

АГРОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МІКРОДОБРІВ І РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ

БАСЮК П. Л. – здобувач ступеня доктора філософії

orcid.org/0000-0000-0547-0854

Білоцерківський національний аграрний університет

ГРАБОВСЬКИЙ М. Б. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0002-8494-7896

Білоцерківський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Кукурудза (*Zea mays* L.) є не лише важливою харчовою культурою для мільйонів людей, але й цінною кормовою культурою, що має значний потенціал для отримання високих врожаїв [1]. Прогнозується, що об'єм світового ринку кукурудзяного силосу зростатиме зі сукупним річним темпом 7,84 % з 2021 по 2030 роки. Такі фактори, як зростання попиту на стійкі та екологічно чисті джерела їжі в поєднанні зі зростанням обізнаності про здоров'я, сприятимуть цьому зростанню. Зі збільшенням молочного сектору приблизно на 4–5 % в рік та зростаючим дефіцитом кормів очікується підвищення попиту на кукурудзяний силос в усьому світі [2].

Кукурудзяний силос – високоякісний корм, що виробляється шляхом подрібнення та ферментації рослин. Він відіграє вирішальну роль у тваринництві, особливо в періоди сезонного дефіциту кормів. Силос кукурудзи забезпечує покращення травної функції у худоби, забезпечує збалансоване харчування, а також сприяє як їх здоров'ю, так і продуктивності. У контексті агроєкосистем кукурудза на силос допомагає утворенню органічної речовини, підтримує циркулярні сільськогосподарські системи та сприяє екологічному різноманіттю [3].

За сучасних умов глобальних змін клімату кукурудза гарантує стійкість та сталість для забезпечення продовольчої і харчової безпеки та кормової бази для людей та свійських тварин [4]. Завдяки швидкому росту, високій біомасі, гарним смаковим якостям, кукурудза також є одним з найбільш поживних зелених кормів, які не належать до бобових. Це високоенергетичний, низькобілковий корм, який зазвичай використовується для тварин, таких як ВРХ, часто в поєднанні з додатковим високобілковим кормом. Кукурудза також найкраще підходить для силосування завдяки м'якості, високому вмісту крохмалю та достатній кількості розчинних цукрів [5].

Досі мало уваги приділялося селекції рослинного ідеотипу кукурудзи для отримання силосу з урахуванням таких ознак, як вихід сухої речовини, поживних речовин, енергія в органічній речовині, генетична архітектура компонентів клітинної стінки, стійкість стебла, тривалість дозрівання та втрати під час силосування [6]. Також недостатнім є вивчення застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин на продуктивність кукурудзи на силос.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Мінеральне живлення відіграє важливу роль у збільшенні врожайності зеленої маси кукурудзи, а також покращенні якісних показників [7]. Незважаючи на невелику кількість

мікроелементів (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Co, Ni тощо), що застосовуються при вирощуванні кукурудзи, вони відіграють не менш важливу роль, ніж макроелементи (N, P, K, S). Мікроелементи мають велике значення у фізіології мінерального живлення кукурудзи. Всі процеси синтезу і перетворення речовин в клітинах рослин відбуваються за допомогою ферментів, до складу яких входять мікроелементи [8]. Мікроелементи, що беруть участь у найважливіших біохімічних процесах, стимулюють фотосинтез, активність рослин, скорочують термін дозрівання, збільшують врожайність, покращують якість продукції, а також підвищують стійкість рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища [9–10].

Зростання цін на мінеральні добрива під кукурудзу обмежує використання добрив, що веде до пошуку нетрадиційних джерел внесення елементів живлення, а зокрема використання біологічних природних та синтетичних стимуляторів росту, які не шкідливі для довкілля і дозволяють ширше використовувати весь генетичний потенціал кукурудзи. Використання стимуляторів росту в умовах Північного Степу України на кукурудзі, особливо Авангард Гроу Аміно і Авангард Гроу Гумат на ранньостиглих та середньоранніх гібридах кукурудзи дозволяє збільшити валові збори зерна високої якості на 7,6–18,4 % [11].

Використання регуляторів росту рослин є одним із методів, які виявилися ефективними для полегшення впливу стресу від посухи на фізіологію та врожайність кукурудзи. Згідно В. Noein і А. Soleymani [12] найефективнішим методом для полегшення впливу посухи на фізіологію кукурудзи та врожайність був варіант досліду, що передбачав застосування 6-бензиладеніну, проліну та глутаміну. Регулятори росту сільськогосподарських культур, які покращують формування зерна стають важливими компонентами технологій для підвищення їх продуктивності [13]. Біорегулятори росту рослин розкривають генетичний потенціал нових морфобіотипів, підвищуючи ефективність зрошення, що, в свою чергу, сприяє збільшенню рентабельності їх використання. Застосування біорегуляторів росту особливо важливе у культурах самозапильних ліній кукурудзи, які характеризуються низькою енергією проростання, слабким початковим ростом і чутливістю до пошкоджень шкідниками та хворобами [14].

В Китаї застосування ріст регулюючого препарату Jindeli, що містить активні елементи етефону та циклоцелу на посівах кукурудзи покращувало механічні властивості та підвищувало міцність стебел, збільшувало

вміст геміцелюлози, целюлози та лігніну. Крім того, така обробка значно підвищила врожайність зерна на 26,6 %, збільшуючи при цьому кількість зерен в рядку [15].

В умовах Полісся України, при застосуванні препаратів Біогран і Поліміксобактерин на кукурудзі за десять років було зафіксовано збільшення врожайності до 20 %. Ефективність дії біологічних препаратів на врожайність цієї культури, без погіршення якості продукції, в польових умовах становить 85–90 % [16].

За даними І. П. Сатановської [17] врожайність зеленої маси кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна у гібрида Білозірський 295 СВ становила 82,1 т/га з виходом сухої речовини 29,3 т/га, а в гібрида Моніка 350 МВ – 78,1 т/га та виходом сухої речовини 29,0 т/га на фоні обробки насіння та позакореневого підживлення мікродобривами та регуляторами росту рослин.

В умовах північного степу України обробка насіння кукурудзи біологічними препаратами на основі хелатів сприяла підвищенню інтенсивності росту на початковій стадії та збільшенню врожайності зерна. Найвища ефективність була отримана при використанні комплексного мікробного препарату Біогран, комплексів мікроелементів Реастім-гумус та Реакон-С кукурудза [18].

Дослідження ефективності використання біопрепаратів Біогран і Мікрогумін для кукурудзи (зеленої маси) в системі біологічного та органічно-мінерального землеробства в умовах Волинської дослідної станції НААН України показало, що врожайність кукурудзи на зелену масу зростала на 6,3 т/га і ярого ячменю – на 0,4 т/га, порівняно з контролем [19].

У південному регіоні України застосування біологічних регуляторів росту Грінактив-С і Сизам-Нано дозволило зменшити використання засобів захисту і підвищити стійкість рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища при зрошенні. Вирощування середньостиглих і середньопізніх гібридів кукурудзи Збруч, Каховський, ДН Гетера, Арабат, при використанні інноваційних стимуляторів росту та мікроелементів дозволило отримати врожайність зерна 11,1–13,4 т/га на зрошуваних темно-каштанових ґрунтах [20].

В умовах Правобережного Лісостепу України, за даними трьох річних досліджень виявлено, що найбільш інтенсивне наростання зеленої та сухої маси гібридів кукурудзи відбувалося до фази молочно-воскової стиглості зерна з наступним зменшенням на 5,2–6,8 % у фазу воскової стиглості. Застосування мікродобрив забезпечує формування високих показників урожайності зеленої та сухої маси у фазу молочно-воскової стиглості зерна у гібридів кукурудзи на рівні 40,9–48,9 і 14,7–17,7 т/га. Проведення обробки насіння YaraVita Terosyn NP+Zn (5 л/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) дозволяє отримати приріст урожайності зеленої та сухої маси вище на 1,2–3,8 %, а при обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita KombiPhos (3 л/га) на 1,5–4,2 %, порівняно з варіантами без їх застосування. Достовірної різниці між 2 і 3 варіантами із застосуванням мікродобрив не відмічено [21]. У незрошуваних умовах необхідно застосовувати біостимулятор Вермистим для отримання

найвищої врожайності кормових одиниць та перетравного білка зеленої маси кукурудзи – 9,6 т/га та 0,42 т/га. Вирощування гібрида кукурудзи Інгульський на зерно забезпечило найвищу врожайність 4,7 т/га при застосуванні біостимулятора Регоплант [22].

Дослідженнями Л. А. Козака та ін. [23] виявлено, що урожайність зерна кукурудзи значно варіювала залежно від погодних умов: у 2023 р. вона становила 8,45–9,03 т/га та була вищою на 12,5–26,4 %, ніж у 2024 р. (6,94–7,70 т/га). У середньому, за два роки досліджень максимальна урожайність зерна отримана у гібрида РЖТ Дубліккс на варіанті із застосуванням регулятора росту Келпак (2,0 л/га) – 8,09 т/га.

Показники енергетичної ефективності засобів виробництва кукурудзи іноді суттєво відрізняються, що пов'язано зі змінами в методах промислового виробництва, більш повними та точними дослідженнями споживання енергії в різних сферах життя та виробничої діяльності людства [24–25]. У мікроекономічному підході дослідження накопиченого споживання енергії та ефективності виробництва проводиться для оцінки якості управління на підприємствах, включаючи сільське господарство. Оцінка ефективності результатів та економічних методів управління часто є недостовірною, оскільки встановлені ціни часто не відповідають грошовій вартості товарів або енергетичним затратам. Отже, спостерігається зростання важливості методу оцінки споживання енергії та енергоефективності на основі значень, виражених в еталонних енергетичних одиницях, що дозволяє їх порівнювати незалежно від місця, часу та цінових співвідношень [26]. Через зростання споживання енергії проводиться пошук нових методів виробництва кукурудзи, вдосконалюються існуючі та збільшуються частка відновлюваних ресурсів в енергетичному балансі [27].

Вирощування кукурудзи вимагає високих енергетичних витрат, отже, необхідно проводити дослідження для підвищення енергоефективності виробництва цієї культури. Енергоефективність слід визначати як співвідношення енергетичної цінності врожаю біомаси (накопиченої енергії, що міститься в біомасі) до загальних енергетичних витрат (накопиченої енергії, необхідної для виробництва біомаси) [28].

Метою досліджень було визначення впливу мікродобрив та регуляторів росту на урожайність зеленої маси та енергетичну ефективність вирощування кукурудзи.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилися у 2023–2025 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. Мікродобрива 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 досліді – систематичне послідовне. Повторність досліді – чотириразова. Посівна площа ділянки – 30 м², облікова – 25,2 м². Дослідження проводили згідно методичних рекомендацій [29–30].

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 досліді вносили N₉₀P₆₀K₆₀ (аміачна селітра + діаміофоска). Мікродобрива та регулятори росту рослин застосовували шляхом позакореневих підживлень рослин кукурудзи у фазі 3–5 (ВВСН 13–16) і 6–8 листків (ВВСН 17–18).

Збирання кукурудзи проводили відбором зразків у фазі ВВСН 75–77 і ВВСН 81–83 з захисних рядків ділянок та збиранням облікових ділянок у фазі ВВСН 85. Облік урожайності зеленої маси визначали зважуванням рослин із облікової ділянки з наступним перерахунком на один гектар. Енергетичну ефективність досліджуваних елементів технології вирощування обраховували за методикою [31]. Енергетичну ефективність виробництва вирощування кукурудзи розраховували за коефіцієнтом енергетичної ефективності (К_е) як відношення енергетичної цінності продукту до кількості енергії, затраченої на його виробництво та вираженої як безрозмірний коефіцієнт [32]:

$$K_{ee} = \frac{Ev}{E_{pro}},$$

де, К_е – індекс енергетичної ефективності виробництва кукурудзи на силос,

Ev – вихід загальної енергії з урожаєм, ГДж/га,

E_{pro} – витрати сукупної енергії на вирощування культури, ГДж/га.

Результати досліджень. Встановлено, що у всі роки досліджень максимальні значення урожайності зеленої маси кукурудзи отримано у фазу ВВСН 81–83, а у фазу ВВСН 85 вона зменшувалась на 2,1–13,8 % за рахунок переміщення асимілянтів із вегетативних органів у генеративні (качан) та зменшення частки листків і стебла у загальній структурі рослини. Подібні результати отримані і іншими вченими, які відмічають, що стадія R4 (ВВСН 82) була найкращою для поєднання продуктивності та фізіологічного складу рослин кукурудзи для виробництва силосу [33].

Погодні умови в 2023 р. були відносно сприятливими для росту і розвитку кукурудзи. Більша частина опадів випала в червні і липні, а у серпні і вересні відмічалась їх нестача. Температура повітря була вищою на 1,3–2,5 °С, порівняно з багаторічними даними. Урожайність зеленої маси гібриду Гендальф у фазу ВВСН 81–83 була в межах 43,8–46,8 т/га, а у гібриду Інтелігенс – 47,9–50,7 т/га (табл. 1).

Метеорологічні умови 2024 р. характеризувалися підвищеним температурним режимом та дефіцитом опадів, що вплинуло на формування мінімальної урожайності зеленої маси за фазами росту і розвитку рослин кукурудзи (табл. 2).

Таблиця 1

Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи у 2023 р., т/га

Гібрид кукурудзи (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)*	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75–77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81–83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	42,3	43,8	43,1
	2	43,6	45,4	44,8
	3	44,2	46,2	45,5
	4	44,7	46,8	46,0
Інтелігенс	1	45,6	47,9	47,0
	2	47,0	49,2	48,5
	3	47,5	49,8	49,0
	4	48,3	50,7	49,9
НІР ₀₅ , для	А	1,5	1,8	1,7
	В	0,3	0,4	0,3
	АВ	1,7	2,2	2,0

* 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

Таблиця 2

Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи у 2024 р., т/га

Гібрид кукурудзи (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75–77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81–83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	34,5	36,2	31,2
	2	35,6	36,9	32,0
	3	36,0	37,1	32,5
	4	36,3	37,2	32,7
Інтелігенс	1	36,1	37,0	33,0
	2	37,0	37,8	33,7
	3	37,3	38,3	34,0
	4	37,5	38,6	34,2
НІР ₀₅ , для	А	1,2	1,3	1,3
	В	0,2	0,2	0,3
	АВ	1,4	1,5	1,5

У фазу ВВСН 81–83 урожайність зеленої маси становила у гібридів Гендальф і Інтелігенс 36,2–37,2 т/га і 37,0–38,6 т/га, що відповідало мінімальним значенням за роки досліджень. В цей рік вплив мікродобрив

та регуляторів росту рослин на продуктивність культури був несуттєвим.

Умови вегетаційного періоду 2025 р. були найбільш сприятливими для росту і розвитку рослин гібридів кукурудзи та відзначалися стабільним забезпеченням температур та опадами по місяцям, що дозволило повністю реалізувати їх генетичний потенціал та отримати найвищу урожайність зеленої маси, порівняно з попередніми роками досліджень. Так у фазу ВВСН 75–77, урожайність зеленої маси складала 46,2–48,9 і 50,1–54,5 т/га, у фазу ВВСН 81–83 – 48,3–51,7 і 52,6–56,1 т/га і у фазу ВВСН 85 – 46,7 і 50,5 і 51,6–54,7 т/га, відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс (табл. 3).

Таблиця 3

Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи у 2025 р., т/га

Гібрид кукурудзи (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75–77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81–83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	46,2	48,3	46,7
	2	47,8	50,1	47,9
	3	48,4	50,9	50,0
	4	48,9	51,7	50,5
Інтелігенс	1	50,1	52,6	51,6
	2	51,7	54,4	53,1
	3	53,9	55,2	54,1
	4	54,5	56,1	54,7
НІР ₀₅ , для	А	1,6	1,9	1,6
	В	0,4	0,5	0,3
	АВ	2,0	2,3	2,1

У середньому, за три роки досліджень одержали результати, які показують, що формування величини урожайності зеленої маси гібридів Гендальф і Інтелігенс знаходилися в залежності від застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин. У гібридів Гендальф

Таблиця 4

Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи (середнє за 2023–2025 рр.), т/га

Гібрид кукурудзи (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)	Молочна стиглість зерна (ВВСН 75–77)	Молочно-воскова стиглість зерна (ВВСН 81–83)	Воскова стиглість зерна (ВВСН 85)
Гендальф	1	41,0	42,8	40,3
	2	42,3	44,1	41,6
	3	42,9	44,7	42,7
	4	43,3	45,2	43,1
Інтелігенс	1	43,9	45,8	43,9
	2	45,2	47,1	45,1
	3	46,2	47,8	45,7
	4	46,8	48,5	46,3
НІР ₀₅ , для	А	1,8	1,7	1,9
	В	0,3	0,4	0,4
	АВ	2,1	2,2	2,4

і Інтелігенс урожайність зеленої маси у фазу молочної стиглості зерна (ВВСН 75–77) була 41,0–43,3 і 43,9–46,8 т/га, молочно-воскової стиглості зерна (ВВСН 81–83) – 42,8–45,2 і 45,8–48,5 т/га та у восковій стиглості зерна (ВВСН 85) – 40,3–43,1 і 43,9–46,3 т/га (табл. 4). Залежно від періоду обліку середньостиглий гібрид переважав середньоранній за продуктивністю на 6,8–9,2 %.

Максимальні показники спостерігали на четвертому варіанті досліду, де застосовували комбіновану обробку Радіксом, Лінаміном, Турбоазотом, Біогуматом, Енерджі, Фотосинтезом і Цинком – 43,1–45,2 т/га і 46,3–48,5 т/га, відповідно у гібридів Гендальф і Інтелігенс. Це забезпечило приріст урожайності зеленої маси, порівняно з контролем на 2,3–2,7 і 2,4–3,0 т/га. На третьому варіанті досліду (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) приріст відносно контролю становив 1,8–2,3 і 2,0–2,5 т/га.



Рис. 1. Частка впливу факторів на формування урожайності зеленої маси кукурудзи

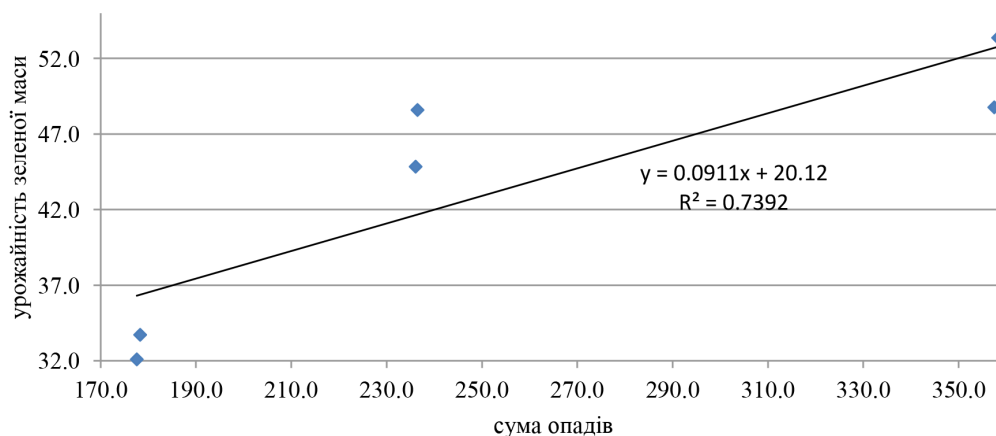


Рис. 2. Кореляційна залежність між сумою опадів за вегетаційний період гібридів кукурудзи і урожайністю зеленої маси

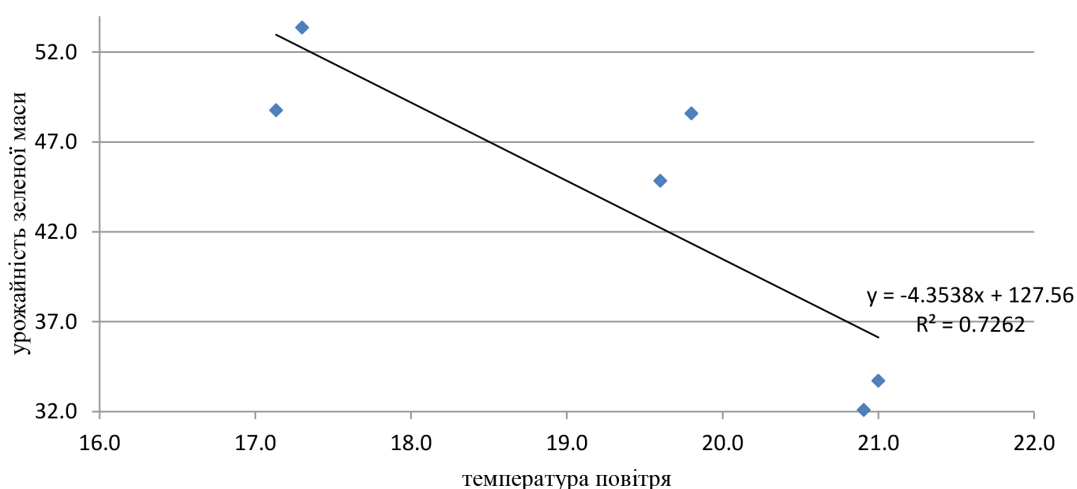


Рис. 3. Кореляційна залежність між середньою температурою повітря за вегетаційний період гібридів кукурудзи і урожайністю зеленої маси

Статистичний аналіз даних підтверджує вплив як гібриду (А) ($HIP_{0.5} = 1,7\text{--}1,9$ т/га), так і позакоренових обробок мікродобривами та регуляторами росту (В) ($HIP_{0.5} = 0,3\text{--}0,4$ т/га), а також їхньої взаємодії ($HIP_{0.5} = 2,1\text{--}2,4$ т/га) на продуктивність культури. Це свідчить про синергічну дію факторів і доцільність комплексного використання мікродобрив і регуляторів росту для підвищення врожайності зеленої маси кукурудзи.

Результатами дисперсійного аналізу виявлено, що на урожайність зеленої маси кукурудзи найбільший вплив має генотип (гібрид) – 65,7 %, а показник впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин був на рівні 17,3 % (рис. 1). Високим є відсоток інших факторів (погодних умов) – 12,3 %.

Кореляційним аналізом встановлено високий рівень взаємозв'язку між урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи Гендальф і Інтелігенс та сумою опадів і середньою температурою повітря за вегетаційний період. Між урожайністю зеленої маси та сумою опадів показник кореляції становив $r = 0,86$ за коефіцієнта множинної детермінації (R^2) – 0,74 (рис. 2).

Взаємозв'язок між урожайністю зеленої маси та середньою температурою повітря мав обернено

пропорційний характер ($r = -0,85$) (рис. 3). Коефіцієнт детермінації складав 0,73, тобто на 73,0 % урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи залежала від факторів, включених у рівняння регресії.

У середньому за 2023–2025 рр. енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи залежала від позакоренових підживлень мікродобривами та регуляторами росту рослин (табл. 5).

У гібрида Гендальф вихід загальної енергії становив на контролі 256,6 ГДж/га та збільшився до 322,1 і 339,3 ГДж/га на третьому і четвертому варіантах дослідів, що більше на 65,5 і 82,6 ГДж/га. При цьому витрати сукупної енергії підвищилися лише з 46,8 до 52,3 і 54,0 ГДж/га, що не перевищує 15,0 % приросту. Завдяки цьому коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) збільшився із 5,5 до 6,2 і 6,3, що свідчить про високу окупність енергетичних витрат внаслідок застосування мікродобрив та регуляторів росту. Гібрид Інтелігенс мав вищі показники енергетичної продуктивності. Вихід енергії збільшився від 279,6 ГДж/га на контролі до 339,1 і 368,3 ГДж/га у 3 і 4 варіантах дослідів. При цьому витрати енергії зросли з 48,7 до 53,4 і 55,7 ГДж/га, що зумовило підвищення

Таблиця 5

Енергетична ефективність застосування мікродобрив та регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібриди кукурудзи	Мікродобрива та регулятори росту рослин	Вихід загальної енергії з урожаєм, ГДж/га	Витрати сукупної енергії на вирощування, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності, K_{ee}
Гендальф	1	256,6	46,8	5,5
	2	300,1	49,8	6,0
	3	322,1	52,3	6,2
	4	339,3	54,0	6,3
Інтелігенс	1	279,6	48,7	5,7
	2	320,5	51,6	6,2
	3	339,1	53,4	6,4
	4	368,3	55,7	6,6

коефіцієнту енергетичної ефективності (K_{ee}) з 5,7 до 6,4 і 6,6.

Найменша енергетична ефективність була на контролі (K_{ee} 5,5–5,7). Використання комплексу Радікс + Біогумат у фазі 3–5 листків і Енерджі + Біогумат + Цинк у фазі 6–8 листків (другий варіант досліді) забезпечило приріст K_{ee} до 6,0–6,2, або на 8–10 %. Найвищі значення спостерігали у четвертому варіанті (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) – 6,3 і 6,6. Тому можна зробити висновок, що з точки зору енергоефективності застосування мікродобрив і регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи є доцільним і забезпечує енергетичні переваги.

Подібні результати отримані в дослідженнях І. П. Сатановської [34], в яких встановлено, що найвищий енергетичний коефіцієнт у гібрида Білозірський 295 СВ і Моніка 350 МВ – 12,12 і 12,00, біоенергетичний коефіцієнт – 7,10 й 7,08 і низьку витрату енергії 39,34 і 39,31 ГДж отримано на варіанті передпосівної обробки насіння в комплексі з позакореневим підживлення Емістимом С та Еколістом багатокомпонентним. Це сприяло нагромадженню валової енергії в урожаї на рівні 476,76 та 471,62 ГДж/га.

За даними А. Kopiecsna та ін. [35], найбільша частка при вирощуванні кукурудзи на силос припадає на енергетичні витрати, а також на матеріали та сировину, в середньому 53,7 %. Серед них найбільший відсоток займають добрива. Подібні результати отримані J. Gorzelany та ін. [36] та W. Budzyński та ін. [37] які стверджують, що найбільша частка в структурі енергетичних витрат на виробництво кукурудзи на силос припадає на витратні матеріали та сировину – 56 %, залежно від технології – традиційна 76,5 % і інтегрована – 63,8 %. А найнижча частка припадала на людську працю – 0,6 та 0,9 %.

Висновки. За результатами досліджень (2023–2025 рр.) встановлено, що врожайність зеленої маси кукурудзи залежала від гібриду та застосування

мікродобрив і регуляторів росту рослин. Середньостиглий гібрид Інтелігенс перевищував середньоранній Гендальф за продуктивністю на 6,8–9,2 %. Найвищі показники врожайності обох гібридів отримано у четвертому варіанті досліді із використанням препаратів Радікс, Лінамін, Турбоазот, Біогумат, Енерджі, Фотосинтез та Цинк. Урожайність зеленої маси становила у гібрида Гендальф (BVCH 81–83) – 45,2 т/га, а у Інтелігенс – 48,5 т/га, що вище контролю на 2,5 і 2,6 т/га.

Встановлено, що погодні умови значно впливали на реалізацію потенціалу продуктивності кукурудзи. У посушливому 2024 р. врожайність зменшувалася до 36,2–38,6 т/га, тоді як у сприятливому 2025 р. зростала до 51,7–56,1 т/га. Кореляційний аналіз підтвердив тісний прямий зв'язок між сумою опадів і врожайністю зеленої маси ($r = 0,86$) та обернено пропорційний із середньою температурою повітря ($r = -0,85$), що свідчить про високу залежність урожайності культури від погодних факторів.

Дані дисперсійного аналізу свідчать, що на формування врожайності найбільше впливає генотип (65,7 %), мікродобрива і регулятори росту (17,3 %), взаємодія – 4,7 %. Це вказує на значення генетичного потенціалу гібрида та доцільність його поєднання з оптимізованою системою живлення.

Енергетична оцінка свідчить, що застосування мікродобрив і регуляторів росту сприяло зростанню виходу загальної енергії з урожаю у гібридів Гендальф і Інтелігенс з 256,6 і 279,6 ГДж/га на контролі до 339,3 і 368,3 ГДж/га на четвертому варіанті досліді. При цьому витрати сукупної енергії зросли лише на 6,1–9,3 ГДж/га, що забезпечило підвищення коефіцієнта енергетичної ефективності з 5,5 і 5,7 до 6,3 і 6,6. З точки зору енергоефективності застосування мікродобрив і регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи є доцільним і забезпечує енергетичні переваги.

Отже, комплексне застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин сприяє підвищенню врожайності зеленої маси кукурудзи на 3,0–6,5 %, енергетичних показників на 40,9–88,8 ГДж/га та забезпечує найвищу ефективність у досліджуваних гібридів на четвертому варіанті досліді, який може бути рекомендований для підвищення продуктивності та енергоефективності вирощування кукурудзи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Karnatam K. S., Mythri B., Un Nisa W., Sharma H., Meena T. K., Rana P., Sandhu S. Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development–perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*. 2023. № 14. 1150132.
2. García-Chávez I., Meraz-Romero E., Castelán-Ortega O., Zaragoza-Esparza J., Osorio Avalos J., Robles Jiménez L. E., González-Ronquillo M. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2022. № 23(3). e2547.
3. Chao X. Silage corn: An environmentally friendly feed option for sustainable animal husbandry. *Geographical Research Bulletin*. 2023. № 2. P. 211–214.

4. Mihrete T. B., Mihretu F. B. Crop diversification for ensuring sustainable agriculture, risk management and food security. *Global Challenges*. 2025. № 9(2). 2400267.
5. Coors J. G., Carter P. R., Hunter R. B. "Silage corn," in *Specialty corns*. Editor A. R. Hallauer (Boca Raton, FL: CRC Press), 1994. P. 305–340.
6. Struik P. C. An ideotype of forage maize for north-west Europe. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 1984. № 32(2). P. 145–147.
7. Shuman L. M. Micronutrient fertilizers. In *Nutrient use in crop production*. CRC Press. 2017. pp. 165–195.
8. Saquee F. S., Diakite S., Kavhiza N. J., Pakina E., Zargar M. The efficacy of micronutrient fertilizers on the yield formulation and quality of wheat grains. *Agronomy* 2023. № 13(2). 566.
9. Pandey R. Mineral nutrition of plants. In *Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement*. New Delhi: Springer India. 2015. pp. 499–538.
10. Grabovskyi M., Kucheruk P., Pavlichenko K., Roubik H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. № 30. P.70022–70038.
11. Tsyliuryk O., Izhboldin O., Sologub I. Efficiency of growth regulators in corn crops of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2023. № 26(10). P. 59–67.
12. Noein B., Soleymani A. Corn (*Zea mays* L.) physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2022. № 41(2). P. 672–681.
13. Bailey-Serres J., Parker J. E., Ainsworth E. A., Oldroyd G. E., Schroeder J. I. Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*. 2019. № 575(7781). P. 109–118.
14. Лавриненко Ю. О., Гож О. А. Ефективність стимуляторів росту та мікродобрив на посівах гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах зрошення на півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2015. № 64. С. 14–20.
15. Ali S., Li Z., Zhang X., Xi Y., Shaik M. R., Khan M. How do novel plant growth regulators and cultivation models strategies affect mechanical strength, lodging resistance and maize productivity in semi-arid regions? *Agricultural Water Management*. 2024. № 295. 108790.
16. Скок С. В. Використання біологічних технологій вирощування сільськогосподарських культур для підвищення еколого-економічної ефективності аграрного виробництва. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 128. С. 403–411.
17. 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.
18. Морозов О. В., Гамаюнова В. В., Сидоренко О. І., Пічур В. І. Еколого-агромеліоративний моніторинг зрошуваних земель: Моделювання і прогнозування. Монографія. Херсон: ЛТ-Офіс. 2010, 256 с.
19. Попова Л. В. Вивчення впливу регуляторів росту на урожайність озимої пшениці, при різних способах їх застосування, в умовах Комітернівського району Одеської області. *Аграрний вісник Причорномор'я. Сільськогосподарські науки*. 2015. Вип. 76. С. 59–64.
20. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В., Писаренко П. В., Біляєва І. М., Найдьонов В. Г., Андрієнко І. О. Інноваційні технології вирощування кукурудзи на зрошуваних землях півдня України: монографія. Херсон : Гринь ДС.2017, 327 с.
21. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79–85.
22. Pysarenko P., Zaiets S., Vasilenko R., Shcherbyna Z. Application of plant growth regulators on corn crops in the southern steppe of Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*. 2025. № 1. P. 89–97.
23. Козак Л. А., Грабовський М. Б., Качан Л. М., Павліченко К. В., Німенко С. С. Ефективність застосування регуляторів росту при вирощуванні кукурудзи на зерно за контрастних умов навколишнього середовища. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 142. Частина 1. С. 124–136.
24. Fathollahi H., Mousavi-Avval S. H., Akram A., Rafiee S. Comparative energy, economic, and environmental analyses of forage production systems for dairy farming. *J. Clean. Prod*. 2018. № 182. P. 852–862.
25. Потапов А. В., Грабовський М. Б. Економічна та енергетична ефективність застосування фунгіцидів та мікродобрив за вирощування гібридів буряків цукрових. *Агробіологія*. 2023. № 1. С. 42–51.
26. Грабовський М. Б., Павліченко К. В., Козак Л. А., Качан Л. М. Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу за використання макро- і мікродобрив. *Зернові культури*. 2022. № 1. С. 100–107.
27. Żygadło M., Madejski R. The Conversion of Biomass into Energy in Farm Biogas Plant. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*. 2016. № 18. P. 55–66.
28. Roman K. K., Konieczna A. Evaluation of a different fertilisation in technology of corn for silage, sugar beet and meadow grasses production and their impact on the environment in Poland. *Afr. J. Agric. Res*. 2015. № 10. P. 1351–1358.
29. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою: методичні рекомендації / за ред. Є. М. Лебідя. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
30. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища школа. 1994, 334 с.
31. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай. 1988, 206 с.
32. Kuś J. Efektywność Energetyczna Produkcji Biopa liw Płynnych. *Wiś Jutra*. 2002. Volume 9. pp. 8–10.
33. Neumann M., Venancio B. J., Horst E. H., Cristo F. B., Petkowicz K., Pontarolo G. B., Martins M. B. A. Corn hybrid silage quality according to harvesting time. *Semina. Ciências Agrárias*. 2020. V. 41. № 2. p. 369–382.
34. Сатановська І. П. Оцінка моделей технологій вирощування кукурудзи на силос гібридів Моніка 350 MB і Білозірський 295 СВ. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 3 (73). С. 155–161.
35. Konieczna A., Roman K., Roman M., Śliwiński D., Roman M. Energy efficiency of maize production technology: Evidence from Polish farms. *Energies*. 2020. № 14(1). 170.
36. Gorzelany J., Puchalski C., Malach M. Ocena Kosztów i Nakładów Energetycznych w Produkcji kukurydzy na Ziarno i Kiszonce. *Inż. Roln*. 2011. № 8. P. 135–141.

37. Budzyński W., Szempliński W., Parzonka A., Salek T. Rolnicza, Energetyczna i Ekonomiczna Efektywność Produkcji biomasy Wybranych Gatunków Roślin z Przeznaczeniem na Biogaz. In *Modelowe kompleksy agroenergetyczne: Technologie pozyskania i kondycjonowania biomasy rolniczej i wodnej dla biogazowni i zgazowarki*; Gołaszewski, J., Ed.; Wydawnictwo UWM: Olsztynie, Poland, 2014. pp. 11–282.

REFERENCES:

- Karnatam, K. S., Mythri, B., Un Nisa, W., Sharma, H., Meena, T. K., Rana, P., & Sandhu, S. (2023). Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development – perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*, 14, 1150132.
- García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, J., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L. E., & González-Ronquillo, M. (2022). Corn silage: A systematic review of the quality and yield in different regions around the world. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3), e2547.
- Chao, X. (2023). Silage corn: An environmentally friendly feed option for sustainable animal husbandry. *Geographical Research Bulletin*, 2, 211–214.
- Mihrete, T. B., & Mihretu, F. B. (2025). Crop diversification for ensuring sustainable agriculture, risk management and food security. *Global Challenges*, 9(2), 2400267.
- Coors, J. G., Carter, P. R., & Hunter, R. B. (1994). Silage corn. In A. R. Hallauer (Ed.), *Specialty corns* (pp. 305–340). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Struik, P. C. (1984). An ideotype of forage maize for north-west Europe. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 32(2), 145–147.
- Shuman, L. M. (2017). Micronutrient fertilizers. In *Nutrient use in crop production* (pp. 165–195). CRC Press.
- Saqee, F. S., Diakite, S., Kavhiza, N. J., Pakina, E., & Zargar, M. (2023). The efficacy of micronutrient fertilizers on the yield formation and quality of wheat grains. *Agronomy*, 13(2), 566.
- Pandey, R. (2015). Mineral nutrition of plants. In *Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement* (pp. 499–538). New Delhi: Springer India.
- Grabovskyi, M., Kucheruk, P., Pavlichenko, K., & Roubík, H. (2023). Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 70022–70038.
- Tsyliuryk, O., Izhboldin, O., & Sologub, I. (2023). Efficiency of growth regulators in corn crops of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26(10), 59–67.
- Noein, B., & Soleymani, A. (2022). Corn (*Zea mays* L.) physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(2), 672–681.
- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 575(7781), 109–118.
- Lavrynenko, Yu. O., & Hozh, O. A. (2015). Efektyvnist stymuliatoriv rostu ta mikrodobryv na posivakh hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh zroshennia na pivdni Ukrainy [Efficiency of growth stimulants and micronutrients on maize hybrids of different maturity groups under irrigation in southern Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 64, 14–20. [in Ukrainian].
- Ali, S., Li, Z., Zhang, X., Xi, Y., Shaik, M. R., & Khan, M. (2024). How do novel plant growth regulators and cultivation model strategies affect mechanical strength, lodging resistance, and maize productivity in semi-arid regions? *Agricultural Water Management*, 295, 108790.
- Skok, S. V. (2022). Vykorystannia biolohichnykh tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur dlia pidvyshchennia ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti ahrarnoho vyrobnytstva [Use of biological crop production technologies to improve ecological and economic efficiency of agriculture]. *Tavriiskyi naukovi visnyk*, 128, 403–411. [in Ukrainian].
- Satanovska, I. P. (2013). Vykorystannia rehulatoriv rostu ta khelatnykh dobryv pry formuvanni produktyvnosti riznostyhykh hibrydiv kukurudzy na sylos [Use of growth regulators and chelated fertilizers in the formation of productivity of maize hybrids of different maturity groups for silage]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 76, 218–224. [in Ukrainian].
- Morozov, O. V., Hamaiunova, V. V., Sydorenko, O. I., & Pichura, V. I. (2010). Ekoloho-ahromeliatoryni monitorynh zroshuvanykh zemel: modeliuvannia i prohnozuvannia [Ecological and agro-meliorative monitoring of irrigated lands: modelling and forecasting]. Kherson. [in Ukrainian].
- Popova, L. V. (2015). Vyvchennia vplyvu rehulatoriv rostu na urozhainist ozymoi pshenytsi pry riznykh sposobakh yikh zastosuvannia v umovakh Kominternivskoho raionu Odeskoi oblasti [Study of the effect of growth regulators on winter wheat yield under different application methods in Kominternivskyi district of Odesa region]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Silskohospodarski nauky*, 76, 59–64. [in Ukrainian].
- Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Kokovikhin, S. V., Pysarenko, P. V., Biliaieva, I. M., Naidonov, V. H., & Andriienko, I. O. (2017). Innovatsiini tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy na zroshuvanykh zemliakh pivdnia Ukrainy [Innovative technologies of corn cultivation on irrigated lands of southern Ukraine]. Kherson. [in Ukrainian].
- Pavlichenko, K. V., & Grabovskyi, M. B. (2022). Urozhainist zelenoi i sukhoi masy hibrydiv kukurudzy ta vykhid biohazu zalezho vid zastosuvannia makro- i mikrodobryv [Yield of green and dry mass of corn hybrids and biogas output depending on macro- and micronutrient application]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 77, 79–85. [in Ukrainian].
- Pysarenko, P., Zaiets, S., Vasylenko, R., & Shcherbyna, Z. (2025). Application of plant growth regulators on corn crops in the southern steppe of Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*, 1, 89–97.
- Kozak, L. A., Grabovskyi, M. B., Kachan, L. M., Pavlichenko, K. V., & Nimenko, S. S. (2025). Efektyvnist zastosuvannia rehulatoriv rostu pry vyroshchuvanni kukurudzy na zerno za kontrastnykh umov navkolyshnoho seredovyshcha [Efficiency of growth regulators in corn grain cultivation under contrasting

- environmental conditions]. *Tavriyskiy naukoviy visnyk*, 142(1), 124–136. [in Ukrainian].
24. Fathollahi, H., Mousavi-Avval, S. H., Akram, A., & Rafiee, S. (2018). Comparative energy, economic, and environmental analyses of forage production systems for dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, 182, 852–862.
 25. Potapov, A. V., & Grabovskyi, M. B. (2023). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist zastosuvannya funhitsudiv ta mikrodbryv za vyroshchuvannya hibrydiv buriakiv tsukrovkykh [Economic and energy efficiency of fungicides and micronutrients in sugar beet hybrids cultivation]. *Ahrobiolohiia*, 1, 42–51. [in Ukrainian].
 26. Grabovskyi, M. B., Pavlichenko, K. V., Kozak, L. A., & Kachan, L. M. (2022). Enerhetychna efektyvnist vyroshchuvannya hibrydiv kukurudzy dlia vyrobnytstva biohazu za vykorystannia makro- i mikrodbryv [Energy efficiency of corn hybrid cultivation for biogas production using macro- and micronutrients]. *Zernovi kultury*, 1, 100–107. [in Ukrainian].
 27. Żygadło, M., & Madejski, R. (2016). The conversion of biomass into energy in farm biogas plant. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 18, 55–66.
 28. Roman, K. K., & Konieczna, A. (2015). Evaluation of different fertilisation technologies of corn for silage, sugar beet, and meadow grasses production and their impact on the environment in Poland. *African Journal of Agricultural Research*, 10, 1351–1358.
 29. Lebid, Ye. M. (Ed.). (2008). *Metodyka provedennia polovoykh doslidiv z kukurudzoiu: metodychni rekomendatsii* [Methodology of field experiments with corn: Methodical recommendations]. Dnipropetrovsk. [in Ukrainian].
 30. Moiseychenko, V. F., & Yeshchenko, V. O. (1994). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv: Vyshcha shkola. [in Ukrainian].
 31. Medvedovskyi, O. K., & Ivanenko, P. I. (1988). *Enerhetychnyi analiz intensyynykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi* [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian].
 32. Kuś, J. (2002). Efektywność energetyczna produkcji biopaliw płynnych [Energy efficiency of liquid biofuel production]. *Wiś Jutra*, 9, 8–10. [in Polish].
 33. Neumann, M., Venancio, B. J., Horst, E. H., Cristo, F. B., Petkowicz, K., Pontarolo, G. B., & Martins, M. B. A. (2020). Corn hybrid silage quality according to harvesting time. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(2), 369–382.
 34. Satanovska, I. P. (2013). Otsinka modelei tekhnolohii vyroshchuvannya kukurudzy na sylos hibrydiv Monika 350 MV i Bilozirskiy 295 SV [Evaluation of corn silage technology models for hybrids Monika 350 MV and Bilozirskiy 295 SV]. *Visnyk ahramoi nauky Prychornomoria*, 3(73), 155–161. [in Ukrainian].
 35. Konieczna, A., Roman, K., Roman, M., Śliwiński, D., & Roman, M. (2020). Energy efficiency of maize production technology: Evidence from Polish farms. *Energies*, 14(1), 170.
 36. Gorzelany, J., Puchalski, C., & Malach, M. (2011). Ocena kosztów i nakładów energetycznych w produkcji kukurydzy na ziarno i kiszonkę [Assessment of costs and energy inputs in the production of corn for grain and silage]. *Inżynieria Rolnicza*, 8, 135–141. [in Polish].
 37. Budzyński, W., Szempliński, W., Parzonka, A., & Sałek, T. (2014). Rolnicza, energetyczna i ekonomiczna efektywność produkcji biomasy wybranych gatunków roślin z przeznaczeniem na biogaz [Agricultural, energy and economic efficiency of biomass production of selected plant species for biogas]. *Modelowe kompleksy agroenergetyczne: Technologie pozyskania i kondycjonowania biomasy rolniczej i wodnej dla biogazowni i zgazowarki* (pp. 11–282). Olsztyn : Wydawnictwo UWM. [in Polish].
- Басюк П. Л., Грабовський М. Б. Агроенергетична оцінка продуктивності кукурудзи при застосуванні мікродобрив і регуляторів росту**
- Метою** досліджень було визначення впливу мікродобрив та регуляторів росту на урожайність зеленої маси та енергетичну ефективність вирощування кукурудзи.
- Методи.** Дослідження проводилися у 2023–2025 рр. у СФГ «Чайка-2» Броварського району Київської області з гібридами кукурудзи Гендальф (ФАО 250) і Інтелігенс (ФАО 380) та 4 варіантами застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин. Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов Лісостепу України, окрім факторів, що були поставлені на вивчення.
- Результати.** Встановлено, що середньостиглий гібрид Інтелігенс перевищував середньоранній Гендальф за урожайністю зеленої маси на 6,8–9,2 %. Найвищі показники врожайності обох гібридів отримано у четвертому варіанті досліді з використанням препаратів Радікс, Лінамін, Турбоазот, Біогумат, Енерджі, Фотосинтез та Цинк. Встановлено, що погодні умови значно впливали на реалізацію потенціалу продуктивності кукурудзи. У посушливому 2024 р. врожайність зменшувалася до 36,2–38,6 т/га, тоді як у сприятливому 2025 р. зростала до 51,7–56,1 т/га. Кореляційний аналіз підтвердив тісний прямий зв'язок між сумою опадів і врожайністю зеленої маси ($r = 0,86$) та обернено пропорційний із середньою температурою повітря ($r = -0,85$), що свідчить про високу залежність урожайності культури від погодних факторів. Дані дисперсійного аналізу свідчать, що на формування врожайності найбільше впливає генотип (65,7 %), мікродобрива і регулятори росту (17,3 %), а інші фактори (погодні умови) припадає 12,3 %. Застосування мікродобрив і регуляторів росту сприяло зростанню виходу загальної енергії з урожаю у гібридів Гендальф і Інтелігенс з 256,6 і 279,6 ГДж/га на контролі до 339,3 і 368,3 ГДж/га на четвертому варіанті досліді.
- Висновки.** Комплексне застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин сприяє підвищенню врожайності зеленої маси кукурудзи на 3,0–6,5 %, енергетичних показників на 40,9–88,8 ГДж/га та забезпечує найвищу ефективність у досліджуваних гібридів на четвертому варіанті досліді який може бути рекомендований для підвищення продуктивності та енергоефективності вирощування кукурудзи.
- Ключові слова:** урожайність, гібрид, кліматичні умови, середні температури, енергетична ефективність.
- Basiuk P. L., Grabovskyi M. B. Agroenergetic assessment of corn productivity under the application of micronutrients and growth regulators.**
- The aim** of the research was to determine the effect of micronutrients and growth regulators on the green mass yield and the energy efficiency of corn cultivation.
- Methods.** The studies were conducted in 2023–2025 at

the “Chaika-2” private farm in the Brovary district of Kyiv region using two corn hybrids – Hendalf (FAO 250) and Intelihens (FAO 380) and four variants of micronutrient and growth regulator treatments. The cultivation technology for silage corn was generally accepted for the Forest-Steppe zone of Ukraine, except for the studied factors.

Results. It was found that the medium-maturing hybrid Intelihens exceeded the medium-early hybrid Hendalf in green mass yield by 6.8–9.2 %. The highest yield values of both hybrids were obtained in the fourth treatment variant, which included the combined application of Radix, Linamin, Turboazot, Biogumat, Energy, Photosynthesis, and Zinc. Weather conditions had a significant influence on the realisation of corn productivity potential: in the dry year 2024, the yield decreased to 36.2–38.6 t/ha, whereas in the favourable year 2025 it increased to 51.7–56.1 t/ha. Correlation analysis confirmed a strong positive relationship between the total precipitation and green mass yield ($r = 0.86$) and an inverse relationship with the average air

temperature ($r = -0.85$), indicating a high dependence of crop productivity on climatic factors. According to the results of analysis of variance, yield formation was mainly influenced by genotype (65.7 %), while the contribution of micronutrients and growth regulators was 17.3 %, and weather conditions accounted for 12.3 %. The application of micronutrients and growth regulators contributed to an increase in the total energy output from 256.6 and 279.6 GJ/ha in the control to 339.3 and 368.3 GJ/ha in the fourth treatment variant for the Hendalf and Intelihens hybrids, respectively. **Conclusions.** The integrated use of micronutrients and plant growth regulators contributes to an increase in the green mass yield of corn by 3.0–6.5 %, improves energy output by 40.9–88.8 GJ/ha, and ensures the highest efficiency in the tested hybrids under the fourth treatment variant, which can be recommended to enhance the productivity and energy efficiency of corn cultivation.

Key words: yield, hybrid, green mass, climate conditions, energy efficiency.

Дата першого надходження рукопису до видання: 20.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 14.12.2025