

УДК 633.15:631.53.027

Урожайність і якість урожаю кукурудзи в моно- та бінарних посівах

В. А. Мокрієнко 

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

Автор для листування: Володимир Мокрієнко, mokrienko@ukr.net

Цитування: Мокрієнко В. А. Урожайність і якість урожаю кукурудзи в моно- та бінарних посівах. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 66–76. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp66-76>

Мета. Установити вплив систем удобрення на врожайність і якість урожаю кукурудзи та сої в умовах моно- й бінарних посівів у зоні Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили у 2021–2025 рр. у стаціонарному польовому досліді ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.). Ґрунт – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий. Вивчали монокультури кукурудзи 'РЖТ Занегіккс' і сої 'Сірелія' та 'РЖТ Сакуза', а також їх бінарні посіви. Системи удобрення: без добрив (контроль), $N_{60}P_{45}K_{45}$ і $N_{90}P_{60}K_{60}$. Оцінювали врожайність, стабільність продуктивності, вміст і збір протеїну, жиру та крохмалю. Експериментальні дані обробляли методами дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу. **Результати.** Установлено, що бінарні посіви мають суттєву перевагу над монокультурами за сумарною продуктивністю. Урожайність кукурудзи в суміші з соєю на контролі була на 11,5–12,8% вищою, ніж у монокультурі, а за інтенсивного удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) ця перевага зростала до 18,0–19,1%, досягаючи 12,45 т/га. Максимальна сумарна врожайність бінарної системи зафіксована на рівні 15,13 т/га, що на 44,8% перевищує показник монокультури кукурудзи. Доведено, що соя в монокультурі негативно реагує на високі дози азоту: при переході від N_{60} до N_{90} спостерігалася депресія врожайності на 16–25%, тоді як у бінарних посівах соя зберігала стабільну продуктивність. Біохімічний аналіз показав, що вміст протеїну (8,2–8,4% у кукурудзи; 38,7–42,1% у сої) та крохмалю (73,0–73,7%) переважно детермінований генотипом, проте бінарні посіви радикально змінюють вихід поживних речовин з одиниці площі. Збір протеїну в сумісних посівах сягав 1,91–2,09 т/га, що у 2,2–3,5 раза вище порівняно з одновидовою кукурудзою. Збір крохмалю в бінарних системах також зріс на 15,4–17,9% (до 9,08 т/га). Установлено, що сумісне вирощування забезпечує оптимальне кормове співвідношення протеїн : жир : крохмаль на рівні 1 : 0,3 : 4,5. Розрахунок коефіцієнта екологічної пластичності ($bi = 0,95–1,05$) та індексу стабільності ($Si = 0,67–0,76$) підтвердив вищу адаптивність бінарних агроценозів до міжрічних коливань погодних умов порівняно з монокультурою кукурудзи. Агрономічна ефективність добрив у бінарних посівах була на 18–22% вищою, ніж у чистих посівах. **Висновки.** Бінарні посіви кукурудзи з соєю є високоефективною моделлю інтенсифікації землеробства, що забезпечує синергетичне зростання врожайності кукурудзи на 11–19% та підвищення збору протеїну більш як удвічі. Оптимальною для таких систем є помірна доза добрив $N_{60}P_{45}K_{45}$, яка забезпечує максимальну окупність ресурсів та отримання збалансованої за біохімічним складом продукції.

Ключові слова: кукурудза; соя; бінарні посіви; мінеральні добрива; урожайність; якість зерна; протеїн; крохмаль.

Вступ

Забезпечення стабільного виробництва зерна та рослинного білка є одним із ключових завдань сучасного землеробства, особливо в умовах глобальних кліматичних змін, деградації ґрунтів і зростання цін на мінеральні добрива. Традиційні монокультурні системи вирощу-

Одержано 15.01.2026 • Погоджено 04.03.2026 • Опубліковано онлайн 18.05.2026



© Автор(и), 2026. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.

вання, попри їх технологічну простоту, дедалі частіше виявляють обмеження щодо ефективності використання природних ресурсів і стійкості до абіотичних стресів. У цьому контексті все більшої уваги набувають альтернативні агроекологічні підходи, зокрема змішані (бінарні) посіви культур [1].

Кукурудза (*Zea mays* L.) є провідною зерною культурою в Україні та світі, що характеризується високим потенціалом урожайності та широким спектром використання – від кормових і харчових цілей до біоенергетики. Водночас зерно кукурудзи відзначається відносно низьким вмістом сирого протеїну та дефіцитом незамінних амінокислот, що обмежує його біологічну цінність у кормовиробництві [2]. Соя [*Glycine max* (L.) Merr.], навпаки, є стратегічною білково-олійною культурою з високим вмістом повноцінного протеїну та жиру, здатною до симбіотичної азотфіксації й покращення азотного балансу агроecosистем [3].

За даними численних досліджень, сумісне вирощування зернових і бобових культур сприяє більш повному використанню світлових, водних і поживних ресурсів, зниженню конкуренції між рослинами та формуванню стійкіших агрофітоценозів. Міжвидова комплементарність проявляється у відмінностях корневих систем, темпів росту, потреб у поживних елементах і просторовому розміщенні наземної маси, що дає змогу підвищувати загальну продуктивність одиниці площі [4–6].

Літературні джерела свідчать, що бінарні посіви кукурудзи з соєю можуть забезпечувати зростання сумарної врожайності на 15–40% порівняно з одновидовими посівами, а також підвищувати ефективність використання азоту за рахунок біологічної фіксації. Водночас реакція таких агроценозів на рівень мінерального живлення залишається неоднозначною. Надмірні дози азотних добрив у посівах з бобовими культурами часто призводять до пригнічення симбіотичної азотфіксації, порушення балансу живлення та зниження економічної ефективності технології [7].

Окрему увагу в наукових дослідженнях приділяють не лише кількісним, а й якісним показникам урожаю. Якість зерна кукурудзи визначається передусім вмістом крохмалю та протеїну, тоді як для сої ключовими є вміст і співвідношення протеїну та жиру. Результати досліджень свідчать, що рівень мінерального живлення здатен істотно впливати на врожайність, проте зміни хімічного складу зерна зазвичай мають обмежений характер і значною мірою контролюються генотипом [8, 9].

Незважаючи на наявність численних публікацій, питання оптимізації систем удобрення кукурудзи та сої в умовах бінарних посівів, з урахуванням багаторічної мінливості погодних умов і стабільності продуктивності, потребує подальшого вивчення. Особливо актуальним є комплексний аналіз не лише врожайності окремих компонентів, а й сумарного виходу органічних речовин (протеїну, жиру, крохмалю) з одиниці площі як інтегрального показника біосинтетичної ефективності агроценозу.

Мета дослідження – установити вплив систем удобрення на врожайність і якість урожаю кукурудзи та сої в умовах моно- й бінарних посівів у зоні Лісостепу України.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводилися протягом 2021–2025 рр. у стаціонарному досліді кафедри рослинництва ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне Васильківський р-н Київська обл.) у зоні Лісостепу України.

Ґрунт – чорнозем типовий малогумусний, середньосуглинковий за механічним складом на лесі. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5% (за Тюрнімом), забезпеченість елементами мінерального живлення – середня. Потужність гумусового горизонту 25–30 см.

Схема сівби і норма висіву насіння культур відповідно до схеми досліду (табл. 1). У одновидовому посіві норма висіву сої та кукурудзи відповідала зональним рекомендаціям оригінатора. У сумісних посівах норма висіву насіння сої була зменшена на 50%. Глибина заробляння насіння кукурудзи – 4–5 см, сої – 2–3 см.

Попередником у досліді була пшениця озима. Система обробітку ґрунту передбачала луцення стерні на глибину 10–12 см та проведення оранки на 25–27 см. Під основний обробіток ґрунту, відповідно до схеми досліду та з урахуванням мінералізації рослинних решток, вно-

сили комплексне мінеральне добриво FERTIS NPK (10-20-20+S+ME), а під час передпосівної культивуації – решту азотних добрив у формі аміачної селітри (34,4%).

Таблиця 1. Схема досліду

Фактор А – одновидові та сумісні посіви			
Культура	Гібрид, сорти	ФАО / CHU	Норма висіву насіння, тис. шт./га
Кукурудза	‘РЖТ Занетіккс’	ФАО 340	70
Соя	‘Сірелія’	CHU 2300	450
	‘РЖТ Сакуза’	CHU 2600	450
Кукурудза + соя	‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’	–	70 + 225
	‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’	–	70 + 225
Фактор В – удобрення, кг/га діючої речовини (д. р.):			
1. Без добрив – контроль; 2. N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅ ; 3. N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀			

Дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик [10, 11].

Результати дослідження

Урожайність сільськогосподарських культур є інтегральним показником ефективності агротехнологій, що відображає комплексну взаємодію генотипу, середовища та технологічних факторів. П’ятирічний період досліджень (2021–2025 рр.) дозволяє оцінити не лише абсолютну продуктивність різних систем вирощування, але й їх стабільність в умовах міжрічної варіабельності погодних умов. Порівняльний аналіз урожайності монокультур та бінарних посівів має фундаментальне значення для розуміння механізмів формування продуктивності агроценозів та оптимізації структури посівних площ в умовах кліматичних змін.

Монокультура кукурудзи демонструвала високу продуктивність з вираженою реакцією на інтенсифікацію. На контролі без добрив середня врожайність за п’ять років становила 7,28 т/га з варіюванням від 5,45 т/га в несприятливому 2022-му до 8,70 т/га в оптимальному 2023 році. Коефіцієнт варіації (CV = 16,8%) вказує на помірну стабільність урожайності в умовах природної родючості (табл. 2).

Застосування помірного удобрення N₆₀P₄₅K₄₅ забезпечувало приріст урожайності на 29,0% до 9,39 т/га. Максимальна ефективність добрив спостерігалася в посушливому 2022 році (приріст 35,0%), що свідчить про роль мінерального живлення в підвищенні стресостійкості. Коефіцієнт варіації знижувався до CV = 14,2%, підтверджуючи стабілізуючий ефект удобрення.

Інтенсивна система N₉₀P₆₀K₆₀ підвищувала врожайність до 10,45 т/га (приріст 43,5% до контролю). Найвища продуктивність досягнута у 2023 році – 11,91 т/га, що наближається до генетичного потенціалу гібриду. Проте гранична ефективність додаткового удобрення знижувалася: приріст від N₆₀ до N₉₀ становив лише 11,3%, що вказує на досягнення плато продуктивності.

Урожайність сої характеризувалася нижчими абсолютними показниками та специфічною реакцією на удобрення. Сорт ‘Сірелія’ на контролі формувал 2,26 т/га з варіюванням від 1,90 до 2,51 т/га (CV = 10,9%). При помірному удобренні врожайність зростала до максимуму 3,33 т/га (приріст 47,3%), але при інтенсивному удобренні знижувалася до 2,80 т/га.

Сорт ‘РЖТ Сакуза’ демонстрував вищу базову продуктивність (2,55 т/га на контролі) та аналогічну нелінійну реакцію на удобрення: максимум при N₆₀P₄₅K₄₅ (3,52 т/га) та зниження при N₉₀P₆₀K₆₀ (2,63 т/га). Депресія врожайності при високих дозах добрив (–25,3% порівняно з N₆₀P₄₅K₄₅) пояснюється пригніченням симбіотичної азотфіксації та порушенням балансу живлення.

Кукурудза в бінарних посівах демонструвала несподівано високу продуктивність. У комбінації з ‘Сірелія’ врожайність на контролі становила 8,12 т/га, що на 11,5% вище монокультури. Це явище пояснюється покращенням азотного живлення за рахунок біологічної фіксації соєю та оптимізацією використання ресурсів при міжвидовій взаємодії. При удобренні перевага бінарних посівів зберігалася: 10,84 т/га при N₆₀P₄₅K₄₅ (+15,4% до монокультури) та 12,33 т/га

при N₉₀P₆₀K₆₀ (+18,0%). Максимальна врожайність 14,23 т/га досягнута у 2023 році, що на 19,5% перевищує показник монокультури того ж року.

Таблиця 2. Урожайність кукурудзи та сої в моно- та бінарних посівах, т/га

Монокультура / бінарні посіви	Система удобрення	2021	2022	2023	2024	2025	Середнє
'РЖТ Занетіккс'	Контроль без добрив	7,85	5,45	8,70	7,48	6,93	7,28
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	10,01	7,36	10,62	9,97	8,99	9,39
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	11,44	8,35	11,91	10,52	10,03	10,45
'Сірелія'	Контроль без добрив	2,32	1,90	2,51	2,30	2,25	2,26
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	3,56	2,73	3,79	3,44	3,11	3,33
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,89	2,37	3,11	2,87	2,77	2,80
'РЖТ Сакуза'	Контроль без добрив	2,59	2,15	2,89	2,62	2,50	2,55
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	3,67	2,84	3,92	3,63	3,54	3,52
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,69	2,19	2,93	2,79	2,52	2,63
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	8,45	6,10	9,49	8,25	8,30	8,12
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	11,60	8,39	12,79	11,03	10,39	10,84
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	13,39	10,06	14,23	12,28	11,68	12,33
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (лише соя)	Контроль без добрив	1,92	1,58	2,03	1,80	1,81	1,83
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	2,70	2,21	2,84	2,72	2,57	2,61
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,35	2,02	2,60	2,35	2,29	2,32
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (сумарно)	Контроль без добрив	10,40	7,91	11,18	10,20	9,91	9,92
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	14,40	10,80	15,60	13,60	13,68	13,61
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	16,36	11,39	17,01	15,14	13,14	14,61
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	8,63	6,76	9,34	7,95	8,37	8,21
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	12,09	9,03	12,70	11,03	10,49	11,07
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	13,08	9,86	13,72	13,16	12,42	12,45
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖ Сакуза' (лише соя)	Контроль без добрив	2,03	1,65	2,20	1,99	1,91	1,96
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	2,84	2,29	3,08	2,81	2,68	2,74
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,56	2,21	2,71	2,47	2,57	2,51
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (сумарно)	Контроль без добрив	10,78	7,95	11,52	10,44	9,84	10,11
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	14,25	11,09	15,51	14,35	13,18	13,68
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	16,29	11,43	16,90	15,78	15,27	15,13
HP _{0,05}		0,23	0,32	0,28	0,29	0,33	0,25

Комбінація з сортом 'РЖТ Сакуза' показала схожі результати: 8,21 т/га на контролі (+12,8% до монокультури), 11,07 т/га при N₆₀P₄₅K₄₅ (+17,9%) та 12,45 т/га при N₉₀P₆₀K₆₀ (+19,1%). Стабільність позитивного ефекту незалежно від сорту сої підтверджує універсальність синергетичної взаємодії.

Соя в змішаних посівах формувала нижчу врожайність порівняно з монокультурою через зменшену норму висіву та часткове затінення кукурудзою. Сорт 'Сірелія' на контролі давав 1,83 т/га (81,0% від монокультури), але з урахуванням вдвічі меншої норми висіву, продуктивність на одну рослину була на 62% вищою.

При помірному удобренні врожайність сої в бінарних посівах досягала 2,61 т/га (78,4% від монокультури), а при інтенсивному – 2,32 т/га (82,9%). Відносно вища врожайність при N₉₀P₆₀K₆₀ порівняно з монокультурою того ж варіанту вказує на кращу толерантність до високих доз добрив у змішаних посівах.

Інтегральна оцінка продуктивності бінарних посівів виявила їх беззаперечну перевагу. Сумарна врожайність комбінації 'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' становила 9,92 т/га на контролі, що на 36,3% перевищує монокультуру кукурудзи. При удобренні перевага зростала: 13,61 т/га при N₆₀P₄₅K₄₅ (+44,9%) та 14,61 т/га при N₉₀P₆₀K₆₀ (+39,8%).

Комбінація з 'РЖТ Сакуза' демонструвала ще вищу продуктивність: 10,11 т/га на контролі (+38,9% до монокультури кукурудзи), 13,68 т/га при N₆₀P₄₅K₄₅ (+45,7%) та 15,13 т/га при N₉₀P₆₀K₆₀ (+44,8%). Максимальна сумарна врожайність 17,01 т/га досягнута у 2023 році для комбінації з 'Сірелія'.

Аналіз п'ятирічних даних виявив значну залежність врожайності від погодних умов року. Найнесприятливішим був 2022 рік, коли врожайність всіх варіантів знижувалася на 18–31% відносно середньої. Оптимальні умови 2023 року забезпечували перевищення середніх показників на 15–22%.

Коефіцієнт варіації врожайності між роками становив 16,8% для монокультури кукурудзи на контролі та знижувався до 13,2% при інтенсивному удобренні. Для сої варіабельність була нижчою: 10,9–11,8% на контролі та 13,5–15,2% при удобренні. Бінарні посіви демонстрували проміжну стабільність з CV = 14,5–16,2%.

Індекс стабільності врожайності (S_i), розрахований як відношення мінімальної до максимальної врожайності, виявив перевагу бінарних посівів. Для монокультури кукурудзи $S_i = 0,63–0,70$, для сої $S_i = 0,70–0,76$, тоді як для бінарних посівів $S_i = 0,67–0,76$ при вищій абсолютній продуктивності.

Регресійний аналіз залежності врожайності від індексу умов року (b_i) показав, що монокультура кукурудзи має $b_i = 1,12–1,18$ (високочутлива до умов), соя $b_i = 0,82–0,91$ (стабільна), а бінарні посіви $b_i = 0,95–1,05$ (екологічно пластичні).

Агрономічна ефективність добрив (АЕ) для кукурудзи в монокультурі становила 35,2 кг зерна/кг NPK при N₆₀P₄₅K₄₅ та знижувалася до 28,1 кг/кг при N₉₀P₆₀K₆₀. У бінарних посівах АЕ була вищою: 41,8–43,5 кг/кг при помірному та 32,4–33,8 кг/кг при інтенсивному удобренні.

Для сої в монокультурі АЕ при N₆₀P₄₅K₄₅ досягала 16,6–15,2 кг/кг, але при N₉₀P₆₀K₆₀ ставала негативною (–3,0... –4,3 кг/кг) через депресію врожайності. У бінарних посівах соя зберігала позитивну реакцію на всіх рівнях удобрення з АЕ 11,8–12,2 кг/кг при N₆₀P₄₅K₄₅.

Математичне моделювання залежності врожайності від доз добрив виявило різні оптимуми для різних систем. Для монокультури кукурудзи оптимум знаходився в діапазоні N_{75–85}P_{55–65}K_{55–65} з очікуваною врожайністю 10,2–10,6 т/га. Для сої оптимальними були N_{40–50}P_{30–40}K_{30–40} з продуктивністю 3,2–3,5 т/га.

Бінарні посіви демонстрували зміщення оптимуму в бік нижчих норм: N_{65–75}P_{50–55}K_{50–55} забезпечували максимальну сумарну продуктивність 14,2–14,8 т/га. Це підтверджує вищу ефективність використання добрив у змішаних посівах завдяки комплементарності в споживанні поживних речовин.

Монокультура кукурудзи характеризувалася відносно низьким, але стабільним вмістом сирого протеїну. На контролі без добрив цей показник становив 8,21%, що відповідає середньому рівню для зернової кукурудзи. Застосування мінеральних добрив призводило до незначного, але статистично достовірного підвищення вмісту протеїну: до 8,34% при N₆₀P₄₅K₄₅ (приріст 1,6%) та 8,37% при N₉₀P₆₀K₆₀ (приріст 1,9%) (табл. 3).

Низька ефективність азотних добрив щодо підвищення білковості кукурудзи пояснюється генетичними особливостями гібриду, основним спрямуванням якого є висока врожайність та вміст крохмалю. Коефіцієнт кореляції між дозами азоту та вмістом протеїну становив лише $r = 0,42$, що вказує на слабкий зв'язок. Збір протеїну з гектара зростав більш суттєво: з 598 кг/га на контролі до 875 кг/га при інтенсивному удобренні за рахунок підвищення врожайності.

У бінарних посівах вміст протеїну в зерні кукурудзи практично не відрізнявся від монокультури: 8,20–8,23% на контролі та 8,35–8,37% при максимальному удобренні. Відсутність позитивного впливу біологічного азоту, фіксованого соєю, на білковість кукурудзи свідчить про пріоритетне використання додаткового азоту для формування врожайності, а не якості.

Соя демонструвала високий вміст протеїну, характерний для бобових культур. Сорт 'Сірелія' в монокультурі містив 38,79% протеїну на контролі з незначним підвищенням до 39,14% при N₉₀P₆₀K₆₀. Приріст лише 0,35 відсоткових пункти підтверджує другорядну роль мінерального азоту для культури, здатної до симбіотичної азотфіксації.

Таблиця 3. Уміст протеїну, жиру та крохмалю в зерні культур у моно- та бінарних посівах, % (середнє за 2021–2025 рр.)

Монокультура / бінарні посіви	Система удобрення	Протеїн	Жир	Крохмаль
'РЖТ Занетіккс'	Контроль без добрив	8,21	н. в.	73,00
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,34	н. в.	73,50
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,37	н. в.	73,70
'Сірелія'	Контроль без добрив	38,79	22,63	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	39,00	22,72	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	39,14	22,75	н. в.
'РЖТ Сакуза'	Контроль без добрив	41,88	20,60	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	41,99	20,64	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	42,10	20,70	н. в.
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	8,20	н. в.	73,10
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,32	н. в.	73,43
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,35	н. в.	73,65
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (лише соя)	Контроль без добрив	38,68	22,42	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	38,75	22,54	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	38,82	22,60	н. в.
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (сумарно)	Контроль без добрив	8,23	н. в.	73,04
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,34	н. в.	73,48
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,37	н. в.	73,67
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	41,23	20,20	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	41,80	20,35	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	41,83	20,41	н. в.
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖ Сакуза' (лише соя)	Контроль без добрив	8,21	н. в.	73,00
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,34	н. в.	73,50
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,37	н. в.	73,70
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (сумарно)	Контроль без добрив	38,79	22,63	0,00
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	39,00	22,72	0,00
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	39,14	22,75	0,00
	НІР _{0,05}	1,10	0,89	0,92

н. в. – не визначався.

Сорт 'РЖТ Сакуза' характеризувався вищою базовою протеїновістю – 41,88% на контролі, що на 3,09 відсоткових пункти перевищує сорт 'Сірелія'. Це пояснюється генетичними особливостями сорту, орієнтованого на харчове використання. Реакція на удобрення була мінімальною: приріст 0,22 відсоткових пункти при N₉₀P₆₀K₆₀. У бінарних посівах уміст протеїну в сої дещо знижувався: для 'Сірелія' до 38,68–38,82%, для 'РЖТ Сакуза' до 41,23–41,83%. Зниження на 0,11–0,65 відсоткових пункти може бути пов'язане з частковим затіненням рослин кукурудзою та зміною співвідношення генеративних / вегетативних органів.

Комбінування кукурудзи та сої в раціонах забезпечує взаємну компенсацію амінокислотних дефіцитів. Розрахунковий амінокислотний скор змішаного корму з бінарних посівів становить 85–88% проти 62–65% для чистої кукурудзи, що підвищує біологічну цінність кормів.

Уміст жиру в насінні сої є важливим показником, що визначає її цінність для переробної промисловості. Сорт 'Сірелія' характеризувався високою олійністю – 22,63% на контролі з незначним підвищенням до 22,75% при N₉₀P₆₀K₆₀. Приріст лише 0,12 відсоткових пункти вказує на генетичну детермінованість ознаки.

Сорт 'РЖТ Сакуза' мав нижчу олійність – 20,60–20,70%, що типово для високобілкових сортів харчового напрямку. Негативна кореляція між вмістом протеїну та жиру ($r = -0,78$) підтверджує антагоністичний характер накопичення цих компонентів.

У бінарних посівах олійність сої незначно знижувалася: для ‘Сірелія’ до 22,42–22,60%, для ‘РЖТ Сакуза’ до 20,20–20,41%. Зниження на 0,19–0,40 відсоткових пункти може бути пов’язане зі зміною умов освітлення та температурного режиму в змішаних посівах. Проте загальний вихід олії з гектара залишався економічно виправданим.

Крохмаль є основним запасним вуглеводом зерна кукурудзи, що визначає його енергетичну цінність. У монокультурі вміст крохмалю становив 73,00% на контролі з поступовим підвищенням до 73,70% при застосуванні N₉₀P₆₀K₆₀. Приріст 0,70 відсоткових пункти свідчить про позитивний вплив збалансованого мінерального живлення на синтез вуглеводів. Високий вміст крохмалю (> 73%) робить досліджуваний гібрид цінною сировиною для крохмале-патокової промисловості та виробництва біоетанолу.

У бінарних посівах вміст крохмалю в кукурудзі залишався на рівні монокультури: 73,00–73,10% на контролі та 73,65–73,70% при максимальному удобренні. Стабільність цього показника підтверджує відсутність негативного впливу сумісного вирощування на формування вуглеводного комплексу (табл. 4).

Таблиця 4. Збір протеїну, жиру й крохмалю в зерні культур у моно- та бінарних посівах, т/га (середнє за 2021–2025 рр.)

Монокультура / бінарні посіви	Система удобрення	Протеїн	Жир	Крохмаль
‘РЖТ Занетіккс’	Контроль без добрив	0,60	н. в.	5,32
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,78	н. в.	6,90
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,87	н. в.	7,70
‘Сірелія’	Контроль без добрив	0,88	0,51	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,30	0,76	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,10	0,64	н. в.
‘РЖТ Сакуза’	Контроль без добрив	1,07	0,53	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,48	0,73	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,11	0,54	н. в.
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	0,67	0,00	5,93
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,90	0,00	7,96
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,03	0,00	9,08
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише соя)	Контроль без добрив	0,71	0,41	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,01	0,59	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,90	0,52	н. в.
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (сумарно)	Контроль без добрив	1,37	0,41	5,93
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,91	0,59	7,96
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,93	0,52	9,08
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	0,68	н. в.	5,86
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,92	н. в.	8,02
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,04	н. в.	9,02
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖ Сакуза’ (лише соя)	Контроль без добрив	0,81	0,39	н. в.
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,15	0,56	н. в.
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,05	0,50	н. в.
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (сумарно)	Контроль без добрив	1,48	0,39	5,86
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	2,07	0,56	8,02
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,09	0,50	9,02
	НІР _{0,05}	0,12	0,08	0,43

н. в. – не визначався.

Монокультура кукурудзи демонструвала відносно низький збір протеїну через невисокий його вміст у зерні. На контролі без добрив збір становив 0,60 т/га, що відображає базову

здатність агроecosистеми до білкового синтезу при природній родючості ґрунту. Застосування $N_{60}P_{45}K_{45}$ підвищувало збір протеїну до 0,78 т/га (приріст 30,0%), а $N_{90}P_{60}K_{60}$ – до 0,87 т/га (приріст 45,0%).

Важливо відзначити, що приріст збору протеїну досягався переважно за рахунок підвищення врожайності (на 29,0 та 43,5% відповідно), а не вмісту протеїну (приріст лише 1,6–1,9%). Це свідчить про пріоритетне спрямування додаткового азоту на формування вегетативної маси та генеративних органів, а не на підвищення білковості зерна.

Соя в монокультурі забезпечувала значно вищий збір протеїну завдяки високому його вмісту. Сорт 'Сірелія' формував 0,88 т/га протеїну на контролі з максимумом 1,30 т/га при $N_{60}P_{45}K_{45}$ (приріст 47,7%). При інтенсивному удобренні спостерігалось зниження до 1,10 т/га через депресію врожайності. Сорт 'РЖТ Сакуза' демонстрував вищу базову продуктивність – 1,07 т/га на контролі та 1,48 т/га при помірному удобренні.

Сумарний збір протеїну в бінарних посівах досягав рекордних значень. Комбінація 'РЖТ Занетікс' + 'Сірелія' забезпечувала 1,37 т/га на контролі, що на 128,3% перевищує монокультуру кукурудзи та на 55,7% – монокультуру сої 'Сірелія'. При помірному удобренні збір зростав до 1,91 т/га, а при інтенсивному – до 1,93 т/га.

Компонентний аналіз показав, що кукурудза в бінарних посівах формувала 0,67–1,03 т/га протеїну (111,7–118,4% від монокультури), а соя – 0,71–1,01 т/га. Хоча збір протеїну соєю був нижчим через редувану густоту, сумарний ефект виявився позитивним завдяки синергетичній взаємодії культур.

Комбінація з 'РЖТ Сакуза' демонструвала ще вищу протеїнову продуктивність: 1,48 т/га на контролі та максимум 2,09 т/га при $N_{90}P_{60}K_{60}$. Це найвищий показник серед усіх досліджуваних варіантів, що в 3,5 рази перевищує монокультуру кукурудзи та в 1,9 рази – монокультуру сої на контролі.

Коефіцієнт використання азоту добрив (NUE) для синтезу протеїну становив 29,4% для монокультури кукурудзи при $N_{60}P_{45}K_{45}$ та знижувався до 23,8% при $N_{90}P_{60}K_{60}$. Для сої ці показники були вищими: 42,3% та 18,9% відповідно, що відображає депресивний ефект високих доз азоту на симбіотичну фіксацію.

У бінарних посівах NUE досягав 48,5–52,1% при помірному удобренні, що свідчить про оптимізацію азотного циклу через комплементарне використання мінерального та біологічного азоту. При інтенсивному удобренні ефективність знижувалася до 32,4–34,7%, але залишалася вищою за монокультури.

Виробництво рослинної олії є важливим напрямом використання сої. Сорт 'Сірелія' в монокультурі забезпечував збір 0,51 т/га олії на контролі з максимумом 0,76 т/га при $N_{60}P_{45}K_{45}$ (приріст 49,0%). При інтенсивному удобренні збір знижувався до 0,64 т/га через зменшення врожайності.

Сорт 'РЖТ Сакуза', незважаючи на нижчу олійність, формував порівнянний збір олії: 0,53 т/га на контролі та 0,73 т/га при помірному удобренні. Це пояснюється вищою врожайністю сорту, що компенсує нижчий вміст жиру.

У бінарних посівах збір олії з соєвого компонента становив 0,39–0,41 т/га на контролі та 0,56–0,59 т/га при $N_{60}P_{45}K_{45}$. Хоча ці показники на 23,5–26,0% нижчі за монокультуру, вони отримуються з половинної норми висіву, що свідчить про високу ефективність використання площі.

Кукурудза є основним джерелом крохмалю для харчової та технічної промисловості. У монокультурі збір крохмалю становив 5,32 т/га на контролі, зростаючи до 6,90 т/га при $N_{60}P_{45}K_{45}$ (приріст 29,7%) та 7,70 т/га при $N_{90}P_{60}K_{60}$ (приріст 44,7%). Ці показники відображають високу ефективність фотосинтезу та вуглеводного метаболізму кукурудзи.

У бінарних посівах збір крохмалю з кукурудзового компонента був навіть вищим: 5,86–5,93 т/га на контролі (+10,2–11,5% до монокультури) та 9,02–9,08 т/га при інтенсивному удобренні (+17,1–17,9%). Це парадоксальне явище пояснюється кращими умовами азотного живлення та оптимізацією водного режиму в змішаних посівах.

Вихід крохмалю при промисловій переробці становить 65–68% від його вмісту в зерні. Таким чином, з 1 га можна отримати 3,46–5,27 т товарного крохмалю вартістю 20,76–31,62 тис. грн (при ціні 6000 грн/т).

Для виробництва біоетанолу збір крохмалю 7,70–9,08 т/га забезпечує вихід 3080–3632 л спирту вартістю 92,4–109,0 тис. грн. Це робить кукурудзу високорентабельною культурою для біопаливної промисловості.

Для оцінки збалансованості продукції розраховано співвідношення протеїн:жир:крохмаль. Оптимальним для кормових цілей вважається співвідношення 1:0,3:4,5. Монокультура кукурудзи дає співвідношення 1:0,8:9–8,9, що вказує на дефіцит протеїну та відсутність жиру.

Бінарні посіви забезпечують співвідношення 1:0,26–0,30:4,3–4,7, що практично відповідає оптимуму. Це дозволяє використовувати продукцію для виробництва збалансованих комбікормів без додаткових білкових та жирових добавок.

Розрахунок граничної продуктивності добрив показує, що кожен додатковий кілограм NPK при переході від контролю до $N_{60}P_{45}K_{45}$ забезпечує додатковий збір: 1,2 кг протеїну, 2,2 кг жиру та 10,5 кг крохмалю. При подальшій інтенсифікації до $N_{90}P_{60}K_{60}$ ці показники знижуються до 0,6, –0,8 та 7,1 кг відповідно.

Негативна гранична продуктивність для жиру при високих дозах добрив підтверджує недоцільність інтенсивного удобрення сої. Для бінарних посівів оптимальною є система $N_{60-75}P_{45-55}K_{45-55}$, що забезпечує максимальну окупність добрив приростом продукції.

Висновки

Визначена перевага бінарних посівів за продуктивністю: сумарна врожайність 9,92–15,13 т/га перевищує монокультуру кукурудзи на 36–45% при одночасному покращенні якісних показників продукції. При цьому синергетичний ефект міжвидової взаємодії проявляється в підвищенні врожайності кукурудзи на 11,5–19,1% у бінарних посівах порівняно з монокультурою при тих же нормах удобрення.

Досліджено що оптимальною системою удобрення для монокультури кукурудзи є $N_{90}P_{60}K_{60}$ (10,45 т/га), для сої – $N_{60}P_{45}K_{45}$ (3,33–3,52 т/га), для бінарних посівів – $N_{60-75}P_{45-55}K_{45-55}$ (13,61–13,68 т/га) з найвищою окупністю добрив. А депресія врожайності сої при інтенсивному удобренні (зниження на 16–25% порівняно з $N_{60}P_{45}K_{45}$) підтверджує недоцільність високих норм мінеральних добрив для бобових культур у монокультурі.

Встановлено вищу стабільність бінарних посівів: коефіцієнт варіації врожайності 14,5–16,2% проти 16,8% для кукурудзи та 10,9–15,2% для сої, індекс стабільності 0,67–0,76 при максимальній продуктивності.

Визначено що вміст основних органічних сполук (протеїн, жир, крохмаль) мало змінюється під впливом систем вирощування та удобрення, залишаючись переважно генетично детермінованим. А приріст вмісту протеїну в кукурудзі становить лише 1,6–1,9%, в сої – 0,2–0,4%, що не виправдовує витрати на добрива виключно для покращення якості.

У бінарних посівах: незначне зниження вмісту протеїну (0,1–0,7%) та жиру (0,2–0,4%) в сої компенсується загальним збором цих речовин з гектара за рахунок додаткової продукції кукурудзи.

Максимальна продуктивність біосинтезу досягається в бінарних посівах: збір протеїну 1,91–2,09 т/га (у 2,2–3,5 раза вище монокультури кукурудзи), жиру 0,52–0,59 т/га, крохмалю 7,96–9,08 т/га (+15,4–17,9% до монокультури). А синергетичний ефект проявляється в підвищенні збору всіх органічних сполук на 45–128% порівняно з монокультурами при оптимальному співвідношенні протеїн : жир : крохмаль = 1 : 0,26–0,30 : 4,3–4,7.

Оптимальна система удобрення для максимізації збору органічних речовин – $N_{60}P_{45}K_{45}$ для сої в монокультурі та $N_{60-75}P_{45-55}K_{45-55}$ для бінарних посівів з окупністю 1,2 кг протеїну та 10,5 кг крохмалю на 1 кг NPK. При цьому ж визначений депресивний ефект інтенсивного удобрення на збір протеїну (–15,4%) та жиру (–15,8%) сої в монокультурі підтверджує недоцільність високих доз мінеральних добрив для бобових.

Список використаних джерел

1. 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. *Taurian Scientific Herald*, 117, 37–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6> [In Ukrainian]

2. Kulyk, M. I., Biliavska, L. H., Syplyva, N. O., Ulizko, P. M., & Haidai, A. O. (2022). Variability of elements of individual productivity and grain yield of maize hybrids. *Agrarian Innovations*, 15, 111–119. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.17> [In Ukrainian]
3. Kyrychenko, V. V., Riabukha, S. S., Kobyzieva, L. N., Posylaieva, O. O., & Chernyshenko, P. V. (2016). *Soybean (Glycine max (L.) Merr.)*. V. Ya. Yuriev Institute of Plant Production NAAS. [In Ukrainian]
4. Len, O. I., Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., & Yeremko, L. S. (2021). Influence of fertilizer system and primary tillage on the productivity of maize hybrids. *Bulletin of Poltava State Agricultural Academy*, 2, 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06> [In Ukrainian]
5. Pavlichenko, K. V. (2022). Formation of yield structure elements by maize hybrids for silage under the influence of macro- and microfertilizers. *Agrarian Innovations*, 12, 77–84. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12> [In Ukrainian]
6. Yurchenko, S. O., Shakalii, S. M., & Bahan, A. V. (2022). Formation of productive potential of maize hybrids by maturity groups. *Agrarian Innovations*, 13, 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1> [In Ukrainian]
7. Blessing, D. J., Gu, Y., Cao, M., Cui, Y., Wang, X., & Asante-Badu, B. (2022). Overview of the advantages and limitations of maize-soybean intercropping in sustainable agriculture and future prospects: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(1), 177–188. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392022000100177>
8. Hanhur, V., Marenych, M., Korotkova, I., Gamayunova, V., Len, O., Marinich, L., & Olepir, R. (2021). Dynamics of nutrients in the soil and spring barley yield depending on the rates of mineral fertilizers. *International Journal of Botany Studies*, 6(5), 1298–1306.
9. Marenych, M., Koba, K., Hanhur, V., Semenov, A., Len, O., Yeremko, L., Bagan, A., Yurchenko, S., & Yeleussinov, B. (2024). Effectiveness of urea-ammonia mixtures for fertilisation of maize (*Zea mays* L.) mother plants under conditions of unstable moisture. *Chinese Science Bulletin*, 69(04), 1657–1669.
10. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: guidelines*. PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]
11. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

Yield and quality of maize crop under mono- and binary cropping

V. A. Mokriienko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine

Corresponding author: Volodymyr Mokriienko, mokriienko@ukr.net

Citation: Mokriienko, V. A. (2026). Yield and quality of maize crop under mono- and binary cropping. *Bioenergy*, 1, 66–76. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp66-76>

Aim. To determine the effect of fertiliser systems on the yield and quality of maize and soybean under mono- and binary cropping in the Forest Steppe zone of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2021–2025 in a long-term stationary field experiment at the Agronomic Research Station of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv region). The soil was typical low-humus medium-loam chernozem. Maize monocrop ('RGT Zanettix'), soybean monocrop ('Sirelia' and 'RGT Sakuzha'), and their binary cropping combinations were studied. Three fertiliser systems were applied: no fertiliser (control), N₆₀P₄₅K₄₅ and N₉₀P₆₀K₆₀. Yield, productivity stability, protein, fat and starch contents, and their yields per unit area were assessed. Experimental data were analysed using analysis of variance, correlation and regression methods. **Results.** Binary cropping systems demonstrated a significant advantage over monocropping in terms of total productivity. In mixtures with soybean, maize yield in the control treatment was 11.5–12.8% higher than in monocrop, while under intensive fertilisation (N₉₀P₆₀K₆₀) this advantage increased to 18.0–19.1%, reaching 12.45 t/ha. The maximum total yield of the binary system reached 15.13 t/ha, exceeding maize monocrop by 44.8%. Soybean monocropping showed a negative response to high nitrogen rates: increasing fertilisation from N₆₀ to N₉₀ caused a yield reduction of 16–25%, whereas in binary cropping systems soybean maintained stable productivity. Biochemical analysis revealed that protein content (8.2–8.4% in maize; 38.7–42.1% in soybean) and starch content (73.0–73.7%) were largely genotype-dependent; however, binary cropping systems markedly increased nutrient yield per unit area. Protein yield in mixed cropping reached 1.91–2.09 t/ha, which was 2.2–3.5 times higher than in maize

monocropping. Starch yield in binary systems increased by 15.4–17.9%, reaching 9.08 t/ha. Intercropping ensured an optimal feed ratio of protein/fat/starch as 1/0.3/4.5. Calculation of the environmental plasticity coefficient ($bi = 0.95-1.05$) and stability index ($Si = 0.67-0.76$) confirmed the greater adaptability of binary agro-ecosystems to interannual weather variability compared with maize monocrop. Agronomic fertiliser efficiency in binary cropping systems was 18–22% higher than in monocrops. **Conclusions.** Binary cropping of maize with soybean represents a highly effective model of agricultural intensification, providing a synergistic increase in maize yield of 11–19% and more than a twofold increase in protein production. A moderate fertilisation rate of N₆₀P₄₅K₄₅ is optimal for such systems, ensuring maximum resource efficiency and production of biochemically balanced yields.

Keywords: maize; soybean; binary cropping; mineral fertilisers; yield; grain quality; protein; starch.

ORCID

Володимир Мокрієнко / Volodymyr Mokriienko

<https://orcid.org/0000-0002-5604-442X>