

УДК 633.15:631.8(477.4) (292.485)
DOI:10.37128/2707-5826-2025-3-3

**ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА
ВИРОЩУВАННЯ
КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД
БІОЛОГІЗАЦІЇ СИСТЕМИ
УДОБРЕННЯ В УМОВАХ
ЛІСОСТЕПУ
ПРАВОБЕРЕЖНОГО**

І.М. ДІДУР, доктор с-г наук, професор,
директор ННІ агротехнологій та
природокористування
В.І. ЦИГАНСЬКИЙ, кандидат с-г наук,
доцент,
Б.І. ТЕЛЕВАТЮК аспірант,
Д.В. БАНДРОВСЬКИЙ аспірант,
Вінницький національний аграрний
університет

Мета проведеного дослідження полягала у визначенні енергетичної ефективності вирощування гібридів кукурудзи, різної групи стиглості, залежно від сумісного використання мінеральних і біологічних добрив та густоти рослин в умовах Лісостепу правобережного на сірих лісових ґрунтах. Основним показником, що показує енергетична ефективність вирощування сільськогосподарських культур є енергетичний коефіцієнт технології, який показує відношення отриманої з урожаєм енергії до кількості сукупної енергії, що була затрачена на вирощування даного урожаю.

Раціональне використання енергетичних ресурсів є однією із найважливіших передумов для зростання виробництва сільськогосподарської продукції. У зв'язку з цим необхідно проводити аналіз енергетичних витрат при вирощуванні сучасних гібридів у тому числі і кукурудзи, із використанням вже відомих та нових елементів технології вирощування, що дає підстави рекомендувати господарствам різних форм власності технологію, яка є максимально енергоощадною, що в умовах сучасного рослинництва має високу актуальність.

Трифакторний польовий дослід проводили на протязі 2021 – 2023 років на дослідному полі науково-дослідного господарства «Агрономічне» ВНАУ, ґрунт дослідного поля – сірий лісовий середньо суглинковий.

На основі проведеного аналізу агроенергетичної ефективності досліджуваних моделей технології вирощування різностиглих гібридів кукурудзи виявлено, що найбільш ефективною була модель, яка передбачала посів гібриду Р8834 з густотою стояння 70 тис/га, на фоні мінерального удобрення $N_{120}P_{60}K_{60}$ та внесення у передпосівну культивуацію ґрунтового біодобрива Граундфікс (6 л/га), що забезпечило формування найвищого енергетичного коефіцієнту посіву – 3,13, що на 0,30 перевищувало контроль. На дослідних ділянках де вирощували гібрид Р8834 із меншим рівнем мінерального удобрення ($N_{80}P_{40}K_{40}$) та використанням у культивуацію перед посівом ґрунтового біодобрива Граундфікс із нормами 4 і 5 л/га енергетичний коефіцієнт становив, відповідно, 2,85 – 2,93 і 2,99 – 3,07.

Ключові слова: кукурудза, гібриди, біологічні препарати, норма висіву, енергетична ефективність.

Рис 3. Літ 8.

Постановка проблеми. У сучасних реаліях аграрного виробництва найбільш точним та універсальним методом оцінки технологічних процесів у рослинництві вважається агроенергетичний аналіз технологій. Основою даного методу слугує універсальний енергетичний коефіцієнт, який визначається як співвідношення накопиченої в продукції енергії до тієї, що була витрачена на її отримання.

Застосування такого методу дозволяє максимально точно оцінити енергетичні витрати на виробництво, враховуючи не лише прямі затрати енергії, але й енергію, вкладену в засоби виробництва та кінцеву продукцію. Аналіз, виконаний за даною методологією, дає можливість визначити ефективність виробництва зернових культур, порівняти різні моделі та технології, а також знайти шляхи для оптимізації витрат найважливішого ресурсу – енергії. [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний розвиток технологій у вирощуванні сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи, ставить перед виробниками нові виклики та створює необхідність адаптації до інноваційних підходів. Доведено, що використання широкозахватної техніки, яка здатна виконувати кілька операцій одночасно – під час обробітку ґрунту, сівби та догляду за посівами – суттєво зменшує споживання енергоресурсів і витрати на паливо, мастильні матеріали, а також трудові та фінансові витрати на технічне забезпечення. Крім того, значне скорочення енергетичних затрат досягається завдяки оптимізації процесів основного обробітку ґрунту та системного внесення добрив, що належать до найбільш енергоємних складових технології вирощування. [2]. Тому наряду з застосуванням енергозатратних традиційних систем вирощування, все більшого поширення набувають енергоощадні, які передбачають широке застосування мікродобрив та біологічних препаратів різного механізму дії [3].

Результати проведених досліджень у Національному університеті біоресурсів і природокористування України щодо визначення енергетичної ефективності вирощування гібридів кукурудзи Аякс і Оржиця 237 МВ дозволили встановити, що високоврожайний гібрид Аякс за вирощування на розрахунковому фоні мінеральних добрив та проведенні дворазового підживлення посівів у фенологічні фази 4 та 8 листка добривами з мікроелементним складом Нутрімікс (1,0 кг/га), Нутрібор (0,5 кг/га) та МікроМінераліс Кукурудза (1,0 л/га), забезпечило максимальний вихід енергії з урожаєм – 171952 Мдж/га та К_е – 4,87 [4].

Попередні дослідження демонструють, що вирощування кукурудзи на зерно із застосуванням біодобрив, розроблених на основі органічних складових осадів стічних вод (ОСВ) СБО «Південна» та «Північна» м. Одеса, з додаванням рослинних наповнювачів (соломи озимої пшениці та лушпиння соняшникового насіння), а також фосфатмобілізувальної бактерії *Microbacterium barkeri* ЛП-1, має значні енергетичні переваги. Згідно з проведеним аналізом, найвищу енергетичну ефективність забезпечують біодобрива на основі ОСВ СБО «Північна». Енергетичний коефіцієнт ефективності вирощування кукурудзи (11,90 та 12,00) безпосередньо корелює із її врожайністю, яка становить 6,70 т/га та 6,80 т/га відповідно [5].

Дослідження проведені у Вінницькому національному аграрному університеті показали що крім удобрення на формування енергетичних показників технології вирощування кукурудзи суттєвий вплив має строк сівби.

Ранній строк сівби забезпечив біоенергетичний коефіцієнт 1,93, середній – 1,79, а пізній – 1,58. Тобто застосування раннього строку сівби підвищує біоенергетичний коефіцієнт на 0,14–0,35 порівняно з пізнім. Найкращими варіантами за урожайністю, біоенергетичним коефіцієнтом виявилися варіанти із застосуванням мікродобрива Еколист Моно Цинк у фазу 5–7 та 10–12 листків кукурудзи [6].

У проведених дослідженнях ми аналізували прямі й опосередковані витрати енергії на вирощування гібридів кукурудзи. Для цього використовували технологічні карти, типові норми виробітку, обсяги споживання пального, енергетичні еквіваленти експлуатації сільськогосподарської техніки, а також дані щодо трудових і матеріальних ресурсів.

Умови та методика проведення досліджень. Дослідження ефективності біологізації системи удобрення гібридів кукурудзи за різної густоти посіву та відповідно формування енергетичних показників проводились впродовж 2021–2023 рр. на дослідних ділянках Науково-дослідного господарства «Агрономічне» ВНАУ, які розташовані у Вінницькому районі Вінницької області. Ґрунтовий покрив дослідного поля сірий лісовий середньо-суглинковий, глибина орного шару 25–30 см, а його щільність варіює у діапазоні від 1,35 до 1,40 г/см³.

Обробіток ґрунту при закладці дослідів був традиційним для зони досліджень і спрямовувався на максимальне накопичення вологи, вирівнювання поверхні ґрунту та знищення бур'янів.

Мета наших досліджень визначити сукупні затрати енергії у різних моделях технології вирощування, вихід валової енергії, чистий енергетичний прибуток та енергетичний коефіцієнт кожного досліджуваного варіанта.

Площа облікової дослідної ділянки – 46 м², загальної – 62 м². Факторіальна схема дослідів 2:2:5=20 варіантів (загальна кількість ділянок у чотирьох повтореннях – 80). Розміщення варіантів систематичне, повторність дослідів чотириразова.

Схема польового дослідів: Фактор А – Гібриди: 1) Р8834 (ФАО 280); 2) Р9074 (ФАО 330). В – Густота рослин: 1) 65 тис/га; 2) 70 тис/га. С – Удобрення: 1) N₁₂₀P₆₀K₆₀; 2) N₁₂₀P₆₀K₆₀+Граундфікс 4 л/га; 3) N₁₂₀P₆₀K₆₀+Граундфікс 6 л/га; 4) N₈₀P₄₀K₄₀+Граундфікс 4 л/га; 5) N₈₀P₄₀K₄₀+Граундфікс 6 л/га.

Закладку польового дослідів та проведення відповідних обліків проводили у згідно спеціалізованої методики [7]. Енергетичну оцінку вирощування кукурудзи проводили відповідно до методики О. К. Медведовського та П. І. Іваненка [8].

Результати досліджень. Результати енергетичного аналізу різних моделей вирощування досліджуваних гібридів кукурудзи, зокрема із використанням оптимізованих технологічних підходів, дозволяють рекомендувати господарствам усіх форм власності впровадження технології, яка забезпечує максимальну енергоефективність. Такий підхід є особливо актуальним у

контексті сучасного розвитку рослинництва.

На основі проведеного детального аналізу показників енергетичної ефективності вирощування гібридів кукурудзи встановлено, що в середньому за 2021–2023 роки витрати сукупної енергії у контрольному варіанті досліду ($N_{120}P_{60}K_{60}$) становили 50,34 ГДж/га для густоти висіву 65 тис./га та 50,73 ГДж/га для густоти 70 тис./га. При цих умовах вихід валової енергії з урожаю був відповідно 142,50 ГДж/га і 150,24 ГДж/га, чистий енергетичний прибуток - 92,16 ГДж/га і 99,51 ГДж/га. Енергетичний коефіцієнт технології складав 2,83 і 2,96 відповідно (рис. 1, 2, 3).

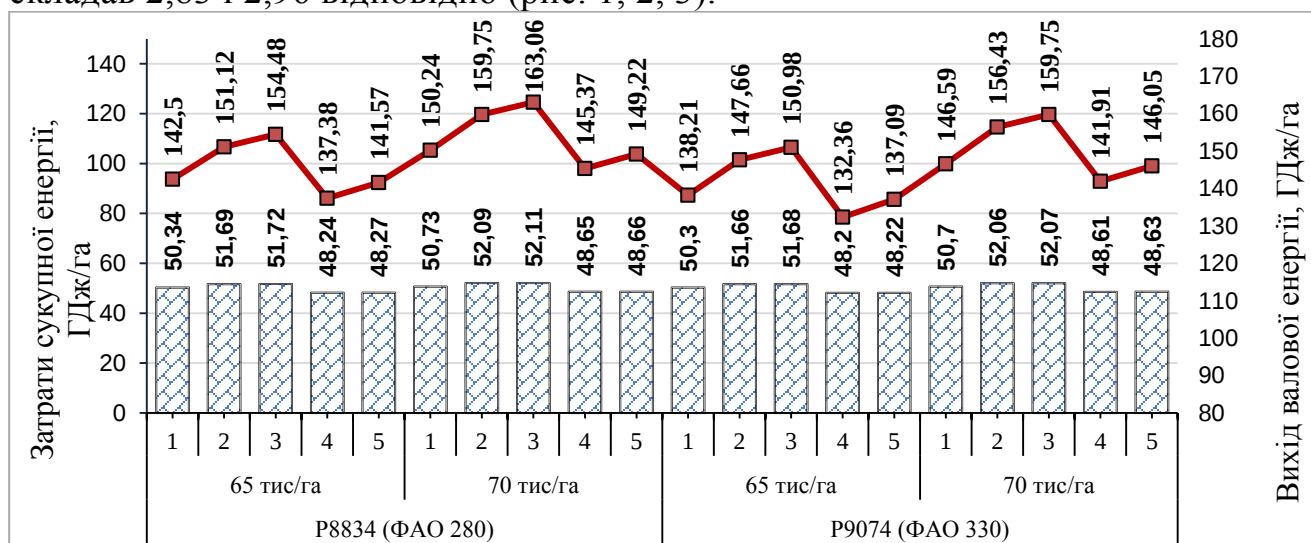


Рис. 1. Затрати сукупної енергії на вирощування та вихід валової енергії з урожаєм кукурудзи залежно від густоти рослин та рівня удобрення, ГДж/га (у середньому за 2021- 2023 рр.).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

На варіантах досліду, де висівали гібрид кукурудзи P9074 з густотою 65 тис./га і 70 тис./га посіви акумулювали, відповідно 138,21 ГДж/га і 146,59 ГДж/га валової енергії, при сукупних витратах на вирощування 50,30 ГДж/га і 50,70 МДж/га. За даних умов чистий енергетичний прибуток становив 87,91 МДж/га і 95,89 ГДж/га, а енергетичний коефіцієнт склав 2,75 і 2,89.

На варіантах досліду де у передпосівну культивуацію вносили ґрунтове біологічне добриво Граундфікс у нормі 4 л/га поряд із суттєвим підвищенням урожайності зерна кукурудзи, нашими дослідженнями зафіксовано і підвищення виходу з одиниці площі валової енергії. Зокрема, при використанні цієї норми біодобрива на посівах кукурудзи гібриду P8834 спостерігалось накопичення валової енергії на рівні 151,12 ГДж/га за густоти посіву 65 тис./га та 159,75 ГДж/га за густоти 70 тис./га. У свою чергу, гібрид P9074 забезпечив показники 147,66 ГДж/га та 156,43 ГДж/га відповідно.

У межах цих моделей технології вирощування кукурудзи сукупні енергетичні витрати становили від 51,69 ГДж/га до 52,06 ГДж/га для варіантів з гібридом P8834 і від 51,66 ГДж/га до 52,06 ГДж/га для гібрида P9074. Чистий енергетичний прибуток варіювався в межах від 99,43 ГДж/га

до 107,66 ГДж/га для першого гібриду та від 96,01 ГДж/га до 104,38 ГДж/га для другого. Енергетичний коефіцієнт посіву у даних умовах досягав значень від 2,92 до 3,07 і від 2,86 до 3,01 відповідно.

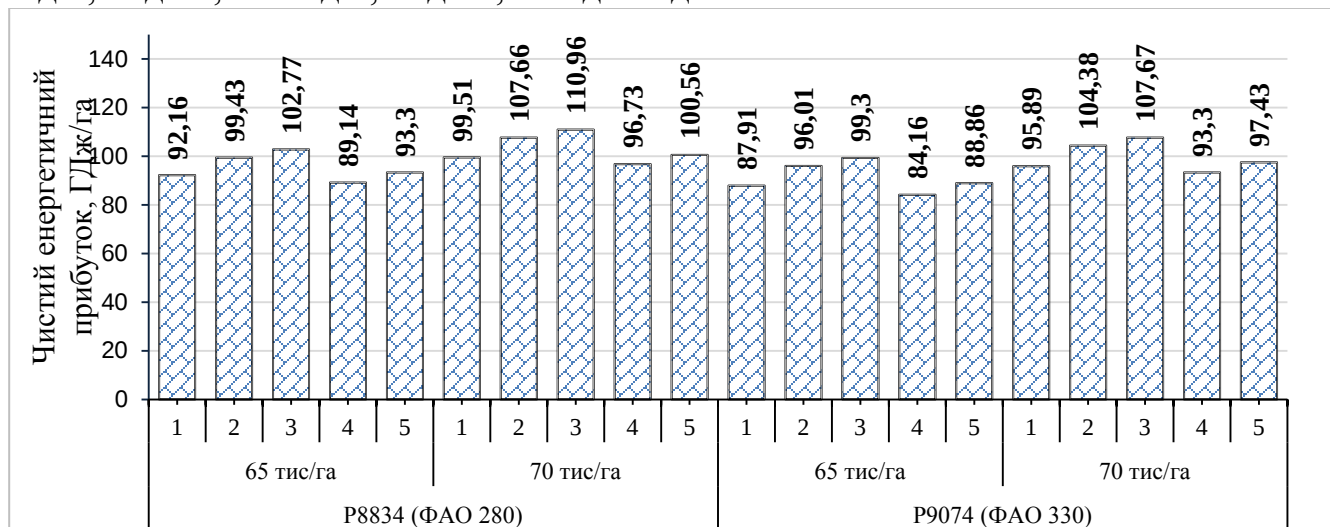


Рис. 2. Чистий енергетичний прибуток одержаний з урожаєм кукурудзи залежно від густоти рослин та рівня удобрення, ГДж/га (у середньому за 2021- 2023 рр.).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Збільшення норми біодобрива Граундфікс до 6 л/га продемонструвало вищу ефективність у підвищенні енергетичних характеристик. Порівняно з нормою Граундфікса 4 л/га, зростання сукупних технологічних витрат енергії було незначним і залежало від густоти рослин. На варіантах з гібридом R8834 ці витрати становили від 51,72 до 52,11 ГДж/га, а на гібриді R9074 від 51,68 до 52,07 ГДж/га. Водночас за таких умов суттєво підвищився вихід валової енергії з урожаю, досягнувши від 154,48 ГДж/га до 163,06 ГДж/га для гібрида R8834 і від 150,98 ГДж/га до 159,75 ГДж/га для гібрида R9074. Чистий енергетичний прибуток становив від 102,77 ГДж/га до 110,96 ГДж/га і від 99,30 ГДж/га до 107,67 ГДж/га відповідно.

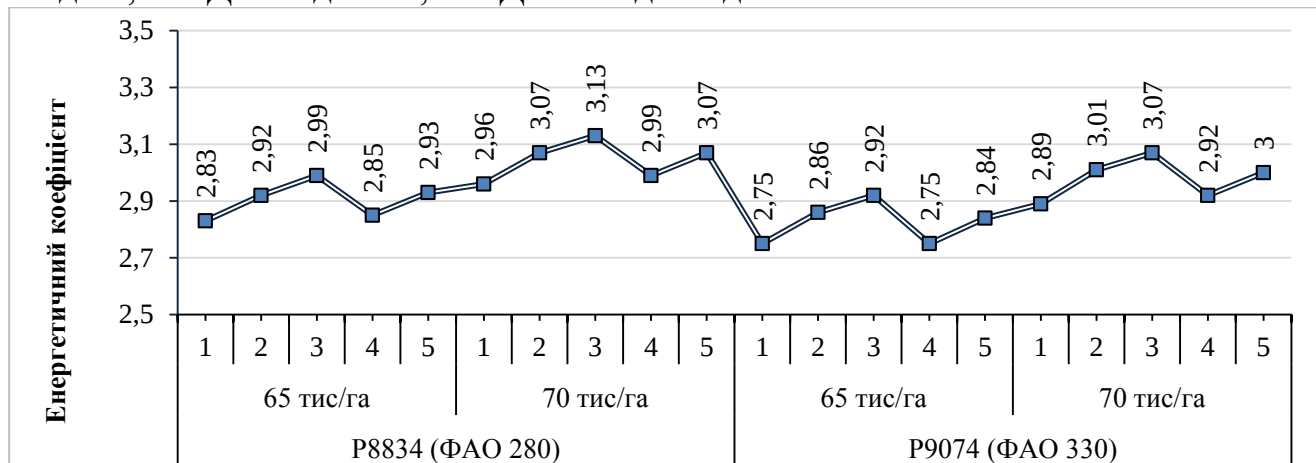


Рис. 3. Вплив густоти рослин та рівня удобрення на формування енергетичного коефіцієнта (у середньому за 2021- 2023 рр.).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

У проведеному нами дослідженні, при вирощуванні гібриду Р8834 за зниженої норми мінерального удобрення ($N_{80}P_{40}K_{40}$) та використанні ґрунтового біодобрива Граундфікс у передпосівну культивуацію з нормами, відповідно, 4 і 5 л/га, сукупні енергетичні витрати склали 48,24 ГДж/га і 48,27 ГДж/га при густоті посіву 65 тис/га, а також 48,65 ГДж/га і 48,66 ГДж/га при густоті 70 тис/га. За таких умов чистий енергетичний прибуток досягав від 89,14 до 93,30 ГДж/га при густоті 65 тис/га і від 96,73 до 100,56 ГДж/га при густоті 70 тис/га. Енергетичний коефіцієнт становив від 2,85 до 2,93 для меншої густоти і від 2,99 до 3,07 для більшої густоти.

У варіантах з гібридом Р9074, де застосовували ту ж систему удобрення, показники енергетичної ефективності були трохи нижчими. Залежно від густоти посіву, сукупні енерговитрати становили від 48,20 до 48,22 ГДж/га при густоті 65 тис/га і від 48,61 до 48,63 ГДж/га при 70 тис/га. Чистий енергетичний прибуток варіювався в межах від 84,16 до 88,86 ГДж/га для меншої густоти та від 93,30 до 97,43 ГДж/га для більшої. Енергетичний коефіцієнт при цьому становив від 2,75 до 2,84 для густоти 65 тис/га і від 2,92 до 3,00 для густоти 70 тис/га.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На основі результатів проведених польових досліджень встановлено, що біологізація системи живлення рослин за рахунок сумісного використання мінеральних добрив та ґрунтового біодобрива Граундфікс забезпечувала максимальну реалізацію генетичного потенціалу гібридів кукурудзи, позитивно впливало як на формування показників урожайності так і на енергетичну ефективність вирощування.

За результатами проведеного аналізу енергетичної ефективності моделей технології вирощування гібридів кукурудзи встановлено, що найбільш ефективною є модель, яка передбачає висів гібрида Р8834 з густотою 70 тис/га, внесення мінеральних добрив у дозі $N_{120}P_{60}K_{60}$ та у передпосівну культивуацію біодобрива Граундфікс (6 л/га), що забезпечує одержання найвищого показника енергетичного коефіцієнту посіву – 3,13, що на 0,30 більше контролю.

Список використаної літератури

1. Тараріко Ю.О. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ : ДІА, 2009. 16 с.
2. Смаглій О.Ф., Малиновський А.С., Кардашов А.Т. Енергетична оцінка агроєкосистем: навч. посіб. Житомир: Волинь, 2004. 132 с.
3. Тараріко Ю.О., Городній М.М., Сердюк А.Г. Біоенергетична оцінка систем удобрення і агротехнологій. Друкарська дільниця УВК НАУ, 2006. 34 с.
4. Крестьянінов Є.В., Єрмакова Л.М., Антал Т.В. Економічна та енергетична ефективність вирощування кукурудзи залежно від мінеральних добрив та позакореневого підживлення посівів. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 5 (87). DOI: 10.31548/dopovid2020.05.006.

5. Пиляк В.І., Нікіпелова О.М. Біоенергетична ефективність вирощування кукурудзи на зерно з використанням нових біодобрих на основі осадів стічних вод. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2021. №119. С. 56–61. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.119.8

6. Паламарчук В.Д., Коваленко О.А. Біоенергетична оцінка технології вирощування гібридів кукурудзи залежно від факторів впливу. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. № 107. С. 137-144. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.18>.

7. Лебідь М. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою / Дніпропетровськ, 2008. 27 с.

8. Медведовський О.В., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1991. 217 с.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Tarariko Yu.O. (2009). Systemy bioenerhetychnoho ahrarnoho vyrobnytstva [Bioenergy agricultural production systems]. Kyiv : DIA. 16 s [in Ukrainian].

2. Smahlii O.F., Malynovskyi A.S., Kardashov A.T. (2004). Enerhetychna otsinka ahroekosystem [Energy assessment of agroecosystems] : navch. posib. Zhytomyr: Volyn. 132 s. [in Ukrainian].

3. Tarariko Yu.O., Horodnii M.M., Serdiuk A.H. (2006). Bioenerhetychna otsinka system udobrennia i ahrotekhnolohii [Bioenergetic evaluation of fertilizer systems and agricultural technologies]. Drukarska dilnytsia UVK NAU. 34 s. [in Ukrainian].

4. Krestianinov Ye. V., Yermakova L. M., Antal T. V. (2020). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist vyroshchuvannya kukurudzy zalezno vid mineralnykh dobryv ta pozakorenevoho pidzhyvlennia posiviv [Economic and energy efficiency of corn cultivation depending on mineral fertilizers and foliar fertilization of crops]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NUBiP of Ukraine*. № 5 (87). DOI: 10.31548/dopovidi2020.05.006 [in Ukrainian].

5. Pyliak V.I., Nikipelova O.M. (2021). Bioenerhetychna efektyvnist vyroshchuvannya kukurudzy na зерно z vykorystanniam novykh biodobryv na osnovi osadiv stichnykh vod [Bioenergetic efficiency of corn cultivation using new biofertilizers based on sewage sludge]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Silskohospodarski nauky – Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences*. № 119. 56–61. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.119.8 [in Ukrainian].

6. Palamarchuk V.D., Kovalenko O.A. (2019). Bioenerhetychna otsinka tekhnolohii vyroshchuvannya hibrydiv kukurudzy zalezno vid faktoriv vplyvu [Bioenergetic assessment of corn hybrid cultivation technology depending on influencing factors]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Silskohospodarski nauky – Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences*. № 107. 137-144. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.18> [in Ukrainian].

7. Lebid M. (2008). *Metodyka provedennia polovykh doslidiv z kukurudzoiu* [Methodology for conducting field experiments with corn]. Dnipropetrovsk, 27 s [in Ukrainian].

8. Medvedovskyi O.V., Ivanenko P.I. (1991). *Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi* [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian].

ANNOTATION

ENERGY ASSESSMENT OF CORN GROWING DEPENDING ON THE BIOLOGIZATION OF THE FERTILIZATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEP

The purpose of the study was to determine the energy efficiency of growing corn hybrids of different maturity groups, depending on the combined use of mineral and biological fertilizers and plant density in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe on gray forest soils. The main indicator showing the energy efficiency of growing crops is the energy coefficient of the technology, which shows the ratio of the energy obtained with the harvest to the amount of total energy spent on growing this crop.

Rational use of energy resources is one of the most important prerequisites for the growth of agricultural production. In this regard, it is necessary to analyze energy costs when growing modern hybrids, including corn, using already known and new elements of growing technology, which gives grounds to recommend to farms of various forms of ownership the technology that is most energy-saving, which is highly relevant in the conditions of modern crop production.

The three-factor field experiment was conducted during 2021-2023 on the experimental field of the Agronomichne research farm of the Ukrainian National Academy of Sciences, the soil of the experimental field is gray forest medium loam.

According to the results of the analysis of the energy efficiency of models of corn hybrid cultivation technology, it was found that the most effective model is the one that involves sowing the P8834 hybrid with a density of 70 thousand / ha, applying mineral fertilizers at a dose of $N_{120}P_{60}K_{60}$ and pre-sowing cultivation of the Groundfix biofertilizer (6 l / ha), which ensures the highest indicator of the energy coefficient of sowing - 3.13, which is 0.30 more than the control. In the experimental variants where the P8834 hybrid was sown with a lower level of mineral fertilizer ($N_{80}P_{40}K_{40}$) and the use of Groundfix soil biofertilizer in pre-sowing cultivation with rates of 4 and 5 l/ha, the energy coefficient was, respectively, 2.85 - 2.93 and 2.99 - 3.07.

Key words: corn, hybrids, biological preparations, seeding rate, energy efficiency.

Fig. 3. Lit. 8.

Відомості про авторів

Дідур Ігор Миколайович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, декан факультету агрономії та лісівництва Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, e-mail: didurihor@gmail.com).

Циганський В'ячеслав Іванович – кандидат с.-г. наук, доцент кафедри рослинництва, селекції та біоенергетичних культур Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, e-mail: tsiganskiyslava@gmail.com).

Телеватюк Богдан Іванович – аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3).

Бандровський Дмитро Віталійович – аспірант кафедри лісового та садово-паркового господарства Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3).

Didur Ihor Mykolayovych – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry, Dean of the Faculty of Agronomy and Forestry of Vinnytsia National Agrarian University (21008, Soniachna Str. 3, Vinnytsia, e-mail: didurihor@gmail.com).

Tsyhanskyi Viacheslav – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of of Plant Production, Selection and Bioenergetic Cultures of Vinnytsia National Agrarian University (21008, Soniachna Str. 3, Vinnytsia, e-mail: tsiganskiyslava@gmail.com).

Televatyuk Bohdan Ivanovych – graduate student of the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry of Vinnytsia National Agrarian University (21008, Soniachna Str. 3, Vinnytsia, e-mail: televatyk.b@gmail.com).

Bandrovsky Dmytro Vitaliyovych – postgraduate student of the Department of Forestry and Horticulture of Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, Sonyachna St. 3).