

Разработка методов снижения токсического воздействия почвенных остатков гербицидов на культурные растения

Ю. Я. Спиридонов¹, доктор биологических наук, академик РАН,
С. С. Халиков², Н. Д. Чкаников², доктора технических наук

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Россия

² Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Россия

(Дата поступления статьи в редакцию 12.08.2019 г.)

Рациональное применение гербицидов является одним из необходимых и основных факторов прогрессивного развития сельского хозяйства и получения высоких урожаев для обеспечения населения Земли продуктами питания. Ввиду высокой активности современных гербицидов (граммовые количества), их использование должно находиться под строгим контролем, т. к. их остатки могут привести к катастрофическим негативным последствиям не только на окружающую среду, но и на получение будущих урожаев. Так, остатки гербицидов в почве отрицательно влияют на всхожесть и развитие целевых растений, а иногда и на корню уничтожают урожай культуры. Нами предложен инновационный подход для снятия фитотоксического воздействия остатков гербицидов в почве путем разработки комплексных протравителей с включением антидотов для предпосевной обработки семян. В работе представлен ряд антидотов, использование которых в составе протравителей позволило снизить токсическое воздействие остатков гербицидов на всхожесть и развитие ряда сельскохозяйственных культур – кукуруза, сахарная свекла, рапс и др.

Перечень сокращений: НА – 1,8-нафталевый ангидрид, ФА – фуриллазол, ИДЭ – изоксадифен-этил, ФМ-4 – антидот диарилмочевинного ряда, ТБК – тебуконазол, ТМТД – тетраметилтиурам-дисульфид, ПАВ – поверхностно-активное вещество.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство невозможно представить без рационального и эффективного применения химических средств защиты растений (фунгицидов, гербицидов, инсектицидов и пр.). Если представить вероятность отказа от использования гербицидов для контроля сорной растительности, то ежегодные потери урожая в России будут оцениваться почти в 40 млн т, а потери в мире составляют приблизительно 10–15 % от достижимого урожая. Для эффективной борьбы с сорняками в настоящее время рекомендованы современные гербициды с низкой нормой расхода, в частности, сульфонилмочевины [1]. Однако применение гербицидов должно проводиться строго по научно обоснованным рекомендациям и разработанным технологиям, т. к. даже при низкой норме применения сульфонилмочевин (10–25 г/га), их остаточные количества в почве могут нанести непоправимый урон для культуры, которая будет выращиваться на этом поле на следующий год.

В настоящее время для снятия фитотоксического действия гербицидов в состав препарата включают антидоты, которые по характеру действия бывают следующими:

- взаимодействуют с токсичными гербицидами с образованием нетоксичных продуктов;
- конкурируют с токсичными веществами за биомассу;
- реактивируют активные центры ферментов, угнетенных токсичными веществами [2, 3].

The rational use of herbicides is one of the necessary and basic factors for the progressive development of agriculture and obtaining high yields to provide the world's population with food. In view of the high activity of modern herbicides (gram quantities), their use should be under strict control, since their residues can lead to catastrophic negative consequences not only on the environment, but also on obtaining future crops. So, the soil residues of herbicides adversely affect the germination and development of target plants, and sometimes on the root destroy culture. We propose an innovative approach for removing the toxic effect of soil residues of herbicides by developing complex protectants with the inclusion of antidotes for presowing seed treatment. The work presents a number of antidotes, the use of which as a part of protectants allowed to reduce the toxic effect of herbicide residues on the germination and development of a number of industrial crops—corn, sugar beet, rape, etc.

Такой подход совместного применения гербицидов с антидотами в период вегетации используется многими известными компаниями [4, 5].

Для снятия токсического действия почвенных остатков хлорсульфурина на посевах кукурузы и льна впервые был предложен 1,8-нафталевый ангидрид (НА) в качестве антидота [6]. В продолжение этих работ нами были предложены комплексные протравители на основе ряда известных фунгицидов (тебуконазол, тиурам) с включением в свой состав НА и формообразующих агентов (прилипатели, ПАВы, эмульгаторы) [7]. Полученные путем механохимического суспендирования эти композиции обладали комплексным действием: они действовали более эффективно, чем известные фунгициды (например, Раксил, КС), а также обладали антидотным действием, не свойственным известным протравителям семян, что, вероятно, объясняется синергизмом включенных в композицию компонентов. При этом наблюдалось значительное повышение всхожести семян рапса, яровой пшеницы и кукурузы, повышение энергии прорастания достигало 15, 28 и 30 % соответственно, а биомасса ярового рапса увеличивалась на 11,7 %.

Целью настоящего исследования является расширение спектра комплексных протравителей с включением в их состав новых антидотов, способных снять фитотоксическое воздействие гербицидов из различных классов органических соединений.

Основная часть

Методы исследований

Для приготовления препаративных форм комплексных протравителей использованы такие физические методы, как растворение, мокрое измельчение, суспендирование и эмульгирование.

В качестве примера приводится описание технологии получения т. н. базовой композиции на основе формообразующих компонентов (эмульгатор, структурообразователь, ПАВ и пр.), фунгицидов и антидота.

Получение суспензионного концентрата комплексного протравителя. В металлический барабан (емкостью 0,7–0,8 л) валковой мельницы LE-101 загружали последовательно 51,75 г 2%-ного водного раствора полимера (Na-KMЦ), 1,0 г неионогенного ПАВ (Тренд 90) и 315 г шаров (диаметр металлических шаров 10–12 мм) для проведения равномерного перемешивания, эффективного измельчения компонентов и образования стабильной суспензии. Затем в полученную однородную массу последовательно добавляли 20,0 г антифриза (этиленгликоль) и 5,0 г 1,8-нафталевого ангидрида (НА) (аналогично готовились составы комплексных протравителей с другими антидотами). В полученную суспензионную массу при перемешивании добавляли 1,25 г ТБК и 20,0 г ТМТД и подвергали обработке в течение 1–2 часов при скорости вращения барабана 50–60 об/мин. После завершения механохимического суспендирования из барабана выгружали 95 г стабильного суспензионного концентрата состава: 1,25 % ТБК; 20,0 % ТМТД; 5,0 % НА (№ 1). Аналогично были получены композиции с различным составом (варьирование количества формообразующих компонентов и антидота).

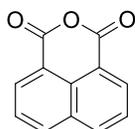
Биологические исследования проводили в условиях лаборатории искусственного климата и оценивали влияние комплексных протравителей на всхожесть семян ярового рапса сорта Труженик, яровой пшеницы Энгелина, кукурузы Каскад, сахарной свеклы Кариока, рапса сорта Ратник. Выбранные для опытов семена растений обрабатывали рабочими растворами композиций, просушивали при комнатной температуре в течение 3 суток и раскладывали в чашки Петри соответственно по 30 и 20 штук на фильтровальной бумаге в 3-кратной повторности, добавляли 5 мл дистиллированной воды в каждую чашку Петри, помещали в термостат на 72 часа при контролируемой температуре 24 °С и проводили учет всхожести семян для всех композиций по сравнению с контролем (семенами, которые были обработаны только водой). Испытания проводили с искусственно зараженными семенами смешанной инфекцией. Семена заражали в сосуде с суспензией конидий и спор грибов, после чего зерно подсушивали. Протравливание семян осуществляли в круглодонных колбах полусухим способом за 2–3 суток до проращивания. Обработанные семена инкубировали во влажных фильтрах в чашках Петри при температуре 23–25 °С. Обеззараживающие свойства препаратов, а также их влияние на всхожесть семян определяли через 7 суток от начала проращивания.

Для выявления антидотного действия препаратов изучение биологической активности композиций проводили в условиях лаборатории искусственного климата (камера «Фетч», ФРГ) на образцах почвы, содержащей остатки гербицида Зингер, СП (метсульфурон-метил).

Материалы исследования

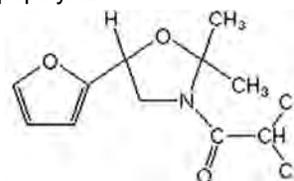
Для нашего исследования были выбраны следующие антидоты.

1. **1,8-Нафталевый ангидрид (1,8-НА)** с содержанием ДВ 97 % – ангидрид нафталин-1,8-дикарбоновой кислоты. CAS81–84–5. Брутто формула C₁₂H₆O₃ [3]. Структурная формула:



В отличие от наших работ, антидот НА в препарате Грассер применяют в смеси с гербицидом феноксапроп-П-этила (класс **арилоксифеноксипропионаты**) против однолетних злаковых сорняков в посевах яровой и озимой пшеницы. Этот препарат обладает высокой эффективностью против широкого спектра однолетних злаковых сорняков; быстро проникает в ткани сорных злаков, активно перемещается к точкам роста и может применяться независимо от фазы развития культуры [4].

2. **Фурилазол (ФА)** – (RS)-3-дихлорацетил-5-(2-фурил)-2,2-диметилоксазолидин, разработанный и производимый компанией Монсанто, был синтезирован по схеме, описанной в работе [8]. Брутто формула C₁₁H₁₃Cl₂NO₃. Структурная формула:

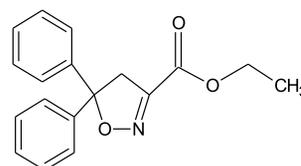


Он является эффективным антидотом, т. к. известно, что амиды дихлоруксусной кислоты остаются одним из основных классов антидотов [2, 3]. ФА представляет наибольшую ценность для снижения повреждений кукурузы при обработке посевов в период вегетации такими активными фитотоксикантами, как сульфонилмочевины или имидазолиноны [9].

Нами ФА был использован в составе комплексного протравителя из расчета 12,5; 25,0; 50,0; 75,0 и 100,0 г на 1 т семян для предпосевной обработки семян кукурузы сортов Каскад и Краснодарский 370 МВ. Результаты испытаний в условиях ЛИК на семенах кукурузы сорта Каскад показали, что композиции, содержащие ФА, обладали большей антидотной активностью, чем такие же композиции на основе НА. С увеличением содержания ФА с 12,5 до 50 г/т антидотная активность увеличивается до 22 % на почвах, зараженных остатками гербицида Зингер в норме 5,0 г/га. Дальнейшее увеличение ФА в протравителе до 100 г/т приводит к незначительному увеличению антидотного действия (25,4 %) [10]. Проведение испытаний на антидотную активность этих же композиций на семенах сорта Краснодарский 370 МВ подтвердило тенденцию усиления антидотного действия ФА при увеличении его содержания в составе протравителя, а именно – антидотное действие ФА увеличивалось по мере возрастания количества ФА в композиции. При этом увеличение антидотного действия составило почти 43 %.

Таким образом, включение ФА в составы протравителей для предпосевной обработки семян кукурузы и проведенные биологические испытания показали, что наблюдается антидотный эффект до 43 %, причем увеличение нормы ФА с 50 г/т не столь существенно влияло на усиление антидотного эффекта. Поэтому нами рекомендовано использование ФА в рецептуре протравителя 5,0–7,5 %.

3. **Изоксадифен-этил (ИДЭ)** – этиловый эфир-4,5-дигидро-5,5-дифенил-изоксазол-3-карбоновой кислоты, был синтезирован по схеме [11]. Брутто формула C₁₈H₁₇NO₃. Структурная формула:



Этот антидот компании Bayer Crop Science рекомендован для применения в посевах кукурузы в период вегетации в составе препарата МайсТер, содержащего смесь двух гербицидов сульфонилмочевинного ряда – **йодосульфурон-метил-натрий** и **форамсульфурон** [5]. По данным авторов, препарат МайсТер высокоэффективен против однолетних и многолетних злаковых и двудольных сорняков в посевах кукурузы. Благодаря содержанию антидота ИДЭ обеспечивается высокая селективность к обрабатываемой культуре, и поэтому препарат хорошо переносится большинством зарегистрированных сортов и гибридов кукурузы в рекомендованных нормах внесения.

При использовании МайсТера в нормах 1,25–1,5 г/га была достигнута высокая эффективность: гибель однолетних сорняков достигала 55–85 %, снижение массы сорняков – от 55 до 98 % [5].

В отличие от рекомендаций компании Bayer Crop Science по применению препарата МайсТер, нами рассматривалась возможность использования ИДЭ в составе протравителя для снятия фитотоксического действия почвенных остатков гербицидов ряда сульфонилмочевин на семена и всходы кукурузы и рапса. Препараты готовились по методике, описанной ранее в работе [10]. При этом были получены суспензионные и эмульсионные препараты на основе ИДЭ, которые испытаны в камерах ЛИК в виде рабочих растворов (РР) с нормами 1, 10 и 100 г/л. Изучение антидотного действия препаративных форм ИДЭ проводили согласно методике, описанной в работе [10]. Анализ результатов биоиспытаний показал, что:

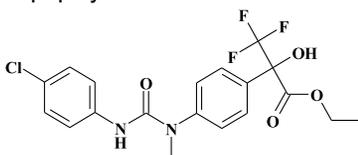
- суспензионная форма ИДЭ более эффективна, чем эмульсионная форма;
- при норме 100 г/л ИДЭ проявил наибольшую активность на кукурузе.

Приготовленные нами суспензионные концентраты были использованы для протравливания семян кукурузы сорта Краснодарский, семян рапса Ратник и семян сахарной свеклы сорта Кариока при выращивании их на почве, загрязненной Зингером в дозе 2,5 г/га.

На семенах кукурузы показано, что комплексный протравитель, содержащий ИДЭ в норме от 50 до 200 г/л снимал фитотоксическое действие гербицида Зингер (при его остатке в почве в 2,5 г/га) от 27 до 50 %. Также обнаружено, что увеличение нормы расхода ИДЭ с 100 до 200 г/л не приводило к существенному усилению антидотного действия и поэтому оптимальной нормой применения ИДЭ в комплексном протравителе является 100 г/л.

Испытания суспензионных форм протравителя с ИДЭ на семенах сахарной свеклы сорта Кариока в норме 10–100 г/л показали, что композиции с ИДЭ проявили низкое антидотное действие. Однако все изучаемые дозы композиции обладают высокой стимулирующей активностью на образцах почвы, не обработанных гербицидом, – от 51,1 до 100 %.

4. Антидот ФМ-4 – этиловый эфир 2-{4-[3-(4-хлорфенил)-1-метил-уреидо]-фенил}-2-гидрокси-3,3,3-трифторпропионовой кислоты получен по методике, описанной в работе [12]. Брутто формула $C_{19}H_{18}ClF_3N_2O_4$. Структурная формула:



Первичные испытания этого препарата позволили установить, что предпосевная обработка семян рапса препаратом в норме 1 г/т семян эффективно ослабляла фитотоксическое действие гербицида Зингер, СП в дозе 1 г/га и приводило к увеличению надземной массы растений на 40,7 % по сравнению с контролем [12].

Аналогично вышеописанной схеме готовили композиции протравителя с добавлением антидота ФМ-4 в количествах 50, 100 и 200 г/л. Биологические испытания проводили в посевах кукурузы сорта Краснодарский 291 АМВ в условиях ЛИК на почвах, загрязненных гербицидом Зингер, СП в дозе 2,5 г/га. Анализ результатов испытаний показал, что:

- выбранный нами тест – семена кукурузы – является объективным тестом на выявление антидотной активности новых соединений;
- антидотная активность ФМ-4 при возрастании нормы от 50 до 200 г/л увеличивается с 10,3 до 16,1 %;
- ФМ-4 на не загрязненной остатками гербицида почве обладает высокими стимулирующими свойствами, увеличивая массу растений до 35,6 %.

Испытания протравителей с добавлением ФМ-4 на антидотную активность проводили также на семенах рапса сорта Ратник и семенах сахарной свеклы сорта Кариока на почве, загрязненной гербицидом Зингер, СП в дозе 0,5 г/га.

Анализ результатов испытаний показал:

- комплексный протравитель с добавлением соединения ФМ-4 обладает низкими антидотными свойствами на загрязненной гербицидом почве в посевах рапса сорта Ратник и сахарной свеклы сорта Кариока при норме его применения от 1 до 25 г/л;
- комплексный препарат как при индивидуальном применении, так и с добавлением ФМ-4, на не загрязненном гербицидом фоне обладает высокими стимулирующими свойствами на изучаемые тест-растения (до 40,7 %);
- стимулирующие свойства комплексного препарата в посевах сахарной свеклы несколько уступают таковым в посевах рапса.

Заключение

Масштабное применение гербицидов в современных условиях привело к накоплению гербицидов в почве и объектах окружающей среды. Почвенные остатки гербицидов оказывают токсическое воздействие на культуру, возделываемую по севообороту. Возможны случаи полного подавления роста и развития чувствительной к гербициду культуры.

Нами предложен инновационный метод приготовления комплексных протравителей для предпосевной обработки семян с включением в их состав антидотов. При этом антидоты снимают частично или полностью токсическое воздействие остатков в почве сульфонилмочевинных гербицидов на культурное растение.

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть рекомендованы для внедрения в сельскохозяйственную практику.

Литература

1. Спиридонов, Ю. Я. Развитие отечественной гербологии на современном этапе / Ю. Я. Спиридонов, В. Г. Шестаков. – М.: Печатный город, 2013. – 426 с.
2. Crop safeners for pesticides: Development, Uses, and Mechanisms of Action. Eds. K. K. Hatzios, R. E. Hoagland. – New York: Academic Press, 1989. – 400 p.
3. Яблонская, Е. К. Антидоты гербицидов сельскохозяйственных культур / Е. К. Яблонская, В. В. Котляров, Ю. П. Федулов // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 94 (10). – С. 1–17.

4. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. – М.: Минсельхоз России, 2018. – 735 с.
5. Миханькова, Т. А. Новый гербицид МайсТер для прополки кукурузы / Т. А. Миханькова, Е. И. Кириленко, С. И. Редюк // Защита и карантин растений. – 2010. – № 2. – С. 38.
6. Спиридонов, Ю. Я. Антидоты гербицидов / Ю. Я. Спиридонов, П. С. Хохлов, В. Г. Шестаков // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 81–91.
7. Композиция для предпосевной обработки семян: патент РФ № 2585858 (2015) / С. С. Халиков, Н. Д. Чкаников, Ю. Я. Спиридонов, А. П. Глинушкин. – Оpubл. 10.06.2016 // Бюлл. – № 16.
8. Unger, Th. A. Pesticide synthesis handbook / Th. A. Unger // Park Ridge, New Jersey, USA: Noyes publications. – 1996. – P. 490.
9. The pesticide manual. 12-th Edition. Ed. C.D.S. Tomlin, The British Crop Protection Council. – 2000. – P. 482.
10. Инновационные протравители с антидотным действием / С. С. Халиков [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 4. – С. 22–25.
11. Stereoselective synthesis of β , ϵ -dihydroxy- α -amino acids by ring opening of 4,5-dihydroisoxazolyl derivatives / G. Cremonesi [et al.] // Tetrahedron: Asymmetry. – 2008. – № 19. – P. 2850–2855.
12. Производное диарилмочевины (этиловый эфир 2-{4-[3-(4-хлорфенил)-1-метил-уреидо]-фенил}-2-гидрокси-3,3,3-трифторпропионовой кислоты), обладающее антидотной активностью по отношению к производным сульфонилмочевин на рапсе и кукурузе: патент РФ по заявке № 2017125487/04, A01N25/32, C07C275/30 (2017). / Н. Д. Чкаников, Ю. Я. Спиридонов, О. Ю. Федоровский, С. С. Халиков, А. М. Музафаров. – Решение о выдаче патента от 27.07.2018 г.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
РФФИ (грант № 15–29–05792)*

УДК 633.33/.37:631.811.98:631.5

Применение регуляторов роста в технологии возделывания кормовых бобов в условиях Беларуси

А. А. Запрудский, Д. Ф. Привалов, А. М. Яковенко, кандидаты с.-х. наук,
Е. С. Белова, научный сотрудник
Институт защиты растений

(Дата поступления статьи в редакцию 06.01.2020 г.)

В статье представлены результаты исследований по оценке эффективности регуляторов роста Architect, СЭ (0,75 л/га), Карамба турбо, КС (1,0 л/га) и Мессидор, КС (0,75 л/га) в посевах кормовых бобов. Установлено, что их применение в фазе стеблевания (код ВВСН 34–35) культуры способствовало изменению биометрических параметров растений, большей завязываемости плодов, повышению семенной продуктивности на 0,58–0,61 т/га.

The results of researches on the evaluation of the growth regulators Architect, ES (0,75 l/ha), Caramba turbo, SC (1,0 l/ha) and Messidor, SC (0,75 l/ha) efficiency of application in fodder crops are presented in the article. It is determined that their application at stem formation stage (Code BBCH 34–35) of the crop has promoted the change of biometric plant parameters, setting of fruits, the seed productivity increase for 0,58–0,61 t/ha.

Введение

В современном аграрном производстве Республики Беларусь важное значение приобретает организация адаптивного кормопроизводства, которая возможна за счет расширения посевных площадей под зернобобовыми культурами с использованием ресурсосберегающих технологий возделывания. Данная группа культур является основным источником белка для рационального питания населения и сбалансирования кормовых рационов в животноводстве [1]. В решении данной проблемы особое место отводится кормовым бобам, которые по эффективности азотфиксации, содержанию белка в семенах и его усвояемости в организме человека и животных превосходят горох, являясь при этом хорошим предшественником для зерновых культур [8].

Вместе с тем в условиях нашей республики посевные площади культуры по-прежнему остаются низкими, что обусловлено нестабильностью получаемого урожая в силу неблагоприятных погодных условий, которые в последние годы все чаще складываются в период вегетации кормовых бобов [4]. Поэтому для более полной реализации продуктивного потенциала растений современных сортов культуры, помимо соблюдения общепринятых элементов технологии возделывания, следует уделять внимание применению регуляторов роста [5, 9].

Отмечено, что росторегулирующие вещества, в первую очередь ретарданты, способны к замедлению веге-

тативного роста растений, повышению накопления ассимилятов, которые перераспределяются в генеративные органы, вследствие чего увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур. Для растений кормовых бобов характерен растянутый и неодновременный период созревания органов плодоношения, особенно при неблагоприятных погодных условиях, в результате чего происходит их редукция [3, 10].

В этой связи применение регуляторов роста в посевах культуры, как фактора сохранения семенной продуктивности растений и посева в целом, является актуальным, представляет научный и практический интерес. Цель исследований – оценить эффективность регуляторов роста в посевах кормовых бобов в условиях Республики Беларусь.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2018–2019 гг. на опытном поле РУП «Институт защиты растений» в посевах кормовых бобов сорта Стрелецкий. Агротехника в опытах общепринятая для возделывания кормовых бобов в центральной агроклиматической зоне Республики Беларусь. Обработка посевов регуляторами роста (ретардантами) проводилась в фазе стеблевания кормовых бобов (код ВВСН 34–35) по следующей схеме: 1 – без применения регулятора роста; 2 – Архитект, СЭ (*мепикват хлорид*, 150 г/л + *пираклостробин*, 100 г/л + *прогексадион кальция*, 25 г/л) – 0,75 л/га; 3 – Карамба турбо, КС (*мепикват*