

УДК: 581.132:632.954:633.15

Вплив хітозану та колоїдного розчину заліза на фітотоксичність гербіциду піроксуламу

В.В. Трач¹, Р.В. Сонько², Ж.З. Гуральчук¹, К.Г. Лопатько²,
 О.М. Щербакова², Л.М. Гончар², С.О. Гринюк¹

¹Інститут фізіології рослин і генетики НАН України (Київ, Україна)

²Національний університет біоресурсів і природокористування України (Київ, Україна)
 valentr2000@rambler.ru

У вегетаційному досліді вивчали вплив хітозану, колоїдного розчину заліза та мікробіологічного препарату Екстрасол на фітотоксичність гербіциду піроксуламу після позакореневої обробки рослин гороху, які використовували в якості моделі дводольних бур'янів. Було показано, що поєднання гербіциду піроксуламу з колоїдним розчином Fe або розчином хітозану збільшувало фітотоксичну дію гербіциду. Припускається, що підвищення ефективності дії гербіциду піроксуламу даними препаратами відбувається за рахунок стимулювання вторинних індукованих реакцій, пов'язаних, зокрема, з їх дією на стан антиоксидантно-прооксидантної рівноваги.

Ключові слова: піроксулам, хітозан, залізо, колоїдний розчин, ріст, хлорофіл, каротиноїди, Екстрасол.

Влияние хитозана и коллоидного раствора железа на фитотоксичность гербицида пироксулама

В.В. Трач, Р.В. Сонько, Ж.З. Гуральчук, К.Г. Лопатько,
 О.М. Щербакова, Л.М. Гончар, С.А. Гринюк

В вегетационном опыте изучали влияние хитозана, коллоидного раствора железа и микробиологического препарата Экстрасол на фитотоксичность гербицида пироксулама после внекорневой обработки растений гороха, которые использовали в качестве модели двудольных сорняков. Было показано, что сочетание гербицида пироксулама с коллоидным раствором Fe или раствором хитозана увеличивало фитотоксическое действие гербицида. Предполагается, что повышение эффективности действия гербицида пироксулама данными препаратами происходит за счет стимулирования вторичных индуцированных реакций, связанных, в частности, с воздействием препаратов на состояние антиоксидантно-прооксидантного равновесия.

Ключевые слова: пироксулам, хитозан, железо, коллоидный раствор, рост, хлорофилл, каротиноиды, Экстрасол.

Influence of chitosan and colloidal solution of iron on phytotoxicity of herbicide pyroxsulam

V.V. Trach, R.V. Son'ko, Zh.Z. Guralchuk, K.G. Lopat'ko,
 O.M. Shcherbakova, L.M. Gonchar, S.O. Grynyuk

The action of herbicide pyroxsulam and chitosan, colloidal solution of iron and microbiological preparation Extrasol on the pea plants that are used as a model dicotyledonous weeds were studied under greenhouse experiment. It has been shown that the use of chitosan and a colloidal solution of iron modified an effect of pyroxsulam on pea plants. It is assumed that the increasing efficiency of herbicide pyroxsulam by these preparations is due to stimulation of induced secondary reactions and associated in particular with their effects on antioxidant-prooxidant balance.

Key words: pyroxsulam, chitosan, iron, colloidal solution, growth, chlorophyll, carotenoids, Extrasol.

Вступ

Розвиток зернового господарства неможливий без використання високоефективних засобів захисту рослин. Раніше для боротьби зі злаковими бур'янами у посівах зернових культур застосовували грамініциди, які є досить високоефективними, однак їх дія значною мірою залежить від погодних умов. Крім того, швидко зростає чисельність популяцій бур'янів, стійких до їх впливу, а також у зв'язку з тим, що грамініциди діють виключно на злакові види бур'янів, постає необхідність комбінувати їх із

гербицидами, які діють на дводольні види, що може призводити до зменшення ефективності грамініцидів (Мордерер, 2012). Значний інтерес викликає поява нових гербицидів, які можуть контролювати одночасно однодольні й дводольні види бур'янів. Таким гербицидним препаратом є піроксулам, який за хімічною будовою належить до класу триазолініпіримідинсульфонамідів, а за механізмом дії – до інгібіторів ацетолактатсинтази (АЛС), яка бере участь у синтезі амінокислот з розгалуженим ланцюгом: валіну, лейцину, ізолейцину. Гербициди цієї групи є найбільш ефективними сучасними гербицидними препаратами, які характеризуються тим, що контролюють широкий спектр видів бур'янів і застосовуються на багатьох сільськогосподарських культурах. Дослідженнями, проведеними в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України, показано, що гербицид Паллас, до складу якого входить піроксулам, у посівах пшениці ефективно контролював багато видів однорічних злакових та окремі види дводольних бур'янів (Мордерер, 2012).

Оскільки головна дія піроксуламу (Палласу) спрямована на контролювання злакових бур'янів, може виникнути потреба у підсиленні дії цього гербицидного препарату на дводольні їх види. Попередніми дослідженнями (Трач та співавт., 2011) нами було показано, що препарат хітозан прискорює дію на чутливі види бур'янів гербицидів, які, як і піроксулам, є інгібіторами АЛС, проте належать до інших класів (зокрема, гранстару). В літературі практично відсутні дані про спільне застосування гербицидів різних механізмів дії та хітозану за позакореневої обробки рослин. Вивчення цих питань є вкрай актуальним, оскільки добре відомо, що отримання високих урожаїв неможливе без застосування гербицидів. Спільне застосування різних препаратів в одній баковій суміші є економічно вигідним, оскільки дозволяє скоротити кількість обробок. Однак воно стає можливим тільки в тому випадку, якщо попередніми дослідженнями показано відсутність антагонізму між компонентами суміші.

У практиці сільського господарства досить широко застосовуються мікробіологічні препарати, зокрема Екстрасол, проте ефективність їх сумісного застосування з гербицидами різних класів все ж залишається не вивченою. У літературі також відсутні дані про спільне застосування для обробки посівів гербицидів і колоїдних розчинів мікроелементів, перспективність використання яких інтенсивно досліджується останнім часом.

У зв'язку з цим мета даної роботи полягала у вивченні можливості модифікації фітотоксичної дії гербициду піроксуламу за допомогою хітозану, мікробіологічного препарату Екстрасол та колоїдного розчину заліза на дводольні види бур'янів.

Об'єкти і методи дослідження

Можливість модифікації фітотоксичної дії гербициду піроксуламу за рахунок застосування елісатору хітозану, колоїдного розчину заліза та мікробіопрепарату Екстрасол вивчали в умовах вегетаційного досліду. Дослідження проводили з рослинами гороху (*Pisum sativum* L.), які використовували як модель середньочутливих дводольних бур'янів. Рослини вирощували у пластикових посудинах з ґрунтом (використовували суміш ґрунту з піском у співвідношенні 3:1) на вегетаційному майданчику Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. У фазі 3 справжніх листків їх обробляли піроксуламом ($5 \cdot 10^{-5}$ М), колоїдним розчином заліза (0,1 мг/л), хітозаном (0,2 %-ний розчин) та препаратом Екстрасол (0,1 %-ний розчин). В якості контролю слугували рослини, оброблені водою. Повторність досліду 5-разова.

Хітозан є полі(1,4)-2-аміно-2-дезоксид-бета-D-глюканом. Це лінійний полісахарид – похідна природного біополімеру хітину, який є другою (після целюлози) за розповсюдженістю у природі органічною речовиною (Muzzarelli, 1986).

Мікробіологічний препарат Екстрасол, розроблений Всеросійським науково-дослідним інститутом сільськогосподарської мікробіології, містить у своєму складі чисту бактеріальну культуру *Bacillus subtilis* штам Ч-13 у формі рідкої суспензії з вмістом біоагенту не менше 100 млн бактерій в 1 г препарату. Препарат призначений для зниження хімічного навантаження і підвищення продуктивності зернових, зернобобових, технічних та овочевих культур. Застосування даного препарату не передбачає відмову від хімічних засобів, при цьому їх використання є більш раціональним і екологічно збалансованим (Чеботарь и соавт., 2007).

Колоїдний розчин заліза отримували методом електроіскрового синтезу у плазмі розряду між струмопровідними гранулами (гранулами заліза) у воді (Лопатько та співавт., 2013). Фізичні параметри, що характеризують стан і властивості колоїдних систем – електрокінетичний потенціал і розміри частинок дисперсної фази, визначали методом зворотного розсіювання лазерного випромінювання (Zetasizer NS) та за допомогою скануючої електронної мікроскопії Jeol JSM6360 (рис. 1).

Виходячи з того, що основні властивості наноматеріалів формуються на стадії їх утворення, питання біологічної ефективності тісно пов'язані з кінетикою процесів, що відбуваються в реакційній зоні розрядної камери (Щерба та співавт., 2010). Поєднання інтенсивного теплового та силового впливу на метал, які відбуваються впродовж надкороткого часу, створює передумови отримання матеріалів із різко нерівноважною структурою, а отже, з підвищеним рівнем вільної енергії та, як наслідок, підвищеною здатністю до взаємодії з компонентами навколишнього середовища. Колоїдна форма металів, де дисперсійним середовищем є вода, по-перше, розглядається як найбільш природний носій для мінерального живлення організмів, по-друге, забезпечує тривалий дисперсно-ізолюваний стан дисперсної фази. Це дає можливість для точного нормування діючої речовини, що зазвичай є неможливим за використання ультрадисперсних порошків металів.

Фітотоксичність гербіцидів визначали за показником інгібувальної дії на наростання маси сирі речовини надземної частини рослин. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках гороху визначали за методом Wellburn (1994). Дослідження особливості реакції фотосинтетичного апарату рослин на обробку піроксуламом, хітозаном, препаратом екстрасол та колоїдним розчином Fe проводили методом реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Для реєстрації ІФХ використовували портативний флуорометр «Флоратест» (Україна). Дослідження проводили на третьому повністю сформованому листку на момент початку вимірювань. Характеристику стану фотосинтетичного апарату рослин проводили за зміною параметра F_v/F_p , значення якого залежить від ефективності фотохімічних реакцій фотосистеми II (ФС II). Кореляція цього параметра з квантовим виходом фотосинтезу дозволяє використовувати його для характеристики процесів фотосинтезу в межах цілого організму (Корнеев, 2002, Рубин, Кренделева, 2003). Статистичну обробку результатів здійснювали за Доспєховим (1985). У таблицях наведені середні значення вимірюваних показників та стандартне відхилення, на рис. 2 – довірчий інтервал. Різницю за варіантами оцінювали за критерієм Стюдента.

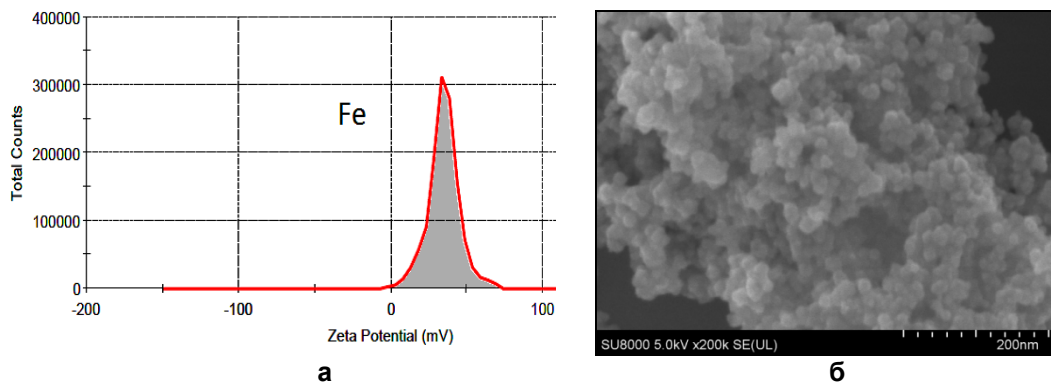


Рис. 1. Значення електрокінетичного потенціалу (а) та електронна мікроскопія наночастинок заліза (б), що отримані електроіскровим синтезом

Результати та обговорення

В ході проведених досліджень було встановлено, що піроксулам значною мірою пригнічував ріст рослин гороху. Так, на 21-у добу після позакореневої обробки рівень наростання маси сирі речовини надземної частини гороху був на 43% меншим порівняно з контролем (рис. 1). Позакоренева обробка рослин хітозаном, а також колоїдним розчином заліза, навпаки, стимулювала їх ріст. Препарат Екстрасол за його застосування без гербіциду чинив найбільший позитивний вплив на наростання надземної маси рослин гороху порівняно з двома вище згаданими препаратами. Сумісне застосування піроксуламу та хітозану посилювало фітотоксичну дію піроксуламу на рослини гороху, що слугували моделлю дводольних бур'янів. Колоїдний розчин заліза за сумісної позакореневої обробки рослин з піроксуламом також збільшував його негативний вплив на рослини, оскільки спостерігалось інгібування росту рослин порівняно з варіантом, де рослини обприскували одним лише піроксуламом. Застосування всіх трьох препаратів (хітозану, колоїдного розчину заліза і препарату Екстрасол) на фоні внесення гербіциду не призводило до подальшого підсилення його фітотоксичної дії порівняно із застосуванням хітозану.

Одним із наслідків обробки гербіцидами, як правило, є зміни антиоксидантно-прооксидантної рівноваги рослин. Так, розвиток фітотоксичної дії грамініцидів реалізується внаслідок утворення в меристемах злакових рослин активних форм кисню, які зумовлюють некротизацію меристем і подальшу загибель рослин (Паланиця та співав., 2009). Раніше нами було показано, що ефективність дії гербіциду феноксапроп-*p*-етилу, який є інгібітором ацетил-КоА-карбоксилази, синергічно посилювалась за використання його в суміші з гербіцидом прооксидантом метрибузином і супроводжувалась збільшенням вмісту продуктів пероксидного окиснення ліпідів (Мордерер та співав., 2009). Можна припустити, що в фітотоксичній дії гербіцидів інгібіторів АПС також можуть брати участь активні форми кисню, і, відповідно, за додавання прооксидантів відбувається її посилення.

Хітозан, як олігосахаридний продукт гідролізу хітину, аналогічно β -1,3-поліглюканам клітинних стінок патогенів, має еліситорні властивості. Відомо, що обробка рослин еліситорами викликає у рослин так званий окиснювальний вибух – різке підвищення кількості активних форм кисню та азоту (Озерецковская и соавт., 2002). Вперше еліситорні властивості хітозану були продемонстровані Хедвігером (Hadwiger et al., 1984). Наприклад, встановлено, що хітозан викликає в тканинах бульб картоплі системне утворення супероксиду - однієї з найбільш реакційноздатних форм активного кисню (Переход и соавт., 1999). Попередніми нашими дослідженнями (Трач та співав., 2011) було показано, що при обробці рослин вівса, які слугували модельним об'єктом однодольних бур'янів, феноксапроп-*p*-етилу та метрибузином із додаванням 0,1% хітозану, вміст ТБК-активних речовин різко збільшувався, що призводило до значного посилення хітозаном фітотоксичної дії суміші цих гербіцидів на рослини вівса.

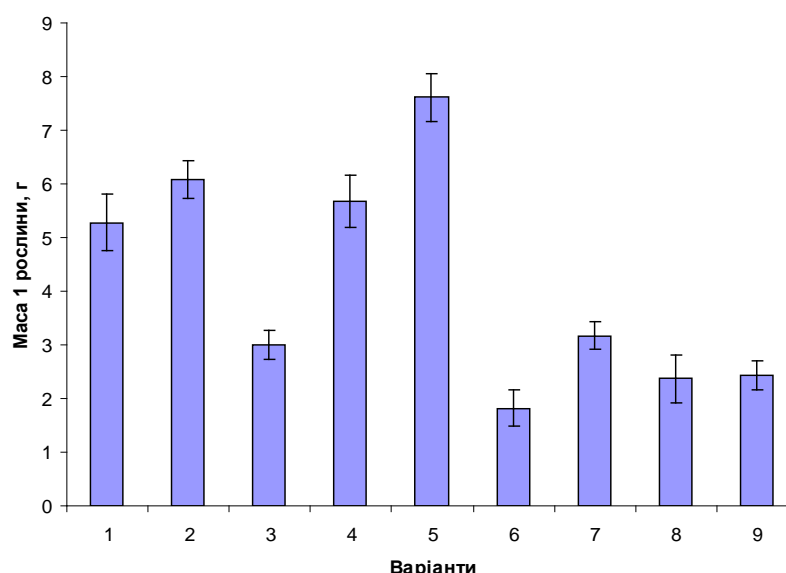


Рис. 2. Середня маса надземної частини рослин гороху на 21-у добу після позакореневої обробки: 1 - Контроль (водою); 2 - Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л); 3 - Піроксулам $5 \cdot 10^{-5}$ М; 4 - Хітозан 0,2 %; 5 - Екстрасол 0,1 %; 6 - Піроксулам $5 \cdot 10^{-5}$ М + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л); 7 - Піроксулам $5 \cdot 10^{-5}$ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л); 8 - Піроксулам $5 \cdot 10^{-5}$ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л) + Хітозан 0,2 %; 9 - Піроксулам $5 \cdot 10^{-5}$ М + Хітозан 0,2 %

Таким чином, можна припустити, що додавання хітозану може стимулювати розвиток фітотоксичної дії піроксуламу за рахунок його впливу на утворення активних форм кисню. Відомо також, що хітозан є добрим комплексоутворювачем і має властивості ад'юванта, що також може сприяти посиленню дії гербіцидів на чутливі види бур'янів.

Роль заліза в окисно-відновних реакціях, і зокрема його прооксидантні властивості, є добре відомими, йони заліза та пероксид водню беруть участь у реакції Габера-Вейса, в результаті якої із супероксидних радикалів утворюються ще більш реакційноздатні гідроксильні радикали (Haber, Weiss, 1934). В основі токсичної дії заліза лежить реакція Фентона – потужна окисно-відновна реакція між пероксидом водню і Fe(II) у ролі каталізатора, в результаті якої пероксид водню розщеплюється на іон

гідроксиду і вільний гідроксильний радикал, який має дуже високу реакційну здатність (Чекман, Дорошенко, 2012). Хоча ці дослідники вважають, що токсичність наночастинок заліза є меншою порівняно з солями заліза, зокрема сульфатом та хлоридом, однак наночастинок оксиду заліза також беруть участь в утворенні активних форм кисню переважно внаслідок реакції Фентона. Це також може вносити свій вклад у відгук рослин на дію гербіциду та сприяти зміщенню антиоксидантно-прооксидантної рівноваги.

Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів на 19-у добу після позакореневої обробки гербіцидом показало, що піроксулам викликав зменшення вмісту хлорофілів *a* та *b*, а також каротиноїдів, причому зниження їх вмісту більше проявлялось у першому сформованому листку гороху порівняно з третім (табл. 1, 2).

Таблиця 1.

Вміст фотосинтетичних пігментів (мкг/мг сирової речовини) у листках гороху на 19-у добу після позакореневої обробки (1-й зверху повністю сформований листок)

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Каротиноїди
Контроль	1,04 ± 0,06	0,40 ± 0,01	0,26 ± 0,01
Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	0,90 ± 0,07	0,31 ± 0,02	0,27 ± 0,02
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М	0,57 ± 0,03*	0,12 ± 0,01*	0,17 ± 0,02*
Хітозан 0,2 %	1,08 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,31 ± 0,01
Екстрасол 0,1 %	1,07 ± 0,01	0,45 ± 0,02	0,24 ± 0,02
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	0,51 ± 0,03	0,31 ± 0,02**	0,12 ± 0,03
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	0,60 ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,19 ± 0,02
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л) + Хітозан 0,2 %	0,49 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,15 ± 0,02
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Хітозан 0,2 %	0,35 ± 0,01**	0,19 ± 0,01**	0,08 ± 0,01**

Примітка: Різниця між контролем та дослідним варіантом істотна при $p \leq 0,05$.

* Істотна різниця між дослідним варіантом і варіантом з обробкою рослин піроксуламом.

Зменшення вмісту пігментів у листках гороху за обробки піроксуламом може бути зумовлене, зокрема, пригніченням білкового синтезу внаслідок дії на фермент АЛС, а також пов'язаним із цим інгібуванням їх біосинтезу. Зниження вмісту хлорофілів та каротиноїдів проявляється більшою мірою в першому листку порівняно з третім, оскільки дія піроксуламу на білковий синтез може бути більш вираженою саме на молоді листки, які формуються уже після обробки гербіцидом. Крім того, зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів за дії гербіциду може бути також наслідком посиленого їх руйнування, що, ймовірно, пов'язане з вільнорадикальними процесами.

На фоні обприскування рослин гороху піроксуламом позакоренева обробка рослин як хітозаном, так і колоїдним розчином заліза призвела до ще більшого зниження вмісту хлорофілу *a*, а також до вірогідного зменшення чи тенденції до зниження вмісту каротиноїдів, але зростання кількості хлорофілу *b* порівняно з варіантом з одним лише внесенням піроксуламу, що особливо чітко проявилось у першому сформованому листку. При цьому у першому сформованому листку на фоні дії піроксуламу інгібуючий вплив хітозану на вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів був більшим, ніж за застосування колоїдного розчину заліза.

Таблиця 2.
Вміст фотосинтетичних пігментів (мкг/мг сирової речовини) у листках гороху на 19-у добу після позакореневої обробки (3-й зверху повністю сформований листок)

Варіант досліду	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Каротиноїди
Контроль	1,32 ± 0,03	0,40 ± 0,02	0,37 ± 0,01
Колоїдний розчин Fe (0, 1мг/л)	1,43 ± 0,05	0,45 ± 0,01	0,39 ± 0,01
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М	1,11 ± 0,02*	0,19± 0,01*	0,28± 0,02*
Хітозан 0,2 %	1,25 ± 0,01	0,21± 0,01*	0,47 ± 0,01*
Екстрасол 0,1 %	1,52± 0,03	0,39± 0,02	0,54± 0,01*
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	1,25± 0,02**	0,36± 0,02**	0,42± 0,03**
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	1,33 ± 0,02	0,26± 0,02	0,47± 0,02
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л) + Хітозан 0,2 %	1,06± 0,01	0,36± 0,01	0,40± 0,04
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Хітозан 0,2 %	0,94± 0,01**	0,29± 0,01**	0,27± 0,02

Примітка: Різниця між контролем та дослідним варіантом істотна при $p \leq 0,05$.

** Істотна різниця між дослідним варіантом і варіантом з обробкою рослин піроксуламом.

У третьому сформованому листку за внесення хітозану спостерігалась негативна дія піроксуламу на вміст хлорофілу *a*, тоді як за обробки рослин гороху колоїдним розчином заліза на фоні піроксуламу навіть виявлено деякий позитивний його ефект на вміст фотосинтетичних пігментів.

Отже, застосування хітозану та колоїдного розчину заліза в наших дослідженнях модифікувало дію піроксуламу на рослини гороху, які використовували як модель середньочутливих до гербіциду дводольних бур'янів. Можна очікувати посилення фітотоксичної дії піроксуламу на дводольні бур'яни за застосування не лише хітозану, але й колоїдного розчину заліза.

Використання методу індукції флуоресценції хлорофілу дає можливість встановити дію досліджуваних препаратів на стан фотосинтетичного апарату рослин.

За обробки рослин розчином піроксуламу, вже на першу-п'яту добу після обприскування спостерігалась тенденція до зменшення параметра Fv/Fp. З плином часу (на 10-у та 17-у добу після обробки) за дії піроксуламу значення параметру Fv/Fp знизились відповідно на 10 і 7% порівняно з контролем (табл. 3), що може свідчити про подальше пригнічення роботи фотосистеми II.

Спільне застосування гербіциду піроксуламу з колоїдним розчином Fe або розчином хітозану, збільшувало фітотоксичну дію гербіциду. Вже на 17-ту добу величина показників Fv/Fp за обробки рослин піроксуламом і колоїдним розчином заліза була значно нижчою і становила 0,528 проти 0,759 у контролі й 0,706 за дії піроксуламу, що свідчить про значні порушення в роботі ФС II. За спільної дії піроксуламу й хітозану ефективність роботи ФС II була сталою протягом 10 діб після обробки, але дещо меншою порівняно з рослинами контрольного варіанту. На 17-у добу у рослин даного варіанту показники параметра Fv/Fp були низькими, що вказує на значне руйнування активних комплексів ФС II.

При сумісному застосуванні гербіциду з колоїдним розчином заліза та мікробіологічним препаратом Екстрасол, показники параметру Fv/Fp спочатку мало змінювались, але на момент останнього вимірювання (17-а доба після обробки) були одними з найменших.

Величина показників параметру Fv/Fp за сумісної обробки рослин гороху піроксуламом з хітозаном, колоїдним розчином заліза та препаратом Екстрасол залишалася на одному рівні досить тривалий час, проте за останнього вимірювання (на 17-у добу) їх значення свідчать про пригнічення фізіологічних процесів у рослин даного варіанту.

Отже, фітотоксичність гербіциду піроксуламу за його застосування окремо є меншою порівняно з розчинами, в яких гербіцид поєднувався з хітозаном, препаратом Екстрасол та колоїдним розчином заліза.

Таблиця 3.

Зміни параметра Fv/Fp у рослин гороху після обробки піроксуламом, хітозаном, колоїдним розчином заліза та препаратом Екстрасол

Варіант	Зміни параметра Fv/Fp після обробки (доба)			
	1-а	5-а	10-а	17-а
Контроль	0,766±0,022	0,776±0,021	0,774±0,022	0,759±0,027
Колоїдний розчин Fe (0, 1мг/л)	0,745±0,033	0,771±0,024	0,743±0,051	0,715±0,038
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М	0,730±0,027	0,753±0,007	0,693±0,012*	0,706±0,010
Хітозан 0,2 %	0,715±0,019	0,780±0,015	0,738±0,023	0,748±0,017
Екстрасол 0,1 %	0,724±0,035	0,778±0,013	0,775±0,004	0,723±0,024
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	0,751±0,008	0,736±0,030	0,735±0,021	0,528±0,029**
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л)	0,726±0,034	0,748±0,025	0,756±0,012	0,435±0,026**
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Екстрасол 0,1 % + Колоїдний розчин Fe (0,1 мг/л) + Хітозан 0,2 %	0,754±0,007	0,765±0,013	0,766±0,013	0,509±0,036**
Піроксулам 5·10 ⁻⁵ М + Хітозан 0,2 %	0,737±0,043	0,738±0,023	0,727±0,020	0,446±0,024**

Примітка: * Істотна різниця між дослідним варіантом і варіантом з обробкою рослин піроксуламом при p≤0,05.

В умовах проведених нами дослідів з рослинами гороху, які використовували як модель однорічних дводольних бур'янів, показано, що поєднання гербіциду піроксуламу з колоїдним розчином Fe або розчином хітозану збільшувало фітотоксичну дію гербіциду.

Слід зазначити, що у попередніх дослідженнях нами були отримані аналогічні дані про підсилення елісатором хітозаном фітотоксичної дії суміші грамініциду феноксапроп-р-етилу з гербіцидом-прооксидантом метрибузином на чутливі до феноксапроп-р-етилу рослини вівса (модель однорічних злакових бур'янів) і деяке послаблення негативної дії гербіцидів на стійкі рослини озимої пшениці, що свідчить про принципову можливість підвищення вибіркової фітотоксичності феноксапроп-р-етилу за рахунок використання елісатору (Трач та співавт., 2011). Хітозан має ряд корисних властивостей, таких як біосумісність (не викликає відторгнення в живих організмах); біодеградація (розкладається за дії природних ферментів); бактеріостатичність (гальмує ріст і розмноження бактерій); висока реакційна здатність (на його основі виготовляється ряд похідних); чудова сорбційна здатність (для перехідних і особливо важких металів). Він широко застосовується в сільському господарстві багатьох країн. На його основі виготовляють добрива пролонгованої дії, він забезпечує екологічно безпечний захист рослин від бактерій і шкідників, санацію ґрунтів, підвищення врожайності та збереження врожаю (Barka et al., 2004, Benbamu, 1992, Pospieszny et al., 1991).

Результати наших досліджень, проведених з рослинами гороху, що слугували моделлю середньочутливих до гербіциду однорічних дводольних бур'янів, свідчать про можливість використання як хітозану, так і колоїдного розчину заліза для обробки рослин гербіцидом піроксуламом, який є інгібітором ферменту ацетолактатсинтази. За їх сумісного внесення з піроксуламом фітотоксична дія даного гербіциду посилювалась. Припускаємо, що це пов'язано з підвищенням ефективності дії гербіциду піроксуламу за рахунок стимулювання вторинних індукованих реакцій, пов'язаних, зокрема, із впливом досліджуваних нами препаратів на стан антиоксидантно-прооксидантної рівноваги.

В умовах вегетаційного дослідів можна визначити ефект взаємодії та його залежність від концентрацій або норм внесення гербіцидів. Однак вегетаційні дослідів в основному проводяться на модельних об'єктах, для більш точної оцінки доцільності застосування сумішей необхідно проводити оцінку можливості підвищення фітотоксичної дії гербіцидів на певні проблемні види бур'янів у польових умовах, що й буде предметом подальших досліджень.

Список літератури

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с. / Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyita (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). – M.: Agropromizdat, 1985. – 351s.
- Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – Киев: Альтерпрес, 2002. – 188 с. / Korneev D.Yu. Informatsionnyie vozmozhnosti metoda induksii fluorestsentsii hlorofilla. – Kiev: Alterpres, 2002. – 188 s.
- Лопатько К.Г., Афтанділянц Є.Г., Веклич А.М., Борецький В.Ф., Сірик О.О. Синтез металевих наночастинок в плазмі електричного розряду у воді // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Серія фізико-математичні науки. – 2013. – Вип. №1. – С.161-168. / Lopatko K.G., Aftandilyants E.G., Veklich A.M., Boretskiy V.F., Slik O.O. Sintez metalivih nanochastinok v plazmi elektrichnogo rozryadu u vodi // Visnik Kijivskogo natsionalnogo universitetu im. T. Shevchenka. Seriya flziko-matematichni nauki. – 2013. – Vip. №1. – S.161-168.
- Мордерер Є.Ю. Новий гербіцид Паллас 45 OD – вирішення проблеми контролювання злакових бур'янів у посівах пшениці // Сингента. – 2012. – № 12. – С. 10-12. / Morderer E.Yu. Noviy gerbitsid Pallas 45 OD – virishennya problemi kontrolyuvannya zlakovih bur'yaniv u posivakh pshenitsi // Singenta. – 2012. – № 12. – S. 10-12.
- Мордерер Є.Ю., Трач В.В., Паланиця М.П. Синергічне підвищення фітотоксичної дії грамініциду феноксапроп-р-етилу у сумішах з метрибузином // Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку (гол. ред. В.В. Моргун) – К.: Логос, 2009. – Т. 2. – С. 46-50. / Morderer E.Yu., Trach V.V., Palanitsya M.P. Sinergichne pidvischennya fitotoksichnoii diji graminitsidu fenoksaprop-p-etilu u sumishah z metribuzinom // Fiziologiya roslin: problemi ta perspektivi rozvitku (gol. red. V.V. Morgun) – K.: Logos, 2009. – T. 2. – S. 46-50.
- Озерецковская О.Л., Васюкова Н.И., Зиновьева С.В. Хитозан как элиситор индуцированной устойчивости растений // Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение / Под ред. Скрыбина К.Г., Вихоревой Г.А., Варламова В.П. – М.: Наука, 2002. – С. 339-345. / Ozeretskovskaya O.L., Vasyukova N.I., Zinoveva S.V. Hitozan kak elisitor indutsirovannoy ustoychivosti rasteniy // Hitin i hitozan. Poluchenie, svoystva i primeneniye / Pod red. Skryabina K.G., Vihorevoy G.A., Varlamova V.P. – M.: Nauka, 2002. – S. 339-345.
- Паланиця М.П., Трач В.В., Мордерер Є.Ю. Генерування активних форм кисню за дії грамініцидів і модифікаторів їх активності // Фізіологія і біохімія культ. рослин. – 2009. – 41, № 4. – С. 328 -334. / Palanitsya M.P., Trach V.V., Morderer E.Yu. Generuvannya aktivnih form kisnyu za diji graminitsidiv i modifikatoriv jih aktivnosti // Fiziologiya i biokhimiya kult. roslin. – 2009. – 41, № 4. – S. 328 -334.
- Переход Е.А., Чаленко Г.И., Озерецковская О.Л. и др. // Материалы V Междунар. конф. «Новые перспективы в исследовании хитина и хитозана». – М.: ВНИРО, 1999. – С.96-97. / Perehod E.A., Chalenko G.I., Ozeretskovskaya O.L. i dr. // Materiali V Mezhdunar. konf. «Novie perspektivi v issledovanii hitina i hitozana». – M.: VNIRO, 1999. – S.96-97.
- Рубин А.Б., Кренделева Т.Е. Регуляция первичных процессов фотосинтеза // Успехи биологической химии. – 2003. – Т. 43. – С. 225-266. / Rubin A.B., Krendeleva T.E. Regulyatsiya pervichnyih protsessov fotosinteza // Uspehi biologicheskoy himii. – 2003. – T. 43. – S. 225-266.
- Трач В.В., Паланиця М.П., Мордерер Є.Ю. Вплив еліситуру хітозану на фітотоксичність суміші грамініциду феноксапроп-р-етилу з метрибузином // Физиология и биохимия культ. растений. – 2011. – 43, № 5. – С. 397-402. / Trach V.V., Palanitsya M.P., Morderer E.Yu. Vplyv ellsituru hitozanu na fitotoksichnist sumishi graminitsidu fenoksaprop-p-etilu z metribuzinom // Fiziologiya i biokhimiya kult. rasteniy. – 2011. – 43, № 5. – S. 397-402.
- Трач В.В., Гуральчук Ж.З., Гринюк С.О., Мордерер Є.Ю. Вплив хітозану на фітотоксичну дію гербіциду гранстар // Бур'яни, особливості їх біології та систем контролювання у посівах сільськогосподарських культур: збірник наук. праць: матер. 8-ї наук. теор. конф. Укр. наук. тов-ва гербологів (Київ, 16-17 березня 2012 р.). – К.: «Колобів», Фенікс, 2012. – С. 229-233. / Trach V.V., Hural'chuk Zh.Z., Hrynyuk S.O., Morderer Ye.Yu. Vplyv khitozanu na fitotoksychnu diyu herbitsydu hranstar // Bur'yany, osoblyvosti yikh biolohiyi ta system kontrolyuvannya u posivakh sill's'kohospodars'kykh kul'tur: zbirnyk nauk. prats': mater. 8-yi nauk. teor. konf. Ukr. nauk. tov-va herbolohiv (Kyuyiv, 16-17 bereznya 2012 r.). – K.: «Kolobih», Feniks, 2012. – S. 229-233.
- Чеботарь В.К., Завалин А.А., Кипрушкина Е.И. Эффективность применения биопрепарата экстрасол. – М.: ВНИИА, 2007. – 216 с. / Chebotar V.K., Zavalin A.A., Kiprushkina E.I. Effektivnost primeneniya biopreparata ekstrasol. – M.: VNIIA, 2007. – 216 s.
- Чекман І.С., Дорошенко А.М. Взаємодія наночастинок оксиду заліза з клітиною та компонентами біомембрани // Український медичний часопис. – 2012. – № 1 (87). – С. 31-37. / Chekman I.S., Doroshenko A.M. Vzayemodiya nanochastynok oksydu zaliza z klitynoyu ta komponentamy biomembrany // Ukrayins'kyu medychnyy chasopys. – 2012. – № 1 (87). – S. 31-37.
- Щерба А.А., Захарченко С.Н., Лопатько К.Г. и др. Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом ОЭИД // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2010. – Вип. №26. – С.152-160. / Scherba A.A., Zaharchenko S.N., Lopatko K.G. i dr. Razryadno-impulsnyie sistemyi proizvodstva nanokolloidnyih rastvorov biologicheskii aktivnyih metallov metodom OEID // Pratsi In-tu elektrodinamiki NAN UkraYini. – 2010. – Vip. №26. – S.152-160.

- Barka E.A. Chitosan improves development, and protects *Vitis vinifera* L. against *Botrytis cinerea* / E.A. Barka, P. Eullaffroy, C. Clement, G. Vernet // Plant Cell Rep. – 2004. – 22. – P. 608-614.
- Benbamous N. Ultrastructural and cytochemical aspects of chitosan on *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, agent of tomato crown and root rot // Phytopathology. – 1992. – 82. – P. 1185-1193.
- Haber F., Weiss J. The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts // Proc. Royal Soc. (London). – 1934. – 147, N 861. – P. 332-351.
- Hadwiger L.A., Frinstensky B., Riggleman R.C. // Chitin, chitosan and related enzymes / Ed. Zikakis J.P. – N.Y.: Plenum Press, 1984. – P. 291-298.
- Muzzarelli R.A.A. Chitin in Nature and Technology (Muzzarelli R.A.A., Jeuniaux C., Gooday GW. Eds). – New York: Plenum Publishing Corporation. – 1986. – 420 p.
- Pospieszny H. Induction of antiviral resistance in plant by chitosan / H. Pospieszny, S. Chirkov, J.G. Atabekov // Plant Sci. – 1991. – 79. – P. 64-68.
- Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b* as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution // J. Plant Physiol. – 1994. – 144, N 3. – P. 307-313.
-

Представлено: Н.Ю. Таран / Presented by: N.Yu. Taran

Рецензент: В.В. Жмурко / Reviewer: V.V. Zhmurko

Подано до редакції / Received: 17.11.2014