

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-1-1

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.15:632.51:632.93:631.81

**ВПЛИВ МІКРОДОБРИВ ТА РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ
НА ЗМІНУ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН КУКУРУДЗИ****П. Л. Басюк, М. Б. Грабовський**

Білоцерківський національний
аграрний університет
пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква,
Київська обл., 09117

Про авторів:

Павло БАСЮК,
здобувач РВО «Доктор філософії»
ORCID: 0000-0000-0547-0854

Микола ГРАБОВСЬКИЙ,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-8494-7896

Для листування:

Микола ГРАБОВСЬКИЙ
e-mail: nikgr1977@gmail.com

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки
України

Отримано:
22 липня 2025 р.
Погоджено до друку:
15 серпня 2025 р.
Опубліковано:
30 вересня 2025 р.

За результатами досліджень встановлено, що застосування мікродобрив та регуляторів росту позитивно впливає на біометричні показники та структуру рослин кукурудзи, забезпечуючи інтенсифікацію ростових процесів, збільшенню площі листової поверхні та підвищенню маси рослини кукурудзи та її окремих частин. Збільшення висоти рослин кукурудзи відбувалося впродовж всього вегетаційного періоду – до фази ВВСН 85, а площі листової поверхні – до фази ВВСН 65. Оптимальні умови для формування максимальної висоти рослин та асиміляційної поверхні посівів кукурудзи у гібридів Гендальф і Інтелігенс отримано на третьому і четвертому варіантах досліді. Відмічено наростання маси качана з зерном та рослин кукурудзи й зменшення маси стебла, листків та волотей до фази ВВСН 85. На ранніх фазах органогенезу (ВВСН 65) переважала вегетативна маса (68,5–70,1 % стебло і 25,6–27,1 % листки), а у фазу ВВСН 85 домінівну частку в структурі рослини займав качан із зерном (понад 42 %). Залежно від періоду обліку застосування мікродобрив та регуляторів росту дозволило збільшити масу рослин на 0,6–2,9 %, масу стебла на 0,6–1,7 %, масу листків на 0,7–33,7 %, масу качана з зерном на 0,8–2,4 %, порівняно з контролем. Найвищі значення цих показників у обох гібридів отримано на четвертому варіанті досліді. Отримані результати підтверджують доцільність застосування мікродобрив та регуляторів росту у технології вирощування кукурудзи, що має практичне значення для підвищення ростових процесів, фотосинтетичної активності та вегетативної й генеративної маси рослин.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, мікродобрива, регулятори росту, висота рослин, площа листової поверхні, маса рослини.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Басюк П. Л., Грабовський М. Б., 2025

The influence of microfertilizers and growth regulators on changes in the biometric indicators of corn plants

Bila Tserkva National Agrarian University
Soborna Square, 8/1, Bila Tserkva,
Kyiv region, 09117

About authors:

Pavlo BASYUK
ORCID: 0000-0000-0547-0854

Mykola GRABOVSKYI
ORCID: 0000-0002-8494-7896

For corresponding:
Mykola GRABOVSKYI
e-mail: nikgr1977@gmail.com

Funding information:
Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
July 22, 2025
Accepted:
August 15, 2025
Published:
September 30, 2025

The study established that the application of micronutrient fertilisers and growth regulators positively affects the biometric parameters and structural composition of corn plants. It stimulates growth processes, increases leaf surface area, enhances the total biomass of the plant and its individual organs. Plant height increased steadily throughout the entire growing season up to BBCH 85, while the maximum leaf area was recorded by BBCH 65. Optimal conditions for achieving the highest plant height and assimilative surface in the Hendif and Intelligence hybrids were obtained in the third and fourth treatment variants. A gradual increase in grain ear mass and total plant biomass was observed, while stem, leaf, and tassel mass declined towards BBCH 85. At BBCH 65, vegetative organs dominated the biomass distribution (68.5–70.1 % stems and 25.6–27.1 % leaves), whereas at BBCH 85 the ear with grain became the dominant structure, accounting for over 42% of total plant mass. Depending on the growth stage, the use of micronutrients and growth regulators led to an increase in total plant mass by 0.6–2.9 %, stem mass by 0.6–1.7 %, leaf mass by 0.7–33.7 % and ear mass with grain by 0.8–2.4 %, compared to the control. The highest values were recorded in the fourth treatment variant in both hybrids. The results confirm the practical value of using micronutrient fertilisers and growth regulators in corn production technologies to enhance growth dynamics, photosynthetic activity, and accumulation of both vegetative and generative biomass.

Keywords: corn, hybrid, micronutrients, growth regulators, plant height, leaf surface area, plant biomass.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Кукурудза (*Zea mays*) є однією з провідних світових сільськогосподарських культур і критичним джерелом їжі, кормів та палива. Вона має найширший ареал вирощування серед усіх культур від півдня Чилі (40° пд. ш.) до Канади (50° пн. ш.) та від Антських гір, де вона може рости на висоті 3400 м над рівнем моря до Карибських островів [18]. Доведено, що 56 % виробленої кукурудзи у світі переважно використовується як корм для тварин, 13 % для харчування, а п'ята частина від загального обсягу виробництва для нехарчових потреб (біопаливо, промисловість і т. д.) [44].

Попит на кукурудзу у світі подвоюється, а наукові дослідження ще більше розширюють знання про застосування цієї культури, створюючи більше шляхів та підходів, де різні частини рослини (зерно, листки, волоть, стебло, корінь) можуть бути перетворені на певну

продукцію, що викликає необхідність збільшення посівних площ під кукурудзу [30].

Елементи живлення відіграють важливу роль у рості та розвитку рослин. У більшості випадків, коли ґрунт забезпечений доступними елементами живлення, рослини мають вищу ймовірність досягти генетичного потенціалу врожайності та якості [48]. Оптимальний ріст рослин пов'язаний з кращою пристосованістю культури, конкурентоспроможністю та вищою стійкістю до різних біотичних (бур'яни, шкідники, хвороби) чи абіотичних стресів (низькі або високі температури, засоленість ґрунту). Живлення рослин забезпечує оптимальні умови для їх росту і розвитку [25].

В інтенсивному сільському господарстві рослинам досить часто не вистачає оптимального рівня необхідних

елементів живлення, зокрема мікроелементів [47]. Дефіцит мікроелементів можна успішно нівелювати за допомогою позакореневого підживлення [43]. Позакореневе підживлення мікроелементами забезпечує швидке засвоєння та використання поживних речовин, таким чином включаючи поглинені елементи безпосередньо в метаболізм рослинних організмів [52]. Технологічні інновації в аграрному виробництві, такі як: точне землеробство та поліпшені композиції макро- і мікродобрив, підвищили ефективність позакореневого підживлення, зробивши його привабливою альтернативою традиційному удобренню ґрунту [2, 20].

Завдяки тому, що тканина листка має таку ж морфологічну структуру як і тканина кореню, рослини здатні швидко поглинати розчинені елементи живлення [50]. Таким чином, дефіцит мікроелементів у ґрунті можна успішно компенсувати за допомогою позакореневого підживлення [29]. У деяких випадках добрива та гербіциди можна поєднувати, щоб допомогти культурам подолати можливий гербіцидний стрес [46]. Негативні фактори навколишнього середовища, такі як ґрунтова і повітряна посуха, можна пом'якшити за допомогою позакореневого підживлення мікродобривами. Фактично, ефективність позакореневого підживлення вища, ніж ефективність внесення ґрунтових добрив в умовах посухи [53].

Поживні речовини, що надходять через позакореневе підживлення, швидко поглинаються та засвоюються, а дослідження показують, що 100 % азоту (що надходить у вигляді сечовини) може бути засвоєно листками рослин приблизно за чотири години [41]. Безпосереднє позакореневе внесення фосфору підвищує ефективність його використання та концентрацію фосфору в зерні кукурудзи [19]. Продуктивність кукурудзи була високою при позакореному удобренні калієм порівняно з ґрунтовим та іншими методами внесення [37]. Позакореневе підживлення цинком посилює

ферментативні антиоксидантні та фізіологічні захисні механізми рослин, тим самим покращуючи стійкість до абіотичного стресу, що посилюється зміною клімату [22]. Позакореневе підживлення на критичних стадіях росту, таких як цвітіння та налив зерна, підвищує вміст вуглеводів та білків, рівень ліпідів, натуру зерна, вміст мінералів та масу зерна кукурудзи. Ефективність позакореневого підживлення залежить від таких факторів, як: терміни внесення, склад поживних речовин, концентрація та умови навколишнього середовища [32].

За даними, отриманими І. П. Сатановською [15] найвищу висоту рослин кукурудзи зафіксовано у фазу молочно-воскової стиглості зерна при позакореному підживленні на фоні передпосівної обробки насіння. Приріст довжини стебла рослин кукурудзи становив відповідно 24,8 см у гібрида Білозірський 295 СВ та 22,7 см – у Моніки 350 МВ. Найбільшу площу листя гібридів кукурудзи різних груп стиглості відмічено у фазу молочно-воскової стиглості зерна при застосуванні передпосівної обробки насіння разом із позакореневим підживленням з показниками 64,9 тис. м²/га у гібрида Білозірський 295 СВ та 63,9 тис. м²/га у гібрида Моніка 350 МВ, що на 16,6 та 13,8 тис. м²/га, або 34,4 і 27,5 % більше, ніж у контролі.

Застосування природного Zn (ZnSO₄) на старому листі кукурудзи значно збільшило концентрацію Zn в зерні, відповідно, позакореневе внесення цинку омолоджує старе листя рослин, тим самим підвищуючи вміст хлорофілу [35]. Позакореневе внесення магнію покращило швидкість чистого фотосинтезу, продихову провідність та зменшило концентрацію CO₂ у продихах та листовій транспірації [39]. Позакореневе підживлення молібденом покращує азотний метаболізм та фіксацію вуглецю [31], тоді як позакореневе підживлення цеолітом збільшило концентрацію азоту в кореневій зоні кукурудзи на 10 %, покращуючи коефіцієнти поглинання азоту як над, так і

під землею [27]. Позакореневе підживлення Amino Ultra Kukurydza, або Plonvit Kukurydza у поєднанні з Bacillus покращило врожайність зерна, вміст білка, цинку та заліза в зерні кукурудзи [26].

За результатами досліджень, проведених в Правобережному Лісостепу України встановлено, що лінійне збільшення висоти рослин кукурудзи відбувалося до фази ВВСН 85 (воскова стиглість зерна), при цьому максимальні значення спостерігалися на варіанті із застосуванням мінеральних добрив $N_{90}P_{70}K_{70}$ та мікродобрив Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) + Ікар Фосто (0,5 л/га) + Ікар Зінто (0,5 л/га) – 225,9 см. Найбільші показники площі листової поверхні посівів кукурудзи були отримані у фазу ВВСН 65 (цвітіння волотей) на варіанті, де застосовували мінеральні добрива $N_{90}P_{70}K_{70}$ та позакореневе підживлення рослин у фазі 3–4 листків кукурудзи Ікар Біго Рутс (0,5 л/га), повторно у фазі 4–5 листків кукурудзи Ікар Фосто (0,5 л/га) і у фазі 7–8 листків кукурудзи Ікар Зінто (0,5 л/га) – 50,3 тис. м²/га. В загальній структурі рослини на стебло припадає 40,4 %, зерно – 36,5 %, листки – 14,6 %, обгортки та стрижень качана – 4,8 % та волоть – 3,7 % [3].

Результати показали, що внесення ZnO-NP трьома методами: дражування насіння, позакореневе удобрення та внесення у ґрунт покращували загальне поглинання фосфору, але лише позакореневе удобрення покращило ріст кукурудзи на 6–11 % та збільшило біомасу рослин на 16–20 % [51]. Також спостерігалось збільшення швидкості проростання, а висота рослин збільшилася на 2 %, порівняно з методом дражування насіння зі значним зростанням врожайності кукурудзи [42].

Позакореневе внесення кінетину та індолуксусної кислоти збільшило вміст сухої речовини кукурудзи, врожайність зерна та вміст хлорофілу в умовах засолення ґрунтів [28]. Позакореневе внесення аскорбінової кислоти знизило стрес від посухи у рослин кукурудзи,

збільшивши ріст, біомасу та фотосинтетичну активність [36].

В Сербії позакореневе підживлення добривами, що містять азот у формі амінокислот, позитивно вплинуло на збільшення маси рослин, індекс площі листків, висоту рослин та врожайність зерна кукурудзи протягом усіх трьох років досліджень (2010–2012). Позитивні ефекти, отримані в цьому дослідженні дозволяють рекомендувати позакореневе підживлення добривами, що містять азот у формі амінокислотного комплексу [46].

Найвищі показники площі листової поверхні (48,1 тис. м²/га) фотосинтетичного потенціалу (2,34 тис. м² × дн/га) та індексу листової поверхні (ІЛП) (4,81) отримано на варіанті вирощування гібрида кукурудзи РЖТ Елеккс з використанням регулятора росту Келпак (2,0 л/га), що на 5,8–23,1 % більше, ніж на контрольних ділянках. Максимальні показники кількості та маси зерна з качана були у гібрида РЖТ Елеккс при використанні Келпак (2,0 л/га) – 444,0 шт. і 133,5 г, а маси 1000 зерен у гібрида РЖТ Дубліккс – 302,6 г [7]. Про ефективність препарату Келпак, що містить ауксини, цитокіни, СаО та інші різні поживні речовини, такі як: Zn, Fe, Mg та Mn на посівах кукурудзи повідомляють і інші дослідники [34].

У літературі повідомлялося про деякі негативні наслідки позакореневого підживлення мікродобривами, такі як «позакореневий опік». Це може статися, якщо внесення проводилося поза рекомендованою фазою розвитку культури, а також за несприятливих метеорологічних умов [24]. Також негативними моментами позакореневого внесення макро- і мікродобрив є висока вартість багаторазового їх застосування та залежність ефективності від кліматичних умов [38, 41]. Тривале використання позакореневого добрива на основі сірки при вирощуванні монокультури кукурудзи суттєво зменшувало вміст цинку та марганцю у ґрунті, що підкреслює необхідність сталого управління ґрунтами [40].

К. В. Павліченко [12] було виявлено, що найбільшу висоту рослин кукурудзи зафіксовано у фазу воскової стиглості зерна з показниками у середньостиглих гібридів – 222,0–249,0 см і середньоранніх – 212,7–236,7 см. Мінімальними показниками висоти рослин відзначався гібрид Амарос на варіанті без внесення макро- та мікродобрих – 212,7 см, а максимальними – гібрид Каріфолс при застосуванні $N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробкою насіння YaraVita Teprosyn NP + Zn (5 л/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) – 249,0 см. Максимальна площа листової поверхні була у фазу цвітіння качанів у гібриду кукурудзи Каріфолс на варіанті із внесенням $N_{120}P_{90}K_{90}$ та застосуванні мікродобрих (YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos) – 49,0 тис. м²/га. Найменшу площу листової поверхні сформував середньоранній гібрид Амарос – 36,6 тис. м²/га на варіанті без застосування добрив. У фазі молочної стиглості зерна площа листової поверхні зменшилась в середньому на 5,3 %, порівняно з попереднім періодом обліків, а у фазу воскової стиглості зерна ще на 6,8 %.

Тому дослідження взаємодії між різними генотипами кукурудзи, різними умовами навколишнього середовища та позакореневим внесенням елементів живлення є важливими й актуальними.

Метою досліджень було визначення впливу мікродобрих та регуляторів росту на висоту рослин гібридів кукурудзи, площу листової поверхні та масу рослин кукурудзи та її окремих частин.

Матеріал і методи. Дослідження проводилися протягом 2023–2024 рр. у СФГ «Чайка-2» Броварського району Київської області за наступною схемою:

Фактор А. Гібриди кукурудзи.

1. Гендальф (ФАО 250) (контроль).

2. Інтелігенс (ФАО 380).

Фактор В. Мікродобрих та регулятори росту рослин.

1. Контроль (обприскування водою).

2. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі

(1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи.

3. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи.

4. Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи.

Розміщення варіантів у дослідах – систематичне послідовне. Повторність досліду – чотириразова. Посівна площа ділянки – 30 м², облікова – 25,2 м². Дослідження проводили згідно з методичними рекомендаціями [9, 10].

Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов Лісостепу України, окрім факторів, що були поставлені на вивчення. Сівбу гібридів кукурудзи проводили у 3-й декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання насіння 8–10 °С. Перед сівбою на всіх варіантах досліду вносили $N_{90}P_{60}K_{60}$ (аміачна селітра + діаміфоска). Мікродобрих та регулятори росту рослин застосовували шляхом позакореневих підживлень рослин кукурудзи у фазі 3–5 (ВВСН 13-16) і 6–8 листків (ВВСН 17-18). Висоту рослин визначали в основні фази росту та розвитку рослин кукурудзи шляхом проміру 10 закріплених, типових для даного варіанту рослин, у двох несуміжних повтореннях. Висоту рослин вимірювали від появи 7 листка (ВВСН 17) до фази воскової стиглості зерна (ВВСН 85). Вимірювання проводили від поверхні ґрунту до самого довгого (втягнутого) листка, після фази викидання волоті – від поверхні ґрунту до верхньої кінцівки волоті. Визначення площі листової поверхні рослин, фотосинтетичного потенціалу посіву та чистої продуктивності фотосинтезу кукурудзи проводили згідно з методичними рекомендаціями [13]. Масу рослин кукурудзи та структурних елементів

(листіків, стебел, волоті, качана з зерном) визначали перед збиранням.

Результати та обговорення. За результатами дослідження встановлено, що застосування мікродобрив та регуляторів росту мало позитивний вплив на висоту рослин обох гібридів кукурудзи Гендальф та Інтелігенс на всіх етапах органогенезу.

Збільшення висоти рослин відбувалося до воскової стиглості зерна (ВВСН 85), що підтверджується і даними інших дослідників [11, 12, 14, 16, 17, 21, 23, 47, 53]. На початковому етапі вегетації (ВВСН 17-18) вірогідної різниці за висотою рослин між варіантами дослідів та гібридами не відмічено (табл. 1).

1. Динаміка зміни висоти рослин гібридів кукурудзи (середнє за 2023–2024 рр.), см

Гібриди кукурудзи (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)*	7–8 листків (ВВСН 17-18)	Цвітіння волотей (ВВСН 65)	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75-77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81-83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	38,5	208,6	215,3	215,6	215,8
	2	39,0	210,1	217,8	218,0	218,2
	3	39,0	211,3	218,0	218,2	218,5
	4	39,1	210,8	217,5	217,8	218,0
Інтелігенс	1	41,2	211,4	218,4	218,7	219,0
	2	41,3	213,2	221,4	221,6	221,7
	3	41,1	213,5	221,0	221,4	221,6
	4	41,3	214,0	222,5	222,7	222,8
НІР ₀₅ , для	А	1,2	2,1	2,4	2,2	2,5
	В	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
	АВ	1,5	2,5	2,8	2,8	3,0

Примітка. *1. Контроль (обприскування водою). 2. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи. 3. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи. 4. Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи

На варіантах з внесенням мікродобрив висота рослин була вищою за контроль у фазу цвітіння волотей (ВВСН 65) на 1,5–2,7 см і у фазу воскової стиглості зерна (ВВСН 85) на 2,4–3,8 см. Найвищі показники висоти рослин зафіксовано у четвертому варіанті дослідів у фазі ВВСН 85 (Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи) – 218 і 222,8 см відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс. Це вказує про ефективність комбінованого використання препаратів «Біогумат»,

«Фотосинтез», «Цинк» і «Лінамін» для зростання вегетативної маси кукурудзи.

У розрізі гібридів (фактор А) гібрид Інтелігенс демонстрував вищі показники висоти рослин порівняно з Гендальфом у всі періоди обліку, а у фазу ВВСН 85 різниця між гібридами становила понад 3 см і є статистично вірогідною.

Виявлено, що висота рослин кукурудзи більшою мірою залежала від генетичних особливостей гібридів (Фактор А) – 81,2 % і лише на 5,9 % від позакоренових підживлень мікродобривами та регуляторами росту (рис. 1). Суттєвим на цей показник був вплив погодних умов років досліджень (інше) – 9,7 %.



Рис. 1. Частка впливу досліджуваних факторів на висоту рослин кукурудзи

Висота прикріплення качана у рослин гібридів кукурудзи залежала від гібрида і становила у Гендальфу – 82,0–83,1 см, а в

Інтелігенс – 88,5–89,3 см (рис. 2). Не відмічено впливу на цей показник мікродобрів та регуляторів росту.

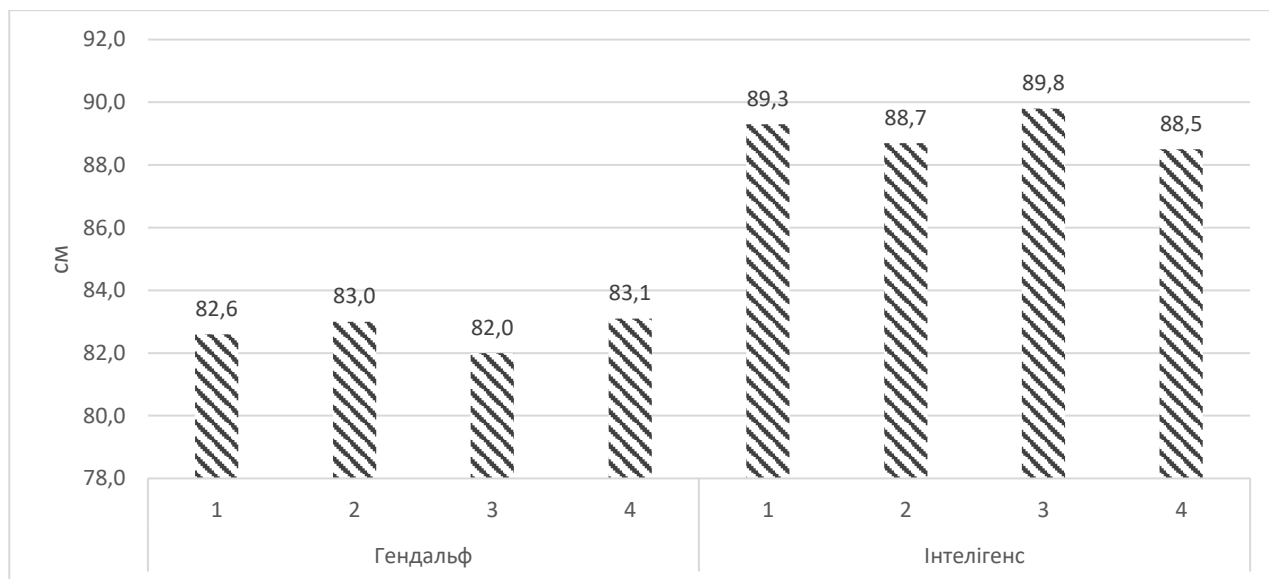


Рис. 2. Висота прикріплення качана у рослин гібридів кукурудзи (середнє за 2023–2024 рр.), см

Площа листової поверхні посівів кукурудзи зростала від фази BBCH 17-18 до цвітіння волотей (BBCH 65), що є типовим для зміни фотосинтезувальної поверхні та підтверджується даними інших вчених [1, 4, 5, 6–8, 15, 33, 45, 49]. У наступні періоди обліків: молочної стиглості зерна (BBCH 75-77), молочно-воскової стиглості

зерна (BBCH 81-83) та воскової стиглості зерна (BBCH 85) площа листової поверхні поступово зменшувалася, внаслідок природного старіння листків, їх відмирання та зменшення фотосинтетично активної площі (табл. 2).

2. Зміна площі листової поверхні посівів кукурудзи під впливом досліджуваних факторів (середнє за 2023–2024 рр.), тис. м²/га

Гібриди кукурудзи	Мікродобрива та регулятори росту рослин	7–8 листків (ВВСН 17-18)	Цвітіння волотей (ВВСН 65)	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75-77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81-83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	7,35	37,60	36,21	35,32	34,89
	2	7,36	38,54	37,17	36,44	36,02
	3	7,28	38,79	37,28	36,49	36,07
	4	7,32	38,87	37,26	36,53	36,09
Інтелігенс	1	7,51	41,32	40,11	39,56	39,11
	2	7,48	42,50	41,07	40,42	40,05
	3	7,56	42,63	41,18	40,57	40,12
	4	7,52	42,86	41,34	40,64	40,15
НІР _{0,5} , для	А	0,12	1,23	1,18	0,31	1,46
	В	0,03	0,08	0,06	0,06	0,07
	АВ	0,16	1,32	1,27	0,38	1,57

У фазі ВВСН 17-18 (7–8 листків) показники площі листової поверхні в обох гібридів залишалися відносно близькими незалежно від позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту, коливаючись у межах 7,28–7,56 тис. м²/га. Це пояснюється тим, що на цьому етапі розвитку кукурудзи вплив препаратів ще був мінімальним, а деякі були внесені лише в цей період.

У фазу цвітіння волотей (ВВСН 65) рослини кукурудзи інтенсивно нарощували вегетативну масу й ефективність застосування мікродобрив виявилася найвищою. Серед варіантів досліду найкращі значення площі листової поверхні отримано при застосуванні Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи – 38,87 і 42,86 тис. м²/га, відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс, що на 1,27 і 1,54 тис. м²/га перевищувало контроль.

Позитивний вплив позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту на площу листової поверхні спостерігався також у фазі ВВСН 81-85, що свідчить про пролонговану дію досліджуваних препаратів.

Серед гібридів Інтелігенс (у всі періоди вимірювань) мав більшу площу листової поверхні, порівняно з Гендальфом. Так, у фазі ВВСН 85 цей показник у гібрида Інтелігенс становив 40,15 тис. м²/га (4 варіант), а у Гендальфу – 36,09 тис. м²/га. Різниця у 4,06 тис. м²/га перевищує НІР_{0,5} для фактора А (1,46), що свідчить про статистично вірогідну перевагу гібрида Інтелігенса за цим показником.

Порівняно з висотою рослин кукурудзи вплив генотипу гібридів (Фактор А) на площу листової поверхні був меншим і становив 76,3 %, а позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту (Фактор В) – 6,7 % (рис. 3). Значним був вплив погодних умов років досліджень (інше) – 11,4 %.



Рис. 3. Частка впливу досліджуваних факторів на площу листкової поверхні кукурудзи

У фазі цвітіння волотей (ВВСН 65) у гібридів Гендальф і Інтелігенс маса стебла й листків становила 310,0–315,0 і 120,1–125,7 г та 345,2–349,8 і 124,6–128,3 г відповідно (табл. 3). Маса волоті в обох гібридів була практично однаковою та складала 20,1–21,5 г.

3. Маса рослини кукурудзи та її окремих частин залежно від застосування мікродобрив та регуляторів росту (середнє за 2023–2024 рр.), г

Гібриди кукурудзи	Мікродобрива та регулятори росту рослин	Стебло	Листки	Качан з зерном	Волоть	Вся рослина
Цвітіння волоті (ВВСН 65)						
Гендальф	1	310,0	120,1	–	20,5	450,6
	2	313,4	124,3	–	20,4	458,1
	3	313,8	125,0	–	20,4	459,2
	4	315,0	125,7	–	20,1	460,8
Інтелігенс	1	345,2	124,6	–	21,6	491,4
	2	348,6	127,0	–	21,3	496,9
	3	349,2	127,6	–	21,5	498,3
	4	349,8	128,3	–	21,0	499,1
НІР ₀₅		0,5	0,4		0,2	0,8
Молочна стиглість зерна (ВВСН 75-77)						
Гендальф	1	306,4	134,2	248,5	19,2	708,3
	2	308,5	136,4	251,2	19,0	715,1
	3	309,0	135,1	252,0	19,3	715,4
	4	309,3	135,6	254,5	19,0	718,4
Інтелігенс	1	337,8	139,2	270,2	20,1	767,3
	2	339,5	140,2	273,0	20,3	773,0
	3	340,1	141,0	273,7	20,6	775,4
	4	340,5	141,4	274,2	20,5	776,6
НІР ₀₅		0,7	0,5	1,4	0,4	2,1

1	2	3	4	5	6	7
Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81-83)						
Гендальф	1	304,3	137,5	321,2	18,9	781,9
	2	307,4	138,0	323,7	19,0	788,1
	3	307,8	138,3	325,0	19,2	790,3
	4	308,0	138,4	325,3	19,0	790,7
Інтелігенс	1	334,1	143,0	351,0	20,1	848,2
	2	335,7	143,4	353,6	20,0	852,7
	3	336,0	144,5	353,9	20,3	854,7
	4	336,4	144,8	354,2	20,0	855,4
НІР ₀₅		2,1	1,6	1,3	0,5	1,7
Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)						
Гендальф	1	301,2	130,2	330,1	18,4	779,9
	2	303,2	131,6	332,5	18,3	785,6
	3	304,4	132,0	332,9	18,0	787,3
	4	304,8	132,2	333,4	18,4	788,8
Інтелігенс	1	330,3	135,7	354,2	19,5	839,7
	2	331,5	136,4	355,7	19,3	842,9
	3	332,0	136,8	356,1	19,7	844,6
	4	332,2	137,0	356,5	19,5	845,2
НІР ₀₅		2,3	2,0	3,1	0,5	3,4

Позакореневі підживлення мікродобривами та регуляторами росту найбільше впливали на збільшення маси листків – на 1,9–4,7 %, порівняно з контролем. Маса рослин кукурудзи зростала на 1,1–2,3 %, не відмічено впливу досліджуваних препаратів на масу волоті. Найвищі значення маси стебла, листків і рослин кукурудзи отримано на четвертому варіанті – 315,0; 125,7 і 460,8 г та 349,8; 128,3 і 499,1 г, відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс. Це пояснюється дією поєднання біостимуляторів (Радікс, Енерджі), амінокислот (Лінамін) та мікроелементів (Цинк), які активізували синтез білків та фотосинтетичних пігментів у цей період.

У фазу молочної стиглості зерна (ВВСН 75-77) в структурі рослин кукурудзи з'являється качан. У гібридів Гендальф і Інтелігенс максимальна маса качана з зерном отримана на четвертому варіанті дослідів 254,5 і 274,2 г, а загальна маса рослини становила при цьому 718,4 і 776,6 г, що на 2,4 і 1,4 % та 1,5 і 1,2 % вище

за контроль. Використання мікродобрив та регуляторів росту дозволило підвищити масу стебла і листків на 0,5–0,8 і 1,0–1,6 %.

У фазу молочно-воскової стиглості зерна (ВВСН 81-83) в усіх варіантах з мікродобривами та регуляторами росту не спостерігалось суттєвого підвищення загальної маси рослин кукурудзи та структурних елементів. Так, маса рослин зростала лише на 0,8–1,1 % відносно контрольних ділянок, досягаючи максимальних значень (781,9–790,7 і 848,2–855,4 г). Це свідчить про завершення активного росту і перерозподіл асимілянтів у репродуктивні органи.

У фазу воскової стиглості зерна (ВВСН 85) відмічено зменшення маси рослин кукурудзи та її структурних елементів, порівняно з попереднім періодом обліків. У гібридів Гендальф і Інтелігенс маса всієї рослини на третьому і четвертому варіантах дослідів становила 787,3 і 788,8 г та 844,6 і 845,2 г, що вище контролю на 0,6–1,1 %.

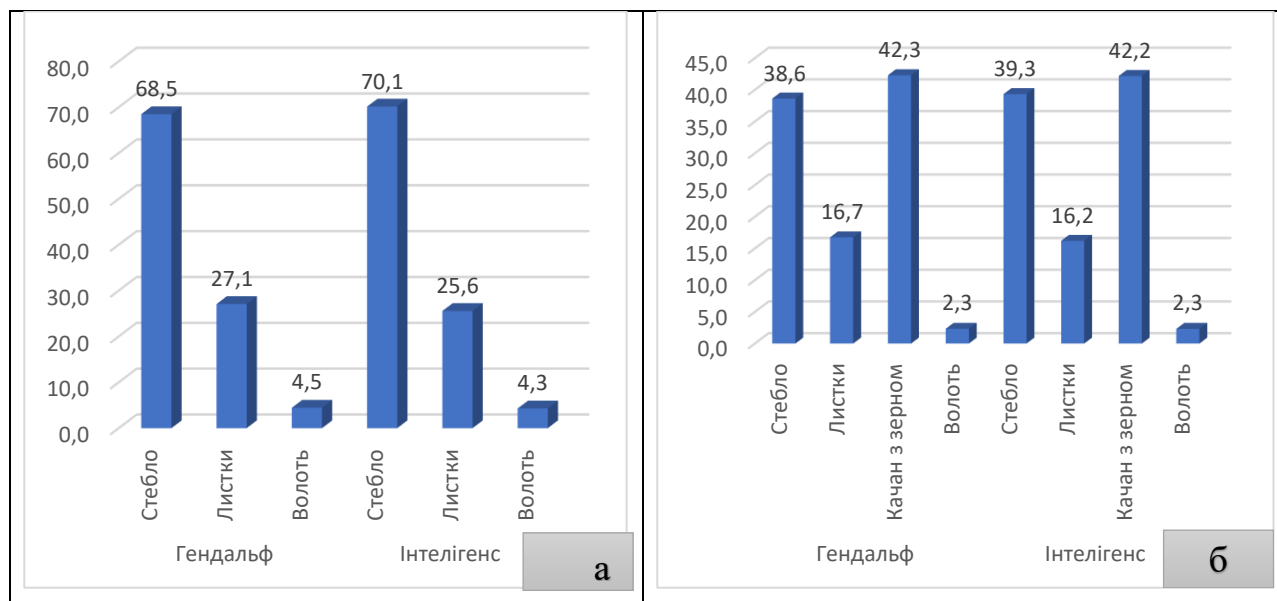


Рис. 4. Частка окремих органів кукурудзи в загальній структурі рослини, % (а – BBCH 65, б – BBCH 85)

У фазу цвітіння волоті (BBCH 65) основну частку в структурі рослини кукурудзи займає стебло – 68,5 і 70,1 % відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс, що свідчить про активний розвиток вегетативної біомаси в цей період (рис. 4).

Висока частка стебла є типовою для фази до наливу зерна й впливає на загальний об'єм маси кукурудзи. Частка листків у досліджуваних гібридів становила 27,1 і 25,6 %. Незначне переважання листової маси в першого гібрида свідчить про більш розвинену асиміляційну поверхню. Маса волоті була практично однаковою в обох гібридів – 4,3–4,5 %.

У фазу воскової стиглості зерна (BBCH 85) структура рослин суттєво змінюється і відбувається перерозподіл маси від вегетативних до генеративних органів. Найбільшу частку у гібридів Гендальф і Інтелігенс на цьому етапі займає качан із зерном – 42,3 і 42,2 %. Частка стебла зменшується більш ніж удвічі, порівняно з фазою цвітіння до 38,6 і 39,3 %, що відображає процеси старіння вегетативної маси та її часткове висихання. Листки займають 16,7 % (Гендальф) і 16,2 % (Інтелігенс) від загальної маси, що свідчить про часткове відмирання листової поверхні внаслідок

фізіологічного старіння. Частка волоті зменшилася до 2,3 % в обох гібридів, що підтверджує завершення її функціональної активності після запилення.

Висновки. За результатами досліджень встановлено, що застосування мікродобрив та регуляторів росту позитивно впливає на біометричні показники та структуру рослин кукурудзи, забезпечуючи інтенсифікацію ростових процесів, збільшенню площі листової поверхні та підвищенню маси рослини кукурудзи та її окремих частин. Гібрид Інтелігенс перевищував Гендальф за біометричними показниками й масою рослин та її структурних елементів, що свідчить про його вищий біологічний потенціал.

Збільшення висоти рослин кукурудзи відбувалося впродовж всього вегетаційного періоду – до фази воскової стиглості зерна (BBCH 85), а площі листової поверхні – до фази цвітіння волотей (BBCH 65). Оптимальні умови для формування максимальної висоти рослин та асиміляційної поверхні посівів кукурудзи у гібридів Гендальф і Інтелігенс отримано на третьому (Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі

6–8 листків кукурудзи) і четвертому (Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи) варіантах дослідів.

Відмічено наростання маси качана з зерном й рослин кукурудзи та зменшення маси стебла, листків і волотей до фази ВВСН 85. На ранніх фазах органогенезу (ВВСН 65) переважала вегетативна маса (68,5–70,1 % – стебло і 25,6–27,1 % – листки), що забезпечувало активний

фотосинтез і ріст рослин. У фазу воскової стиглості (ВВСН 85) домінуючу частку в структурі рослини займав качан із зерном (понад 42 %), що свідчить про ефективне спрямування асимілятів на формування врожаю. Залежно від періоду обліку, застосування мікродобрив та регуляторів росту дозволило збільшити масу рослин – на 0,6–2,9 %, масу стебла – на 0,6–1,7 %, масу листків – на 0,7–33,7 %, масу качана з зерном – на 0,8–2,4 % порівняно з контролем. Найвищі значення цих показників у обох гібридів отримано на четвертому варіанті дослідів.

Список використаної літератури

1. Дацько О. М. Рослинні пробіотики: вплив на рослини в умовах стресу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. № 1 (43). С. 10–18.
2. 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.
3. Засуха А. А. Зміна біометричних показників рослин кукурудзи залежно від застосування добрив та регуляторів росту рослин. *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 46–54. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.22.8.
4. 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.
5. Князюк О. В., Липовий В. Г., Підпалій І. Ф. Вплив технологічних прийомів вирощування на фотосинтетичну продуктивність гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2012. Вип. 9. С. 116–120.
6. Лавриненко Ю. О., Рубан В. Б. Динаміка листової поверхні рослин кукурудзи та фотосинтетичні показники посівів при краплинному способі поливу в умовах Півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 4. С. 122–128.
7. Лихочвор В. В., Шинкарук Л. М. Фотосинтетичні показники рослин кукурудзи залежно від елементів удобрення. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти». Київ, 2021. С. 95–97.
8. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10. № 1–2. С. 108–114.

References

1. Datsko O. M. Plant probiotics: effects on plants under stress. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya "Ahronomiia i biolohiia"*. 2021. No. 1 (43). P. 10–18.
2. The effectiveness of the use of growth regulators in growing corn for grain under contrasting environmental conditions / L. A. Kozak et al. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2025. No. 142. Part 1. P. 124–136. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.16>.
3. Zasukha A. A. Changes in biometric indicators of corn plants depending on the application of fertilizers and plant growth regulators. *Ahrarni innovatsii*. 2023. No. 22. P. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.8>.
4. Ivanyshyn O. S. Leaf assimilation surface area and yield of corn hybrids depending on fertilization in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2020. No. 112. P. 77–81.
5. Kniazuk O. V., Lypovyi V. H., Pidpalyi I. F. The influence of technological cultivation techniques on the photosynthetic productivity of corn hybrids. *Ahrobiolohiia*. 2012. Issue 9. P. 116–120.
6. Lavrynenko Yu. O., Ruban V. B. Dynamics of the leaf surface of corn plants and photosynthetic indicators of crops under drip irrigation in the conditions of Southern Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2014. Issue 4. P. 122–128.
7. Lykhochvor V. V., Shynkaruk L. M. Photosynthetic parameters of corn plants depending on fertilizer elements. Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vykyly dlia ahrarnoi nauky ta osvity". Kyiv, 2021. P. 95–97.
8. Mazur V. A., Shevchenko N. V. Formation of leaf surface area of corn hybrid plants depending on technological cultivation methods. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 2018. Vol. 10. No. 1–2. P. 108–114.
9. Methodology for conducting field experiments with corn : methodological recommendations / za red.

9. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою : методичні рекомендації / за ред. С. М. Лебідя. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
10. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища школа, 1994. 334 с.
11. Морфологічні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від елементів технології за умов зрошення / Р. А. Вожегова та ін. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С. 91–99.
12. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Формування біометричних показників та накопичення сировинної надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 98–111. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.14>.
13. Петерсон Н. В., Черномірдіна Т. О., Куриляк Є. К. Практикум з фізіології рослин : навчальний посібник. Київ : УСГА, 1993. С. 76–80.
14. Сатановська І. П. Використання регуляторів росту та хелатних добрив при формуванні продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи на силос. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 218–224.
15. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакоренових підживлень на біометричні показники рослин кукурудзи. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 75. С. 62–67.
16. Тимофійчук О. Б. Ефективність використання регуляторів росту нового покоління в технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах західного Лісостепу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2012. № 2. С. 40–42.
17. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- та мікродобрив / М. І. Дудка та ін. *Зернові культури*. 2021. Т. 5. № 1. С. 45–51.
18. A European perspective on maize history / M. I. Tenaillon et al. *Comptes Rendus. Biologies*. 2011. 334 (3). 221–228. DOI: [10.1016/j.crv.2010.12.015](https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.12.015).
19. Agronomic biofortification of maize and beans in Kenya through selenium fertilization / P. B. Ngigi et al. *Env. Geochem. Health*. 2019. 41. 2577–2591. DOI: [10.1007/s10653-019-00309-3](https://doi.org/10.1007/s10653-019-00309-3).
20. Challenges and Opportunities in Biofertilizer Commercialization / A. Yadav et al. *SVOA Microbiol.* 2024. 5. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>.
21. Changes in the vertical distribution of leaf area enhanced light interception efficiency in maize over generations of selection / R. P. A. Perez et al. *Plant Cell & Environment*. 2019. 42. 2105–2119. DOI: [10.1111/pce.13539](https://doi.org/10.1111/pce.13539).
22. Conventional and Nano-Zinc Foliar Spray Strategies to Improve the Physico-Chemical Properties and Nutritional and Antioxidant Compounds of Timor Mango Fruits under Abiotic Stress / M. Abdel-Sattar et al. *Horticulturae*. 2024. 10. 1096. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101096>.
23. Corn height estimation using UAV for yield prediction and crop monitoring / F. Furukawa et al. In *Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture*. Ye. M. Lebidia. Dnipropetrovsk, 2008. 27 p.
10. Moiseichenko V. F., Yeshchenko V. O. Fundamentals of scientific research in agronomy. Kyiv: Vyshcha shkola, 1994. 334 p.
11. Morphological indicators of corn hybrids of different FAO groups depending on technology elements under irrigation conditions / R. A. Vozhehova et al. *Ahrarni innovatsii*. 2021. No. 8. P. 91–99.
12. Pavlichenko K. V., Grabovskiy M. B. Formation of biometric indicators and accumulation of fresh aboveground mass by corn hybrids under the influence of macro- and microfertilizers. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2022. No. 123. P. 98–111. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.14>.
13. Peterson N. V., Chernomyrdina T. O., Kuryliak Ye. K. Workshop on plant physiology: a textbook. Kyiv: USHA, 1993. P. 76–80.
14. Satanovska I.P. The use of growth regulators and chelate fertilizers in shaping the productivity of different-maturity hybrids of silage corn. *Kormy i kormovyrobnytsstvo*. 2013. Issue 76. P. 218–224.
15. Satanovska I. P. The effect of seed treatment and foliar fertilization on biometric indicators of corn plants. *Kormy i kormovyrobnytsstvo*. 2013. Issue 75. P. 62–67.
16. Tymofiichuk O. B. The effectiveness of using new generation growth regulators in the technology of growing corn for grain in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*. 2012. No. 2. P. 40–42.
17. Formation of corn grain yield depending on macro- and microfertilizers / M. I. Dudka et al. *Zernovi kultury*. 2021. Vol. 5. No. 1. P. 45–51.
18. A European perspective on maize history / M. I. Tenaillon et al. *Comptes Rendus. Biologies*. 2011. 334 (3). 221–228. DOI: [10.1016/j.crv.2010.12.015](https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.12.015).
19. Agronomic biofortification of maize and beans in Kenya through selenium fertilization / P. B. Ngigi et al. *Env. Geochem. Health*. 2019. 41. 2577–2591. DOI: [10.1007/s10653-019-00309-3](https://doi.org/10.1007/s10653-019-00309-3).
20. Challenges and Opportunities in Biofertilizer Commercialization / A. Yadav et al. *SVOA Microbiol.* 2024. 5. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>.
21. Changes in the vertical distribution of leaf area enhanced light interception efficiency in maize over generations of selection / R. P. A. Perez et al. *Plant Cell & Environment*. 2019. 42. 2105–2119. DOI: [10.1111/pce.13539](https://doi.org/10.1111/pce.13539).
22. Conventional and Nano-Zinc Foliar Spray Strategies to Improve the Physico-Chemical Properties and Nutritional and Antioxidant Compounds of Timor Mango Fruits under Abiotic Stress / M. Abdel-Sattar et al. *Horticulturae*. 2024. 10. 1096. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101096>.

23. Corn height estimation using UAV for yield prediction and crop monitoring / F. Furukawa et al. In *Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment*; 2020. P. 51–69. DOI:10.1007/978-3-030-27157-2_5.
24. Correlated response of various morpho-physiological characters with grain yield in sorghum landraces at different growth phases / M. A. Ali et al. *J. Anim. Plant Sci.* 2011. 21. 671–679.
25. Crop protection in European maize-based cropping systems: Current practices and recommendations for innovative Integrated Pest Management / V. P. Vasileidas et al. *Agric. Syst.* 2011. 104. 533–540.
26. Differences in uptake and translocation of foliar-applied Zn in maize and wheat / R. Rehman et al. *Plant Soil.* 2021. 462. 235–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04867-3>.
27. Double zero-tillage and Foliar-P nutrition coupled with bio-inoculants enhance physiological photosynthetic characteristics and resilience to nutritional and environmental stresses in maize–wheat rotation / M. N. Harish et al. *Front. Plant Sci.* 2022. 13. 959541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959541>.
28. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions / C. Kaya et al. *Turk. J. Agric. For.* 2010. 34. DOI: 10.3906/tar-0906-173.
29. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield / M. Tejada et al. *Eur. J. Agron.* 2018. 96. 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.003>.
30. Effect of maize (*Zea mays* L.) on human development and the future of man-maize survival : A review / M. S. Adiaha et al. *World Scientific News.* 2016. 59. 52–62.
31. Effect of zinc application strategies on maize grain yield and zinc concentration in malisons / N. Martínez-Cuesta et al. *J. Plant Nutr.* 2021. 44. 4. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1844754>.
32. Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application / B. Ssemugenze et al. *Agronomy.* 2025. 15 (1). 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
33. Estimating leaf area index of maize using airborne full-waveform lidar data / S. Nie et al. *Remote Sensing Letters.* 2016. 7 (2). 111–120.
34. Evaluation of maize growth following early season foliar P supply of various fertilizer formulations and in relation to nutritional status / B. M. Grolach et al. *Agronomy.* 2021. 11. 727. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040727>.
35. Foliage sprayed nano chitosan loaded nitrogen boosts yield potentials, competitive ability, and profitability of intercropped maize soybean / M. Moamen et al. *Int. J. Plant Prod.* 2023. 17. 517–542. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00253-4>.
36. Foliar application of ascorbate enhances the physiological and biochemical attributes of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress / A. Noman et al. *and Environment*; 2020. P. 51–69. DOI:10.1007/978-3-030-27157-2_5.
24. Correlated response of various morpho-physiological characters with grain yield in sorghum landraces at different growth phases / M. A. Ali et al. *J. Anim. Plant Sci.* 2011. 21. 671–679.
25. Crop protection in European maize-based cropping systems: Current practices and recommendations for innovative Integrated Pest Management / V. P. Vasileidas et al. *Agric. Syst.* 2011. 104. 533–540.
26. Differences in uptake and translocation of foliar-applied Zn in maize and wheat / R. Rehman et al. *Plant Soil.* 2021. 462. 235–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04867-3>.
27. Double zero-tillage and Foliar-P nutrition coupled with bio-inoculants enhance physiological photosynthetic characteristics and resilience to nutritional and environmental stresses in maize–wheat rotation / M. N. Harish et al. *Front. Plant Sci.* 2022. 13. 959541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959541>.
28. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions / C. Kaya et al. *Turk. J. Agric. For.* 2010. 34. DOI: 10.3906/tar-0906-173.
29. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield / M. Tejada et al. *Eur. J. Agron.* 2018. 96. 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.003>.
30. Effect of maize (*Zea mays* L.) on human development and the future of man-maize survival : A review / M. S. Adiaha et al. *World Scientific News.* 2016. 59. 52–62.
31. Effect of zinc application strategies on maize grain yield and zinc concentration in malisons / N. Martínez-Cuesta et al. *J. Plant Nutr.* 2021. 44. 4. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1844754>.
32. Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application / B. Ssemugenze et al. *Agronomy.* 2025. 15 (1). 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
33. Estimating leaf area index of maize using airborne full-waveform lidar data / S. Nie et al. *Remote Sensing Letters.* 2016. 7 (2). 111–120.
34. Evaluation of maize growth following early season foliar P supply of various fertilizer formulations and in relation to nutritional status / B. M. Grolach et al. *Agronomy.* 2021. 11. 727. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040727>.
35. Foliage sprayed nano chitosan loaded nitrogen boosts yield potentials, competitive ability, and profitability of intercropped maize soybean / M. Moamen et al. *Int. J. Plant Prod.* 2023. 17. 517–542. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00253-4>.
36. Foliar application of ascorbate enhances the physiological and biochemical attributes of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress / A. Noman et al.

Arch. Agron. Soil Sci. 2015. 61. 1659–1672. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1028379>.

37. Foliar applications of calcium, silicon and their combination: a tool to improve grape composition and quality / T. Garde-Cerdán et al. *Appl. Sci.* 2023. 13. 7217. <https://doi.org/10.3390/app13127217>.

38. Foliar application of nitrogen at different growth stages influences the phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) / A. Z. Khan et al. *Soil Environ.* 2013. 32. 135–140. DOI: 10.13140/RG.2.2.25680.30723.

39. Foliar application of phosphoric acid mitigates oxidative stress induced by herbicides in soybean, maize, and cotton crops / J. Viveiros et al. *Plant Stress.* 2024. 13. 100543. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100543>.

40. Foliar applied potassium and zinc enhances growth and yield performance of maize under rainfed conditions / M. A. Anees et al. *Int. J. Agric. Biol.* 2016. 18. 1025–1032. DOI: 10.17957/IJAB/15.0204.

41. Foliar fertilization of nutrients : a review / B. Patil et al. *Marumegh.* 2018. 3. 49–53.

42. Foliar spray surpasses soil application of potassium for maize production under rainfed conditions / A. Ali et al. *Turk. J. Field Crops.* 2016. 21. 36–43. DOI: 10.17557/tjfc.66054.

43. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients / V. Fernandez et al. *Front. Plant Sci.* 2013. 4. 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>.

44. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications / O. Erenstein et al. *Food Secur.* 2022. 14. 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.

45. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production / M. Grabovskiy et al. *Environmental Science and Pollution Research.* 2023. 30. 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>.

46. Integrated effects of herbicides and foliar fertilizer on corn inbred line / M. Brankov et al. *Chil. J. Agric. Res.* 2020. 80. 50–60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100050>.

47. Making a greener revolution: A nutrient delivery system for food production to address malnutrition through crop science / C. Meisner et al. *Plant Prod. Sci.* 2005. 8. 326–329. DOI: 10.1626/pps.8.326.

48. Mineral nutrition of higher plants / editor P. Marschner et al. 3rd ed. Elsevier Ltd., Berlin/Heidelberg, Germany. 2012. Available online: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants> (last accessed: 17 July 2025).

49. Nitrogen-fixing capacity of soybean varieties depending on seed inoculation and foliar fertilization with biopreparations / A. Korobko et al. *Journal of Ecological Engineering.* 2024. 25 (4). 23–37. DOI: 10.12911/22998993/183497.

50. Plant cell responses to cadmium and zinc / M. Martinka et al. In *Applied Plant Cell Biology: Cellular Tools and Approaches for Plant*

37. Foliar applications of calcium, silicon and their combination: a tool to improve grape composition and quality / T. Garde-Cerdán et al. *Appl. Sci.* 2023. 13. 7217. <https://doi.org/10.3390/app13127217>.

38. Foliar application of nitrogen at different growth stages influences the phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) / A. Z. Khan et al. *Soil Environ.* 2013. 32. 135–140. DOI: 10.13140/RG.2.2.25680.30723.

39. Foliar application of phosphoric acid mitigates oxidative stress induced by herbicides in soybean, maize, and cotton crops / J. Viveiros et al. *Plant Stress.* 2024. 13. 100543. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100543>.

40. Foliar applied potassium and zinc enhances growth and yield performance of maize under rainfed conditions / M. A. Anees et al. *Int. J. Agric. Biol.* 2016. 18. 1025–1032. DOI: 10.17957/IJAB/15.0204.

41. Foliar fertilization of nutrients : a review / B. Patil et al. *Marumegh.* 2018. 3. 49–53.

42. Foliar spray surpasses soil application of potassium for maize production under rainfed conditions / A. Ali et al. *Turk. J. Field Crops.* 2016. 21. 36–43. DOI: 10.17557/tjfc.66054.

43. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients / V. Fernandez et al. *Front. Plant Sci.* 2013. 4. 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>.

44. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications / O. Erenstein et al. *Food Secur.* 2022. 14. 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.

45. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production / M. Grabovskiy et al. *Environmental Science and Pollution Research.* 2023. 30. 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>.

46. Integrated effects of herbicides and foliar fertilizer on corn inbred line / M. Brankov et al. *Chil. J. Agric. Res.* 2020. 80. 50–60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100050>.

47. Making a greener revolution: A nutrient delivery system for food production to address malnutrition through crop science / C. Meisner et al. *Plant Prod. Sci.* 2005. 8. 326–329. DOI: 10.1626/pps.8.326.

48. Mineral nutrition of higher plants / editor P. Marschner et al. 3rd ed. Elsevier Ltd., Berlin/Heidelberg, Germany. 2012. Available online: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants> (last accessed: 17 July 2025).

49. Nitrogen-fixing capacity of soybean varieties depending on seed inoculation and foliar fertilization with biopreparations / A. Korobko et al. *Journal of Ecological Engineering.* 2024. 25 (4). 23–37. DOI: 10.12911/22998993/183497.

50. Plant cell responses to cadmium and zinc / M. Martinka et al. In *Applied Plant Cell Biology: Cellular Tools and Approaches for Plant*

Cellular Tools and Approaches for Plant Biotechnology, Springer, Berlin/Heidelberg, Germany. 2014. P. 209–246.

51. Quantitative, qualitative, and energy assessment of boron fertilization on maize production in north west himalayan region / P. Thakur et al. *Int. J. Plant Prod.* 2023. 17. 165–176. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00235-6>.

52. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants / P. S. Bindraban et al. *Biol Fertil Soils*. 2015. 51. 897–911. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>.

53. The response of maize lines to foliar fertilizing / M. Brankov et al. *Agriculture*. 2020. 10 (9). 365. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090365>.

Biotechnology, Springer, Berlin/Heidelberg, Germany. 2014. P. 209–246.

51. Quantitative, qualitative, and energy assessment of boron fertilization on maize production in north west himalayan region / P. Thakur et al. *Int. J. Plant Prod.* 2023. 17. 165–176. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00235-6>.

52. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants / P. S. Bindraban et al. *Biol Fertil Soils*. 2015. 51. 897–911. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>.

53. The response of maize lines to foliar fertilizing / M. Brankov et al. *Agriculture*. 2020. 10 (9). 365. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090365>.