

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ТРИФЛУРАЛІНОМ ҐРУНТІВ

Л. Моклячук*, Ю. Зацарінна, М. Драга

*Інститут агроєкології і природокористування НААН України
вул. Метрологічна, 12, Київ 03143, Україна
e-mail: moklyachuk@ukr.net*

Обґрунтовано необхідність розроблення способів фітореємедіації забруднених трифлураліном ґрунтів під час вирощування лікарських рослин. Проведено вегетаційні дослідження з метою пошуку рослин – перспективних гіпернакопичувачів трифлураліну з використанням таких видів: кабачок (*Cucurbita pepo* L.) сорту Грибовський 37, квасоля (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Красногородська 5, соняшник (*Helianthus annuus* L.) сорту Восход, люцерна (*Medicago sativa* L.) сорту Веселоподолянська 11, соя (*Glycine max* L.) сорту Київська 27, для яких визначені здатність до накопичення цього гербіциду та біометричні показники й інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів як маркера фізіологічної реакції рослин на стресове навантаження.

Ключові слова: фітореємедіація, гербіциди, трєфлан, лікарські рослини.

У третє тисячоліття людство вступає з вантажем невирішених проблем. Одна з них – проблема забруднення довкілля токсичними речовинами (зокрема, пестицидами).

Земельні ресурси є безцінним багатством України, але, на жаль, через стрімке погіршення екологічного стану довкілля постає питання безпечності ґрунтів для вирощування продукції сільськогосподарського призначення. Тому вивчення забруднення ґрунтів пестицидами та пошук шляхів їх очищення є надзвичайно актуальною проблемою.

На ґрунтах, відведених для вирощування лікарських рослин, як і на інших землях сільськогосподарського призначення, нині використовують невиправдано великі кількості гербіцидів, що переважно зумовлене необхідністю знизити витрати на ручне прополювання посівів. Разом з тим, використання засобів хімізації під час вирощування лікарських рослин потребує постійних моніторингових досліджень вмісту і динаміки накопичення залишкових кількостей гербіцидів у ґрунті та сировині для лікарської промисловості [1, 2].

В Україні протягом останніх десятиріч для агрохімічного захисту лікарських рослин від бур'янів дозволено використовувати лише гербіциди трєфлан і трифлурекс, діючою речовиною яких є трифлуралін, що належить до динітроанілінів. Враховуючи високу токсичність трифлураліну, в багатьох країнах світу використання гербіцидів із даною діючою речовиною або суттєво обмежене, або заборонене [9, 11].

Трєфлан – гербіцид селективної дії. Завдяки довгостроковій захисній дії (протягом 3–4-х місяців), гербіцид знищує бур'яни у фазі проростання незалежно від наявності вологи у ґрунті. Але, незважаючи на всі переваги цього гербіциду, він має ряд негативних властивостей, а саме – високу токсичність для водних організмів, персистентність у ґрунті, потенційну спроможність до накопичення у рослинних і тваринних організмах [8].

За результатами наших попередніх досліджень проаналізовано зразки ґрунту та лікарської сировини, відібрані на полях Дослідної станції лікарських рослин (ДСЛР) (с. Березоточа, Лубенський р-н Полтавської обл.) Інституту агроєкології і природокористування НААНУ, де для агрохімічного захисту посівів протягом кількох років застосовували цей гербіцид [5, 7]. Трифлуралін було виявлено у значних концентраціях як у ґрунті, так і в

різних органах лікарських рослин навіть на тих полях, де гербіцид із даною діючою речовиною вже протягом кількох років не використовували.

Тому, крім моніторингу пестицидного навантаження агроєкосистем, першочерговим завданням є розроблення способів очищення забруднених трифлураліном ґрунтів і їх впровадження у практику вітчизняних господарств, які вирощують сировину для лікарської промисловості. На даний час у світовій практиці охорони навколишнього природного середовища активно розвиваються фітореMediaційні технології очищення ґрунтів – економічно ефективні та екологічно безпечні, що ґрунтуються на фізіологічній здатності рослин накопичувати ксенобіотики з подальшою їх деструкцією [12–14].

Отже, розробка фітореMediaційних заходів для забруднених ґрунтів з використанням видів рослин-гіпернакопичувачів, стійких до дії трифлураліну, є метою нашої роботи.

Матеріали та методи

З метою пошуку рослин-гіпернакопичувачів трифлураліну було закладено вегетаційні досліди згідно з методиками [3, 4]. Для вегетаційного дослідження №1 (2009 р.) було обрано стійкі до дії трифлураліну види рослин: кабачок (*Cucurbita pepo* L.) сорту Грибовський 37, квасоля (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Красногородська 5, соняшник (*Helianthus annuus* L.) сорту Восход. Для вегетаційного дослідження №2 (2010 р.) було обрано такі види рослин: квасоля (*Phaseolus vulgaris* L.), люцерна (*Medicago sativa* L.) сорту Веселоподолянська 11, соя (*Glycine max* L.) сорту Київська 27. **Веgetаційні дослідження було закладено на ґрунті (чорнозем глибокий малогумусний легкосуглинковий), відібраному в захисній лісосмузі поля №4 агротехнічної сівозміни ДСЛР. Дослідження закладали у вегетаційних посудинах (діаметр – 15 см, висота – 13 см) в чотирикратній біологічній повторності. Маса ґрунту в кожній вегетаційній посудині – 1000 г.**

У ґрунт вносили розчин тріфлану для досягнення концентрацій 1 ГДК (100 мкг/кг), 5 ГДК (500 мкг/кг), 10 ГДК (1000 мкг/кг). Контролем слугували варіанти без внесення тріфлану в ґрунт.

Веgetаційні дослідження проводили у кліматичній камері на базі ННВЛ «Геробологія» кафедри землеробства та гербології Національного університету біоресурсів і природокористування України. Рослини вирощували при температурі $22\pm 1^\circ\text{C}$ та рівневій освітленості 8000 люкс протягом 17-ти годин і в умовах 7-годинної експозиції рослин без освітлення й температурі $18\pm 2^\circ\text{C}$. Тривалість вегетаційних дослідів – 60 діб.

Для вивчення впливу гербіциду тріфлан на ростові процеси досліджуваних рослин проводили визначення таких біометричних показників, як довжина надземної частини та кореневої системи. Всі біометричні та біохімічні дослідження рослин і ґрунту проводили після закінчення вегетаційних дослідів.

Визначення залишкових кількостей пестициду в ґрунті та рослинному матеріалі проводили методом газорідинної хроматографії на приладі «Кристалл-2000» у відділі екотоксикології Інституту агроєкології і природокористування НААН України [6]. Коефіцієнт біологічного накопичення розраховували як співвідношення кількості токсиканта в рослині до його вмісту в ризосферному ґрунті.

Щоб встановити резистентність до стресової дії гербіциду тріфлан-потенційних рослин-гіпернакопичувачів, визначали показник інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) у листку кабачка, квасолі та соняшнику в умовах вегетаційного дослідження при різних рівнях забруднення ґрунту трифлураліном (1 ГДК, 5 ГДК, 10 ГДК). Показник ПОЛ у зразках визначали спектрофотометрично, згідно з методикою [10]. Математичну обробку даних проводили методом варіаційної статистики [4].

Результати і їхнє обговорення

Для виявлення впливу трифлураліну на рослинний організм проводили визначення біометричних показників рослин, що були вирощені в умовах вегетаційних дослідів. Результати свідчать про пряму залежність цих показників від концентрації ксенобіотика, що підтверджує токсичний вплив трифлураліну (табл. 1).

Таблиця 1

Біометричні показники рослин вегетаційних дослідів №1 та №2
(висота надземної частини, см; довжина кореневої системи, см)*

Вид рослин	Частина рослини	Біометричні показники рослин, см			
		Контроль	1 ГДК	5 ГДК	10 ГДК
Квасоля**	Надземна	100±0,6	96±0,4	89±0,3	76±0,3
	Підземна	6±0,2	3±0,2	2±0,2	2±0,2
Соняшник***	Надземна	46±0,7	36±0,9	25±0,9	18±0,3
	Підземна	2±0,2	2±0,2	3±0,2	2±0,2
Кабачок***	Надземна	15±0,7	8±0,5	6±0,4	3±0,7
	Підземна	3±0,3	3±0,3	2±0,2	2±0,2
Люцерна****	Надземна	22±0,2	18±0,3	10±0,2	7±0,2
	Підземна	1±0,2	1±0,2	1±0,2	0,5±0,2
Соя****	Надземна	41±0,9	35±0,2	25±0,2	18±0,3
	Підземна	3±0,2	2±0,2	1±0,2	2±0,2

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційних дослідів; **середні дані вегетаційних дослідів №1 та №2; ***дані вегетаційного дослідів №1; ****дані вегетаційного дослідів №2.

Так, у всіх варіантах відзначено пригнічення ростових процесів кореневої системи рослин (до 38% порівняно з контролем) під впливом гербіциду. Виявлено значне пригнічення росту надземної частини рослин (до 44% порівняно з контролем), що корелює зі збільшенням концентрації трифлураліну в ґрунті.

Було визначено залишкові кількості гербіциду в ґрунті кожного варіанта до та після закінчення вегетаційних дослідів, а також у рослинній масі вирощених рослин.

У вегетаційному досліді №1 в усіх дослідних варіантах відзначено високу здатність до акумуляції трифлураліну в надземній частині рослин квасолі (стеблі та листку) та невисоку його концентрацію в бобах (до 1% порівняно з концентрацією у надземній частині). Після кип'ятіння протягом 60-ти хв у бобах було відзначено незначні кількості діючої речовини цього пестициду.

Відзначено різке зменшення концентрації цього ксенобіотика у ґрунті після закінчення вегетаційного дослідів (табл. 2).

Таблиця 2

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах квасолі,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №1)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/кг		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/кг сухої речовини*				Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідів	після завершення дослідів	підземна частина рослини	надземна частина рослини	боби		
					без термічної обробки**	після термічної обробки**	
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	92,4±0,1	0,8±0,2	4,4±0,9	60,7±1,75	0,5±0,1	Не виявлено	1,3
5 ГДК	489,5±2,3	7,3±0,7	47,1±0,5	182,2±2,6	1,0±0,1	0,3±0,1	15,7
10 ГДК	996,3±1,8	24,7±1,7	89,7±2,2	373,9±4,5	3,7±0,8	0,9±0,1	9,4

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідів; **термічна обробка – проварювання бобів протягом 1-ї години.

Так, у варіанті з забрудненням ґрунту в 10 ГДК визначено, що найбільш інтенсивно трифлуралін накопичується надземною частиною рослин квасолі (до 373,9±4,5 мкг/кг сухої речовини); в бобах виявлено незначну кількість ксенобіотика (0,9±0,1 мкг/кг сухої речовини). Після закінчення вегетаційного дослідження в ґрунті цього варіанта відзначено різке зменшення концентрації трифлураліну (до 24,7±1,7 мкг/кг сухої речовини).

Отримані дані свідчать про перспективність використання рослин квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) для фітореMediaції забруднених трифлураліном ґрунтів.

У варіантах з рослинами кабачка також показано високу здатність до акумуляції трифлураліну рослинним організмом і різке зменшення концентрації цього ксенобіотика в ґрунті після закінчення вегетаційного дослідження (табл. 3).

Таблиця 3

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах кабачка,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №1)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/ кг сухої речовини		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/ кг сухої речовини*	Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідження	після завершення дослідження		
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	93,5±0,5	1,3±0,1	70,3±1,1	27,0
5 ГДК	492,3±0,8	7,4±0,1	160,3±2,4	10,8
10 ГДК	989,1±3,2	19,0±0,7	299,1±2,7	7,9

Примітка. * Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідження.

Так, при забрудненні ґрунту в 10 ГДК виявлено, що кабачок (рослинна маса підземної та надземної частин) здатен накопичувати трифлуралін до 299,1±2,7 мкг/кг сухої речовини. Після закінчення вегетаційного дослідження в ґрунті цього варіанта також відзначено різке зменшення концентрації трифлураліну (до 19,0±0,7 мкг/кг сухої речовини).

У варіантах зі сояшником відзначено дещо меншу інтенсивність акумуляції трифлураліну рослинним організмом порівняно з варіантами з квасолею та кабачком. Проте у ґрунті після закінчення вегетаційного дослідження також було відзначено різке зменшення концентрації цього ксенобіотика (табл. 4).

Таблиця 4

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах сояшнику,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №1)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/кг		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/ кг сухої речовини*			Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідження	після завершення дослідження	підземна частина рослини	надземна частина рослини	квітка	
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	95,4±0,3	1,1±0,1	2,7±1,5	15,1±1,2	28,2±2,2	8,1
5 ГДК	489,1±1,3	4,3±0,1	52,7±1,5	42,0±1,2	91,3±1,4	11,0
10 ГДК	991,2±2,5	27,1±0,2	89,7±1,9	175,2±1,1	231,2±2,2	4,9

Примітка. * Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідження.

Так, сояшник показує здатність накопичувати трифлуралін у надземній частині рослини до 175,16±1,05 мкг/кг сухої речовини при забрудненні ґрунту в 10 ГДК; при цьому відзначено акумуляцію ксенобіотика у квітках до 231,2±2,2 мкг/кг сухої речовини.

Щоб вивчити стресовий вплив трифлураліну на фізіологічні процеси рослин, визначали показник інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) у листку кабачка,

квасолі та соняшнику в умовах вегетаційного досліді №1 при різних рівнях забруднення ґрунту трифлураліном (1 ГДК, 5 ГДК, 10 ГДК) (табл. 5).

Так, у досліді з рослинами кабачка при концентрації трифлураліну у ґрунті 1 ГДК, 5 ГДК та 10 ГДК інтенсивність ПОЛ збільшилася на 24,5, 46,3% і більш ніж на 50% відповідно.

У листку соняшника відзначено збільшення ПОЛ на 38,1% у рослин, вирощених на ґрунті, забрудненому трифлураліном у концентрації 1 ГДК, і на 54,7% при 5 ГДК відповідно. Найвища інтенсивність цього показника визначена у рослин, вирощених на ґрунті, забрудненому 10 ГДК токсиканта – 63,8% порівняно з рослинами контрольного варіанта.

Таблиця 5

Інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів у листку кабачка, соняшнику та квасолі під впливом різних концентрацій трифлураліну, ммоль/г сирової речовини*

Варіант	Інтенсивність ПОЛ у листку кабачка		Інтенсивність ПОЛ у листку соняшнику		Інтенсивність ПОЛ у листку квасолі	
	ПОЛ, ммоль/г с.р.	різниця з контролем, %	ПОЛ, ммоль/г с.р.	різниця з контролем, %	ПОЛ, ммоль/г с.р.	різниця з контролем, %
Контроль	63,5±2,5	–	25,3±1,2	–	38,6±1,3	–
1 ГДК	79,2±2,1	24,5	35,0±1,8	38,1	40,8±2,2	5,6
5 ГДК	93,0±2,5	46,3	39,1±2,3	54,7	44,5±1,5	14,9
10 ГДК	97,8±1,5	54,0	41,4±1,9	63,8	52,6±2,5	36,3

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційного досліді.

У досліді з квасолею, вирощеною на забрудненому трифлураліном ґрунті, було виявлено таку ж тенденцію зміни інтенсивності ПОЛ. У рослин, вирощених на ґрунті з забрудненням токсикантом у 5 ГДК та в 10 ГДК, цей показник збільшувався на 14,89% та на 36,3% порівняно з рослинами контролю.

Встановлено, що інтенсивність ПОЛ залежить від концентрації трифлураліну в ґрунті: зі збільшенням концентрації токсиканта у ґрунті пероксидне окиснення ліпідів у листку досліджуваних рослин відбувається з більшою інтенсивністю. Слід відзначити, що найбільш інтенсивно ПОЛ відбувається у листку кабачка, дещо менш інтенсивно – у квасолі та найменше – у соняшнику.

Оскільки інтенсивність ПОЛ у листку всіх без винятку досліджуваних рослин зростала при збільшенні пестицидного навантаження, що свідчить про підвищення резистентності рослин у даних умовах, можна стверджувати, що даний показник є маркером фізіологічної реакції рослин на стресове навантаження.

Оскільки за результатами вегетаційного досліді №1 (2009 р.) квасоля накопичила найбільшу кількість трифлураліну серед досліджуваних рослин, чим посприяла значному очищенню ґрунту, можна припустити, що й інші представники родини бобових можуть бути використанні як рослини-гіпернакопичувачі трифлураліну. Тому було закладено вегетаційний дослід №2 (2010 р.) з такими видами рослин: квасоля (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Красногородська 5, люцерна (*Medicago sativa* L.) сорту Веселоподолянська 11, соя (*Glycine max* L.) сорту Київська 27.

Результати досліджень із виявлення концентрації трифлураліну в рослинній масі квасолі були близькими до досліджень варіантів попереднього вегетаційного досліді (табл. 6) та підтвердили перспективність використання рослин цього виду з фіторе mediaційною метою.

Таблиця 6

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах квасолі,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №2)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/кг		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/кг сухої речовини*		Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідю	після завершення дослідю	підземна частина рослини	надземна частина рослини	
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	93,4±0,8	0,8±0,1	4,3±0,7	55,3±1,2	37,2
5 ГДК	492,4±0,2	6,2±0,3	52,2±0,3	178,9±2,1	18,6
10 ГДК	987,6±3,1	19,0±1,5	79,9±3,2	324,5±3,2	10,6

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідю.

У варіантах з люцерною визначено досить високу здатність до акумуляції трифлураліну рослинним організмом і різке зменшення концентрації цього ксенобіотика в ґрунті після закінчення вегетаційного дослідю (табл. 7).

Таблиця 7

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах люцерни,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №2)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/кг		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/кг сухої речовини*	Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідю	після завершення дослідю		
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	98,5±1,2	1,1±0,1	52,3±1,1	23,8
5 ГДК	487,1±2,2	18,4±0,2	162,1±2,2	4,4
10 ГДК	979,9±1,8	39,0±0,7	287,1±2,5	3,7

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідю.

Так, за даними табл. 7, вміст токсиканта в люцерні (рослинній масі надземної та підземної частин) був 287,1±2,5 мкг/кг сухої речовини при забрудненні ґрунту в 10 ГДК. При цьому в ґрунті виявлено значне зниження концентрації трифлураліну – до 39,0±0,7 мкг/кг сухої речовини.

У варіантах зі соєю показано також досить високу здатність до акумуляції трифлураліну рослинним організмом і суттєве зменшення концентрації цього ксенобіотика у ґрунті після закінчення вегетаційного дослідю (табл. 8).

Таблиця 8

Концентрація трифлураліну в ґрунті та рослинах сої,
мкг/кг сухої речовини (вегетаційний дослід №2)

Варіант	Концентрація трифлураліну в ґрунті, мкг/кг		Концентрація трифлураліну в рослинній масі, мкг/кг сухої речовини*	Коефіцієнт біонакопичення*
	перед закладкою дослідю	після завершення дослідю		
Контроль	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	–
1 ГДК	96,1±1,2	0,8±0,2	65,2±2,1	40,7
5 ГДК	494,8±2,3	8,3±0,2	180,5±1,4	10,9
10 ГДК	967,3±3,1	20,0±0,3	304,0±1,7	7,6

Примітка. *Дослідження проводили після завершення вегетаційного дослідю.

Результати досліджень сої (рослинної маси надземної та підземної частин) показують, що при забрудненні ґрунту в 10 ГДК концентрація трифлураліну в рослинному

матеріалі була $304,0 \pm 1,7$ мкг/кг сухої речовини, при цьому в ґрунті відзначено зменшення концентрації гербіциду до $20,0 \pm 0,3$ мкг/кг сухої речовини (проти початкової концентрації в 1000 мкг/кг). Отже, використання сої з фітореMediaційною метою є доцільним.

За результатами проведених досліджень показано, що всі досліджувані види рослин (*Cucurbita pepo* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Helianthus annuus* L., *Medicago sativa* L., *Glycine max* L.) мають досить високу здатність до накопичення трифлураліну з забрудненого трифлураліном ґрунту, чим сприяють значному його очищенню. Найбільш перспективними гіпернакопичувачами токсиканта виявилися рослини родини бобових, а саме квасоля, соя та люцерна. Зокрема, квасоля, порівняно з іншими видами рослин, проявила здатність до найбільш інтенсивного накопичення трифлураліну. За результатами досліджень, найвищу здатність до накопичення цього ксенобіотика відзначено у надземній частині рослин квасолі, хоча у бобах концентрація трифлураліну була незначною (до 1% порівняно з концентрацією у надземній частині). Після термічної обробки бобів (кип'ятіння протягом 60 хв) у матеріалі було відзначено слідові кількості діючої речовини даного пестициду.

Отже, за біометричними показниками, здатністю до накопичення трифлураліну в рослинній масі та показником резистентності до негативного впливу ксенобіотика, для фітореMediaційних заходів щодо забруднених трифлураліном ґрунтів можна рекомендувати всі досліджувані види рослин, зокрема квасолю (*Phaseolus vulgaris* L.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонович Е. А., Болотный А. В., Бурый В. С. и др. Безопасное применение пестицидов в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства. К.: Урожай, 1988. 248 с.
2. Быков В. А., Бушковская Л. М., Пушкіна Г. П. Защита лекарственных культур от вредителей, болезней и сорняков: справочник. М.: ВИЛАР, 2006. 112 с.
3. Войтехова В. А. Вегетационный и лабораторный методы изучения гербицидов // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами: сб. статей. М.: Наука, 1967. С. 125–137.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1973. 336 с.
5. Зацарінна Ю. О., Моклячук Л. І., Лішук А. М. та ін. Динаміка вмісту трифлураліну у вегетативних органах лікарських рослин // Агроеколог. журн. 2010. № 3. С. 30–34.
6. Клисенко М. А. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде: справочное издание. М.: Колос, 1983. 304 с.
7. Моклячук Л. І., Лішук А. М., Зацарінна Ю. О. Оцінка екологічно оптимального рівня навантаження агроєкосистеми пестицидом трефлан при вирощуванні лікарських рослин // Вісн. ЖНАЕУ. 2009. № 1. С. 56–64.
8. Патица В. П., Макаренко Н. А., Моклячук Л. І. та ін. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія. К.: Основа, 2005. 300 с.
9. Перевидання офіційного Переліку пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні на 2010 рік, погодженого з Мінагрополітики України (лист від 14.05.2010 №37-156-10/7222) та Міністерством охорони здоров'я України (лист від 27.05.2010 №05.03-10-16/947). К.: Юнівест Медіа, 2010. 544 с.
10. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1976. С. 115–117.
11. Grover R., Wolt J., Cessna A. et al. Environmental fate of trifluralin // Reviews of Environmental Contamination and Toxicol. 1997. Vol. 153. P. 1–16.

12. Newman L., Doty S., Gery K. et al. Phytoremediation of organic contaminants // Reviews of phytoremediation research at the University of Washington. J. Soil Contam. 1998. Vol. 7(4). P. 531–542.
13. Rock S. Field Evaluations of Phytotechnologies. Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants. Washington: Wiley and Sons Inc., 2003. 185 p.
14. Schnoor J., Licht L., McCutcheon S. et al. Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants // Environ. Sci. Technol. 1995. Vol. 29. P. 318–323.

Стаття: надійшла до редакції 25.10.11

доопрацьована 24.11.11

прийнята до друку 25.11.11

ECOLOGICAL APPROACHES TO PHYTOREMEDIATION OF TRIFLURALIN CONTAMINATED SOIL

L. Moklyachuk, Y. Zatsarinna, M. Draga

*The Institute of Agroecology and Natural Resource Use of NAAS
12, Metrologichna St., Kyiv 03143, Ukraine
e-mail: moklyachuk@ukr.net*

The necessity of developing methods for phytoremediation of Trifluralin contaminated soil in medicinal plants cultivation is shown. The searching of plants – perspective super accumulators of Trifluralin was done. For plants were defined ability to accumulate Trifluralin, biometrics and the intensity of lipid peroxidation as a marker of physiological responses of plants to stress influence. It was shown promising use of the *Febraceae* family, in particular *Phaseolus vulgaris* L., for the purpose of phytoremediation of Trifluralin contaminated soil.

Keywords: Phytoremediation, Herbicides, Treflan, Medicinal plants.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТРИФЛУРАЛИНОМ ПОЧВ

Л. Моклячук, Ю. Зацаринная, М. Драга

*Институт агроэкологии и природопользования НААН
ул. Метрологическая, 12, Киев 03143, Украина
e-mail: moklyachuk@ukr.net*

Обоснована необходимость разработки способов фиторемедиации загрязненных трифлуралином почв при выращивании лекарственных растений. Проведен поиск растений – перспективных гипернакопителей трифлуралина, для которых определены способность к накоплению трифлуралина, биометрические показатели, а также интенсивность перекисного окисления липидов как маркера физиологической реакции растений на стрессовую нагрузку. Показана перспективность использования представителей семейства бобовых, в частности растений *Phaseolus vulgaris* L., с целью фиторемедиации загрязненных трифлуралином почв.

Ключевые слова: фиторемедиация, гербициды, трефлан, лекарственные растения.