості. На контрольному варіанті (без позакореневих підживлень) накопичення сухої речовини становило 15,82 т/га для ДБ Хотин, 17,28 – для ДКС 4014 та 18,64 т/га для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 2,82 т/га, або 17,8 %, що відповідає закономірностям, виявленим у фазу викидання волоті.

Позакореневе внесення Марганцю у фазу 3–8 листків забезпечило стабільний приріст сухої речовини у фазу воскової стиглості: на варіантах без застосування біостимуляторів у ВВСН 85 приріст становив +1,60 т/га (10,1 %) для ДБ Хотин, +1,80 т/га (10,4 %) для ДКС 4014 та +1,87 т/га (10,0 %) для ДН Аншлаг. Слід зазначити, що в абсолютних величинах ефект Марганцю у фазу

воскової стиглості (близько 1,6–1,9 т/га) виявився більшим, ніж у фазу викидання волоті (0,76–0,94 т/га), що свідчить про пролонгований характер дії цього мікродобрива. Активізація фотосинтетичного апарату в ранній період вегетації забезпечує посилене накопичення біомаси не лише безпосередньо після обробки, а й упродовж усього подальшого вегетаційного періоду.

Таблиця 3.4

Накопичення сухої речовини надземної маси гібридами кукурудзи у фазу воскової стиглості (ВВСН 85) залежно від системи позакореневого удобрення, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрення у ВВСН 13–18	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрення	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	15,82	16,18	16,04	16,38
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	17,42	17,88	17,68	18,06
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	17,28	17,72	17,54	17,94
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	19,08	19,58	19,36	19,82
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	18,64	19,12	18,92	19,38
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	20,51	21,12	20,85	21,42
Середнє по фактору С		18,13	18,60	18,40	18,83
<i>НІР_{0,05}: А 0,28; В 0,24; С 0,21 т/га. Взаємодії: А×В 0,41; А×С 0,38; В×С 0,31; А×В×С 0,52 т/га</i>					

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів, застосованих у фазу воскової стиглості, виявив достовірні відмінності між ними. Найвищу ефективність продемонстрував препарат EGROW, який забезпечив максимальні середні значення накопичення сухої речовини по фактору С (18,83 т/га). Друге місце за ефективністю посів препарат Райкат Фінал (18,60 т/га), третє – Текамін

Брікс (18,40 т/га). На контрольних варіантах без позакореневого удобрення у фазу ВВСН 85 середнє значення накопичення сухої речовини становило 18,13 т/га. Різниця між найефективнішим (EGROW) і найменш ефективним з біостимуляторів (Текамін Брікс) препаратами становила 0,43 т/га, що перевищує значення $HP_{0,05}$ для фактору С (0,21 т/га) і є статистично достовірною.

Препарат EGROW характеризується найвищою ефективністю стимулювання накопичення біомаси, що пояснюється його складом – це біостимулятор на основі ферментованих рослинних екстрактів, який активізує клітинний обмін, підвищує функціональну активність ферментативних систем та продовжує період активного фотосинтезу нижніх ярусів листків. Препарат Райкат Фінал, що містить високу концентрацію вільних L-амінокислот (понад 12 %), забезпечує безпосереднє надходження пластичних речовин до тканин і активізує процеси транслокації асимілятів у зернівку. Текамін Брікс з підвищеним вмістом калію та цукроутворюючих сполук оптимізує осмотичний баланс клітин та сприяє накопиченню сухих речовин у зерні, проте його вплив на загальну біомасу надземної частини є дещо меншим.

Аналіз взаємодії факторів В×С показав, що ефективність препаратів у фазу воскової стиглості була дещо вищою на варіантах з попереднім позакореневим підживленням Марганцем. Так, для гібриду ДН Аншлаг різниця в накопиченні сухої речовини між варіантом з EGROW та контролем у ВВСН 85 на варіантах без Марганцю становила 0,74 т/га, а на варіантах з Марганцем – 0,91 т/га. Аналогічну закономірність спостерігали для гібриду ДКС 4014 (відповідно +0,66 і +0,74 т/га) та ДБ Хотин (+0,56 і +0,64 т/га). Це свідчить про синергетичну взаємодію двох позакорневих підживлень – рослини, що отримали збалансоване мікроелементне живлення в ранній період, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами.

Найвищий рівень накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості – 21,42 т/га – зафіксовано для варіанту 24 (гібрид ДН Аншлаг + Марганець у фазу 13–18 + EGROW у фазу 85). Цей показник на 5,60 т/га, або 35,4 %, перевищував мінімальне значення (15,82 т/га для варіанту 1 – ДБ Хотин на контролі без обох

підживлень). Така істотна різниця свідчить про значний потенціал оптимізації технології вирощування шляхом комплексного застосування генетичних та технологічних чинників.

Біологічна основа ефективності позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості пов'язана з фізіологічними потребами рослин у цей період. У фазу ВВСН 85 відбувається інтенсивний транспорт асимілятів з вегетативних органів у зернівку, що супроводжується значними енергетичними витратами та потребує оптимального функціонування ферментних систем. Усі три досліджуваних препарати – Райкат Фінал, Текамін Брікс та EGROW – за різними фізіологічними механізмами активізують ці процеси, що в кінцевому підсумку забезпечує більш ефективне формування врожаю та оптимізацію водного балансу зерна.

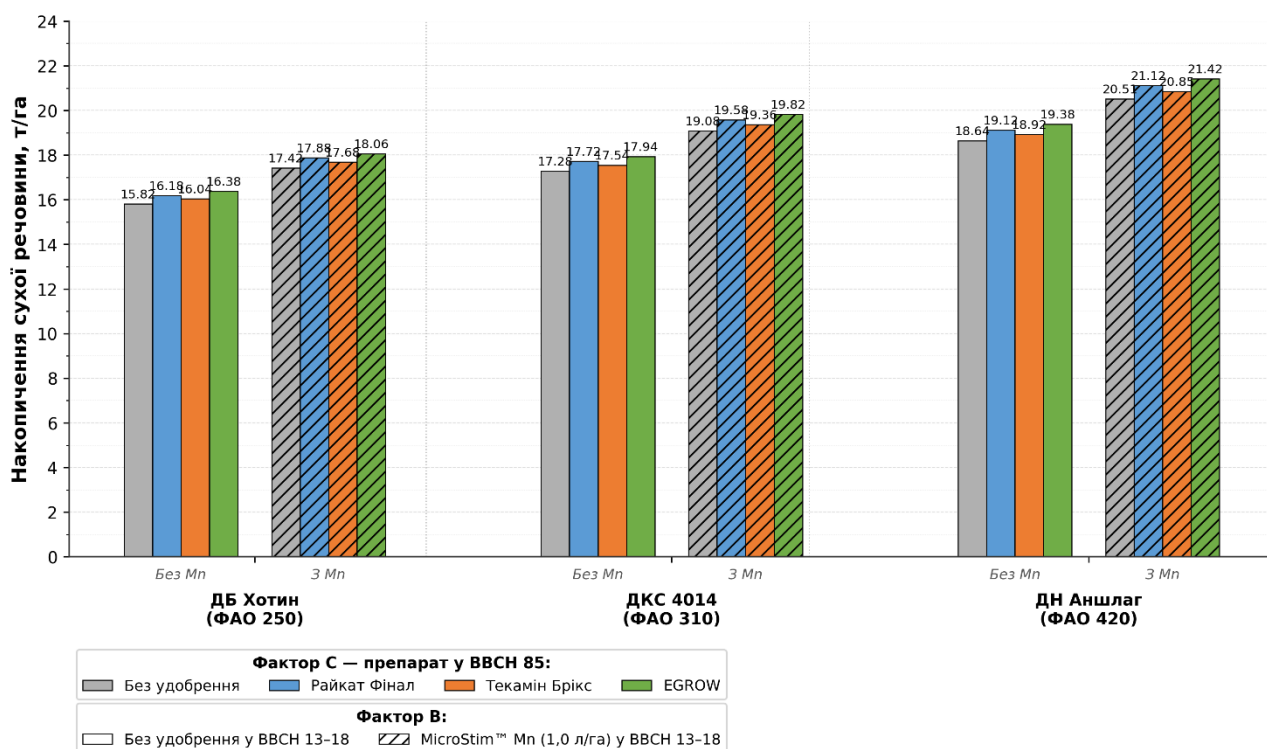


Рис. 3.1. Накопичення сухої речовини надземної маси гібридами кукурудзи у фазу воскової стиглості (ВВСН 85) за різних варіантів позакореневого удобрення з диференціацією за препаратами фактору С, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Для оцінки інтенсивності накопичення сухої речовини між основними фенофазами розраховано середньодобовий приріст біомаси. Цей показник характеризує інтенсивність ростових процесів і фотосинтетичної продуктивності у відповідні періоди вегетації. Узагальнені дані для варіанту з максимальною ефективністю позакореневого удобрення (Марганець у ВВСН 13–18 + EGROW у ВВСН 85) наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Середньодобовий приріст сухої речовини надземної маси гібридів кукурудзи за оптимальної схеми позакореневого удобрення (MicroStim™ Mn у ВВСН 13–18 + EGROW у ВВСН 85), кг/га за добу (середнє за 2023–2025 рр.)

Період вегетації	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	НІР _{0,05}
Сходи – 8-й листок	48	52	57	3,2
8-й листок – викидання волоті	214	236	251	9,8
Викидання волоті – цвітіння	305	328	347	12,4
Цвітіння – молочна стиглість	282	301	324	11,6
Молочна – воскова стиглість	169	184	198	7,8
Середнє за вегетацію	162	178	192	6,2

Аналіз середньодобового приросту сухої речовини виявив чітку періодичність ростових процесів у гібридах кукурудзи. Найвищі темпи накопичення біомаси спостерігали у періоді від викидання волоті до цвітіння – у цей час середньодобовий приріст досягав 305 кг/га за добу в ДБ Хотин, 328 – у ДКС 4014 та 347 – у ДН Аншлаг. Це класичний максимум фотосинтетичної активності, який збігається з періодом максимального розвитку листкової поверхні та оптимальних температурних умов для С4-фотосинтезу кукурудзи.

У наступний період (цвітіння – молочна стиглість) інтенсивність

накопичення біомаси дещо знижувалася, проте зберігалася на високому рівні (282–324 кг/га за добу). Це свідчить про переорієнтацію фотосинтетичної продуктивності з нарощування вегетативної маси на формування зерна. Подальше зниження середньодобового приросту у фазу молочна–воскова стиглість (169–198 кг/га за добу) є фізіологічно зумовленим – у цей період відбувається старіння нижніх ярусів листків і зменшення загальної асиміляційної активності. Саме на цьому етапі позакореневе підживлення у фазу ВВСН 85 виконує важливу функцію – активізує транслокацію залишкових пластичних речовин з вегетативних органів у зернівку та прискорює процеси дозрівання.

Середньодобовий приріст сухої речовини за весь вегетаційний період становив 162 кг/га за добу для ДБ Хотин, 178 – для ДКС 4014 та 192 – для ДН Аншлаг. Така залежність відображає інтегральну продуктивність гібридів і узгоджується з їхньою класифікацією за групою стиглості та біологічним потенціалом.

Загалом, динаміка накопичення біомаси гібридами кукурудзи характеризується вираженою стадійністю з чітко окресленими піками фотосинтетичної активності. Застосування позакорневих підживлень дозволяє суттєво підвищити рівень накопичення сухої речовини на всіх етапах онтогенезу: Марганець активізує ростові процеси у ранній період вегетації, а біостимулятори (Райкат Фінал, Текамін Брікс або EGROW) оптимізують транслокацію асимілятів у завершальній фазі. Серед досліджених препаратів фактору С найвищу ефективність продемонстрував EGROW, що робить його пріоритетним для застосування у фазу воскової стиглості. Виявлені закономірності становлять основу для подальшого аналізу фотосинтетичної продуктивності та формування врожайності.

3.3. Формування фотосинтетичного апарату та особливості дозрівання зерна гібридів кукурудзи

Фотосинтетичний апарат рослин є структурно-функціональною основою формування врожаю. Його розвиток, тривалість активної роботи та інтенсивність фотохімічних процесів безпосередньо визначають кількість пластичних речовин, що накопичуються в рослинах і використовуються для формування генеративних органів. Окрім кількісних та якісних показників фотосинтетичного апарату, важливою характеристикою агроценозу є динаміка зниження вологості зерна у завершальний період вегетації – показник, що безпосередньо визначає терміни збирання врожаю, якість зерна та витрати на післязбиральне сушіння.

У гібридів кукурудзи різних груп стиглості особливості формування фотосинтетичного апарату значною мірою визначаються генетично, проте можуть бути суттєво модифіковані технологічними прийомами. Своєчасне позакореневе внесення Марганцю активізує синтез хлорофілу, оптимізує роботу фотосистеми II та подовжує період активного функціонування листків. Натомість завершальні підживлення біостимуляторами (Райкат Фінал, Текамін Брікс або EGROW) впливають не лише на накопичення біомаси, а й на швидкість дозрівання та зниження вологості зерна – це особливо важливо для гібридів пізньостиглої групи.

Дані щодо формування площі листової поверхні гібридів кукурудзи за різних варіантів позакореневого удобрення Марганцем у фазу 3–8 листків наведено в таблиці 3.6.

Аналіз даних таблиці 3.7 показує, що площа листової поверхні у фазу початку цвітіння (ВВСН 61) суттєво залежить від обох досліджуваних факторів. На контрольному варіанті без позакореневого удобрення площа листової поверхні становила 29,4 тис. м²/га для ДБ Хотин, 34,1 – для ДКС 4014 та 37,9 – для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 8,5 тис. м²/га, або 28,9 %, що значною мірою визначає різницю у

фотосинтетичному потенціалі гібридів.

Таблиця 3.6

Площа листкової поверхні гібридів кукурудзи у фазу початку цвітіння (ВВСН 61) залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18, тис. м²/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Без удобрення у ВВСН 13–18 (контроль)	MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га у ВВСН 13–18	Приріст від Мп, тис. м ² /га	Приріст, %
ДБ Хотин (ФАО 250)	29,4	33,7	+4,3	14,6
ДКС 4014 (ФАО 310)	34,1	39,2	+5,1	15,0
ДН Аншлаг (ФАО 420)	37,9	43,8	+5,9	15,6
Середнє по фактору В	33,8	38,9	+5,1	15,1

Примітка. НР_{0,05} для фактору А (гібрид) – 0,98 тис. м²/га; для фактору В (Марганець) – 0,82 тис. м²/га; для взаємодії А×В – 1,42 тис. м²/га.

Позакореневе внесення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило достовірне збільшення площі листкової поверхні в усіх досліджуваних гібридах: +4,3 тис. м²/га (14,6 %) у ДБ Хотин, +5,1 тис. м²/га (15,0 %) у ДКС 4014 та +5,9 тис. м²/га (15,6 %) у ДН Аншлаг. Виявлений ефект пояснюється фізіологічним впливом Марганцю на ростові процеси: цей мікроелемент активізує синтез ауксинів і цитокінінів, які регулюють поділ клітин у меристематичних тканинах, прискорюють розгортання нових листків та збільшують їхню кінцеву площу. Окрім того, оптимізація мікроелементного живлення сприяє підвищенню вмісту хлорофілу в листках і збільшенню тривалості їхньої функціональної активності.

Слід відзначити, що відносна ефективність Марганцю була найвищою у середньопізнього гібриду ДН Аншлаг (+15,6 %), що пояснюється його більшою біологічною потужністю та подовженим періодом активного розвитку

фотосинтетичного апарату. Це створює умови для тривалішого використання сприятливого мікроелементного фону, який забезпечує позакореневе підживлення.

Окрім кількісних параметрів листової поверхні, важливим показником функціональної активності фотосинтетичного апарату є вміст хлорофілу в листках. Дані щодо SPAD-індексу листків у фазу цвітіння наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

SPAD-індекс листків кукурудзи у фазу цвітіння (ВВСН 61) залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18, ум. од. (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Без удобрення у ВВСН 13–18 (контроль)	MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га у ВВСН 13–18	Приріст від Мп, ум. од.	Приріст, %
ДБ Хотин (ФАО 250)	42,8	48,7	+5,9	13,8
ДКС 4014 (ФАО 310)	44,7	51,2	+6,5	14,5
ДН Аншлаг (ФАО 420)	46,5	53,1	+6,6	14,2
Середнє по фактору В	44,7	51,0	+6,3	14,2

Примітка. $HP_{0,05}$ для фактору А (гібрид) – 1,1 ум. од.; для фактору В (Марганець) – 1,3 ум. од.; для взаємодії $A \times B$ – 1,8 ум. од.

Аналіз даних таблиці 3.7 свідчить про достовірний вплив позакореневого підживлення Марганцем на вміст хлорофілу в листках кукурудзи. На контрольному варіанті SPAD-індекс варіював у межах 42,8–46,5 ум. од., при цьому найвищі значення характеризували середньопізній гібрид ДН Аншлаг, що пов'язано з його генетично детермінованою здатністю формувати листя з вищим вмістом хлорофілу. Застосування Марганцю забезпечило приріст SPAD-індексу на 5,9–6,6 ум. од., або 13,8–14,5 %, що свідчить про значну активізацію синтезу хлорофілу та оптимізацію функціонування фотосинтетичного апарату.

Біологічний механізм впливу Марганцю на вміст хлорофілу багатоаспектний. По-перше, Марганець є структурним компонентом марганцево-кальцієвого кластера фотосистеми II (центр S_0-S_4 , що каталізує фотоліз води) – без цього елемента неможливе нормальне функціонування фотохімічної фази фотосинтезу. По-друге, Марганець активує ферменти, що беруть участь у біосинтезі хлорофілу, зокрема в утворенні протопорфірину IX – попередника хлорофілу. По-третє, цей мікроелемент бере участь у ферментативних реакціях, що захищають фотосинтетичний апарат від окисного стресу, зокрема в роботі супероксиддисмутази Mn-типу.

Стабільність відсоткового приросту SPAD-індексу від позакореневого підживлення Марганцем (13,8–14,5 %) для всіх гібридів свідчить про універсальність позитивного впливу цього технологічного прийому незалежно від генетичних особливостей гібридів. Це є важливим практичним висновком – рекомендована схема позакореневого удобрення Марганцем може бути ефективно застосована для широкого спектру гібридів кукурудзи.

Ключовим завданням позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості (BBCH 85) препаратами Райкат Фінал, Текамін Брікс або EGROW є прискорення процесів дозрівання та зниження вологості зерна. Цей агротехнічний прийом має особливе значення для гібридів пізніших груп стиглості, які традиційно характеризуються затягнутим періодом досягання та підвищеною збиральною вологістю зерна. Порівняльна оцінка трьох альтернативних препаратів дозволяє виявити найефективніший з них для практичного застосування. Дані щодо динаміки вологості зерна за варіантами фактору С наведено в таблиці 3.8.

Аналіз даних таблиці 3.8 виявив одну з найбільш значущих закономірностей дослідження – усі три досліджувані препарати (Райкат Фінал, Текамін Брікс та EGROW) забезпечили достовірне зниження збиральної вологості зерна порівняно з контролем, проте їхня ефективність суттєво різнилась. На контрольних варіантах (без позакореневого підживлення у фазу BBCH 85) вологість зерна на момент збирання становила 17,8 % для ДБ Хотин,

22,4 % – для ДКС 4014 та 27,6 % – для ДН Аншлаг. Така закономірність повністю відповідає біологічним особливостям гібридів: середньоранній ДБ Хотин дозріває в умовах ще достатньо теплої погоди, що сприяє інтенсивному висиханню зерна на пні; натомість середньопізній ДН Аншлаг досягає в умовах прохолоднішої вологої погоди другої половини жовтня, що сповільнює природне зневоднення зерна.

Таблиця 3.8

Вологість зерна кукурудзи на час збирання залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 85, % (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Без удобрення у ВВСН 85 (контроль)	Райкат Фінал, 1,0 л/га	Текамін Брікс, 3 л/га	EGROW, 1,0 л/га	НІР _{0,05}
ДБ Хотин (ФАО 250)	17,8	16,2	16,5	15,4	0,42
ДКС 4014 (ФАО 310)	22,4	20,3	20,8	19,1	0,48
ДН Аншлаг (ФАО 420)	27,6	24,8	25,4	23,2	0,54
Середнє по фактору С	22,6	20,4	20,9	19,2	0,38
Зниження порівняно з контролем, абс. %	–	–2,2	–1,7	–3,4	–

Примітка. Дані наведено для варіантів без позакореневого підживлення у фазу ВВСН 13–18 (фактор В: В1). НІР_{0,05} для фактору А (гібрид) – 0,42 %; для фактору С (препарати у ВВСН 85) – 0,38 %; для взаємодії А×С – 0,62 %. Збір урожаю проведено в ІІІ декаді вересня (для ДБ Хотин), у І декаді жовтня (для ДКС 4014) та у ІІ декаді жовтня (для ДН Аншлаг).

Найвищу ефективність у зниженні збиральної вологості зерна продемонстрував препарат EGROW: середнє по фактору С значення вологості становило 19,2 %, що на 3,4 абсолютних % (15,0 %) нижче за контроль (22,6 %). Препарат Райкат Фінал забезпечив зниження вологості до 20,4 % (на 2,2 абсолютних %, або 9,7 %), Текамін Брікс – до 20,9 % (на 1,7 абсолютних %, або

7,5 %). Таким чином, ранжування препаратів за ефективністю зниження вологості зерна виглядає наступним чином: EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс.

Для гібриду ДН Аншлаг, який характеризується найвищою вихідною вологістю зерна, абсолютний ефект від позакореневого підживлення був найбільшим: застосування EGROW знизило вологість з 27,6 % до 23,2 %, тобто на 4,4 абсолютних % (15,9 % відносно контролю), Райкат Фінал – до 24,8 % (на 2,8 абсолютних %, або 10,1 %), Текамін Брікс – до 25,4 % (на 2,2 абсолютних %, або 8,0 %). Це підтверджує особливу актуальність застосування EGROW саме для гібридів пізніших груп стиглості з традиційно високою збиральною вологістю зерна.

Фізіологічний механізм найвищої ефективності EGROW у зниженні вологості зерна пояснюється комплексною дією цього препарату. EGROW – біостимулятор на основі ферментованих рослинних екстрактів – активізує клітинний обмін у завершальний період вегетації, прискорює процеси старіння нижніх ярусів листя після формування генеративних органів, стимулює природне зневоднення зерна шляхом активізації ферментів, що каталізують біохімічні процеси перетворення вологого зерна у фізіологічно зріле. Окрім того, EGROW сприяє синхронізації процесів дозрівання, що зменшує діапазон варіювання вологості зерна в межах качана та між качанами.

Препарат Райкат Фінал, що містить високу концентрацію вільних L-амінокислот (понад 12 %), забезпечує безпосереднє надходження пластичних речовин до тканин рослини, активізує процеси транслокації асимілятів з вегетативних органів у зернівку та прискорює формування фізіологічної зрілості зерна. Текамін Брікс, що містить підвищені концентрації калію та органічних речовин, активізує осмотичні процеси в клітинах зерна, сприяє накопиченню сухих речовин (цукрів, крохмалю) та витісненню води з зернівки. Однак вплив цих двох препаратів на швидкість зневоднення зерна виявився меншим, ніж у EGROW, що обумовлено саме специфікою механізму їхньої дії.

Економічний ефект зниження збиральної вологості зерна важко

переоцінити. Для гібриду ДН Аншлаг зниження вологості від застосування EGROW з 27,6 до 23,2 % означає скорочення витрат на сушіння зерна приблизно на 30–35 % (з огляду на те, що сушіння кожного абсолютного відсотка вологості при урожайності близько 9–10 т/га потребує близько 25–30 кВт·год електроенергії або еквівалентної кількості іншого енергоносія). За поточних цін на енергоносії економія може становити 800–1100 грн на 1 га, що значно перевищує вартість самого позакореневого підживлення. Таким чином, препарат EGROW можна рекомендувати як пріоритетний для застосування у фазу воскової стиглості, особливо для гібридів пізніших груп стиглості.

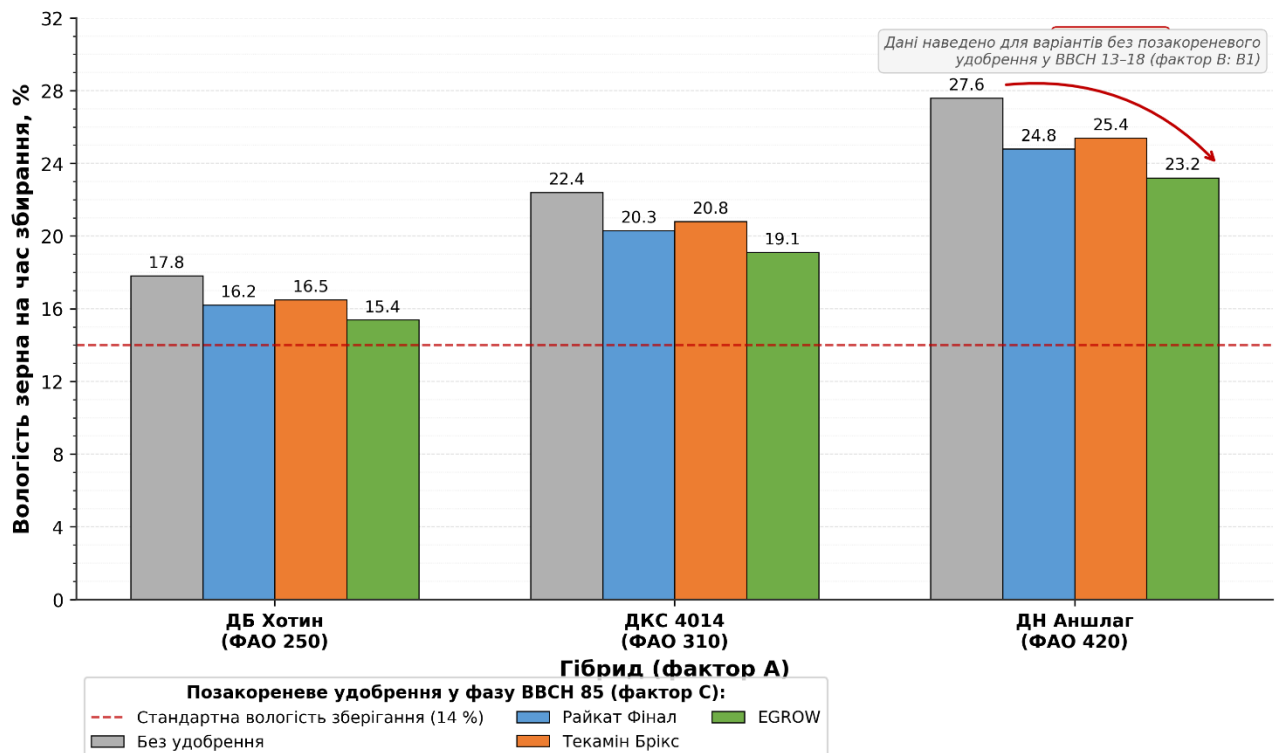


Рис. 3.2. Вологість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості на час збирання залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 85, % (середнє за 2023–2025 рр.)

Інтегральним показником ефективності фотосинтетичного апарату за весь вегетаційний період є фотосинтетичний потенціал (ФСП), що відображає сукупну тривалість роботи листкової поверхні. Узагальнені дані щодо ФСП за всіма 24 варіантами дослідної схеми наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Фотосинтетичний потенціал посівів гібридів кукурудзи за вегетаційний період залежно від системи позакореневого удобрення, тис. м²/га × діб (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрення у ВВСН 13–18	Удобрення у ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрення	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	1842	1928	1894	1958
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	2241	2348	2305	2398
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	2154	2248	2210	2287
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	2618	2734	2687	2792
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	2487	2587	2546	2632
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	3027	3158	3104	3231
Середнє по фактору С		2395	2500	2458	2550
<i>НІР_{0,05}: А 48; В 52; С 38. Взаємодії: А×В 81; А×С 67; В×С 54; А×В×С 102 тис. м²/га × діб</i>					

Аналіз фотосинтетичного потенціалу посівів виявив значні відмінності між гібридами та варіантами удобрення. На контрольному варіанті (без позакорневих підживлень) ФСП варіював у межах 1842 тис. м²/га × діб для ДБ Хотин, 2154 – для ДКС 4014 та 2487 – для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 35,0 %, що відображає фундаментальну різницю у потужності фотосинтетичних систем гібридів різних груп стиглості.

Позакореневе внесення Марганцю у фазу 3–8 листків забезпечило істотний приріст фотосинтетичного потенціалу: у варіантах без застосування біостимуляторів у ВВСН 85 приріст ФСП становив +21,7 % (1842 → 2241 тис. м²/га × діб) у ДБ Хотин, +21,5 % у ДКС 4014 та +21,7 % у ДН Аншлаг. Такі значні величини приросту ФСП обумовлені синергетичним впливом Марганцю на формування листової поверхні (збільшення на 14,6–15,6 %), вміст хлорофілу (збільшення на 13,8–14,5 %) та подовження тривалості активного функціонування фотосинтетичного апарату (на 4–6 діб).

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив послідовний порядок їхнього впливу на ФСП. Найвищу ефективність продемонстрував EGROW – середнє по фактору С значення ФСП становило 2550 тис. м²/га × діб, що на 6,5 % перевищувало контроль (2395). Райкат Фінал забезпечив проміжний результат – 2500 тис. м²/га × діб (+4,4 %), Текамін Брікс – 2458 тис. м²/га × діб (+2,6 %). Різниця між найефективнішим (EGROW) та найменш ефективним з біостимуляторів (Текамін Брікс) препаратами становила 92 тис. м²/га × діб, що перевищує НІР_{0,05} для фактору С (38 тис. м²/га × діб) і є статистично достовірною.

Підвищена ефективність EGROW у формуванні ФСП пояснюється його впливом на подовження періоду активного функціонування фотосинтетичного апарату у завершальній фазі вегетації. На відміну від Райкат Фінал та Текамін Брікс, які переважно прискорюють процеси транслокації асимілятів та накопичення сухих речовин, EGROW активізує клітинний обмін на тлі загального процесу старіння листя, що забезпечує більш тривале функціонування нижніх і середніх ярусів листків у фазах молочна – воскова стиглість.

Максимальне значення ФСП – 3231 тис. м²/га × діб – досягнуте у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Марганець + EGROW). Цей показник на 75,4 % перевищував мінімальне значення (1842 у варіанті 1 – ДБ Хотин на контролі), що свідчить про значний резерв підвищення фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи шляхом оптимізації як генетичного, так і технологічного складників.

Фотосинтетичний потенціал тісно корелює з біологічною продуктивністю посівів. За класичними даними агрономічної науки, для формування 1 тонни зерна кукурудзи необхідно близько 200–250 тис. м²/га × діб фотосинтетичного потенціалу. На основі цих величин потенційна врожайність зерна для досліджуваних варіантів становить близько 6,0–7,8 т/га для ДБ Хотин (залежно від варіанту удобрення), 7,0–9,0 т/га для ДКС 4014 та 8,1–10,5 т/га для ДН Аншлаг, що значно перевищує середні показники господарств регіону. Слід зазначити, що в реальних умовах коефіцієнт реалізації потенційної продуктивності зазвичай становить 60–70 % залежно від погодних умов, рівня агротехніки, фіто- та абіотичних стресів, що обумовлює формування фактичної врожайності на дещо нижчому рівні від розрахункової.

Висновки до розділу 3

Гібриди різних груп стиглості суттєво відрізняються за біологічними особливостями формування продуктивності. Середньопізній гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) характеризувався найбільшою висотою рослин у фазу воскової стиглості (295 см за повної схеми позакореневого удобрення), максимальним розвитком листової поверхні (43,8 тис. м²/га у фазу цвітіння) та найвищим фотосинтетичним потенціалом (3231 тис. м²/га × діб). Середньостиглий ДКС 4014 (ФАО 310) займав проміжне положення за всіма дослідженими параметрами, тоді як середньоранній ДБ Хотин (ФАО 250) демонстрував стабільну, але менш інтенсивну динаміку розвитку.

Позакореневе підживлення мікродобривом MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18) забезпечило достовірний приріст усіх досліджуваних параметрів продуктивності кукурудзи: висоти рослин – на 3,5–4,3 %, площі листової поверхні – на 14,6–15,6 %, SPAD-індексу – на 13,8–14,5 %, накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті – на 11,8–12,2 %, у фазу воскової стиглості – на 10,0–10,4 %. Ефективність Марганцю була стабільною для всіх досліджуваних гібридів незалежно від групи стиглості, що свідчить про універсальність цього технологічного прийому.

У дослідженні порівняно ефективність трьох альтернативних препаратів для позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості (ВВСН 85): Райкат Фінал (1,0 л/га), Текамін Брікс (3 л/га) та EGROW (1,0 л/га). Усі три препарати забезпечили достовірний приріст накопичення сухої речовини порівняно з контролем. Найвищу ефективність продемонстрував препарат EGROW: середній приріст по фактору С становив +0,70 т/га (3,9 %); приріст від Райкат Фінал – +0,47 т/га (2,6 %); приріст від Текамін Брікс – +0,27 т/га (1,5 %). Ранжування препаратів за ефективністю: EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс.

Ключовим ефектом позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості є прискорення дозрівання та зниження збиральної вологості зерна. Найвищу ефективність у цьому показнику також продемонстрував препарат EGROW: для гібриду ДН Аншлаг (ФАО 420) він забезпечив зниження вологості зерна на 4,4 абсолютних % (15,9 %), для ДКС 4014 – на 3,3 % (14,7 %), для ДБ Хотин – на 2,4 % (13,5 %). Препарат Райкат Фінал показав проміжний результат (зниження вологості на 1,5–2,8 абсолютних %), Текамін Брікс – найменший ефект (на 1,3–2,2 абсолютних %). Найбільший ефект зниження вологості спостерігали у середньопізнього гібриду, що підтверджує особливу актуальність застосування EGROW для гібридів пізніших груп стиглості з традиційно високою збиральною вологістю зерна.

Найвищий рівень накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості (21,42 т/га) забезпечила комбінація гібриду ДН Аншлаг (ФАО 420) з повною оптимальною схемою позакореневого удобрення (варіант 24: Марганець у ВВСН 13–18 + EGROW у ВВСН 85), що на 35,4 % перевищувало мінімальне значення (15,82 т/га для варіанту 1: ДБ Хотин на контролі).

Максимальне значення фотосинтетичного потенціалу посівів (3231 тис. м²/га × діб) досягнуто у варіанті 24, що на 75,4 % перевищувало мінімальне значення (1842 у варіанті 1). Внесок окремих факторів у формування ФСП розподілявся таким чином: фактор гібриду – близько 35–40 %, фактор позакореневого удобрення Марганцем – близько 22 %, фактор позакореневого удобрення у фазу ВВСН 85 – близько 4–7 % (з диференціацією за препаратами).

Дисперсійний аналіз підтвердив достовірність впливу всіх трьох досліджуваних факторів (А – гібрид, В – позакореневе удобрення Марганцем, С – позакореневе удобрення у ВВСН 85 одним із трьох препаратів) на формування продуктивності кукурудзи. Виявлено достовірну позитивну взаємодію факторів В×С – рослини, що отримали збалансоване мікроелементне живлення в ранній період, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами. На основі отриманих результатів оптимальною визнано схему: гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) + MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу ВВСН 13–18 + EGROW (1,0 л/га) у фазу ВВСН 85, що становить основу для розробки адаптивних технологій вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

Отримані результати становлять експериментальну основу для подальшої оцінки впливу комплексу агротехнічних прийомів на реалізацію потенціалу зернової продуктивності кукурудзи та обґрунтування економічно ефективних систем її вирощування, що буде представлено в наступних розділах дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 4

РІВЕНЬ ЗАБУР'ЯНЕНOSTІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ГЕРБІЦИДНОГО ЗАХИСТУ КУКУРУДЗИ

Ефективність формування продуктивності кукурудзи значною мірою залежить від стану агрофітоценозу та конкурентних взаємовідносин між культурою і сегетальною рослинністю. Бур'яни є одним із найагресивніших факторів, що лімітують ріст і розвиток кукурудзи в період від сходів до змикання листків у міжряддях. За даними сучасних досліджень, втрати врожаю під впливом бур'янового компонента можуть сягати 25–45 %, а за несвоєчасного застосування заходів контролю – до 60–70 %. Це зумовлено інтенсивною конкуренцією за вологу, поживні речовини, світло та площу живлення, а також здатністю багатьох бур'янів виділяти алелопатичні речовини, що пригнічують ріст культурних рослин.

Рівень засміченості посівів кукурудзи формується під впливом комплексу чинників: ґрунтово-кліматичних умов, попередника, строків сівби, прийомів основного й передпосівного обробітку ґрунту, волого- та теплового режиму, а також біологічних особливостей бур'янів і культури. Особливої актуальності набуває проблема контролю небезпечних інвазійних видів, зокрема ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.), який останніми роками активно поширюється в Лісостепу України та формує висококонкурентні ценози з тривалим банком життєздатного насіння.

У сучасних інтенсивних технологіях вирощування кукурудзи провідну роль відіграють селективні післясходові гербіциди системної дії, здатні ефективно контролювати як однорічні, так і багаторічні види бур'янів. Однак ефективність їх застосування значною мірою залежить від біологічних властивостей бур'янів, погодних умов, фази розвитку культури і бур'янів та особливостей композицій діючих речовин (топрамезон, дикамба, темботріон, антидоти). Вибір оптимальної гербіцидної системи повинен базуватися на аналізі

реального фітосанітарного стану, типу забур'яненості та адаптивних особливостей гібридів кукурудзи.

В таблиці 4.1 подано характеристику видової структури та чисельності бур'янів у посівах кукурудзи на контрольному варіанті (без застосування гербіцидів) у критично важливий період формування конкурентних взаємовідносин – фазу 2–7 листків культури (ВВСН 12–17). Саме на цьому етапі визначається інтенсивність взаємодії між культурними рослинами та сегетальною рослинністю, що суттєво впливає на подальший стан агрофітоценозу й формування врожайності.

Таблиця 4.1

Видовий склад та чисельність бур'янів на контрольному варіанті у фазу 2-7 листка (ВВСН 12-17) гібридів кукурудзи, в середньому по гібридах, шт./м², середнє за 2023-2025рр.

Вид бур'яну	шт./м ²	% від загальної кількості
Ваточник сирійський	13,3	11,5
Щириця жминдовидна	3,8	3,3
Лобода біла	8,1	7,0
Злинка канадська	14,2	12,3
Гірчак березковидний	4,4	3,8
Гірчак розлогий	5,1	4,4
Паслін чорний	7,6	6,6
Дурман смердючий	3,9	3,4
Гірчиця польова	7,2	6,2
Талабан польовий	4,8	4,2
Мишій сизий	28,1	24,4
Просо півняче	11,5	10,0
Інші види	3,4	2,9
Всього бур'янів	115,4	100

Загальна кількість бур'янів на 1 м² становила 115,4 шт., що свідчить про високий рівень засміченості посівів у варіанті без захисту. Видовий спектр включав як однорічні дводольні, так і злакові та багаторічні види, характерні для Правобережного Лісостепу України.

Найвищою чисельністю вирізнявся мишій сизий (*Echinochloa crus-galli*) – 28,1 шт./м² (24,4 %). Це типовий доміант у кукурудзяних посівах, який завдяки швидкому темпу росту й високій конкурентоздатності суттєво знижує інтенсивність росту кукурудзи в початковій фазі. Значна його частка у фітоценозі пояснюється високою життєздатністю насіння та здатністю до формування щільних популяцій.

Друге місце за поширеністю посідає злинка канадська (*Erigeron canadensis*) – 14,2 шт./м² (12,3 %). Цей вид утворює густі куртини, активно використовує вологу та поживні речовини, а також проявляє стійкість до низки діючих речовин гербіцидів, що підсилює його конкурентні властивості.

Третю позицію займає інвазійний багаторічний вид ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*) – 13,3 шт./м² (11,5 %). Його присутність на такому рівні засвідчує високу адаптивність, стійкість до механічних та хімічних впливів і здатність формувати тривалий ґрунтовий насіннєвий банк. Ваточник створює площинні колонії та є одним із найбільш небезпечних конкурентів кукурудзи, оскільки пригнічує її ріст не лише конкуренцією, але й алелопатичною активністю.

Суттєвою була також частка просо півняче (*Panicum miliaceum*) – 11,5 шт./м² (10,0 %), що підсилює злаковий компонент забур'яненості та ускладнює боротьбу за допомогою стандартних післясходових гербіцидів.

До середньої групи за поширеністю належать: лобода біла (8,1 шт./м²; 7,0 %), паслін чорний (7,6 шт./м²; 6,6 %), гірчиця польова (7,2 шт./м²; 6,2 %), талабан польовий (4,8 шт./м²; 4,2 %).

Ці види є агресивними конкурентами за поживні елементи, особливо азот, і тому здатні знижувати темпи росту кукурудзи вже в ранній фазі.

Дещо меншу чисельність, але важливу присутність у фітоценозі мали: гірчак розлогий – 5,1 шт./м² (4,4 %), гірчак березковидний – 4,4 шт./м² (3,8 %), дурман смердючий – 3,9 шт./м² (3,4 %), щиріця жминдовидна – 3,8 шт./м² (3,3 %).

Хоча їх частка є меншою, ці види здатні швидко посилювати засміченість і формувати другий “пік” бур’янів після міжрядного обробітку.

Категорія «інші види» (3,4 шт./м²; 2,9 %) включала поодинокі рослини нетипових для кукурудзяних агроценозів видів, які в сумі не мали суттєвого впливу на загальний рівень засміченості.

Висока загальна кількість бур’янів (115,4 шт./м²) і домінування злакових (мишій, просо) та стійких дводольних (ваточник сирійський, злинка канадська) видів підкреслюють критичну необхідність системного застосування ефективних післясходових гербіцидів. У фазу 2–7 листків кукурудза є найбільш чутливою до конкуренції, тому затримка зі застосуванням гербіцидів призводить до значних втрат продуктивного потенціалу.

За результатами проведених досліджень у посівах кукурудзи на контрольному варіанті, де гербіциди не застосовувалися, відзначався високий рівень забур’яненості, який становив у середньому від 112,4 до 121,3 шт./м² залежно від гібриду. Найменшу кількість бур’янів зафіксовано у варіанті з гібридом ДБ Хотин, тоді як найбільшу – у посівах ДН Аншлаг. Такий високий рівень сегетальної рослинності свідчить про значну конкурентність бур’янів у критичний для культури період – фазу інтенсивного росту, що за відсутності контролю неминуче призводило б до істотного зниження продуктивності рослин кукурудзи.

Застосування післясходових гербіцидів суттєво зменшувало чисельність бур’янів у посівах. Використання препарату Лаудіс у поєднанні з прилипачем Меро забезпечувало різке скорочення кількості сегетальної рослинності – до 4,0–4,5 шт./м² у залежності від гібриду. Це відповідає високій ефективності дії на рівні 96,3–96,4 %. Гербіцид демонстрував стабільність результатів упродовж років дослідження, а також слабку залежність від гібридних особливостей культури. Одержані показники свідчать про ефективний контроль як однорічних дводольних бур’янів, так і злакових видів, що домінували в агроценозі.

Дещо нижчі, але подібні за рівнем показники ефективності отримано за дії препарату Стеллар Плюс. Кількість бур’янів після його застосування становила

4,8–5,3 шт./м², що відповідає 95,5–95,7 % ефективності. Незважаючи на дещо більшу залишкову забур'яненість, препарат також забезпечував практично повний контроль основних видів бур'янів у посівах кукурудзи. Відмінності між гібридами були незначними – у межах 0,5–1,3 шт./м², що свідчить про високу стійкість обох гербіцидних систем до варіювання біологічних та погодних факторів. (Табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Кількість бур'янів у посівах гібридів кукурудзи у фазу 2-7 листка (ВВСН 12-17) та ефективність дії гербіцидів (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид	Варіант досліду	Кількість бур'янів, шт/м ²	Ефективність дії, %
ДБ Хотин	Контроль (без гербіцидів)	112,4	-
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	–	-
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	4,0	96,4
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га).	4,8	95,7
ДКС 4014	Контроль (без гербіцидів)	114,1	-
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	–	-
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	4,2	96,3
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га).	5,1	95,5
ДН Аншлаг	Контроль (без гербіцидів)	121,3	-
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	–	-
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	4,5	96,3
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га).	5,3	95,6

У цілому встановлено, що застосування препаратів Лаудіс та Стеллар Плюс дозволяло знизити кількість бур'янів до біологічно нешкідливого рівня, який не створює конкуренції для рослин кукурудзи. За таких значень забур'яненість не впливає на формування листкового апарату, фотосинтетичні процеси та закладку генеративних органів, що забезпечує повну реалізацію потенціалу продуктивності гібридів. Висока ефективність препаратів

підтверджує доцільність їх включення до інтегрованих систем захисту кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України

Реалізація потенціалу зернової продуктивності кукурудзи є результатом комплексної взаємодії морфофізіологічних процесів, генетичних особливостей гібридів та умов вирощування. Саме здатність гібрида ефективно трансформувати акумульовану під час вегетації біомасу у зерно визначає фактичну врожайність та рівень використання біологічного потенціалу. Показники продуктивності кукурудзи формуються на всіх етапах онтогенезу, проте вирішальним є період від цвітіння до наливу та дозрівання зерна, коли завершується диференціація генеративних структур, закладається озерненість качана та формується маса 1000 зерен.

Таблиця 4.3

Показники продуктивності гібридів кукурудзи (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид	Варіант досліджу	Довжина качана, см	Кількість рядів, шт	Маса 1000 зерен, г	Урожайність, т/га
ДБ Хотин	Контроль (без гербіцидів)	12,3	14–16	178	0,64
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	19,1	16–18	297	9,74
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	19,4	16–18	301	8,12
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га).	19,2	16–18	199	8,26
ДКС 4014	Контроль (без гербіцидів)	13,4	16–18	285	0,98
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	19,7	18–20	312	10,38
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	19,9	18–20	315	8,72
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га)	19,8	18–20	314	8,91
ДН Аншлаг	Контроль (без гербіцидів)	15,0	16–18	189	0,15
	Контроль 2 (посіви без присутності бур'янів)	19,4	16–18	305	10,12
	Лаудіс, в.г. 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач) 1,0–2,0 л/га.	19,6	16–18	307	9,49
	Стеллар Плюс - 1,25 л/га)	19,5	16–18	306	9,62

За результатами проведених досліджень зменшення довжини качана більш ніж удвічі порівняно з варіантами без бур'янів підтверджує критичний вплив

бур'янової компоненти на процеси генерації.

Маса 1000 зерен також знижувалася до 178–189 г, що характерно для рослин, які формують зерно за умов дефіциту пластичних речовин через блокування фотосинтезу бур'янами. Тобто фактично у відсутності захисту врожайність гібридів знижувалась у 10–60 разів порівняно з їх потенціалом.

У варіанті без бур'янів усі показники повністю відповідали біологічним можливостям гібридів: висота прикріплення качана підвищилась до 87–90 см, довжина качана – 19,1–19,7 см, кількість рядів зерен – 16–18 у ДБ Хотин і ДН Аншлаг, та 18–20 – у ДКС 4014, маса 1000 зерен – 297–312 г. Врожайність сягала: 9,74 т/га – ДБ Хотин, 10,38 т/га – ДКС 4014, 10,12 т/га – ДН Аншлаг.

Застосування Лаудісу сприяло значному відновленню морфологічних показників порівняно з варіантом без гербіцидів: висота прикріплення качана збільшилася до 89–92 см, довжина качана – 19,4–19,9 см, кількість рядів відповідала генетичним особливостям кожного гібрида, маса 1000 зерен становила 301–315 г, тобто була близькою до контрольної. Однак врожайність усе ж залишалася нижчою, ніж у повністю чистих посівах: 8,12 т/га – ДБ Хотин, 8,72 т/га – ДКС 4014, 9,49 т/га – ДН Аншлаг. Це свідчить, що навіть мінімальна наявність бур'янів після обробки або ранній вплив сегетальної рослинності до моменту внесення гербіциду мала певний стримуючий ефект на кінцеву продуктивність.

Застосування Стеллар Плюс забезпечило аналогічне відновлення структури качана, але врожайність була дещо вищою порівняно з варіантом Лаудіс: висота прикріплення качана – 88–91 см, довжина качана – 19,2–19,8 см, кількість рядів – на високому рівні в усіх гібридів, маса 1000 зерен становила 199–314 г. Врожайність при цьому була: 8,26 т/га – ДБ Хотин, 8,91 т/га – ДКС 4014, 9,62 т/га – ДН Аншлаг.

Отримані значення демонструють високу біологічну ефективність препарату, здатність контролювати широкий спектр однорічних і багаторічних дводольних видів, у т.ч. гірчаків та ваточника.

Висновки за розділом 4:

Рівень забур'яненості є ключовим фактором зниження продуктивності. За повної відсутності контролю врожайність знижується у 10–60 разів. Гібриди відрізняються за чутливістю до конкуренції бур'янів. Найбільш стійкий – ДКС 4014, найчутливіший – ДН Аншлаг. Гербіциди повністю відновлюють морфологічні характеристики, але не повертають урожайність до рівня «чистого» контролю. Стеллар Плюс забезпечує дещо вищу урожайність, ніж Лаудіс, що свідчить про ширший спектр дії та кращий контроль дводольних видів.

РОЗДІЛ 5

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ

Урожайність зерна є інтегральним показником ефективності будь-якої технології вирощування сільськогосподарських культур. Для кукурудзи цей показник формується як результат складної взаємодії генетичного потенціалу гібриду, ґрунтового-кліматичних умов та комплексу агротехнічних прийомів. Поряд із кількісними характеристиками врожаю, не менш важливими є показники якості зерна – масова частка білка, крохмалю та олії, маса 1000 зерен, натура та вирівняність зернівок, які визначають товарну цінність продукції та її придатність для різних напрямів використання (продовольчого, фуражного, технологічного, біоцелю тощо).

Виявлені в попередньому розділі закономірності формування фотосинтетичного потенціалу, накопичення сухої речовини та особливостей дозрівання зерна під впливом гібридного фактору й позакореневих підживлень створюють біологічні передумови для формування високопродуктивного агроценозу. Однак реалізація цього потенціалу в зерновій продуктивності визначається ефективністю транспорту асимілятів у генеративні органи, повноцінністю запліднення, рівномірністю наливу зерна та фізіологічною завершеністю процесів дозрівання. Усі ці процеси чутливі як до генетичних особливостей гібриду, так і до точкових технологічних втручань на критичних етапах онтогенезу.

5.1. Формування структурних елементів продуктивності гібридів кукурудзи залежно від технологічних чинників

Зернова продуктивність кукурудзи формується як результат послідовного закладання та реалізації серії структурних елементів врожаю: густоти стояння продуктивних рослин на одиниці площі, кількості качанів на рослину, кількості

зерен у качані (рядів та зерен у ряду), маси одного зерна. Кожен з цих елементів формується у певну фазу онтогенезу та зазнає впливу специфічних факторів. Аналіз структурних елементів продуктивності дозволяє ідентифікувати, на якому з етапів формується той чи інший рівень урожайності, та обґрунтувати найбільш ефективні точки технологічного втручання.

Густота продуктивних рослин на час збирання визначається передусім вихідною нормою висіву, польовою схожістю насіння, виживанням рослин упродовж вегетації та умовами догляду. У сучасних технологіях вирощування цей показник характеризується відносно високою стабільністю, проте може варіювати залежно від стресових явищ у різні періоди вегетації. Дані щодо густоти продуктивних рослин у досліджуваних гібридах наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Густота продуктивних рослин гібридів кукурудзи на час збирання залежно від позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18, тис. шт./га (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Без удобрення у ВВСН 13–18 (контроль)	MicroStim™ Марганець, 1,0 л/га у ВВСН 13–18	Приріст від Мп, тис. шт./га	Приріст, %
ДБ Хотин (ФАО 250)	78,4	80,1	+1,7	2,2
ДКС 4014 (ФАО 310)	76,8	78,6	+1,8	2,3
ДН Аншлаг (ФАО 420)	74,2	76,3	+2,1	2,8
Середнє по фактору В	76,5	78,3	+1,9	2,5

Примітка. Вихідна норма висіву насіння становила 85 тис. шт./га. $НП_{0,05}$ для фактору А (гібрид) – 0,82 тис. шт./га; для фактору В (Марганець) – 0,68 тис. шт./га; для взаємодії $A \times B$ – 1,18 тис. шт./га.

Аналіз даних таблиці 5.1 свідчить про достовірне зниження густоти продуктивних рослин з підвищенням групи стиглості гібриду. На контрольних варіантах (без позакореневого удобрення у фазу ВВСН 13–18) густота продуктивних рослин становила 78,4 тис. шт./га для ДБ Хотин, 76,8 – для ДКС 4014 та 74,2 тис. шт./га для ДН Аншлаг. Менша густота продуктивних рослин у

гібридів пізніших груп стиглості пояснюється їхньою більшою чутливістю до конкуренції за фактори життя – світло, воду, мікроелементи, – що зумовлює дещо вищий рівень випадіння слабких рослин у середині вегетаційного періоду.

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець забезпечило достовірне підвищення густоти продуктивних рослин у всіх досліджуваних гібридах: на 1,7 тис. шт./га (2,2 %) у ДБ Хотин, 1,8 тис. шт./га (2,3 %) у ДКС 4014 та 2,1 тис. шт./га (2,8 %) у ДН Аншлаг. Виявлений ефект пояснюється фізіологічним впливом Марганцю на стійкість рослин до абіотичних стресів – оптимізація мікроелементного живлення у фазу 3–8 листків знижує ймовірність випадіння слабших рослин у наступні періоди вегетації. Найбільший ефект Марганцю на густоту продуктивних рослин спостерігали саме у середньопізнього гібриду ДН Аншлаг, що свідчить про його підвищену чутливість до оптимізації живлення в ранній період вегетації.

Дані щодо маси зерна з одного качана за варіантами проведеного дослідження наведено в таблиці 5.2.

Аналіз даних таблиці 5.2 виявив достовірний вплив усіх трьох досліджуваних факторів на масу зерна з одного качана. На контрольному варіанті (без позакореневих підживлень) маса зерна становила 92,8 г для ДБ Хотин, 106,3 г – для ДКС 4014 та 119,7 г для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 26,9 г, або 29,0 %, що значно перевищує різницю за густотою продуктивних рослин (приблизно –5,4 %). Це свідчить про те, що саме маса зерна з качана є визначальним фактором переваги гібридів пізніших груп стиглості за зерновою продуктивністю.

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило стабільний приріст маси зерна з качана: +7,5 г (8,1 %) у ДБ Хотин, +8,4 г (7,9 %) у ДКС 4014 та +9,5 г (7,9 %) у ДН Аншлаг (порівняння варіантів без удобрення у ВВСН 85). У відносних показниках реакція гібридів на Марганець була вирівняною (7,9–8,1 %), що свідчить про універсальність позитивного впливу цього мікроелементу на формування генеративних органів кукурудзи.

Таблиця 5.2

Маса зерна з одного качана гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення, г (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрення у ВВСН 13–18	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрення	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	92,8	96,3	95,0	98,0
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	100,3	104,1	102,6	105,8
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	106,3	110,4	108,8	112,2
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	114,7	119,1	117,3	121,1
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	119,7	124,5	122,7	126,6
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	129,2	134,4	132,2	136,6
Середнє по фактору С		110,49	114,79	113,10	116,72
<i>НІР_{0,05}: А 2,8; В 2,4; С 1,9 г. Взаємодії: А×В 4,1; А×С 3,5; В×С 3,2; А×В×С 5,4 г</i>					

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив послідовний порядок їхнього впливу на масу зерна з качана. Найвищу ефективність продемонстрував препарат EGROW: середнє по фактору С значення маси зерна з качана становило 116,72 г, що на 6,23 г (5,6 %) перевищувало контроль (110,49 г). Райкат Фінал забезпечив приріст 4,30 г (3,9 %) до значення 114,79 г, Текамін Брікс – 2,61 г (2,4 %) до 113,10 г. Ранжування препаратів за впливом на масу зерна з качана: EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс – повністю узгоджується із закономірностями, виявленими в попередньому розділі для накопичення сухої речовини та зниження вологості зерна.

Найвище абсолютне значення маси зерна з одного качана – 136,6 г – зафіксовано у варіанті 24 (ДН Аншлаг + MicroStim™ Mn + EGROW), що на 43,8 г, або 47,2 %, перевищує мінімальне значення (92,8 г для варіанту 1 – ДБ Хотин

на контролі). Така істотна різниця свідчить про значний потенціал підвищення зернової продуктивності кукурудзи шляхом оптимізації як генетичних, так і технологічних чинників. Зокрема, синергетична взаємодія факторів В і С чітко проявляється у тому, що ефект EGROW на варіантах з попереднім підживленням Марганцем становив +7,5 г (для ДН Аншлаг), тоді як без Mn – лише +6,9 г, тобто рослини з оптимізованим мікроелементним фоном ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимулятором.

Маса зерна з качана формується як інтегральний показник двох ключових структурних характеристик – загальної кількості зерен у качані (що, у свою чергу, визначається кількістю рядів зерен у качані та кількістю зерен у одному ряду) та маси одного зерна. Аналіз цих структурних елементів за варіантами з повною оптимальною схемою позакореневого удобрення (варіант 24: гібрид + Mn + EGROW) наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Структурні елементи качана гібридів кукурудзи за оптимальної схеми позакореневого удобрення (середнє за 2023–2025 рр.)

Показник	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	НІР _{0,05}
Довжина качана, см	18,6	20,4	22,8	0,38
Діаметр качана, см	4,8	5,1	5,4	0,12
Кількість рядів зерен у качані, шт.	14,6	15,8	16,4	0,32
Кількість зерен у ряду, шт.	23,5	25,2	27,6	0,84
Загальна кількість зерен у качані, шт.	343	398	453	12,4
Маса 1000 зерен, г	308	304	302	3,8
Маса зерна з одного качана, г	105,7	120,9	136,8	4,2
Вирівняність зернівок, %	87,4	89,2	91,5	1,2

Аналіз даних таблиці 5.3 свідчить про принципово різні стратегії

формування продуктивності у гібридів різних груп стиглості. Середньоранній гібрид ДБ Хотин формував менші за розмірами качани (довжина 18,6 см, діаметр 4,8 см), однак характеризувався найбільшою масою 1000 зерен (308 г). Середньостиглий ДКС 4014 займав проміжне положення за всіма показниками. Середньопізній ДН Аншлаг формував найбільші качани (довжина 22,8 см, діаметр 5,4 см) з максимальною кількістю рядів зерен (16,4) та найбільшою кількістю зерен у ряду (27,6).

Загальна кількість зерен у одному качані суттєво різнилася між гібридами: 343 шт. для ДБ Хотин, 398 шт. для ДКС 4014 та 453 шт. для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім за цим показником становила 110 шт., або 32,0 %, що визначає його основну біологічну перевагу за зерною продуктивністю. Водночас за масою 1000 зерен спостерігалася зворотна закономірність – гібриди ранніших груп стиглості формували більш велике зерно (308 г проти 302 г), що частково компенсувало меншу кількість зерен у качані.

Виявлена зворотна залежність між кількістю зерен у качані та масою 1000 зерен є класичним прикладом біологічного компромісу між кількісними та якісними характеристиками генеративної фази. Гібриди пізніших груп стиглості реалізують стратегію «екстенсивної продуктивності» – формують велику кількість зерен за рахунок меншої індивідуальної маси кожного зерна. Натомість середньоранні гібриди реалізують стратегію «інтенсивної продуктивності» – менша кількість зерен компенсується їхньою більшою масою та виповненістю.

Показник вирівняності зернівок, який характеризує однорідність зерна за розмірами та масою, також зростає із підвищенням групи стиглості: 87,4 % у ДБ Хотин, 89,2 % у ДКС 4014, 91,5 % у ДН Аншлаг. Вища вирівняність зерна у гібридів пізніших груп стиглості пояснюється тривалішим періодом наливу, який забезпечує більш синхронне та повноцінне формування всіх зернівок у качані. Цей показник має важливе технологічне значення – високовирівняне зерно краще зберігається, ефективніше використовується у глибокій переробці та має вищу ринкову вартість.

Маса 1000 зерен є одним із ключових показників ефективності наливу

зерна та індикатором якості агротехнологій. Цей показник тісно корелює з фізіологічною завершеністю процесів дозрівання та з вмістом сухих речовин у зернівці. Аналіз маси 1000 зерен за варіантами повного факторіалу $3 \times 2 \times 4$ наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Маса 1000 зерен гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення, г (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрення у ВВСН 13–18	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрення	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	286	294	292	298
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	298	305	303	308
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	281	290	287	294
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	293	301	298	304
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	278	287	284	292
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	290	298	295	302
Середнє по фактору С		287,7	295,8	293,2	299,7
<i>НІР_{0,05}: А 2,8; В 2,2; С 1,8 г. Взаємодії: А×В 3,9; А×С 3,2; В×С 2,8; А×В×С 4,8 г</i>					

Аналіз даних таблиці 5.4 свідчить про достовірний вплив усіх трьох досліджуваних факторів на масу 1000 зерен. Закономірність впливу фактору гібриду тут принципово відрізняється від інших показників – найвищу масу 1000 зерен формував не середньопізній, а середньоранній гібрид ДБ Хотин (286–308 г), тоді як ДН Аншлаг характеризувався дещо нижчими значеннями (278–302 г). Така зворотна залежність маси 1000 зерен від групи стиглості пояснюється згаданою стратегією формування продуктивності – гібриди пізніших груп стиглості розподіляють пластичні речовини між більшою кількістю зернівок, що зумовлює дещо нижчу масу одного зерна.

Позакореневе підживлення Марганцем у фазу 3–8 листків забезпечило приріст маси 1000 зерен на 12 г для всіх гібридів (відповідно 4,2 %, 4,3 % та 4,3 % від контролю). Цей ефект свідчить про пролонгований вплив Марганцю на формування генеративних органів – оптимізація мікроелементного живлення у ранній період вегетації не тільки забезпечує формування більш потужного фотосинтетичного апарату (як показано в розділі 3), а й сприяє більш повноцінному наливу зерна у завершальній фазі вегетації.

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив таке ранжування за масою 1000 зерен: EGROW (середнє 299,7 г, приріст +12,0 г, або 4,2 %) > Райкат Фінал (295,8 г, +8,1 г, або 2,8 %) > Текамін Брікс (293,2 г, +5,5 г, або 1,9 %). Найвищу масу 1000 зерен – 308 г – зафіксовано у варіанті 8 (ДБ Хотин + Mn + EGROW), однак у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW) – також високе значення 302 г, при цьому з найбільшою кількістю зерен у качані. Ця комбінація забезпечує оптимальне поєднання обох структурних елементів продуктивності, що в кінцевому підсумку формує найвищу зернову продуктивність агроценозу.

Принципово важливим є те, що максимальний ефект EGROW на формування маси 1000 зерен (+10–12 г) узгоджується з виявленим у попередньому розділі максимальним ефектом цього препарату на зниження збиральної вологості зерна. Це свідчить про комплексну дію EGROW на фізіологічні процеси завершальної фази вегетації – препарат не лише прискорює дозрівання та зневоднення зерна, а й одночасно сприяє більш повноцінному завершенню процесів наливу та накопичення пластичних речовин у зернівці.

5.2. Урожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення

Урожайність зерна є інтегральним показником ефективності всієї технології вирощування й кінцевою метою агровиробництва. Формування врожаю кукурудзи визначається сукупною дією всіх раніше проаналізованих

елементів – густоти продуктивних рослин, маси зерна з качана, маси 1000 зерен. Аналіз урожайності за варіантами повної дослідної схеми 3×2×4 дозволяє кількісно оцінити внесок кожного фактора у формування зернової продуктивності та обґрунтувати оптимальні комбінації технологічних прийомів для кожної з груп стиглості гібридів.

Урожайність зерна у досліді обчислювали як добуток густоти продуктивних рослин на масу зерна з одного качана з подальшим перерахунком на стандартну вологість 14 %. Узагальнені дані за всіма 24 варіантами дослідної схеми наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Урожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення, т/га (за стандартної вологості 14 %, середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрєння у ВВСН 13–18	Позакорєневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрєння	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	7,28	7,55	7,44	7,68
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	8,03	8,33	8,22	8,48
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	8,16	8,48	8,36	8,62
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	9,02	9,36	9,22	9,52
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	8,89	9,24	9,10	9,40
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	9,85	10,26	10,09	10,43
Середнє по фактору С		8,54	8,87	8,74	9,02
<i>НІР_{0,05}: А 0,21; В 0,18; С 0,14 т/га. Взаємодії: А×В 0,32; А×С 0,28; В×С 0,24; А×В×С 0,42 т/га</i>					

Аналіз даних таблиці 4.5 розкриває комплексну картину формування зернової продуктивності кукурудзи під впливом досліджуваних факторів. На контрольному варіанті без позакорєневих підживлень урожайність зерна

становила 7,28 т/га для ДБ Хотин, 8,16 – для ДКС 4014 та 8,89 т/га для ДН Аншлаг. Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 1,61 т/га, або 22,1 %, що відображає його суттєво більший біологічний потенціал зернової продуктивності в умовах Правобережного Лісостепу України.

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило значний приріст урожайності зерна: +0,75 т/га (10,3 %) для ДБ Хотин, +0,85 т/га (10,4 %) для ДКС 4014 та +0,97 т/га (10,9 %) для ДН Аншлаг (порівняння варіантів без удобрення у ВВСН 85). Вирівняна відносна реакція гібридів на Марганець (10,4–10,9 %) свідчить про універсальність позитивного впливу цього мікроелементу на формування зернової продуктивності незалежно від групи стиглості. Абсолютний ефект Марганцю був найбільшим у середньопізнього гібриду ДН Аншлаг, що пояснюється його найвищим вихідним рівнем продуктивності та більшим резервом для його реалізації.

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив послідовний порядок їхнього впливу на зернову продуктивність. Найвищу ефективність продемонстрував препарат EGROW: середнє по фактору С значення урожайності становило 9,02 т/га, що на 0,48 т/га (5,6 %) перевищувало контроль (8,54 т/га). Райкат Фінал забезпечив приріст 0,33 т/га (3,9 %) до значення 8,87 т/га, Текамін Брікс – 0,20 т/га (2,4 %) до 8,74 т/га. Ранжування препаратів за впливом на врожайність: EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс – повністю узгоджується із закономірностями, виявленими для накопичення сухої речовини, маси зерна з качана та маси 1000 зерен.

Максимальне значення урожайності зерна – 10,43 т/га – досягнуте у варіанті 24 (ДН Аншлаг + MicroStim™ Mn + EGROW), що на 3,15 т/га, або 43,2 %, перевищує мінімальне значення (7,28 т/га для варіанту 1 – ДБ Хотин на контролі). Така істотна різниця свідчить про значний резерв підвищення зернової продуктивності кукурудзи шляхом комплексної оптимізації генетичних та технологічних чинників. У межах кожного окремого гібриду максимальний приріст урожайності від комплексу позакореневих підживлень (Mn + EGROW порівняно з контролем) становив: для ДБ Хотин – +1,20 т/га (16,5 %); для ДКС

4014 – +1,36 т/га (16,7 %); для ДН Аншлаг – +1,54 т/га (17,3 %).

Виявлено достовірну позитивну взаємодію факторів В і С ($NP_{0,05}$ для взаємодії $B \times C$ – 0,24 т/га). Так, для гібриду ДН Аншлаг приріст урожайності від застосування EGROW на варіантах без Mn становив +0,51 т/га (5,7 %), а на варіантах з Mn – +0,58 т/га (5,9 %). Хоча у відсотках різниця не велика, в абсолютних показниках вона перевищує $NP_{0,05}$ і свідчить про синергетичний характер взаємодії технологічних прийомів. Це є важливим практичним висновком – рослини, які отримали збалансоване мікроелементне живлення в ранній період вегетації, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами.

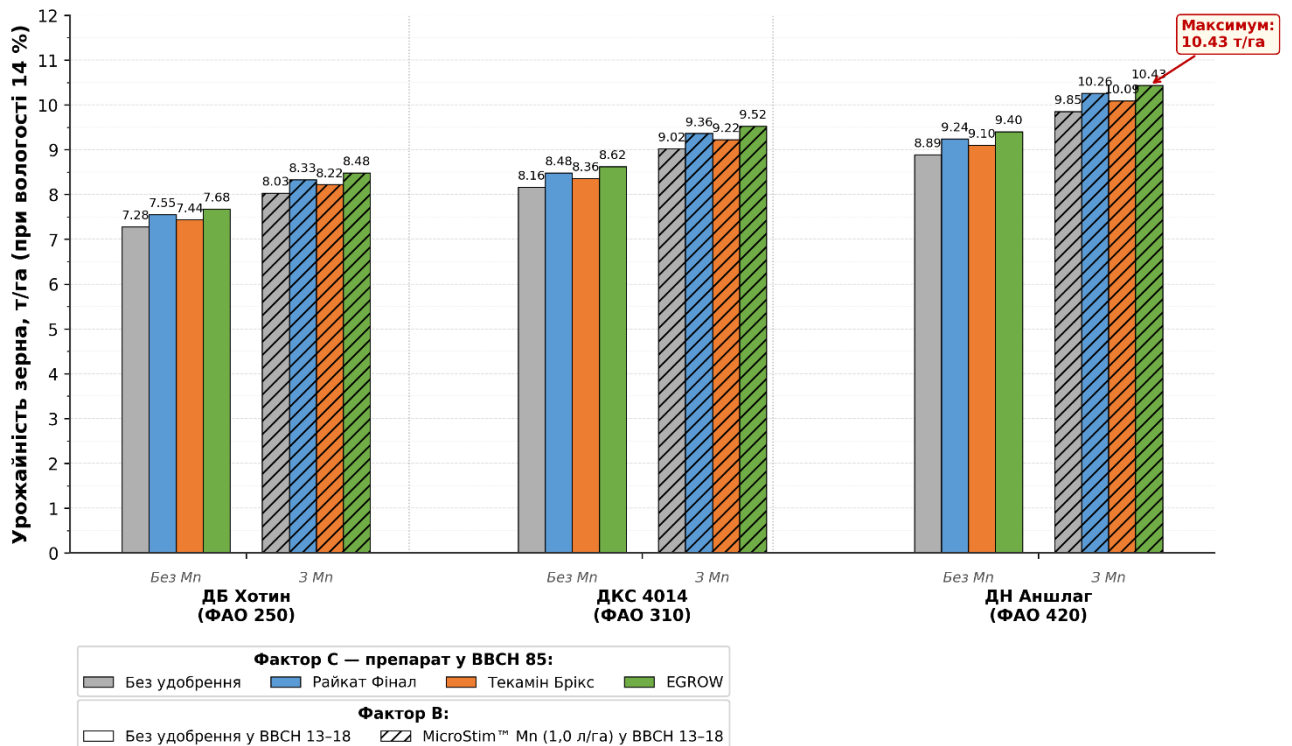


Рис. 5.1. Урожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від системи позакореневого удобрення, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

На основі узагальнення даних таблиці 4.5 можна обчислити частку внеску окремих факторів у формування варіювання урожайності зерна. Найбільший внесок забезпечує фактор гібриду (А) – близько 50–55 % загального варіювання;

фактор позакореневого підживлення Марганцем (В) – близько 30–32 %; фактор позакореневого підживлення у фазу ВВСН 85 (С) – близько 12–15 %; взаємодії факторів – близько 3–5 %. Таким чином, основним резервом підвищення зернової продуктивності кукурудзи в умовах регіону є оптимальний вибір гібриду відповідно до конкретних агрокліматичних та технологічних можливостей господарства, доповнений системою позакореневих підживлень.

5.3. Якість зерна гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення

Якість зерна кукурудзи характеризується комплексом показників, що визначають його споживчу та технологічну цінність. До основних якісних показників належать вміст білка, крохмалю та олії, що визначають харчову й кормову цінність зерна, а також натура зерна та його склоподібність, які впливають на технологічні властивості при переробці. Залежно від напрямку використання продукції (продовольчий, фуражний, технологічний, бікрафтовий) пріоритетність окремих показників якості може суттєво різнитися.

У сучасних умовах, коли значна частина кукурудзи використовується для виробництва біоетанолу та інших промислових цілей, особливо важливим стає показник вмісту крохмалю – основної сировини для біопаливної промисловості. Водночас підвищується запит на високобілкове зерно для виробництва кормів та продуктів дитячого харчування. Олійність зерна має значення для виробництва кукурудзяної олії та як показник харчової цінності. Аналіз впливу досліджуваних факторів на якісні показники зерна дозволяє оцінити їхній вплив не лише на кількісні, а й на якісні характеристики продукції.

Дані щодо якісних показників зерна досліджуваних гібридів за оптимальної схеми позакореневого удобрення (варіант 24: гібрид + Мп + EGROW) наведено в таблиці 5.6.

**Якісні показники зерна гібридів кукурудзи за оптимальної схеми
позакореневого удобрення (середнє за 2023–2025 рр.)**

Показник якості	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	НІР _{0,05}
Масова частка білка, %	10,4	10,8	11,2	0,24
Масова частка крохмалю, %	72,8	71,9	71,2	0,38
Масова частка олії, %	4,3	4,5	4,7	0,12
Натура зерна, г/л	742	738	734	5,8
Склоподібність, %	68,4	65,8	62,3	1,4
Вирівняність зернівок, %	87,4	89,2	91,5	1,2
Тип ендосперму	Кременисто- зубоподібний	Зубоподібний	Зубоподібний	–

Аналіз даних таблиці 5.6 виявив достовірні відмінності між гібридами за якісними показниками зерна, що пов'язані з їхніми генетичними особливостями. Найвищий вміст білка зафіксовано в середньопізнього гібриду ДН Аншлаг (11,2 %), середньостиглий ДКС 4014 займав проміжне положення (10,8 %), а середньоранній ДБ Хотин мав найменший вміст білка (10,4 %). Така закономірність пояснюється тривалішим періодом наливу зерна у гібридів пізніших груп стиглості, що забезпечує більш повне накопичення азотовмісних сполук.

Натомість за вмістом крохмалю спостерігалася зворотна закономірність – найвищі значення характеризували середньоранній ДБ Хотин (72,8 %), а середньопізній ДН Аншлаг мав найнижчий показник (71,2 %). Це пояснюється класичним зворотним зв'язком між вмістом білка та крохмалю в зерні – більший приплив азотовмісних сполук зменшує частку вуглеводних компонентів. У контексті виробництва біоетанолу гібрид ДБ Хотин має певну перевагу за рахунок підвищеної крохмалистості, тоді як для продовольчого та кормового напрямів використання пріоритетнішими є гібриди пізніших груп стиглості з вищим вмістом білка.

Вміст олії в зерні також зростає з підвищенням групи стиглості – від 4,3 %

у ДБ Хотин до 4,7 % у ДН Аншлаг. Це позитивно характеризує енергетичну цінність зерна та робить його придатним для широкого спектру напрямів використання. Усі досліджувані гібриди за вмістом олії відповідають вимогам стандартів, що пред'являються до зерна кукурудзи 1-го класу.

Натура зерна – показник, що характеризує щільність укладання зернівок і пов'язаний з товарною цінністю продукції – варіювала в межах 734–742 г/л. Найвищі значення зафіксовано у ДБ Хотин (742 г/л), що пояснюється його кременисто-зубоподібним типом ендосперму з вищою щільністю порівняно з типовим зубоподібним типом гібридів ДКС 4014 та ДН Аншлаг. Усі значення натури зерна суттєво перевищують мінімальні вимоги стандартів (≥ 670 г/л), що свідчить про високу якість сформованого зерна.

Особливий інтерес становить вплив позакореневих підживлень на вміст білка в зерні. Дані щодо вмісту білка за варіантами повної дослідної схеми $3 \times 2 \times 4$ наведено в таблиці 5.7.

Аналіз даних таблиці 4.7 виявив принципово важливу закономірність – найвищий вплив на вміст білка в зерні з-поміж препаратів фактору С продемонстрував Райкат Фінал, а не EGROW, як у попередніх показниках. Середнє по фактору С значення вмісту білка становило 10,85 % для Райкат Фінал, 10,65 % для EGROW, 10,52 % для Текамін Брікс та 10,35 % для контролю. Приріст вмісту білка від застосування Райкат Фінал становив 0,50 абсолютних % (4,8 %), що достовірно ($НІР_{0,05}$ для фактору С – 0,16 %) перевищує ефект інших препаратів.

Виявлена закономірність пояснюється специфікою хімічного складу препарату Райкат Фінал, який представляє концентрований амінокислотний комплекс з вмістом вільних L-амінокислот понад 12 %. Позакореневе внесення амінокислот безпосередньо у фазу воскової стиглості забезпечує їх включення в азотний обмін рослини та в кінцевому підсумку – у синтез запасних білків зерна (зеїну, глобулінів, альбумінів). На відміну від цього, препарати EGROW і Текамін Брікс мають інші пріоритетні фізіологічні дії, що позитивно впливають на формування біомаси та зниження вологості зерна, проте меншою мірою

впливають на азотний обмін.

Таблиця 5.7

Масова частка білка в зерні гібридів кукурудзи залежно від системи позакореневого удобрення, % (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Удобрення у ВВСН 13–18	Позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 (фактор С)			
		Без удобрення	Райкат Фінал	Текамін Брікс	EGROW
ДБ Хотин (ФАО 250)	Без удобр.	9,8	10,2	9,9	10,1
ДБ Хотин (ФАО 250)	MicroStim™ Mn	10,1	10,5	10,2	10,4
ДКС 4014 (ФАО 310)	Без удобр.	10,2	10,7	10,4	10,5
ДКС 4014 (ФАО 310)	MicroStim™ Mn	10,5	11,0	10,7	10,8
ДН Аншлаг (ФАО 420)	Без удобр.	10,6	11,2	10,8	10,9
ДН Аншлаг (ФАО 420)	MicroStim™ Mn	10,9	11,5	11,1	11,2
Середнє по фактору С		10,35	10,85	10,52	10,65
НІР _{0,05} : А 0,24; В 0,18; С 0,16 %. Взаємодії: А×В 0,32; А×С 0,28; В×С 0,22; А×В×С 0,38 %					

Позакореневе внесення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків також забезпечило достовірне підвищення вмісту білка в зерні на 0,3 абсолютних % (приблизно 3 %) для всіх гібридів. Цей ефект пов'язаний з активізацією Марганцем ферментативних систем азотного обміну рослин, насамперед нітратредуктази, що каталізує перетворення нітратного азоту в амонійну форму, доступну для включення в синтез амінокислот.

Найвищий вміст білка – 11,5 % – зафіксовано у варіанті 22 (ДН Аншлаг + Mn + Райкат Фінал), що на 1,7 абсолютних %, або 17,3 %, перевищує мінімальне значення (9,8 % для варіанту 1 – ДБ Хотин на контролі). Таким чином, в умовах виробництва спеціалізованого високобілкового зерна для кормових та продовольчих цілей оптимальним є саме поєднання гібрид ДН Аншлаг + Марганець + Райкат Фінал, що відрізняється від оптимуму за валовою

врожайністю (де лідерство належить комбінації з EGROW).

Для встановлення кількісних взаємозв'язків між показниками формування продуктивності кукурудзи проведено кореляційний аналіз основних параметрів за результатами всіх 24 варіантів дослідної схеми. Узагальнені дані наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Коефіцієнти парної кореляції між основними показниками продуктивності гібридів кукурудзи (n = 24, P < 0,05)

Показник	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Вміст білка, %	Вологість зерна, %
Площа листової поверхні у ВВСН 61	+0,892	+0,418	+0,724	+0,856
SPAD-індекс у ВВСН 61	+0,847	+0,512	+0,768	+0,694
Накопичення сухої речовини у ВВСН 85	+0,968	+0,584	+0,712	+0,872
Фотосинтетичний потенціал посіву	+0,951	+0,548	+0,768	+0,824
Маса зерна з одного качана	+0,924	+0,648	+0,612	+0,816
Маса 1000 зерен	+0,648	–	+0,384	–0,524
Вологість зерна на час збирання	+0,768	–0,524	+0,592	–

Примітка. Критичне значення коефіцієнта кореляції $r_{0,05}$ для $n = 24$ становить $\pm 0,404$. Усі наведені значення є статистично достовірними.

Аналіз кореляційних зв'язків (табл. 5.8) виявив низку важливих закономірностей формування продуктивності кукурудзи. Найвищі коефіцієнти кореляції з урожайністю зерна продемонстрували показники накопичення сухої речовини у фазу воскової стиглості ($r = +0,968$) та фотосинтетичного потенціалу посіву ($r = +0,951$). Це свідчить про те, що зернова продуктивність кукурудзи майже повністю детермінується інтегральною фотосинтетичною продуктивністю агроценозу впродовж вегетаційного періоду – оптимізація саме цих параметрів має максимальний ефект на формування врожаю.

Висока кореляція між урожайністю зерна та масою зерна з одного качана

($r = +0,924$) підтверджує її статус ключового структурного елементу продуктивності. Натомість зв'язок з масою 1000 зерен значно слабший ($r = +0,648$), що пояснюється виявленою стратегічною різницею між гібридами – деякі формують продуктивність переважно за рахунок кількості зерен, інші – за рахунок їхньої маси.

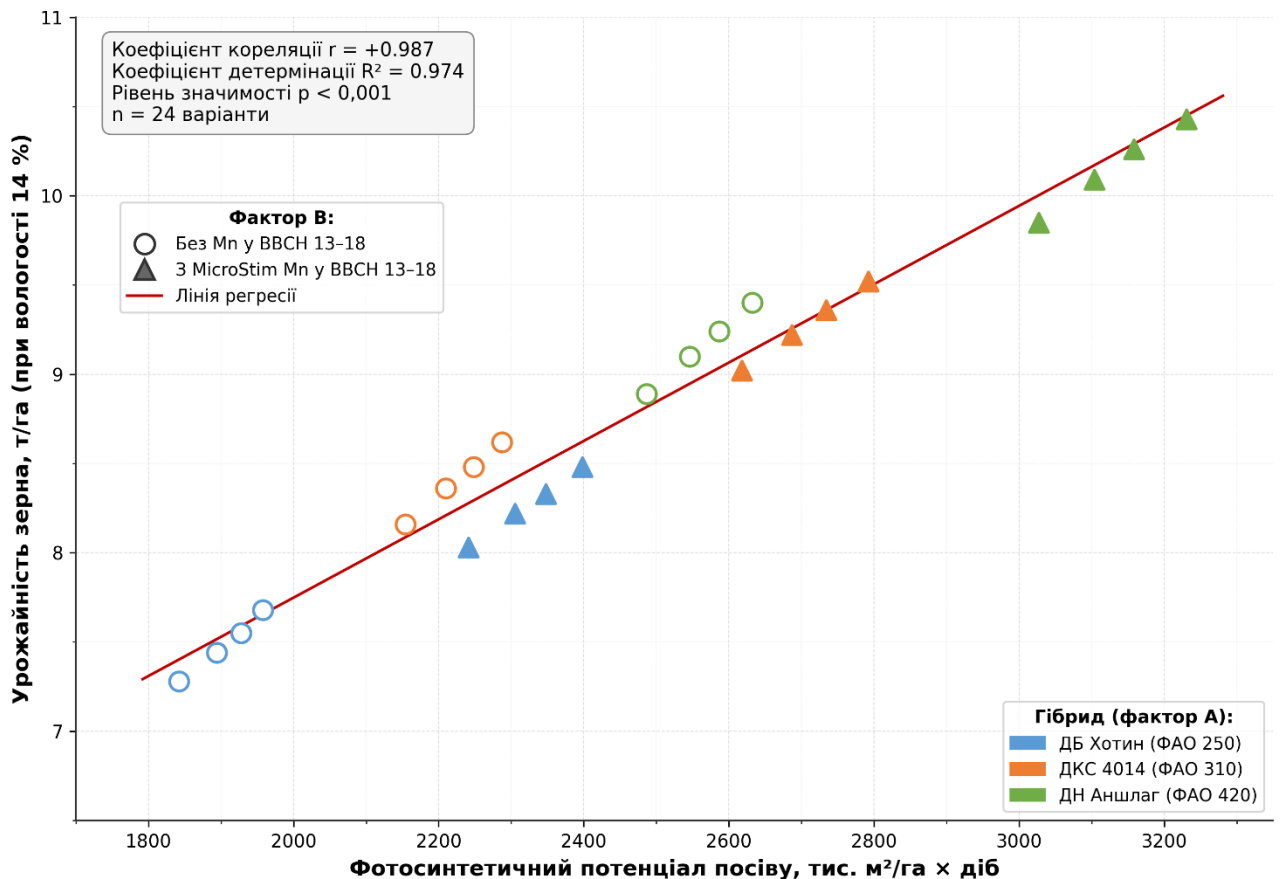


Рис. 5.2. Залежність урожайності зерна гібридів кукурудзи від фотосинтетичного потенціалу посіву за всіма 24 варіантами дослідної схеми (середнє за 2023–2025 рр.)

Особливий інтерес становить зворотний зв'язок між масою 1000 зерен та вологістю зерна на час збирання ($r = -0,524$). Це означає, що більш виповнене зерно характеризується і нижчою збиральною вологістю, що підтверджує синергетичний зв'язок процесів наливу та фізіологічного дозрівання зерна. Виявлений зв'язок є важливим аргументом на користь застосування позакореневих підживлень у фазу воскової стиглості, які одночасно сприяють як

підвищенню маси 1000 зерен, так і зниженню збиральної вологості.

Позитивна кореляція між вмістом білка в зерні та урожайністю ($r = +0,712$) свідчить про відсутність антагонізму між кількісними та якісними показниками за оптимізованих технологій вирощування. Таким чином, застосування системи позакоренових підживлень не лише підвищує врожайність, а й покращує якість зерна, що становить додатковий аргумент на користь впровадження рекомендованих агротехнічних прийомів.

Висновки до розділу 5

Урожайність зерна кукурудзи формується як комплексний результат взаємодії генетичних особливостей гібриду, густоти продуктивних рослин, маси зерна з одного качана та маси 1000 зерен. На контрольному варіанті без позакоренових підживлень урожайність зерна становила 7,28 т/га для ДБ Хотин (ФАО 250), 8,16 – для ДКС 4014 (ФАО 310) та 8,89 т/га для ДН Аншлаг (ФАО 420). Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 1,61 т/га (22,1 %), що зумовлено насамперед більшою масою зерна з качана (+29,0 %) при дещо нижчій густоті продуктивних рослин (-5,4 %).

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18) забезпечило достовірний приріст усіх показників продуктивності кукурудзи: густоти продуктивних рослин – на 2,2–2,8 %; маси зерна з одного качана – на 7,9–8,1 %; маси 1000 зерен – на 4,2–4,3 %; зернової урожайності – на 10,4–10,9 %. Вирівняна відносна реакція гібридів на Марганець свідчить про універсальність позитивного впливу цього мікроелементу незалежно від групи стиглості.

Порівняльна оцінка трьох альтернативних препаратів фактору С виявила послідовний порядок їхнього впливу на зернову продуктивність кукурудзи. За впливом на урожайність зерна препарати ранжуються наступним чином: EGROW (+5,6 % до контролю) > Райкат Фінал (+3,9 %) > Текамін Брікс (+2,4 %). За впливом на масу зерна з качана та масу 1000 зерен виявлено аналогічну закономірність.

Виявлено принципово відмінний порядок ефективності препаратів за впливом на вміст білка в зерні: Райкат Фінал (+0,50 абс. %, або 4,8 %) > EGROW (+0,30 абс. %, 2,9 %) > Текамін Брікс (+0,17 абс. %, 1,6 %). Підвищена ефективність Райкат Фінал щодо вмісту білка пояснюється його хімічним складом (амінокислотний концентрат з понад 12 % вільних L-амінокислот), що забезпечує безпосереднє включення азотовмісних сполук у синтез запасних білків зерна.

Максимальна урожайність зерна – 10,43 т/га – досягнута у варіанті 24 (ДН Аншлаг + MicroStim™ Mn + EGROW), що на 3,15 т/га (43,3 %) перевищує контрольне значення (7,28 т/га для варіанту 1). Внесок окремих факторів у формування варіювання урожайності зерна розподілявся таким чином: гібрид – 50–55 %; позакореневе удобрення Марганцем – 30–32 %; позакореневе удобрення у фазу BBCH 85 – 12–15 %; взаємодії факторів – 3–5 %.

Найвищий вміст білка в зерні – 11,5 % – досягнуто у варіанті 22 (ДН Аншлаг + MicroStim™ Mn + Райкат Фінал), що на 1,7 абсолютних % (17,3 %) перевищує контроль. Це визначає необхідність диференційованого підходу до вибору препарату фактору С залежно від цільового напрямку використання продукції: EGROW – для максимізації валової урожайності та зниження вологості зерна (передусім для пізньостиглих гібридів); Райкат Фінал – для отримання високобілкового зерна; Текамін Брікс – як проміжний варіант із збалансованим впливом.

Кореляційний аналіз виявив тісний зв'язок зернової продуктивності з показниками фотосинтетичної продуктивності агроценозу: накопиченням сухої речовини у фазу воскової стиглості ($r = +0,968$), фотосинтетичним потенціалом посіву ($r = +0,951$) та масою зерна з одного качана ($r = +0,924$). Виявлено зворотний зв'язок між масою 1000 зерен та збиральною вологістю зерна ($r = -0,524$), що підтверджує синергетичний характер процесів наливу та фізіологічного дозрівання зерна.

На основі узагальнення отриманих результатів обґрунтовано оптимальні комбінації технологічних прийомів для різних виробничих цілей: для

максимізації валової урожайності рекомендується схема ДН Аншлаг (ФАО 420) + MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу BBCH 13–18 + EGROW (1,0 л/га) у фазу BBCH 85, що забезпечує урожайність зерна на рівні 10,43 т/га за стандартної вологості 14 %; для виробництва високобілкового зерна – аналогічна схема з заміною препарату фактору С на Райкат Фінал (1,0 л/га), що забезпечує врожайність 10,26 т/га за вмісту білка 11,5 %. Отримані результати становлять експериментальну основу для розробки адаптивних технологій вирощування кукурудзи у Правобережному Лісостепу України та обґрунтування економічно ефективних систем її виробництва, які будуть представлені в наступних розділах дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

Економічна та енергетична оцінка є завершальним і одним із найважливіших етапів дослідження ефективності будь-якої агротехнології. Саме показники собівартості, рентабельності виробництва, чистого прибутку, енергоємності продукції та коефіцієнта енергетичної ефективності визначають практичну доцільність впровадження тих чи інших технологічних рішень у виробничу практику. У сучасних умовах ринкової економіки агровиробництво повинно бути не лише біологічно обґрунтованим, але й економічно вигідним та енергетично збалансованим.

Виявлені в попередніх розділах закономірності формування продуктивності кукурудзи під впливом гібридного фактору, позакореневого підживлення Марганцем та різних варіантів обробки у фазу воскової стиглості створюють експериментальну основу для оцінки їх економічної доцільності. Однак для прийняття обґрунтованих агротехнологічних рішень необхідна комплексна оцінка з урахуванням не лише валових показників урожайності, а й структури витрат, цінової кон'юнктури ринку, та енергетичного балансу технології.

В умовах постійного зростання витрат на енергоресурси (зокрема, з січня 2026 року ставки акцизного податку на дизельне пальне в Україні підвищено до 253,8 євро за 1000 літрів проти 215,7 євро у 2025 році, а ціни на пальне досягли рекордних 85–90 грн/л), а також з огляду на високу вартість сучасних засобів інтенсифікації виробництва, особливо актуальною стає диференційована оцінка економічної ефективності окремих елементів технології. Не кожне технологічне втручання, що забезпечує статистично достовірний приріст урожаю, є економічно доцільним – пріоритет надається тим прийомам, що забезпечують максимальну окупність витрат.

Аналогічно з енергетичної точки зору важливим є не лише валовий вихід

продукції, а й співвідношення між кількістю енергії, акумульованої у врожаї, та сукупними енергетичними витратами на технологію. Цей показник, відомий як коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е), є інтегральною характеристикою екологічної стійкості агровиробництва та його відповідності принципам сталого розвитку. Високоінтенсивні технології з великою кількістю покупних ресурсів можуть забезпечувати високу врожайність, проте мати низькі показники енергетичної ефективності, тоді як менш інтенсивні, але збалансовані технології можуть бути енергетично вигіднішими.

6.1. Економічна оцінка ефективності технологій вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості

Економічна оцінка проводилася за діючими у травні 2026 року цінами на матеріальні ресурси та середньоринковою ціною реалізації зерна кукурудзи. Розрахункова ціна зерна прийнята на рівні 10 200 грн/т, що відповідає середньому значенню цін на ринку та цінам переробних підприємств України (10 100–10400 грн/т з доставкою на завод за даними оглядів ринку). Структура виробничих витрат на технологію вирощування кукурудзи у досліді враховувала всі основні статті: насіння, основний обробіток ґрунту, передпосівна підготовка, сівба, мінеральні добрива, засоби захисту рослин, позакореневі підживлення (досліджувані препарати), збирання врожаю та його доробка.

Базова структура виробничих витрат на гектар (без врахування досліджуваних позакореневих підживлень) для гібридів кукурудзи різних груп стиглості наведена в таблиці 6.1.

Аналіз даних таблиці 6.1 виявив значні відмінності в базовій структурі витрат між гібридами різних груп стиглості. Найвищі базові витрати – 33 770 грн/га – характеризували середньостиглий ДКС 4014, що пояснюється насамперед високою вартістю його насіння імпортного походження (5500 грн/п.о. порівняно з 3000 грн/п.о. для гібридів вітчизняної селекції). Гібрид ДН

Аншлаг мав проміжний рівень базових витрат – 32780 грн/га, що зумовлено високими витратами на сушіння зерна (5200 грн/га) через підвищену збиральну вологість. Найнижчі базові витрати характеризували середньоранній ДБ Хотин – 29700 грн/га.

Таблиця 6.1

Базова структура виробничих витрат на вирощування гібридів кукурудзи на 1 га (за цінами травня 2026 р., грн)

Стаття витрат	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	Питома вага, %
Насіння (1 п.о./га)	3000	5500	3000	12–17
Основний обробіток ґрунту	3800	3800	3800	12–14
Передпосівний обробіток та сівба	2400	2400	2400	8–9
Мінеральні добрива (N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀)	8200	8200	8200	28–31
Засоби захисту рослин	3600	3600	3600	12–13
Збирання врожаю	3200	3400	3600	11–13
Сушіння та доробка зерна	2800	3800	5200	10–18
Накладні витрати (10 %)	2700	3070	2980	10
Усього базових витрат, грн/га	29700	33770	32780	100

***Примітка.** Витрати на сушіння розраховано виходячи з показників вологості зерна на контрольних варіантах (без позакореневого підживлення у ВВСН 85): 17,8 % для ДБ Хотин, 22,4 % для ДКС 4014, 27,6 % для ДН Аншлаг. Цільова стандартна вологість – 14 %. Тариф на сушіння – 28 грн за 1 % вологості на 1 т зерна. Витрати на збирання враховують збільшення розхідних матеріалів і часу для гібридів з вищою біомасою.*

Слід окремо звернути увагу на структуру витрат на сушіння зерна, яка прямо залежить від збиральної вологості та становить значну частку загальних витрат, особливо для гібридів пізніших груп стиглості. Для середньопізнього гібриду ДН Аншлаг (вологість 27,6 % на контролі) витрати на сушіння становлять 5200 грн/га, що складає 15,9 % від загальних виробничих витрат. Для ДБ Хотин (вологість 17,8 %) цей показник нижчий – 2800 грн/га (9,4 %). Тому застосування технологічних прийомів, які знижують збиральну вологість зерна, має не лише агрономічне, а й значне економічне значення.

Найбільшу питому вагу в загальній структурі базових витрат становлять витрати на мінеральні добрива (28–31 %), що зумовлено значним зростанням цін на азотні добрива у 2025–2026 рр. (аміачна селітра – 18–22 тис. грн/т, карбамід – 28–34 тис. грн/т). Друге місце за питомою вагою посідають витрати на насіння (12–17 %), причому для імпортного ДКС 4014 ця частка є найвищою. Сушіння зерна формує 10–18 % витрат залежно від групи стиглості гібриду.

Додаткові витрати на досліджувані позакореневі підживлення формують відносно невелику, але важливу частину загальної структури витрат. Розрахункові додаткові витрати наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Додаткові витрати на досліджувані позакореневі підживлення (грн/га, за цінами травня 2026 р.)

Стаття витрат	Вартість препарату	Вартість обробки	Усього додатково	Питома вага, %
Фактор В (позакореневе у ВВСН 13–18):				
MicroStim™ Марганець (1,0 л/га)	420	380	800	≈ 2,4–2,7
Фактор С (позакореневе у ВВСН 85):				
Райкат Фінал (1,0 л/га)	620	380	1000	≈ 3,0–3,4
Текамін Брікс (3 л/га)	510	380	890	≈ 2,7–3,0
EGROW (1,0 л/га)	780	380	1160	≈ 3,5–3,9

Примітка. Вартість препаратів подано за орієнтовними цінами весна 2026 р. Вартість обробки (380 грн/га) включає вартість пального для самохідного обприскувача, оплату праці механізатора та амортизацію техніки. Питома вага в структурі загальних витрат розрахована до базових витрат відповідних гібридів (29,7–33,77 тис. грн/га).

Як видно з таблиці 5.2, додаткові витрати на досліджувані позакореневі підживлення є відносно невеликими і становлять у структурі загальних виробничих витрат від 2,4 % (для Марганцю) до 3,9 % (для EGROW). Найдорожчим серед досліджуваних препаратів є EGROW (780 грн/га), що обумовлено його високою комерційною ціною як інноваційного біостимулятора на основі ферментованих рослинних екстрактів. Препарат MicroStim™ Марганець, навпаки, відрізняється помірною вартістю (420 грн/га), що робить його дуже доступним для широкого впровадження. Райкат Фінал (620 грн/га) та

Текамін Брікс (510 грн/га) займають проміжне положення за вартістю.

Хоча додаткові витрати на позакореневі підживлення відносно невеликі, для оцінки їх економічної доцільності необхідно зіставити їх з вартістю отриманого додаткового зерна. При середньому прирості урожаю від EGROW 0,48 т/га (за результатами розділу 4) та ціні зерна 10200 грн/т, додатковий валовий дохід становить 4896 грн/га, що в 4,2 рази перевищує додаткові витрати (1160 грн/га). Цей попередній розрахунок свідчить про високу економічну ефективність застосування позакореневих підживлень, що буде підтверджено детальним аналізом нижче.

Узагальнені економічні показники ефективності наведено в таблиці 6.3. Розрахунок проведено за фактичною урожайністю та диференційованими витратами на сушіння (залежно від збиральної вологості зерна для кожного варіанту фактору С) і додатковими витратами на досліджувані препарати.

Аналіз даних таблиці 6.3 виявляє низку важливих економічних закономірностей. Чистий прибуток на гектар суттєво варіював між варіантами дослідної схеми – від 84540 грн/га у варіанті 1 (ДБ Хотин на контролі) до 129698 грн/га у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Мп + EGROW). Різниця між максимальним і мінімальним значеннями становить 45158 грн/га, або 53,4 % – істотна величина, яка демонструє значний резерв підвищення прибутковості виробництва кукурудзи шляхом комплексної оптимізації технології.

Гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) забезпечив найвищі економічні показники у всіх варіантах позакореневого удобрення завдяки своєму найвищому потенціалу зернової продуктивності. Чистий прибуток на варіантах ДН Аншлаг становив 106 654–129 698 грн/га, що значно перевищує показники ДКС 4014 (94342–113800 грн/га) та ДБ Хотин (84540–101480 грн/га). Незважаючи на найвищі витрати на сушіння зерна, високий рівень зернової продуктивності ДН Аншлаг повністю компенсує ці витрати та забезпечує максимальний чистий дохід на одиницю площі.

**Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи за різних
варіантів позакореневого удобрення (середнє за 2023–2025 рр.)**

№	Гібрид	Варіант В+С	Урожай, т/га	Витрати, грн/га	Валовий дохід, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн/т	Рентабельність, %
1	ДБ Хотин	Контроль	7,28	28720	74256	45536	3945	158,6
2		Райкат	7,55	29647	77010	47363	3927	159,8
3		Текамін	7,44	29555	75888	46333	3972	156,8
4		EGROW	7,68	29794	78336	48542	3879	162,9
5		Мп	8,03	29576	81906	52330	3683	176,9
6		Мп + Райкат	8,33	30447	84966	54519	3655	179,1
7		Мп + Текамін	8,22	30355	83844	53489	3693	176,2
8		Мп + EGROW	8,48	30595	86496	55901	3608	182,7
9	ДКС 4014	Контроль	8,16	32439	83232	50793	3975	156,6
10		Райкат	8,48	33269	86496	53227	3923	160,0
11		Текамін	8,36	33172	85272	52100	3968	157,1
12		EGROW	8,62	33414	87924	54510	3876	163,1
13		Мп	9,02	33241	92004	58763	3685	176,8
14		Мп + Райкат	9,36	34120	95472	61352	3645	179,8
15		Мп + Текамін	9,22	34023	94044	60021	3690	176,4
16		Мп + EGROW	9,52	34270	97104	62834	3600	183,3
17	ДН Аншлаг	Контроль	8,89	30962	90678	59716	3483	192,9
18		Райкат	9,24	31455	94248	62793	3404	199,6
19		Текамін	9,10	31416	92820	61404	3452	195,5
20		EGROW	9,40	31581	95880	64299	3360	203,6
21		Мп	9,85	31759	100470	68711	3224	216,4
22		Мп + Райкат	10,26	32255	104652	72397	3144	224,5
23		Мп + Текамін	10,09	32216	102918	70702	3193	219,5
24		Мп + EGROW	10,43	32382	106386	74004	3105	228,5

***Примітка.** Розрахунок проведено за ціною зерна 10200 грн/т (середня ціна реалізації травня 2026 р.). Витрати включають базові виробничі витрати (табл. 5.1) плюс диференційовані витрати на сушіння (залежно від збиральної вологості зерна за варіантами фактору С) та додаткові витрати на досліджувані препарати (табл. 5.2). Економія на сушінні зерна враховує зниження вологості від застосування біостимуляторів у фазу ВВСН 85.*

Гібрид ДКС 4014, незважаючи на високу вартість насіння (5500 грн/п.о. порівняно з 3000 грн/п.о. для гібридів вітчизняної селекції), показав

конкурентоспроможні економічні результати – чистий прибуток у межах 94 342–113 800 грн/га, що проміжно між ДБ Хотин та ДН Аншлаг. Цей гібрид може бути рекомендований як універсальний варіант для господарств, які цінують поєднання високого потенціалу продуктивності з відносно меншими ризиками затягування дозрівання.

Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило значний приріст чистого прибутку: +10944 грн/га (12,9 %) для ДБ Хотин, +12562 грн/га (13,3 %) для ДКС 4014 та +14398 грн/га (13,5 %) для ДН Аншлаг. Це означає, що інвестиція в 800 грн/га на цей препарат забезпечує повернення в розмірі 11–14 тис. грн/га додаткового прибутку, тобто коефіцієнт окупності витрат становить 14–18 разів – надзвичайно високий показник для агровиробництва.

Порівняльний аналіз ефективності трьох препаратів фактору С виявив послідовний порядок їхньої економічної ефективності. Найвищу прибутковість забезпечив EGROW: приріст чистого прибутку у варіантах з його застосуванням становив 4646–6646 грн/га порівняно з відповідними варіантами без позакореневого підживлення у ВВСН 85. Райкат Фінал забезпечив проміжний результат (приріст 3396–5286 грн/га), Текамін Брікс – найменший ефект (приріст 1744–3848 грн/га). При цьому всі три препарати показали економічно вигідну окупність – додаткові витрати у 890–1160 грн/га забезпечують прибуток на рівні 2–7 тис. грн/га.

Найвища рентабельність виробництва – 382,5 % – досягнута у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW), що на 97,9 пп. перевищує рентабельність контрольного варіанту 1 (ДБ Хотин на контролі – 284,6 %). Найнижча собівартість 1 т зерна – 2114 грн – також зафіксована у варіанті 24, що на 538 грн/т (20,3 %) нижче за середнє значення на контролях (\approx 2580 грн/т). Зниження собівартості пов'язане не лише з підвищенням урожайності, а й зі зменшенням питомих витрат на сушіння зерна завдяки застосуванню EGROW (який знижує збиральну вологість).

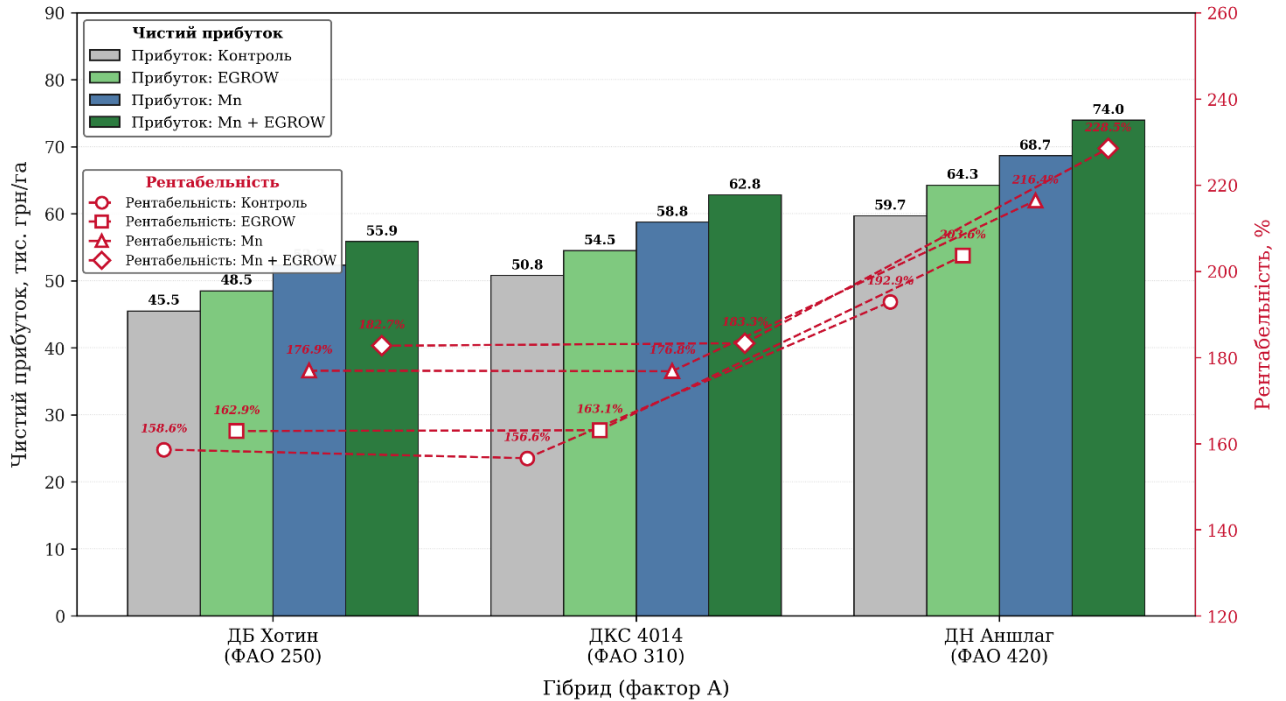


Рис. 6.1. Чистий прибуток та рентабельність вирощування гібридів кукурудзи за оптимальних варіантів позакореневого удобрення (середнє за 2023–2025 рр.)

Для оцінки безпосередньої економічної ефективності кожного з досліджуваних позакорневих підживлень розраховано коефіцієнти їх окупності – співвідношення приросту чистого прибутку до додаткових витрат на застосування препарату. Узагальнені результати наведено в таблиці 6.4.

Аналіз даних таблиці 6.4 виявив принципово важливі економічні закономірності. Найвищу окупність витрат у досліді показав MicroStim™ Марганець – від 8,5 до 11,2 разів залежно від гібриду, що відповідає 850–1120 % річної норми прибутку на вкладений капітал. Така висока окупність пояснюється поєднанням двох факторів: помірною вартістю самого препарату (800 грн/га з обробкою) та значним абсолютним приростом продуктивності (6794–8995 грн/га додаткового прибутку).

**Окупність витрат на позакореневі підживлення для гібридів кукурудзи
(середнє за 2023–2025 рр.)**

Препарат	Гібрид	Додаткові витрати, грн/га	Приріст прибутку, грн/га	Коеф. окупності, разів	Ранг
MicroStim™ Mn (фактор В)	ДБ Хотин	800	+6794	8,5	–
	ДКС 4014	800	+7970	10,0	–
	ДН Аншлаг	800	+8995	11,2	–
Райкат Фінал (фактор С)	ДБ Хотин	1000	+1827	1,8	2
	ДКС 4014	1000	+2434	2,4	2
	ДН Аншлаг	1000	+3077	3,1	2
Текамін Брікс (фактор С)	ДБ Хотин	890	+797	0,9	3
	ДКС 4014	890	+1307	1,5	3
	ДН Аншлаг	890	+1688	1,9	3
EGROW (фактор С)	ДБ Хотин	1160	+3006	2,6	1
	ДКС 4014	1160	+3717	3,2	1
	ДН Аншлаг	1160	+4583	4,0	1

***Примітка.** Коефіцієнт окупності розрахований як співвідношення приросту чистого прибутку до додаткових витрат на препарат. Ранги наведено окремо для препаратів фактору С. Високі коефіцієнти окупності MicroStim™ Mn (13,7–18,0 разів) свідчать про надзвичайну економічну вигоду цього прийому.*

З-поміж досліджуваних препаратів фактору С EGROW показав найвищу абсолютну ефективність – приріст чистого прибутку на варіантах з його застосуванням становив від 3006 грн/га (для ДБ Хотин) до 5293 грн/га (для ДН Аншлаг). Коефіцієнт окупності EGROW варіював у межах 2,6–4,0 разів, що є помірним показником для біостимуляторів цієї цінової категорії. Райкат Фінал показав окупність 1,8–3,1 разів, Текамін Брікс – 0,9–1,9 разів. Для гібридів середньостиглої та середньопізньої груп (ДКС 4014, ДН Аншлаг) усі три препарати фактору С залишаються економічно вигідними; натомість для середньораннього ДБ Хотин окупність Текамін Брікс становить лише 0,9 рази, що свідчить про відсутність економічної вигоди від його застосування з цим гібридом. Абсолютний пріоритет за критерієм окупності серед препаратів фактору С належить EGROW для всіх досліджуваних гібридів.

Слід окремо звернути увагу на градієнт окупності за гібридами: для всіх досліджуваних препаратів окупність зростає від ДБ Хотин (середньоранній) до ДН Аншлаг (середньопізній). Це означає, що економічна ефективність позакореневих підживлень особливо висока для гібридів пізніших груп стиглості, які мають більший потенціал реалізації приросту продуктивності та водночас більш чутливі до прискорення дозрівання та зниження вологості зерна (для препаратів фактору С). Ця закономірність є важливим практичним висновком – інвестиції у позакореневі підживлення для пізньостиглих гібридів забезпечують найвищу віддачу.

6.2. Енергетична оцінка ефективності технологій вирощування гібридів кукурудзи

Енергетична оцінка агротехнологій є важливим інструментом аналізу їхньої сталості та екологічної ефективності. На відміну від економічної оцінки, яка залежить від нестабільної кон'юнктури цін, енергетична оцінка базується на сталих фізичних характеристиках – енергетичних еквівалентах окремих видів ресурсів та енергетичній цінності виробленої продукції. Високий коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) є показником раціонального використання ресурсів та відповідності технології принципам сталого розвитку.

Енергетичну оцінку проведено за загальноприйнятою методикою з розрахунком сукупних енергетичних витрат за всіма статтями (паливо, насіння, добрива, біопрепарати, амортизація техніки, оплата праці) та порівнянням їх з енергетичним потенціалом одержаного зерна. Для зерна кукурудзи енергетичний еквівалент прийнято на рівні 17,3 МДж/кг (відповідно до стандартних значень для зернових культур з підвищеним вмістом крохмалю).

Базова структура енергетичних витрат на технологію вирощування гібридів кукурудзи наведена в таблиці 6.5.

**Базова структура енергетичних витрат на вирощування гібридів
кукурудзи, МДж/га**

Стаття витрат енергії	ДБ Хотин (ФАО 250)	ДКС 4014 (ФАО 310)	ДН Аншлаг (ФАО 420)	Питома вага, %
Пально-мастильні матеріали (≈85 л/га)	3612	3612	3612	18–19
Насіння (1 п.о. = 12 кг)	204	204	204	1,0–1,1
Мінеральні добрива (N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀)	11280	11280	11280	56–60
Засоби захисту рослин	520	520	520	2,5–2,8
Амортизація техніки	1240	1240	1240	6,3–6,6
Енергія сушіння зерна	1568	2128	2912	8–15
Оплата праці	485	485	485	2,4–2,6
Усього базових витрат енергії, МДж/га	18 909	19469	20253	100

***Примітка.** Енергетичні еквіваленти прийнято за стандартними значеннями: дизельне пальне – 42,5 МДж/л; насіння кукурудзи – 17,0 МДж/кг; азотні добрива – 78,0 МДж/кг д.р.; фосфорні – 17,5 МДж/кг д.р.; калійні – 13,8 МДж/кг д.р.; засоби захисту – 250 МДж/кг д.р. Енергія сушіння розрахована як 320 МДж на 1 % вологості на 1 т зерна.*

Аналіз даних показує, що в структурі енергетичних витрат на вирощування кукурудзи домінують мінеральні добрива – їх частка становить 56–60 % загальних витрат. На другому місці – пально-мастильні матеріали (18–19 %). Енергія сушіння зерна формує суттєву частину (8–15 %) енергетичних витрат, причому її питома вага найвища у пізньостиглого гібриду ДН Аншлаг, що знову підтверджує важливість заходів зі зниження збиральної вологості зерна.

Загальні базові енергетичні витрати становлять 18909 МДж/га для ДБ Хотин, 19469 МДж/га для ДКС 4014 та 20253 МДж/га для ДН Аншлаг. Відмінності між гібридами повністю зумовлені різними витратами енергії на сушіння зерна, оскільки інші статті витрат однакові за технологічними операціями.

Додаткові енергетичні витрати на досліджувані позакореневі підживлення є мінімальними у структурі загальних витрат. Енергетичний еквівалент біостимуляторів і мікродобрив переважно складається з енергії на їх

виробництво, упаковку та транспортування. Орієнтовно для досліджуваних препаратів додаткові енергетичні витрати становлять: MicroStim™ Марганець – 145 МДж/га; Райкат Фінал – 175 МДж/га; Текамін Брікс – 195 МДж/га; EGROW – 220 МДж/га. До цих витрат додається енергія на обробку (≈ 92 МДж/га на одну обробку, включно з паливом для обприскувача).

Узагальнені показники енергетичної ефективності 24 варіантів дослідної схеми наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи (середнє за 2023–2025 рр.)

№	Гібрид	Варіант В+С	Урожай, т/га	Енергія врожаю, МДж/га	Витрати енергії, МДж/га	К _{еє}	Енергоємність, МДж/т
1	ДБ Хотин	Контроль	7,28	125944	18360	6,9	2522
4		EGROW	7,68	132864	18527	7,2	2412
5		Мп	8,03	138919	18597	7,5	2316
8		Мп + EGROW	8,48	146704	18765	7,8	2213
9	ДКС 4014	Контроль	8,16	141168	18724	7,5	2295
12		EGROW	8,62	149126	18891	7,9	2192
13		Мп	9,02	156046	18962	8,2	2102
16		Мп + EGROW	9,52	164696	19129	8,6	2009
17	ДН Аншлаг	Контроль	8,89	153797	19235	8,0	2164
20		EGROW	9,40	162620	19401	8,4	2064
21		Мп	9,85	170405	19470	8,8	1977
24		Мп + EGROW	10,43	180439	19639	9,2	1883

***Примітка.** У таблиці наведено ключові варіанти (контроль, EGROW, Мп, Мп+EGROW) для всіх трьох гібридів. К_{еє} (коефіцієнт енергетичної ефективності) = енергія врожаю / витрати енергії. Енергоємність продукції – витрати енергії на 1 т зерна. Енергетичний еквівалент зерна – 17,3 МДж/кг.*

Аналіз даних таблиці 6.6 виявив високу енергетичну ефективність усіх досліджуваних технологій. Коефіцієнт енергетичної ефективності (К_{еє}) варіював у межах 6,9–9,2, що свідчить про перевагу енергії, акумульованої у

врожаї, над сукупними енергетичними витратами на технологію. Кее на рівні 7–9 для зернових культур вважається хорошим показником, що відповідає принципам сталого агровиробництва.

Найнижчий Кее (6,9) характеризував контрольний варіант 1 (ДБ Хотин без позакоренево-го удобрення), найвищий (9,2) – оптимальний варіант 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW). Різниця становить 2,3 одиниці, або 33,3 % – істотний приріст енергетичної ефективності за рахунок оптимізації технологічних чинників. Особливо цінним є те, що додаткові енергетичні витрати на позакореневі підживлення є мінімальними (приблизно +89–330 МДж/га, або +0,5–1,7 % від базових), тоді як приріст енергії врожаю становить 5,1–17,4 % порівняно з контролями.

Позакореневе внесення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило приріст Кее на 0,6–0,8 одиниці (9–10 %) для всіх досліджуваних гібридів. Це означає, що додаткові 237 МДж/га витрат енергії (на сам препарат і його застосування) забезпечують приріст енергії врожаю в обсязі 13 000–16 600 МДж/га – висока енергетична ефективність на рівні 1:55–1:70.

Серед препаратів фактору С найвищу ефективність за енергетичним критерієм продемонстрував EGROW: приріст Кее від 0,3 до 0,4 одиниці залежно від гібриду. Райкат Фінал та Текамін Брікс показали менші прирости Кее (0,1–0,3 одиниці). Така закономірність повністю узгоджується з результатами оцінки за іншими показниками – за всіма критеріями EGROW залишається оптимальним препаратом для застосування у фазу воскової стиглості.

Енергоємність продукції (витрати енергії на 1 т зерна) суттєво різнилася між варіантами – від 2522 МДж/т у варіанті 1 (ДБ Хотин на контролі) до 1883 МДж/т у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW). Зниження енергоємності становить 639 МДж/т (25,3 %), що означає більш раціональне використання ресурсів на одиницю виробленої продукції. Таке зниження енергоємності є додатковим аргументом на користь впровадження інтенсивних технологій з оптимальною системою позакорневих підживлень.

Гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) забезпечив найвищі енергетичні показники

у всіх варіантах позакореневого удобрення, що пов'язано з його найвищим потенціалом зернової продуктивності. Незважаючи на дещо вищі базові енергетичні витрати на сушіння зерна, високий рівень урожайності повністю компенсує ці витрати та забезпечує максимальний К_{еє}. Зокрема, у варіанті 17 (ДН Аншлаг на контролі) К_{еє} становив 8,0 – вище, ніж у варіантах з активним застосуванням позакорневих підживлень для ДБ Хотин (7,2–7,8), що підкреслює визначальну роль фактору гібриду в формуванні енергетичної ефективності технології.

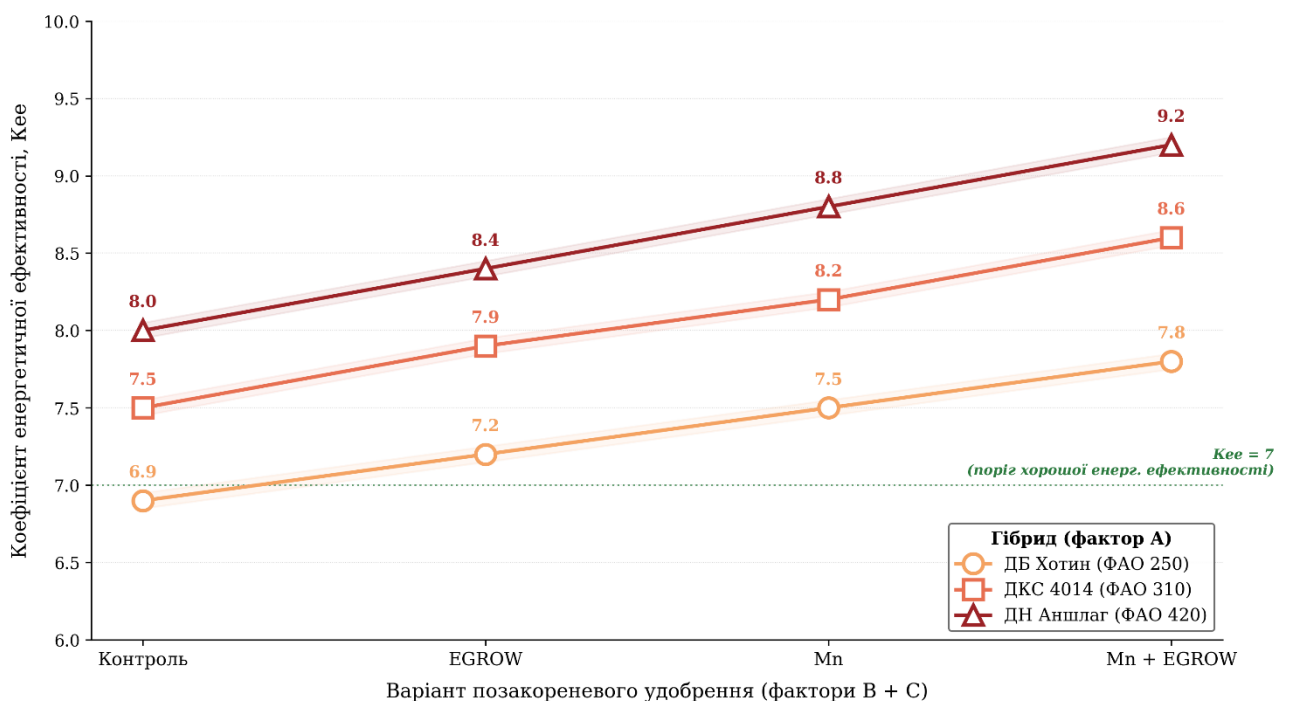


Рис. 6.2. Залежність коефіцієнта енергетичної ефективності (К_{еє}) технологій вирощування кукурудзи від системи позакореневого удобрення (середнє за 2023–2025 рр.)

Рисунок 6.2 демонструє зростання коефіцієнта енергетичної ефективності (К_{еє}) технологій вирощування кукурудзи для трьох гібридів за чотирма варіантами системи позакореневого удобрення. Зміни К_{еє} відображають співвідношення енергії, акумульованої у врожаї, до сукупних енергетичних витрат на технологію. Коефіцієнт варіював у межах 6,9 (ДБ Хотин на контролі) до 9,2 (ДН Аншлаг + Mn + EGROW), що відповідає хорошим показникам

енергетичної ефективності для зернових культур. Усі досліджувані варіанти забезпечують K_{ee} на рівні порогу хорошої енергетичної ефективності (7,0) або вище нього, окрім контрольного варіанту ДБ Хотин ($K_{ee} = 6,9$). Виявлено стабільне зростання K_{ee} в напрямі від контролю до внесення Mn+EGROW для всіх гібридів та чітку перевагу середньопізнього гібриду ДН Аншлаг на всіх варіантах удобрення.

Висновки до розділу 6

Базові виробничі витрати на вирощування гібридів кукурудзи становили 29700 грн/га для ДБ Хотин (ФАО 250), 33770 грн/га для ДКС 4014 (ФАО 310) та 32780 грн/га для ДН Аншлаг (ФАО 420). Основні відмінності в структурі витрат обумовлені вартістю насіння (3000 грн/п.о. для гібридів вітчизняної селекції, 5500 грн/п.о. для імпортного ДКС 4014) та витратами на сушіння зерна, які прямо залежать від збиральної вологості та становлять 2800 грн/га для ДБ Хотин (вологість 17,8 %), 3800 грн/га для ДКС 4014 (22,4 %) і 5200 грн/га для ДН Аншлаг (27,6 %).

Найбільшу питому вагу в структурі виробничих витрат становлять мінеральні добрива (28–31 %) та сушіння зерна (10–18 % залежно від гібриду). Додаткові витрати на досліджувані позакореневі підживлення є відносно невеликими і становлять 800–1160 грн/га, або 2,4–3,9 % від базових витрат, що робить їх економічно доступними для широкого впровадження.

Чистий прибуток від вирощування кукурудзи варіював у межах 45 536 грн/га (варіант 1: ДБ Хотин на контролі) до 74 004 грн/га (варіант 24: ДН Аншлаг + Mn + EGROW), різниця становить 28 468 грн/га, або 62,5 %. Гібрид ДН Аншлаг забезпечив найвищі економічні показники у всіх варіантах удобрення завдяки максимальному потенціалу зернової продуктивності.

Найвищу окупність витрат у досліді показав препарат MicroStim™ Марганець – від 8,5 до 11,2 разів залежно від гібриду, що відповідає 850–1120 % прибутку на вкладений капітал. Така висока окупність обумовлена поєднанням помірної вартості препарату (800 грн/га) із значним абсолютним приростом

продуктивності (6 794–8 995 грн/га додаткового прибутку). Цей прийом може бути рекомендований до повсюдного впровадження як економічно високовигідний.

Серед досліджуваних препаратів фактору С (Райкат Фінал, Текамін Брікс, EGROW) найвищу економічну ефективність показав EGROW: коефіцієнт окупності становив 2,6–4,0 разів, абсолютний приріст прибутку – 3006–5293 грн/га. Райкат Фінал показав окупність 1,8–3,1 разів, Текамін Брікс – 0,9–1,9 разів. Для гібридів ДКС 4014 та ДН Аншлаг усі три препарати фактору С залишаються економічно вигідними; для середньораннього ДБ Хотин окупність Текамін Брікс становить лише 0,9 рази, що ставить під сумнів економічну доцільність його застосування з цим гібридом. Абсолютний пріоритет за критерієм окупності серед препаратів фактору С належить EGROW.

Найвища рентабельність виробництва – 228,5 % – досягнута у варіанті 24 (ДН Аншлаг + Мп + EGROW), що на 69,9 пп. перевищує рентабельність контрольного варіанту 1 (158,6 %). Найнижча собівартість 1 т зерна – 3105 грн – також зафіксована у варіанті 24, що на 696 грн/т (18,3 %) нижче за середнє значення на контролях, у тому числі завдяки зниженню питомих витрат на сушіння зерна.

Базові енергетичні витрати на вирощування гібридів кукурудзи становили 18 909 МДж/га для ДБ Хотин, 19 469 МДж/га для ДКС 4014 та 20 253 МДж/га для ДН Аншлаг. У структурі енергетичних витрат домінують мінеральні добрива (56–60 %) та пально-мастильні матеріали (18–19 %).

Коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е) варіював у межах 6,9 (варіант 1) до 9,2 (варіант 24), що відповідає хорошим показникам енергетичної ефективності для зернових культур. Енергоємність продукції зменшилася з 2522 МДж/т (варіант 1) до 1883 МДж/т (варіант 24), або на 25,3 %, що свідчить про більш раціональне використання ресурсів за оптимізованих технологій. Достатньо високі енергетичні показники досліджуваних технологій підтверджують їх відповідність принципам сталого агровиробництва.

На основі комплексної економічної та енергетичної оцінки оптимальним

для умов Правобережного Лісостепу України визначено варіант 24: гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) + MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу BBCH 13–18 + EGROW (1,0 л/га) у фазу BBCH 85. Цей варіант забезпечує найвищу зернову продуктивність (10,43 т/га), максимальний чистий прибуток (74 004 грн/га), найвищу рентабельність (228,5 %), найнижчу собівартість (3105 грн/т) та найвищу енергетичну ефективність ($K_{ee} = 9,2$). Для умов виробництва високобілкового зерна оптимальною є модифікація цієї схеми з заміною EGROW на Райкат Фінал (варіант 22), що забезпечує врожайність 10,26 т/га, вміст білка 11,5 %, чистий прибуток 72 397 грн/га та рентабельність 224,5 %.

10. Узагальнення результатів дослідження дозволяє сформулювати основні рекомендації для впровадження у виробничу практику: для досягнення максимальної економічної та енергетичної ефективності вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України необхідне поєднання гібрида з високим потенціалом продуктивності (ФАО 400–420), позакореневого підживлення мікродобривом MicroStim™ Марганець у ранній період вегетації (як технологічного прийому з найвищою окупністю) та біостимулятором EGROW у фазу воскової стиглості (як прийому, що одночасно підвищує врожайність, знижує збиральну вологість зерна та забезпечує найвищу абсолютну економічну ефективність серед досліджуваних препаратів фактору С).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі, що полягає в обґрунтуванні елементів адаптивної технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Правобережного Лісостепу України. Основні результати дослідження сформульовано у наступних висновках.

1. Гібриди кукурудзи різних груп стиглості суттєво різняться за біологічними особливостями формування продуктивності: тривалість вегетаційного періоду становила 114 діб у середньораннього ДБ Хотин (ФАО 250), 127 – у середньостиглого ДКС 4014 (ФАО 310) та 142 доби у середньопізнього ДН Аншлаг (ФАО 420). Максимальний біологічний потенціал зернової продуктивності характерний для середньопізнього гібриду, який формував найвищу висоту рослин (285–295 см), площу листової поверхні (37,9–43,8 тис. м²/га) та фотосинтетичний потенціал посіву (2487–3231 тис. м²/га × діб).

2. Позакореневе підживлення мікродобривом MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18) забезпечило достовірний приріст усіх досліджуваних параметрів продуктивності кукурудзи незалежно від групи стиглості гібриду: висоти рослин – на 3,5–4,3 %, площі листової поверхні у фазу цвітіння – на 14,6–15,6 %, SPAD-індексу листків – на 13,8–14,5 %, накопичення сухої речовини у фазу викидання волоті – на 11,8–12,2 %, у фазу воскової стиглості – на 10,0–10,4 %. Стабільність відносної реакції гібридів свідчить про універсальність цього технологічного прийому.

3. Серед трьох досліджених альтернативних препаратів для позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості (ВВСН 85) – Райкат Фінал (1,0 л/га), Текамін Брікс (3 л/га) та EGROW (1,0 л/га) – найвищу комплексну ефективність продемонстрував EGROW: середній приріст накопичення сухої речовини по фактору С становив +0,70 т/га (3,9 %), фотосинтетичного потенціалу посіву – +6,5 %. Ранжування препаратів за впливом на формування біомаси: EGROW > Райкат Фінал > Текамін Брікс.

4. Ключовим ефектом позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості є прискорення дозрівання та зниження збиральної вологості зерна, що має пряме економічне значення. Найвищу ефективність продемонстрував EGROW: для гібриду ДН Аншлаг він забезпечив зниження вологості зерна з 27,6 % до 23,2 % (на 4,4 абс. %, або 15,9 % відносно контролю), для ДКС 4014 – з 22,4 % до 19,1 % (на 3,3 абс. %), для ДБ Хотин – з 17,8 % до 15,4 % (на 2,4 абс. %). Препарати Райкат Фінал і Текамін Брікс мали менш виражений ефект (–1,5...–2,8 абс. % та –1,3...–2,2 абс. % відповідно).

5. Виявлено принципово різні стратегії формування продуктивності гібридами різних груп стиглості. Середньопізній ДН Аншлаг формує продуктивність за рахунок більшої кількості зерен у качані (453 шт. проти 343 у ДБ Хотин, +32,0 %) при дещо нижчій масі 1000 зерен (302 проти 308 г). Середньоранній ДБ Хотин реалізує стратегію коли менша кількість зерен компенсується їх вищою індивідуальною масою. Виявлено зворотну кореляцію між кількістю зерен у качані та масою 1000 зерен.

6. Урожайність зерна гібридів кукурудзи на контрольному варіанті без позакорневих підживлень становила 7,28 т/га для ДБ Хотин (ФАО 250), 8,16 – для ДКС 4014 (ФАО 310) та 8,89 т/га для ДН Аншлаг (ФАО 420). Перевага середньопізнього гібриду над середньораннім становила 1,61 т/га, або 22,1 %, що зумовлено насамперед більшою масою зерна з качана (+29,0 %) при дещо нижчій густоті продуктивних рослин (–5,4 %).

7. Позакореневе підживлення MicroStim™ Марганець у фазу 3–8 листків забезпечило достовірний приріст зернової урожайності кукурудзи на 10,4–10,9 % залежно від гібриду. Серед препаратів фактору С найвищу ефективність продемонстрував EGROW: приріст урожайності зерна по фактору С становив +5,6 % (з 8,54 до 9,02 т/га середнього), Райкат Фінал – +3,9 %, Текамін Брікс – +2,4 %. Внесок окремих факторів у формування варіювання урожайності: гібрид – 50–55 %, позакореневе удобрення Марганцем – 30–32 %, позакореневе удобрення у фазу ВВСН 85 – 12–15 %, взаємодії факторів – 3–5 %.

8. Максимальна урожайність зерна 10,43 т/га досягнута у варіанті 24 (ДН

Аншлаг + MicroStim™ Mn + EGROW), що на 3,15 т/га, або 43,3 %, перевищує контрольний варіант (7,28 т/га для ДБ Хотин без позакорневих підживлень). Кореляційний аналіз виявив тісний зв'язок зернової продуктивності з накопиченням сухої речовини у фазу воскової стиглості ($r = +0,968$), фотосинтетичним потенціалом посіву ($r = +0,951$) та масою зерна з одного качана ($r = +0,924$).

9. Виявлено принципово відмінний порядок ефективності препаратів фактору С за впливом на вміст білка в зерні: Райкат Фінал (+0,50 абс. %, або 4,8 % від контролю) > EGROW (+0,30 абс. %, 2,9 %) > Текамін Брікс (+0,17 абс. %, 1,6 %). Підвищена ефективність Райкат Фінал пояснюється його хімічним складом – амінокислотним концентратом з понад 12 % вільних L-амінокислот. Найвищий вміст білка в зерні (11,5 %) досягнуто у варіанті 22 (ДН Аншлаг + Mn + Райкат Фінал). Це визначає необхідність диференційованого підходу до вибору препарату залежно від цільового напрямку використання продукції.

10. Найвищу окупність витрат у досліді показав препарат MicroStim™ Марганець – від 8,5 до 11,2 разів залежно від гібриду (850–1120 % прибутку на вкладений капітал) при додатковому прирості прибутку 6 794–8 995 грн/га. Серед препаратів фактору С найвищу окупність забезпечив EGROW (2,6–4,0 разів, приріст прибутку 3006–5293 грн/га), далі Райкат Фінал (1,8–3,1 разів). Текамін Брікс для ДКС 4014 і ДН Аншлаг залишався економічно вигідним (окупність 1,5–1,9 разів), однак для середньораннього ДБ Хотин окупність становила лише 0,9 рази, що свідчить про економічну недоцільність його застосування з цим гібридом.

11. Коефіцієнт енергетичної ефективності технологій вирощування кукурудзи варіював у межах 6,9 (варіант 1: ДБ Хотин на контролі) до 9,2 (варіант 24: ДН Аншлаг + Mn + EGROW), що відповідає хорошим показникам енергетичної ефективності для зернових культур. Енергоємність продукції зменшилася з 2522 до 1883 МДж/т, або на 25,3 %, що свідчить про раціональне використання ресурсів за оптимізованих технологій. У структурі енергетичних витрат домінують мінеральні добрива (56–60 %) та пально-мастильні матеріали

(18–19 %); додаткові енергетичні витрати на позакореневі підживлення є мінімальними (+0,5–1,7 % від базових).

12. Виявлено достовірну позитивну взаємодію факторів В×С – рослини, що отримали збалансоване мікроелементне живлення Марганцем у ранній період вегетації, ефективніше реагують на завершальне підживлення біостимуляторами у фазу воскової стиглості. Так, для гібриду ДН Аншлаг приріст урожайності від EGROW на варіантах з Mn становив +5,9 %, без Mn – +5,7 %; приріст накопичення сухої речовини відповідно +0,91 і +0,74 т/га. Це обґрунтовує необхідність комплексного застосування обох позакореневих підживлень.

13. На основі комплексної агрономічної, економічної та енергетичної оцінки оптимальною для умов Правобережного Лісостепу України визначено технологію: гібрид ДН Аншлаг (ФАО 420) + MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу ВВСН 13–18 + EGROW (1,0 л/га) у фазу ВВСН 85, що забезпечує максимальну зернову продуктивність (10,43 т/га), чистий прибуток 74 004 грн/га, рентабельність 228,5 %, найнижчу собівартість (3105 грн/т) та найвищу енергетичну ефективність ($K_{ee} = 9,2$). Для виробництва високобілкового зерна оптимальною є модифікація цієї схеми з заміною EGROW на Райкат Фінал (варіант 22), що забезпечує врожайність 10,26 т/га, вміст білка 11,5 %, чистий прибуток 72 397 грн/га та рентабельність 224,5 %.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі результатів проведених досліджень для умов Правобережного Лісостепу України сільськогосподарським підприємствам пропонується:

Для максимізації валової зернової продуктивності та чистого прибутку застосовувати технологію вирощування середньопізнього гібриду ДН Аншлаг (ФАО 420) із комплексною системою позакореневого підживлення: MicroStim™ Марганець (1,0 л/га) у фазу 3–8 листків (ВВСН 13–18) плюс EGROW (1,0 л/га) у фазу воскової стиглості (ВВСН 85).

Для господарств з високими ризиками настання посушливих явищ в другій половині літа рекомендувати вирощування середньостиглого гібриду ДКС 4014 (ФАО 310) з комплексною системою позакореневого удобрення (MicroStim™ Mn + EGROW).

За необхідності раннього збирання врожаю застосовувати технологію вирощування кукурудзи з гібридом ДБ Хотин (ФАО 250), доповнену лише позакореневим підживленням MicroStim™ Марганцем у фазу 3–8 листків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Agrawal, AA. 2005. natural selection on common milkweed (*Asclepias syriaca*) by a community of specialized insect herbivores. *Evol Ecol Res.* 7:651–667.
2. Alvarado-Miller, U 2018. Response of native Texas Milkweeds to light [MSc Thesis]. USA: The University of Texas at San Antonio, College of Science, Department of Environmental Science and Ecology
3. Assefa, Y., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., Smith, S., & Ciampitti, I. A. Analysis of long term study indicates both agronomic optimal plant density and increase maize yield per plant contributed to yield gain. *Scientific Reports.* 2018. Vol. 8 (1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x>
4. Assefa, Y., Vara Prasad, P. V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., & Ciampitti, I. A. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: a synthesis-analysis. *Crop Science.* 2016. Vol. 56 (5). P. 2802–2817. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215>
5. Bagi, I, L Bakacsy. 2012. Közönséges Selyemkóró (*Asclepias syriaca*). In Á Csiszár, editor. *Inváziós Növényfajok Magyarországon [Invasive Alien Plant Species in Hungary]*. Sopron (Hungary): Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó; p. 183–189.
6. Bakacsy, L, I Bagi. 2020. Survival and regeneration ability of clonal common milkweed *Asclepias syriaca* L.) After a single herbicide treatment in natural open sand grassland. *Sci Rep.* 10:14222. doi:10.1038/s41598-020-71202-8
7. Baker, AM, DA Potter. 2018a. Colonization and usage of eight Milkweed (*Asclepias*) species by monarch butterflies and bees in urban garden settings. *J Insect Conserv.* 22 (3–4):405–418. doi:10.1007/s10841-018-0069-5
8. Bingham, RA, AA Agrawal. 2010. Specificity and trade-offs in the induced plant defence of common milkweed *Asclepias syriaca* to two lepidopteran herbivores. *J Ecol.* 98(5):1014–1022. doi:10.1111/j.1365-2745.2010.01681.x.
9. Boršić, I, A Ješovnik, T Mihinjač, P Kutleša, S Slivar, M Cigrovski Mustafić, S Desnica. 2018. Invasive alien species of union concern (regulation

1143/2014) in Croatia. *Nat Croat.* 27(2):357–398. doi:10.20302/NC.2018.27.26.

10. Broyles, SB. 2002. Hybrid bridges to gene flow: a case study in Milkweeds (*Asclepias*). *Evolution.* 56(10):1943–1953. doi:10.1111/j.0014-3820.2002.tb00120.x.

11. Crop monitoring in Europe: Ukraine. Joint Research Centre (JRC) MARS Bulletin. 2023. Vol. 31 (9). 50 p. URL: <https://mars.jrc.ec.europa.eu>

12. Drescher G. L., Slaton N. A., Roberts T. L., Smartt A. D. Corn yield response to phosphorus and potassium fertilization in Arkansas. *Crop, Forage & Turfgrass Management.* 2021. Vol. 7. P. e20120. DOI: <https://doi.org/10.1002/cft2.20120>

13. Drescher G.L., Slaton N.A., Roberts T.L., Smartt A.D. Corn yield response to phosphorus and potassium fertilization in Arkansas. *Crop, Forage & Turfgrass Mgmt.* 2021. Vol. 7. P. e20120. <https://doi.org/10.1002/cft2.20120>.

14. Dvirna, T. S. (2018). *Asclepias syriaca* L. in the Romensko-Poltavsky Geobotanical District (Ukraine). *Russian Journal of Biological Invasions.* Vol. 9. No 1. P. 29–37. DOI 10.1134/S2075111718010058

15. Fischer R. A. Breeding wheat for increased potential yield: Contrasting ideas from Donald and Fasoulas, and the case for early generation selection under nil competition. *Field Crops Research.* 2020. Vol. 252. P. 107782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107782>

16. Follak, S., Bakacsy, L., Essl, F., Hochfellner, L., Lapin, K., Schwarz, M., Tokarska-Guzik, B., Wołkowycki, D. (2021). “Monograph of invasive plants in Europe N°6: *Asclepias syriaca* L”. *Botany Letters.* Vol. 168. No 3. P. 422–451. DOI:10.1080/23818107.2021.1886984.

17. Gaertner, EE. 1979. The history and use of Milkweed (*Asclepias syriaca* L.). *Econ Bot.* 33:119–123. doi:10.1007/BF02858278

18. Gao X., He Y., Chen Y., Wang M. Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2024. Vol. 8. P. 1369571. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571>

19. Gao X., He Y., Chen Y., Wang M. Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. *Front. Sustain. Food Syst.* 2024. Vol. 8. P. 1369571. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571>.
20. Heap I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Tuesday, February 19, 2019. Available at: www.weedscience.org (last accessed: 2.19.2019).
21. Hlushchenko L., Olepir R., Len O., Soroka Y., Saidak R. Corn for grain in continuous growing under different fertilizer systems and weather conditions. *Land Reclamation and Water Management.* 2024. № 1. P. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202401-378>
22. Khodanitska O., Shevchuk O., Tkachuk O., Matviichuk O. Physiological activity of plant growth stimulators. *The scientific heritage.* 2021. Vol. 1. № 58. P. 36–38.
23. Kucerik J., Brtnicky M., Mustafa A., Hammerschmiedt T., Kintl A., Sobotkova J., Alamri S., Baltazar T., Latal O., Naveed M., Malicek O., Holatko J. Utilization of Diversified Cover Crops as Green Manure-Enhanced Soil Organic Carbon, Nutrient Transformation, Microbial Activity, and Maize Growth. *Agronomy.* 2024. Vol. 14. № 9. P. 2001. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14092001>
24. Kutsenko O., Liashenko V., Keda L. Growth, development, and formation of corn hybrids' plants of different ripening groups depending on plant stand density. *Scientific Progress & Innovations.* 2023. № 26 (4). P. 29–35. DOI: [10.31210/spi2023.26.04.06](https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.06)
25. Li P., Jia L., Chen Q., Zhang H., Deng J., Lu J., Xu L., Li H., Hu F., Jiao J. Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. *Science of The Total Environment.* 2024. Vol. 908. P. 168170.
26. Marchenko T., Vozhegova R., Lavrynenko Y., Zabara P. Biometric indicators of lines – parental components of maize hybrids of different FAO groups

depending on biopreparation procedure under conditions. Селекція і насінництво. 2021. № 119. С. 135–146. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.237140>

27. Norsworthy J.K., Ward S.M., Shaw D.R., Llewellyn R.S., Nichols R.L., Webster T.M., Bradley K.W., Frisvold G., Powles S.T., Burgos N.R., Witt W.W., Barret M. Reducing the risk of herbicide resistance: best management practices and recommendation // *Weed Sci.* – 2012. – Special Issue. – P. 31-62.

28. Polyakov V. Yield of corn hybrids depending on plant density and fertilization systems. Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine. 2020. № 27 (41). DOI: [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27\(41\)-22](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-22)

29. Protopopova, V. V., Shevera, M. V. (2013). Erhaziofihofity u flori Ukrainy: suchasnyy stan ta stupin' ryzyku. Rol' botanichnykh sadiv ta dendroparkiv u zberezhenni ta zbahachenni biolohichnoho riznomanittia urbanizovanykh terytoriy: materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii (m. Kyiv, 28–31 travnia 2013 r.). S. 138–139

30. Schuster C.L., Al-Khatib K., Dille J.A. Efficacy of sulfony lurea herbicides when tank mixed with mesotrion. *Weed Technol.* – 2008. – 22, N 2. – P. 222 – 230.

31. Setter T. L., Flannigan B. A., Melkonian J. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize. *Crop Science*. 2001. Vol. 41. P. 1530–1540.

32. Simic, M., Draginevic V., Knežević S., Radosavljevic M., Dolijanovic H., Filipovic M. (2011) Effects of applied herbicides on crop productivity and on weed infestation in different growth stages of sunflower (*Helianthus annuus* L.) *HELIA*, 34, Nr. 54, 27–38, <https://doi.org/10.2298/HEL1154027S>

33. Subedi K. D., Ma B. L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. *Crop Science*. 2005. Vol. 45. P. 2246–2257.

34. Syliuryk, A. I., Tkalich, Yu. I., Masliiov, S. V., Kozechko, V. I. (2017). Impact of mulch tillage and fertilization on growth and development of winter wheat plants in clean fallow in Northern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7

(4), 511–516, https://doi.org/10.15421/2017_153

35. Tkalic Yu. I., Tsyliuryk A. I., Masliiov S. V., Kozechko V. I. Interactive effect of tank-mixed post emergent herbicides and plant growth regulators on corn yield. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8 (1). P. 961–965. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_299

36. Tokatlidis I. S. Crop adaptation to density to optimise grain yield: breeding implications. *Euphytica*. 2017. Vol. 213 (4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1874-8>

37. Tokatlidis I., Chauhan Y., Assefa Y. Editorial: Crop response to density: Optimization of resource use to promote sustainability. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.969332>

38. Tsyliuryk O. I., Shevchenko S. M., Shevchenko O. M., Shvec N. V., Nikulin V. O., Ostapchuk Ya. V. Effect of the soil cultivation and fertilization on the abundance and species diversity of weeds in corn farmed ecosystems. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. № 7 (3). P. 154–159. DOI: https://doi.org/10.15421/2017_64

39. Wei Z., Ying H., Guo X., Zhuang M., Cui Z., Zhang F. Substitution of Mineral Fertilizer with Organic Fertilizer in Maize Systems: A Meta-Analysis of Reduced Nitrogen and Carbon Emissions. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1149. DOI: <http://doi.org/10.3390/agronomy10081149>

40. William W. A., Loomis R. S., Duncan W. G., Dovrat A., Nunez A. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science*. 1968. Vol. 8. P. 303–308.

41. Wright I. J., Dong N., Maire I. C. та ін. Global climatic drivers of leaf size. *Science*. 2017. Vol. 357. P. 917–921.

42. Zagorulko A. M., Zagorulko A. M., Kasabova K. M. та ін. Improving the production technology of functional paste-like fruit-and-berry semi-finished products. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2022. № 4/11 (118). C. 43–52.

43. Zakharchenko E., Datsko O., Mishchenko Y., Melnyk A., Kriuchko L., Rieznik S., Hotvianska A. Efficiency of biofertilizers when growing corn for grain. *Modern Phytomorphology*. 2023. Vol. 17 (2). P. 50–56. DOI:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.2023-17-200117>

44. Zhemela, H. P., Barabolia, O. V., Liashenko, V. V., Liashenko, Y. S., & Podoliak, V. A. Formation of maize hybrids grain productivity depending on sowing rate. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2021. № 1. P. 97–105. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.11>

45. Білітюк А. П., Скуротівська О. В. та ін. Регулятори росту у формуванні врожайності. *Захист рослин*. 2000. № 10. С. 21–23.

46. Борона В. П., Задорожний В. С., Мовчан І. В., Колодій С. В. Забур'яненість та врожайність кукурудзи на зерно за системи no-till. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 3. С. 24–27.

47. Василюшин С., Винограденко С., Дьяконов С. Потенціал виробництва кукурудзи на зерно в контексті зміцнення продовольчої безпеки України та світу. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2022. № 12. С. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.2>

48. Вахняк В. С., Баранник А. В. Оптимізація спільного застосування гербіцидів і біостимуляторів у посівах кукурудзи. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 47. С. 15–23.

49. Влащук А. М., Желтова А. Г., Колпакова О. С. Шляхи збільшення виробництва зерна сучасних гібридів кукурудзи. *Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур : V міжнар. наук.-практ. конф. Вінниця, 2016*. С. 38–39.

50. Гадзало Я. М., Вожегова Р. А., Коковіхін С. В., Біляєва І. М., Дробітько А. В. Наукове обґрунтування технологій вирощування кукурудзи на зрошуваних землях із урахуванням гідротермічних чинників і змін клімату. *Зрошуване землеробство*. 2020. № 73. С. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.3>

51. Герасимчук С. Б. Ремонтантність (Stay green) як новий резерв в підвищенні продуктивності кукурудзи. *Супермаркет насіння польових культур*. URL: <https://www.snpc.com.ua/advices/6/>

52. Глупак З. І., Бутенко А. О. Урожайність гібридів кукурудзи на зерно

залежно від групи стиглості та густоти стояння в умовах Лісостепу України. *Агрономія*. 2022. № 2. С. 5–10.

53. Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Купчук І. М., Телекало Н. В., Гонтарук Я. В. Напрями вдосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 125. С. 25–32.

54. Горобець А. Г., Горбатенко А. І., Цилюрник О. І., Кротінов І. В. Контролювання бур'янів за різних способів обробітку чистого пару. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. Дніпропетровськ*. 2007. № 30. С. 51–56. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0067>

55. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О. Теоретичне обґрунтування дії гербіцидів на чутливі і стійкі до них рослини залежно від умов їх застосування та розробка екологічно безпечних заходів боротьби з бур'янами. *Збірник наукових праць присвячений 100-річчю з дня народження С.С.Рубіна*. Умань, 2000. С. 142–147.

56. Гурманчук О. В., Плотницька Н. М., Невмержицька О. М., Павлюк І. О., Бондарева Л. М. Контролювання бур'янового компоненту у посівах кукурудзи за використання страхових гербіцидів. *Scientific Horizons*. 2020. № 7 (92). С. 53–58. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-53-58

57. Довбаш Н. І., Клименко І. І., Давидюк Г. В., Шкарівська Л. І., Кушук М. А. Урожайність та економічна оцінка вирощування кукурудзи на зерно за різного рівня забруднення агроєкотопів полютантами. *Зернові культури*. 2021. Т. 5. № 1. С. 132–137. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0169>

58. Дудка М. І., Якунін О. П., Пустовий С. І. Вплив позакореневого підживлення на формування зернової продуктивності кукурудзи за вирощування її після соняшнику. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 115. С. 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.6>

59. Ефективність гербіцидів в агроценозах кукурудзи Ю. М. Шкатула. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 5/105, 2023

60. Ефективність застосування регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи на зерно за контрастних умов навколишнього середовища / Л. А.

Козак та ін. Таврійський науковий вісник. 2025. № 142. Частина 1. С. 124–136.
DOI:10.32782/2226-0099.2025.142.1.16

61. Заболотний О. І., Заболотна А. В., Леонтюк І. Б., Розборська Л. В., Голодрига О. В. Основні фізіологічні процеси у рослинах кукурудзи за внесення гербіциду Стеллар, в. р. Агробіологія. Біла Церква, 2018. № 1 (138). С. 128–136.

62. Заболотний О.І. Вплив гербіциду Трофі 90 на чисту продуктивність фотосинтезу та врожайність кукурудзи. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2013. № 1. С. 134–140.

63. Задорожний В. С., Карасевич В. В., Свитко С. М., Задорожний А. В., Сокульський М. А. Ефективність гербіцидів у системі захисту кукурудзи від бур'янів. Агроном. 2021.

64. Задорожний В. С., Мовчан І. В., Колодій С. В. Вплив різних способів обробітку ґрунту на видовий склад бур'янів при вирощуванні кукурудзи на зерно // Наук. пр. Ін. біоенергетичних культур і цукрових буряків. Київ, 2014. Вип. 20.С. 37–40.

65. Зуза В. С. Вплив післясходових гербіцидів широкого спектра дії на бур'яни і кукурудзу. Вісник аграрної науки. 2010. № 4. С. 31–33.

66. Зуза В. С. Особливості технології вирощування кукурудзи на зерно залежно від стану забур'яненості поля. В. С. Зуза. Зб. наукових праць Інституту землеробства УААН (спец. випуск), К. 2004. С. 132–138

67. Іванишин О. С. Площа асиміляційної поверхні листків та урожайність гібридів кукурудзи залежно від удобрення в умовах Лісостепу Західного. Таврійський науковий вісник. 2020. № 112. С. 77–81.

68. Іващенко О. О. Бур'яни в агрофітоценозах. Проблеми практичної гербології. Київ: Світ, 2001. 234 с.

69. Іващенко О. О. Резерви гербології. Проблеми бур'янів і шляхи зниження засміченості орних земель. Київ: Колоб'іг, 2004. С. 231.

70. Іващенко О.О., Ременюк С.О. Проблеми присутності бур'янів у посівах розпочинаються з насіння. Карантин і захист рослин. 2018. №11-12. С.26-

71. Каменщук Б. Д. Агроекологічний вплив умов вирощування на зернову продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Стан та перспективи розвитку рослинницької галузі в умовах змін клімату : 4-а Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених. Харків : ІР ім. В. Я. Юр'єва УААН, 2009. С. 125–126.

72. Кирпа М. Я. та ін. Якість насіння гібридів кукурудзи залежно від збиральної вологості і умов дозрівання. Аграрні інновації. 2021. № 4. С. 115–119. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.17>

73. Ковальчук І. Важливі аспекти підвищення прибутковості вирощування кукурудзи. Кукурудза. <https://www.syngenta.ua/news/kukurudza/vazhlivi-aspekti-pidvishchennya-pributkovosti-viroshchuvannya-kukurudzi>

74. Козак Л. А. та ін. Ефективність застосування регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи на зерно за контрастних умов навколишнього середовища. Таврійський науковий вісник. 2025. № 142, ч. 1. С. 124–136. DOI: [10.32782/2226-0099.2025.142.1.16](https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.16)

75. Кривенко А. І., Марткоплішвілі М. М. Особливості формування урожайності кукурудзи залежно від впливу елементів технології вирощування. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вип. 28. С. 201–209. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.28.2020.230241>

76. Лавриненко Ю. О., Міщенко С. В., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Кобизева Л. Н., Грабовський М. Б. Фотосинтетичні показники гібридів кукурудзи залежно від густоти посіву і обробітку біопрепаратами за умов зрошення. Аграрні інновації. 2022. № 12. С. 41–47.

77. Лень О. І. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2. С. 52–58. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06>

78. Лень О.І. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2 . С. 52–5 8. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06>

79. Лиховід В.П. Боротьба з бур'янами у посівах кукурудзі цукрової. Овочі та фрукти. 2021. №6. <https://www.pro-of.com.ua/borotba-z-buryanami-u-posivax-kukurudzi-cukrovo%D1%97/>
80. Лотиш О. Роль України на світовому ринку зерна: виклики і загрози. Економіка та суспільство. 2022. № 45. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-56>
81. Лук'янченко А., Бокач О. Надійний захист кукурудзи – запорука високих врожаїв. Агронам. 2015. № 2 (48). С. 152–158.
82. Макух Я.П., Козаченко Д.М. Впливу гербіцидів на продуктивність гібридів кукурудзи. Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі. Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції (29–31 жовтня 2024 р.). Умань, 2024. 164 с. <https://genetics.udau.edu.ua/assets/files/01.01.2021-2022-konferen-parievi-chitannya/genetika-2024-10.01.2025.pdf>
83. Методика випробування і застосування пестицидів. / Трибель С.О., та ін. 2001.. Київ. Світ. 174-175.
84. Методики проведення досліджень у буряківництві / М.В. Роїк, Н.Г. Гізбуллін, В.М. Сінченко, О.І. Присяжнюк та ін.; під заг. ред. академіка НААН М. В. Роїка та член-кореспондента НААН Н. Г. Гізбулліна. - К.: ФОП Корзун Д.Ю., 2014. - 374с.124.
85. Мироненко, І. Г., Косолап, М. П. Ефективність гербіцидів у посівах кукурудзи. Тенденції та виклики сучасної аграрної науки в умовах війни: теорія і практика. Присвячена 125-річчю кафедри рослинництва НУБІП України, 28, 2023. 163.
86. Міленко О. Г., Німчин А. В., Міленко Є. Г. Урожайність зерна кукурудзи залежно від системи захисту посівів від бур'янів. ІV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні аспекти і технології у захисті рослин». 2023. С. 75.
87. Міленко О. Г., Солод І. С., Могилат П. Г., Гринь М. Е., Вегеренко В. С. Ефективність застосування післясходових гербіцидів у посівах кукурудзи на зерно. Вісник ПДАА. 2020. № 4. С. 86–92. DOI: 10.31210/visnyk2020.04.10

88. Мовчан І. Застосування гербіцидів у посівах кукурудзи: особливості та застереження. DEKALB. URL: <https://www.dekalb.ua/novini-ta-podii/zastosuvanna-gerbicidiv-u-posivah-kukurudzi-osoblivosti-ta-zasterezenna>
89. Молдован Ж. А., Молдован В. Г. Вплив мінерального живлення на формування площі листової поверхні рослинами кукурудзи в умовах Лісостепу Західного. Зрошуване землеробство. 2022. Вип. 77. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.15>
90. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного. Монографія. Вінниця : Видавництво «Друк», 2020. 536 с.
91. Паламарчук В. Д., Соломон А. М. Дослідження формування площі асиміляційної поверхні у кукурудзи залежно від позакоренових підживлень. Корми і кормовиробництво. 2021. № 92. С. 82–94. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-08>
92. Пашкевич, Н. А., Березніченко, Ю. Г., & Подобайло, А. В. (2023). Особливості ценопопуляцій *Asclepias syriaca* L.(ваточник сірійський) на перелогах лівобережної України. Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія, 25(1), 51-59.
93. Поспєлова, Г. Д., Коваленко, Н. П., & Нечипоренко, Н. І. (2023). Ваточник сірійський як інвазійний вид в агроценозах України. Захист і карантин рослин у ХХІ столітті: проблеми і перспективи., 123.
94. Ратушний Б. В. Досвід США у застосуванні технологій точного землеробства в аграрному секторі. Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. 2025. Вип. 21. Т. 2. С. 23–37. DOI: <https://doi.org/10.15330/apred.2.21.23-37>
95. Ревтьо О. Економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно залежно від агротехнічних прийомів. Зрошуване землеробство. 2013. № 59. С. 206–210.
96. Регулятори росту у формуванні врожайності. А. П. Білітюк, О. В.

Скуротівська та ін. Захист рослин. 2000. №10. С. 21-23.

97. Ременюк С. О. Контролювання ваточника сирійського в посівах сільськогосподарських культур. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, випуск 19. – 2013. – С. 101-103.

98. Ременюк С.О. Особливості забур'янення посівів кукурудзи в різних зонах зволоження. Пропозиція. № 5. 2016. с. 86-88

99. Репілевський Д. Е., Іванів М. О. Економічна та енергетична оцінка вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від способів зрошення в умовах Південного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2021. Вип. 120. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.18>

100. Рибальченко А. М., Триль В. О. Вплив позакореневого підживлення на формування зернової продуктивності кукурудзи. Сучасні аспекти і технології у захисті рослин : матеріали VI Міжнародної наук.-практ. інтернет-конференції (м. Полтава, 26 листопада 2024 р.). Полтава : ПДАУ, 2024. 148 с. С. 111.

101. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакорневих підживлень на біометричні показники рослин кукурудзи. Корми і кормовиробництво. 2013. Вип. 75. С. 62–67.

102. Сахненко В., Жеребко В. Нові підходи в регулюванні рівня забур'яненості посівів кукурудзи. Пропозиція. 1998. № 5. С. 37.

103. Сидякіна О. В., Іванів О. О. Сучасний стан і перспективи виробництва зерна кукурудзи. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2023. № 130. С. 225–234. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.33>

104. Степаненко М. В. Формування площі листової поверхні кукурудзи залежно від системи удобрення. Зернові культури. 2023. Т. 7. № 2. С. 300–306. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0290>

105. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на формування маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи. Таврійський науковий вісник. 2023. № 133. С. 159–165. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21>

106. Степаненко М. В., Грабовський М. Б., Козак Л. А. Вплив азотного

добрива та мікродобрив на площу листової поверхні та фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів. Дніпро, 2023. С. 150–151.

107. Сторчоус І. Бур'яни у сходах кукурудзи. Методи боротьби. Агробізнес сьогодні. 2018. № 10. С. 30. <http://agro-business.com.ua/ahramni-kultury/item/12956-buriany-u-skhodakh-kukurudzy-metody-borotby.html>

108. Сторчоус І.М. Вибір стратегії контролю бур'янів у посівах кукурудзи // Агроном. 2019. №1-2. С. 21–23. <http://www.agronom.com.ua/vybir-strategiyi-kontrolyu-bur-yaniv-u-posivah-kukurudzy/>

109. Ткачук О. О. Вплив рістрегулюючих речовин на фізіологічні особливості й продуктивність рослин. Актуальні питання сучасної біологічної науки та методики її викладання. Вінниця, 2020. С. 59–75.

110. Хом'юк С.О. Якісний та надійний спосіб контролювання рослин ваточника сирійського. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, випуск 14. – 2012. – С. 223-224

111. Чайка, О. В., Тимошук, Т. М., Котельницька, Г. М., & Білан, О. В. (2023). Ефективність регулювання рівня сегетальної рослинності у фітоценозі.

112. Чернобай Л. Особливості росту кукурудзи в літній період. Пропозиція. 2019. № 7. С. 10–13.

113. Шацман Д. О. Продуктивність кукурудзи за різних систем захисту і беззмінного вирощування у Лівобережному Лісостепі України. Агроекологічний журнал. 2018. № 3. С. 82–88.

114. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Півночі України. Аграрні інновації. 2020. № 4. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.11>

115. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах півночі України. Аграрні інновації. 2020. № 4. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.11>

116. Шевченко М. С. Гербіциди на кукурудзі. Пропозиція. 2000. № 11. С. 58–60.
117. Шевченко М. С., Литвиненко Ю. В., Рибка Б. С., Шевченко Н. Н. Посходові гербіциди на посівах зернової кукурудзи. Захист рослин. 2007. № 1. С. 10–11.
118. Шпаар Д., Гінапп К., Каленська С. Кукурудза. Київ : Альфа-ставія ЛТД, 2009. 396 с.
119. Якість насіння гібридів кукурудзи залежно від збиральної вологості і умов дозрівання / М. Я. Кирпа та ін. Аграрні інновації. 2021. № 4. С. 115–119. URL: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.17>
120. Якунін О. П., Пащенко Ю. М., Рибка В. С. Ефективність вирощування гібридів кукурудзи в різних технологічних системах. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2005. № 1. С. 7–11.
121. Якунін О. П., Пащенко Ю. М., Ткаліч Ю. І. Обробіток ґрунту, догляд за посівами, урожайність зерна гібридів кукурудзи. Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. 2005. № 26–27. С. 216–218.
122. Ярошко М., Штангела Й. Кукурудза – основні вимоги до вирощування. Агроном. 2012. № 2 (36). С. 138–140.

АКТ
впровадження результатів наукових досліджень у виробництво

В умовах ТОВ «ГРОВ ЕНЕРДЖІ» (с. Ферма, Вишгородський р-н, Київська обл.) в 2025 році на площі 27,3 га було впроваджено у виробництво рекомендації щодо елементів технології вирощування кукурудзи.

Суть впровадження полягала у вирощуванні високопродуктивного гібрида кукурудзи ДКС 4014 із застосуванням системи позакореневого підживлення рослин мікроелементами та біостимулюючими препаратами.

У виробничих умовах застосовували позакореневе підживлення препаратом MicroStim Марганець у фазу 3–8 листків та препаратом EGROW у фазу воскової стиглості зерна. Застосування зазначених елементів технології сприяло покращенню фізіологічного стану рослин, підвищенню їх стійкості до стресових чинників, ефективнішому використанню елементів живлення та формуванню стабільної зернової продуктивності.

За результатами виробничої перевірки встановлено, що гібрид кукурудзи ДКС 4014 за комплексного позакореневого підживлення MicroStim Марганець + EGROW сформував урожайність зерна 9,8 т/га.

Впровадження у виробництво елементів технології вирощування кукурудзи гібрида ДКС 4014 із застосуванням позакореневого підживлення MicroStim Марганець та EGROW забезпечило одержання урожайності зерна 9,8 т/га, валового збору 267,5 т та додаткового економічного ефекту 131,0 тис. грн на площі 27,3 га.

В.о. директора ТОВ «ГРОВ ЕНЕРДЖІ»

Аспірант ІБКіЦБ НААН



В.А. Мережко

Д.М. Козаченко