

УДК 631.5:632.51:631.872:631.95:631.95(477) DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.347480>

Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂e_q

 Я. П. Макух*,  Д. М. Козаченко

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: herbolohiya@ukr.net*

Мета. Установити ефективність традиційних і низьковуглецевих систем хімічного захисту кукурудзи від бур'янів за різних агротехнологічних фонів та норм застосування гербіцидів, визначити їхній вплив на формування забур'яненості та продуктивність рослин, а також оцінити сумарні викиди CO₂e_q для обґрунтування оптимальної малоємисійної технології вирощування культури в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. у ТОВ «Світанок Плюс» (Київська обл.) за схемою трифакторного польового досліду. Фактор А передбачав системи захисту кукурудзи: без гербіцидів (природна забур'яненість), чисті посіви та застосування гербіцидів Лаудіс або Стеллар Плюс; фактор В – норми внесення гербіцидів (100 і 80 %), фактор С – агротехнологічний фон (традиційний і мінімальний обробіток ґрунту, Strip-till). **Результати.** Рівень забур'яненості істотно залежав від системи захисту: у забур'яненому контролі він становив 85–105 шт./м², тоді як застосування гербіцидів забезпечувало очищення посівів на 82–89 %. Мінімальний обробіток ґрунту сприяв природному зниженню сегетальної рослинності та підвищував ефективність хімічного контролю. Оцінка норм гербіцидів показала, що зменшення дози до 80 % супроводжувалося лише помірним зниженням ефективності (на 6–7 %) та не призводило до істотного зменшення врожайності. Урожайність у гербіцидних варіантах коливалася від 9,22 до 9,92 т/га, тоді як різниця між повною та зниженою нормами не перевищувала НІР_{0.05} (0,32 т/га). Використання Strip-till забезпечувало стабільне підвищення врожайності кукурудзи на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційним фоном, що пов'язано з кращими умовами збереження вологи та зменшенням механічного впливу на ґрунт. Розрахунки викидів CO₂e_q підтвердили істотні переваги мінімального обробітку: рівень емісії становив 120–151 кг/га проти 300–331 кг/га за традиційної технології. Найнижчі показники вуглецевого сліду отримано у варіантах із 80 % нормою гербіцидів на фоні Strip-till, де викиди зменшувалися у 2–2,5 рази. **Висновки.** Найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту кукурудзи є варіанти Лаудіс (80 % норми витрати) + Strip-till та Стеллар Плюс (80 %) + Strip-till. Вони поєднують високу гербіцидну ефективність, стабільну врожайність (9,50–9,65 т/га) та мінімальний рівень викидів CO₂e_q, що дає змогу рекомендувати їх для впровадження в адаптивні технології вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: кукурудза; урожайність; сегетальна рослинність; викиди CO₂e_q.

Як цитувати: Макух Я. П., Козаченко Д. М. Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂e_q. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 41–48. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.347480>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Сучасне сільське господарство має розв'язувати два важливі взаємопов'язані завдання – гарантувати стабільне виробництво продовольства та одночасно зменшувати вплив аграрного сектору на клімат. Згідно з літературними даними, агровиробництво залишається одним із ключових джерел викидів парникових газів, зокрема метану та оксиду азоту, частка яких у глобальному балансі сягає 43 та 25 % відповідно. Зростання попиту на продовольство в найближчі десятиліття, пов'язане зі збільшенням чисельності населення, потребує підвищення продуктивності культур за умов обмежених площ орних земель. Традиційні технології, що ґрунтуються на інтенсивному обробітку ґрунту та надмірному застосуванні мінеральних добрив, спричиняють деградацію ґрунтів, втрати органічного вуглецю та зростання викидів N_2O , поглиблюючи екологічну вразливість агросистем [1–3].

Проблеми зміни клімату додатково ускладнюються через збільшення концентрацій CO_2 та підвищення температури, що трансформує структуру агроєкосистем і суттєво впливає на біологію та екологію бур'янів. Негативні ефекти проявляються через посилений ріст бур'янів, розширення їхніх ареалів, пришвидшення розвитку та зростання резистентності до гербіцидів. Під впливом комплексної взаємодії CO_2 , температури та інших екологічних факторів змінюється динаміка конкуренції між культурами та сегетальною рослинністю, що ускладнює ефективне застосування традиційних гербіцидних програм. Цей стан речей підкреслює необхідність упровадження інноваційних, адаптивних та екологічно безпечних систем контролювання бур'янів, зокрема агротехнічних, механічних та біологічних методів [4].

У світлі цих викликів особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на оцінювання екологічної ефективності технологій вирощування культур. Зниження вуглецевого сліду можливе завдяки оптимізації агротехнологічних операцій, управління ресурсами та впровадження низьковуглецевих методів. Ключовими чинниками формування CO_2eq у виробництві кукурудзи є структура обробітку, система живлення та енергетичні витрати, а зменшення їхнього навантаження дозволяє зберегти органічний вуглець у ґрунті й обмежити викиди N_2O . Ці висновки повністю узгоджуються з глобальною тенденцією переходу до менш енергоємних технологій, що поєднують високу продуктивність із мінімальним екологічним навантаженням [5–7].

Зростання концентрації CO_2 в атмосфері та підвищення глобальних температур суттєво змінюють біологію й екологію бур'янів, створюючи нові складні виклики для аграрних систем, особливо в галузі контролювання бур'янів. Посилений ріст бур'янів, зміна ареалів їх поширення та зростання стійкості до гербіцидів вимагають упровадження інноваційних та адаптивних стратегій управління. Взаємодія підвищеного рівня CO_2 , температури та інших екологічних стресорів формує непередбачувану динаміку розвитку бур'янів, що ускладнює застосування ефективних методів контролю. Традиційні гербіцидні підходи можуть ставати менш дієвими, що підкреслює необхідність ширшого застосування альтернативних практик, зокрема агротехнічних, механічних та біологічних методів контролю. Серед різних груп шкідливих організмів саме бур'яни спричиняють найбільші втрати врожаю – 34 %, тоді як комахи-шкідники – 18 %, а хвороби – 16 %. Бур'яни з фотосинтетичними шляхами C_3 та C_4 можуть по-різному реагувати на підвищений рівень CO_2 і температуру, змінюючи динаміку конкуренції між культурами та сегетальною рослинністю [8–12].

У цьому контексті актуальним є пошук елементів технологій, здатних одночасно забезпечити високі врожаї та знизити вуглецевий слід агровиробництва. Одним із таких напрямів є впровадження мінімального обробітку ґрунту та раціонального застосування гербіцидів у системі захисту кукурудзи від бур'янів, що й стало предметом наших досліджень.

Мета досліджень – встановити ефективність традиційних і низьковуглецевих систем хімічного захисту кукурудзи від бур'янів за різних агротехнологічних фонів та норм застосування гербіцидів, визначити їхній вплив на формування забур'яненості, ріст і продуктивність рослин, а також оцінити сумарні викиди CO_2eq для обґрунтування оптимальної малоємісної технології вирощування культури в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. в умовах ТОВ «Світанок Плюс» (с. Григорівка, Обухівський р-н, Київська обл.). За режимом і кількістю опадів територія господарства належить до зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу. Попри певні відхилення фактичних погодних умов від середньобогаторічних норм, вони загалом забезпечували сприятливі умови для росту й розвитку рослин кукурудзи.

Ґрунти дослідної ділянки, де проводили дослідження, – сірі лісові опідзолені, середньо суглинкові на лесі з вмістом гумусу в орному шарі 1,6–1,9 % (за Тюриним), рН сольової витяжки 5,1–6,0, гідролітична кислотність – 200–250 мг-екв/кг ґрунту, сума ввібраних основ – 120–160 мг-екв/кг ґрунту. В 1 кг ґрунту міститься 100–120 г легкогідролізованого азоту, 100–140 г обмінного калію та 100–150 г рухомого фосфору.

Схема дослідю:

Фактор А – система захисту: Контроль 1 – без гербіцидів (природна забур'яненість). Контроль 2 – чисті посіви (без бур'янів). 3. Лаудіс, в. г. [Ізоксадіфен (антидот), 100 г/кг, + Темботріон, 200 г/кг], 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач), 1,0–2,0 л/га; 4. Стеллар Плюс (топрамезон, 50 г/л + дикамба, 160 г/л), 1,25 л/га.

Фактор В – норма застосування гербіцидів: 1. 100 % норми; 2. 80 % норми;

Фактор С – агротехнологічний фон: 1. Традиційний фон; 2. Мінімальний обробіток ґрунту (Strip-till).

Облікова площа ділянки становила 50 м², повторність – чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

Лаудіс, в. г. – гербіцид системної дії для контролювання однорічних дводольних та злакових бур'янів у посівах кукурудзи. Стеллар Плюс – гербіцид системної дії для контролювання однорічних та багаторічних злакових і дводольних бур'янів.

Польові дослідження проводили в умовах застосування сучасної технології прямої сівби. Сівбу виконували сівалкою прямої сівби Massey Ferguson MF 555, агрегатованою з трактором Challenger 8122, що забезпечувало мінімальне механічне втручання в ґрунт та сприяло збереженню органічного вуглецю в ґрунтовому профілі. Глибина загортання насіння становила 4–5 см, що є оптимальним для формування рівномірних сходів за умов дефіциту вологи, характерного для Правобережного Лісостепу України. Оптимальна густина сівби – 75–80 тис. шт./га – забезпечувала раціональне використання світлової енергії та запобігала надмірній конкуренції між рослинами, що є важливим для стабільного фотосинтезу та зниження непродуктивних втрат вологи.

Система удобрення складалася з двох етапів. Під передпосівну культивуацію рівномірно по поверхні ґрунту вносили мінеральні добрива в дозі N₁₀₀P₇₀K₇₀, що створювало оптимальний фон живлення на початку вегетації. Додатково, під час сівби, у прикореневу зону вносили N₂₀P₂₀K₂₀, що посилювало стартовий ріст рослин, сприяло формуванню потужної кореневої системи та підвищувало коефіцієнт використання азоту (NUE). Такий підхід давав змогу мінімізувати ризики ранньої конкуренції бур'янів за доступні форми N, а отже – зменшував потенційну емісію N₂O.

Поєднання системи прямої сівби, оптимізованої густоти стояння та збалансованого мінерального живлення створювало сприятливі передумови для впровадження низько-вуглецевої системи захисту, оскільки рослини формували більш рівномірний ріст, менше реагували на стресові чинники та ефективніше використовували доступний азот.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методикою польового дослідю та спеціальних методик [13–15].

Результати досліджень

У результаті проведених досліджень встановлено, що у варіанті забур'яненого контролю на традиційному фоні обробітку ґрунту загальна кількість бур'янів становила 105 шт./м², з яких найбільшу частку формували однорічні дводольні (68 шт./м²) та однорічні злакові (32 шт./м²). Наявність 5 шт./м² багаторічних бур'янів свідчить про відсутність ефективного

контролю в попередніх роках і є типовою рисою традиційної технології, де механічний обробіток сприяє проростанню багаторічних коренепаросткових видів. Перехід до системи Strip-till у забур'яне-ному контролі зменшив загальну кількість бур'янів до 85 шт./м², що відповідає природному зниженню забур'яненості на 19 %. Це пояснюється зменшенням інтенсивності механічного втручання у ґрунт, що обмежує проростання насіння бур'янів із глибших шарів, особливо видів *Setaria*, *Echinochloa*, *Amaranthus* та *Chenopodium*. У варіантах чистого контролю (ручне або механічне видалення бур'янів) незалежно від агрофону бур'яни були повністю відсутні, що забезпечило 100 %-ве очищення площі. Такі варіанти виступають еталонними для визначення максимальної можливої врожайності культури за повної відсутності конкуренції (табл. 1).

Таблиця 1

Рівень забур'яненості посівів кукурудзи за різних систем захисту та агротехнологічних фонів

Система захисту	Агротехнологічний фон	Бур'яни, шт./м ²				Зниження до контролю, %
		однорічні дводольні	однорічні злакові	багаторічні	Разом	
Забур'янений контроль	Традиційний	68	32	5	105	–
	Strip-till	54	27	4	85	19
Чистий контроль (без бур'янів)	Традиційний	0	0	0	0	100
	Strip-till	0	0	0	0	100
Лаудіс, в. г. (100 %)	Традиційний	12	6	1	19	82
	Strip-till	10	5	1	16	86
Стеллар Плюс (100 %)	Традиційний	9	6	1	16	85
	Strip-till	7	4	1	12	89

У варіантах застосування гербіциду Лаудіс, в. г. (100 % норми) загальна кількість бур'янів на традиційному фоні становила 19 шт./м², що відповідає 82 % зниження забур'яненості порівняно з забур'яненим контролем. На Strip-till залишкове забур'янення становило 16 шт./м², а рівень очищення підвищувався до 86 %, що свідчить про позитивний вплив мінімального обробітку на гербіцидну ефективність завдяки рівномірнішому проростанню бур'янів і стабільнішим умовам зволоження верхнього шару ґрунту. Застосування гербіциду Стеллар Плюс (100 % норми) забезпечило подібний рівень очищення поля. На традиційному фоні залишкове забур'янення становило 16 шт./м² (85 % ефективності), тоді як на Strip-till – 12 шт./м², що відповідає 89 % очищення, тобто найвищому показнику серед досліджених систем. Це підтверджує високу ефективність топрамезону в комбінації з дикамбою щодо широкого спектра однорічних та окремих багаторічних видів бур'янів.

У таблиці 2 подано результати оцінювання ефективності гербіцидів Лаудіс, в. г. та Стеллар Плюс за повних (100 %) та оптимізованих (80 %) норм витрати.

Таблиця 2

Ефективність різних норм гербіцидів у контролюванні бур'янів

Гербіцид	Норма, %	Ефективність (%) проти ... бур'янів			Середня ефективність, %
		однорічних дводольних	однорічних злакових	багаторічних дводольних	
Лаудіс, в. г.	100	94	92	88	913
Лаудіс, в. г.	80	88	85	80	84,3
Стеллар Плюс	100	96	94	90	93,3
Стеллар Плюс	80	90	88	84	87,3
НІР _{0,05}					4,8

Результати свідчать, що обидва препарати забезпечують високий рівень контролю бур'янів. Зниження норми до 80 % призводить до помірного зменшення ефективності, але її

рівень залишається достатнім для практичного застосування. Стеллар Плюс виявляє дещо вищу середню ефективність щодо всіх груп бур'янів, оптимізовані норми можуть бути рекомендовані для низьковуглецевих систем за умови помірної забур'яненості та використання мінімальної обробки ґрунту (Strip-till).

У таблиці 3 наведено результати оцінювання врожайності кукурудзи та рівня викидів CO₂eq за різних систем захисту, норм застосування гербіцидів і агротехнологічних фонів, що дає змогу комплексно охарактеризувати ефективність традиційних та низьковуглецевих технологій вирощування. У варіантах забур'яненого контролю врожайність була найнижчою, становлячи лише 0,68 т/га на традиційному фоні та 1,10 т/га за Strip-till, що зумовлено сильною конкуренцією з боку бур'янів і відсутністю будь-яких заходів захисту. Використання чистого контролю, де бур'яни повністю усувалися, забезпечило максимальні показники врожайності – 10,42 та 10,87 т/га відповідно, що відображає потенційні можливості культури за повної відсутності стресу від сегетальної рослинності.

Таблиця 3

Урожайність кукурудзи та викиди CO₂eq за різних систем захисту, норм гербіцидів і агротехнологічних фонів

№	Фактор А – система захисту	Фактор В – норма витрати	Фактор С – агрофон	Урожайність зерна, т/га	Викиди CO ₂ eq, кг/га
1	Контроль без гербіцидів	–	Традиційний	0,68	300,1
2		–	Strip-till	1,1	120,1
3	Чистий контроль (без бур'янів)	–	Традиційний	10,42	300,1
4		–	Strip-till	10,87	120,1
5	Лаудіс, в.г.	100 %	Традиційний	9,68	331,3
6		80 %	Традиційний	9,41	324,5
7		100 %	Strip-till	9,92	151,3
8		80 %	Strip-till	9,65	144,5
9	Стеллар Плюс	100 %	Традиційний	9,51	309,4
10		80 %	Традиційний	9,22	307,5
11		100 %	Strip-till	9,78	129,4
12		80 %	Strip-till	9,50	127,5
НІР _{0,05}				0,32	–

Застосування гербіциду Лаудіс показало високу результативність: за повної норми препарату врожайність становила 9,68 т/га на традиційному фоні та 9,92 т/га за Strip-till. Зменшення норми до 80 % супроводжувалося незначним зниженням урожайності – до 9,41 та 9,65 т/га відповідно, при цьому різниця між нормами не перевищувала НІР_{0,05} (0,32 т/га), тобто була статистично неістотною. Подібну закономірність відзначено і для гербіциду Стеллар Плюс: урожайність за повної норми становила 9,51 т/га на традиційному фоні та 9,78 т/га за Strip-till, а в разі застосування 80 %-ї норми – 9,22 і 9,50 т/га відповідно, що також не виходить за межі статистичної достовірності.

Загалом у всіх варіантах використання Strip-till забезпечувало перевагу щодо врожайності на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційним обробітком ґрунту, що пов'язано з кращим збереженням вологи, рівномірнішим прогріванням орного шару та стабільнішими умовами формування сходів. Поряд із цим, традиційний обробіток характеризувався вищими викидами CO₂eq – 300,1–331,3 кг/га, тоді як у системі Strip-till їх рівень знижувався більш ніж удвічі, до 120,1–151,3 кг/га. Найнижчі значення CO₂eq – 127,5 та 129,4 кг/га – зафіксовано у варіантах із застосуванням гербіциду Стеллар Плюс у 80 та 100 % норми за Strip-till, що свідчить про високу екологічну ефективність цих технологічних рішень. Варіанти Лаудіс, 80 % + Strip-till та Стеллар Плюс, 80 % + Strip-till демонструють найкращий баланс між високою продуктивністю (9,50–9,65 т/га) та мінімальними викидами CO₂eq, що дає підстави вважати їх найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

Висновки

Система захисту та агротехнологічний фон істотно впливали на рівень забур'яненості та продуктивність кукурудзи. Найвищу конкуренцію бур'янів спостерігали у забур'яненому контролі, тоді як повне очищення посівів забезпечувало максимальний урожай. Мінімальний обробіток ґрунту (Strip-till) стабільно зменшував початкову забур'яненість та підвищував урожайність кукурудзи на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційною технологією. Гербициди, що використовували у дослідженнях забезпечили високий рівень контролю бур'янів. Ефективність за повних норм становила 91–93 %, а в разі зниження норми на 20 % – 84–87 %, що підтверджує можливість їх застосування у зменшених нормах без істотної втрати дії. Найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту є варіанти Лаудіс, 80 % норми витрати + Strip-till та Стеллар Плюс, 80 % н. в. + Strip-till, які поєднують високу врожайність зерна (9,50–9,65 т/га), достатню гербицидну ефективність і мінімальний рівень викидів CO₂eq.

Використана література

1. Wei H., Zhang K., Chai N. et al. Exploring low-carbon mulching strategies for maize and wheat on-farm: Spatial responses, factors and mitigation potential. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 906. Article 167441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167441>
2. Qin W., Hu C., Oenema O. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. Article 16210. <https://doi.org/10.1038/srep16210>
3. Wang H. M., Zheng J., Fan J. L. et al. Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. *Field Crops Research*. 2021. Vol. 270. Article 108210. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108210>
4. Sharma T., Roy A., Saha P. et al. Agronomical and technological advances for carbon-negative agriculture and carbon credit. *Carbon-Negative Agriculture* / edited by R. S. Meena et al. Singapore : Springer, 2025. P. 97–146. https://doi.org/10.1007/978-981-95-1483-0_4
5. Zhang W., He X., Zhang Z. et al. Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*. 2018. Vol. 167. P. 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.008>
6. Nolte C. G., Dolwick P. D., Fann N. L. et al. Air quality. *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment*. Vol. II / edited by D. R. Reidmiller et al. Washington, DC : Global Change Research Program, 2018. P. 512–538.
7. Naidu V. S. G. R., Madhav M. S., Mishra J. S., Sreekanth D. Effect of increasing atmospheric CO₂ and temperature on weeds and their management – mitigation strategies. *Indian Journal of Weed Science*. 2024. Vol. 56, Iss. 4. P. 381–390. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2024.00060.8>
8. Kaur R., Kumar S., Ali S. A. et al. Impacts of climate change on crop–weed dynamics: challenges and strategies for weed management in a changing climate. *Open Journal of Environmental Biology*. 2024. Vol. 9, Iss. 1. P. 15–21. <https://doi.org/10.17352/ojeb.000042>
9. Hu F., Chai Q., Yu A. et al. Less carbon emissions of wheat–maize intercropping under reduced tillage in arid areas. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35, Iss. 2. P. 701–711. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0257-y>
10. Alletto L., Coquet Y., Benoit P. et al. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30, Iss. 2. P. 367–400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
11. Boeckx P., Van Nieuland K., Van Cleemput O. Short-term effect of tillage intensity on N₂O and CO₂ emissions. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 31, Iss. 3. P. 453–461. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0001-9>
12. Zamir S. I., Elahi M., Ullah M. S., Mehmood F. Carbon footprint and life-cycle cost of maize (*Zea mays* L.) production at conventional and regenerative agricultural practices. *Journal of Quality Assurance in Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 3, Iss. 1. P. 33–37. <https://doi.org/10.38211/jqaas.2023.3.16>

13. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
14. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
15. Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. С. 174–175.

References

1. Wei, H., Zhang, K., Chai, N., Wang, Y., Li, Y., Yang, J., & Zhang, F. (2023). Exploring low-carbon mulching strategies for maize and wheat on-farm: Spatial responses, factors and mitigation potential. *Science of the Total Environment*, 906, Article 167441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167441>
2. Qin, W., Hu, C., & Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 5, Article 16210. <https://doi.org/10.1038/srep16210>
3. Wang, H. M., Zheng, J., Fan, J. L., Zhang, F. C., & Huang, C. H. (2021). Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 270, Article 108210. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108210>
4. Sharma, T., Roy, A., Saha, P., Gunturi, A., Prajapati, S. K., Saikia, N., & Sinha, A. (2025). Agronomical and technological advances for carbon-negative agriculture and carbon credit. In *Carbon-negative agriculture* (pp. 97–146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-95-1483-0_4
5. Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., & Chen, X. (2018). Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*, 167, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.008>
6. Nolte, C. G., Dolwick, P. D., Fann, N. L., Horowitz, L. W., Naik, V., & Pinder, R. W. (2018). Air quality. In D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, & B. C. Stewart (Eds.), *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment* (Vol. II, pp. 512–538). U.S. Global Change Research Program.
7. Naidu, V. S. G. R., Madhav, M. S., Mishra, J. S., & Sreekanth, D. (2024). Effect of increasing atmospheric CO₂ and temperature on weeds and their management – mitigation strategies. *Indian Journal of Weed Science*, 56(4), 381–390. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2024.00060.8>
8. Kaur, R., Kumar, S., Ali, S. A., Kumar, S., & Ezing, U. M. (2024). Impacts of climate change on crop–weed dynamics: Challenges and strategies for weed management in a changing climate. *Open Journal of Environmental Biology*, 9(1), 15–21. <https://doi.org/10.17352/ojeb.000042>
9. Hu, F., Chai, Q., Yu, A., Yin, W., & Cui, H. (2015). Less carbon emissions of wheat–maize intercropping under reduced tillage in arid areas. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 701–711. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0257-y>
10. Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddad, D., & Barriuso, E. (2010). Tillage management effects on pesticide fate in soils: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 367–400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
11. Boeckx, P., Van Nieuland, K., & Van Cleemput, O. (2011). Short-term effect of tillage intensity on N₂O and CO₂ emissions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(3), 453–461. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0001-9>
12. Zamir, S. I., Elahi, M., Ullah, M. S., & Mehmood, F. (2023). Carbon footprint and life-cycle cost of maize (*Zea mays* L.) production at conventional and regenerative agricultural practices. *Journal of Quality Assurance in Agricultural Sciences*, 3(1), 33–37. <https://doi.org/10.38211/jqaas.2023.3.16>
13. Prysyazhniuk, O. I., Klymowych, 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>

14. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of conducting research in sugar beet production*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
15. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methods of testing and application of pesticides*. Svit. [In Ukrainian]

UDC 631.5:632.51:631.872:631.95:631.95(477)

Makukh, Ya. P.*, & **Kozachenko, D. M.** (2025). Low-carbon system for maize weed control: herbicide efficiency, productivity, and CO₂eq emissions assessment. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 41–48. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347480> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: herbolohiya@ukr.net*

Aim. To determine the efficiency of conventional and low-carbon chemical weed control systems in maize under different agrotechnological backgrounds and herbicide application rates; to assess their impact on weed infestation and crop productivity; and to evaluate total CO₂eq emissions in order to substantiate the optimal low-emission cultivation technology for the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2023–2025 at Svitnok Plus LLC (Kyiv region) as a three-factor field experiment. Factor A included weed control systems: without herbicides (natural weed infestation), clean control, and the application of Laudis or Stellar Plus herbicides. Factor B included herbicide application rates (100% and 80%), while Factor C represented the agrotechnological background (conventional tillage, minimum tillage, and strip-till). **Results.** Weed infestation levels depended significantly on the protection system: in the weedy control, infestation reached 85–105 plants/m², whereas herbicide application reduced weed density by 82–89%. Minimum tillage contributed to a natural decline in segetal vegetation and enhanced chemical control efficiency. Reducing herbicide rates to 80% neither significantly decreased the efficiency (6–7%) nor caused a significant reduction in yield. Crop yield ranged from 9.22 to 9.92 t/ha under herbicide treatments, with differences between full and reduced application rates not exceeding LSD_{0.05} (0.32 t/ha). Strip-till consistently increased maize yield by 0.25–0.45 t/ha compared with conventional tillage, due to improved moisture conservation and reduced mechanical soil disturbance. CO₂eq emission calculations confirmed the substantial advantages of minimum tillage: emission was 120–151 kg/ha compared to 300–331 kg/ha under conventional technology. The lowest carbon footprint was recorded at 80% herbicide application rates under strip-till, with a 2–2.5 times emission decrease. **Conclusions.** The most balanced low-carbon weed control systems for maize include Laudis (80% of the recommended rate) + strip-till and Stellar Plus (80%) + strip-till. These combinations ensure high herbicidal efficiency, stable yields (9.50–9.65 t/ha), and minimal CO₂eq emissions, making them suitable for implementation in adaptive maize cultivation technologies in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine.

Keywords: Maize; yield; segetal vegetation; CO₂eq emissions.

Надійшла / Received 22.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 05.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025