

УДК 581.132:632.954:633.15

## ПІДВИЩЕННЯ ВИБІРНОЇ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ТА СТАН ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЇ РІВНОВАГИ В РАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАМІНІЦИДУ ФЕНОКСАПРОП-*P*-ЕТИЛУ В ПОТРІЙНІЙ СУМІШІ З ГЕРБІЦИДАМИ СИНЕРГІСТОМ ТА АНТАГОНІСТОМ

М.П. РАДЧЕНКО, А.М. СИЧУК, О.П. РОДЗЕВИЧ, Є.Ю. МОРДЕРЕР

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17*

Досліджували фітотоксичну дію грамініциду пума супер (феноксапроп-*P*-етил + антидот (фенхлоразон-етил)) на чутливі до феноксапроп-*P*-етилу рослини вівса та стійкі до нього рослини озимої пшениці у бінарній суміші з синергістом — гербіцидом зенкором (метрибузин), який за механізмом дії належить до інгібіторів транспорту електронів у ФС II хлоропластів, та у потрійній суміші із зенкором та антагоністом — комплексним гербіцидом гродил максі (амідосульфурон + йодосульфурон + антидот (мефенпірдіетил)), діючі речовини якого є інгібіторами ферменту ацетолактатсинтази (АЛС). Встановлено, що метрибузин у широкому діапазоні доз може синергічно підвищувати фітотоксичну дію феноксапроп-*P*-етилу на обидва види рослин. У разі добавляння до бінарної суміші гербіциду інгібітору АЛС вибірна фітотоксичність грамініциду збільшувалась: фітотоксична дія на чутливі рослини вівса синергічно зростала, а вплив на стійку пшеницю — зменшувався. Зміни фітотоксичності корелювали зі змінами індукованих окиснювальних процесів у листках рослин, що є підтвердженням ролі стану прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у детермінації характеру взаємодії грамініцидів з гербіцидами інших класів.

*Ключові слова:* взаємодія гербіцидів, вибірна фітотоксичність, феноксапроп-*P*-етил, метрибузин, інгібітори ацетолактатсинтази, пероксидне окиснення ліпідів.

Грамініциди є селективними гербіцидами, які ефективно контролюють злакові бур'яни в посівах сільськогосподарських культур. Механізм їх фітотоксичної дії пов'язаний з інгібуванням ключового ферменту біосинтезу жирних кислот — ацетил-КоА-карбоксилази (АКК). Селективна дія грамініцидів виключно на рослини родини тонконогових (злакових) пояснюється наявністю в їх пластидах двох типів АКК — чутливого у злакових і стійкого у дводольних видів рослин [12]. Істотним недоліком грамініцидів є антагоністичний характер взаємодії з більшістю гербіцидів, ефективних у боротьбі з дводольними бур'янами: синтетичними ауксинами, гербіцидами інгібіторами АЛС, інгібіторами транспорту електронів (ІТЕ) у ФС II хлоропластів [4]. Винятком із цього правила є препарат зенкор, у сумішах з яким спостерігалось синергічне підвищення ефективності грамініцидів [5, 6]. Діюча речовина зенкору — метрибузин за механізмом фітотоксичності належить до ІТЕ у ФС II, однак на відміну від інших речовин цього класу діє не тільки на дводольні,

а й на злакові види бур'янів, що можливо якимось чином зумовлює особливість його взаємодії з грамініцидами.

Найбільші проблеми, пов'язані з антагоністичною взаємодією, спостерігаються для грамініцидів, які застосовують у посівах зернових колосових для знищення однорічних злакових видів бур'янів, зокрема для препарату пума супер. Антагоністичні втрати ефективності виключають можливість використання останнього у сумішах із синтетичними ауксинами [11, 14]. Застосування пуми супер у сумішах з гербіцидами інгібіторами АЛС, зокрема з препаратом гроділ максі, можливе [3], однак характер взаємодії також є антагоністичним, що за певних умов зменшує ефективність контролювання злакових бур'янів.

Дослідивши взаємодію у потрійній суміші гербіциду ленацилу із синергістом ептамом та антагоністом дуалом, ми встановили, що за певного співвідношення норм внесення синергіста й антагоніста вибірна фітотоксичність ленацилу зростала [2]. Можна очікувати, що аналогічний результат досягатиметься й у потрійній суміші грамініциду пума супер (феноксапроп-*P*-етил, ФП) із синергістом зенкором (метрибузин, МТЗ) та антагоністом гродилом максі. Концентрацію інгібіторів АЛС характеризували концентрацією амідосульфурону (АСФ). Тому першим завданням роботи було вивчення ефекту взаємодії у сумішах ФП із МТЗ залежно від норм внесення гербіцидів та вибір такого співвідношення АСФ і МТЗ, яке б збільшувало фітотоксичну дію на чутливі до ФП однорічні злакові бур'яни і зменшувало вірогідність впливу на культурні рослини, зокрема на озиму пшеницю.

Відомо, що антагоністичне зменшення фітотоксичної дії грамініцидів при комплексуванні з іншими гербіцидами не пов'язане зі змінами в надходженні, транслокації, метаболізмі чи інгібуванні активності АКК [9]. Очевидно, воно може бути детерміноване впливом інших гербіцидів на перебіг патогенезу, індукованого інгібуванням активності АКК. Ми встановили, що розвиток фітотоксичної дії грамініцидів пов'язаний з утворенням активних форм кисню (АФК) [7]. Цілковито обгрунтованим є припущення, що гербіциди, ефективні виключно проти дводольних видів бур'янів, здатні індукувати у злакових бур'янах лише слабкий стрес, наслідком чого є зростання активності антиоксидантних систем та відповідне збільшення стійкості до грамініцидів. Навпаки, якщо за дії гербіциду або іншого чинника прооксидантно-антиоксидантна рівновага в рослинах зміщуватиметься в бік окиснювальних процесів, їх чутливість до дії грамініцидів має зростати. Отже, логічно припустити, що синергічна взаємодія грамініцидів з МТЗ зумовлена тим, що цей гербіцид стимулює окиснювальні процеси не тільки у дводольних, а й у злакових видів рослин. Тому другим завданням роботи була перевірка наявності зв'язку між характером взаємодії ФП з МТЗ і АСФ та перебігом окиснювальних процесів, індукованих дією цих гербіцидів.

### Методика

Ефект взаємодії в сумішах гербіцидів досліджували в умовах вегетаційних дослідів, в яких тест-об'єктом слугували рослини вівса (*Avena sativa* L.) сорту Чернігівський як модель чутливого до пуми супер однорічного злакового бур'яну вівсюга звичайного (*Avena fatua* L.) та озима пшениця (*Triticum aestivum* L.) сорту Смуглянка. Рослини вирощували у пластикових посудинах (1 кг суміші ґрунт : пісок у співвідношенні

2 : 1) на вегетаційному майданчику або у мініфітотроні під люмінесцентними лампами з періодом освітлення 16 год. Рослини обробляли у фазу двох листків зануренням їх на 5 хв у розчин з відповідними концентраціями діючих речовин гербіцидів. Розчини готували з гербіцидних препаратів пума супер (ФП, 69 г/л + антидот фенхлоразон-етил), зенкор (МТЗ, 700 г/кг) та гродил максі (АСФ, 100 г/л + йодосульфуронметил натрію, 25 г/л + антидот мефенпірдіетил, 250 г/л).

Фітотоксичну дію гербіцидів визначали за зниженням вмісту фотосинтетичних пігментів у листках і пригніченням росту рослин, яке оцінювали за зменшенням маси сирої речовини надземної частини рослин порівняно з контролем. Вміст фотосинтетичних пігментів встановлювали за методикою [16] і розраховували на одиницю маси сирої речовини. Масу рослин визначали на десяту добу після обробки гербіцидами.

Інтенсивність реакцій ПОЛ оцінювали за вмістом у листках ТБК-активних продуктів, який вимірювали фотометрично [8]. Для додаткового оцінювання стану антиоксидантної системи встановлювали активність розчинної форми пероксидази за методикою [15].

Ефект взаємодії гербіцидів у сумішах оцінювали за методом Колбі [10] порівнянням фактичної інгібувальної дії суміші з очікуваною, яку розраховували за формулою Говінга [13].

Фітотоксичну дію визначали у восьмиразовій повторності, параметри ПОЛ, вміст пігментів та активність пероксидази — у чотириразовій. Результати оброблено статистично з використанням стандартного комп'ютерного пакета Microsoft Excel та за загальноприйнятою методикою [1].

## Результати та обговорення

Вивченням ефекту взаємодії суміші грамініциду ФП із МТЗ на рослинах вівса за зменшенням маси сирої речовини встановлено, що вона має синергічний характер у широкому діапазоні концентрацій МТЗ. Характер взаємодії змінювався із синергічного на адитивний тільки за низьких концентрацій МТЗ, коли його фітотоксична дія ставала дуже малою (рис. 1). Зростання фітотоксичної дії у сумішах ФП з МТЗ підтверджене й даними щодо зменшення за дії гербіцидів вмісту в листках фотосинтетичних пігментів (табл. 1).

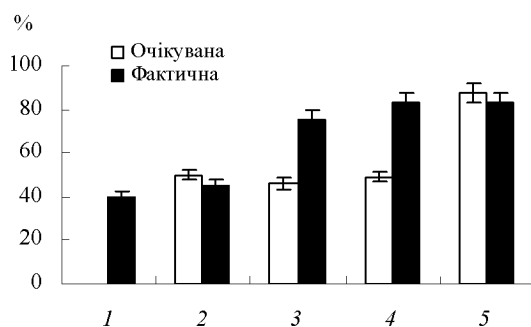


Рис. 1. Інгібувальна дія (%) феноксапроп-*P*-етилю ( $5 \cdot 10^{-4}$  М) та його сумішей з метрибузином на наростання маси сирої речовини рослин вівса:

1 — ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$  М); 2–5 — суміші з МТЗ концентраціями відповідно  $10^{-4}$ ,  $2 \cdot 10^{-4}$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-4}$  М

Залежність ефекту взаємодії від концентрації ФП виявилась сильнішою, ніж для МТЗ. За зменшення концентрації ФП з  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $10^{-4}$  М характер взаємодії змінився із синергічного на адитивний (рис. 2). Отже, отримані дані підтвердили принципову можливість використання менших норм МТЗ для підвищення фітотоксичної дії грамініциду ФП на злакові бур'яни, але тільки за умови достатньої

ПОВЫШЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст фотосинтетичних пігментів (мкг/мг сирої речовини) в листках рослин вівса на п'яту добу після обробки феноксапроп-*P*-етилом ( $5 \cdot 10^{-4}$  М) та його сумішами з метрибузином

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Каротиноїди
Контроль	0,94±0,03	0,27±0,02	0,26±0
ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$ М)	0,42±0,02	0,13±0,01	0,15±0,01
ФП + МТЗ ( $10^{-4}$ М)	0,27±0,04	0,1±0,02	0,08±0,02
ФП + МТЗ ( $2 \cdot 10^{-4}$ М)	0,33±0,05	0,14±0,06	0,09±0,01
ФП + МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$ М)	0,33±0,06	0,12±0,02	0,14±0,01
ФП + МТЗ ( $5 \cdot 10^{-4}$ М)	0,24±0,06	0,11±0,04	0,08±0,01
МТЗ ( $10^{-4}$ М)	0,64±0,04	0,23±0,05	0,16±0,01
МТЗ ( $2 \cdot 10^{-4}$ М)	0,83±0,07	0,34±0,04	0,19±0,03
МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$ М)	0,70±0,04	0,28±0,01	0,17±0,02
МТЗ ( $5 \cdot 10^{-4}$ М)	0,62±0,01	0,22±0,03	0,18±0,01

концентрації самого грамініциду.

Визначенням вмісту продуктів ПОЛ за дії сумішей ФП із МТЗ встановлено, що синергічне підвищення фітотоксичності супроводжувалось збільшенням вмісту в листках вівса ТБК-активних речовин (табл. 2).

Дослідженням ефекту взаємодії у потрійній суміші ФП + МТЗ з інгібіторами АЛС доведено, що за певних норм внесення АСФ вибірна фітотоксичність грамініциду зростала. Так, додавання АСФ до суміші ФП із МТЗ приводило до зменшення фітотоксичної дії цієї суміші на рослини пшениці і навіть до деякого її підвищення на рослини вівса, що позитивно корелювало із вмістом ТБК-активних речовин. Так, АСФ гальмував індуковане дією суміші ФП із МТЗ зростання вмісту ТБК-активних речовин у рослин пшениці й вірогідно підвищував цей показник у рослин вівса (рис. 3).

Активність антиоксидантної системи в основному негативно корелювала з по-

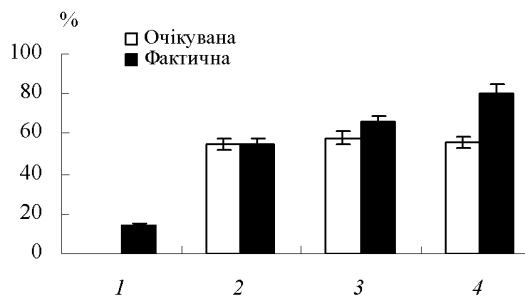


Рис. 2. Інгібувальна дія (%) метрибузину ( $3 \cdot 10^{-4}$  М) та його сумішей із феноксапроп-*P*-етилом на наростання маси сирої речовини рослин вівса:

1 – МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$  М); 2–4 – суміші з ФП концентраціями відповідно  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-4}$  М

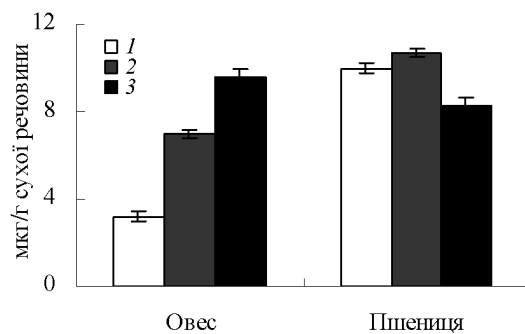


Рис. 3. Вміст ТБК-активних речовин (мкг/г сухої речовини) у листках вівса (модель злакових бур'янів) та озимої пшениці (культура) на третю добу після дії гербіцидів:

1 – контроль; 2 – ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$  М) + МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$  М); 3 – ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$  М) + МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$  М) + АСФ ( $2,5 \cdot 10^{-5}$  М)

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст ТБК-активних речовин (мкг/г сухої речовини) в листках рослин вівса на восьму добу за дії метрибузину ( $3 \cdot 10^{-4}$  М) та його сумішей із феноксапроп-Р-етилом

Варіант	Вміст, мкг/г сухої речовини
Контроль	9,1±0,4
ФП ( $5 \cdot 10^{-5}$ М)	10,8±0,6
ФП ( $10^{-4}$ М)	12,8±0,4
ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$ М)	13,7±0,6
МТЗ ( $3 \cdot 10^{-4}$ М)	14,4±0,3
ФП ( $5 \cdot 10^{-5}$ М) + МТЗ	14,0±0,4
ФП ( $10^{-4}$ М) + МТЗ	14,3±0,6
ФП ( $5 \cdot 10^{-4}$ М) + МТЗ	20,3±0,7

ТАБЛИЦЯ 3. Активність розчинної форми пероксидази в листках рослин вівса та озимої пшениці на п'яту добу після дії гербіцидів

Варіант	Активність, ум. од/(г сухої речовини · хв)	
	Овес	Пшениця
Контроль	39,3±2,1	165±7
ФП + МТЗ + АСФ ( $2,5 \cdot 10^{-5}$ М)	20,7±0	164±5
ФП + МТЗ + АСФ ( $5 \cdot 10^{-5}$ М)	31,8±3,2	352±12

казниками фітотоксичності. Так, інгібування рослин вівса сумішшю ФП із МТЗ призводило до зниження активності антиоксидантного ферменту — розчинної форми гваяколпероксидази на 35 % (табл. 3). Водночас у разі додавання АСФ у нижчій із досліджуваних концентрацій активність цього ферменту підтримувалась у рослин пшениці на рівні контролю, а за вищої концентрації АСФ активність пероксидази зростала вдвічі (див. табл. 3). Отримані результати підтвердили роль активації окиснювальних процесів у детермінації взаємодії грамініцидів з гербіцидами інших класів.

Таким чином, встановлено принципову можливість підвищення вибіркової фітотоксичності грамініциду ФП застосуванням його у потрібній суміші з синергістом МТЗ та антагоністом АСФ. За певного співвідношення норм внесення синергіста й антагоніста фітотоксична дія на чутливі до ФП рослини вівса (модель злакових бур'янів) зростала, а вплив на стійкі рослини озимої пшениці, навпаки, зменшувався. Крім того, підтверджено, що характер взаємодії у сумішах грамініцидів з гербіцидами інших класів детермінований їх впливом на стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в рослинах.

1. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного опыта. — М.: Наука, 1968. — 260 с.
2. Мордерер Е.Ю. Коррекция избирательной фитотоксичности гербицидов в тройных комплексах // Физиология и биохимия культ. растений. — 1998. — 30, № 3. — С. 181—186.
3. Мордерер Е.Ю., Мережинський Ю.Г. Бакові суміші гербіцидів. Застосування препаратів похідних сульфонілсечовини з похідними арилоксифеноксипропіонової кислоти для захисту посівів озимої пшениці та ярого ячменю // Захист рослин. — 2001. — № 10. — С. 11—12.
4. Мордерер Е.Ю., Мережинський Ю.Г. Гербіциди. Механізми дії та практика застосування. — К.: Логос, 2009. — 379 с.

5. *Мордерер Е.Ю., Мережинский Ю.Г., Григоренко Н.В., Лук'янченко О.С.* Бакові суміші пестицидів дають змогу істотно поліпшити захист посівних томатів від бур'янів та хвороб // *Захист рослин.* — 1998. — № 9. — С. 16—17.
6. *Мордерер Е.Ю., Мережинский Ю.Г., Григоренко Н.В., Лук'янченко А.С.* Применение гербицидов с добавлением инсектофунгицидов при возделывании картофеля // *Вісн. аграрної науки.* — 1999. — № 9. — С. 22—25.
7. *Паланиця М.П., Трач В.В., Мордерер Е.Ю.* Генерування активних форм кисню за дії грамініцидів і модифікаторів їх активності // *Физиология и биохимия культ. растений.* — 2009. — **41**, № 4. — С. 328—334.
8. *Bieri J., Anderson A.* Peroxidation of lipids in tissue homogenates as related to vitamin E // *Arch. Biochem. Biophys.* — 1960. — **1**. — P. 105—110.
9. *Bjelk L., Monaco T.* Effect of chlorimuron and quizalofop on fatty acid biosynthesis // *Weed Sci.* — 1992. — **40**. — P. 1—16.
10. *Colby S.R.* Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations // *Ibid.* — 1969. — **15**. — P. 20—22.
11. *Dechamps J.A., Hsiao A.I., Quick W.A.* Antagonistic effect of MCPA on fenoxaprop activity // *Ibid.* — 1990. — **38**. — P. 62—66.
12. *Delye C.* Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update // *Ibid.* — 2005. — **53**. — P. 728—746.
13. *Goving D.P.* Comments on tests of herbicide mixtures // *Ibid.* — 1960. — **8**. — P. 379—391.
14. *Mueller T., William W., Barret M.* Antagonism of johnsongrass control with fenoxaprop, haloxyfop and sethoxydim by 2,4-D // *Weed Technol.* — 1989. — **3**. — P. 86—89.
15. *Ridge I., Osborne D.* Hydroxyproline and peroxidases in cell walls of *Pisum sativum*: regulation by ethylene // *J. Exp. Bot.* — 1970. — **21**. — P. 843—856.
16. *Welburn A.R.* The spectral determination of chlorophylls *a* and *b* as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution // *J. Plant Physiol.* — 1994. — **144**. — P. 248—254.

Отримано 20.03.2013

ПОВЫШЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ И СОСТОЯНИЕ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОГО РАВНОВЕСИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГРАМИНИЦИДА ФЕНОКСАПРОП-*P*-ЭТИЛА В ТРОЙНОЙ СМЕСИ С ГЕРБИЦИДАМИ СИНЕРГИСТОМ И АНТАГОНИСТОМ

*М.П. Радченко, А.М. Сычук, Е.П. Родзевич, Е.Ю. Мордерер*

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Исследовали фитотоксическое действие граминицида пума супер (феноксапроп-*P*-этил + антидот (фенхлоразон-этил)) на чувствительные к феноксапроп-*P*-этилу растения овса и устойчивые к нему растения озимой пшеницы в бинарной смеси с синергистом — гербицидом зенкором (метрибузин), который по механизму действия принадлежит к ингибиторам транспорта электронов в ФС II хлоропластов, и в тройной смеси с зенкором и антагонистом — комплексным гербицидом гродил макси (амидосульфурон + йодосульфурон + антидот (мефенпирдиэтил)), действующие вещества которого являются ингибиторами фермента ацетолактатсинтазы (АЛС). Установлено, что метрибузин в широком диапазоне доз может синергически повышать фитотоксическое действие феноксапроп-*P*-этила на оба вида растений. При добавлении к бинарной смеси гербицида ингибитора АЛС избирательная фитотоксичность граминицида увеличивалась: фитотоксическое действие на чувствительные растения овса синергически возрастало, а влияние на устойчивую пшеницу — уменьшалось. Изменения фитотоксичности коррелировали с изменениями индуцированных окислительных процессов в листьях растений, что подтверждает роль состояния прооксидантно-антиоксидантного равновесия в детерминировании характера взаимодействия граминицидов с гербицидами других классов.

THE INCREASING OF GRAMINICIDE FENOXAPROP-*P*-ETHYL SELECTIVE PHYTOTOXICITY AND STATE OF PROOXIDANT-ANTIOXIDANT BALANCE UNDER THE APPLYING IN TANK MIXTURE WITH SYNERGISTIC AND ANTAGONISTIC HERBICIDES

*M.P. Radchenko, A.M. Sychuk, E.P. Rodzewich, Ye.Yu. Morderer*

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

The phytotoxic action of graminicide puma super (fenoxaprop-*P*-ethyl + antidote (fenchlorazon-ethyl)) with synergist herbicide zenkor (metribuzin) in binary mixture and in triple mixture with zenkor and antagonist — complex herbicide grodil maxi (amidosulfuron + iodosulfuron + antidote (mefenpirdiethyl)) was studied. It was shown, that zenkor in a wide dose diapason can to increase synergistic of puma super phytotoxic action on sensitive to graminicide oat and resistant winter wheat plants. It was established, that adding of grodil maxi to binary mixture results in a synergistic increase of phytotoxic action on sensitive oat and decrease of the action on resistant wheat. The changes in the phytotoxicity correlated with the changes in character of induced oxidative processes in plants leaves. This confirms the participation of state of prooxidant-antioxidant balance in determination of character of graminicide interaction with other herbicides.

*Key words:* herbicides interaction, selective phytotoxicity, puma super, zenkor, grodil maxi, lipid peroxidation.