



УДК 631.524.2:631.527.2(477.61) :631.58
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.24>

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. В. Яценко¹, В. С. Горбенко²

У статті наведено результати досліджень впливу різних систем обробітку ґрунту на формування індивідуальної продуктивності рослин, фракційного складу насіння та біохімічних показників зерна сої в умовах Правобережного Лісостепу України. Метою дослідження було оцінити ефективність традиційної, мінімізованої (mini-till) та смугової (strip-till) систем обробітку ґрунту під час вирощування середньостиглих сортів сої ЕС Ментор і Паллада в умовах сучасних кліматичних змін. Польові дослідження проводили у 2024–2025 роках на ясно-сірому лісовому ґрунті важкосуглинкового гранулометричного складу за схемою розщеплених ділянок у чотирикратній повторності. У дослідженні оцінювали показники індивідуальної продуктивності рослин, масу 1000 насінин, натуру насіння, фракційний склад насіння, вміст білка та олії, а також умовний вихід основних біохімічних компонентів. Встановлено, що формування продуктивності сої та якості зерна визначалося комплексною взаємодією сортових особливостей і систем обробітку ґрунту. Сорт Паллада характеризувався більшою кількістю бобів і насінин на рослині, тоді як сорт ЕС Ментор формував крупніше й щільніше насіння з підвищеним вмістом білка. Традиційна система обробітку забезпечила найвищі значення загальної кількості насіння, натури зерна та умовного збору білка й олії. Водночас застосування mini-till і strip-till не спричинило істотного зниження індивідуальної продуктивності рослин і дозволило зберегти основні показники якості в межах середньої статистичної варіабельності. Аналіз фракційного складу насіння показав, що за традиційного обробітку ґрунту формувалася найбільша частка товарного, повноцінного насіння, тоді як мінімізовані технології супроводжувалися збільшенням частки дрібних фракцій, особливо за системи strip-till. Вміст білка й олії у насінні переважно визначався генотипом, тоді як їх умовний вихід залежав від загального рівня продуктивності. Отримані результати свідчать про доцільність поєднання адаптованих сортів сої з ресурсозберігаючими системами обробітку ґрунту для підвищення стабільності виробництва, збереження родючості ґрунтів і забезпечення високої якості продукції в умовах змін клімату.

Ключові слова: mini-till, strip-till, традиційна система обробітку, маса 1000 зерен, білок, олія.

¹ доктор сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: slaviksklavina16@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2989-0564

² здобувач освітньо-наукового ступеня доктор філософії кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: viachyats@gmail.com
ORCID: 0009-0006-2434-7094

FORMATION OF YIELD STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

V. V. Yatsenko, V. S. Horbenko

The article presents the results of research on the impact of different tillage systems on the formation of individual plant productivity, seed fraction composition, and biochemical parameters of soybean grains under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of conventional, minimized (mini-till), and strip-till soil management systems in cultivating medium-maturing soybean varieties ES Mentor and Паллада under contemporary climate change conditions. Field experiments were conducted in 2024–2025 on an Albeluvisol (loamy heavy soil) using a split-plot design with four replications. The study evaluated indicators of individual plant productivity, thousand-seed weight, seed bulk density, seed fraction composition, protein and oil content, as well as the conditional yield of major biochemical components. It was found that the formation of soybean productivity and grain quality was determined by the complex interaction between varietal traits and tillage systems. The Паллада variety was characterized by a higher number of pods and seeds per plant, while the ES Mentor variety produced larger and denser seeds with increased protein content. The conventional tillage system provided the highest values of total seed number, seed bulk density, and conditional protein and oil yield. At the same time, the use of mini-till and strip-till did not cause a significant decrease in individual plant productivity and allowed the main quality indicators to be maintained within the range of average statistical variability. Analysis of seed fraction composition showed that the conventional tillage system resulted in the highest proportion of marketable, fully developed seeds, whereas minimized technologies were associated with an increase in the share of small fractions, especially under strip-till. Protein and oil content in seeds was primarily determined by genotype, while their conditional yield depended on overall productivity levels. The results indicate the feasibility of combining adapted soybean varieties with resource-saving tillage systems to enhance production stability, preserve soil fertility, and ensure high product quality under changing climatic conditions.

Key words: mini-till, strip-till, conventional tillage system, weight 1000 seed, protein, oil.

Вступ

В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та посилення впливу глобальних кліматичних змін особливої актуальності набуває проблема оптимізації систем обробітку ґрунту з метою забезпечення стабільної продуктивності культур і збереження ґрунтової родючості. Традиційні технології, що базуються на інтенсивному механічному впливі, з одного боку, сприяють формуванню сприятливих умов для росту рослин, проте з іншого – супроводжуються деградацією ґрунтової структури, підвищенням ризиків ерозії, втратами органічної речовини та зростанням енергетичних витрат. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають ресурсозберігаючі системи землеробства, зокрема mini-till і strip-till, ефективність яких потребує наукового обґрунтування з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов.

Незважаючи на наявність численних досліджень з питань мінімізованого обробітку ґрунту, для умов Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим його вплив на формування індивідуальної продуктивності, фракційного

складу та біохімічної якості зерна сої з урахуванням сортових особливостей. Відсутність комплексних даних у цьому напрямі ускладнює розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для виробництва.

За надмірної інтенсивності обробітку сільськогосподарських угідь шляхом оранки з обертанням скиби ґрунту (Bechmann & Вое, 2021) частково контролюються окремі хвороби та шкідники (Poggi et al., 2021; Kuka et al., 2022), однак водночас виникають і негативні наслідки, пов'язані з посиленими втратами вологи (Telak, 2020), уповільненням мінералізації рослинних решток, які загортаються на значну глибину (Azimi-Nejadian et al., 2022), формуванням плужної підшви, порушенням безперервності капілярів ґрунту (дренажу) (Korczyk-Szabó et al., 2024), а також із посиленням ерозійних процесів у разі проведення оранки уздовж лінії схилу (Singh et al., 2023). Застарілі, енергоємні технології обробітку ґрунту є одним із чинників деградації ґрунтів; у світовому масштабі близько 35 % деградаційних процесів зумовлено антропогенною діяльністю та ще 28 % – іншими формами нераціонального землекористування (Cheng et al., 2024).

Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, зафіксовані протягом вегетаційного періоду сої в останні роки (Elyasi et al., 2023), зумовлюють необхідність упровадження альтернативних систем обробітку ґрунту (Chetan et al., 2021; Peng et al., 2023; Hunag et al., 2024). Система мінімального обробітку передбачає основний обробіток без обертання скиби із застосуванням дискових борін, чизелів, ротаційних борін, фрез, параплуга та інших знарядь (da Silva et al., 2022; Chetan et al., 2022), а також збереження рослинних решток на поверхні ґрунту або їх неглибоке загортання, що забезпечує ефект мульчування. За умов нульового обробітку ґрунту наявність рослинних решток або покривних культур є визначальною передумовою успішного вирощування культури (Faligowska et al., 2025).

Важливість сої як сільськогосподарської культури зумовлена її багатофункціональним використанням (Elyasi et al., 2023; Faligowska et al., 2025): у харчуванні людини та тварин, у промисловості, а також у поліпшенні фізичних властивостей ґрунту та збагаченні його азотом завдяки симбіозу кореневої системи з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* (Egamberdieva et al., 2020; Szpunar-Krok et al., 2021).

Незважаючи на наявність численних досліджень з питань мінімізованого обробітку ґрунту, для умов Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим його вплив на формування індивідуальної продуктивності, фракційного складу та біохімічної якості зерна сої

з урахуванням сортових особливостей, що і покладено в основу мети досліджень. Відсутність комплексних даних у цьому напрямі ускладнює розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для виробництва. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей взаємодії систем обробітку ґрунту та сортових факторів у формуванні врожайності й якості зерна сої, мають важливе наукове й практичне значення. Отримані результати є підґрунтям для вдосконалення адаптивних технологій вирощування культури, підвищення ресурсоефективності агровиробництва та забезпечення сталого розвитку землеробства в умовах кліматичних змін.

Матеріал і методи

Польовий експеримент було проведено у 2024–2025 роках на базі навчально-виробничого відділу Уманського національного університету (Умань, Україна). Дослідна ділянка розташована в зоні помірно-континентального клімату (рис. 1).

Польові дослідження було закладено за схемою split-plot на чорноземі опідзоленому важкосуглинкового гранулометричного складу з чотирикратною повторністю. Першим фактором досліду слугували системи обробітку ґрунту: А – традиційна; В – мінімізована (поверхнева, mini-till); С – стрічкова (strip-till). Другим фактором були середньостиглі сорти сої ЕС Ментор і Палада.

Попередником культури у 2024–2025 роках було тритикале озиме. Сівбу проводили у період з 28 квітня по 5 травня за густоти стояння 450 тис. схожих насінин на гек-

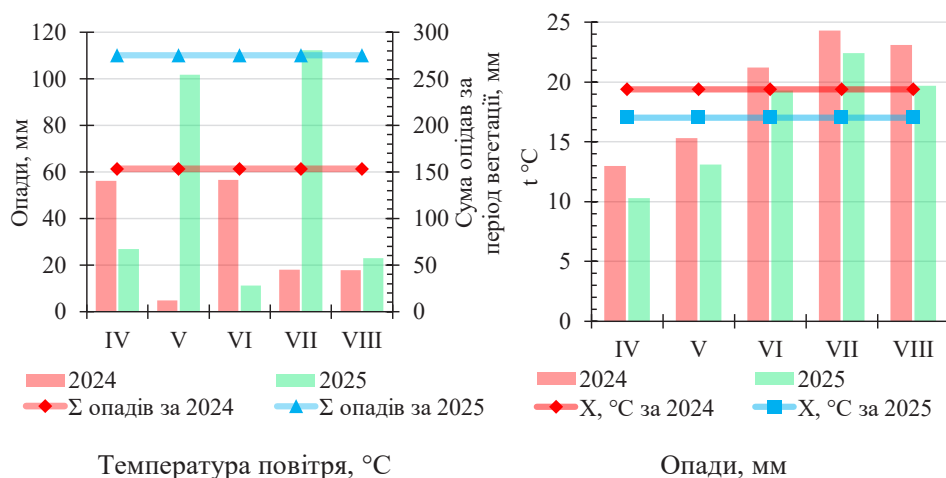


Рис. 1. Кліматичні умови періоду вегетації рослин сої (за даними метеостанцій «Умань»)

тар. Технологія вирощування відповідає загальноприйнятим рекомендаціям для умов Лісостепу. Площа облікової ділянки становила 20 м², облікова площа збирання – 15 м².

Сівбу за системами А і В проводили сівалкою Kockerling Ultima (Deutz Fahr), тоді як за технології strip-till висів здійснювали безпосередньо в необроблену стерню за допомогою сівалки MZURI (VALTRA).

Збирання врожаю проводили у фазі повної стиглості зерна з використанням комбайна Wintersteiger. Натуру зерна визначали відповідно до державних стандартів (ДСТУ, 2003) а фракційний склад – згідно з International Rules for Seed Testing (2026). Вміст протеїну та жиру визначали за допомогою інфрачервоного аналізатора SpectraStar XT Unity Scientific (США) серії SpectraStar™ XT-R.

Статистичну обробку результатів здійснювали шляхом розрахунку середнього арифметичного та стандартного відхилення з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2019 StatPlus.

Результати

Аналіз експериментальних даних засвідчив, що індивідуальна продуктивність рослин сої, яка характеризується кількістю бобів на одну рослину, числом насінин у бобі та загальною кількістю насінин з рослини, а також показники якості зерна (маса 1000 насінин і натура), формувалися під комплексним впливом системи обробітку ґрунту та сортових особливостей, причому ступінь прояву цих факторів був неоднаковим для окремих ознак.

Кількість бобів на одну рослину змінювалася в широких межах – від 21,50–21,65 шт. у сорту ЕС Ментор до 42,54–45,00 шт. у сорту Паллада, що підтверджується високим коефіцієнтом варіації (CV = 34 %), який свідчить про значну мінливість ознаки. Водночас вплив системи обробітку ґрунту на формування цього показника був відносно обмеженим, оскільки в межах кожного сорту різниця між традиційною, mini-till і strip-till системами не перевищувала 1–5 %, що знаходиться в межах середньої статистичної мінливості.

Кількість насінин у бобі характеризувалася значно меншою варіабельністю (CV = 20 %) і практично не залежала від системи обробітку ґрунту. У сорту ЕС Ментор цей показник стабільно перебував на рівні 3,00–3,03 шт., тоді як у сорту Паллада – 2,00–2,01 шт., що свідчить про генетично

детермінований характер ознаки та її слабку чутливість до агротехнічних чинників.

Загальна кількість насінин з однієї рослини, як інтегральний показник індивідуальної продуктивності, демонструвала чітку залежність як від сорту, так і від системи обробітку ґрунту. Максимальні значення зафіксовано у сорту Паллада за традиційної системи обробітку (90,0 шт.), тоді як застосування mini-till і strip-till супроводжувалося зниженням цього показника до 86,0–85,5 шт., що відповідає зменшенню на 4,4–5,0 %. У сорту ЕС Ментор аналогічна тенденція проявлялася менш виражено, а різниця між системами обробітку не перевищувала 1,6 %, що свідчить про вищу адаптивність сорту до умов мінімізованого обробітку ґрунту (табл. 1).

Маса 1000 насінин змінювалася в межах 136–192 г, при середньому значенні 164 г і коефіцієнті варіації 16 %, що вказує на середню мінливість ознаки. Найвищі значення маси 1000 насінин формувалися у сорту ЕС Ментор за всіх систем обробітку (190–192 г), причому застосування mini-till і strip-till не призводило до її зниження порівняно з традиційним обробітком, а навпаки, забезпечувало стабільність показника. У сорту Паллада маса 1000 насінин була істотно нижчою (136–139 г) і виявляла слабку, але стабільну тенденцію до зменшення за мінімізованих систем обробітку.

Натура зерна характеризувалася найменшою варіабельністю серед усіх досліджуваних показників (CV = 13 %), що свідчить про її відносну стабільність. Найвищі значення натури зерна зафіксовано у сорту ЕС Ментор за традиційної системи обробітку (710 г/л), тоді як перехід до mini-till і strip-till супроводжувався поступовим зниженням цього показника до 701–696 г/л. У сорту Паллада натура зерна була істотно нижчою (553–540 г/л) і зменшувалася зі скороченням інтенсивності обробітку ґрунту, що може свідчити про гірше виповнення зерна за умов обмеженого механічного впливу на ґрунт.

Порівняльний аналіз сортів показав, що сорт Паллада істотно переважав ЕС Ментор за кількістю бобів і загальною кількістю насінин з рослини, однак поступався за показниками якості зерна, зокрема масою 1000 насінин і натурою. Сорт ES Mentor, навпаки, характеризувався меншою індивідуальною насінневою продуктивністю, але формував крупніше та щільніше зерно,

Таблиця 1

Індивідуальна продуктивність рослин та якість зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

Система обробітку	Сорт	Кількість бобів/росл, шт.	Кількість насінин, шт		Маса 1000 насінин, г	Нагура, г/д
			біб	рослину		
Традиційна	ES Mentor	21,50	3,00	64,50	190	710
	Паллада	45,00	2,00	90,00	136	553
Mini-till	ES Mentor	21,65	3,03	65,50	192	701
	Паллада	42,79	2,01	86,00	139	541
Strip-till	ES Mentor	21,59	3,01	65,00	192	696
	Паллада	42,54	2,01	85,50	138	540
	X	32,51	2,51	76,08	164	623,
	SD	10,96	0,50	11,18	26,94	79,14
	CV, %	34	20	15	16	13

що підтверджує різноспрямованість прояву елементів продуктивності та якості між досліджуваними сортами.

Таким чином, встановлено, що системи обробітку ґрунту мають помірний вплив на індивідуальну продуктивність і якість зерна сої, тоді як сортовий фактор відіграє провідну роль у формуванні більшості досліджуваних показників. Традиційна система обробітку забезпечує дещо вищі значення кількості насінин з рослини та натури зерна, однак застосування mini-till і strip-till не призводить до різкого погіршення індивідуальної продуктивності й дозволяє зберегти якісні показники зерна в межах середньої статистичної мінливості. Поєднання адаптованих сортів сої з мінімізованими системами обробітку ґрунту є науково обґрунтованим напрямом оптимізації технологій вирощування культури в умовах ресурсозберігаючого землеробства.

Фракційний склад зерна є важливою якісною характеристикою продукції сої, оскільки відображає умови наливу насіння, рівень реалізації генетичного потенціалу сорту та адаптивність агротехнічних чинників, зокрема систем обробітку ґрунту. За результатами досліджень 2024–2025 рр. встановлено, що основну частку врожаю зерна сої незалежно від досліджуваних факторів формували фракції з масою 4,1–5,0 г та понад 5,0 г, сумарна частка яких у середньому становила 61,9 %, що свідчить про загалом високий рівень виповненості насіння (табл. 2).

Традиційна система обробітку ґрунту забезпечувала найбільш збалансований фракційний склад зерна, за якого частка середньої (4,1–5,0 г) та крупної фракції (>5,0 г) у сорту ЕС Ментор становила відповідно 31,7 і 31,2 %, а у сорту Паллада – 33,0 і 31,7 %, що вказує на сприятливі умови водно-повітряного режиму ґрунту та оптимальне забезпечення рослин елементами живлення у період формування насіння.

За умов застосування mini-till спостерігалось певне зростання частки середньої фракції зерна (до 33,3–35,5 %), однак одночасно відмічено тенденцію до зменшення частки крупного зерна (>5,0 г) до 28,2–28,9 %, що може бути наслідком помірного обмеження кореневого живлення та дещо менш інтенсивного наливу насіння. Водночас істотно збільшення дрібних фракцій (≤3,0 г) за цієї системи не зафіксовано, що свідчить про відносну стабільність технології. Найбільш виражені зміни фракційного складу зерна виявлено за умов strip-till, де частка дрібної та дрібно-середньої фракцій (≤3,0 та 3,1–4,0 г) істотно зростала, особливо у сорту ЕС Ментор (до 8,6 % сумарно), тоді як частка крупного зерна знижувалася до 27,3–29,5 %. Це узгоджується з вищою варіабельністю умов мінерального живлення та вологості ґрунту у міжряддях, що обмежувало повноцінну реалізацію потенціалу наливу зерна.

Сортові відмінності проявлялися стабільно за всіх систем обробітку ґрунту. Сорт Паллада характеризувався вищою част-

Таблиця 2

Фракційний склад зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

Система обробітку	Сорт	≤3	3,1–4,0	4,1–5,0	>5
Традиційна	ES Mentor	1,4	2,4	31,7	31,2
	Паллада	0,7	1,2	33,0	31,7
Mini-till	ES Mentor	2,8	1,6	33,3	28,9
	Паллада	0,7	2,2	35,5	28,2
Strip-till	ES Mentor	1,7	6,9	30,7	27,3
	Паллада	0,9	5,5	30,8	29,5
	\bar{X}	1,38	3,31	32,49	29,48
	SD	0,74	2,12	1,68	1,57
	CV, %	54	64	5	5

кою середньої фракції зерна (4,1–5,0 г), яка коливалася в межах 30,8–35,5 %, що свідчить про більш вирівняний фракційний склад та кращу пластичність сорту до варіацій агротехнічних умов. Натомість сорт ЕС Ментор формував дещо вищу частку крупного зерна за традиційної системи обробітку, але виявляв підвищену чутливість до мінімізованих технологій, особливо strip-till.

Результати статистичної обробки підтверджують різну стабільність показників фракційного складу. Коефіцієнт варіації для дрібних фракцій (≤3,0 та 3,1–4,0 г) становив 54–64 %, що вказує на їхню високу залежність від технологічних умов вирощування. Натомість для основних товарних фракцій (4,1–5,0 та >5,0 г) CV не перевищував 5 %, що свідчить про високу стабільність цих показників та домінуючу роль генотипу у формуванні виповненого зерна.

Таким чином, встановлено, що система обробітку ґрунту істотно впливає на фракційний склад зерна сої, змінюючи співвідношення дрібних, середніх і крупних фракцій, при цьому традиційний обробіток забезпечує найвищу частку товарно цінного, виповненого зерна. Мінімізовані системи mini-till і strip-till характеризуються зростанням частки дрібніших фракцій, особливо за смугового обробітку, однак отримані зміни перебувають у межах середньої агрономічної мінливості. Сорт Паллада виявив вищу стабільність фракційного складу порівняно з сортом ЕС Ментор, що свідчить про провідну роль сортового фактора у формуванні якості зерна та доцільність його врахування при впровадженні ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту.

Показники біохімічного складу зерна сої та умовного збору основних біохімічних компонентів є інтегральними критеріями оцінки не лише продуктивності культури,

а й ефективності реалізації генетичного потенціалу сортів за різних систем обробітку ґрунту. За результатами досліджень встановлено, що уміст протеїну в зерні сої варіював у межах 32,43–41,40 %, тоді як уміст олії – від 20,64 до 24,93 %, що відповідає типовим значенням для середньостиглих сортів у ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України.

Аналізуючи вплив систем обробітку ґрунту окремо, слід зазначити, що уміст протеїну характеризувався високою стабільністю незалежно від технології. Так, у сорту ЕС Ментор за переходу від традиційної системи до mini-till і strip-till уміст білка знижувався незначно – з 41,40 до 41,18 %, що перебуває в межах статистичної похибки (рис. 2).

Аналогічну тенденцію відмічено і у сорту Паллада, де коливання умісту протеїну становили лише 0,30 процентних пункти. Низький коефіцієнт варіації (CV = 12 %) підтверджує домінуючу роль генотипу у формуванні білковості зерна та слабкий вплив систем обробітку ґрунту на цей показник.

На відміну від умісту, умовний збір протеїну істотно реагував на зміну системи обробітку ґрунту, що зумовлено безпосередньою залежністю цього показника від рівня врожайності. Найвищі значення умовного збору білка зафіксовано за традиційної системи обробітку – до 1,6 т/га у сорту ЕС Ментор, тоді як за mini-till і strip-till він знижувався до 1,55–1,56 т/га. Високий коефіцієнт варіації (CV = 39 %) свідчить про значну чутливість цього показника до агротехнічних умов вирощування

Подібні закономірності простежувалися і щодо умісту та умовного збору олії. Уміст олії демонстрував слабку, але стабільну тенденцію до підвищення за мінімізованих сис-

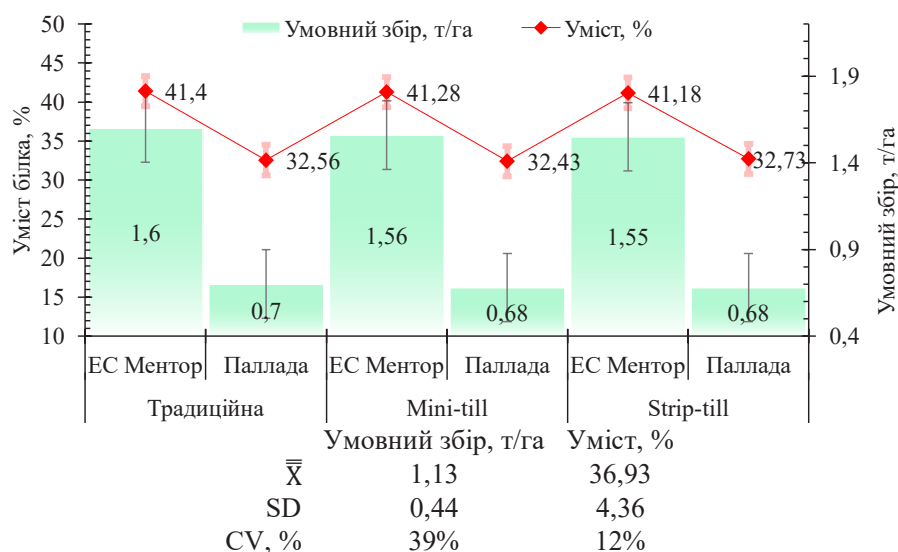


Рис. 2. Показники умісту та умовного збору білка зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

тем обробітку ґрунту, особливо strip-till, де він досягав 20,82 % у сорту ЕС Ментор та 24,93 % у сорту Паллада. При цьому коефіцієнт варіації для умісту олії не перевищував 9 %, що свідчить про відносну стабільність ознаки (рис. 3).

Водночас умовний збір олії був більш мінливим ($CV = 20\%$) і максимальних значень досягав за традиційної системи обробітку (0,80 т/га у сорту ЕС Ментор), зменшуючись за mini-till і strip-till до 0,78 т/га, що узгоджується зі зниженням урожайності за мінімізованих технологій.

Сортові відмінності виявилися чітко вираженими та статистично стабільними за всіх систем обробітку ґрунту. Сорт ЕС Ментор суттєво переважав сорт Паллада за умістом протеїну (в середньому 41,29 проти 32,57 %), а також за умовним збором білка й олії, що пояснюється поєднанням вищої врожайності та білкової спрямованості сорту. Натомість сорт Паллада стабільно характеризувався вищим умістом олії (24,70–24,93 %), що свідчить про його олійний тип і зумовляє доцільність використання цього сорту у напрямках пере-

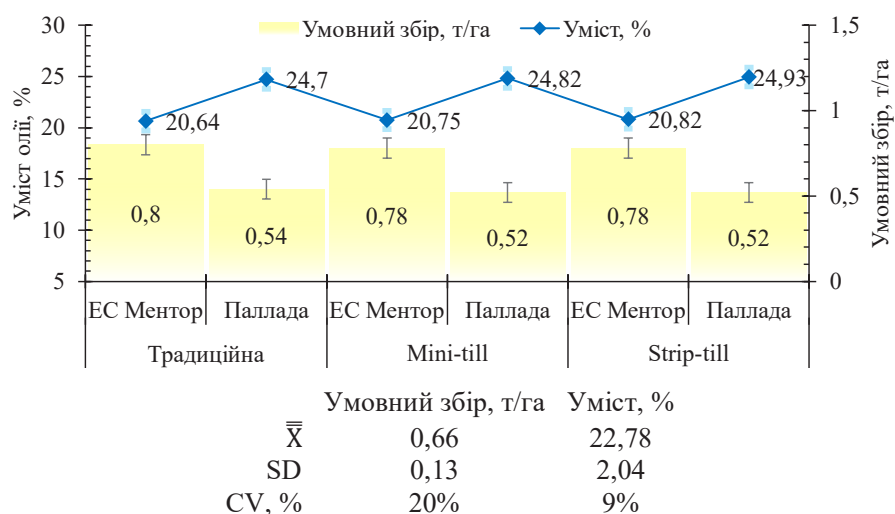


Рис. 3. Показники умісту та умовного збору олії зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

робки, орієнтованих на отримання рослинної олії.

Відсутність різких коливань показників у межах сортів за різних систем обробітку ґрунту вказує на слабку взаємодію факторів «сорт × система обробітку», що підтверджує універсальність сортової реакції на досліджувані агротехнічні умови.

Таким чином, встановлено, що системи обробітку ґрунту мають обмежений вплив на вміст протеїну та олії в зерні сої, тоді як умовний збір цих компонентів істотно залежить від рівня врожайності культури. Традиційна система обробітку ґрунту забезпечує максимальний умовний збір білка й олії, тоді як mini-till і strip-till супроводжуються незначним, але статистично стабільним його зниженням. Сортовий фактор відіграє провідну роль у формуванні якісного складу зерна: сорт ЕС Ментор є більш придатним для отримання високобілкової продукції, тоді як сорт Паллада доцільніше використовувати за олійною спеціалізацією. Отримані результати підтверджують можливість впровадження ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту без істотної втрати якості зерна за умови добору сортів із високим адаптивним потенціалом.

Обговорення

Отримані результати узгоджуються з даними сучасних досліджень щодо впливу систем обробітку ґрунту на продуктивність і якість зерна сої. Встановлено, що традиційна система обробітку в наших дослідженнях забезпечувала дещо вищу частку крупного та середнього зерна, а також максимальний умовний збір білка й олії. Подібні закономірності відзначені й у ряді міжнародних експериментів, де інтенсивніший обробіток сприяв формуванню більш вирівняного насінневого матеріалу та оптимальному забезпеченню рослин елементами живлення на ранніх етапах росту. Зокрема, у дослідженнях (Dong et al., 2025; Faligowska et al., 2025) показано, що традиційний обробіток ґрунту може забезпечувати більш збалансоване поєднання врожайності та якості зерна сої порівняно з деякими варіантами мінімізованого обробітку.

Разом з тим численні дослідження свідчать, що мінімізовані системи обробітку ґрунту (mini-till, strip-till, no-till) здатні забезпечувати близькі або навіть подекуди вищі показники врожайності за рахунок поліпшення збереження вологи, структури ґрунту та зменшення механічного руйнування ґрунтового профілю. Так, довготри-

валі польові спостереження показали, що врожайність сої за умов прямого висіву або зменшеного обробітку часто не поступається традиційним технологіям, а інколи перевищує їх у середньому на кілька відсотків (Cheţan et al., 2022; da Silva et al., 2022; Dong et al., 2025).

Водночас більшість авторів підкреслює, що показники хімічного складу зерна (вміст протеїну та олії) значною мірою визначаються генотипом сорту та погодними умовами, тоді як система обробітку ґрунту впливає на них меншою мірою. У ряді досліджень встановлено, що погодні умови та сортові особливості можуть мати суттєвіший вплив на білковість і олійність зерна сої, ніж агротехнічні фактори, включаючи систему обробітку ґрунту (Han et al., 2022, Hunag et al., 2024, Wang et al., 2025).

Таким чином, отримані нами результати підтверджують загальну тенденцію, описану в науковій літературі: традиційний обробіток ґрунту сприяє формуванню дещо вищих показників продуктивності та товарності зерна, тоді як ресурсозберігаючі системи mini-till і strip-till можуть застосовуватися без істотного погіршення якісних характеристик продукції за умови використання адаптованих сортів і оптимізації агротехнічних елементів технології вирощування.

Висновки

Системи обробітку ґрунту справляють помірний, переважно опосередкований вплив, насамперед через зміну умов росту і розвитку рослин та рівня реалізації врожайного потенціалу. Традиційна система обробітку забезпечує дещо вищі значення інтегральних показників індивідуальної продуктивності, натури зерна, а також максимальний умовний збір білка й олії, що пов'язано з кращими агрофізичними параметрами ґрунту та сприятливішими умовами наливу насіння. Водночас мінімізовані системи mini-till і strip-till зумовлюють певне зростання частки дрібних фракцій зерна та незначне зниження умовного збору біохімічних компонентів, однак ці зміни перебувають у межах середньої агрономічної та статистичної мінливості і не супроводжуються критичним погіршенням якісних показників зерна.

Диференціація сортів за напрямом господарського використання підтверджує доцільність цілеспрямованого сортового добору: сорт Паллада доцільніше використовувати за умов орієнтації на високу насінневу продуктивність і вирівняний фракційний склад, тоді як сорт ЕС Ментор є більш придатним

для формування високоякісного зерна з підвищеною масою 1000 насінин, натурою та вмістом білка. Відсутність істотної взаємодії факторів «сорт × система обробітку ґрунту» свідчить про універсальність сортової реакції та стабільність генетичного контролю основних продуктивних і якісних ознак.

Отже, отримані результати науково обґрунтовують можливість впровадження

ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту (mini-till і strip-till) у технологіях вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу України без істотної втрати індивідуальної продуктивності та якості зерна за умови використання високопродуктивних, адаптованих сортів, що є важливою складовою сталого та економічно ефективного землеробства.

Список використаної літератури

- ДСТУ 4234:2003. Зернові культури. Визначення об'ємної щільності, так званої маси на гектолітр. Частина 2. Робочий метод (ISO 7971-2:1995, MOD).
- Azimi-Nejadian H., Karparvarfard S. H., Naderi-Boldaji M. Weed seed burial as affected by mouldboard design parameters, ploughing depth and speed: DEM simulations and experimental validation. *Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 216. P. 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.02.005>.
- Bechmann M. E., Bøe F. Soil tillage and crop growth effects on surface and subsurface runoff, loss of soil, phosphorus and nitrogen in a cold climate. *Land*. 2021. Vol. 10. 77. <https://doi.org/10.3390/land10010077>.
- Cheng K., Peng S., Li C., Wen L., Liu L., Luo H., Liu J., Tang H. Effects of long-term soil tillage practices on soil organic C accumulation characteristics in double-cropped rice paddy. *Land*. 2024. Vol. 13. 2074. <https://doi.org/10.3390/land13122074>.
- Cheţan F., Rusu T., Cheţan C., Urdă C., Rezi R., Şimon A., Bogdan I. Influence of soil tillage systems on the yield and weeds infestation in the soybean crop. *Land*. 2022. Vol. 11. № 10. 1708. <https://doi.org/10.3390/land11101708>.
- da Silva G. F., Calonego J. C., Luperini B. C. O., Chamma L., Alves E. R., Rodrigues S. A., Putti F. F., da Silva V. M., de Almeida Silva M. Soil-plant relationships in soybean cultivated under conventional tillage and long-term no-tillage. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 3. 697. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030697>.
- Dong S., Huang M., Zhang J., Zhou Q., Hu C., Liu A., Wang H., Fu G., Wu J., Li Y. Long-term rotary tillage and straw mulching enhance dry matter production, yield, and water use efficiency of wheat in a rain-fed wheat-soybean double cropping system. *Plants*. 2025. Vol. 14. № 15. 2438. <https://doi.org/10.3390/plants14152438>.
- Egamberdieva D., Ma H., Alimov J., Reckling M., Wirth S., Bellingrath-Kimura S. D. Response of soybean to hydrochar-based Rhizobium inoculation in loamy sandy soil. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. 1674. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111674>.
- Elyasi S. S., Pirzad A., Jalilian J., Roohi E., Siosemardeh A. Effects of different tillage on morpho-physiological traits of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 229. 105660. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105660>.
- Faligowska A., Panasiewicz K., Szymańska G., Ratajczak K. Optimizing soybean productivity: A comparative analysis of tillage and sowing methods and their effects on yield and quality. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 6. 626. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060626>.
- Han S.-S., Park H.-J., Shin T., Ko J., Choi W.-J., Lee Y.-H., Bae H.-S., Ahn S.-H., Youn J.-T., Kim H.-Y. Effects of tillage system, sowing date, and weather course on yield of double-crop soybeans cultivated in drained paddy fields. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 8. 1901. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081901>.
- International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA). Bassersdorf, Switzerland. 2026. 14 p. <https://doi.org/10.15258/istarules.2026.07>
- Korczyk-Szabó J., Macák M., Jarecki W., Sterczyńska M., Jug D., Pużyńska K., Hromadová L., Habán M. Influence of crop residue management on maize production potential. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. 2610. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112610>.
- Kuka A., Czyż K., Smoliński J., Cholewińska P., Wyrostek A. The interactions between some free-ranging animals and agriculture – A review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. 628. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050628>.
- Peng Q., Liu B., Hu Y., Wang A., Guo Q., Yin B., Cao Q., He L. The role of conventional tillage in agricultural soil erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2023. Vol. 348. 108407. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108407>

Poggi S., Le Cointe R., Lehmus J., Plantegenest M., Furlan L. Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A review. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 436. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050436>.

Singh V., Gupta R. K., Kahlon M. S., Toor A. S., Singh K. B., Al-Ansari N., Mattar M. A. Effect of different tillage and residue management options on soil water transmission and mechanical behavior. *Land*. 2023. Vol. 12. 1895. <https://doi.org/10.3390/land12101895>.

Szpunar-Krok E., Wondolowska-Grabowska A., Bobrecka-Jamro D., Jańczak-Pieniążek M., Kotecki A., Kozak M. Effect of nitrogen fertilisation and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the fatty acid profile of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. 941. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050941>.

Telak L. J., Pereira P., Ferreira C. S. S. et al. Short-term impact of tillage on soil and the hydrological response within a fig (*Ficus carica*) orchard in Croatia. *Water*. 2020. Vol. 12(11). 3295. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12113295>.

Wang L., Gao Y., Ma Z., Wang B. The quality of seedbed and seeding under four tillage modes. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 15. 1626. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151626>.

References

DSTU 4234:2003. Zernovi kultury. Vyznachennia obiemnoi shchilnosti, tak zvanoi masy na hektolitr. Chastyna 2. Robochyi metod [Cereals. Determination of bulk density, so-called mass per hectolitre. Part 2. Routine method] (ISO 7971-2:1995, MOD). [in Ukrainian].

Azimi-Nejadian, H., Karparvarfard, S.H., & Naderi-Boldaji, M. (2022). Weed seed burial as affected by mouldboard design parameters, ploughing depth and speed: DEM simulations and experimental validation. *Biosyst. Eng.*, 216, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.02.005> [in English].

Bechmann M. E., & Bøe F. (2021). Soil tillage and crop growth effects on surface and subsurface runoff, loss of soil, phosphorus and nitrogen in a cold climate. *Land*, Vol. 10. 77. <https://doi.org/10.3390/land10010077> [in English].

Cheng, K., Peng, S., Li, C., Wen, L., Liu, L., Luo, H., Liu, J., & Tang, H. (2024). Effects of Long-Term Soil Tillage Practices on Soil Organic C Accumulation Characteristics in Double-Cropped Rice Paddy. *Land*, 13, 2074. <https://doi.org/10.3390/land13122074> [in English].

Cheţan, F., Rusu, T., Cheţan, C., Urdă, C., Rezi, R., Şimon, A., & Bogdan, I. (2022). Influence of soil tillage systems on the yield and weeds infestation in the soybean crop. *Land*, Vol. 11. № 10. 1708. <https://doi.org/10.3390/land11101708> [in English].

da Silva, G. F., Calonego, J. C., Luperini, B. C. O., Chamma, L., Alves, E. R., Rodrigues, S. A., Putti, F. F., da Silva, V. M., & de Almeida Silva, M. (2022). Soil-plant relationships in soybean cultivated under conventional tillage and long-term no-tillage. *Agronomy*, Vol. 12. № 3, 697. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030697> [in English].

Dong, S., Huang, M., Zhang, J., Zhou, Q., Hu, C., Liu, A., Wang, H., Fu, G., Wu, J., & Li, Y. (2025). Long-term rotary tillage and straw mulching enhance dry matter production, yield, and water use efficiency of wheat in a rain-fed wheat-soybean double cropping system. *Plants*, Vol. 14. № 15, 2438. <https://doi.org/10.3390/plants14152438> [in English].

Egamberdieva, D., Ma, H., Alimov, J., Reckling, M., Wirth, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2020). Response of soybean to hydrochar-based *Rhizobium* inoculation in loamy sandy soil. *Microorganisms*, Vol. 8, 1674. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111674> [in English].

Elyasi, S.S., Pirzad, A., Jalilian, J., Roohi, E., & Siosemardeh, A. (2023). Effects of different tillage on morpho-physiological traits of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Soil Tillage Res.*, 229, 105660. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105660> [in English].

Faligowska, A., Panasiewicz, K., Szymańska, G., & Ratajczak, K. (2025). Optimizing soybean productivity: A comparative analysis of tillage and sowing methods and their effects on yield and quality. *Agriculture*, Vol. 15. № 6, 626. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060626> [in English].

Han, S.-S., Park, H.-J., Shin, T., Ko, J., Choi, W.-J., Lee, Y.-H., Bae, H.-S., Ahn, S.-H., Youn, J.-T., & Kim, H.-Y. (2022) Effects of tillage system, sowing date, and weather course on yield of double-crop soybeans cultivated in drained paddy fields. *Agronomy*, Vol. 12. № 8, 1901. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081901> [in English].

International Seed Testing Association (2026). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf, Switzerland, 14 p. <https://doi.org/10.15258/istarules.2026.07> [in English].

Korczyk-Szabó, J., Macák, M., Jarecki, W., Sterczyńska, M., Jug, D., Pużyńska, K., Hromadová, L., & Habán, M. (2024). Influence of Crop Residue Management on Maize Production Potential. *Agronomy*, 14, 2610. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112610> [in English].

Kuka, A., Czyż, K., Smoliński, J., Cholewińska, P., & Wyrostek, A. (2022). The interactions between some free-ranging animals and agriculture – A review. *Agriculture*, Vol. 12. 628. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050628> [in English].

Peng, Q., Liu, B., Hu, Y., Wang, A., Guo, Q., Yin, B., Cao, Q., & He, L. (2023). The role of conventional tillage in agricultural soil erosion. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 348, 108407. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108407> [in English].

Poggi, S., Le Cointe, R., Lehmhus, J., Plantegenest, M., & Furlan, L. (2021). Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A review. *Agriculture*, Vol. 11, 436. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050436> [in English].

Singh, V., Gupta, R.K., Kahlon, M.S., Toor, A.S., Singh, K.B., Al-Ansari, N., & Mattar, M.A. (2023). Effect of Different Tillage and Residue Management Options on Soil Water Transmission and Mechanical Behavior. *Land*, 12, 1895. <https://doi.org/10.3390/land12101895> [in English].

Szpunar-Krok, E., Wondolowska-Grabowska, A., Bobrecka-Jamro, D., Jańczak-Pieniążek, M., Kotecki, A., & Kozak, M. (2021). Effect of nitrogen fertilisation and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the fatty acid profile of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds. *Agronomy*, Vol. 11, 941. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050941> [in English].

Telak, L. J., Pereira, P., Ferreira, C. S. S., Filipovic, V., Filipovic, L., & Bogunovic, I. (2020). Short-Term Impact of Tillage on Soil and the Hydrological Response within a Fig (*Ficus Carica*) Orchard in Croatia. *Water*, 12(11), 3295. <https://doi.org/10.3390/w12113295> [in English].

Wang, L., Gao, Y., Ma, Z., & Wang, B. (2025). The quality of seedbed and seeding under four tillage modes. *Agriculture*, Vol. 15. № 15, 1626. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15151626> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

