

УДК 633.63:632.51:632.954:631.559:631.67 DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.351035>

Оптимізація гербіцидного захисту бур'яків цукрових з урахуванням продуктивності та вуглецевого навантаження

 Я. П. Макух¹,  С. О. Ременюк^{1*},  В. М. Різник¹,
 С. В. Мошківська¹,  Ю. О. Литвин¹,  Т. М. Марченко²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових бур'яків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити оптимальні схеми контролювання бур'янів у посівах бур'яків цукрових, які забезпечують ефективне пригнічення сегетальної рослинності за мінімального хімічного та вуглецевого навантаження на агроєкосистему в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі дослідного поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових бур'яків НААН (Київська обл.). Об'єкт дослідження – гібрид бур'яків цукрових 'Рутенія'. Схема досліду передбачала порівняння контрольних варіантів (без захисту та ручне прополювання) із двома системами хімічного захисту, що включали чотириразове внесення гербіцидів (препарати на основі фенмедифаму, десмедифаму, етофумезату, метамітрону та ін.). Використовували польові, лабораторні (поляриметричний метод визначення цукристості) та розрахунково-статистичні методи. Екологічний вплив оцінювали через розрахунок викидів CO₂e_q за методикою інтегральної оцінки вуглецевого навантаження. **Результати.** Установлено, що за природного фону забур'яненість посівів становила 110,1 шт./м², де понад 40 % були однорічні злакові види (просо півняче, мишій сизий). Це призводило до критичного зниження врожайності до 1,1 т/га. Застосування хімічних систем захисту забезпечило високу технічну ефективність на рівні 89,5–91,3 %. Найкращий контроль бур'янів зафіксовано у варіанті з використанням комбінації препаратів Бетанал макс Про та Карібу Екстра (варіант 4), де рівень пригнічення окремих видів досягав 98,2 %. Проте у цьому ж варіанті спостерігався тимчасовий фітотоксичний вплив на культуру, що призвів до тенденції зниження врожайності до 65,4 т/га порівняно з 67,3 т/га у варіанті 3. Максимальну продуктивність (75,8 т/га) отримано за умови повної відсутності конкуренції з бур'янами (ручне прополювання). Розрахунок вуглецевого сліду засвідчив, що попри відсутність пестицидів, варіант без захисту мав найвищі питомі викиди CO₂e_q (18,30 кг/га) через низьку врожайність. Оптимізовані системи захисту забезпечили зниження викидів до 17,64 кг/га. **Висновки.** Ефективний контроль бур'янів є визначальним фактором формування продуктивності бур'яків цукрових та мінімізації вуглецевого навантаження. Система захисту, що базується на препаратах Штефам Новий, Бетанал макс Про та Гол (варіант 3), є агрономічно та екологічно найдоцільнішою, оскільки забезпечує високу врожайність (67,3 т/га) та цукристість (17,64 %) без проявів фітотоксичності. Варіант із залученням гербіциду Карібу Екстра демонструє ширший спектр дії, проте потребує суворого дотримання регламентів для уникнення гальмування росту культури.

Ключові слова: бур'яки цукрові; урожайність; сегетальна рослинність; викиди CO₂e_q.

Як цитувати: Макух Я. П., Ременюк С. О., Різник В. М., Мошківська С. В., Литвин Ю. О., Марченко Т. М. Оптимізація гербіцидного захисту бур'яків цукрових з урахуванням продуктивності та вуглецевого навантаження. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових бур'яків*. 2025. Вип. 33. С. 154–161. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.351035>



© 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

Бур'яки цукрові характеризуються обмеженою конкурентною здатністю на початкових етапах онтогенезу, у зв'язку з чим своєчасний контроль бур'янів у ранні фази розвитку культури має вирішальне значення для формування врожайності та якості коренеплодів. За результатами багаторічних досліджень встановлено, що сегетальна рослинність у посівах бур'яків переважно представлена комплексом однорічних дводольних видів (*Chenopodium* spp., *Amaranthus* spp., *Fallopia / Polygonum* spp. та ін.) у поєднанні з однорічними злаковими бур'янами (*Echinochloa crus-galli*, *Setaria* spp.). При цьому результативність технологій захисту значною мірою визначається їх здатністю забезпечувати контроль кількох хвиль сходів бур'янів і тривалий захисний ефект. У виробничих умовах це зумовило поширення систем дробного післясходового внесення гербіцидів (split / post-emergence), які підвищують селективність дії щодо культури та одночасно забезпечують ефективне пригнічення бур'янів у ранні фази їх розвитку. Узагальнені дані польових досліджень у країнах Центральної Європи свідчать, що послідовні багаторазові післясходові внесення є найефективнішими для обмеження домінантних видів бур'янів і стабілізації агрофітоценозу бур'яків цукрових [1, 2].

У системах хімічного захисту бур'яків цукрових тривалий час базову роль у контролі дводольних бур'янів відігравали препарати на основі фенмедифаму та десмедифаму, які належать до інгібіторів фотосинтезу (HRAC C1). Їх ефективність зазвичай підвищували шляхом поєднання з ґрунтово-листяними гербіцидами, зокрема метамітроном, а також з діючими речовинами, що розширюють спектр дії (етофумезат, ленацил тощо). У сучасних оглядових дослідженнях наголошується, що найбільш стабільний рівень контролю бур'янів забезпечують комбіновані гербіцидні суміші з різними механізмами дії, адаптовані до фаз розвитку сегетальної рослинності, при цьому найвища ефективність досягається за проведення обробок у фазі сім'ядоль – два-чотири листки у чутливих видів [3].

Водночас у країнах Європейського Союзу діючі речовини групи фенмедифам / десмедифам перебувають під посиленним регуляторним контролем у зв'язку з результатами повторних оцінок ризиків і підвищеними вимогами до безпечності їх застосування, що зумовлює необхідність розроблення більш екологічно ощадних схем захисту та інтеграції альтернативних підходів [4].

У системах захисту бур'яків цукрових важливу роль відіграють препарати на основі метамітрону з ґрунтово-листяною дією, які застосовують у різних програмах залежно від регламентів і типу забур'яненості. Сучасні дослідження акцентують увагу не лише на їх ефективності, а й на селективності та доцільності інтеграції з урахуванням ризиків резистентності. Контроль злакових бур'янів у посівах бур'яків традиційно забезпечують грамініциди (флуазифоп-П-бутил, хізалофоп-П-етил), оскільки саме злаковий компонент часто визначає рівень конкурентного тиску і втрати врожаю [5].

Важливим обмежувальним чинником інтенсивних систем захисту бур'яків цукрових є селективність гербіцидів і ризик фітотоксичної дії культури, особливо за стресових погодних умов або скорочених інтервалів між обробками. Хоча дробні післясходові внесення підвищують надійність контролю бур'янів, певні комбінації діючих речовин можуть спричинити тимчасове пригнічення росту, що зумовлює необхідність суворого дотримання регламентів і врахування фаз розвитку культури, зокрема в разі застосування сульфонілсечовин (наприклад, трифлусульфурон-метил) [6, 7].

У сучасному землеробстві зростає значення інтегрованого контролю бур'янів, що поєднує хімічні та механічні прийоми з точними технологіями обробітку. Дослідження свідчать, що механіко-хімічні післясходові стратегії дають змогу ефективно обмежувати забур'яненість у посівах бур'яків, знижуючи потребу у високих нормах гербіцидів без втрати продуктивності. Перспективним напрямом є також впровадження сенсорних і роботизованих рішень, здатних зменшувати пестицидне навантаження за умови їх агроекономічної адаптації до польових умов [8, 9].

Узагальнення літературних джерел свідчить, що найефективнішими є системи захисту бур'яків цукрових, які поєднують дробні післясходові обробки з різними механізмами дії,

адаптовані до видового складу й хвиль сходів бур'янів, забезпечують зниження ризиків фітотоксичності завдяки оптимальним строкам застосування та оцінюються з позицій не лише біологічної ефективності, а й вуглецевого навантаження та загальної екологічної доцільності.

Мета досліджень – визначити оптимальні схеми контролю бур'янів у посівах буряків цукрових, які забезпечують ефективне пригнічення бур'янового компоненту за мінімального хімічного та вуглецевого навантаження на агрокосистему.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл.).

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку: вміст гумусу – 2,58 % (за Тюрнімом), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чириковим), рНсольове – 6,75, сума ввібраних основ – 305 мг-екв/кг ґрунту, гідролітична кислотність – 9,1 мг-екв/кг. Уміст гумусу та лужногідролізованого азоту середній, рухомого фосфору – високий та підвищений уміст калію

Посів буряків цукрових здійснювали у першій декаді квітня, за досягнення фізичної стиглості ґрунту та прогрівання його на глибині загортання насіння до 6–8 °С. Сівбу проводили пневматичною просапною сівалкою точного висіву із забезпеченням рівномірного розміщення насіння в рядку. Норма висіву становила 1,2 посівних одиниць на 1 га, що відповідало формуванню оптимальної густоти стояння рослин 95–100 тис. шт./га перед збиранням. Ширина міжрядь – 45 см, глибина загортання насіння – 2,5–3,0 см залежно від вологості ґрунту. Висівали гібрид буряків цукрових 'Рутенія'.

Подальші елементи технології (догляд за посівами, система захисту від бур'янів, норми та строки внесення гербіцидів) застосовували відповідно до схеми досліді. Облік забур'яненості проводили за видовим складом і масою бур'янів, урожайність буряків цукрових визначали суцільним збиранням з облікової площі з наступним перерахунком на гектар, цукристість коренеплодів – поляриметричним методом. Викиди CO₂eq розраховували за методикою інтегральної оцінки вуглецевого навантаження технології з урахуванням витрат енергоносіїв і продуктивності посівів.

Схема досліді:

1. Контроль 1 – без гербіцидів (природна забур'яненість);
2. Контроль 2 – чисті посіви (без бур'янів);
3. *Перше внесення.* Штефам Новий, КС (фенмедифам, 160 г/л + десмедифам, 160 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,0 л/га + 1,0 л/га. *Друге внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД (фенмедифам, 60 г/л + десмедифам, 47 г/л + етофумезат, 75 г/л + ленацил (активатор), 27 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га. *Третє внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД (фенмедифам, 60 г/л + десмедифам, 47 г/л + етофумезат, 75 г/л + ленацил (активатор), 27 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га. *Четверте внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД + Штарга Супер (хізалофоп-П-етил, 125 г/л) 1,5 л/га + 0,8 л/га;
4. *Перше внесення.* Голтік КС (метамітрон, 700 г/л) 5,0 л/га. *Друге внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД 1,5 л/га. *Третє внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД+ Карібу Екстра, з.п. 1,5 л/га + 0,015 кг/га. *Четверте внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД + Фюзілат форте 150 ЕС (флуазифоп-П-бутил, 150 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га.

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

До моменту внесення гербіцидів проводили обстеження поля для визначення густоти сходів та первинної сегетальної рослинності. Інтервал між послідовними внесеннями становив 7–10 діб, що відповідало періоду появи нових хвиль сходів бур'янів і забезпечувало їх ефективний контроль у ранні фази розвитку. Гербіциди вносили за швидкості вітру до 3–

4 м/с у ранкові години. Для забезпечення чистоти «контролю 2» (посіви без бур'янів) проводили регулярне ручне прополювання через кожні 5–7 діб протягом усього періоду вегетації, що гарантувало повну відсутність сегетальних видів. Кількість обробок та норми гербіцидів визначали згідно зі схемою досліджу, з урахуванням погодних умов, фази розвитку бур'яків цукрових та видового складу бур'янів.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методики польового досліджу та спеціальних методик [10–12].

Результати досліджень

Ефективність захисту посівів бур'яків цукрових від бур'янів у середньому за 2023–2025 рр. свідчить, що за відсутності заходів контролю (варіант 1) посіви характеризувалися високим рівнем забур'яненості – 110,1 шт./м², при цьому у видовому складі домінували однорічні злакові бур'яни, насамперед просо півняче (30,5 шт./м²) і мишій сизий (16,9 шт./м²), які разом формували понад 40 % загальної чисельності. Значною була також участь конкурентоспроможних дводольних видів – щиріці загнута, лободи білої та гібридної, пушняка канадського, незбутниці дрібноквіткової і гірчаків, що зумовлювало високий рівень конкуренції бур'янів із рослинами культури на початкових етапах органогенезу.

Застосування систем захисту у варіантах 3 і 4 забезпечило суттєве зниження забур'яненості посівів, причому загальна ефективність контролю бур'янів становила 89,5 % і 91,3 % відповідно, що свідчить про їхню високу технологічну результативність. Найбільш чутливими до проведених заходів були талабан польовий і гірчиця польова, рівень пригнічення яких досягав 96,1–98,2 %, тобто практично повного очищення посіву від цих видів. Високою залишалася й ефективність проти домінуючих злакових бур'янів: контроль проса півнячого становив 91,5–93,9 %, а мишію сизого – 90,8–92,2 %, що має принципове значення з огляду на їхній найбільший внесок у загальну забур'яненість. Деяко нижчі показники відмічено для окремих дводольних видів – лободи білої та гібридної, фіалки польової і гірчаків, де ефективність коливалася в межах 85,6–89,4 %, що вказує на їх відносно вищу толерантність і формування залишкової засміченості. Порівняльний аналіз показав, що варіант 4 у середньому забезпечував на 1,8 % вищий рівень контролю бур'янів порівняно з варіантом 3, зокрема завдяки кращому пригніченню незбутниці дрібноквіткової, лободи білої та злакових видів, що свідчить про ширший спектр дії та стабільнішу ефективність цієї системи захисту в посівах бур'яків цукрових (табл. 1).

Таблиця 1

Ефективність захисту посівів бур'яків цукрових від бур'янів (середнє за 2023–2025 рр.)

Вид бур'яну	Варіант досліджу			
	1	2	3	4
	шт./м ²	%	%	%
Талабан польовий	4,2	100	97,3	98,2
Гірчиця польова	4,5	100	96,1	97,3
Гірчак березкоподібний	6,0	100	88,3	87,2
Пушняка канадський	7,5	100	90,4	91,5
Фіалка польова	4,2	100	86,7	88,1
Гірчак розлогий	5,6	100	87,6	89,2
Лобода біла	6,9	100	86,3	89,4
Лобода гібридна	2,8	100	85,6	86,3
Щиріця загнута	10,0	100	88,2	90,6
Просо півняче	30,5	100	91,5	93,9
Мишій сизий	16,9	100	90,8	92,2
Незбутниця дрібноквіткова	7,2	100	88,4	93,6
Інші види	3,8	100	87,5	90,4
Бур'яни, усього	110,1	100	89,5	91,3

Слід зазначити, що у варіанті 4, незважаючи на вищу загальну ефективність контролю бур'янів порівняно з варіантом 3, спостерігалось тимчасове пригнічення рослин буряків цукрових, пов'язане з внесенням гербіциду Карібу Екстра, що проявлялося у початковому гальмуванні ростових процесів культури. Отже, варіант 4 характеризувався ширшим спектром дії проти бур'янів, однак потребує обережного застосування та чіткого дотримання регламентів використання з метою мінімізації фітотоксичного впливу на рослини буряків цукрових.

За відсутності заходів захисту (варіант 1) посіви характеризувалися надзвичайно високою масою бур'янів – 2976 г/м², з яких 2157 г/м² припадало на дводольні та 819 г/м² на однодольні види. Такий рівень забур'яненості зумовив різке пригнічення рослин буряків цукрових і, як наслідок, критично низьку врожайність – лише 1,1 т/га та мінімальну цукристість коренеплодів (12,94 %). Попри відсутність гербіцидного навантаження, викиди CO₂eq у цьому варіанті були найвищими (18,30 кг/га), що пояснюється низькою продуктивністю посіву і, відповідно, високими питомими вуглецевими витратами на одиницю продукції.

У варіанті 2, який характеризувався практично повною відсутністю бур'янів, сформувалися оптимальні умови росту й розвитку культури, що забезпечило максимальну урожайність – 75,8 т/га та найвищу цукристість коренеплодів – 17,99 %. Викиди CO₂eq за цього варіанта становили 17,99 кг/га, тобто були дещо нижчими, ніж у контролі, що свідчить про кращу компенсацію енерговитрат високим виходом товарної продукції.

Застосування альтернативних систем захисту з оптимізованими нормами гербіцидів у варіантах 3 і 4 забезпечило істотне зниження маси бур'янів порівняно з контролем – до 285 і 193 г/м² відповідно. При цьому у структурі забур'яненості переважали дводольні види (231 і 151 г/м²), тоді як маса однодольних бур'янів була значно меншою (54 і 42 г/м²). На фоні зменшення конкуренції з боку бур'янів урожайність буряків цукрових у цих варіантах зростає до 67,3 і 65,4 т/га, а цукристість стабілізувалася на рівні 17,64 %, що статистично поступалося лише варіанту 2. Різниця в урожайності між варіантами 3 і 4 (1,9 т/га) перебувала в межах НІР_{0,05} = 2,1 т/га, що свідчить про її недостовірність і дає змогу трактувати зниження продуктивності у варіанті 4 як тенденцію, ймовірно пов'язану з тимчасовим фітотоксичним ефектом гербіциду Карібу Екстра. Викиди CO₂eq у варіантах 3 і 4 були однаковими (17,64 кг/га) і нижчими, ніж у контролі, що вказує на екологічну доцільність систем захисту з оптимізованими нормами гербіцидів (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність систем захисту буряків цукрових за показниками забур'яненості, урожайності та викидів CO₂eq (2023–2025 рр.)

Варіант досліджу	Маса бур'янів, г/м ²			Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість коренеплодів, %	Викиди CO ₂ eq, кг/га
	усього	зокрема				
		дводольні	одnodольні			
1	2976	2157	819	1,1	12,94	18,30
2	–	–	–	75,8	17,99	17,99
3	285	231	54	67,3	17,64	17,64
4	193	151	42	65,4	17,64	17,64
НІР _{0,05}	14	11	9	2,1	0,25	–

Примітка. Для варіанта 1 викиди CO₂eq наведено розрахунково з урахуванням повного технологічного циклу та низької продуктивності посіву (підвищені питомі викиди на одиницю врожаю).

Загалом результати таблиці підтверджують, що ефективне зниження забур'яненості є ключовою умовою формування високої продуктивності буряків цукрових, однак надмірне або нераціональне гербіцидне навантаження може призводити до фітотоксичного пригнічення культури без додаткового екологічного ефекту у вигляді зменшення викидів CO₂eq.

Висновки

У середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що за відсутності захисту посіви буряків цукрових характеризуються високою забур'яненістю, що призводить до різкого зниження

урожайності та цукристості коренеплодів. Застосування систем захисту у варіантах 3 і 4 забезпечило ефективний контроль бур'янів (89,5–91,3%), істотно зменшило їх масу та створило умови для формування високої продуктивності культури. Варіант 4 мав дещо вищу ефективність пригнічення бур'янів, однак супроводжувався тимчасовим фітотоксичним впливом гербіциду Карібу Екстра, що проявилось тенденцією до зниження врожайності.

Оптимальне поєднання продуктивності бур'яків цукрових і рівня викидів CO₂eq забезпечували системи захисту з раціональними нормами гербіцидів, що підтверджує їх агрономічну й екологічну доцільність.

Використана література

1. Grzanka M., Sobiech Ł., Idziak R. et al. Impact of chemical weed management in sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *Journal of Plant Protection Research*. 2023. Vol. 63, Iss. 4. P. 459–467. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.146878>
2. Cioni F., Maines G. Weed control in sugar beet. *Sugar Tech*. 2010. Vol. 12, Iss. 3–4. P. 243–255. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0036-2>
3. May M. Crop protection in sugar beet. *Pesticide Outlook*. 2001. Vol. 12, Iss. 5. P. 188–191. <https://doi.org/10.1039/b108605g>
4. European Food Safety Authority (EFSA), Álvarez F., Arena M. et al. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance phenmedipham. *EFSA Journal*. 2025. Vol. 23, Iss. 11. Article e9711. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9711>
5. Akuoko A. Evaluating metamitron efficacy for glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in sugarbeet across the Central High Plains. Lincoln, 2025. 286 p.
6. Li X., Riaz M., Song B., Liu H. Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 239. Article 113628. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113628>
7. Berg J., Ring H., Bernhardt H. Combined mechanical–chemical weed control methods in post-emergence strategy result in high weed control efficacy in sugar beet. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, Iss. 4. Article 879. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040879>
8. Kimmel S. I., Schumacher M., Spaeth M. et al. A comparative applied analysis of six robotic-assisted weeding systems in sugar beets. *Plant, Soil and Environment*. 2025. Vol. 71, Iss. 11. P. 782–792. <https://doi.org/10.17221/335/2025-PSE>
9. Gerhards R., Bezhin K., Santel H. J. Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*. 2017. Vol. 53, Iss. 2. P. 118–126. <https://doi.org/10.17221/57/2016-pps>
10. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
11. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
12. Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. С. 174–175.

References

1. Grzanka, M., Sobiech, Ł., Idziak, R., Filipczak, A., & Skrzypczak, G. (2023). Impact of chemical weed management in sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *Journal of Plant Protection Research*, 63(4), 459–467. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.146878>
2. Cioni, F., & Maines, G. (2010). Weed control in sugar beet. *Sugar Tech*, 12(3–4), 243–255. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0036-2>
3. May, M. (2001). Crop protection in sugar beet. *Pesticide Outlook*, 12(5), 188–191. <https://doi.org/10.1039/b108605g>
4. European Food Safety Authority (EFSA), Álvarez, F., Arena, M., Auteri, D., Leite, S. B., Binaglia, M., Castoldi, A. F., Chiusolo, A., Colagiorgi, A., Colas, M., Crivellente, F., De Lent-

decker, C., De Magistris, I., Egsmose, M., Fait, G., Ferilli, F., Broussard, M. F., Santonja, G. G., Gouliarmou, V., ... Villamar-Bouza, L. (2025). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance phenmedipham. *EFSA Journal*, 23(11), Article e9711. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9711>

5. Akuoko, A. (2025). *Evaluating metamilon efficacy for glyphosate-resistant Palmer amaranth (Amaranthus palmeri) management in sugarbeet across the Central High Plains* [Doctoral dissertation, University of Nebraska-Lincoln].

6. Li, X., Riaz, M., Song, B., & Liu, H. (2022). Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239, Article 113628. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113628>

7. Berg, J., Ring, H., & Bernhardt, H. (2025). Combined mechanical–chemical weed control methods in post-emergence strategy result in high weed control efficacy in sugar beet. *Agronomy*, 15(4), Article 879. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040879>

8. Kimmel, S. I., Schumacher, M., Spaeth, M., Sökefeld, M., Alagbo, O. O., Allmendinger, A., Andujar, D., Berge, T. W., Braun, R., Parasca, S. C., Emminghaus, J., Glykos, I., Hamouz, P., Hruška, A., Merkle, M., Naruhn, G., Peteinatos, G. G., Sin, B., & Gerhards, R. (2025). A comparative applied analysis of six robotic-assisted weeding systems in sugar beets. *Plant, Soil and Environment*, 71(11), 782–792. <https://doi.org/10.17221/335/2025-PSE>

9. Gerhards, R., Bezhin, K., & Santel, H. J. (2017). Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*, 53(2), 118–126. <https://doi.org/10.17221/57/2016-pps>

10. Prysiashniuk, 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]

11. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of conducting research in sugar beet growing*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

12. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methodology of testing and application of pesticides* (pp. 174–175). Svit. [In Ukrainian]

UDC 633.63:632.51:632.954:631.559:631.67

Makukh, Ya. P.¹, Remeniuk, S. O.¹, Riznyk, V. M.¹, Moshkivska, S. V.¹, Lytvyn, Yu. O.¹, & Marchenko, T. M.² (2025). Optimisation of herbicide application in sugar beet based on productivity and carbon load. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 154–161. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.351035>

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net*

²*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Aim. To determine optimal weed control schemes for sugar beet that, which ensure effective suppression of segetal vegetation with minimal chemical and carbon load on the agroecosystem in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted in 2023–2025 at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Kyiv region). The object of study was the sugar beet hybrid ‘Ruteniia’. The experimental design compared control treatments (without herbicides and manual weeding) with two chemical protection systems involving four herbicide applications (formulations based on phenmedipham, desmedipham, ethofumesate, metamilon, etc.). Field, laboratory (polarimetric method for sugar content determination), and computational-statistical methods were used in the study. Environmental impact was assessed by calculating CO₂eq emissions using the methodology of integrated carbon load assessment. **Results.** It was established that in natural background conditions, weed infestation of crops amounted to 110.1 plants/m², of which more than 40% were annual grasses (*Echinochloa*

crus-galli and *Setaria glauca* L.). This led to a critical yield reduction to 1.1 t/ha. Chemical protection systems ensured high technical efficiency of 89.5–91.3%. The best weed control was recorded in the treatments using the combination of Betanal Max Pro and Caribu Extra (treatment 4), where suppression of certain species reached 98.2%. However, in this treatment, temporary phytotoxic effects on the crop were observed, resulting in a tendency towards yield reduction to 65.4 t/ha compared with 67.3 t/ha in treatment 3. The maximum productivity (75.8 t/ha) was obtained in the control with manual weeding. Calculation of the carbon load showed that despite the absence of pesticides, the treatment without herbicides showed the highest specific CO₂eq emissions (18.30 kg/ha) due to low yield. Optimised weed control systems reduced emissions to 17.64 kg/ha. **Conclusions.** Effective weed control is a decisive factor in forming sugar beet productivity and minimising carbon load. The protection system based on the preparations Shtefam Novyi, Betanal Max Pro, and Hol (treatment 3) is agronomically and ecologically sound, as it ensures high yield (67.3 t/ha) and sugar content (17.64%) without phytotoxicity. The treatment involving the herbicide Caribu Extra demonstrates a broader spectrum of action but requires strict compliance with application rules to avoid crop growth inhibition.

Keywords: *sugar beet; yield; segetal vegetation; CO₂eq emissions.*

Надійшла / Received 18.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 08.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025