

АЛЕЛОПАТИЧНА ДІЯ ПІСЛЯЖНИВНИХ РЕШТОК ПОПЕРЕДНИКІВ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК ПІЗНІХ ЯРИХ КУЛЬТУР У ЮВЕНІЛЬНИЙ ПЕРІОД

АНДРІЄНКО А.Л. – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с.

orcid.org/0000-0002-2318-9454

Інститут сільського господарства Степу Національної академії аграрних наук України

СЕМЕНЯКА І.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

orcid.org/0000-0002-8905-5387

Інститут сільського господарства Степу Національної академії аграрних наук України

АНДРІЄНКО О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с., доцент

orcid.org/0000-0003-1982-1151

Центральноукраїнський національний технічний університет

ТКАЛІЧ Ю.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-2208-0163

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. У науковій літературі термін *алелопатія* був уведений Гансом Молішем і походить від грецьких слів *allelon* – «взаємно» та *pathos* – «зазнавати впливу», що первинно використовувалося для опису пригнічувального впливу однієї рослини на іншу. У сучасному розумінні алелопатія розглядається значно ширше й охоплює весь спектр позитивних і негативних ефектів, зумовлених дією хімічних сполук, які формуються переважно в процесах вторинного метаболізму рослин, а також мікроорганізмів, грибів і вірусів. Ці біологічно активні речовини – алелохімікати – відіграють важливу роль у регулюванні ростових процесів і функціонуванні екосистем [1, 2].

У сільськогосподарських системах ці взаємодії можуть проявлятися у вигляді синергічних або антагоністичних ефектів між культурами, що вирощуються послідовно, впливати на рівень забур'яненості агроценозів, а також визначати здатність культурних рослин пригнічувати розвиток алелопатично активних бур'янів [3, 4].

Водночас реалізація алелопатичного потенціалу в агротехнологіях потребує зваженого підходу. Такі агрономічні прийоми, як добір покривних культур, формування послідовностей культур у сівозміні, мульчування ґрунту рослинними рештками, повинні базуватися на урахуванні можливих алелопатичних ризиків, щоб уникнути пригнічення наступних культур [5, 6]. За раціонального використання алелопатичних властивостей рослин можливі й позитивні ефекти, зокрема підвищення ефективності використання вологи, посилення стійкості рослин до водного стресу та зниження ураженості окремими ґрунтовими фітопатогенами [7, 8].

Засновник концепції алелопатії та низка сучасних дослідників розглядають її як форму складної біохімічної взаємодії не лише між рослинами, але й між рослинами та ґрунтовою мікробіотою, яка може проявлятися як у вигляді антагоністичних, так і синергічних ефектів. У цьому контексті алелопатія трактується як сукупність негативних

і позитивних взаємодій, що відіграють важливу роль у функціонуванні агроєкосистем і природних фітоценозів [9–12].

Фундаментальні положення алелопатії, закладені у працях В. І. Вернадського, були суттєво доповнені експериментальними дослідженнями академіка А. М. Гродзинського та його наукової школи [13, 14]. Зокрема, ними сформульовано поняття ґрунтовоми, яке пов'язує із накопиченням фізіологічно активних речовин у ґрунті за умов монокультури або порушених сівозмін і яке не обмежується лише однорічними рослинами. Це положення має принципове значення для сучасних систем землеробства, орієнтованих на інтенсифікацію та біологізацію агровиробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алелопатія є важливим екологічним чинником, що визначає характер взаємодії рослин в агроценозах. Вона реалізується через виділення біологічно активних сполук, які можуть як стимулювати, так і пригнічувати проростання насіння, ріст і розвиток культурних рослин та бур'янів. Встановлення й урахування алелопатичних взаємозв'язків є ключовим для оптимізації сівозмін, стабілізації фітосанітарного стану посівів та підвищення продуктивності агроценозів [15].

Особливе місце в алелопатичних процесах належить колінам – основним носіям алелопатичної активності, хімічний склад і концентрація яких можуть істотно змінюватися навіть у межах однієї рослини. Їхній вміст у ґрунті залежить від фази розвитку культури, активності мікроорганізмів, гідротермічних умов та інтенсивності розкладання рослинних решток [16, 17]. Накопичення колінів у ґрунті здатне змінювати його хімічні властивості та мікробіологічний склад, що, у свою чергу, може як пригнічувати, так і стимулювати ріст сусідніх рослин. Зокрема, алелопатичні сполуки можуть інгібувати проростання насіння інших видів або навіть рослин власного виду, що проявляється у формі аутотоксичності [18].

Алелохімікати впливають на рослини комплексно, змінюючи морфологічні й анатомічні ознаки, гальмуючи рух протоплазми, порушуючи процеси фотосинтезу, активність ферментних систем, а також вуглецевий і білковий обміни [19]. Загальний механізм алелопатичної дії включає синтез і виділення донорною рослиною специфічних сполук, їх накопичення та трансформацію в ґрунті, поглинання іншими рослинами і вплив на їх фізіологічний стан та продуктивність агроценозу в цілому [17, 20].

Особливої уваги в цьому контексті заслуговують післяжнивні рештки попередників, під час розкладання яких рослини та ґрунтова мікробіота утворюють широкий спектр фізіологічно активних речовин із різною інтенсивністю та напрямом дії. Алелопатичний ефект післяжнивних решток тісно пов'язаний із явищем ґрунтової: наприклад, залишки льону містять сполуки, які пригнічують ріст наступних посівів цієї культури та знижують її врожайність [21, 22].

Сучасні дослідження підтверджують, що алелопатичні взаємодії істотно визначають рівень схожості насіння та перебіг ранніх ростових процесів культурних рослин. Зокрема, екстракти післяжнивних решток і фітохімічні компоненти можуть значно знижувати схожість насіння та пригнічувати початковий ріст. Причому, ефект залежить від виду рослини-донора та концентрації екстракту. Так, *Ambrosia artemisiifolia* L. істотно зменшує схожість насіння соняшнику, гороху та кукурудзи [23, 24].

Результати сучасних оглядових робіт свідчать про ключову роль алелопатії у функціонуванні агро-екосистем та можливості її цілеспрямованого використання для підвищення продуктивності сівозмін і біологічного контролю бур'янів через регулювання біохімічних взаємодій [25]. Паралельно розвивається напрям досліджень, спрямований на використання алелопатичних властивостей попередників і покривних культур для підвищення сталості систем землеробства та оптимізації обробітку ґрунту [26].

Отже, результати досліджень останніх років переконливо підтверджують, що післяжнивні рештки попередників можуть чинити істотний алелопатичний вплив на проростання насіння, рівномірність сходів і ранній розвиток рослин. Це зумовлює актуальність подальшого вивчення алелопатичної дії рослинних решток з метою наукового обґрунтування сівозмін і розробки агротехнологічних заходів, спрямованих на мінімізацію негативних та використання позитивних алелопатичних ефектів у сучасному землеробстві.

Мета. Встановити алелопатичний вплив післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої та соняшнику польову схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику, а також оцінити роль попередників і систем основного обробітку ґрунту у формуванні початкового росту та розвитку рослин у ювенільний період.

Матеріали та методика досліджень. Лабораторно-польові та польові дослідження виконували у 2010–2012 рр. на базі Інституту сільського господарства Степу НААН із використанням спеціально виділених польових ділянок на виконання програм наукових досліджень Національної академії

аграрних наук України «Землеробство» «Зернові культури» та «Олійні культури», в умовах Північного Степу України. Для цього регіону характерним є помірно континентальний клімат. Ґрунт – чорнозем звичайний глибокий середньогумусний важкосуглинковий, який скипає на глибині 50–55 см. Реакція ґрунтового розчину рН – 6,5–7,0, тобто є близькою до нейтральної. В орному шарі ґрунту вміст гумусу високий – 4,69%, легкогідролізованого азоту – 137 (низький), рухомого фосфору – 100 (середній), обмінного калію – 151 мг/кг ґрунту (високий).

Програма досліджень передбачала встановити вплив попередників та способів основного обробітку ґрунту на польову схожість та ростові процеси пізніх ярих культур у ювенільний період. Основний метод досліджень – лабораторно-польовий і польовий (короткотерміновий та стаціонарний) досліди, а також методи математичної статистики – дисперсійний і кореляційний аналізи (Рожков А.О., Пузик В.К., Каленська С.М. та ін., 2016).

В польових дослідах застосовували технологічні системи вирощування пізніх ярих культур (кукурудза, соя, соняшник) в короткоротаційних сівозмінах із використанням побічної продукції (П.П.) попередніх культур за органо-мінеральної системи удобрення (П.П.+N₄₀P₄₀K₄₀). Перед проведенням обробітку ґрунту всі ділянки були оброблені подрібнювачем пожнивних решток (FALK-4,0), для рівномірного мульчування поверхні ґрунту.

Основний обробіток ґрунту, як фактор дослідження, проводили поділянково: у варіанті з глибоким обробітком ґрунту – дискування на 8–10 см (АГ–2,4) та полицеву оранку на 25–27 см (ПОН 5–35); у варіанті з мілким обробітком ґрунту – дискування на 8–10 см (АГ–2,4) та повторне дискування на 10–12 см (УДА–4,2); у варіанті з нульовим (на 0 см) обробітком ґрунту – прямою сівбу. Передпосівний обробіток ґрунту, у варіантах де він необхідний, складався з весняного боронування зябу важкими зубовими боронами та культивування на 5–7 см.

Для захисту від вегетуючих бур'янів навесні, за 2 тижні до сівби пізніх ярих культур, застосовували гербіцид суцільної дії Раундап®, 48% в.р. (2,0 л/га). Ґрунтовий гербіцид Харнес, 90% к.е. (2,5 л/га) вносили перед сівбою в усіх варіантах досліду: на ділянках глибокого та мілкового обробітку ґрунту його загорання суміщали з передпосівною культивування, а на ділянках з нульовим обробітком ґрунту, де застосовували лише прямою сівбу, – залишали на поверхні ґрунту без загорання. На початку вегетації кукурудзи (фаза 4–5 листків) додатково застосовували страховий гербіцид МайсТер® 62 WG (0,15 кг/га) + ПАР БіоПауер® (1,0 л/га), а по сходах сої – страховий гербіцид Фабіан® (0,1 кг/га).

Типовою для Північного Степу, де виконували дослідження, є нестійка та недостатня вологозабезпеченість. Упродовж року опади випадають нерівномірно, середньорічна їх сума – 499 мм. У весняно-літній період в окремі роки проявляється періодична нестача вологи. Середньо-багаторічний показник ступеню зволоження території в період активної вегетації пізніх ярих культур (за температури повітря понад +10°C) – гідротермічний коефіцієнт (ГТК)

Селянінова становить 1,0. Роки досліджень були неоднаково сприятливими для росту й розвитку рослин пізніх ярих культур за температурним режимом і вологозабезпеченням.

Так, умови вегетації пізніх ярих культур 2010 р. були посушливими. Сума активних температур (понад +10 °С) з травня по вересень перевищила норму на 744 °С, а ГТК склав 0,81. Складні умови росту й розвитку рослин сільськогосподарських культур були під час наливу зерна/насіння в серпні, коли запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см були недостатніми – 62,0–71,2 мм, що негативно вплинуло на формування продуктивності посівів. Агриметеорологічні умови 2011 р. навпаки були сприятливими за забезпеченням посівів вологою саме в критичні періоди росту та розвитку рослин пізніх ярих культур. В цілому, сума активних температур становила 3156,6 °С, на 462 °С більше за норму, а ГТК=0,81 – на 20% нижчий за норму (посушливі умови). Водночас, погодні умови періоду вегетації кукурудзи, сої та соняшнику 2011 р. коливалися від дуже сухих – ГТК=0,17–0,37 (періоди: сівба – сходи; дозрівання зерна/насіння) до надмірно зволжених – ГТК=2,52 (період активного росту та розвитку рослин), що сприяло максимальній реалізації потенціалу продуктивності сортів/гібридів пізніх ярих культур за період досліджень. Погодні умови періоду вегетації 2012 р. внаслідок високого температурного режиму, недостатньої кількості опадів і нерівномірного їх випадання (в окремі періоди у вигляді зливових дощів із градом і шквальним вітром) негативно вплинули на формування продуктивності рослин кукурудзи, сої та соняшнику. Сума активних температур за травень – вересень становила 3417,3 °С, на 722,6 °С більше за норму, а ГТК=0,49, що характеризує погодні умови як сухі.

Результати досліджень. Вплив попередників на ріст і розвиток кукурудзи проявляється вже на етапі проростання насіння. Польова схожість істотно змінювалася залежно від виду попередника та системи основного обробітку ґрунту. Вищі показники польової схожості відмічали при сівбі кукурудзи після сої: 90,5% – за оранки та 85,0% – за прямої сівби. Менш сприятливі умови для формування сходів склалися після соняшнику – 86,3% за оранки та 83,5% – за нульового обробітку, що може свідчити про виражений алелопатичний вплив його післяжнивних решток (табл. 1).

Повторні посіви кукурудзи характеризувалися відносно високими показниками схожості за глибокого обробітку ґрунту (89,7%) і дещо нижчими – за прямої сівби (84,5%), що вказує на слабко виражений автотоксичний ефект. Незалежно від попередника, мінімізація основного обробітку ґрунту супроводжувалася зниженням показників польової схожості насіння кукурудзи.

У фазу 7–8 листків максимальна висота рослин кукурудзи формувалася після сої: 76,7 см за оранки, 74,3 см за дискового обробітку та 68,3 см за прямої сівби. Найменші показники росту зафіксовано після соняшнику – відповідно 70,3; 65,7 і 63,7 см, що підтверджує пригнічувальну дію його післяжнивних

решток. Після пшениці озимої та кукурудзи на зерно спостерігалось помірне зниження інтенсивності росту, яке особливо посилювалося за відсутності механічного обробітку ґрунту. Дискування та пряма сівба зменшували висоту рослин кукурудзи порівняно з оранкою на 3,0–6,6% і 9,5–11,3% відповідно.

У фазу 11–12 листків тенденції зберігалися: найбільша висота рослин відмічалася після сої (124,3 см – за оранки), тоді як після соняшнику показники знижувалися до 117,3 см за оранки та 108,0 см – за нульового обробітку. За дискового обробітку та прямої сівби висота рослин була меншою порівняно з оранкою на 0,3–2,7% і 6,0–8,4% відповідно.

Таким чином, соя виявилася оптимальним попередником для кукурудзи, забезпечуючи максимальну польову схожість і найкращі показники росту у ювенільний період. Соняшник проявляв найбільш виражений алелопатичний ефект, тоді як негативний вплив пшениці озимої частково нівелювався за достатнього вологозабезпечення. Глибока оранка істотно зменшувала прояви алелопатичної дії післяжнивних решток.

Алелопатичний вплив післяжнивних решток попередників є одним із визначальних чинників формування польової схожості та початкового росту рослин сої. Взаємодія рослинних решток із ґрунтовим середовищем реалізується через надходження біологічно активних сполук, які можуть як стимулювати, так і пригнічувати проростання насіння та розвиток проростків залежно від виду попередника і системи основного обробітку ґрунту.

Вищу польову схожість насіння сої відмічали при сівбі після кукурудзи на зерно та соняшнику – 88,5–88,7% за оранки та 87,6–87,8% – за дискового обробітку (за прямої сівби – лише 84,5–85,0%). Найнижчі показники схожості спостерігалися у варіантах без обробітку ґрунту за повторної сівби сої та після пшениці озимої (83,5–84,0%), що свідчить про прояв автотоксичності та негативної алелопатичної дії післяжнивних решток. Мінімізація основного обробітку ґрунту незалежно від попередника зумовлювала зниження польової схожості насіння сої.

Водночас, дисковий обробіток і пряма сівба сприяли підвищенню запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см на 3,1–4,0% та 4,4–7,3% відповідно, що зумовлено мульчувальним ефектом післяжнивних решток і зменшенням випаровування (табл. 2).

Запаси продуктивної вологи змінювалися залежно від попередника та системи обробітку ґрунту. Вищі показники були при сівбі сої після пшениці озимої та сої за нульового обробітку – 30,6 мм, а мінімальні – після соняшнику за оранки (26,4 мм).

Встановлено тісний зворотний кореляційний зв'язок між польовою схожістю насіння сої та запасами продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см ($r = -0,70$), а також між запасами вологи та висотою рослин у фазу двох пар справжніх листків ($r = -0,65$), що свідчить про складну взаємодію водного режиму й алелопатичних чинників.

Найінтенсивніший ріст рослин сої у фазу двох пар справжніх листків відмічали при вирощуванні

Таблиця 1 – Алелопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин кукурудзи у ювенільний період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник (фактор А)	Основний обробіток ґрунту (фактор В)	Польова схожість, %	Висота рослин у фазу, см	
			7–8 листків	11–12 листків
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	89,3	72,3	123,7
	дискування (10–12 см)	85,5	69,3	120,3
	нульовий обробіток	81,5	64,7	113,3
Соя	оранка (25–27 см)	90,5	76,7	124,3
	дискування (10–12 см)	89,5	74,3	121,7
	нульовий обробіток	85,0	68,3	114,3
Кукурудза	оранка (25–27 см)	89,7	74,0	123,0
	дискування (10–12 см)	88,5	70,7	121,3
	нульовий обробіток	84,5	65,7	115,7
Соняшник	оранка (25–27 см)	86,3	70,3	117,3
	дискування (10–12 см)	85,5	65,7	117,0
	нульовий обробіток	83,5	63,7	108,0

після кукурудзи на зерно та соняшнику: за глибокої оранки висота рослин становила 28,2–28,3 см, за дискового обробітку – 26,4–26,6 см, за прямої сівби – 24,4–24,7 см. Найменші показники висоти спостерігалися після пшениці озимої (27,7; 25,8 і 23,3 см відповідно), що підтверджує її пригнічувальний алелопатичний ефект. За повторної сівби сої висота рослин була лише на 0,1–0,2 см більшою, ніж після стерньового попередника, що свідчить про слабко виражену автотоксичність. Дисковий обробіток і пряма сівба зумовили нижчу висоту рослин сої порівняно з оранкою на 5,7–7,2% і 12,7–16,1% відповідно.

У фазу бутонізації тенденції зберігалися: максимальна висота рослин формувалася після кукурудзи на зерно та соняшнику (52,9–53,2 см за оранки), тоді як мінімальні значення були після пшениці озимої (51,6 см за оранки та 46,6 см за нульового обробітку). Повторна сівба сої супроводжувалася

помірним пригніченням росту, а за мінімізації обробітку ґрунту висота рослин була нижча на 2,0–5,3% (дискування) та 6,0–9,8% (пряма сівба).

Отже, глибока оранка забезпечувала найбільш сприятливі умови для формування сходів і стартового росту рослин сої незалежно від попередника, тоді як мілкий і нульовий обробіток посилювали негативний алелопатичний вплив післяжнивних решток. За інтенсивністю початкового росту кращими попередниками для сої виявилися кукурудза на зерно та соняшник. Пшениця озима у ювенільний період сої проявляла виражений пригнічувальний ефект, а повторне вирощування сої супроводжувалося проявами автотоксичності.

Аналогічні залежності простежувалися і для соняшнику. Вищу польову схожість насіння соняшнику відмічали за сівби після кукурудзи та сої за оранки (90,8–91,2%), тоді як у повторних посівах вона знижувалася до 88,7% за оранки та 84,0% – за

Таблиця 2 – Алелопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин сої у початковий період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник (фактор А)	Основний обробіток ґрунту (фактор В)	Польова схожість, %	Вологість ґрунту перед сівбою (0–20 см), мм	Висота рослин у фазу, см	
				2 пари справжніх листків	бутонізація
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	87,7	28,5	27,7	51,6
	дискування (10–12 см)	86,0	29,6	25,8	48,9
	нульовий обробіток	83,5	30,6	23,3	46,6
Соя	оранка (25–27 см)	87,2	29,1	27,9	52,0
	дискування (10–12 см)	86,3	30,0	25,9	49,3
	нульовий обробіток	84,0	30,6	23,4	48,4
Кукурудза	оранка (25–27 см)	88,5	28,0	28,2	53,2
	дискування (10–12 см)	87,6	29,0	26,6	51,8
	нульовий обробіток	85,0	29,2	24,4	49,4
Соняшник	оранка (25–27 см)	88,7	26,4	28,3	52,9
	дискування (10–12 см)	87,8	27,4	26,4	51,8
	нульовий обробіток	84,5	27,0	24,7	49,7

прямої сівби, що підтверджує автотоксичний характер взаємодії. У фазу 4–5 пар листків максимальна висота рослин сояшнику формувалася після кукурудзи та сої, а мінімальні показники відмічали у повторних посівах за нульового обробітку ґрунту (табл. 3).

Отже, оранка сприяла формуванню високих показників польової схожості насіння сояшнику та росту його рослин у початковий період розвитку незалежно від попередника, тоді як мінімізація обробітку ґрунту знижувала ці показники, що, ймовірно, пов'язано з негативним впливом післяжнив-

Таблиця 3 – Алелопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин сояшнику в ювенільний період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник	Основний обробіток ґрунту	Польова схожість, %	Висота рослин у фазу 4–5 пар листків, см
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	89,2	66,2
	дискування (10–12 см)	87,5	64,4
	нульовий обробіток	84,4	62,6
Соя	оранка (25–27 см)	91,2	68,6
	дискування (10–12 см)	90,2	67,2
	нульовий обробіток	87,7	63,7
Кукурудза	оранка (25–27 см)	90,8	67,3
	дискування (10–12 см)	89,5	66,3
	нульовий обробіток	87,1	63,2
Сояшник	оранка (25–27 см)	88,7	65,3
	дискування (10–12 см)	87,3	64,0
	нульовий обробіток	84,0	60,7

них решток. Більш сприятливими попередниками для стартового росту та розвитку сояшнику були кукурудза на зерно та соя, які забезпечували стабільно високу польову схожість і дружність сходів. Попередник пшениця озима у ювенільний період сояшнику мав незначний негативний алелопатичний вплив на проростки та рослини сояшнику. Повторна сівба сояшнику проявляла автотоксичний ефект, що призводило до зниження схожості та інтенсивності росту рослин.

Висновки. Алелопатичні взаємодії післяжнивних решток є важливим чинником у процесі формування польової схожості насіння та початкового росту й розвитку агрокультур. Оранка на 25–27 см сприяла зменшенню негативного впливу, а мінімізація обробітку ґрунту та пряма сівба – навпаки посилювала його, що пояснюється збереженням на поверхні значної кількості нерозкладених решток. Урахування алелопатичних ефектів післяжнивних решток, особливо сояшнику та зернових культур, на проростання насіння, стартовий ріст і розвиток пізніх ярих культур (кукурудзи, сої, сояшнику) при науковому обґрунтуванні сівозмін і виборі систем обробітку ґрунту є необхідною умовою сталої продуктивності агроценозів та підвищення ефективності біологізації землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Olofsdotter M., Jensen L. B., Courtois B. Improving crop competitive ability using allelopathy – an example from rice. *Plant Breed.* 2002. Vol. 121. P. 1–9. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00662.x>
- Singh H. P., Batish D. R., Kohli R. K. Allelopathy in agroecosystems. *J. Crop Prod.* 2001. Vol. 4. P. 1–41. https://doi.org/10.1300/j144v04n02_01

- Ain Q., Mushtaq W., Shadab M., Siddiqui M. B. Allelopathy: an alternative tool for sustainable agriculture. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2023. Vol. 29. P. 495–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01305-9>
- Kostina-Bednarz M., Plonka J., Barchanska H. Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2023. Vol. 22. P. 471–504. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Chon S.-U., Jennings J. A., Nelson C. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) autotoxicity: current status. *Allelopathy J.* 2006. Vol. 18. P. 57–80
- Oueslati O., Ben-Hammouda M., Ghorbal M. H., Guezzah M., Kremer R. J. Barley autotoxicity as influenced by varietal and seasonal variation. *J. Agron. Crop Sci.* 2005. Vol. 191. P. 249–254. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2005.00156.x>
- Nageswara Rao V., Sastry R. K., Craufurd P., Meinke H., Parsons D., Rego T. J., Rathore A. Cropping systems strategy for effective management of Fusarium wilt in safflower. *Field Crops Res.* 2014. Vol. 156. P. 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.013>
- Stevenson P. C., Padgham D. E., Haware M. P. Root exudates associated with the resistance of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum*) to two races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*. *Plant Pathol.* 1995. Vol. 44. P. 686–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb01692.x>
- Babych M., Kovalenko A. Food Security Indicators in Ukraine: Current State and Trends of Development. *Baltic J. Econ. Stud.* 2018. Vol. 4, № 1. P. 8–15. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-8-15>
- Fadiji A. E., Adeniji A., Lanrewaju A. A. et al. Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: an overview of current knowledge and

- prospects. *Ann. Microbiol.* 2025. Vol. 75. P. 21. <https://doi.org/10.1186/S13213-025-01812-Y>
11. Cipollini D., Rigsby C. M., Barto E. K. Microbes as targets and mediators of allelopathy in plants. *J. Chem. Ecol.* 2012. Vol. 38, № 6. P. 714–727. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0133-7>
12. Revillini D., David A. S., Reyes A. L. et al. Allelopathy-selected microbiomes mitigate chemical inhibition of plant performance. *New Phytol.* 2023. Vol. 240, № 5. P. 2007–2019. <https://doi.org/10.1111/nph.19249>
13. Гродзинський А. М. Алелопатія рослин та ґрунтового компонента / Вступ. ст. Е. А. Головка, В. В. Кваша. Київ: Наукова думка, 1991. 432 с.
14. Гродзинський А. М. Знову про фітоценотичну роль фізіологічно активних виділень рослин. *Український ботанічний журнал.* 1983. Т. 40, № 4. С. 1–10.
15. Юрчак Л. Д. Екологічні основи алелопатичної взаємодії та післядії ароматичних рослин в агрофітоценозах: автореф. дис. ... доктора с.-г. наук: 03.00.16 «Екологія». Київ, 2002. 35 с.
16. Гнатюк Н. О. Механізми прояву алелопатичної взаємодії рослин. *Таврійський науковий вісник.* 2023. № 131. С. 345–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.43>
17. Scavo A., Abbate C., Mauromicale G. Plant allelochemicals: agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant Soil.* 2019. Vol. 442. P. 23–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y>
18. Корнілова Н. А., Мороз В. В., Приведенюк Н. В., Глущенко Л. А. Особливості алелопатичної активності ґрунту в насадженнях енергетичних культур. Збалансоване природокористування. 2024. № 3. С. 97–104. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314920>
19. Білявський Г. О., Падун М. М. Основи екології: підручник. Київ: Либідь, 2003. 408 с.
20. Cheng F., Cheng Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. P. 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
21. Ferreira M. I., Reinhardt C. F. Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds. *Agron. J.* 2010. Vol. 102. P. 1593–1600. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0269>
22. An M., Pratley J. E., Haig T. Phytotoxicity of vulpia residues: IV. Dynamics of allelochemicals during decomposition of vulpia residues and their corresponding phytotoxicity. *J. Chem. Ecol.* 2001. Vol. 27, № 2. P. 395–409. <https://doi.org/10.1023/a:1005692724885>
23. Сторожик Л. І., Михайловин Ю. М. Хімічний складник та алелопатична дія метаболітів, продукованих амброзією полинолістою (*Ambrosia artemisiifolia* L.). *Новітні агротехнології.* 2024. Т. 12, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.317152>
24. Morozova T., Mudrak O., Mudrak G. Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops. *Agroecol. J.* 2025. P. 84–98. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340783>
25. Kumar N., Singh H., Yadav S. et al. Physiological and molecular insights into the allelopathic effects on agroecosystems under changing environmental conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2024. Vol. 30. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12298-024-01440-x>
26. Nageswara Rao V., Meinke H., Kropff M. et al. Incorporating knowledge of allelopathic interactions can improve productivity and sustainability of crop rotations in the semi-arid tropics. *J. Agric. Food Res.* 2025. Vol. 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102026>

REFERENCES:

- Olofsdotter, M., Jensen, L. B., & Courtois, B. (2002). Improving crop competitive ability using allelopathy – an example from rice. *Plant Breeding*, 121, 1–9. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00662.x>
- Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2001). Allelopathy in agroecosystems. *Journal of Crop Production*, 4, 1–41. https://doi.org/10.1300/j144v04n02_01
- Ain, Q., Mushtaq, W., Shadab, M., & Siddiqui, M. B. (2023). Allelopathy: An alternative tool for sustainable agriculture. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 29, 495–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01305-9>
- Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., & Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: Challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22, 471–504. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Chon, S.-U., Jennings, J. A., & Nelson, C. (2006). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) autotoxicity: Current status. *Allelopathy Journal*, 18, 57–80.
- Oueslati, O., Ben-Hammouda, M., Ghorbal, M. H., Guezzah, M., & Kremer, R. J. (2005). Barley autotoxicity as influenced by varietal and seasonal variation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 249–254. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2005.00156.x>
- Nageswara Rao, V., Sastry, R. K., Craufurd, P., Meinke, H., Parsons, D., Rego, T. J., & Rathore, A. (2014). Cropping systems strategy for effective management of Fusarium wilt in safflower. *Field Crops Research*, 156, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.013>
- Stevenson, P. C., Padgham, D. E., & Haware, M. P. (1995). Root exudates associated with the resistance of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum*) to two races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*. *Plant Pathology*, 44, 686–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb01692.x>
- Babych, M., & Kovalenko, A. (2018). Food security indicators in Ukraine: Current state and trends of development. *Baltic Journal of Economic Studies*, 4(1), 8–15. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-8-15>
- Fadji, A. E., Adeniji, A., Lanrewaju, A. A., et al. (2025). Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: An overview of current knowledge and prospects. *Annals of Microbiology*, 75, 21. <https://doi.org/10.1186/S13213-025-01812-Y>
- Cipollini, D., Rigsby, C. M., & Barto, E. K. (2012). Microbes as targets and mediators of allelopathy in plants. *Journal of Chemical Ecology*, 38(6), 714–727. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0133-7>
- Revillini, D., David, A. S., Reyes, A. L., et al. (2023). Allelopathy-selected microbiomes mitigate chemical inhibition of plant performance. *New Phytologist*, 240(5), 2007–2019. <https://doi.org/10.1111/nph.19249>
- Hrodzynskyy A. M. (1991) Alelopatiya roslin ta gruntovtoma [Allelopathy of plants and soil fatigue] Vstup.

st. E. A. Holovka, V. V. Kvasha. Kyiv: Naukova dumka, 432 s. [in Ukrainian]

14. Hrodzynskyy A. M. (1983) Znovu pro fitotsenotychnu rol fiziologichno aktyvnykh vydilen Roslyn [Again on the phytocenotic role of physiologically active plant secretions.]. Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal. T. 40, № 4. S. 1–10. [in Ukrainian]

15. Yurchak L. D. (2002) Ekologichni osnovy alelopatychnoyi vzayemodiyi ta pislyadiyi aromatychnykh roslyn v ahrofitotsenozakh [Ecological foundations of allelopathic interactions and aftereffects of aromatic plants in agroecosystems]: avtoref. dys. ... doktora s.-h. nauk: 03.00.16 «Ekolohiya». Kyiv. 35 s. [in Ukrainian]

16. Hnatyuk N. O. (2023) Mekhanizmy proyavu alelopatychnoyi vzayemodiyi roslyn [Mechanisms of allelopathic interactions in plants]. Tavriyskyy naukovyy visnyk. № 131. S. 345–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.43> [in Ukrainian]

17. Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442, 23–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y>

18. Kornilova N. A., Moroz V. V., Pryvedenyuk N. V., Hlushchenko L. A. Osoblyvosti alelopatychnoyi aktyvnosti ґрунту v nasadzhennyakh enerhetychnykh kultur [Features of soil allelopathic activity in plantations of energy crops]. Zbalansovane pryrodokorystuvannya. 2024. № 3. S. 97–104. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314920> [in Ukrainian]

19. Bilyavskyy H. O., Padun M. M. (2003) Osnovy ekolohiyi: pidruchnyk [Fundamentals of ecology]. Kyiv: Lybid. 408 s. [in Ukrainian]

20. Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>

21. Ferreira, M. I., & Reinhardt, C. F. (2010). Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds. *Agronomy Journal*, 102, 1593–1600. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0269>

22. An, M., Pratley, J. E., & Haig, T. (2001). Phytotoxicity of *Vulpia* residues: IV. Dynamics of allelochemicals during decomposition of *Vulpia* residues and their corresponding phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*, 27(2), 395–409. <https://doi.org/10.1023/a:1005692724885>

23. Storozhyk L. I., Mykhaylovyu Yu. M. (2024) Khimichnyy skladnyk ta alelopatychna diya metabolitiv, produkovanykh ambroziiyeyu polynolystoyu (*Ambrosia artemisiifolia* L.) [Chemical composition and allelopathic effect of metabolites produced by *Ambrosia artemisiifolia* L.]. Novitni ahrotekhnolohiyi. T. 12, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.317152> [in Ukrainian]

24. Morozova, T., Mudrak, O., & Mudrak, G. (2025). Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops. *Agroecological Journal*, 84–98. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340783>

25. Kumar, N., Singh, H., Yadav, S., et al. (2024). Physiological and molecular insights into the allelopathic effects on agroecosystems under changing environmental conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 30, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12298-024-01440-x>

26. Nageswara Rao, V., Meinke, H., Kropff, M., et al. (2025). Incorporating knowledge of allelopathic interactions can improve productivity and sustainability of crop rotations in the semi-arid tropics. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102026>

Андрієнко А.Л., Семеняка І.М., Андрієнко О.О., Ткаліч Ю.І. Алелопатична дія післяжнивних решток попередників на ріст та розвиток пізніх ярих культур у ювенільний період

Мета. Встановити алелопатичний вплив водних витяжок післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки на енергію проростання, лабораторну й польову схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику, а також оцінити роль попередників і систем основного обробітку ґрунту у формуванні початкового росту та розвитку рослин у ювенільний період.

Методи. Дослідження проведено у 2010–2012 рр. в умовах Степу України в багатофакторному польовому та лабораторному дослідках із застосуванням загальноприйнятих польових, лабораторних і статистичних методів. Вивчали ефекти попередників за полицевої оранки, дискування та нульового обробітку ґрунту.

Результати. Встановлено, що алелопатичний вплив післяжнивних решток попередників істотно проявляється вже у ювенільний період розвитку пізніх ярих культур і значною мірою модифікується системою основного обробітку ґрунту. Польова схожість насіння кукурудзи була найвищою після сої (90,5% за оранки та 85,0% за прямої сівби), тоді як після соняшнику вона знижувалася до 86,3–83,5%, що свідчить про виражений пригнічувальний алелопатичний ефект його післяжнивних решток. Повторні посіви кукурудзи характеризувалися слабо вираженою автотоксичністю, особливо за нульового обробітку ґрунту. У фазах 7–8 та 11–12 листків максимальна висота рослин кукурудзи формувалася після сої (до 124,3 см за оранки), а мінімальні показники відмічали після соняшнику (108,0–117,3 см залежно від способу обробітку). Мінімізація обробітку знижувала інтенсивність росту кукурудзи на 3,0–11,3% порівняно з оранкою. Для сої встановлено зниження польової схожості за повторної сівби та після пшениці озимої (83,5–84,0% за нульового обробітку), що вказує на прояви автотоксичності та негативної алелопатичної дії стерньових решток. Найінтенсивніший початковий ріст сої спостерігався після кукурудзи на зерно та соняшнику. Виявлено тісний зворотний кореляційний зв'язок між польовою схожістю насіння сої та запасами продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см ($r = -0,70$). Для соняшнику найвищі показники польової схожості та висоти рослин у ювенільний період формувалися після кукурудзи та сої (90,8–91,2% за оранки), тоді як повторні посіви супроводжувалися зниженням схожості до 84,0% за прямої сівби, що підтверджує автотоксичний характер взаємодії.

Висновки. Алелопатичні взаємодії післяжнивних решток є важливим чинником у процесі формування польової схожості насіння та початкового росту й розвитку агрокультур. Оранка на 25–27 см сприяла зменшенню негативного впливу, а мінімізація обробітку ґрунту та пряма сівба – навпаки посилювала його, що пояснюється збереженням на поверхні значної кількості нерозкладених решток. Урахування алелопатичних ефектів післяжнивних решток, особливо соняшнику, гречки та зернових культур, на проростання насіння, стартовий ріст і розвиток пізніх ярих культур

(кукурудзи, сої, соняшнику) при науковому обґрунтуванні сівозмін і виборі систем обробітку ґрунту є необхідною умовою сталої продуктивності агроценозів та підвищення ефективності біологізації землеробства.

Ключові слова: побічна продукція; сівозміна; схожість насіння; кукурудза; соя; соняшник; обробіток ґрунту; пряма сівба.

Andriienko A.L., Semeniaka I.M., Andriienko O.O., Tkalic Yu.I. Allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors on the growth and development of late spring crops in the juvenile period.

Purpose. To establish the allelopathic effect of aqueous extracts of post-harvest residues of winter wheat, corn, soybeans, sunflowers, and buckwheat on germination energy, laboratory and field germination of corn, soybean, and sunflower seeds, as well as to evaluate the role of predecessors and basic soil cultivation systems in the formation of initial plant growth and development during the juvenile period. **Methods.** The study was conducted in 2010–2012 in the steppe zone of Ukraine in multifactorial field and laboratory experiments using standard field, laboratory, and statistical methods. The effects of predecessors on plowing, discing, and zero tillage were studied. **Results.** It was found that the allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors is already significantly manifested in the juvenile period of development of late spring crops and is significantly modified by the main soil cultivation system. The field germination of corn seeds was highest after soybeans (90.5% after plowing and 85.0% after direct sowing), while after sunflowers it decreased to 86.3–83.5%, which indicates a pronounced inhibitory allelopathic effect of its post-harvest residues. Repeated corn crops were characterized by weak autotoxicity, especially with zero tillage. In the 7–8 and 11–12 leaf stages, the maximum height of corn plants was formed after soybeans (up to 124.3 cm after plowing),

and the minimum values were observed after sunflowers (108.0–117.3 cm depending on the tillage method). Minimizing tillage reduced corn growth intensity by 3.0–11.3% compared to plowing. For soybeans, a decrease in field germination was observed during re-sowing and after winter wheat (83.5–84.0% with zero tillage), indicating the manifestation of autotoxicity and negative allelopathic effects of stubble residues. The most intensive initial growth of soybeans was observed after grain corn and sunflowers. A close inverse correlation was found between the field germination of soybean seeds and the reserves of productive moisture in the 0–20 cm soil layer ($r = -0.70$). For sunflowers, the highest field germination and plant height in the juvenile period were observed after corn and soybeans (90.8–91.2% after plowing), while repeated sowing was accompanied by a decrease in germination to 84.0% after direct sowing, confirming the autotoxic nature of the interaction.

Conclusions. Allelopathic interactions of post-harvest residues are an important factor in the process of field germination of seeds and the initial growth and development of crops. Plowing at a depth of 25–27 cm helped reduce the negative impact, while minimizing tillage and direct seeding, on the contrary, intensified it, which is explained by the preservation of a significant amount of undecomposed residues on the surface. Taking into account the allelopathic effects of post-harvest residues, especially sunflower, buckwheat, and grain crops, on seed germination, initial growth, and development of late spring crops (corn, soybeans, sunflowers) in the scientific justification of crop rotations and the selection of tillage systems is a necessary condition for the sustainable productivity of agroecosystems and increasing the effectiveness of the biologization of agriculture.

Key words: by-products; crop rotation; seed germination; corn; soybeans; sunflowers; soil cultivation; direct sowing.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 13.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026