

ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА ВИХОДУ БІОЕТАНОЛУ З ОДИНИЦІ ПЛОЩІ ПОСІВУ ПІД ВПЛИВОМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ**А. Л. Андрієнко¹, Ю. І. Ткаліч², І. М. Семеняка¹, О. О. Андрієнко³, К. В. Васильковська³**¹Інститут сільського господарства Степу НААН, вул. Центральна, 2, с. Созонівка, Кропивницький район, Кіровоградська область, 27602, Україна²Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, Дніпропетровська область, 49009, Україна³Центральноукраїнський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, м. Кропивницький, Кіровоградська область, 25006, Україна

Актуальність. Кукурудза (*Zea mays* L.) – провідна культура з високим вмістом крохмалю (70–75%), що зумовлює її значний потенціал для виробництва біоетанолу. В умовах нестійкого зволоження Степу України актуальним є вдосконалення агротехнологічних прийомів вирощування, спрямованих на підвищення врожайності, виходу крохмалю та біоетанолу з одиниці площі. **Мета роботи.** Розробити основні параметри біоадаптивної технології вирощування кукурудзи, визначити їх вплив на урожайність зерна, вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі в умовах Степу України. **Матеріали та методи.** Основний – польовий дослід, додаткові – лабораторний, розрахунковий і математичної статистики (дисперсійний і кореляційний аналізи). Дослідження проводили в умовах Степу України протягом 2007–2017 рр. **Результати.** Встановлено вплив систем основного обробітку ґрунту, способу використання побічної продукції, удобрення, попередників, строків сівби та густоти стояння рослин на продуктивність агроценозів кукурудзи. Полицева оранка на глибину 25–27 см забезпечувала найвищу врожайність (6,72–6,90 т/га), вихід крохмалю (4,76–4,81 т/га) та біоетанолу (294–297 Дал/га), тоді як мілкий дисковий обробіток та пряма сівба знижували ці показники на 5–41 %. Попередник також суттєво впливав на адаптивність культури: після посівів сої формувалися найвищі показники врожайності зерна, виходу крохмалю та біоетанолу, а грубоволокнисті попередники краще компенсували мінімізацію обробітку. Ранні строки сівби (15 квітня) та оптимальна густина стояння рослин (45–60 тис./га) забезпечували максимальну реалізацію генетичного потенціалу гібридів кукурудзи Адевей, ЛГ3350 і ЛГ3475. Органо-мінеральна система удобрення доповнена мікробними препаратами стабілізувала вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі. Отримані результати підтверджують, що оптимізація факторів технології покращує ефективність вирощування кукурудзи для отримання зерна та виробництва біоетанолу. **Висновки.** Полицева оранка та органо-мінеральна система удобрення забезпечували максимальні показники врожайності, виходу крохмалю та біоетанолу. Мінімізація обробітку ґрунту знижувала продуктивність на 5–41 %. Кращі результати отримали після сої, як попередника, за ранньої сівби та густоті стояння рослин 45–60 тис. рослин/га. Максимальна ефективність досягнута за використання оптимального попередника, полицевої оранки, органо-мінерального удобрення, адаптивного гібридного складу та оптимальних параметрів сівби.

Ключові слова: обробіток ґрунту, попередники, органо-мінеральна система удобрення, строки сівби, густина стояння, крохмаль, спирт.

Вступ. Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з провідних зернових культур світового землеробства завдяки високій потенційній врожайності, широкій екологічній пластичності та універсальності використання зерна у продовольчих, кормових і енергетичних

Інформація про авторів:Андрієнко Андрій Леонідович, канд. с.-г. наук, с.н.с., зав. лаб. землеробства, <https://orcid.org/0000-0002-2318-9454>Надійшла:
12.02.2026Ткаліч Юрій Ігоревич, доктор с.-г. наук, професор, проректор з наукової та інноваційної діяльності, професор кафедри загального землеробства та ґрунтознавства, <https://orcid.org/0000-0003-2208-0163>Прийнята:
27.03.2026Семеняка Ігор Миколайович, канд. с.-г. наук, доцент, директор, <https://orcid.org/0000-0002-8905-5387>Опублікована:
27.05.2026Андрієнко Ольга Олександрівна, канд. с.-г. наук, с.н.с., доцент, доцент кафедри загального землеробства, <https://orcid.org/0000-0003-1982-1151>Васильківська Катерина Вікторівна, канд. т. наук, доцент, доцент кафедри загального землеробства, <https://orcid.org/0000-0002-3524-4027>

напрямах. Зерно кукурудзи характеризується високим вмістом крохмалю (70–75 % сухої речовини) та білка (7–11 %), що визначає його кормову цінність і водночас обумовлює значний потенціал для виробництва біоетанолу [1–4]. Саме високий вміст крохмалю робить кукурудзу однією з найбільш ефективних культур для біоенергетики.

Переробка 1 т зерна кукурудзи забезпечує отримання 350–480 л біоетанолу, що перевищує або дорівнює аналогічним показникам для інших зернових культур: ячменю (240–330 л), пшениці (370–440 л), тритикале (400–430 л), соризу (440–460 л). Для виробництва 1 т біоетанолу необхідно близько 0,47 га посівів кукурудзи, тоді як для пшениці – приблизно 0,64 га, що свідчить про вищу енергетичну ефективність культури з розрахунку на одиницю площі [1, 5–8]. У США близько 40 % валового збору кукурудзи (понад 130 млн т щорічно) спрямовується на виробництво біоетанолу, тоді як Україна має потенціал виробництва до 200 тис. т біоетанолу на рік [4].

Селекційні дослідження підтверджують перспективність використання висококрохмалистих біотипів кукурудзи для біоенергетичних цілей. Господарську цінність мають наступні підвиди: крохмалистий (71,0–82,0 % крохмалю), зубовидний (68,0–76,0 %), та кременистий (65,0–73,0 %). Водночас генетично зумовлений потенціал накопичення крохмалю реалізується лише за оптимальних умов вирощування, оскільки фактичний його вміст істотно залежить від агротехнічних факторів [9–11].

Максимальна реалізація продуктивного та енергетичного потенціалу кукурудзи можлива за використання адаптивних гібридів, високоякісного насіння та сучасних технологій вирощування, що підтверджується результатами досліджень у різних країнах [12–14, 21, 22].

Суттєвий вплив на формування якості зерна має попередник. Розміщення кукурудзи після сої та інших бобових культур покращує азотний режим ґрунту, що сприяє підвищенню вмісту білка і крохмалю в зерні. Вирощування після зернових без відповідної компенсації азотного живлення може призводити до зниження вмісту крохмалю [1, 2, 15–17].

Важливим технологічним чинником є

система основного обробітку ґрунту. Оранка на глибину 25–27 см забезпечує максимальний вихід крохмалю та біоетанолу, тоді як мілкий обробіток може знижувати ці показники на 5–8 %, а пряма сівба – на 10–15 %. Разом із тим ресурсоощадні системи обробітку покращують водний режим ґрунту, однак потребують оптимізації системи мінерального живлення для забезпечення високого рівня крохмалю у зерні [1, 18].

Стабільність показників якості зерна значною мірою визначається системою удобрення. Органо-мінеральний підхід до удобрення сприяє підвищенню вмісту крохмалю та збільшенню виходу біоетанолу на 3–8 %. Водночас надлишкове азотне живлення може змінювати співвідношення між білком і крохмалем, знижуючи відносну частку останнього [1].

Не менш важливими є строки сівби та густина стояння рослин. Їх оптимізація забезпечує рівномірне формування та налив зерна, підвищення маси 1000 зерен, вмісту крохмалю та білка, що визначає кормову й енергетичну цінність продукції [19, 20]. Дослідження, проведені у США, Канаді та країнах ЄС, підтверджують, що сучасні високопродуктивні гібриди за умов збалансованих агротехнічних заходів здатні формувати зерно з високим вмістом крохмалю та забезпечувати стабільний вихід біоетанолу [12, 13, 21, 22].

Таким чином, якість зерна кукурудзи та ефективність її використання для виробництва біоетанолу визначаються комплексною взаємодією генетичних і технологічних факторів. Раціональний вибір попередника, системи обробітку ґрунту, удобрення, густоти стояння та строків сівби є ключовими умовами формування зерна з високою кормовою та енергетичною цінністю і максимальним виходом крохмалю та біоетанолу з одиниці площі [1–3].

Мета досліджень – розробити основні елементи біоадаптивної технології вирощування кукурудзи, визначити їх вплив на урожайність зерна, вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі в умовах Степу України.

Матеріали та методи. Дослідження проводили у 2007–2017 рр. в Інституті сільськогосподарства Степу НААН в умовах Степу України. Клімат регіону – помірно континентальний із нестійким та недостатнім

зволоженням. Середньорічна сума опадів становить 499 мм, їх розподіл упродовж року нерівномірний. У період активної вегетації пізніх ярих культур ($t > +10$ °C) середньобаторічний гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК) дорівнює 1,0.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний глибокий середньогумусний важкосуглинковий, реагує на HCl на глибині 50–55 см. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,5–7,0). В орному шарі (0–30 см) вміст гумусу становив 4,69 %, легкогідролізованого азоту – 137 мг/кг (низький рівень забезпечення), рухомого фосфору – 100 мг/кг (середній), обмінного калію – 151 мг/кг (високий). Вміст рухомих форм мікроелементів: марганцю – 20,2 мг/кг, цинку – 0,41 мг/кг, бору – 1,2 мг/кг, сірки – 9,8 мг/кг ґрунту.

Основний метод досліджень – польовий короткотерміновий та стаціонарний багатofакторний дослід. Програмою передбачалося вивчення ефективності мінімізації основного обробітку ґрунту залежно від попередника, системи удобрення, строків сівби та густоти стояння рослин і визначення їх комплексного впливу на формування врожаю та якості зерна кукурудзи. Агрохімічні показники ґрунту та якості зерна визначали в сертифікованій вимірювальній лабораторії Інституту (сертифікат № 61/23, ДП «Кіровоградстандартметрологія»). Вміст крохмалю визначали за методом Еверса.

У дослідях використовували такі попередники: пшеницю озиму, кукурудзу на зерно, сою та соняшник. У варіантах, де фактор попередника не вивчали, кукурудзу розміщували після сої. Післяжнивні рештки попередників рівномірно розсіювали по поверхні ґрунту (органо-мінеральна система удобрення) з попереднім подрібненням подрібнювачем FALK-4,0.

Мінеральні добрива (за винятком варіантів спеціального дослідження удобрення) вносили з розрахунку $N_{30}P_{30}K_{30}$ (кг д. р./га). Під час сівби додатково вносили $N_{10}P_{10}K_{10}$ (кг д. р./га). У дослідях застосовували мікробіологічний препарат EM-A, активований з концентрату EM-1, який містив *Lactobacillus* spp., *Saccharomyces* spp. та фототрофні бактерії *Rhodospseudomonas* spp. у концентрації 10^9 CFU/мл. Препарат вносили у дозі 60 л/га

EM-A + 140 л/га води – норма внесення робочого розчину 200 л/га.

Вивчали такі системи основного обробітку ґрунту: полицевий (глибокий) – дискування на 8–10 см (АГ-2,4) + оранка на 25–27 см (ПОН-5-35); мілкий (дисковий) – дискування на 8–10 см (АГ-2,4) + дискування на 10–12 см (УДА-4,2); пряма сівба (нульовий обробіток) – без проведення основного обробітку.

У варіантах, де фактор обробітку не досліджували, застосовували полицеву оранку на глибину 25–27 см. Передпосівний обробіток (крім прямої сівби) включав ранньовесняне боронування зябу важкими зубовими боронами та культивуацію на глибину 5–7 см.

На варіантах мінімізованого обробітку за 14 діб до сівби застосовували гербіцид суцільної дії Раундап (2 л/га). Ґрунтовий гербіцид Харнес, 90 % к.е. (2,5 л/га), вносили під передпосівну культивуацію (на традиційному та мінімальному обробітках) або залишали на поверхні ґрунту (за прямої сівби). У фазі 5–6 листків кукурудзи застосовували страховий гербіцид МайсТер, 62 WG (150 г/га) у поєднанні з ПАВ Біопауер (1,0 л/га). Захист від шкідників і хвороб здійснювали відповідно до регіональних рекомендацій. Сівбу проводили в оптимальні для зони строки сівалкою Great Plains PD-8070 з турбодисками. Технологія вирощування відповідала зональним рекомендаціям для Степу України.

Теоретичний вихід біоетанолу розраховували на основі вмісту крохмалю в зерні. Розрахунки виконували на суху речовину.

Максимально можливий об'єм етанолу визначали за формулою [23]:

$$V_{max,EtOH} = \frac{W_C \cdot (1 - MCC) \cdot [(S \cdot 1,11 \cdot 0,511) + (G \cdot 0,511)]}{\rho_{EtOH}}$$

де, $V_{max,EtOH}$ – максимально можливий вихід етанолу, л/га;

W_C – урожайність зерна, кг/га;

MCC – вологість зерна (частка);

S – вміст крохмалю в сухій речовині (частка);

G – вміст вільної глюкози (частка);

1,11 – коефіцієнт гідролізу крохмалю до глюкози;

0,511 – теоретичний коефіцієнт перетворення глюкози в етанол (кг/кг);

ρ_{EtOH} – густина етанолу (0,789 кг/л).

Теоретичний вихід етанолу з одиниці сухої речовини визначали за формулою:

$$E_{Th,EtOH} = \frac{V_{max,EtOH}}{W_c \cdot (1 - MCC)}$$

Експериментальні дані обробляли методами математичної статистики з використанням дисперсійного та кореляційного аналізів. Достовірність різниць оцінювали за відповідними критеріями значущості [24].

Роки досліджень відрізнялися за температурним режимом і вологозабезпеченням. Вегетаційні періоди 2012 та 2017 рр. були сильно посушливими (ГТК = 0,47–0,57), 2009 і 2014 рр. – середньопосушливими (0,62–0,75), 2007, 2011, 2013, 2015, 2016 рр. – слабопосушливими (0,80–0,93), а 2008 і 2010 рр. – достатньо зволуженими (1,07–1,20). Найбільш критичними для формування врожаю є період викидання волоті – цвітіння та наливу зерна (червень – липень), коли дефіцит вологи істотно знижує продуктивність культури.

Загалом метеорологічні умови відпові-

дали зональним особливостям Степу України, що забезпечило репрезентативність отриманих результатів.

Результати та обговорення. Врожайність зерна кукурудзи, а також вихід крохмалю та біоетанолу істотно залежали від попередника, способу використання його побічної продукції та системи основного обробітку ґрунту. Найвищу врожайність отримали за полицевої оранки (25–27 см) у поєднанні з розсіюванням побічної продукції по поверхні ґрунту та внесенням компенсаторної дози азоту. За цих умов урожайність після стерньового попередника становила 6,87 т/га, після просапного – 6,90 т/га, що підтверджує ефективність органо-мінеральної системи удобрення. Розсіювання соломи не спричиняло істотного зниження врожайності порівняно з її вивезенням (табл. 1).

Зменшення глибини основного обробіт-

Таблиця 1. Вихід крохмалю та біоетанолу залежно від способу збирання попередників та основного обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

| Попередник (фактор А) | Спосіб збирання (фактор В) | Основний обробіток ґрунту (фактор С) | Урожайність, т/га | Вихід | |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| | | | | крохмалю, т/га | біоетанолу, Дал/га |
| Пшениця озима | з вивозом ПП* | оранка (25–27 см) | 6,77 | 4,76 | 294,3 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,44 | 4,57 | 282,6 |
| | | нульовий обробіток | 4,00 | 2,87 | 177,6 |
| | без вивозу ПП | оранка (25–27 см) | 6,72 | 4,78 | 295,7 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,26 | 4,46 | 275,7 |
| | | нульовий обробіток | 4,17 | 2,99 | 185,1 |
| | без вивозу ПП з внесенням КДА** | оранка (25–27 см) | 6,87 | 4,81 | 297,1 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,49 | 4,58 | 283,0 |
| | | нульовий обробіток | 4,36 | 3,10 | 191,5 |
| Кукурудза на зерно | з вивозом ПП | оранка (25–27 см) | 6,77 | 4,75 | 293,4 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,06 | 4,30 | 265,9 |
| | | нульовий обробіток | 5,73 | 4,14 | 255,8 |
| | без вивозу ПП | оранка (25–27 см) | 6,55 | 4,65 | 287,3 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,08 | 4,35 | 268,8 |
| | | нульовий обробіток | 5,64 | 4,06 | 251,0 |
| | без вивозу ПП з внесенням КДА | оранка (25–27 см) | 6,90 | 4,78 | 295,4 |
| | | дискування (10–12 см) | 6,20 | 4,36 | 269,6 |
| | | нульовий обробіток | 5,97 | 4,24 | 262,2 |
| НІР ₀₅ для урожайності, т/га | фактор А – 0,11–0,27; фактор В – 0,14–0,33; фактор С – 0,14–0,33; фактор АВ – 0,19–0,46; фактор АС – 0,19–0,46; фактор ВС – 0,24–0,57; фактор АВС – 0,33–0,80 | | | | |

Примітка: ПП* – побічна продукція, КДА** – компенсаторна доза азоту

ку супроводжувалося зниженням продуктивності. Мілкий дисковий обробіток (10–12 см) зумовлював недобір урожаю 0,33–0,46 т/га (4,9–6,9 %), тоді як пряма сівба – 2,51–2,78 т/га (37,0–41,0 %) порівняно з оранкою. Водночас

мульчування поверхні ґрунту та внесення азотних добрив частково компенсували негативний ефект мінімізації обробітку.

За оранки істотної різниці між стерньовим і просапним попередниками не виявля-

но. Проте за мілкового обробітку врожайність після пшениці озимої перевищувала показники після кукурудзи на зерно на 0,18–0,38 т/га, тоді як за прямої сівби, навпаки, після кукурудзи на зерно урожайність була вищою на 1,47–1,73 т/га (26–30 %), що свідчить про кращу адаптивність цього попередника до мінімізованих технологій.

Урожайність зерна тісно корелювала з масою рослини ($r = 0,96$), масою зерна з качана ($r = 0,94$) та площею листової поверхні ($r = 0,83$), що підтверджує визначальну роль системи основного обробітку у формуванні продуктивності.

Максимальний вихід крохмалю (4,76–4,81 т/га) і біоетанолу (294,3–297,1 Дал/га) після стерньового попередника забезпечувала полицева оранка незалежно від способу використання побічної продукції. Мілкий обробіток знижував ці показники на 4–9 %, а пряма сівба – на 30–35 %. Після кукурудзи на зерно негативний вплив мінімізації був менш вираженим: навіть за прямої сівби вихід крохмалю становив 4,06–4,24 т/га, а спирту – 251,0–262,2 Дал/га.

Органо-мінеральна система удобрення забезпечувала стабільніше формування врожаю та виходу крохмалю і біоетанолу, а внесення компенсаторної дози азоту сприяло підвищенню показників до 3,0 %. Загалом полицева оранка була найбільш ефективною системою обробітку для максимального виходу зерна, крохмалю та біоетанолу, тоді як мінімізація обробітку потребує додаткової оптимізації живлення для зменшення втрат продуктивності.

Раціональне використання післяжнивної маси попередників у поєднанні з мінеральними добривами та мікробіологічними препаратами є важливим чинником підвищення ефективності короткоротаційних сівозмін. Урожайність зерна тісно корелювала з індивідуальною продуктивністю рослин ($r = 0,82$) і залежала від структури сівозміни та системи удобрення. Найвищі показники урожайності зерна (5,36–6,34 т/га) формувалися у зернопаропросапній сівозміні з 20 % насиченням соєю. Збільшення частки сої до 40 % зумовлювало зниження врожайності до 5,36–6,12 т/га, а до 60 % – до 5,21–6,09 т/га (табл. 2).

Мінеральна система удобрення ($N_{60}P_{60}K_{60}$) сприяла підвищенню врожайнос-

ті на 9,1–15,3 % порівняно з контролем, органо-мінеральна – на 9,5–15,5 %. Застосування мікробних препаратів забезпечувало додаткову прибавку: 2,5–8,1 % – на фоні без добрив, 1,7–5,6 % – за мінеральної системи та 1,4–3,4 % – за органо-мінеральної. Максимальну урожайність кукурудзи (6,34 т/га) одержано за 20 % насичення сівозміни соєю в поєднанні з органо-мінеральною системою удобрення та мікробними препаратами, що забезпечило приріст 0,98 т/га (18,3 %) порівняно з контролем.

Вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі змінювався відповідно до рівня врожайності. За 20% насичення соєю на контролі вихід крохмалю становив 3,77–4,02 т/га, за мінеральної системи – 4,15–4,38 т/га, за органо-мінеральної – 4,36–4,39 т/га. Мікробні препарати забезпечували приріст 0,23–0,25 т/га крохмалю за мінерального живлення та до 0,03 т/га – за органо-мінерального. Вихід біоетанолу зростав відповідно від 232,8–248,4 Дал/га у контролі до 256,8–271,1 Дал/га за мінеральної та 269,4–271,3 Дал/га за органо-мінеральної системи удобрення.

За насичення сівозміни соєю 40 % спостерігалось зниження виходу крохмалю (4,11–4,23 т/га за удобрення) та біоетанолу (254,1–261,7 Дал/га) порівняно з 20 % насиченням сівозміни. Подальше збільшення частки сої у сівозміні до 60 % зумовлювало мінімальні показники серед варіантів що досліджувалися: 3,62–3,69 т/га крохмалю на контрольному варіанті та 4,07–4,26 т/га за удобрення; вихід біоетанолу становив 223,8–228,1 Дал/га на контролі та 251,6–263,2 Дал/га за внесення добрив.

Отже, оптимальне (20 %) насичення сівозміни соєю у поєднанні з органо-мінеральною системою удобрення та застосуванням мікробних препаратів забезпечує максимальну реалізацію врожайного та енергетичного потенціалу кукурудзи. Надмірна концентрація сої (40–60 %) знижує продуктивність і вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі, одиниці площі.

Попередник є одним із ключових чинників формування продуктивності кукурудзи, оскільки впливає на агрофізичні властивості ґрунту, азотний режим і фітосанітарний стан посівів. Найсприятливіші умови для росту та розвитку культури формувалися

Таблиця 2. Вихід крохмалю та біоетанолу з зерна кукурудзи залежно від частки сої у сівозміні та систем удобрення, 2007–2011 рр.

| Ланка сівозміни (фактор А) | Система удобрення (фактор В) | Мікробний препарат (фактор С) | Урожайність, т/га | Вихід | |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| | | | | крохмалю, т/га | біоетанолу, Дал/га |
| Зернопаропросапна сівозміна з насиченням соєю 20 % | | | | | |
| Пшениця озима (по пару) – соя | без добрив (К) | – | 5,36 | 3,77 | 232,8 |
| | | + | 5,79 | 4,02 | 248,4 |
| | мінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | – | 5,99 | 4,15 | 256,8 |
| | | + | 6,33 | 4,38 | 271,1 |
| | органомінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + ПП* | – | 6,25 | 4,36 | 269,4 |
| | | + | 6,34 | 4,39 | 271,3 |
| Зернопросапна сівозміна з насиченням соєю 40 % | | | | | |
| Пшениця озима (по сої) – соя | без добрив (К) | – | 5,36 | 3,79 | 234,1 |
| | | + | 5,57 | 3,88 | 240,0 |
| | мінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | – | 5,90 | 4,11 | 254,1 |
| | | + | 6,00 | 4,15 | 256,9 |
| | органомінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + ПП | – | 5,92 | 4,11 | 254,3 |
| | | + | 6,12 | 4,23 | 261,7 |
| Зернопросапна сівозміна з насиченням соєю 60 % | | | | | |
| Пшениця озима (по сої) – соя | без добрив (К) | – | 5,21 | 3,62 | 223,8 |
| | | + | 5,34 | 3,69 | 228,4 |
| | мінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | – | 5,84 | 4,07 | 251,6 |
| | | + | 6,00 | 4,16 | 257,5 |
| | органомінеральна N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + ПП | – | 5,94 | 4,17 | 257,6 |
| | | + | 6,09 | 4,26 | 263,2 |
| НР ₀₅ для урожайності, т/га | фактор А – 0,12–0,39; фактор В – 0,12–0,39; фактор С – 0,09–0,32; фактор АВ – 0,20–0,68; фактор АС – 0,16–0,55; фактор ВС – 0,16–0,55; фактор АВС – 0,28–0,98 | | | | |

Примітка: ПП* – побічна продукція.

після попередника сої, що забезпечувало вищу врожайність порівняно із зерновими та технічними культурами, які характеризуються більшим виснаженням ґрунту за азотом.

Аналіз елементів структури врожаю (маса зерна з качана, кількість зерен на качані, маса 1000 зерен) засвідчив їх тісний позитивний зв'язок із продуктивністю посівів. Найбільший вплив на врожайність мали маса зерна з качана ($r = 0,97$), кількість зерен на качані ($r = 0,91$) та маса 1000 зерен ($r = 0,91$), що підтверджує визначальну роль озерненості та виповненості зерна у формуванні врожаю та його якості.

Вихід зерна, крохмалю та біоетанолу з 1 га істотно залежав від поєднання попередника та системи основного обробітку ґрунту. Найвищі показники забезпечувала полицева оранка незалежно від попередника.

Серед попередників що досліджувалися найкращі результати отримано після сої. За оранки врожайність зерна становила

7,15 т/га, вихід крохмалю – 5,05 т/га, біоетанолу – 322,7 Дал/га, що перевищувало показники після пшениці озимої (6,72; 4,78; 305,6 Дал/га відповідно). Найменшими дані показники були після попередника соняшник (6,29; 4,51; 288,2 Дал/га) (табл. 3).

Мілкий дисковий обробіток (10–12 см) зумовлював достовірно зниження продуктивності за всіма попередниками: урожайність зменшувалася на 0,31 т/га після сої та на 0,45–0,46 т/га – після інших культур, що супроводжувалося зниженням виходу крохмалю на 0,21–0,32 т/га та біоетанолу – на 13,1–20,6 Дал/га порівняно з оранкою.

Найбільше зниження показників відмічено за прямої сівби. Особливо чутливою кукурудза виявилася після попередника пшениці озимої та соняшнику: урожайність зменшувалася до 4,17 та 5,61 т/га, вихід крохмалю – до 2,99 та 3,40 т/га, біоетанолу – до 191,2 та 217,4 Дал/га відповідно. Водночас після сої навіть за нульового обробітку вихід

Таблиця 3. Вихід крохмалю та біоетанолу з зерна кукурудзи залежно від попередника та основного обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

| Попередник (фактор А) | Основний обробіток ґрунту (фактор В) | Урожайність, т/га | Вихід | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | | крохмалю, т/га | біоетанолу Дал/га |
| Пшениця озима | оранка (25–27 см) | 6,72 | 4,78 | 305,6 |
| | дискування (10–12 см) | 6,26 | 4,46 | 285,0 |
| | нульовий обробіток | 4,17 | 2,99 | 191,2 |
| Соя | оранка (25–27 см) | 7,15 | 5,05 | 322,7 |
| | дискування (10–12 см) | 6,84 | 4,85 | 309,6 |
| | нульовий обробіток | 6,56 | 4,69 | 299,7 |
| Кукурудза на зерно | оранка (25–27 см) | 6,55 | 4,65 | 296,9 |
| | дискування (10–12 см) | 6,08 | 4,35 | 277,8 |
| | нульовий обробіток | 5,64 | 4,06 | 259,4 |
| Соняшник | оранка (25–27 см) | 6,29 | 4,51 | 288,2 |
| | дискування (10–12 см) | 5,84 | 4,22 | 269,8 |
| | нульовий обробіток | 5,61 | 3,40 | 217,4 |
| НІР ₀₅ , т/га, фактор А – 0,20–0,21; фактор В – 0,17–0,18; фактор АВ – 0,34–0,36 | | | | |

крохмалю (4,69 т/га) перевищував аналогічні показники за оранки після кукурудзи на зерно та соняшнику, що свідчить про високий агрономічний потенціал цього попередника.

Узагальнення результатів показало, що максимальний вихід крохмалю та біоетанолу з одиниці площі забезпечує поєднання попередника соя з полицевою оранкою. Мінімізація або відмова від обробітку ґрунту істотно обмежує реалізацію продукційного потенціалу культури, особливо після стерньових і технічних попередників.

Урожайність зерна кукурудзи істотно залежала від генетичних особливостей гібридів та строків сівби. Загальною закономірністю для всіх досліджуваних гібридів було зниження продуктивності за пізньої сівби (15 травня) порівняно з ранніми строками.

Найвищу врожайність за сівби 15 квітня сформували гібриди Адевей (8,71 т/га), ЛГ3350 (8,55 т/га) та ЛГ3475 (8,47 т/га). Дещо нижчі, але стабільно високі показники забезпечили ЛГ3258 (8,24 т/га) та ЛГ30360 (8,21 т/га). Найменш продуктивним був гібрид ЛГ2195 (6,79–7,31 т/га залежно від строку сівби).

Перенесення сівби з 15 квітня на 1 травня зумовлювало незначне зниження врожайності (0,03–0,36 т/га), тоді як зміщення до 15 травня призводило до істотного недобору – 0,52–1,08 т/га. Найбільш чутливими до пізньої сівби виявилися гібриди ЛГ3258, ЛГ3350 та ЛГ3475, у яких недобір переви-

щував 1,0 т/га (табл. 4).

Аналогічна тенденція спостерігалася щодо виходу крохмалю та біоетанолу. За раннього строку (15 квітня) максимальні показники мав гібрид Адевей – 6,33 т/га крохмалю та 391,7 Дал/га – біоетанолу. Високі результати також сформували ЛГ3350 (6,18 т/га; 382,2 Дал/га) та ЛГ3475. Пізня сівба зумовлювала зниження виходу крохмалю і спирту на 6,3–12,3 % залежно від гібрида.

Гібриди ЛГ2195 і ЛГ30360 характеризувалися відносно високою стабільністю за першого та другого строків сівби, а зниження продуктивності за пізнього строку не перевищувало 6,3–7,3 %. Натомість гібриди ЛГ3350 та ЛГ3475 виявили більшу чутливість до відтермінування сівби (зниження урожайності 11,8–12,3 %).

Отже, оптимальним строком сівби для реалізації генетичного потенціалу гібридів у досліджуваних умовах є 15 квітня. Зміщення строків сівби до середини травня істотно обмежує формування врожаю, виходу крохмалю та біоетанолу. Найвищу продуктивність забезпечили гібриди Адевей, ЛГ3350 та ЛГ3475, тоді як найбільш адаптивними до зміщення строків сівби виявилися ЛГ2195 і ЛГ30360.

Густота стояння рослин істотно впливала на врожайність кукурудзи, вихід крохмалю та біоетанолу, при цьому реакція залежала від групи стиглості та біологічних особливостей гібридів. Середньоранній гібрид

Таблиця 4. Вихід крохмалю та біоетанолу з зерна гібридів кукурудзи залежно від строків сівби, 2013–2017 рр.

| Гібрид (фактор А) | Строки сівби (фактор В) | Урожайність, т/га | Вихід | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| | | | крохмалю, т/га | біоетанолу, Дал/га |
| ЛГ2195 | 15 квітня | 7,31 | 5,10 | 315,1 |
| | 1 травня | 7,27 | 5,09 | 314,9 |
| | 15 травня | 6,79 | 4,78 | 295,2 |
| ЛГ3258 | 15 квітня | 8,24 | 5,93 | 366,5 |
| | 1 травня | 7,88 | 5,69 | 351,7 |
| | 15 травня | 7,25 | 5,25 | 324,3 |
| Адевей | 15 квітня | 8,71 | 6,33 | 391,7 |
| | 1 травня | 8,47 | 6,14 | 379,9 |
| | 15 травня | 7,89 | 5,77 | 356,8 |
| ЛГ30360 | 15 квітня | 8,21 | 5,92 | 365,8 |
| | 1 травня | 8,18 | 5,89 | 364,2 |
| | 15 травня | 7,56 | 5,49 | 339,2 |
| ЛГ3350 | 15 квітня | 8,55 | 6,18 | 382,2 |
| | 1 травня | 8,23 | 5,93 | 366,9 |
| | 15 травня | 7,47 | 5,42 | 335,4 |
| ЛГ3475 | 15 квітня | 8,47 | 6,04 | 373,4 |
| | 1 травня | 8,46 | 6,02 | 372,4 |
| | 15 травня | 7,44 | 5,33 | 329,2 |
| НІР ₀₅ , т/га, фактор А – 0,13–0,38; фактор В – 0,09–0,27; фактор АВ – 0,23–0,66 | | | | |

ЛГ2195 реагував позитивно на загущення: збільшення густоти стояння рослин з 45 до 60–75 тис./га підвищувало врожайність з 6,91 до 7,27–7,28 т/га, вихід крохмалю – з 4,82 до 5,09–5,12 т/га, спирту – з 298,0 до 314,9–316,5 Дал/га, що свідчить про оптимальність густоти 60–75 тис./га. Гібрид ЛГ3258 найкраще реалізовував потенціал за густоти 60 тис./га: врожайність – 7,94 т/га, крохмаль – 5,73 т/га, спирт – 354,1 Дал/га. Подальше загущення до 75 тис. рослин/га знижувало продуктивність. Середньоранній гібрид Адевей забезпечував найвищі абсолютні показники: оптимальна густота стояння рослин – 60 тис./га, врожайність – 8,47 т/га, вихід крохмалю – 6,14 т/га, спирту – 379,9 Дал/га, а загущення призводило до помірного зниження продуктивності (табл. 5).

Середньостиглі гібриди ЛГ30360 та ЛГ3350 проявляли високу пластичність. Так, за густоти стояння рослин 45–60 тис./га їх врожайність становила 8,01–8,14 т/га, вихід крохмалю – 5,76–5,84 т/га, а спирту – 354,2–362,2 Дал/га. Підвищення густоти стояння рослин до 75 тис./га зумовлювало помірне зниження показників.

Середньопізній гібрид ЛГ3475 мав про-

тилежну реакцію: максимальна продуктивність спостерігалася за мінімальною густотою 45 тис. рослин/га (8,52 т/га зерна, 6,06 т/га крохмалю, 374,9 Дал/га спирту), а загущення призводило до зниження показників. Таким чином, оптимальна густота стояння рослин для гібридів становила: ЛГ2195 – 60–75 тис./га; ЛГ3258 та Адевей – 60 тис./га; ЛГ30360 та ЛГ3350 – 45–60 тис./га; ЛГ3475 – 45 тис./га. Більший вихід крохмалю та біоетанолу забезпечували Адевей та ЛГ3475, найнижчий – ЛГ2195.

Отримані в нашому дослідженні дані узгоджуються із сучасними експериментальними роботами, які підтверджують важливість агротехнічних чинників для підвищення врожайності кукурудзи та виходу крохмалю й біоетанолу. Кукурудза лише як генетично потенційно високоврожайна культура дає найкращі результати за умов оптимального управління ґрунтом, живленням і технологіями вирощування [3, 25–27].

Переважання класичного обробітку ґрунту (полицева оранка) у формуванні врожайності та виходу крохмалю відображено в роботах із відбору технологічних схем для виробництва біоетанолу: технології обробіт-

Таблиця 5. Вихід крохмалю та біоетанолу з зерна гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння рослин, 2013–2017 рр.

| Гібрид (фактор А) | Густота стояння рослин, тис./га (фактор В) | Урожайність, т/га | Вихід | |
|----------------------|--------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | | крохмалю, т/га | біоетанолу, Дал/га |
| ЛГ2195 | 45 | 6,91 | 4,82 | 298,0 |
| | 60 | 7,27 | 5,09 | 314,9 |
| | 75 | 7,28 | 5,12 | 316,5 |
| ЛГ3258 | 45 | 7,49 | 5,40 | 333,7 |
| | 60 | 7,94 | 5,73 | 354,1 |
| | 75 | 7,50 | 5,43 | 335,5 |
| Адевей | 45 | 8,24 | 5,97 | 369,2 |
| | 60 | 8,47 | 6,14 | 379,9 |
| | 75 | 8,19 | 5,95 | 369,1 |
| ЛГ30360 | 45 | 8,09 | 5,80 | 354,2 |
| | 60 | 8,14 | 5,84 | 362,2 |
| | 75 | 7,74 | 5,57 | 345,6 |
| ЛГ3350 | 45 | 8,01 | 5,76 | 356,0 |
| | 60 | 8,03 | 5,78 | 357,7 |
| | 75 | 7,91 | 5,71 | 353,5 |
| ЛГ3475 | 45 | 8,52 | 6,06 | 374,9 |
| | 60 | 8,42 | 6,00 | 370,9 |
| | 75 | 8,07 | 5,77 | 356,8 |

ку впливають на врожай і вміст крохмалю в зерні, що суттєво визначає потенційний вихід етанолу з одиниці площі [26]. В цих експериментах гібриди з високим вмістом крохмалю (понад 70–73 %) формували найбільші показники виходу етанолу.

Значний вплив попередника і використання післяжнивної маси також підтверджують сучасними польовими дослідженнями. Дані щодо взаємозв'язку між структурою сівозміни, застосуванням добрив і врожайністю зерна з подальшим виходом крохмалю були наведені у спеціальних агрономічних дослідженнях, які вказують на те, що оптимальні агротехнічні рішення (ефективні попередники, збалансоване живлення) підвищують накопичення крохмалю та потенційний вихід біоетанолу в зерні [28].

Експериментальні дані також підкреслюють важливість генетичних характеристик кукурудзи для біоенергетичного використання: кукурудза як С4-культура має високий вміст крохмалю в зерні (до 72 % сухої маси), що робить її провідним джерелом сировини для біоетанолу [25, 27]. Це підтверджує наші спостереження, що високий вихід крохмалю та спирту отримують у гібридів із потужною здатністю накопичувати крохмаль за оптимальних технологічних режимів.

Щодо технологічних аспектів, сучасні дослідження також висвітлюють вплив густоти стояння, удобрення та строків сівби на продуктивність і якість зерна кукурудзи, що безпосередньо впливає на потенційний вихід біоетанолу [3, 26]. Ці висновки збігаються з нашими даними про те, що оптимальні строки сівби й густота рослин дозволяють отримати максимальну кількість крохмалю в зерні та вихід спирту, що є критично важливим для ефективного біоенергетичного використання культури.

Отже, інтегроване управління технологічними факторами вирощування – вибір попередника, система обробітку ґрунту, строки сівби, густота стояння, збалансоване удобрення – є ключовим для реалізації генетичного потенціалу кукурудзи і підвищення виходу крохмалю та біоетанолу з одиниці площі, що підтверджується як польовими результатами, так і даними сучасних досліджень у галузі агрономії та біоенергетики [25, 27, 28].

Висновки. У чорноземах Степу України полицева оранка (25–27 см) забезпечує найвищу врожайність кукурудзи, вихід крохмалю та біоетанолу, тоді як мілкий дисковий обробіток і пряма сівба знижують продуктивність на 5–41 %. Максимальні показники (6,87–6,90 т/га зерна; 4,78–4,81 т/га крохмалю; 295–297 Дал/га біоетанолу) отримано за по-

еднання оранки, розсіювання соломи та внесення компенсаторної дози азоту. Найкращим попередником є соя: навіть за мінімалізації обробітку кукурудза після сої формувала вищу врожайність, ніж після соняшнику чи кукурудзи за оранки. Оптимальною є зернопаропросапна сівозміна з насиченням 20 % сої та органо-мінеральною системою удобрення з мікробними препаратами. Збільшення частки сої до 40–60 % знижує продуктивність культури. Високу ефективність за-

безпечують гібриди Адевей, ЛГ3350 і ЛГ3475 за ранньої сівби (15 квітня) та диференційованої густоти стояння рослин 45–60 тис./га залежно від біотипу.

Найвищу ефективність вирощування кукурудзи для виробництва зерна й біоетанолу забезпечує використання сої як попередника, полицевої оранки (25–27 см), органо-мінерального удобрення, ранньої сівби та оптимальної густоти стояння рослин 45–60 тис./га.

Використана література

1. Андрієнко А. Л., Семеняка І. М., Андрієнко О. О. Вихід крохмалю і біоетанолу з посівів кукурудзи залежно від попередників та основного обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 2 (863). С. 31–41. doi: 10.31073/agrovisnyk202502-04.
2. Гангур В. В., Єремко Л. С., Руденко В. В. Вплив елементів технології вирощування на продуктивності гібридів формування кукурудзи різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 37–43. doi: 10.32851/2226-0099.2021.117.6.
3. Паламарчук В. Д., Віннік О. В., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біоетанолу залежно від умов вегетації та факторів технології вирощування. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 143–156. doi: 10.32848/agrar.innov.2021.5.23
4. Ghazali M. F. S., Mustafa M. Bioethanol as an alternative fuels: A review on production strategies and technique for analysis. *Energy Conversion and Management*: X, 2025. Vol. 26. Article 100933. doi: 10.1016/j.ecmx.2025.100933.
5. Palamarchuk V., Lohosha R., Krychkovskiy V. Energy and economic efficiency of bioethanol production depending on the quality of corn grain. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2024. Vol. 10. № 5. P. 293–304. doi: 10.30525/2256-0742/2024-10-5-293-304
6. Петриченко В. Ф., Томашук О. В. Особливості формування показників якості зерна кукурудзи за різних технологій вирощування в Лісостепу Правобережному. *Рослинництво та ґрунтознавство [Plant and Soil Science]*. 2019. Вип. 10. № 2. С. 29–37. doi: 10.31548/agr2019.02.029
7. Assaf J. C., Mortada Z., Rezzoug S.-A., Maache-Rezzoug Z., Debs E., & Louka N. Comparative review on the production and purification of bioethanol from biomass: a focus on corn. *Processes*. 2024. Vol. 12 (5). P. 1001. doi: 10.3390/pr12051001
8. Trypolska G. Unlocking the potential: Key factors shaping the liquid biofuels market in Ukraine, *Heliyon*. 2024. Vol. 10 (22). e40420. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40420.
9. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 74–84. doi: 10.31073/kormovyrobnytstvo202089-07
10. Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В. В., Єремко Л. С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. № 2. 2021. С. 52–58. doi: 10.31210/visnyk2021.02.06
11. Munaiz E., Albrecht K., Ordás B. Genetic diversity for dual use maize: grain and second-generation biofuel, *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (2). P. 230. doi: 10.3390/agronomy11020230
12. Wang W. Review of breeding maize varieties for biofuel production. *Journal of Energy Bioscience*. 2025. 16 (3). P. 151–162. doi: 10.5376/jeb.2025.16.0015
13. Li X., Li Y., Sun Y., Li S., Cai Q., Li S., Sun M., Yu T., Meng X., Zhang J. Integrating genetic diversity and agronomic innovations for climate-resilient maize systems. *Plants*. 2025. № 14. P. 1552. doi: 10.3390/plants14101552
14. Ordóñez R. A., Olmedo-Pico L., Ferela A., Trifunovic S., Eudy D., Archontoulis S., Vyn T. J., Modern maize hybrids have increased grain yield and efficiency tolerances to nitrogen-limited conditions. *European Journal of Agronomy*. 2025. Vol. 168. P. 127621. doi: 10.1016/j.eja.2025.127621.
15. Бойко П.І., Мартинюк І.В., Цимбал Я.С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3. С. 5–13. doi:10.31073/agrovisnyk202103-01
16. Costantini M., Vacenetti J., Soybean and maize cultivation in South America: Environmental comparison of different cropping systems, *Cleaner Environmental Systems*. 2021. 2: 100017. doi: 10.1016/J.CESYS.2021.100017
17. Поляков В.І. Особливості формування якісних показників зерна кукурудзи залежно від комплексу елементів технології вирощування. *Агробіологія*. 2020. № 2. С. 132–138. doi: 10.33245/2310-9270-2020-161-2-132138
18. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Soil & Tillage Research*. 2014. Vol. 41. P. 1–7. doi: 10.1016/j.still.2014.02.002
19. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Physiological perspectives of changes in maize yield formation trends over time. *Agronomy Journal*, 2011. Vol. 103 (2). P. 351–363. doi: 10.2134/agronj2010.0435
20. Mekonnen T. W., van Biljon A., Ceronio G., Labuschagne M. Effects of planting date, environments and their interaction on grain yield and quality traits

- of maize hybrids, *Heliyon*. 2023. Vol. 9 (11). e21660. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e21660.
21. Camacho L. M., de Vries S., Jørgensen H. Nutritional evaluation of maize proteins and amino acids for poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 2019. Vol. 251. 114295. doi: 10.1016/j.anifeeds.2019.114295
 22. Gesteiro N., Butrón A., Santiago R., Gomez L.D., López-Malvar A., Álvarez-Iglesias L., Revilla P., Malvar R.A. Breeding dual-purpose maize: grain production and biofuel conversion of the stover, *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (5), 1352. doi: 10.3390/agronomy13051352
 23. Kumar D., Singh V. Dry-grind processing using amylase corn and superior yeast to reduce the exogenous enzyme requirements in bioethanol production. *Bio-technol Biofuels*. 2016. Vol. 9. P. 228. doi: 10.1186/s13068-016-0648-1
 24. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. – Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень; Харків: Майдан, 2016. 342 с. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533>
 25. Niu L., Liu L., Zhang J., Scali M., Wang W., Hu X., Wu X. Genetic Engineering of Starch Biosynthesis in Maize Seeds for Efficient Enzymatic Digestion of Starch during Bioethanol Production // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24. № 4. P. 3927. doi: 10.3390/ijms24043927
 26. Kaur G., Sethi M., Devi V., Kaur A., Kaur H., Chaudhary Dh. P. Investigating maize as a sustainable energy crop for bioethanol production: Delineating cultivation, utilization, biotechnological and environmental perspectives, *Biomass and Bioenergy*. 2025. Vol. 198. P. 107867. doi: 10.1016/j.biombioe.2025.107867.
 27. Kumar D., Thakur G., Singh P., Dutt S., Mangal V., Kumar D., Singh B. Biofuel production from starchy crops: advanced technology and current perspectives. *Arch Microbiol*. 2025. Vol. 207 (9). P. 220. doi: 10.1007/s00203-025-04428-7.
 28. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Міщенко С. В., Пілярська О. О., Базиленко Є. О. Перспективні культури для біоенергетики України. *Аграрні інновації*. 2022. Vol. 11. № 1. С. 5–15. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.11.1

References

1. Andriienko, A. L., Semeniaka, I. M., Andriienko, O. O. (2025). Exit of starch and bioethanol from corn crops depend. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 2 (863), 31–41. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202502-04> [in Ukrainian].
2. Gangur V. V., Yeremko L. S., Rudenko V. V. (2021). The impact of cultivation technology elements on productivity formation in maize hybrids of different maturity groups. *Tavriyskyy naukovyy visnyk* [Taurida Scientific Herald], 117, 37–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6>. [in Ukrainian]
3. Palamarchuk, V. D., Vinnik, O. V., Kovalenko, O. A. (2021). Starch content in corn grain and bioethanol yield depending on vegetation conditions and factors of cultivation technology. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 5, 143–156. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.23> [in Ukrainian].
4. Ghazali M. F. S., Mustafa M. (2025). Bioethanol as an alternative fuels: A review on production strategies and technique for analysis. *Energy Conversion and Management*, X, 26. Article 100933. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100933>.
5. Palamarchuk, V., Lohosha, R., Krychkovskyi, V. (2024). Energy and economic efficiency of bioethanol production depending on the quality of corn grain. *Baltic Journal of Economic Studies*. 10 (5), 293–304. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-5-293-304>
6. Petrychenko V. F., Tomashuk O. V. (2019). Peculiarities of formation of the quality indicators of corn grains by different cultivation technologies in the right-bank Forest-Steppe. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo* [Plant and Soil Science], 10 (2), 29–28. <https://doi.org/10.31548/agr2019.02.029> [in Ukrainian].
7. Assaf, J. C., Mortada, Z., Rezzoug, S.-A., Maache-Rezzoug, Z., Debs, E., & Louka, N. (2024). Comparative review on the production and purification of bioethanol from biomass: a focus on corn. *Processes*, 12 (5), 1001. <https://doi.org/10.3390/pr12051001>
8. Trypolska G. (2024). Unlocking the potential: Key factors shaping the liquid biofuels market in Ukraine, *Heliyon*, 10 (22). e40420. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40420>.
9. Kaminskyi, V. F., Asanishvili, N. M. (2020). Formation of corn grain quality in different directions of use depending on the technology of growing in the Forest-Steppe. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Feeds and feed production], 89, 74–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-07> [in Ukrainian].
10. Len, O. I., Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., & Yeremko, L. S. (2021). The effect of fertilization system and primary soil tillage on the productivity of corn hybrid. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy], 2, 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06> [in Ukrainian].
11. Munaiz, E., Albrecht, K., Ordás, B. (2021). Genetic diversity for dual use maize: grain and second-generation biofuel. *Agronomy*, 11 (2), 230. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020230>
12. Wang, W. (2025). Review of breeding maize varieties for biofuel production. *Journal of Energy Bioscience*, 16 (3), 151–162. <https://doi.org/10.5376/jeb.2025.16.0015>
13. Li, X., Li, Y., Sun, Y., Li, S., Cai, Q., Li, S., Sun, M., Yu, T., Meng, X., Zhang, J. (2025). Integrating genetic diversity and agronomic innovations for climate-resilient maize systems. *Plants*, 14, 1552. <https://doi.org/10.3390/plants14101552>
14. Ordóñez, R. A., Olmedo-Pico, L., Ferela, A., Trifunovic, S., Eudy, D., Archontoulis, S., Vyn, T. J. (2025). Modern maize hybrids have increased grain yield and efficiency tolerances to nitrogen-limited conditions. *European Journal of Agronomy*, 168, 127621. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127621>.
15. Boiko, P. I., Martyniuk, I. V., Tsymbal, Ya. S. (2021).

- Establishment of crop rotation principles in farming systems. *Visnyk ahrarnoi nauky*. [Bulletin of Agricultural Science], 3, 5–13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-01> [in Ukrainian].
16. Costantini, M., Bacenetti, J. (2021). Soybean and maize cultivation in South America: Environmental comparison of different cropping systems. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/J.CESYS.2021.100017>
 17. Poliakov, V. I. (2020). Features of maize grain quality formation depending on cultivation technology elements. *Ahrobiolohiia* [Agrobiology], 2, 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132138> [in Ukrainian].
 18. Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2014). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Soil & Tillage Research*, 41, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.002>
 19. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2011). Physiological perspectives of changes in maize yield formation trends over time. *Agronomy Journal*, 103 (2), 351–363. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0435>
 20. Mekonnen, T. W., van Biljon, A., Ceronio, G., Labuschagne, M. (2023). Effects of planting date, environments and their interaction on grain yield and quality traits of maize hybrids, *Heliyon*, 9 (11). e21660. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21660>.
 21. Camacho, L. M., de Vries, S., & Jørgensen, H. (2019). Nutritional evaluation of maize proteins and amino acids for poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 114295. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114295>
 22. Gesteiro, N., Butrón, A., Santiago, R., Gomez, L. D., López-Malvar, A., Álvarez-Iglesias, L., Revilla, P., Malvar, R. A. (2023). Breeding dual-purpose maize: grain production and biofuel conversion of the stover. *Agronomy*, 13 (5), 1352. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051352>
 23. Kumar, D., & Singh, V. (2016). Dry-grind processing using amylase corn and superior yeast to reduce the exogenous enzyme requirements in bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*, 9, 228. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0648-1>
 24. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., et al. (2016). *Doslidna sprava v ahronomiyi* [Research work in agronomy]: navch. posibnyk: u 2 kn. – Kn. 2. Statystychna obrobka rezultativ ahronomichnykh doslidzhen; Kharkiv: Maidan, Available at: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533> [in Ukrainian].
 25. Niu, L., Liu, L., Zhang, J., Scali, M., Wang, W., Hu, X., & Wu, X. (2023). Genetic engineering of starch biosynthesis in maize seeds for efficient enzymatic digestion of starch during bioethanol production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (4), 3927. <https://doi.org/10.3390/ijms24043927>
 26. Kaur, G., Sethi, M., Devi, V., Kaur, A., Kaur, H., Chaudhary, Dh. P. (2025). Investigating maize as a sustainable energy crop for bioethanol production: Delineating cultivation, utilization, biotechnological and environmental perspectives. *Biomass and Bioenergy*, 198, 107867. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.107867>.
 27. Kumar, D., Thakur, G., Singh, P., Dutt, S., Mangal, V., Kumar, D., Singh, B. (2025). Biofuel production from starchy crops: advanced technology and current perspectives. *Arch Microbiol.*, 207 (9), 220. <https://doi.org/10.1007/s00203-025-04428-7>.
 28. Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Mishchenko, S. V., Piliarska, O. O., Bazylenko, Ye. O. (2022). Perspective culture for bioenergetics of Ukraine. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 11 (1), 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1> [in Ukrainian].

UDC 633.15:631.5:663.5

Andriienko, A. L., Tkalich, Yu. I., Semeniaka, I. M., Andriienko, O. O., Vasytkovska, K. V. Formation of maize grain yield and bioethanol output per unit area under the influence of cultivation techniques. *Grain Crops*. 2026. 10 (1). 138–150.

¹ Institute of Steppe Agriculture of NAAS, 2 Tsentralna St., Sozonivka village, Kropyvnytskyi district, Kirovohrad region, 27602, Ukraine

² Dnipro State Agrarian and Economic University, 25 Serhii Yefremov St., Dnipro, 49009, Ukraine

³ Central Ukrainian National Technical University, 8 Universytetskyi Ave., Kropyvnytskyi, 25006, Ukraine

Topicality. Maize (*Zea mays L.*) is a leading crop with high starch content (70–75 %), which determines its significant potential for bioethanol production. Given the unstable moisture conditions in the Steppe region of Ukraine, there is a pressing need to improve agricultural practices aimed at increasing yield and the starch and bioethanol output per unit area. **Purpose.** To develop the fundamental parameters of bioadaptive maize cultivation technology and determine their impact on grain yield, starch and bioethanol output per unit area in the Steppe of Ukraine. **Methods.** The primary research method is field trials, with supplementary methods including laboratory testing, calculation, and mathematical statistics (analysis of variance and correlation analysis). The research was conducted in the Steppe zone of Ukraine during the period of 2007–2017. **Results.** The influence of primary tillage systems, methods of crop residue utilization, fertilisation, predecessors, sowing dates, and plant density on the productivity of maize agrocenoses was established. Moldboard plowing to a depth of 25–27 cm ensured the highest grain yield (6.72–6.90 t/ha), starch output (4.76–4.81 t/ha), and bioethanol output (294–297 dal/ha), while shallow disk tillage and direct

sowing reduced these indicators by 5–41 %. The predecessor significantly affected the crop's adaptability: the highest grain yield, starch, and bioethanol outputs were achieved after soybean, whereas coarse-fibered predecessors better compensated for tillage minimization. Early sowing dates (April 15), and optimal plant density (45,000–60,000 plants/ha) ensured the maximum realization of the production potential of maize hybrids Adevey, LG3350, LG3475. An organo-mineral fertilisation system supplemented with microbial preparations stabilised the starch and bioethanol output per unit area. The results confirm that optimizing technological factors improves the efficiency of grain maize cultivation and bioethanol production. **Conclusions.** Moldboard plowing and an organo-mineral fertilisation system provided the maximum yield, starch and bioethanol output. Tillage minimization reduced productivity by 5–41 %. Higher results were obtained with soybean as a predecessor, combined with early sowing and a plant density of 45,000–60,000 plants/ha. Maximum efficiency was achieved through a combination of an optimal predecessor, moldboard plowing, organo-mineral fertilisation, adaptive hybrid composition, and optimal sowing parameters.

Key words: *soil tillage, predecessors, organo-mineral fertilisation system, sowing dates, plant density, starch, alcohol.*