

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ, ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНА І ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ ТА РОЗРАХУНКОВИЙ ВИХІД ПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

**ЗАСУХА А.А.** – аспірант

*orcid.org/0009-0004-8215-4675*

Білоцерківський національний аграрний університет

**ВАХНІЙ С.П.** – доктор сільськогосподарських наук, професор

*orcid.org/0000-0002-3460-9493*

Білоцерківський національний аграрний університет

**Постановка проблеми.** Кукурудза (*Zea mays*) є однією із основних світових культур. Поряд з іншими зерновими культурами, такими як пшениця та рис, виступає важливим джерелом продукції для людей та тваринництва. В усіх регіонах світу врожайність зерна кукурудзи поступово зростає, що обумовлено створенням нових високопродуктивних гібридів та удосконаленням технології вирощування цієї культури [1]. Також збільшення врожайності зерна пов'язане із зростанням потенціалу продуктивності генотипів та їх адаптивності щодо мінливості агроecологічних і стресових чинників [2].

Серед безлічі сільськогосподарських технологічних заходів, що впливають на ріст, розвиток і продуктивність гібридів кукурудзи, важливе місце посідає система забезпечення рослин елементами живлення, що має важливе значення для отримання високих врожаїв [3–5]. Це пов'язано, в основному, із відносно коротким періодом інтенсивного росту, протягом якого формується велика кількість рослинних органів і поглинаються поживні речовини рослинами кукурудзи [6]. При вирощуванні кукурудзи на зерно вирішальним фактором є не тільки кількість елементів живлення, які вносяться з певним видом добрив, а й співвідношення їх між собою. Оптиміальний баланс певних елементів у добривах допомагає зібрати врожай в оптиміальні строки та уникнути затягування другої половини вегетації кукурудзи. Максимальне споживання азоту кукурудзою починається з моменту появи волоті і триває до молочно-воскової стиглості зерна. Дефіцит азоту в ґрунті затримує розвиток рослин, знижує інтенсивність білкового обміну та фотосинтезу [7]. Регулятори росту допомагають розкрити генетичний потенціал різних гібридів кукурудзи, підвищити імунітет рослин, скоротити використання засобів захисту, стимулювати розвиток коріння, поліпшити фотосинтез і в кінцевому підсумку підвищити врожайність кукурудзи.

При збиранні кукурудзи на зерно залишаються післяжнивні залишки, які складаються з різних частин рослини: стебло, листя обгортки та стрижні качанів. В основному, ці залишки залишаються на ґрунті та механічно подрібнюються. Дуже мало проводиться їх збирання для використання у тваринництві або для виробництва твердого палива [8]. Одним із можливих застосувань цих відходів є їх енергетичне використання. До складу стрижнів качана кукурудзи входить 35,6% геміцелюлози,

45,2% целюлози та 15,0% лігніну, а для стебла ці показники становлять: 26,4% геміцелюлози, 36,4% целюлози та 27,3% лігніну, що вказує на те, що побічна продукція (ПП) кукурудзи може бути використана, як сировина для створення пелет або брикетів [9–10].

Побічна продукція кукурудзи на зерно має досить хороші паливні властивості, близькі до властивостей деревного палива. Завдяки цьому біопаливо, виготовлене із кукурудзиння, може спалюватися в котельному обладнанні, призначеному для деревної біомаси [11]. Крім того, стебла кукурудзи містять менше хлору (0,13%), ніж свіжа («жовта») солома зернових колосових культур (0,75%). Це є позитивним фактором для решток кукурудзи як палива, оскільки сполуки хлору викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання [12].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливими цілями сталого сільського господарства є забезпечення високої врожайності, стабільності врожаю та родючості ґрунту [13]. Застосування добрив не тільки підвищує врожайність кукурудзи, але також може відігравати значну роль у досягненні цілей сталого сільського господарства [14–15]. Незважаючи на те, що мінеральні добрива широко застосовуються при вирощуванні кукурудзи, доступна обмежена інформація про їх вплив на стабільність врожаю, а також про зв'язки між показниками родючості ґрунту, метеорологічними факторами та врожайністю культури [16–17].

Вважається, що добрива забезпечують високу ефективність в дозах, які найбільш повно задовольняють потребу різних біологічних типів гібридів кукурудзи. Тому застосовують під кукурудзу дози добрив, які сприяють формуванню максимальної урожайності зерна –  $N_{90-120}P_{40-60}K_{40-60}$ . При високих дозах добрив ( $N_{100-120}P_{50-60}K_{50-60}$ ) зростають витрати енергії на їх застосування в 1,5–2 рази, а також знижується їх окупність майже на 50%. Використання мінеральних добрив під кукурудзу в дозах, які перевищують 90 кг/га д.р. NPK, на родючих чорноземних ґрунтах призводить до непродуктивного використання елементів живлення [18–19].

Результатами досліджень L. S. Ayeni [20] встановлено, що порівняно із контролем, органічні добрива, органо-мінеральні добрива та мінеральні добрива ( $N_{15}P_{15}K_{15}$ ) значно підвищували висоту рослин кукурудзи, кількість листків, площу листків, суху речовину коренів і урожайність зерна та побічної продукції.

Згідно У. А. Mahmood та ін. [21], значне збільшення врожайності зерна кукурудзи спостерігалось при сумісному застосуванні органічних, мінеральних добрив та позакореневим підживленням гуміновою кислотою – 9,52 т/га, що вище на 341,7%, порівняно із контролем. Це пояснюється надходженням поживних речовин до рослин і взаємодією між добривами, підвищенням ефективності біологічних процесів у рослинах та збільшенням вмісту хлорофілу.

Отримані в Єгипті, протягом двох років досліджень, дані свідчать про значне збільшення врожайності зерна та вмісту протеїну у зерні кукурудзи при збільшенні доз азотних добрив з 60 до 120 кг/га д.р. Також ефект від позакореневого обприскування гуміновою кислотою був позитивним за всіма варіантами досліду [22].

Встановлено, що в залежності від гібриду кукурудзи, доз внесення макро- та мікро-добрив і застосування мікро-добрив урожайність кукурудзи збільшується на 1,4–24,0% у порівнянні із варіантами без їх використання [23–25]. Внесення добрив збільшувало врожайність зеленої та сухої маси кукурудзи на 9,8–22,1% та 7,7–19,2%, порівняно із контролем. За внесення мінеральних добрив у дозах  $N_{100}P_{80}K_{80}$  врожайність зеленої та сухої маси кукурудзи була на 18,8 т/га та 5,1 т/га вищою, ніж на контролі [26].

Для задоволення потреб кукурудзи в поживних речовинах упродовж усього вегетаційного періоду, поряд із внесенням макро- та мікро-добрив проводять позакореневе та ґрунтове підживлення мікроелементами або комплексними препаратами з рістрегулюючим ефектом. Найбільша потреба в поживних речовинах у кукурудзи виникає перед викиданням волоті і при формуванні качанів [27–29].

Застосування половини дози азотних добрив у ґрунтове внесення та іншої половини у позакореневе обприскування підвищило врожайність зерна кукурудзи на 43%, порівняно із результатами, отриманими при застосуванні повної дози азотних добрив (100 кг/га, д.р.) [30]. Позакореневе підживлення макро- та мікро-добривами (НПК) можна використовувати, як доповнення до їх ґрунтового внесення [31].

В умовах Полтавської області, найбільшу урожайність гібридів кукурудзи ДН Патріот і ДН Фіеста було одержано за умови внесення мінеральних добрив дозою  $N_{45}P_{40}K_{60}$  + позакореневого підживлення карбамідом (15 кг/га) та мікро-добривом Новалон Фоліар (1,0 кг/га) у фазу 5–6 листків на фоні полицевого обробітку ґрунту. Приріст урожайності зерна гібридів відносно контролю становив, відповідно 1,06 і 1,20 т/га або 19,2 і 18,9% [32].

За даними О. Tsyliuguk та ін., під дією стимуляторів росту рослин підвищувався вміст сирого протеїну в гібридів кукурудзи ДН Пивиха на 0,03–0,65%, ДН Хортиця – 0,58–1,04%, ДН Джулія – 0,1–0,74%, ДН Олена – 0,15–0,68%, максимальна прибавка сирого протеїну відмічена у середньораннього гібрида ДН Хортиця. Серед використаних препаратів найбільшу ефективність виявили «Авангард Гроу Аміно» та «Авангард Гроу Гумат», які сприяли зростанню вмісту сирого протеїну на 6,42–8,4% або на 0,12–0,48%. Стимулятори росту підвищували вміст сирого жиру, порівняно із контролем (3,53–4,71%) до 3,73–5,52% або на 0,2–0,81%. Найбільш

позитивну тенденцію тут мали препарати «Авангард Гроу Аміно», «Авангард Гроу Гумат» та «Вимпел 2» [33].

В умовах Лісостепу України застосування макро-добрив 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 Teprosyn 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 із варіантами без їх застосування [34].

Застосування мікро-добрив і регуляторів росту на посівах кукурудзи позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, що у свою чергу позитивно позначається на формуванні врожаю. Незалежно від групи стиглості гібрида, мікро-добрива та регулятори росту підвищують урожайність зерна кукурудзи на 0,38–1,26 т/га. Найбільш значний ефект від застосування мікро-добрив і регуляторів росту спостерігався у середньостиглих та середньопізніх гібридів [35].

При листовому застосуванні комплексних мінеральних добрив Plantonit Frumentum і Plantonit Grain продуктивність кукурудзи зростала на 6,0 і 5,4%, порівняно із внесенням лише  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . При внесенні  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + Plantonit Grain ранньостиглі гібриди збільшували врожайність зерна на 1,76 т/га, середньоранні на 2,11 т/га, середньостиглі на 1,96 т/га. При цьому найвищий приріст урожайності спостерігався у середньоранніх та середньостиглих гібридів (1,48–2,32 т/га) [36].

Максимальний рівень урожайності зерна кукурудзи в Західному Лісостепу забезпечує внесення повного мінерального добрива у нормі  $N_{160}P_{120}K_{120}$  з проведенням позакореневого підживлення мікро-добривами, карбамідом 5% і сульфатом магнію 5%. У середньому, за три роки урожайність становила 13,24 т/га, що на 1,05 т/га перевищило аналогічний варіант досліду, але без проведення підживлення [37].

Незважаючи на те, що у вирощуванні кукурудзи було досягнуто значних успіхів завдяки впровадженню високопродуктивних гібридів, інтенсифікації технології і збільшенню внесення мінеральних добрив деякі питання залишаються недостатньо вивченими, зокрема вплив рівня мінерального живлення на урожайність і якість побічної продукції.

**Метою дослідження** було визначення впливу мінеральних добрив та регуляторів росту рослин на формування урожайності та якісних показників зерна і побічної продукції кукурудзи, а також вихід паливних пелет.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження проводили в 2022–2023 рр. в ПСП Агрофірма «Світанок» Київської області за наступною схемою: Фактор А. Мінеральні добрива (кг/га д. р.) 1. Без добрив; 2.  $N_{50}P_{30}K_{30}$ ; 3.  $N_{70}P_{50}K_{50}$ ; 4.  $N_{90}P_{70}K_{70}$  Фактор В. Позакореневе підживлення добривами та регуляторами росту рослин 1. Без застосування; 2. Нутривант Універсальний (2 кг/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи (ВВСН 13–16); 3. Нутривант плюс Зерновий

(2 кг/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи (ВВСН 13–16) + Атланте (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18); 4. Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18). Висівали гібрид кукурудзи СИ Октеон (ФАО 380). Площа облікової ділянки – 294 м<sup>2</sup>. Повторність – триразова. Розміщення варіантів послідовне. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку.

Технологія вирощування кукурудзи загальноприйнята для зони Лісостепу, крім прийомів, які були поставлені на вивчення. Сівбу кукурудзи проводили у третій декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання насіння 8–10°C. Мінеральні добрива (нітроамофоска) вносили восени, решту азотних добрив (аміачна селітра) – перед сівбою. Добрива Нутривант, Атланте і Ікар вносили у позакореневе підживлення у відповідні фази кукурудзи з витратою робочого розчину 250 л/га.

Урожайність основної та побічної продукції кукурудзи проводили прямим комбайнуванням поділяючно, з подальшим перерахунком маси зерна на 1 га.

Якісні показники кукурудзи визначали в науково-випробувальній лабораторії ДП «Київоблстандартметрологія». Вихід побічної продукції кукурудзи (В<sub>пп</sub>), яка може бути використана для виробництва паливних пелет визначали за формулою, відповідно до рекомендацій [38]:

$$V_{пп} = U_{пп} * K_{від} * (1 - K_{в}) * K_{ен} \quad (1)$$

де, U<sub>пп</sub> – урожайність побічної продукції, т/га

K<sub>від</sub> – коефіцієнт відходів

K<sub>в</sub> – коефіцієнт втрат

K<sub>ен</sub> – коефіцієнт енергетичного використання.

Згідно методичних рекомендацій K<sub>від</sub> становить для побічної продукції кукурудзи – 1,2, K<sub>в</sub> – 0,25 і K<sub>ен</sub> – 1.

Розрахунок виходу пелет (P<sub>вп</sub>) проводили за рівнянням, відповідно до Г.А. Голуб та ін. [39]:

$$P_{вп} = \frac{B_{ен} * Q_{н}}{25,31} \quad (2)$$

де, Q<sub>н</sub> – нижча теплотворна здатність продукції, МДж/кг;

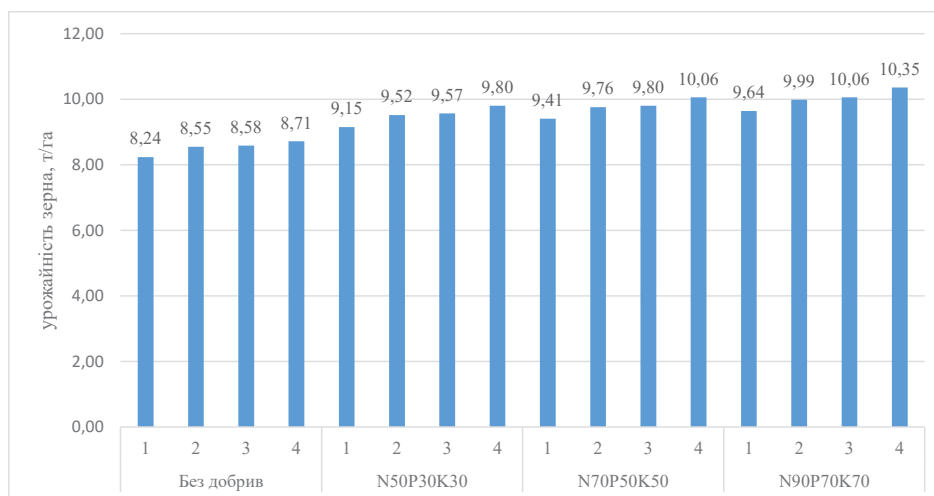
25,31 – теплотворна здатність 1 кг умовного палива, МДж/кг.

**Результати досліджень.** В середньому за роки досліджень, максимальна урожайність зерна отримана на варіанті досліду із внесенням N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>70</sub> у поєднанні із позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18) – 10,35 т/га, що на 1,64 т/га більше, порівняно із варіантом без удобрення (рис. 1).

Застосування мінеральних добрив дозволило збільшити урожайність зерна на 0,91–1,64 т/га або 11,2–18,3%, а застосування регуляторів росту рослин на 0,32–0,71 т/га або на 3,8–7,3%, порівняно із контролем.

Згідно отриманих лабораторних даних, найвищий вміст крохмалю у зерні кукурудзи отримано на варіанті без внесення добрив і регуляторів росту рослин – 70,86%. Застосування мінеральних добрив сприяло зменшенню цього показника на 0,63–1,68%, а регуляторів росту рослин на 0,17–0,43% (табл. 1). Результати наших досліджень співпадають з даними інших вчених, які відмічають, що поліпшення мінерального живлення рослин не сприяє підвищенню накопичення в зерні крохмалю, а в більшій мірі поліпшує вміст білку [40].

Вміст протеїну в зерні кукурудзи, залежно від варіанту досліду, коливався від 9,66 до 10,35% з максимальними значеннями на ділянках досліду, де застосовували N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>70</sub> у поєднанні із позакореневим підживленням



**Рис. 1.** Урожайність зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2023 рр.) (1 – Без застосування, 2 – Нутривант Універсальний, 3 – Нутривант плюс Зерновий + Атланте, 4 – Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто)

Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18).

Під впливом мінерального живлення вміст протеїну зростає на 0,36–0,57%, а регуляторів росту рослин на 0,09–0,46%, порівняно із контрольними варіантами. Вміст жиру на варіантах без застосування мінеральних добрив становив 4,18–4,23%, а при їх внесенні зменшувався до 3,80–4,11%.

За рахунок використання регуляторів росту рослин вміст жиру був меншим на 0,09–0,18%, відносно контролю.

Відмічена висока зворотна кореляційна залежність між вмістом крохмалю в зерні і урожайністю зерна ( $r=-0.85$ ), яка в значній мірі залежить від системи живлення рослин кукурудзи (рис. 2).

Кореляційна залежність між урожайністю зерна та вмістом протеїну є високою позитивною ( $r=0.87$ ) (рис. 3).

Вміст жиру в зерні, як і крохмалю має обернену залежність щодо урожайності ( $r=-0.82$ ) (рис. 4).

На виробництво біопалива впливають природні ризики, а саме несприятливі погодні умови для вирощування біоенергетичних культур, які є сировиною для готової продукції – паливних брикетів. Із виробничих ризиків найбільш впливовим є зниження родючості ґрунтів [38].

Виявлено вплив мінеральних добрив на якісний склад структурних частин рослин кукурудзи. Попередньо було встановлено відсутність достовірного впливу регуляторів росту на якісні показники побічної продукції кукурудзи, відповідно дані по ним відсутні у таблиці 2.

Структурні частини рослин кукурудзи відзначаються різним вмістом хімічних елементів (табл. 2). Так,

Таблиця 1

## Якісні показники зерна кукурудзи (середнє за 2022–2023 рр.)

Мінеральні добрива (А)	Позакореневе підживлення (В)	Крохмаль, %	Протеїн, %	Жир, %
Без добрив	Без застосування	70,86	9,66	4,38
	Нутривант Універсальний	70,35	9,78	4,23
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	70,43	9,83	4,20
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	70,50	9,85	4,18
N <sub>50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	Без застосування	70,04	10,01	4,11
	Нутривант Універсальний	69,70	10,14	4,01
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	69,81	10,16	4,00
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	69,86	10,19	3,98
N <sub>70</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	Без застосування	69,83	10,13	4,00
	Нутривант Універсальний	69,51	10,28	3,88
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	69,58	10,30	3,86
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	69,63	10,33	3,85
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	Без застосування	69,58	10,22	3,92
	Нутривант Універсальний	69,27	10,29	3,83
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	69,35	10,32	3,83
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	69,41	10,35	3,80
НІР <sub>05</sub>	А	0,09	0,11	0,05
	В	0,03	0,14	0,03
	АВ	0,14	0,23	0,08

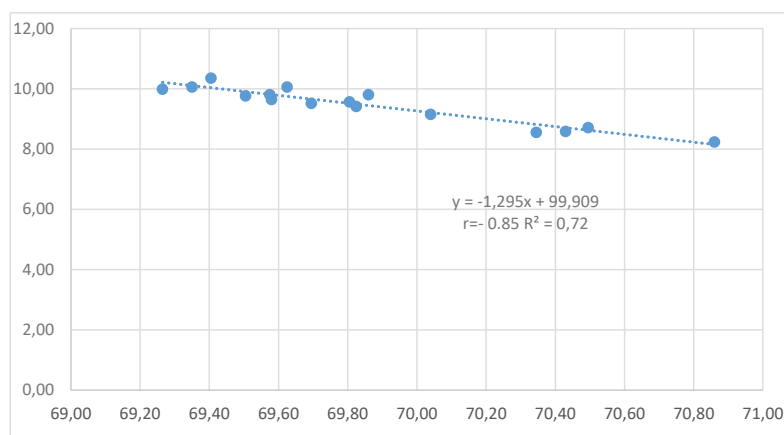


Рис. 2. Кореляційна залежність між урожайністю зерна і вмістом крохмалю

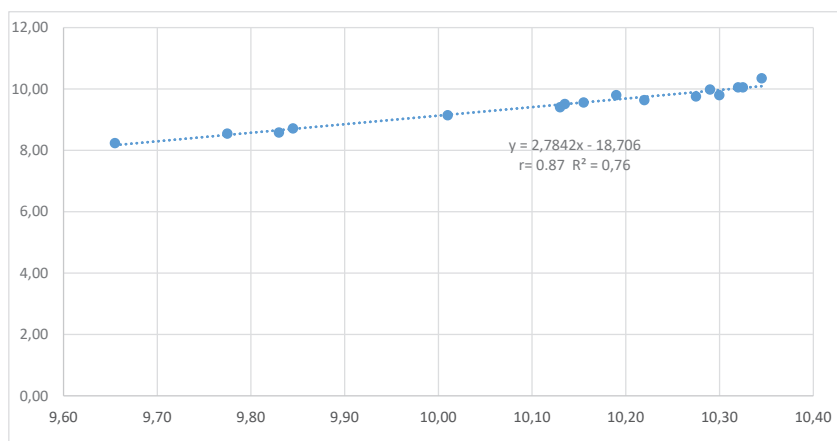


Рис. 3. Кореляційна залежність між урожайністю зерна і вмістом протеїну

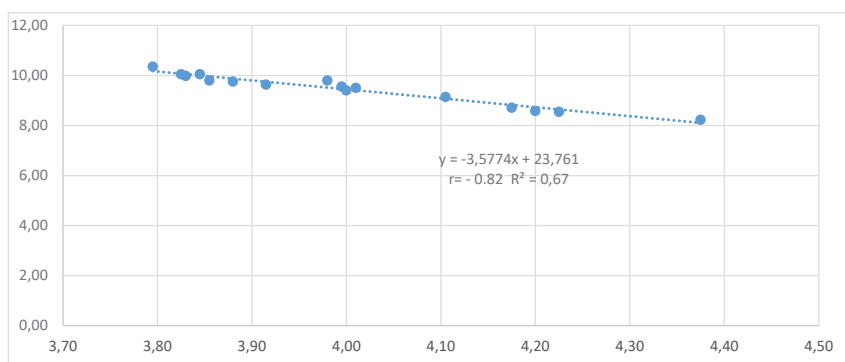


Рис. 4. Кореляційна залежність між урожайністю зерна і вмістом жиру

в обгортках і стрижнях качана вищим є вміст вуглецю (45,85–46,31%), водню (6,32–6,57%), азоту (1,04–1,46%), сірки (0,14–0,18%), кисню (43,13–43,30%), порівняно із стеблом і листками (44,67–45,18; 5,68–5,93; 0,67–0,97; 0,08–0,10; 41,06–41,17%), відповідно. Вищими у листостебловій масі кукурудзи була тільки зольність – 6,42–6,66%, відповідно і показник вмісту золи у рослинах кукурудзи коливався в межах 4,88–5,19%.

Вміст золи у побічній продукції кукурудзи є основним фактором якості для подальшого виробництва біопалива. Вміст золи залежить від технології збирання, оскільки її кількість збільшується внаслідок контакту біомаси рослин з ґрунтом. З огляду на це, існує два типи золи: структурна та неструктурна. Структурна зола складається із неорганічних речовин у рослині, які залишаються після її спалювання. Звичайна зольність залишків кукурудзи становить 3,5% [11].

Неструктурована зола – це неорганічні речовини (переважно ґрунт), які потрапляють у біомасу під час її заготівлі, зокрема при формуванні валків та тюкуванні. Типовий загальний вміст золи у кукурудзинні при збиранні сільськогосподарськими машинами у декілька проходів становить 8–10% [12]. При спалюванні агропелет виникає проблема через низьку температуру плавлення отриманої золи. Внаслідок цього відбувається закупорювання (заплавлення, закоксовування) подових

кокосникових решіток традиційних котлів об'ємного спалювання в класичній топці. Крім того, проблема спричиняє склування золи [41].

За даними V. Varesa [42], елементарний склад решток кукурудзи майже такий же, як у соломі колосових зернових культур, тому вони мають порівнянну теплотворну здатність. Властивості кукурудзиння, як і соломі сильно залежать від місця вирощування, часу збирання та погоди, ґрунту і добрив.

В наших дослідженнях застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню зольності рослин кукурудзи на 0,20–0,31%, вмісту водню на 0,11–0,25%, азоту на 0,25–0,36% та несуттєво сірки – 0,01–0,03%, порівняно із варіантами без їх використання (контроль). При цьому вміст вуглецю зменшувався на 0,16–0,48%, а кисню на 0,04–0,09%, крім варіанту  $N_{50}P_{30}K_{30}$ .

Співвідношення основної (зерно) та побічної (солома) продукції у кукурудзи є різним та залежить від гібриду, умов вирощування, елементів технології, вологості та становить 1:0,9–1,5 [43]. За даними американських учених, приблизно 1 тона решток (при 10% вологості) виробляється на 1,02 т зерна кукурудзи (при вологості 15,5%) [44]. Загалом це співвідношення зменшується зі збільшенням врожайності зерна кукурудзи [11].

В наших дослідженнях співвідношення побічної продукції (ПП) кукурудзи до зерна було в межах

Таблиця 2

Якісні показники різних частин рослин кукурудзи (середнє за 2022–2023 рр.)

Мінеральні добрива	Показники	Стрижні+обгортки качана	Стебло+листки	Рослина (без зерна)
Без добрив	Вміст золи,%	3,35	6,42	4,88
	Вуглець,%	46,31	45,18	45,74
	Водень,%	6,32	5,68	6,00
	Азот,%	1,04	0,67	0,85
	Сірка,%	0,14	0,08	0,11
	Кисень,%	43,27	41,11	42,19
N <sub>50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	Вміст золи,%	3,58	6,58	5,08
	Вуглець,%	46,14	45,03	45,58
	Водень,%	6,44	5,79	6,11
	Азот,%	1,36	0,85	1,11
	Сірка,%	0,15	0,09	0,12
	Кисень,%	43,30	41,15	42,22
N <sub>70</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	Вміст золи,%	3,67	6,63	5,15
	Вуглець,%	46,02	44,93	45,48
	Водень,%	6,51	5,85	6,18
	Азот,%	1,41	0,93	1,17
	Сірка,%	0,17	0,10	0,13
	Кисень,%	43,13	41,06	42,09
N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	Вміст золи,%	3,73	6,66	5,19
	Вуглець,%	45,85	44,67	45,26
	Водень,%	6,57	5,93	6,25
	Азот,%	1,46	0,97	1,22
	Сірка,%	0,18	0,10	0,14
	Кисень,%	43,13	41,17	42,15

1,27–1,40 і залежало від варіанту досліду та урожайності (табл. 3). Як і по урожайності зерна, найвищі значення ПП отримано на варіанті із використанням мінеральних добрив N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>70</sub> у поєднанні із позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18) – 14,53 т/га. Це на 0,62 т/га вище, ніж при застосуванні N<sub>70</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>, на 1,04 т/га, ніж N<sub>50</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> і на 3,24 т/га, ніж на варіанті без удобрення. Вихід ПП кукурудзи для виробництва пелет коливався в межах 9,42–13,08 т/га і на варіантах з внесенням мінеральних добрив перевищував контроль на 18,2–28,7%.

При визначенні виробництва пелет з ПП кукурудзи враховано, що частина післяжнивних залишків (25–30%) залишається на полі. Розрахунковий вихід пелет з ПП кукурудзи становить 6,15–8,71 т/га або 0,65–0,67 т на 1 т післяжнивних залишків кукурудзи. При наших розрахунках не враховано втрати маси ПП під час зберігання.

**Висновки.** Максимальна урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи в досліді отримана на варіанті із використанням мінеральних добрив N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>70</sub> у поєднанні із позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18) –

10,35 і 14,53 т/га, що на 1,64 і 3,24 т/га більше, порівняно із варіантом без удобрення. Застосування мінеральних добрив дозволяє збільшити урожайність зерна на 11,2–18,3%, побічної продукції кукурудзи на 18,2–28,7%, а регуляторів росту рослин на 3,8–7,3% і 4,2–14,3%, відносно контролю.

Застосування мінеральних добрив та регуляторів росту рослин істотно впливає на хімічний склад зерна, за якого вміст крохмалю та жиру знижується на 0,17–1,09% та 0,09–0,46%, а вміст білку зростає на 0,10–0,57%, в порівнянні із контрольним варіантом. Відмічена висока зворотна кореляційна залежність між урожайністю зерна і вмістом крохмалю ( $r=-0,85$ ) та жиру ( $r=-0,82$ ) в зерні і висока позитивна з вмістом протеїну ( $r=0,87$ ).

Структурні частини рослин кукурудзи відзначаються різним вмістом хімічних елементів. Так, в обгортках і стрижнях качана вищим є вміст вуглецю, водню, азоту, сірки, кисню, порівняно із стеблом і листками. Вищими у листостебловій масі кукурудзи є тільки вміст золи – 6,42–6,66%. Застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню зольності рослин кукурудзи на 0,20–0,31%, вмісту водню на 0,11–0,25%, азоту на 0,25–0,36% та сірки – 0,01–0,03%, та зменшенню вуглецю на 0,16–0,48% і кисню на 0,04–0,09%, порівняно із варіантами без їх використання.

Вихід побічної продукції кукурудзи для виробництва пелет становить 9,42–13,08 т/га, а розрахунковий вихід пелет 6,15–8,71 т/га або 0,65–0,67 т на 1 т післяжнивних залишків кукурудзи.

Таблиця 3

Урожайність побічної продукції кукурудзи (ПП) та розрахунковий вихід пелет (середнє за 2022–2023 рр.)

Мінеральні добрива (А)	Позакореневе підживлення (В)	Урожайність ПП з перерахунком на 14% вологість, т/га, $U_{пп}$	Вихід ПП для виробництва пелет, т/га, $V_{пп}$	Вихід пелет, т/га, $P_{вп}$	Співвідношення побічної продукції до зерна
Без добрив	Без застосування	10,47	9,42	6,15	1,27
	Нутривант Універсальний	10,88	9,79	6,39	1,27
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	11,03	9,92	6,48	1,28
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	11,29	10,16	6,63	1,30
$N_{50}P_{30}K_{30}$	Без застосування	12,38	11,14	7,35	1,35
	Нутривант Універсальний	12,92	11,62	7,67	1,36
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	13,01	11,71	7,73	1,36
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	13,49	12,14	8,01	1,38
$N_{70}P_{50}K_{50}$	Без застосування	12,20	10,98	7,28	1,30
	Нутривант Універсальний	13,26	11,94	7,91	1,36
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	13,42	12,08	8,01	1,37
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	13,91	12,52	8,30	1,38
$N_{90}P_{70}K_{70}$	Без застосування	12,72	11,45	7,62	1,32
	Нутривант Універсальний	13,81	12,43	8,27	1,38
	Нутривант плюс Зерновий + Атланте	13,93	12,54	8,35	1,39
	Ікар Біго Рутс + Ікар Фосто + Ікар Зінто	14,53	13,08	8,71	1,40
НІР <sub>05</sub>	А	1,04	0,67	0,09	
	В	0,08	0,06	0,03	
	АВ	1,21	0,78	0,14	

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Zhang S., Lehmann A., Zheng W., You Z., Rillig M. C. Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. *New Phytologist*. 2019. №222(1). P. 543–555. DOI: 10.1111/nph.15570
- Лавриненко Ю. О., Вожегова Р. А., Базалій В. В., Марченко Т. Ю., Іванів М. О. Адаптивна здатність гібридів кукурудзи за різних способів поливу та вологозабезпеченості у Посушливому Степу України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2020. Т. 27. С. 125–131. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v27.1314>
- Marchenko T. Y., Lavrinenko Y. O., Mykhaenko I. V., Khomenko T. M. Biometric indicators of maize hybrids of different FAO groups depending on micronutrient treatment under irrigation conditions. *Plant Var. Stud. Prof.*, 2019. №15(1). P. 71–79.
- Шкатула Ю. М., Сторожук Ю. В. Вплив позакореневих підживлень на біоенергетичну продуктивність кукурудзи на зерно. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 3 (26). С. 87–101.
- Панченко Т., Новохацький М., Грабовський М., Козак Л., Правдива Л. Комплексна оцінка впливу основного обробітку ґрунту й удобрення на елементи структури, врожайності зерна і зеленої маси кукурудзи. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2023. Вип. 33 (47). С. 78–93. [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33\(47\)-7](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-7)
- Гаврилюк В. М. Гібриди кукурудзи: грані проблеми. *Насінництво*. 2015. № 3/4. С. 4–7.
- Капустін А. С. Вплив мінеральних добрив на урожай нових гібридів кукурудзи. *Науковий вісник Луганського національного аграрного університету : сільськогосподарські науки*. 2011. № 33. С. 19–23.
- Miranda M. T., García-Mateos R., Arranz J. I., Sepúlveda F. J., Romero P., Botet-Jiménez A. Selective use of corn crop residues: Energy viability. *Applied Sciences*. 2021. №11(7). P. 3284. <https://doi.org/10.3390/app11073284>
- Prasad S., Singh A., Joshi H. C. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007. Т. 50. №. 1. P. 1–39.
- Chen Q., Yang R., Zhao B., Li Y., Wang S., Wu H., Chen C. Investigation of heat of biomass pyrolysis and secondary reactions by simultaneous thermogravimetry and differential scanning calorimetry. *Fuel*. 2014. №134. P. 467–476.

11. Geletukha G., Drahnev S., Zheliezna T., Karampinis M. Maize residues to Energy. Bioenergy Association of Ukraine. 2022. 48 p.
12. Гелетука Г.Г., Драгнев С.В., Железна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. *Аналітична записка УАВІО*. 2020. № 23. 42 с.
13. Гаркавий В. Теоретичні основи розробки стратегії сталого розвитку сільського господарства. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2023. Т. 2. №. 4. С. 56–64.
14. Szulc P., Ambroży-Deręgowska K., Waligóra H., Mejza I., Grześ S., Zielewicz W., Wróbel B. Dry matter yield of maize (*Zea mays* L.) as an indicator of mineral fertilizer efficiency. *Plants*. 2021. №10(3). P. 535.
15. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив системи удобрення на лінійні розміри рослин кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2023. №21. С. 104–109. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2023.21.16>
16. Ma Q., Yu W. T., Jiang C. M., Zhou H., Xu, Y. G. The influences of mineral fertilization and crop sequence on sustainability of corn production in northeastern China. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2012. №158. P. 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.023>
17. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т.О. Вплив рівня мінерального живлення на ріст, розвиток та водоспоживання рослин сорго цукрового та кукурудзи в одновидових та сумісних посівах. *Таврійський науковий вісник*, 2018. Вип. 103. С. 27–35.
18. Грабовський М.Б. Удобрення кукурудзи: на часі економія. *The Ukrainian Farmer*, січень 2015. С.56–57.
19. Грабовський М. Б. Формування продуктивності сорго цукрового як біоенергетичної культури залежно від рівня мінерального живлення. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 99. С. 30–39.
20. Ayeni L. S., Adeleye E. O., Adejumo J. O. Comparative effect of organic, organomineral and mineral fertilizers on soil properties, nutrient uptake, growth and yield of maize (*Zea mays*). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 2012. Vol. 2(11). p. 493–497.
21. Mahmood Y. A., Ahmed F. W., Mohammed I. Q., Wheib K. A. Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Ecology*. 2020. №47(10). P. 39–44.
22. Abdelzاهر M.A., Ibrahim Z.I., Khalil F.A., Mohamed W.S. Use of Some Organic and Bio Fertilizers as a Partial Substitution of the Mineral Nitrogen Fertilization for Corn 1-The Effect on Corn Yield and N, P and K uptake. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 2017. №48(1). P. 229. doi 10.21608/ajas.2016.3744
23. 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. 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>
24. Грабовський М.Б. Урожайність кукурудзи на силос залежно від рівня мінерального живлення в умовах Центрального Лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. №7. С. 49–53.
25. 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. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0212>
26. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Городецький О.С., Курило В.Л. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від фону мінерального живлення. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 37–40.
27. Мойсієнко В. В. Пріоритетність та шляхи підвищення продуктивності зернової та силосної кукурудзи. *Вісник ЖНАЕУ*. 2015. № 1 (47). Т. 1. С. 190–203.
28. Vozhehova R., Marchenko T., Piliarska O., Lavrynenko Y., Halchenko N., Lykhovyd P. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. №21(4). P. 611–619.
29. Марченко Т. Ю., Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Хоменко Т. М. Особливості формування фотосинтетичного потенціалу і врожайності насіння батьківських компонентів кукурудзи в умовах зрошення та застосування стимулятора росту. *Plant varieties studying and protection*. 2020. №16(2). С. 191–198.
30. Islam M.N., Paul R.K., Anwar T.M.K., Mian M.A.K. Effects of foliar application of N fertilizer on grain yield of maize. *Thai Journal of Agriculture Science*. 1996. №29. P. 323–328.
31. Ling F., Silberbush M. Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen–phosphorus–potassium fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*. 2002. №25. P. 2333–2342.
32. Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В. В., Єремко Л. С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № (2). С. 52–58.
33. 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. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.59>.
34. 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. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.17>
35. Лавриненко Ю.О., Гож О.А. Вплив стимуляторів росту і мікродобрив на урожайність зерна гібридів кукурудзи в умовах зрошення на півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2015. Вип. 63. С. 58–61.
36. Грабовський М.Б., Вахній С.П., Лозінський М.В., Панченко Т.В., Басюк П.Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. №2. С. 33–42. doi: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42
37. Шинкарук Л. Вплив макро- і мікродобрив на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2021. № 25. С. 162–166. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.162>
38. Шкивря Н. О. Перспективи розвитку виробництва біопалива з відходів продукції рослинництва. *Економіка і організація управління*. 2014. №. 1–2. С. 312–315.



39. Голуб Г.А., Кухарець С.М., О.А. Марус, М.Ю. Павленко, К.М. Сера, В.В. Чуба. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. Київ: НУБіП України, 2016. 226 с.
40. Паламарчук В. Д., Алексєєв О. О. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Сільське господарство та лісівництво*. № 1 (16). 2020. С. 28–47.
41. Басок Б., Давиденко Б., Кужель Л., Лисенко О., Веремійчук Г. М. Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*, 2021. №37. С. 13–23. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.13-23>
42. Varesa V. Handbook for biofuel consumer. Tallinn: Tallinn Technology University, 2005. 183 p.
43. Орлов О. Технології управління рослинними рештками кукурудзи. *Агронам*. 2022. №1. URL: <https://www.agronom.com.ua/tehnologiyi-upravlinnya-roslynnyumu-reshtkamy-kukurudzy/>
44. Cantrell K. B., Novak J. M., Frederick J. R., Karlen D. L., Watts D. W. Influence of corn residue harvest management on grain, stover, and energy yields. *BioEnergy Research*. 2014. №7. P. 590–597.
7. Kapustin, A. S. (2011). Vplyv mineralnykh dobrykh na urozhai novykh hibrydiv kukurudzy [The influence of mineral fertilizers on the yield of new hybrids of corn]. *Scientific Bulletin of the Luhansk National Agrarian University: Agricultural Sciences*, 33, 19–23. [in Ukrainian]
8. Miranda, M. T., García-Mateos, R., Arranz, J. I., Sepúlveda, F. J., Romero, P., Botet-Jiménez, A. (2021). Selective use of corn crop residues: Energy viability. *Applied Sciences*, 11:7, 3284. <https://doi.org/10.3390/app11073284>
9. Prasad, S., Singh, A., Joshi, H. C. (2007). Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. *Resources, Conservation and Recycling*, 50:1, 1–39.
10. Chen, Q., Yang, R., Zhao, B., Li, Y., Wang, S., Wu, H., Chen, C. (2014). Investigation of heat of biomass pyrolysis and secondary reactions by simultaneous thermogravimetry and differential scanning calorimetry. *Fuel*, 134, 467–476.
11. Geletukha, G., Drahnev, S., Zheliezna, T., Karampinis, M. (2022). Maize residues to Energy. *Bioenergy Association of Ukraine*, 48.
12. Geletukha, H.G., Dragnev, S.V., Zhelezna, T.A., Bashtovyi, A.I. (2020). Analiz vyrobnytstva pelet ta bryketyv z pobichnoi produktsii kukurudzy na zerno [Analysis of the production of pellets and briquettes from by-products of corn for grain]. *Analytical note UABIO*, 23, 42. [in Ukrainian]
13. Harkavy, V. (2023). Teoretychni osnovy rozrobky stratehii staloho rozvytku silskoho hospodarstva [Theoretical foundations of developing a strategy for the sustainable development of agriculture]. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 2:4, 56–64. [in Ukrainian]
14. Szulc, P., Ambroży-Deręowska, K., Waligóra, H., Mejza, I., Grześ, S., Zielewicz, W., & Wróbel, B. (2021). Dry matter yield of maize (*Zea mays* L.) as an indicator of mineral fertilizer efficiency. *Plants*, 10(3), 535.
15. Stepanenko, M.V., Grabovskyi, M.B. (2023). Vplyv systemy udobrennia na liniini rozmiiry roslyn kukurudzy [The influence of the fertilization system on the linear dimensions of corn plants]. *Agrarian innovations*, 21, 104-109. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.16> [in Ukrainian]
16. Ma, Q., Yu, W. T., Jiang, C. M., Zhou, H., Xu, Y. G. (2012). The influences of mineral fertilization and crop sequence on sustainability of corn production in northeastern China. *Agriculture, ecosystems & environment*, 158, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.023>
17. Grabovskyi, M.B., Fedoruk, Yu.V., Pravdyva, L.A., Grabovska, T.O. (2018). Vplyv rivnia mineralnogo zhyvlennia na rist, rozvytok ta vodospozhyvannia roslyn sorho tsukrovoho ta kukurudzy v odnovydovykh ta sumisnykh posivakh [The effect of the level of mineral nutrition on the growth, development and water consumption of sweet sorghum and corn plants in mono-species and combined crops]. *Taurian Scientific Bulletin*, 103, 27–35. [in Ukrainian]
18. Grabovskyi, M.B. (2015). Udobrennia kukurudzy: na chasi ekonomii [Fertilizing corn: saving time]. *The Ukrainian Farmer*, 56–57. [in Ukrainian]
19. Grabovskyi, M. B. (2018). Formuvannia produktyvnosti sorho tsukrovoho yak bioenerhetychnoi kultury zalezho

## REFERENCES:

1. Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z., Rillig, M. C. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. *New Phytologist*, 222:1, 543–555. DOI: 10.1111/nph.15570
2. Lavrynenko, Y. O., Vozhegova, R. A., Bazaliy, V. V., Marchenko, T. Yu., Ivaniv, M. O. (2020). Adaptivna zdatsnist hibrydiv kukurudzy za riznykh sposobiv polyvu ta volohozabezpechenosti u Posushlyvomomu Stepu Ukrainy [Adaptability of corn hybrids under different methods of irrigation and moisture supply in the Arid Steppe of Ukraine]. *Factors of experimental evolution of organisms*, 27, 125–131. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v27.1314> [in Ukrainian]
3. Marchenko, T. Y., Lavrynenko, Y. O., Mykhalenko, I. V., Khomenko, T. M. (2019). Biometric indicators of maize hybrids of different FAO groups depending on micronutrient treatment under irrigation conditions. *Plant Var. Stud. Prot.*, 15(1), 71–79.
4. Shkatula, Yu. M., Storozhuk, Yu. V. (2022). Vplyv pozakorenevnykh pidzhyvlen na bioenerhetychnu produktyvnist kukurudzy na zerno [The effect of foliar fertilization on the bioenergetic productivity of corn per grain]. *Agriculture and forestry*, 3:26, 87–101 [in Ukrainian]
5. Panchenko, T., Novokhatskyi, M., Grabovskyi, M., Kozak, L., Pravdyva, L. (2023). Kompleksna otsinka vplyvu osnovnogo obrobittu gruntu y udobrennia na elementy struktury, vrozhainist zerna i zelenoi masy kukurudzy [Comprehensive assessment of the influence of the main tillage and fertilization on structural elements, grain yield and green mass of corn]. *Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture in Ukraine*. Issue 33 (47). P. 78–93. [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33\(47\)-7](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-7) [in Ukrainian]
6. Gavrilyuk, V. M. (2015). Hibrydy kukurudzy: hrani problemy [Hybrids of corn: faces of problems]. *Seed production*, 3/4, 4–7 [in Ukrainian]

- vid rivnia mineralnogo zhyvlennia [Formation of the productivity of sugar sorghum as a bioenergy crop depending on the level of mineral nutrition]. *Taurian Scientific Bulletin*, 99, 30–39. [in Ukrainian]
20. Ayeni, L. S., Adeleye, E. O., Adejumo, J. O. (2012). Comparative effect of organic, organomineral and mineral fertilizers on soil properties, nutrient uptake, growth and yield of maize (*Zea mays*). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2:11, 493–497.
  21. Mahmood, Y. A., Ahmed, F. W., Mohammed, I. Q., Wheib, K. A. (2020). Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Ecology*, 47:10, 39–44.
  22. Abdelzaher, M. A., Ibrahim, Z. I., Khalil, F. A., Mohamed, W. S. (2017). Use of Some Organic and Bio Fertilizers as a Partial Substitution of the Mineral Nitrogen Fertilization for Corn 1-The Effect on Corn Yield and N, P and K uptake. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 48(1), 229. doi 10.21608/ajas.2016.3744
  23. Grabovskyi, M., Kucheruk, P., Pavlichenko, K., Roubik, H. (2023). Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>
  24. Grabovskyi, M. (2014). Urozhainist kukurudzy na sylos zalezno vid rivnia mineralnogo zhyvlennia v umovakh Tsentralnogo Lisostepu Ukrainy [The yield of corn for silage depending on the level of mineral nutrition in the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 7, 49–53. [in Ukrainian]
  25. Grabovskyi, M.B., Pavlichenko, K.V., Kozak, L.A., Kachan, L.M. (2022). Enerhetychna efektyvnist vyroshchuvannia hibrydiv kukurudzy dlia vyrobnytstva biohazu za vykorystannia makro- i mikrodoobryv [Energy efficiency of growing corn hybrids for biogas production using macro- and microfertilizers]. *Cereal crops*. No. 1. P. 100–107. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0212> [in Ukrainian]
  26. Grabovskyi, M.B., Hrabovska, T.O., Horodetskyi, O.S., Kurylo, V.L. (2019). Formuvannia produktyvnosti kukurudzy na sylos zalezno vid fonu mineralnogo zhyvlennia [Formation of productivity of corn for silage depending on the background of mineral nutrition]. *Irrigated agriculture*, 71, 37–40. [in Ukrainian]
  27. Moisienko, V. V. (2015). Priorytetnist ta shliakhy pidvyshchennia produktyvnosti zernovoi ta sylosnoi kukurudzy [Priority and ways of increasing the productivity of grain and silage corn]. *Bulletin of ZhNAEU*, 1 (47), 1, 190–203. [in Ukrainian]
  28. Vozhehova, R., Marchenko, T., Piliarska, O., Lavrynenko, Y., Halchenko, N., Lykhovyd, P. (2021). Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 27(4), 611–619.
  29. Marchenko, T. Yu., Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Yu. O., Khomenko, T. M. (2020). Osoblyvosti formuvannia fotosyntetychnoho potentsialu i vrozhaivosti nasinnia batkivskykh komponentiv kukurudzy v umovakh zroshennia ta zastosuvannia stymuliatora rostu [Peculiarities of formation of photosynthetic potential and seed yield of parental components of corn under conditions of irrigation and growth stimulator application]. *Plant varieties studying and protection*, 16(2), 191–198. [in Ukrainian]
  30. Islam, M.N., Paul, R.K., Anwar, T.M.K., Mian, M.A.K. (1996). Effects of foliar application of N fertilizer on grain yield of maize. *Thai Journal of Agriculture Science*, 29, 323–328.
  31. Ling, F., Silberbush, M. (2002). Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen–phosphorus–potassium fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 2333–2342.
  32. Len, O. I., Totskyi, V. M., Gangur, V. V., Yeremko, L. S. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnogo obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [Influence of fertilization system and main tillage on productivity of corn hybrids]. *Scientific Progress & Innovations*, 2, 52–58. [in Ukrainian]
  33. 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. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.59>
  34. Pavlichenko, K.V., Grabovskyi M.B. (2022). Urozhainist zelenoi i sukhoi masy hibrydiv kukurudzy ta vykhid biohazu zalezno vid zastosuvannia makro- i mikrodoobryv [Yield of green and dry mass of corn hybrids and biogas output depending on the use of macro- and micro-fertilizers]. *Irrigated agriculture*, 77, 79–85. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.17> [in Ukrainian]
  35. Lavrynenko, Yu.O., Gozh, O.A. (2015). Vplyv stymuliatoriv rostu i mikrodoobryv na urozhainist zerna hibrydiv kukurudzy v umovakh zroshennia na pivdni Ukrainy [The influence of growth stimulants and microfertilizers on grain yield of corn hybrids under irrigation conditions in the south of Ukraine]. *Irrigated agriculture*, 63, 58–61. [in Ukrainian]
  36. Grabovskyi, M.B., Vakhniy, S.P., Lozinskyi, M.V., Panchenko, T.V., Basyuk, P.L. (2021). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezno vid zastosuvannia kompleksnykh mineralnykh doobryv [Grain productivity of corn hybrids depending on the application of complex mineral fertilizers]. *Agrobiology*, 2, 33–42. doi: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42 [in Ukrainian]
  37. Shinkaruk, L. (2021). Vplyv makro- i mikrodoobryv na vrozhaivist kukurudzy. *Visnyk LNAU: Ahronomiia* [Effect of macro- and microfertilizers on corn yield]. *Bulletin of LNAU: Agronomy*, 25, 162–166. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.162> [in Ukrainian]
  38. Shkvyra, N. O. (2014). Perspektyvy rozvytku vyrobnytstva biopalyva z vidkhodiv produktsii roslynnytstva [Prospects for the development of biofuel production from crop production waste]. *Economics and management organization*, 1-2, 312–315. [in Ukrainian]
  39. Golub, G.A., Kukharets, S.M. O.A. Marus, M.Yu. Pavlenko, K.M. Siera, Chuba, V.V. (2016). Bioenerhetychni systemy v ahrarnomu vyrobnytstvi [Bioenergy systems in agricultural production]. *Kyiv: NUBIP of Ukraine*, 226 [in Ukrainian]
  40. Palamarchuk, V. D., Alekseev, O. O. (2020). Vmist krokhmalu u zerni kukurudzy zalezno vid pozakorenyvnykh pidzhyvlen [Starch content in corn grain depending

- on foliar fertilization]. *Agriculture and forestry*, 1 (16), 28–47. [in Ukrainian]
41. Basok, B., Davydenko, B., Kuzhel, L., Lysenko, O., Veremiychuk, H. M. 2021. Vmist krokhmalu u zerni kukurudzzy zalezno vid pozakorenevykh pidzhyvlen [Experimental studies of combustion of vegetable pellets in a household boiler]. *Ventilation, lighting and heat and gas supply*, 37, 13–23. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.13-23> [in Ukrainian]
42. Varesa, V. (2005). *Handbook for biofuel consumer*. Tallinn Technology University, 183.
43. Orlov, O. (2022). [Corn residue management technologies]. *Agronomist*, 1. URL: <https://www.agronom.com.ua/tehnologiyi-upravlinnya-roslynnyumu-reshtkamy-kukurudzzy/> [in Ukrainian]
44. Cantrell, K. B., Novak, J. M., Frederick, J. R., Karlen, D. L., Watts, D. W. (2014). Influence of corn residue harvest management on grain, stover, and energy yields. *BioEnergy Research*, 7, 590–597.

**Засуха А.А., Вахній С.П. Особливості формування урожайності, якісних показників зерна і побічної продукції кукурудзи та розрахунковий вихід паливних пелет залежно від елементів технології вирощування**

**Мета.** Визначення впливу мінеральних добрив та регуляторів росту рослин на формування урожайності та якісних показників зерна, побічної продукції кукурудзи, а також вихід паливних пелет. **Методи.** Польовий, лабораторний, вимірювально-ваговий та статистичний. Дослідження проводили в 2022–2023 рр. в ПСП Агрофірма «Світанок» Київської області за наступною схемою: Фактор А. Мінеральні добрива (кг/га д. р.) 1. Без добрив; 2.  $N_{50}P_{30}K_{30}$ ; 3.  $N_{70}P_{50}K_{50}$ ; 4.  $N_{90}P_{70}K_{70}$  Фактор В. Позакореневе підживлення добривами та регуляторами росту рослин 1. Без застосування; 2. Нутривант Універсальний (2 кг/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи (ВВСН 13–16); 3. Нутривант плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи (ВВСН 13–16) + Атланте (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18); 4. Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18). Висівали гібрид кукурудзи СИ Октеон (FAO 380). **Результати.** Застосування мінеральних добрив та регуляторів росту рослин істотно впливає на хімічний склад зерна, за якого вміст крохмалю та жиру знижується на 0,17–1,09% та 0,09–0,46%, а вміст білку зростає на 0,10–0,57%, в порівнянні із контрольним варіантом. Відмічена висока зворотня кореляційна залежність між урожайністю зерна і вмістом крохмалю ( $r=-0,85$ ) та жиру ( $r=-0,82$ ) в зерні і висока позитивна з вмістом протеїну ( $r=0,87$ ). Структурні частини рослин кукурудзи відзначаються різним вмістом хімічних елементів. Так, в обгортках і стрижнях качана вищим є вміст вуглецю, водню, азоту, сірки, кисню, порівняно з стеблом і листками. Вищими у листостебловій масі кукурудзи є тільки вміст золи – 6,42–6,66%. Застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню зольності рослин кукурудзи на 0,20–0,31%, вмісту водню на 0,11–0,25%, азоту на 0,25–0,36% та сірки – 0,01–0,03%, та зменшенню вуглецю на 0,16–0,48% і кисню на 0,04–0,09%, порівняно із варіантами без їх використання.

**Висновки.** Максимальна урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи в досліді отримана на варіанті із використанням мінеральних добрив  $N_{90}P_{70}K_{70}$  у поєднанні із позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс (0,5 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи (ВВСН 13–14) + Ікар Фосто (0,5 л/га) у фазі 4–5 листків кукурудзи (ВВСН 15–16) + Ікар Зінто (0,5 л/га) у фазі 7–8 листків кукурудзи (ВВСН 17–18) – 10,35 і 14,53 т/га, що на 1,64 і 3,24 т/га більше, порівняно із варіантом без удобрення. Застосування мінеральних добрив дозволяє збільшити урожайність зерна на 11,2–18,3%, побічної продукції кукурудзи на 18,2–28,7%, а регуляторів росту рослин на 3,8–7,3% і 4,2–14,3%, відносно контролю. Вихід побічної продукції кукурудзи для виробництва пелет становить 9,42–13,08 т/га, а розрахунковий вихід паливних пелет 6,15–8,71 т/га або 0,65–0,67 т на 1 т післяжнивних залишків кукурудзи.

**Ключові слова:** мінеральні добрива, регулятори росту рослин, якість продукції, вміст хімічних елементів, вихід твердого палива.

**Zasukha A.A., Vakhniy S.P. Features of yield formation, quality indicators of grain and by-products of corn and estimated output of fuel pellets depending on the elements of cultivation technology**

**Purpose.** Determination of the influence of mineral fertilisers and plant growth regulators on the formation of yield and quality indicators of grain, corn by-products, and fuel pellet output. **Methods.** Field, laboratory, weighing and statistical. The research was conducted in 2022–2023 at the private agricultural enterprise "Svitanok" in Kyiv region according to the following scheme: Factor A. Mineral fertilizers (kg/ha dm) 1. No fertilizers; 2; 2.  $N_{50}P_{30}K_{30}$ ; 3.  $N_{70}P_{50}K_{50}$ ; 4.  $N_{90}P_{70}K_{70}$  Factor B. Foliar fertilization with fertilizers and plant growth regulators 1. No application; 2. Nutrivant Universal (2 kg/ha) in the phase of 3–5 leaves of corn (BBCH 13–16); 3. Nutrivant plus Grain (2 kg/ha) in the phase of 3–5 leaves of corn (BBCH 13–16) + Atlante (0.5 l/ha) in the phase of 7–8 leaves of corn (BBCH 17–18); 4. Icar Bigo Roots (0.5 l/ha) in the phase of 3–4 corn leaves (BBCH 13–14) + Icar Fosto (0.5 l/ha) in the phase of 4–5 corn leaves (BBCH 15–16) + Icar Zinto (0.5 l/ha) in the phase of 7–8 corn leaves (BBCH 17–18). The maize hybrid SI Oction (FAO 380) was sown. **Results.** The use of mineral fertilizers and plant growth regulators significantly affects the chemical composition of grain, with a decrease in starch and fat content by 0.17–1.09% and 0.09–0.46%, and an increase in protein content by 0.10–0.57%, compared to the control variant. There was a high inverse correlation between grain yield and starch ( $r=-0.85$ ) and fat ( $r=-0.82$ ) content in grain and a high positive correlation with protein content ( $r=0.87$ ). Structural parts of maize plants are characterized by different content of chemical elements. Thus, the content of carbon, hydrogen, nitrogen, sulphur, and oxygen is higher in the cob wrappers and cobs than in the stem and leaves. Only the ash content is higher in the leaf mass of maize – 6.42–6.66%. The use of mineral fertilizers increased the ash content of maize plants by 0.20–0.31%, hydrogen content by 0.11–0.25%, nitrogen by 0.25–0.36% and sulphur by 0.01–0.03%, and reduced carbon by 0.16–0.48% and oxygen by 0.04–0.09%, compared to the variants without their use. **Conclusions.** The maximum yield of grain and by-products of corn in the experiment was obtained in the variant with the use of min-

eral fertilizers  $N_{90}P_{70}K_{70}$  in combination with foliar feeding Icar Bigo Roots (0.5 l/ha) in the phase of 3–4 leaves of maize (BBCH 13–14) + Icar Fosto (0.5 l/ha) in the phase of 4–5 leaves of maize (BBCH 15–16) + Icar Zinto (0.5 l/ha) in the phase of 7–8 leaves of maize (BBCH 17–18) – 10.35 and 14.53 t/ha, which is 1.64 and 3.24 t/ha more than in the variant without fertilization. The use of mineral fertilizers allows to increase grain yield by

11.2–18.3%, corn by-products by 18.2–28.7%, and plant growth regulators by 3.8–7.3% and 4.2–14.3%, respectively, compared to the control. The yield of corn by-products for pellet production is 9.42–13.08 t/ha and the estimated pellet yield is 6.15–8.71 t/ha, or of 0.65–0.67 t per 1 ton of corn residues.

**Key words:** mineral fertilizers, plant growth regulators, product quality, chemical content, output solid fuel.