

Л.В. ОРЕЛ¹, Е.А. ГОЛОВКО², І.М. ЗАЄЦЬ³

¹ Інженерно-технологічний інститут "Біотехніка" УААН
Україна, 65012 м. Одеса, вул. Велика Арнаутська, 19

² Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України
Україна, 01014 м. Київ, вул. Тимірязєвська, 1

³ Житомирський державний університет ім. Івана Франка
Україна, 10008 м. Житомир, вул. Пушкінська, 49

АЛЕЛОПАТИЧНО АКТИВНІ СПОЛУКИ БУР'ЯНОВИХ РОСЛИН ТА НАУКОВІ ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ ФІТОРЕГУЛЯТОРІВ З ГЕРБІЦИДНОЮ ДІЄЮ

На основі алелопатичних властивостей рослин-донорів: осоту рожевого (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), суріпиці звичайної (*Barbarea vulgaris* R. Br.), рутки лікарської (*Fumaria officinalis* L.) було розроблено технологію отримання фіторегуляторів, діючою речовиною яких є полікомпонентна суміш фенольних сполук. Уперше досліджено хімічний склад рослин-донорів (осоту рожевого та суріпиці звичайної), виділено речовини ліпідної та фенольної природи, зокрема з високою рістінгібуючою активністю.

Започатковані академіком А.М. Гродзінським [4, 5, 6] фундаментальні дослідження хімічної взаємодії рослин, включаючи пошук фізіологічно активних сполук, були спрямовані на збереження і відтворення біорізноманіття в природних екосистемах. Аналіз сучасного стану розвитку алелопатичних досліджень показує, що головним регулюючим механізмом функціонування біогеоценозів, особливо агроценозів, є алелопатична активність вищих рослин і донорно-акцепторна взаємодія їх з виділенням цілого пулу алелопатично активних сполук [11, 13].

У США, Японії, Китаї, Іспанії найбільш активно вивчають структуру і біологічну активність фенольних сполук, глікозидів, флавоноїдів, кумаринів. Наприклад, S. Duke із Массачусетса (США) показав, що алелохімікати природного походження належать до перспективних джерел з оригінальними молекулярними мішенями для виробництва гербіцидів [11]. В Японії вивчають алелопатичні властивості сільськогосподарських рослин та супутніх їм видів,

взаємодія між ними, здійснюють пошук алелохімічних сполук із гербіцидними властивостями [12]. Для контролю чисельності бур'янових видів рослин використовують мульчу з рослинних решток віки волосистої та вівса посівного. Прикладні аспекти алелопатії найбільш продуктивно досліджують в Іспанії. Так, F. Macias з колегами отримав патент на застосування природного гербіциду, виділеного на основі сесквітерпенових лактонів поживно-кореневих решток соняшника [13]. При цьому активність алелохімікатів досліджувалася на колеоптилях пшениці і під час проростання насіння біотестів.

У сучасному землеробстві України широко використовують хімічні засоби захисту рослин, зокрема гербіциди, що призводить до зміни екологічних умов, порушення консортивних відносин у біоценозах тощо. Потрапляючи в навколишнє середовище, хімічні ксенобіотики через харчові ланцюги нагромаджуються у біотів у значних концентраціях. Навіть якщо у воді, повітрі або ґрунті вони містяться у допустимих межах, їхня концентрація в живих організмах може значно перевищувати норму [10].

Існуюча екологічна ситуація потребує розробки наукової теорії, яка б сприяла опрацюванню безпечних для довкілля засобів контролю чисельності бур'янів у посівах сільськогосподарських культур. Це дало б змогу поступово відновлювати природне регулювання співвідношення корисних і шкідливих організмів з корекцією в потрібному напрямі. Одним із шляхів створення таких екологічно безпечних засобів є використання алелопатично активних сполук вищих рослин і мікроорганізмів [2, 3].

Відомо, що рослини і мікроорганізми продукують багато вторинних продуктів, більшість з яких має високу біологічну активність, гербіцидну дію. Такі речовини можна використовувати як гербіциди. Вони також можуть бути моделлю для синтезу нових, безпечних для довкілля препаратів [1, 7].

Скринінг алелопатично активних сполук з гербіцидною дією нами було розпочато з вивчення в лабораторних умовах дії водних витяжок і повітряно-сухої маси органів рослин одних видів бур'янів на проростання насіння інших видів бур'янів і культурних рослин за методом А. Гродзінського [4, 6]. Бур'яни збирали у фазу цвітіння. Рослини висушували в затінку до повітряно-сухого стану. Потім листки і стебла подрібнювали і настоювали у воді упродовж 24 год за температури +18...+20 °С. Співвідношення між рослинним матеріалом і водою варіювало від 1:10 до 1:500. Субстратом для пророщування насіння тест-об'єктів були ґрунт і відповідно до поставлених завдань фільтрувальний папір. Повторність дослідів трикратна.

Тестування показало, що найбільше зниження схожості насіння (28,8–41,3%), зокрема щиріці звичайної (*Amaranthus retroflexus* L.) і грициків звичайних (*Capsella bursa-pastoris* L.), зафіксовано при застосуванні екстрактів з листків і суцвіть осоту рожевого (*Cirsium arvense* (L.) Scop), суцвіть суріпиці звичайної (*Barbarea vulgaris* R. Br.), стебел і листків рутки лікарської (*Fumaria officinalis* L.).

Однак у результаті тестування витяжок із надземних органів бур'янів в умовах ґрунту було виявлено, що у більшості випадків інгібуєчий ефект значно знижувався.

Істотний рістінгібуєчий вплив на проростання насіння бур'янів в умовах ґрунту мав тільки екстракт з осоту рожевого і суріпиці звичайної. Особливістю їх дії був селективний інгібуєчий ефект на бур'яни і майже повна відсутність впливу на схожість озимої м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.), озимої твердої пшениці (*T. durum* Desf.) та кукурудзи (*Zea mays* L.).

З метою встановлення сполук, що відповідають за вияв екстрактами із рослин-донорів рістінгібуєчої активності, нами здійснено дослідження хімічного складу надземних органів осоту та суріпиці [8]. Із рослин-донорів були отримані ізольовані класи сполук. Їх тестування дало змогу дійти висновку, що рістінгібуєчу активність мали тільки фракції, що містили суму фенольних сполук і ліпорозчинних речовин.

Основна увага була приділена вивченню фенольних сполук. Використовуючи методи обернено-фазової ВЕРХ та тонкошаровохроматографічне тестування, було встановлено індивідуальні фенольні сполуки, які відповідають за вияв рістінгібуєчої активності. Кількісні співвідношення сполук у рослин-донорів відрізнялись видоспецифічністю, проте у вияві рістінгібуєчої активності, очевидно, велику роль відіграють синергетичні ефекти, зумовлені сполуками, концентрація яких може бути порівняно невеликою [1, 9].

Для розробки фіторегуляторів з гербіцидною дією досліджувався вплив сумішей екстрактів із різних органів рослин-донорів на проростання насіння різних видів бур'янів. Максимальний синергетичний ефект забезпечувала суміш листків осоту і суцвіть суріпиці у масовому співвідношенні компонентів 1:1. Екстракт цієї суміші рослинної сировини було запропонова-

но використовувати як ґрунтовий фіторегулятор, який отримав назву *фітобацин*. Норма витрат – 950 г/га. Також запропоновано використовувати екстракт із суміші суцвіть суріпиці і суцвіть осоту (2:1) як фіторегулятор під назвою *фітобацин-2*. Фіторегулятор, який було отримано на основі суміші надземних частин осоту і рутки лікарської у співвідношенні 1:1,5, дістав назву *фітобафум*.

Вивчення фіторегуляторів у посівах озимої пшениці (у фазу куцїння і молочно-воскової стиглості) показало, що *фітобацин* забезпечував зниження забур'яненості на 20–48%, *фітобацин-2* і *фітобафум* – відповідно на 56–73 та 62–82%.

У посівах кукурудзи (у фазу трьох листків і фазу викидання волоті) запропоновані композиції також виявилися ефективними. Зокрема *фітобацин* знижував забур'яненість залежно від виду бур'яну і року дослідження на 45–82%, *фітобацин-2* – на 65–85, а *фітобафум* – на 72–86%.

Урожайність зерна озимої м'якої пшениці (Альбатрос одеський) у варіанті з *фітобацином* перевищувала середню врожайність із контрольних ділянок на 3,2 ц/га, з *фітобацином-2* – на 4,0, з *фітобафумом* – на 4,6 ц/га. Застосування регуляторів у посівах кукурудзи забезпечило підвищення врожайності зерна на 2,5–2,7 ц/га.

З розвитком і вдосконаленням методів біотехнології з'явилася реальна можливість індукувати інтенсивний калусогенез із різних частин рослини. Як відомо, при цьому зберігається специфічність клітин експланту за хімічним складом. Постійне пасування калусу дає змогу одержувати потрібну кількість калусної маси, з якої на промисловій основі можна виробляти фіторегулятори. Використання біотехнології у виробництві біогербіцидів із калусу виключає агротехнічну необхідність культивування рослин-донорів на земельних площах і забезпечує безперервний, незалежний від вегетаційного сезону, технологічний процес одержання фіторегуляторів.

Для розробки біотехнології виробництва фіторегуляторів з калусної маси використовувався метод культури тканин із застосуванням поживного середовища Мурасіге-Скуга [14]. Нами експериментально було доведено, що калусна маса, одержана з молодих коренів суріпиці звичайної та осоту рожевого, помітно впливала на схожість насіння щиріці звичайної, знижуючи її відповідно до 71,37 та 80,52%. Схожість насіння озимої пшениці становила 97,14%.

Дуже низьку схожість насіння щиріці та озимої пшениці виявлено на середовищі з-під калусів суріпиці та осоту. Установлено, що калус сповільнює ріст проростків щиріці. Так, порівняно з контролем висота їх на калусі суріпиці становила лише 58,86%, а на калусі осоту – 54,17%. Ще менш сприятливим для росту проростків щиріці та пшениці виявилось середовище, на якому росли калуси. При цьому розвиток кореневої системи щиріці повністю інгібувався. На ріст проростків пшениці калус суріпиці звичайної впливав незначною мірою, а осоту польового – навіть стимулював його. Довжина проростка при цьому становила 137,3% від контролю. На середовищі з-під калусу довжина коренів пшениці виявилась у 6,13–8,91, а проростків – у 5,12–7,85 разів меншою щодо контролю.

Таким чином, калусну масу рослин-донорів та поживні середовища з-під них можна розглядати як перспективне джерело сировини для одержання фіторегуляторів з гербіцидною дією. У зв'язку з цим нами опрацьовані технології отримання фіторегуляторів із калусної маси рослин-донорів – суріпиці та осоту (*фітобацин-К*) та із поживних середовищ із-під калусів суріпиці (*барбацин*) та осоту (*цирзеїн*).

Рістінгуюча активність одержаних фіторегуляторів була досить високою – схожість бур'янів знижувалася до 4,7–20,3%. У подальшому, наша увага була зосереджена на можливості синтетичного відтворення природної діючої речовини і розробки на її основі препарату для захис-

ту від бур'янів. Уперше розроблено технологію синтетичного відтворення виділеної з осоту рожевого сполуки з істотною гербіцидною активністю і на цій основі створено препарат *алметид*. Дослідження цього препарату як ґрунтового чинника (норма витрат 0,8 кг/га) показало, що він забезпечував зниження забур'яненості основними дводольними бур'янами на 50,5–83,5%. При обробці цим препаратом сходів бур'янів (норми витрат 0,6 кг/га) ефективність становила 72,3–97,7%.

Вивчення токсикологічних властивостей фіторегуляторів показало, що вони належать до четвертого класу небезпеки. Під час дослідження персистентності фіторегуляторів виявилось, що вони практично повністю інактивуються в ґрунті через 25–30 діб, а синтетичний аналог природної сполуки алметид – через 45 діб.

В окремі роки під час обробки посівів препаратами температура повітря буває порівняно низькою (+8...+12 °С), що негативно впливає на ефективність їх дії. Тому важливо, щоб засоби захисту достатньо ефективно діяли за таких умов.

Фітогербіцидну ефективність алметиду при обробці сходів (норми витрат 0,6 кг/га) досліджували в діапазоні температур +8...+30 °С (табл. 1). Перед цим були отримані 20-денні сходи щиріці і грициків, які розміщували в камері з відповідною температурою. Через десять днів після обробки проводили оцінку ефективності.

Виявилось, що за температури +8...+10 °С гербіцидна дія на рослини щиріці і грициків була в межах 95,0–96,7%. З підвищенням температури ефективність зберігалась на рівні 95,4–99,4%.

Було відмічено різницю в швидкості гербіцидної дії на рослини. Якщо за температури +8...+10 °С рослини відмирали на 7–8-й день, то за температури +23...+30 °С їх загибель фіксувалася на 3–4-й день після обробки алметидом.

Таким чином, за температур +8...+10 °С алметид зберігає високу ефективність при

Таблиця 1. Вплив температури повітря на ефективність гербіцидної дії алметиду (обробка сходів, норма внесення – 0,6 кг/га)

Температура повітря, °С	Інгібуюча дія на сходи, %	
	Щиріці звичайної	Грициків звичайних
+8...+10	97,7 ± 0,9	95,0 ± 2,3
+13...+15	96,9 ± 2,0	97,9 ± 1,7
+18...+20	95,8 ± 1,7	96,9 ± 1,9
+23...+25	97,6 ± 1,0	95,4 ± 1,4
+28...+30	99,4 ± 0,4	97,7 ± 1,2

Таблиця 2. Гербіцидна ефективність алметиду залежно від температури повітря (ґрунтовий препарат, норма внесення – 0,8 кг/га)

Температура повітря, °С	Гербіцидна активність, %	
	Щиріця звичайна	Грицики звичайні
+12...+13	79,9 ± 2,4	95,4 ± 2,3
+20...+21	84,7 ± 2,6	95,9 ± 1,8
+25...+26	84,1 ± 3,5	92,8 ± 3,0

обробці сходів бур'янової рослинності. При застосуванні алметиду як ґрунтового препарату (норма 0,8 кг/га) досліджували дію температури в діапазоні +12...+26 °С (табл. 2).

У результаті вивчення виявлено, що з підвищенням температури повітря схожість насіння щиріці збільшилася з 79,9 до 84,1%. Схожість грициків дещо зменшилась – з 95,4 до 92,8%.

У дослідах з цирзеїном також не виявлено істотного зниження його ефективності за температури +12...+13 °С (табл. 3). Гербі-

Таблиця 3. Гербіцидна ефективність цирзеїну залежно від температури повітря (ґрунтовий препарат, норма внесення – 950 г/га)

Температура повітря, °С	Гербіцидна активність, %	
	Щиріця звичайна	Грицики звичайні
+12...+13	78,2 ± 1,9	87,5 ± 2,7
+20...+21	79,0 ± 2,3	91,9 ± 1,7
+25...+26	82,9 ± 2,1	95,1 ± 0,9

цидна ефективність цього препарату на рослини бур'янів за такої температури була в межах 78,2–87,5%. У варіанті з грициками за температури +25...+26 °С фітотоксичний вплив препарату на рослини відмічався на рівні 95,1%.

Отже, при обробці сходів щиріці звичайної і грициків звичайних препаратом алметид за температури +8...+10 °С зберігається висока (95,0–97,7%) біологічна ефективність. Застосування алметиду як ґрунтового препарату за температури +12...+13 °С забезпечує ефективність гербіцидної дії в межах 79,9–95,4%.

Фітокомпозиція цирзеїну пригнічувала проростання насіння щиріці і грициків у ґрунті за температури +12...+13 °С на рівні 78,2–87,5%.

Таким чином, запропоновано експериментальний підхід до створення фіторегуляторів із гербіцидною дією, який ґрунтується на одній із теоретичних засад алелопатії – донорно-акцепторній взаємодії вищих рослин в агрофітоценозах. Уперше показано можливість використання хімічної взаємодії вищих рослин для створення таких фітопрепаратів. Виявлено три види рослин-донорів алелопатично активних сполук, а саме: осот рожевий, суріпицю звичайну, рутку лікарську. Вивчення фізіолого-біохімічних особливостей цих рослин дало змогу опрацювати теоретичні та експериментальні аспекти створення природних фітогербіцидів.

У перспективі практичне значення матиме синтетичне відтворення природної діючої речовини і розробка на її основі препарату для контролю чисельності бур'янів. Нами розроблено технологію синтетичного відтворення виділеної з осоту рожевого сполуки з істотною гербіцидною активністю – 3-ацетил-6-метоксибензальдегіду і створено препарат алметид.

Дослідження алметиду як ґрунтового препарату (норма внесення 0,8 кг/га) показали, що він забезпечував зниження забур'яненості такими видами, як грицики

звичайні, лобода біла, щиріця звичайна, на 50,5–83,3%. Обробка цим препаратом сходів бур'янів (норма внесення 0,6 кг/га) забезпечила ефективність на рівні 72,3–97,7%.

Гербіцидний ефект препарату, можливо, пов'язаний з блокуванням розщеплення крохмалю. Польові державні дослідження алметиду (1999–2003 рр.) довели, що він є ефективним засобом захисту посівів ярого ячменю та озимої пшениці від основних дводольних бур'янів. Згідно з висновком біолого-господарської експертизи за біологічними показниками він рекомендований до реєстрації в Україні. Висновком державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ погоджено ТУ на виробництво дослідної партії алметиду.

1. Ахов Л.С., Головка Э.А., Мусиенко Н.Н. Комбинированное действие дельтозида и фенолкарбоновых кислот на рост корней кресс-салата // Физиология и биохимия культурных растений. – 1999. – 31, № 5. – С. 351–353.

2. Головка Е.А. Алелопатія, історичні аспекти, еволюція поглядів та методичних підходів // Физиология рослин в Україні: на межі тисячоліть. – 2001а. – Т. 1. – С. 151–167.

3. Головка Е.А. Історико-аналітичний погляд: від класичної фізіології рослин до сучасної алелопатії // Інтродукція рослин. – 2001б. – № 1–2. – С. 5–17.

4. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. – К.: Наук. думка, 1965. – 199 с.

5. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление // Избр. труды. – К.: Наук. думка, 1991. – 432 с.

6. Гродзинский А.М. Основы химической взаимодії рослин. – К.: Наук. думка, 1973. – 206 с.

7. Машковська С.П., Головка Е.А., Григорюк І.П. Фенолкарбонові кислоти видів роду чорнобривці (*Tagetes L.*) // Доп. НАН України. – 2003. – № 5. – С. 158–161.

8. Орел Л.В. Фітопрепарати для боротьби з бур'янами. – Одеса: Маяк, 1997. – 136 с.

9. Райс Э. Аллелопатия: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 392 с.

10. Яблоков А.В. Об отрицательных последствиях применения пестицидов // С.-х. биология. – 1988. – № 3. – С. 99–105.

11. Duke S.O. Novel modes of action from allelochemicals and natural products // Abstracts Third World Congress on allelopathy (Tsukuba, Japan, 2002). – P. 40.

12. Fujii Y., Mizutani J. Allelopathy in Japanese agriculture // Abstracts Third World Congress on allelopathy (Tsukuba, Japan, 2002). – P. 42.

13. Macias F.A., Torres A., Galindo J.L.G. et al. New bioactive terpenoides from sunflower leaver: *Helianthus annuus* cv. Peredovick^R // Abstracts Third World Congress on allelopathy (Tsukuba, Japan, 2002). – P. 251.

14. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant.* – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.

Рекомендувала до друку Л.Д. Юрчак

Л.В. Орел¹, Э.А. Головки², И.М. Заяц³

¹ Інженерно-технологічний інститут "Біотехніка" УААН, Україна, г. Одеса

² Національний ботанічний сад ім. Н.Н. Гришко НАН України, Україна, г. Київ

³ Житомирський державний університет ім. Івана Франка, Україна, г. Житомир

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ И НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ФИТОРЕГУЛЯТОРОВ С ГЕРБИЦИДНЫМ ДЕЙСТВИЕМ

На основе аллелопатических особенностей растений-доноров: осота розового (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), сурепицы обыкновенной (*Barbarea vulgaris*

R. Br.), дьянки лекарственной (*Fumaria officinalis* L.), была разработана технология получения фиторегуляторов, действующим веществом которых является поликомпонентная смесь фенольных соединений. Впервые исследован химический состав растений-доноров (осота розового и сурепицы обыкновенной), выделены вещества липидной и фенольной природы, в том числе с высокой ростингибирующей активностью.

L.V. Orel¹, E.A. Golovko², I.M. Zajets³

¹ Engineering and technological institute 'Biotekhnika', Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, Ukraine, Odessa

² M.M. Grishko National Botanical Gardens, National Academy Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv

³ Ivan Franko Zhytomyr State University, Ukraine, Zhytomyr

ALLELOPATHICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF WEED PLANTS AND SCIENTIFIC PRINCIPLES FOR DEVELOPMENT PHYTOREGULATORS WITH HERBICIDE-LIKE ACTION

On the basis of allelopathic properties of donor plants, viz. *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Barbarea vulgaris* R. Br., *Fumaria officinalis* L., preparation technology of herbicide-like phytoregulators with active substances – polycomponent mixtures of phenolic compounds. Chemical composition of above-mentioned plants has been investigated at the first time. At that the compounds of lipid and phenolic nature with high growth-inhibiting activity have been isolated.