

АЛЕЛОПАТИЧНА ДІЯ ПІСЛЯЖНИВНИХ РЕШТОК ПОПЕРЕДНИКІВ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ ТА ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ ПІЗНІХ ЯРИХ КУЛЬТУР

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. Історично було відомо, що рослини можуть проявляти як взаємовигідні, так і антагоністичні взаємодії. Зокрема, відзначено, що під деревами чорного волоського горіха (*Juglans nigra*) виживає обмежена кількість видів, тоді як нут (*Cicer arietinum*) здатний суттєво пригнічувати ріст бур'янів [1]. Однак механізми таких взаємодій тривалий час залишалися нез'ясованими. Лише у ХХ столітті вчені сформулювали наукове пояснення цих явищ. У 1937 році Г. Моліш увів термін «алелопатія», визначивши його як хімічну взаємодію між рослинами, включаючи мікроорганізми [2]. У 1970-х роках Е. Райс розширив це визначення, охарактеризувавши алелопатію як процес виділення рослинами та мікроорганізмами хімічних сполук у навколишнє середовище, які чинять прямий або опосередкований негативний вплив на інші рослини [3]. Надалі до цього поняття було включено також явища стимуляції росту та аутокотичності [4, 5]. У 1996 році Міжнародне товариство алелопатії дало узагальнене визначення, згідно з яким алелопатія – це вплив вторинних метаболітів рослин, бактерій, грибів і водоростей на ріст і розвиток організмів у природних та аграрних екосистемах [6]. Алелопатія розглядається як адаптивний еволюційний механізм, сформований у процесі тривалого розвитку рослинних організмів, який забезпечує підтримання конкурентних переваг у боротьбі за простір і ресурси [7]. Реалізація цього механізму здійснюється через вивільнення алелохімічних речовин у навколишнє середовище. Переважна більшість таких сполук належить до вторинних метаболітів, зокрема фенольних кислот, терпеноїдів, ацетиленових та інших біологічно активних речовин, які можуть синтезуватися практично всіма рослинними органами і тканинами – коренями, стеблами, листям, плодами та насінням [1, 8]. Потрапляючи в ґрунтове або повітряне середовище, ці сполуки здатні впливати на ріст

і розвиток сусідніх рослин, змінюючи функціонування агрофітоценозів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Алелопатія є одним із ключових механізмів біохімічної взаємодії рослин в агроекосистемах і відіграє важливу роль у формуванні посівних якостей насіння, динаміці проростання та початкового росту культурних рослин.

Дослідження, виконані на *Lonicera maackii*, показали, що алелопатична дія цієї рослини має чітко виражений дозозалежний характер. Встановлено, що водні екстракти як листя, так і коренів *L. maackii* істотно пригнічують проростання насіння *Alliaria petiolata* та *Arabidopsis thaliana*, причому ступінь інгібування зростає зі збільшенням концентрації екстракту [9]. Отримані результати підтверджують визначальну роль концентрації алелохімічних сполук у реалізації алелопатичного ефекту.

Подальші дослідження засвідчили, що алелопатичний вплив рослинних екстрактів формується сукупною дією різних алелохімічних компонентів, які істотно відрізняються за силою та механізмами інгібування проростання насіння. Так, аналіз шести органічних кислот у кореневих ексудатах тютюну (*Nicotiana tabacum*) – бензойної, коричної, лауринової, міристинової, пальмітинової та фталевої – показав, що за однакових концентрацій найбільш виражений інгібувальний ефект на проростання насіння тютюну проявляли бензойна та корична кислоти, тоді як інші сполуки характеризувалися значно слабшою фітотоксичною дією [10]. Це свідчить про селективність алелохімічного впливу навіть у межах одного виду рослини-донора.

Водночас встановлено, що не всі алелохімічні речовини зумовлюють зниження кінцевої схожості насіння. У ряді випадків їх дія проявляється переважно у сповільненні темпів проростання. Зокрема, водні екстракти з американського рододендрона (*Rhododendron maximum*), гірського лавра (*Kalmia latifolia*) та листя *L.*



тааскії не спричиняли істотного зниження загальної схожості насіння костриці високої (*Festuca arundinacea*), однак суттєво затримували появу сходів: у контрольному варіанті максимальна схожість досягалася на 8-му добу, тоді як за дії екстрактів – лише на 12-ту добу [11]. Такий ефект має важливе агроекологічне значення, оскільки навіть короткочасна затримка проростання може знижувати конкурентоспроможність культури в агрофітоценозі.

Окремий напрям сучасних досліджень пов'язаний із вивченням аутоксичності, притаманної низці культурних і лікарських рослин [12, 13]. Зокрема, показано, що ґрунт із ділянок безперервного вирощування *Panax notoginseng* істотно пригнічував проростання власного насіння цієї культури, причому інтенсивність інгібування зростала зі збільшенням тривалості монокультури [12]. Це свідчить про акумуляцію фітотоксичних сполук у ґрунтового середовища та підкреслює ризики тривалого беззмінного вирощування алелопатично активних культур.

Проростання насіння регулюється комплексом фізіолого-біохімічних механізмів, що забезпечують нормальний ріст і розвиток ембріона [14], серед яких ключову роль відіграють рослинні гормони. До основних фітогормонів належать абсцизова кислота, гібереліни, етилен, ауксини, цитокініни та брасиностероїди, які взаємодіють між собою синергетично або антагоністично. Серед них саме абсцизова кислота, гібереліни, цитокініни та ауксини мають визначальне значення для регуляції проростання насіння [15–17].

Експериментальні дані свідчать, що гібереліни стимулюють, а абсцизова кислота пригнічує проростання насіння. Чинники навколишнього середовища здатні модулювати співвідношення гіберелінів та абсцизової кислоти шляхом регуляції активності ферментів, задіяних у біосинтезі та катаболізмі цих гормонів, що безпосередньо впливає на ініціацію проростання [18, 19]. Так, *Murica gale*, листопадний чагарник, містить у плодах і листі флавоноїдний алелохімікат міригалон А, який суттєво впливає на проростання насіння інших рослин [20]. Міригалон А пригнічує розрив ендосперму та подовження корінця у насінні крес-салату, що призводить до гальмування проростання. Міригалон А істотно не змінює вміст абсцизової кислоти, але пригнічує активність гіберелінів у ембріоні, порушуючи біосинтез і сигналізацію гіберелінів, змінюючи їх співвідношення та, як наслідок, впливає на проростання [21–22].

Подібні механізми зафіксовано і для інших рослинних екстрактів. Зокрема, екстракт листя соняшнику підвищував уміст абсцизової кислоти в насінні білої гірчиці та знижував рівень етилену шляхом впливу на активність АСС-синтази й АСС-оксидази, що також призводило до пригнічення проростання [23]. Отже, алелохімічні речовини здатні порушувати ендогенний гормональний баланс насіння на ранніх етапах онтогенезу, що є одним із ключових механізмів їх інгібувальної дії.

Водні екстракти *Ambrosia artemisiifolia* L. істотно знижують енергію проростання та схожість насіння зернових і зернобобових культур, що пов'язують із високим умістом фенольних кислот і сесквітерпенів [24].

У контексті агровиробництва особливу увагу приділяють післяжнивним решткам польових культур як

попередників у сівозмінах. Показано, що солома та кореневі рештки соняшнику, кукурудзи, ріпаку й сорго можуть чинити інгібувальний вплив на проростання насіння пшениці, ячменю та сої. Інтенсивність алелопатичної дії залежить від ступеню подрібнення решток, способу їх заробки в ґрунт і тривалості періоду між збиранням попередника та сівбою наступної культури [25–29].

Проростання насіння є критичним етапом онтогенезу рослин, що визначає подальший ріст, розвиток і формування продуктивності [30, 31]. У сільськогосподарському виробництві рівень і швидкість проростання насіння, а також дружність появи сходів мають вирішальне значення для формування врожаю [32]. Зниження енергії проростання або затримка появи сходів призводять до зменшення густоти стояння рослин і, відповідно, до зниження врожайності культури [33]. У зв'язку з цим дослідження впливу алелохімічних речовин на процеси проростання насіння є надзвичайно важливим. Узагальнення сучасних наукових даних дозволяє поглибити розуміння механізмів регуляції проростання насіння алелохімікатами та оцінити екологічне й агрономічне значення алелопатії, що створює підґрунтя для подальших теоретичних досліджень і практичного використання цих знань.

Мета. Встановити алелопатичний вплив водних витяжок післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки на енергію проростання, лабораторну схожість і темпи проростання насіння кукурудзи, сої та соняшнику.

Матеріали та методика досліджень. Основний метод – лабораторний дослід, додатковий – кореляційний аналіз. Лабораторні дослідження проводили на базі Інституту сільського господарства Степу НААН із використанням ростильних ємностей для пророщування насіння, де визначали алелопатичний вплив водних витяжок післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки на енергію проростання, лабораторну схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику, а також оцінювали їх роль на темпи проростання насіння та розвитку їх корінців.

Залежно від способу збирання врожаю, при вилученні побічної продукції зернових культур на поверхні ґрунту залишається близько 25% післяжнивної біомаси, тоді як за повного повернення рослинних решток в агроценозі зберігається 100% їх маси. Для моделювання впливу різної кількості післяжнивних решток попередників на посівні якості насіння пізніх ярих культур зразки рослинної біомаси відбирали у третій декаді березня.

Оцінювання алелопатичного впливу післяжнивних решток пшениці озимої та кукурудзи на зерно на енергію проростання та лабораторну схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику проводили з використанням водних витяжок, виготовлених за методикою тестових біопроб А.М. Гродзинського. Для приготування витяжок сухий рослинний матеріал подрібнювали та екстрагували у дистильованій воді у співвідношенні 1:10 (2 г біомаси на 20 мл води), що відповідало варіантам із повним залишенням післяжнивної маси (100%), та 1:40 (2 г на 80 мл води), що імітувало умови часткового відчуження побічної продукції (25%). Отримані розчини

витримували у темряві протягом 24 год, після чого фільтрували.

Для визначення лабораторної схожості ростильники застеляли фільтрувальним папером, на який вносили по 10 мл відповідної водної витяжки, після чого висівали по 100 насінин кожної культури у кожному варіанті досліду.

Результати досліджень. Вплив способу збирання попередників, що передбачає вилучення листостеблової маси з поля або її подрібнення з подальшим рівномірним розподілом по поверхні ґрунту, проявлявся вже на початкових етапах онтогенезу пізніх ярих культур – у фазі набухання та проростання насіння.

Проведено дослідження з оцінки аделопатичного впливу післяжнивних решток (побічної продукції) після збирання пшениці озимої, сої, кукурудзи, соняшнику та гречки (в повному обсязі подрібнених та рівномірно розсіяних по полю) на інтенсивність проростання насіння у лабораторних умовах (табл. 1).

Отримані результати свідчать про диференційований характер дії післяжнивних решток попередників на енергію проростання та лабораторну схожість насіння кукурудзи, сої й соняшнику. У контрольному варіанті були найвищі значення досліджуваних показників у всіх культурах: у кукурудзи енергія проростання становила 88%, схожість – 92%; у сої – відповідно 85 та 88%; у соняшнику – 88 та 93%.

Найбільш виражений інгібуєчий ефект на проростання насіння кукурудзи проявила водна витяжка з післяжнивних решток соняшнику: енергія проростання

була менша на 5%, порівняно з контролем, а схожість – на 6%. Це свідчить про високу аделопатичну активність решток соняшнику та їх потенційний негативний вплив на формування сходів наступних культур.

Водні витяжки з післяжнивних решток пшениці озимої та гречки також зумовлювали зниження показників енергії проростання і лабораторної схожості насіння кукурудзи, однак інтенсивність їхнього впливу була на 1% меншою, порівняно з дією побічної продукції соняшнику, і становила відповідно 4 та 5%. Витяжка з рослинних решток кукурудзи знижувала показники якості насіння на рівні 2%, тоді як післяжнивні рештки сої істотно не впливали на енергію проростання та схожість насіння кукурудзи.

Оцінка реакції насіння сої на дію водних витяжок із післяжнивних решток різних сільськогосподарських культур показала, що найбільш виражений негативний вплив мали рештки пшениці озимої: показники енергії проростання знижувалися до 83%, а схожості – до 86%, що на 2% менше порівняно з контролем. Витяжки з післяжнивних решток сої та гречки зумовлювали зменшення показників енергії проростання на 2% та схожості на 1%. Водночас, негативного впливу листостеблової маси кукурудзи і соняшнику на показники якості насіння сої не встановлено.

Для насіння соняшнику більш інгібуєчий вплив мали післяжнивні рештки пшениці озимої, соняшнику та гречки. Пророщування насіння на відповідних водних витяжках спричиняло зниження показників енергії проростання на 5–6%, а схожості – на 5% порівняно з контролем. Натомість, за використання витяжок із

Таблиця 1

Аделопатичний вплив водної витяжки післяжнивних решток попередників на проростання насіння пізніх ярих культур

Водна витяжка з післяжнивних решток попередників	Енергія проростання, %	Схожість насіння, %	Довжина проростків на день від початку проростання, мм		
			4-й	7-й	10-й
Кукурудза					
Дистильована вода (к.)	88	92	3	12	17
Пшениця озима	84	87	1	9	16
Соя	88	92	3	12	17
Кукурудза	86	90	3	12	17
Соняшник	83	86	1	7	14
Гречка	84	87	1	9	16
Соя					
Дистильована вода (к.)	85	88	3	11	15
Пшениця озима	83	86	2	10	14
Соя	83	87	1	9	14
Кукурудза	85	87	2	10	14
Соняшник	85	88	3	11	15
Гречка	83	87	1	9	14
Соняшник					
Дистильована вода (к.)	88	93	3	10	15
Пшениця озима	82	88	1	7	14
Соя	88	92	3	10	15
Кукурудза	87	91	2	9	15
Соняшник	82	88	1	7	13
Гречка	83	89	1	7	13

післяжнивних решток сої та кукурудзи зниження показників якості насіння соняшнику було незначним і становило лише 1–2%.

Аналіз довжини проростків на 4-й, 7-й і 10-й день після закладання досліду дозволив оцінити ступінь алелопатичного впливу рослинних решток на інтенсивність проростання насіння пізніх ярих культур. Найбільші показники довжини проростків насіння кукурудзи (3, 12 і 17 мм) та соняшнику (2–3, 10 і 15 мм) відмічали у контрольних варіантах, а також за пророщування на витяжках із післяжнивних решток сої та кукурудзи на зерно. Для насіння сої ці показники становили 3, 11 і 15 мм у контролі та при використанні витяжки з післяжнивних решток соняшнику.

Найменші значення довжини проростків у всі облікові строки відмічали у варіантах із вираженим алелопатичним ефектом: у насіння кукурудзи – за дії витяжки з післяжнивних решток соняшнику (1, 7 і 14 мм), у насіння сої – решток сої та гречки (1, 9 і 14 мм), у насіння соняшнику – решток соняшнику та гречки (1, 7 і 13 мм відповідно).

Отримані результати свідчать про наявність алелопатичного ефекту післяжнивних решток (побічної продукції), який змінював процес проростання насіння та початковий ріст рослин. Найбільш виражений негативний вплив встановлено при використанні побічної продукції соняшнику (зниження показників схожості й уповільнення росту проростків кукурудзи і соняшнику) та гречки (зниження показників схожості і пригнічення росту проростків сої й соняшнику). Післяжнивні рештки пшениці озимої та кукурудзи на зерно також зумовлювали зменшення лабораторних показників якості насіння й інтенсивності росту проростків пізніх

ярих культур, однак цей ефект був менш вираженим. Післяжнивні рештки сої та кукурудзи не проявляли інгібуючої дії на проростання насіння кукурудзи та соняшнику, показники якого були близькими до контрольних. Водночас, листостеблова маса сої та соняшнику за повторної сівби виявляла автотоксичний ефект, що проявлявся у зниженні якісних показників насіння та уповільненні проростання.

Таким чином, отримані дані підтверджують доцільність урахування алелопатичних ефектів післяжнивних решток у технологіях вирощування сільськогосподарських культур і при плануванні сівозміни, особливо після соняшнику, гречки та зернових культур.

Можливими засобами зниження негативного впливу побічної продукції попередніх культур на стартовий ріст і розвиток пізніх ярих культур є різні способи обробітку ґрунту з урахуванням способу збирання попередника – з вилученням побічної продукції після збирання врожаю, коли на поверхні ґрунту залишається близько 25% рослинних решток, чи за повного (100%) повернення в агроценоз післяжнивної біомаси.

За результатами лабораторних досліджень з використанням водних витяжок післяжнивних решток зернових культур, за різної їх концентрації (табл. 2), встановлено, що застосування післяжнивних решток кукурудзи (як попередника) істотно не впливало на проростання насіння кукурудзи: за концентрації 25% лабораторна схожість становила 91,0%, а за 100% – 90,0%, що було близьким до контрольних значень. Водночас, використання водних витяжок із соломи пшениці озимої проявляло помірний інгібуючий ефект, знижуючи показники енергії проростання та схожості насіння кукурудзи відповідно на 3–4% і 3–5% залежно від концентрації екстракту.

Таблиця 2

Алелопатичний вплив водної витяжки післяжнивних решток попередників різної концентрації на проростання насіння пізніх ярих культур

Водна витяжка післяжнивних решток попередників, % концентрації	Енергія проростання, %	Схожість насіння, %	Довжина проростків на день від закладки, мм		
			4-й	7-й	10-й
Кукурудза					
Дистильована вода (к.)	88	92,0	3	12	17
Пшениця озима, 25%	85	89,0	2	11	17
Пшениця озима, 100%	84	87,0	1	9	16
Кукурудза, 25%	88	91,0	4	13	18
Кукурудза, 100%	86	90,0	3	12	17
Соя					
Дистильована вода (к.)	85	88,0	3	11	15
Пшениця озима, 25%	84	87,0	3	11	15
Пшениця озима, 100%	83	86,0	2	10	14
Кукурудза, 25%	85	88,0	3	11	15
Кукурудза, 100%	85	87,0	2	10	14
Соняшник					
Дистильована вода (к.)	88	93	3	10	15
Пшениця озима, 25%	83	89	1	8	15
Пшениця озима, 100%	82	88	1	7	14
Кукурудза, 25%	88	92	3	10	16
Кукурудза, 100%	87	91	2	9	15

За оцінки впливу післяжнивних решток пшениці озимої та кукурудзи на зерно на лабораторні показники проростання насіння сої встановлено аналогічні залежності, як і для насіння кукурудзи. Водні витяжки з соломи пшениці озимої проявляли інгібуючий ефект до 2,0%, який був більш вираженим за концентрації решток 100%.

Лабораторні дослідження з насінням соняшнику засвідчили його вищу чутливість до алелопатичного впливу післяжнивних решток. Застосування водних витяжок із соломи пшениці озимої зумовило нижчу енергію проростання на 5–6% та схожість – на 4–5%, залежно від концентрації екстракту. Витяжки з післяжнивних решток кукурудзи справляли значно слабший негативний вплив на посівні якості насіння: не більше 1–2% порівняно з контролем.

У цілому, більш виражений алелопатичний ефект на схожість насіння пізніх ярих культур формували післяжнивні рештки пшениці озимої, особливо за моделювання варіанта з повним залишенням її біомаси на поверхні ґрунту.

Окрім впливу на схожість насіння, виявлено алелопатичну дію післяжнивних решток на інтенсивність росту проростків. Використання водної витяжки із соломи пшениці озимої у концентрації 100% найбільше пригнічувало ріст проростків кукурудзи на 4-й та 7-й день, довжина яких була меншою відповідно на 2 та 3 мм порівняно до контролю, а також на 1 та 2 мм порівняно до варіанта з концентрацією решток 25%. Витяжки з післяжнивних решток кукурудзи не мали вираженого інгібуючого ефекту для насіння кукурудзи і навіть сприяли формуванню більших на 1 мм проростків в усі періоди спостережень стартового росту за 25% концентрації решток.

При проростанні насіння сої менші на 1 мм показники довжини проростка в усі періоди спостережень стартового росту відмічали лише під впливом водної витяжки зі 100% післяжнивних решток зернових культур (пшениця і кукурудза). Витяжки з 25% післяжнивних решток обох зернових культур не мали негативного впливу на формування довжини проростків сої.

Оскільки лабораторними дослідженнями виявлено найбільшу чутливість саме насіння соняшнику до алелопатичного впливу післяжнивних решток пшениці озимої, обліками встановлено, що зі зменшенням концентрації витяжки післяжнивних решток зі 100 до 25% на 7-й та 10-й день відбувається покращання показників довжини проростка на 1 мм, з подальшою відсутністю різниці до контролю на 10-й день. Витяжки з післяжнивної маси кукурудзи за концентрації 25% негативно не впливали на ріст проростків соняшнику, тоді як 100% концентрація зумовлювала лише незначне зниження інтенсивності проростання.

Отже, водні витяжки з післяжнивних решток пшениці озимої у високій концентрації, що відповідає варіанту з повним залишенням її біомаси на полі, чинять більш негативний вплив на схожість насіння та ріст проростків пізніх ярих культур. Післяжнивні рештки кукурудзи характеризувалися значно слабшим алелопатичним ефектом. Насіння сої виявило відносно високу стійкість

до дії алелохімічних сполук, тоді як насіння кукурудзи та особливо соняшнику було більш чутливим. З огляду на це, для зменшення негативного впливу соломи пшениці озимої доцільно застосовувати агротехнічні заходи, спрямовані на прискорення її деструкції до сівби наступних культур, що є важливим чинником оптимізації сівозміни.

Висновки. Вплив способу збирання попередників (з вивезенням чи без вивезення побічної продукції) проявлявся вже на початкових етапах проростання насіння пізніх ярих культур. Водні витяжки післяжнивних решток пшениці озимої, соняшнику та гречки знижували енергію проростання та лабораторну схожість насіння, тоді як рештки кукурудзи і сої впливали мінімально. Найбільший інгібуючий ефект спостерігався для насіння кукурудзи та соняшнику на витяжках із решток соняшнику та пшениці озимої, а насіння сої було відносно стійким. Показники довжини проростків також зменшувалися під впливом алелохімічних сполук, особливо при високій концентрації решток пшениці озимої. Результати свідчать про диференційований алелопатичний вплив післяжнивних решток на початковий ріст культур. Урахування цих ефектів при плануванні сівозмін і виборі способу обробки ґрунту дозволить зменшити негативний вплив побічної продукції попередників на сходи та стартовий ріст пізніх культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Weir T.L., Park S.W., Vivanco J.M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*. 2004. 7(4). P. 472–479. DOI: 10.1016/j.pbi.2004.05.007
2. Chon S.U., Jang H.G., Kim D.K., Kim Y.M., Boo H.O., Kim Y.J. Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Scientia Horticulturae*. 2005. 106(3). P. 309–317. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.04.005
3. Ni L.X., Chen S.J., Ren G.X., Hao X.Y. Advance research on the allelopathy of terrestrial plants in inhibition of algae. *Ecology and Environmental Sciences*. 2011. 20(7). P. 1176–1182. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906(2011)07-1176-07
4. Rice E.L. Allelopathy – An update. *The Botanical Review*. 1979. 45(1). P. 15–109
5. Rice E.L. Allelopathy. New York: *Academic Press*. 1984. P. 309–315
6. Dias L.S., Pereira I.P., Dias A.S. Allelopathy, seed germination, weed control and bioassay methods. *Allelopathy Journal*. 2016. 37(1). P. 31–40
7. Guo L.P., Huang L.Q., Jiang Y.X., Lv D.M. Soil deterioration during cultivation of medicinal plants and ways to prevent it. *China J Chin Mater Med*. 2006. 31(9). P. 714–717. PMID: 17048673
8. Farooq M., Jabran K., Cheema Z.A., Wahid A., Siddique K.H.M. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*. 2011. 67(5). P. 493–506. DOI: 10.1002/ps.2091
9. Dorning M., Cipollini D. Leaf and root extracts of the invasive shrub *Lonicera maackii* inhibit seed germination of three herbs with no autotoxic effects. *Plant Ecology*. 2006. 184(2). P. 287–296. – DOI: 10.1007/s11258-005-9073-4.

10. Yu Huiyong, Liang Hongbo, Shen Guoming, Sampietro Diego A., Gao Xinxin. Effects of allelochemicals from tobacco root exudates on germination and seedling growth of tobacco. *Allelopathy Journal*. 2014. 33(1). – P. 107–120.
11. McEwan R.W., Arthur-Paratley L.G., Rieske L.K., Arthur M.A. Multi-assay comparison of seed germination inhibition by *Lonicera maackii* and co-occurring native shrubs // *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2010. 205 (7). P. 475–483. DOI: 10.1016/j.flora.2009.12.031
12. Yang M., Zhang X. D., Xu Y. G., Mei X. Y., Jiang B. B., Liao J. J., ... & Zhu S. S. Autotoxic ginsenosides in the rhizosphere contribute to the replant failure of *Panax notoginseng*. *PLoS One*. 2015. 10 (2) e0118555. DOI: 10.1371/journal.pone.0118555.
13. Asaduzzaman M., Asao T. Autotoxicity in beans and their allelochemicals. *Scientia Horticulturae*. 2012. 134. P. 26–31. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.11.035.
14. Miransari, M., & Smith, D. L. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. 2014. 99. P. 110–121. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2013.11.005
15. Shuai H.W., Meng Y.J., Luo X.F., Chen F., Qi Y., Yang W.Y., Shu K. Auxin regulation of seed dormancy and germination // *Hereditas (Beijing)*. 2016. 38 (4). P. 314–322. DOI: 10.16288/j.ycz.15-464.
16. Shu, K., Chen, Q., Wu, Y. R., et al. ABI4 mediates antagonistic effects of abscisic acid and gibberellins at transcript and protein levels. *The Plant Journal*. 2015. 85(3). P. 348–361. DOI: 10.1111/tpj.12839
17. Linkies, A., & Leubner-Metzger, G. Beyond gibberellins and abscisic acid: How ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cell Reports*. 2012. 31(2). P. 253–270. DOI: 10.1007/s00299-011-1180-6
18. Shu K., Zhang H.W., Wang S.F., Tang J., Zhang Z.W., Wang Y.C., Xie Q. ABI4 regulates primary seed dormancy by regulating the biogenesis of abscisic acid and gibberellins in *Arabidopsis*. *PLoS Genetics*. 2013. 9 (6). e1003577. DOI: 10.1371/journal.pgen.1003577.
19. Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., Steber C. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*. 2008. 59(1). P. 387–415. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740.
20. Popovici J., Bertrand C., Jacquemoud D., Konaté S., Lutts S. An allelochemical from *Myrica gale* with strong phytotoxic activity against highly invasive *Fallopia x bohémica* taxa. *Molecules*. 2011. 16 (3). P. 2323–2333. DOI: 10.3390/molecules16032323.
21. Voegelé A., Graeber K., Oracz K., Tarkowská D., Jacquemoud D., Turečková V., Urbanová T., Strnad M., Leubner-Metzger G. Embryo growth, testa permeability, and endosperm weakening are major targets for the environmentally regulated inhibition of *Lepidium sativum* seed germination by myriganone A // *Journal of Experimental Botany*. 2012. 63 (14). P. 5337–5350. DOI: 10.1093/jxb/ers197.
22. Oracz K., Voegelé A., Tarkowská D., Śliwińska E., Urbanová T., Strnad M., Leubner-Metzger G. Myriganone A inhibits *Lepidium sativum* seed germination by interference with gibberellin metabolism and apoplastic superoxide production required for embryo extension growth and endosperm rupture // *Plant and Cell Physiology*. 2012. 53 (1). P. 81–95. DOI: 10.1093/pcp/pcr124.
23. Gniazdowska A., Oracz K., Bogatek R. Phytotoxic effects of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaf extracts on germinating mustard (*Sinapis alba* L.) seeds // *Allelopathy Journal*. 2007. 19 (1). P. 215–226.
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. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2025.340783
25. Hussain MI, Danish S, Sánchez-Moreiras AM, Vicente Ó, Jabran K, Chaudhry UK, Branca F, Reigosa MJ. Unraveling Sorghum Allelopathy in Agriculture: Concepts and Implications. *Plants (Basel)*. 2021. 10(9). P. 1795. DOI: 10.3390/plants10091795.
26. Janusauskaite D. Allelopathic effect of aqueous extracts of common sunflower on seed germination and growth of field pea. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2023. 110 (1). P. 17–26. DOI: 10.13080/z-a.2023.110.003
27. Khaliq A., Matloob A., Hussain A., Hussain S., Aslam F., Zamir S.I., Chattha M.U. Wheat residue management options affect productivity, weed growth and soil properties in direct-seeded fine aromatic rice. *Clean Soil Air Water*. 2015. 43. P. 1259–1265. DOI: 10.1002/clen.201400523
28. Ferdous Z., Zulfiqar F., Datta A., Hasan A.K., Sarker A. Potential and challenges of organic agriculture in Bangladesh: A review. *J. Crop Improv*. 2021. 35. P. 403–426. DOI: 10.1080/15427528.2020.1849201
29. Scavo A., Abbate C., Mauromicale G. Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant Soil*. 2019. 442. P. 23–48. DOI: 10.1007/s11104-019-03962-x
30. Xiao Z., Zou T., Lu S. Soil microorganisms and allelopathy. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020;27:1057–1065. DOI:10.1016/j.sjbs.2020.01.013
31. Barrero J.M., Downie A.B., Xu Q., Gubler F. A role for barley CRYPTOCHROME1 in light regulation of grain dormancy and germination. *The Plant Cell*. 2014;26(3):1094–1104. DOI:10.1105/tpc.113.121830
32. Ishibashi Y., Koda Y., Zheng S.H., Nakashima A., Watanabe K., Adachi S., Ogata T., Kamiya Y., Seo M. Regulation of soybean seed germination through ethylene production in response to reactive oxygen species. *Annals of Botany*. 2012. 111(1). P. 95–102. DOI:10.1093/aob/mcs264
33. El-Maarouf-Bouteau H., Sajjad Y., Bazin J., Korbei B., Huc L., Meimoun P., Bailly C. Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination. *Plant, Cell & Environment*. 2015. 38(2). P. 364–374. DOI:10.1111/pce.12349

REFERENCES:

- Weir, T. L., Park, S. W., & Vivanco, J. M. (2004). Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(4), 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.05.007>
- Chon, S. U., Jang, H. G., Kim, D. K., Kim, Y. M., Boo, H. O., & Kim, Y. J. (2005). Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 106(3), 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.04.005>
- Ni, L. X., Chen, S. J., Ren, G. X., & Hao, X. Y. (2011). Advance research on the allelopathy of terrestrial plants in inhibition of algae. *Ecology and Environmental*

- Sciences*, 20(7), 1176–1182. [https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906\(2011\)07-1176-07](https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906(2011)07-1176-07)
4. Rice, E. L. (1979). Allelopathy – An update. *The Botanical Review*, 45(1), 15–109.
 5. Rice, E. L. (1984). *Allelopathy*. New York, NY: Academic Press.
 6. Dias, L. S., Pereira, I. P., & Dias, A. S. (2016). Allelopathy, seed germination, weed control and bioassay methods. *Allelopathy Journal*, 37(1), 31–40.
 7. Guo, L. P., Huang, L. Q., Jiang, Y. X., & Lv, D. M. (2006). Soil deterioration during cultivation of medicinal plants and ways to prevent it. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 31(9), 714–717. PMID: 17048673
 8. Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z. A., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*, 67(5), 493–506. <https://doi.org/10.1002/ps.2091>
 9. Dorning, M., & Cipollini, D. (2006). Leaf and root extracts of the invasive shrub *Lonicera maackii* inhibit seed germination of three herbs with no autotoxic effects. *Plant Ecology*, 184(2), 287–296. <https://doi.org/10.1007/s11258-005-9073-4>
 10. Yu, H., Liang, H., Shen, G., Sampietro, D. A., & Gao, X. (2014). Effects of allelochemicals from tobacco root exudates on germination and seedling growth of tobacco. *Allelopathy Journal*, 33(1), 107–120.
 11. McEwan, R. W., Arthur-Paratley, L. G., Rieske, L. K., & Arthur, M. A. (2010). A multi-assay comparison of seed germination inhibition by *Lonicera maackii* and co-occurring native shrubs. *Flora*, 205(7), 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.031>
 12. Yang, M., Zhang, X. D., Xu, Y. G., Mei, X. Y., Jiang, B. B., Liao, J. J., ... & Zhu, S. S. (2015). Autotoxic ginsenosides in the rhizosphere contribute to the replant failure of *Panax notoginseng*. *PLoS One*, 10(2), e0118555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118555>
 13. Asaduzzaman, M., & Asao, T. (2012). Autotoxicity in beans and their allelochemicals. *Scientia Horticulturae*, 134, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.035>
 14. Miransari, M., & Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
 15. Shuai, H. W., Meng, Y. J., Luo, X. F., Chen, F., Qi, Y., Yang, W. Y., & Shu, K. (2016). Auxin regulation of seed dormancy and germination. *Hereditas*, 38(4), 314–322. <https://doi.org/10.16288/j.ycz.15-464>
 16. Shu, K., Chen, Q., Wu, Y. R., et al. (2015). ABI4 mediates antagonistic effects of abscisic acid and gibberellins at transcript and protein levels. *The Plant Journal*, 85(3), 348–361. <https://doi.org/10.1111/tpj.12839>
 17. Linkies, A., & Leubner-Metzger, G. (2012). Beyond gibberellins and abscisic acid: How ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cell Reports*, 31(2), 253–270. <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1180-6>
 18. Shu, K., Zhang, H. W., Wang, S. F., Tang, J., Zhang, Z. W., Wang, Y. C., & Xie, Q. (2013). ABI4 regulates primary seed dormancy by regulating the biogenesis of abscisic acid and gibberellins in *Arabidopsis*. *PLoS Genetics*, 9(6), e1003577. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003577>
 19. Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., & Steber, C. (2008). Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 387–415. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
 20. Popovici, J., Bertrand, C., Jacquemoud, D., Konaté, S., & Lutts, S. (2011). An allelochemical from *Myrica gale* with strong phytotoxic activity against highly invasive *Fallopia × bohemica* taxa. *Molecules*, 16(3), 2323–2333. <https://doi.org/10.3390/molecules16032323>
 21. Voegelé, A., Graeber, K., Oracz, K., Tarkowská, D., Jacquemoud, D., Turečková, V., ... & Leubner-Metzger, G. (2012). Embryo growth, testa permeability, and endosperm weakening are major targets for the environmentally regulated inhibition of *Lepidium sativum* seed germination by myrigalone A. *Journal of Experimental Botany*, 63(14), 5337–5350. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers197>
 22. Oracz, K., Voegelé, A., Tarkowská, D., Śliwińska, E., Urbanová, T., Strnad, M., & Leubner-Metzger, G. (2012). Myrigalone A inhibits *Lepidium sativum* seed germination by interference with gibberellin metabolism and apoplastic superoxide production required for embryo extension growth and endosperm rupture. *Plant and Cell Physiology*, 53(1), 81–95. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr124>
 23. Gniadzowska, A., Oracz, K., & Bogatek, R. (2007). Phytotoxic effects of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaf extracts on germinating mustard (*Sinapis alba* L.) seeds. *Allelopathy Journal*, 19(1), 215–226.
 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. *Agroecol. J.*, 84–98. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340783>
 25. Hussain, M. I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A. M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U. K., Branca, F., & Reigosa, M. J. (2021). Unraveling Sorghum allelopathy in agriculture: Concepts and implications. *Plants (Basel)*, 10(9), 1795. <https://doi.org/10.3390/plants10091795>
 26. Janusauskaite, D. (2023). Allelopathic effect of aqueous extracts of common sunflower on seed germination and growth of field pea. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(1), 17–26. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.003>
 27. Khaliq, A., Matloob, A., Hussain, A., Hussain, S., Aslam, F., Zamir, S. I., & Chattha, M. U. (2015). Wheat residue management options affect productivity, weed growth and soil properties in direct-seeded fine aromatic rice. *Clean Soil Air Water*, 43, 1259–1265. <https://doi.org/10.1002/clen.201400523>
 28. Ferdous, Z., Zulfikar, F., Datta, A., Hasan, A. K., & Sarker, A. (2021). Potential and challenges of organic agriculture in Bangladesh: A review. *Journal of Crop Improvement*, 35, 403–426. <https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1849201>
 29. 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/s11104-019-03962-x>
 30. Xiao, Z., Zou, T., & Lu, S. (2020). Soil microorganisms and allelopathy. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 1057–1065. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.013>
 31. Barrero, J. M., Downie, A. B., Xu, Q., & Gubler, F. (2014). A role for barley CRYPTOCHROME1 in light regulation of grain dormancy and germination. *The Plant Cell*, 26(3), 1094–1104. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.121830>

32. Ishibashi, Y., Koda, Y., Zheng, S. H., Nakashima, A., Watanabe, K., Adachi, S., Ogata, T., Kamiya, Y., & Seo, M. (2012). Regulation of soybean seed germination through ethylene production in response to reactive oxygen species. *Annals of Botany*, 111(1), 95–102. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs264>
33. El-Maarouf-Bouteau, H., Sajjad, Y., Bazin, J., Korbei, B., Huc, L., Meimoun, P., & Bailly, C. (2015). Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination. *Plant, Cell & Environment*, 38(2), 364–374. <https://doi.org/10.1111/pce.12349>

Андрієнко А.Л., Семеняка І.М., Андрієнко О.О., Ткаліч Ю.І. Алелопатична дія післяжнивних решток попередників на посівні якості та проростання насіння пізніх ярих культур

Мета. Встановити алелопатичний вплив водних витяжок післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки на енергію проростання, лабораторну схожість і темпи проростання насіння кукурудзи, сої та соняшнику. **Методи.** Основний – лабораторний дослід, додатковий – кореляційний аналіз. Алелопатичну активність післяжнивних решток оцінювали методом тестових біопроб за водними витяжками різної концентрації. Лабораторні дослідження проводили на базі Інституту сільського господарства Степу НААН. **Результати.** Водні витяжки з післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки проявляли диференційований вплив на енергію проростання та лабораторну схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику. Контрольні показники енергії проростання та схожості насіння були найвищими: кукурудза – 88% та 92%, соя – 85% та 88%, соняшник – 88% та 93%. Значний інгібуєчий ефект спостерігався для насіння кукурудзи на витяжках із решток соняшнику, де енергія проростання була меншою на 5%, а схожість – на 6%. Помірний ефект спостерігався за використання решток пшениці озимої та гречки (зниження 4–5%), слабкий – за решток кукурудзи, а рештки сої майже не впливали на ці показники. Також за дією на довжину проростків насіння кукурудзи найбільш інгібуєчий ефект проявляли рештки соняшнику. Насіння сої найбільш негативно реагувало на рештки пшениці озимої (83% енергії проростання, 86% схожості), помірний ефект спостерігався за решток гречки та сої, а рештки кукурудзи і соняшнику впливали незначно. Для насіння соняшнику найбільш інгібуєчими були рештки пшениці озимої, соняшнику та гречки (зниження показників енергії проростання на 5–6%, схожості – на 5%), тоді як рештки кукурудзи і сої мали слабкий ефект (1–2%). Збільшення концентрації післяжнивних решток пшениці озимої від 25% до 100% призводило до зниження показників енергії проростання та схожості насіння кукурудзи на 3–5%, соняшнику – на 4–6%, тоді як витяжки решток кукурудзи у концентрації 25–100% практично не впливали на проростання насіння кукурудзи та соняшнику. **Висновки.** Вплив способу збирання попередників (з вивезенням чи без вивезення побічної продукції) проявлявся вже на початкових етапах проростання насіння пізніх ярих культур. Водні витяжки післяжнивних решток пшениці озимої, соняшнику та гречки знижували енергію проростання та лабораторну схожість насіння, тоді як рештки кукурудзи і сої впливали мінімально. Найбільший інгібуєчий ефект спостерігався для насіння кукурудзи та

соняшнику на витяжках із решток соняшнику та пшениці озимої, а насіння сої було відносно стійким. Показники довжини проростків також зменшувалися під впливом алелопатичних сполук, особливо при високій концентрації решток пшениці озимої. Результати свідчать про диференційований алелопатичний вплив післяжнивних решток на початковий ріст культур. Урахування цих ефектів при плануванні сівозмін і виборі способу обробки ґрунту дозволить зменшити негативний вплив побічної продукції попередників на сході та стартовий ріст пізніх культур.

Ключові слова: алелопатичні сполуки; побічна продукція; сівозмін; схожість насіння; кукурудза; соя; соняшник.

Andriienko A.L., Semeniaka I.M., Andriienko O.O., Tkalic Yu.I. Allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors on sowing qualities and germination of seeds of late spring crops

Purpose. To establish the allelopathic effect of aqueous extracts of post-harvest residues of winter wheat, corn, soybeans, sunflowers, and buckwheat on the germination energy, laboratory germination, and germination rates of corn, soybean, and sunflower seeds. **Methods.** The main method was laboratory research, supplemented by correlation analysis. The allelopathic activity of post-harvest residues was assessed using test bioassays with aqueous extracts of various concentrations. Laboratory research was conducted at the Institute of Agriculture of the Steppe of the National Academy of Agrarian Sciences. **Results.** Water extracts from post-harvest residues of winter wheat, corn, soybeans, sunflowers, and buckwheat had a differentiated effect on the germination energy and laboratory germination of corn, soybean, and sunflower seeds. The control indicators of germination energy and seed germination were the highest: corn – 88% and 92%, soybeans – 85% and 88%, sunflowers – 88% and 93%. A significant inhibitory effect was observed for corn seeds on extracts from sunflower residues, where germination energy was 5% lower and germination was 6% lower. A moderate effect was observed with the use of winter wheat and buckwheat residues (a decrease of 4–5%), a weak effect was observed with corn residues, and soybean residues had almost no effect on these indicators. Sunflower residues also had the most inhibitory effect on the length of corn seed sprouts. Soybean seeds reacted most negatively to winter wheat residues (83% germination energy, 86% germination), a moderate effect was observed for buckwheat and soybean residues, while corn and sunflower residues had a negligible effect. For sunflower seeds, winter wheat, sunflower, and buckwheat residues were the most inhibitory (a decrease in germination energy by 5–6% and germination by 5%), while corn and soybean residues had a weak effect (1–2%). An increase in the concentration of winter wheat post-harvest residues from 25% to 100% led to a decrease in the germination energy and germination rates of corn seeds by 3–5% and sunflower seeds by 4–6%, while corn residue extracts at a concentration of 25–100% had virtually no effect on the germination of corn and sunflower seeds. **Conclusions.** The effect of the method of harvesting predecessors (with or without removal of by-products) was already evident in the early stages of germination of late spring crops. Water extracts of winter wheat, sunflower, and buckwheat post-harvest residues reduced the germination energy and laboratory germination of seeds, while corn and soybean residues had a minimal effect.

The greatest inhibitory effect was observed for corn and sunflower seeds on extracts from sunflower and winter wheat residues, while soybean seeds were relatively resistant. Sprout length indicators also decreased under the influence of allelochemical compounds, especially at high concentrations of winter wheat residues. The results indicate a differentiated allelopathic effect of post-harvest

residues on the initial growth of crops. Taking these effects into account when planning crop rotations and choosing a method of soil cultivation will reduce the negative impact of by-products of predecessors on the germination and initial growth of late crops.

Key words: allelopathic compounds; by-products; crop rotation; seed germination; corn; soybeans; sunflowers.

Дата першого надходження статті до видання: 16.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026