

СНИЖЕНИЕ АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ И ПОЧВЕННЫХ СУБСТРАТОВ

И.В. Горепекин¹✉, Г.Н. Федотов¹, Д.И. Потапов¹,
Ю.П. Батырев², В.С. Шалаев²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения МГУ

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

decembrist96@yandex.ru

Представлены результаты разработки сорбционно-стимулирующего препарата и изучения его влияния на снижение аллелотоксичности почв и тепличных субстратов. Показано, что основу препарата составляют бентонит кальция и гумат калия с добавками автолизата пивных дрожжей и полиэтиленгликоля. Установлено, что препарат за счет сорбции снижает доступность почвенных аллелотоксинов для растений. Определены оптимальные концентрации компонентов состава разработанного препарата. Обоснована рентабельность применения препарата при его внесении в почвенные субстраты тепличных хозяйств.

Ключевые слова: аллелотоксичность почв, сорбционно-стимулирующий препарат, внесение сорбционных составов в почвы, рентабельность снижения аллелотоксичности почв, тепличные хозяйства

Ссылка для цитирования: Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Потапов Д.И., Батырев Ю.П., Шалаев В.С. Снижение аллелотоксичности почв и почвенных субстратов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 46–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-46-52

Хорошо известно явление накопления в почвах аллелотоксинов, которые оказывают сильное негативное влияние на почвенное плодородие и урожайность сельскохозяйственных растений [1–11].

Аллелотоксичность почв пытались снизить различными способами, в частности, промывали почвы водой и органическими растворителями, промораживали, прогревали, автоклавировали и известковали. Однако были получены противоречивые результаты, поскольку используемые приемы не всегда оказывались эффективными [1, 4, 12].

Авторами работы [13] была предпринята успешная попытка оказать стимулирующее воздействие на произрастающие в почвах растения за счет снижения негативного влияния на них почвенных аллелотоксинов на начальном этапе развития растений. Для этого использовали предпосевную обработку семян сорбционно-стимулирующими препаратами (ССП). Было установлено [14], что механизм стимулирующего влияния СПП при обработке ими семян состоит в блокировании поступления аллелотоксинов из почвенных частиц, прилегающих к семенам, из которых аллелотоксины освобождаются путем обменной сорбции:

1) семена выделяют органические вещества (сахара, кислоты и т. д.);

2) молекулы этих веществ вытесняют из почвенных частиц аллелотоксины;

3) молекулы аллелотоксинов поступают в семена и оказывают на их развитие ингибирующее влияние.

Однако обработка семян СПП не приводила к снижению общей почвенной аллелотоксичности, а лишь уменьшала негативное влияние аллелотоксинов на прорастание семян и развитие из них растений на начальном этапе. После вхождения корней в слои почвы, содержащей аллелотоксины, эффект от использования СПП для обработки семян должен был резко снижаться. Фактически предпосевная обработка семян может ускорять их развитие только на начальном этапе.

В тепличных хозяйствах почвенные субстраты используются со значительно более высокой интенсивностью, выражающейся в количестве урожая, приходящемся на единицу субстрата. Как следствие, накопление в них аллелотоксинов происходит более активно. Это должно снижать качество почвенных субстратов и угнетать рост и развитие растений на них [15]. Поэтому применение препаратов, уменьшающих аллелотоксичность почв [15–17], может быть востребовано при выращивании овощей и цветов в тепличных хозяйствах как новый прием повышения урожайности.

Цель работы

Цель работы — разработка состава, способного при его внесении в почвы и почвенные субстраты снижать их аллелотоксичность и оказывать стимулирующее влияние на развитие растений в течение всего периода вегетации.

Материалы и методы

При выполнении работ в качестве тест-объекта использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) сорта «Лиза».

Проращивали семена в образцах агродерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы, которую готовили общепринятым в почвоведении способом — после отбора образца его доводили до воздушно-сухого состояния. Для получения из него увлажненного образца добавляли воду при тщательном перемешивании и выдерживали в таком состоянии не менее двух недель. Также в работе использовали субстрат из теплиц ВНИИО.

В целях снижения негативного влияния почвенных аллелотоксинов было принято решение уменьшить их активность, закрепляя на сорбционном препарате, который готовили из компонентов, использовавшихся ранее при получении сорбционно-стимулирующего препарата (ССП) [13] для предпосевной обработки семян. Использовали гумат калия (Г), произведенный из бурого угля, и бентонит кальция (БК), к которым добавляли автолизат пивных дрожжей (АПД) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с молекулярной массой 400 у. е.

Для получения опытного состава из компонентов препарата готовили суспензию, которую выдерживали в течение одних суток. Воду удаляли испарением при температуре 70 °С. Полученный твердый образец измельчали на мельнице ударного типа. Порошок вносили в почву влажностью около 18 % при тщательном перемешивании и выдерживали не менее 3 сут. После этого в полученный образец высевали тест-культуру.

Изучали изменение интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод биотестирования, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом семян с проростками в воде и длиной их проростков [18].

Биотестирование на данный момент считается основным методом, пригодным для изучения аллелотоксичности почв [1], поскольку даже зная концентрации сотен аллелотоксинов, которые могут содержаться в почвах, невозможно предсказать эффект от их совместного действия вследствие взаимного влияния аллелотоксинов одного на другой [19–21] и различной степени их закрепления в почвах [6, 12, 22, 23].

Для определения воздействия почвенных образцов на развитие семян (аллелотоксичности почв) проводили сравнительные испытания по развитию проростков семян в песке и почвенных образцах. При проведении этих экспериментов принимали за 100 % развитие семян в песке и рас-

считывали относительно полученного значения замедление или ускорение развития проростков семян почвенным образцом.

Для определения эффективности действия сорбционных составов проводили сравнительное изучение развития семян в необработанных и обработанных этими составами почвенных образцах.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. Для минимизации влияния разнокачественности семян [24] в одном опыте использовали 1000...1200 семян, что позволяло уменьшить величину доверительных интервалов до 15%.

Для оценки целесообразности использования препарата в условиях тепличных субстратов рассчитаны пороговые значения повышения дохода предприятия, которые должен обеспечивать препарат для выхода на самоокупаемость. При расчетах использовали показатели средней цены продукции за один килограмм и ее урожайности, а также доход, формируемый с учетом указанных параметров.

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы были определены значения аллелотоксичности дерново-подзолистой почвы и тепличного субстрата, использованные в опыте. Дерново-подзолистая почва замедляла прорастание семян и развитие из них растений на 27 % относительно песка, а тепличный субстрат — на 23 %. Значение –27 % для дерново-подзолистой почвы брали за точку отсчета (100 %) и рассчитывали относительно нее ускорение развития проростков яровой пшеницы.

Для проверки возможности снижения аллелотоксичности субстратов в почвенные образцы вносили компоненты СПП [13]: БК-Г-АПД-ПЭГ; БК-Г; БК-Г-АПД и БК-Г-ПЭГ, предполагая, что препарат, оказавшийся эффективным при обработке им семян, сможет снижать аллелотоксичность почв.

Полученные результаты по влиянию внесения добавок на изменение аллелотоксичности почвенных образцов представлены на рис. 1.

Из полученных данных следовало:

– добавка к почве сорбционного препарата, бентонито-гуматового комплекса — бентонита кальция (БК) с гуматом (Г) снижает аллелотоксичность почв (см. рис. 1, кривая 3);

– введение в сорбционный препарат БК-Г полиэтиленгликоля (ПЭГ) не оказывает значимого влияния на действие препарата БК-Г (см. рис. 1, кривая 4);

– введение в сорбционный препарат БК-Г автолизата пивных дрожжей (АПД) заметно усиливает действие препарата БК-Г (см. рис. 1, кривая 2);

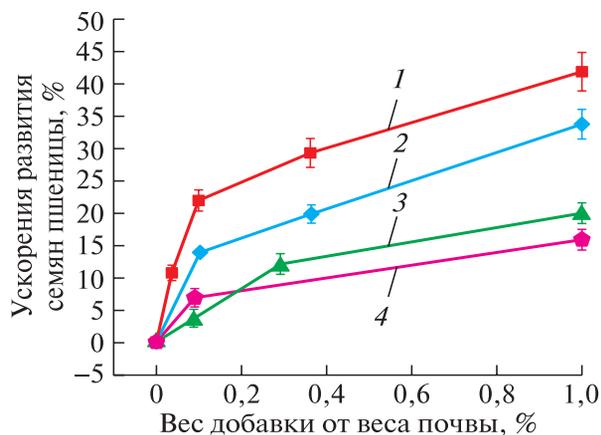


Рис. 1. Влияние внесения в дерново-подзолистую почву различных количеств сорбционно-стимулирующих препаратов на изменение ее аллелотоксичности, определенное на семенах яровой пшеницы сорта «Лиза»: 1 — СВ(кальций бентонит)-Н(гумат)-ВУА(brewer's yeast autolysate)-ПЭГ(polyethylene glycol); 2 — СВ-Н-ВУА; 3 — СВ-Н; 4 — СВ-Н-ПЭГ

Fig. 1. Influence of various amounts of sorption-stimulating preparations into soddy-podzolic soil on the change in its allelotoxicity, determined on the seeds of spring wheat variety «Liza»: 1 — СВ(calcium bentonite)-Н(humate)-ВУА(brewer's yeast autolysate)-ПЭГ(polyethylene glycol); 2 — СВ-Н-ВУА; 3 — СВ-Н; 4 — СВ-Н-ПЭГ

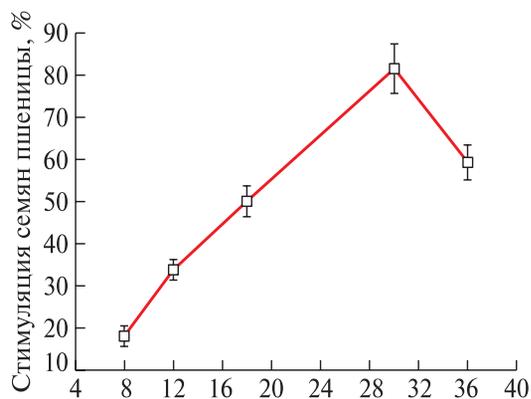


Рис. 2. Влияние содержания АПД в сорбционном препарате БК-Г на снижение аллелотоксичности в дерново-подзолистой почве при внесении 1 % препарата от массы почвы

Fig. 2. Influence of the ВУА content in the sorption preparation СВ-Н on the reduction of allelotoxicity in soddy-podzolic soil with the addition of 1% of the preparation by weight of the soil

– добавление ПЭГ к сорбционному препарату БК-Г-АПД усиливает его действие (см. рис. 1, кривая 1);

– внесение в почву одного АПД в количестве, содержащемся в препарате БК-Г-АПД при его добавлении к почве в количестве 1 %, ингибирует развитие семян примерно на 20 %.

Использование соотношения компонентов, соответствующее ССП [13], не могло гарантировать оптимальность состава препарата, вносимого в

почву для снижения ее аллелотоксичности, поэтому было изучено влияние соотношения компонентов на эффективность применения состава.

Установлено, что соотношение БК : Г = 4 : 1 является оптимальным, а оптимальное содержание АПД в составе возросло до 30 г/л (рис. 2).

Поскольку стимуляция при внесении в почву 1 % состава повысилась до 80 %, снизилась возможность его дальнейшего улучшения вследствие слишком высоких получаемых результатов. Поэтому было проведено изучение влияния количества внесения разработанного состава на снижение аллелотоксичности почвенных образцов (рис. 3). Из полученных данных видно, что при меньших дозах внесения состава в почву эффект плавно снижается. Это позволило провести доработку состава по оптимальному содержанию в нем ПЭГ при внесении в почву 0,25 % препарата (рис. 4).

Полученные данные свидетельствуют о том, что оптимальным для внесения в почву является состав, получаемый из суспензии, содержащей БК — 40 г/л, Г — 10 г/л, АПД — 30 г/л и ПЭГ — 450 мг/л.

Из полученных результатов можно сделать вывод: действие применяемых сорбционных препаратов основано не только на сорбции и снижении активности аллелотоксинов в почве, но и на отсутствии положительного влияния добавления ПЭГ к препарату БК-Г, который уменьшает размеры частиц БК-Г и, следовательно, должен увеличивать его поверхность и сорбционную емкость, и на усилении снижения аллелотоксичности почвы за счет введения в сорбционный препарат (БК-Г) автолизата пивных дрожжей. Этот эффект является довольно неожиданным, поскольку АПД, единственный внесенный в почву, ингибирует развитие семян. Кроме того, он должен, исходя из своего состава [25], закрепляться на сорбенте, уменьшать сорбционную емкость препарата БК-Г и, как следствие, снижать эффективность его действия. К тому же введение ПЭГ в препарат БК-Г-АПД, который не оказал влияния на эффективность препарата БК-Г, усиливает действие препарата БК-Г-АПД.

При разработке препарата для снижения аллелотоксичности почв возникают некоторые вопросы: какие затраты допустимы и в каких областях сельского хозяйства применение такого препарата может быть рентабельным?

В результате проведенного анализа (таблица) установлено, что снижение аллелотоксичности за счет использования сорбционного препарата может быть востребовано для улучшения качества почвенных субстратов в тепличных хозяйствах, поскольку повышение урожайности в теплицах на несколько процентов окупит затраты на применение составов, снижающих аллелотоксичность грунтов.

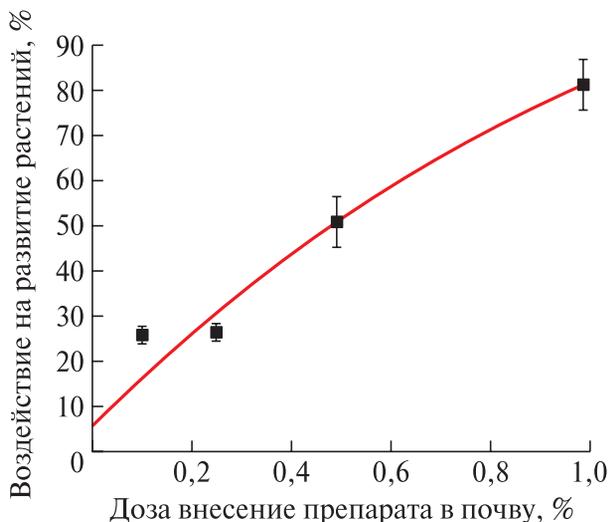


Рис. 3. Влияние расхода препарата БК-Г-АПД при его внесении в дерново-подзолистую почву на снижение ее аллелотоксичности

Fig. 3. Influence of the consumption of the preparation CB-H-BYA when it is introduced into soddy-podzolic soil on the reduction of its allelopathy

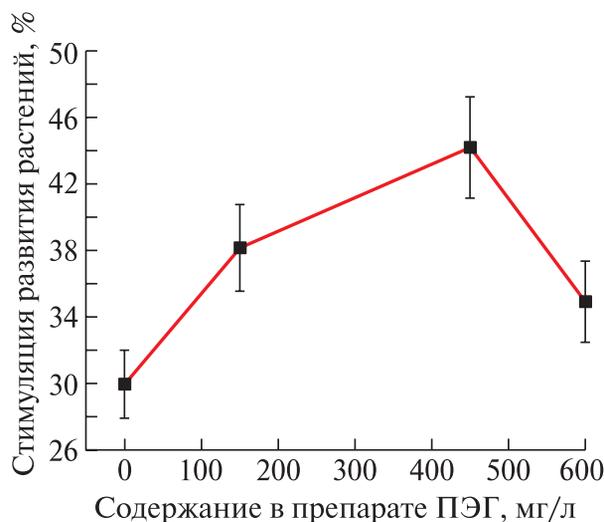


Рис. 4. Влияние содержания ПЭГ в препарате БК-Г-АПД на снижение аллелотоксичности в дерново-подзолистой почве при внесении 0,25 % препарата от массы почвы

Fig. 4. Influence of the PEG content in the CB-H-BYA preparation on the reduction of allelopathy in soddy-podzolic soil with the addition of 0,25% of the preparation by weight of the soil

Ориентировочная оценка окупаемости использования препарата для некоторых направлений растениеводства

Approximate estimate of the payback on the use of the preparation for some areas of crop production

Культура	Цена за 1 кг, руб.	Урожайность с 1 м ² , кг	Доходы с 1 м ² , руб.	Увеличение дохода для окупаемости препарата, %
Пшеница (на продовольствие)	15	0,6	9	333
Пшеница (посевной материал)	18	0,6	10,8	278
Яблоня (сад)	40	5	200	15
Клубника (теплица)	440	3	1320	2,3
Помидоры	50	30	1500	2
Огурцы (теплица)	50	60	3000	1

Примечание. Ориентировочная стоимость препарата — 300 руб./кг. Норма внесения: 1 кг на 10 м² почвы. При проведении расчетов были использованы данные по ценам и урожайности с сайтов сельскохозяйственных предприятий.

Изучение тепличного субстрата подтвердило существование проблемы аллелотоксичности в тепличных хозяйствах, а применение разработанного препарата для снижения аллелотоксичности тепличного субстрата показало, что при внесении состава в количестве 1 % аллелотоксичность тепличного субстрата не просто снижается с -23 %, а он начинает стимулировать растения (+5 %).

Выводы

Проведенные исследования позволили разработать препарат для снижения аллелотоксичности почв и почвенных субстратов в тепличных хозяйствах. Применение этого препарата может оказаться рентабельным в закрытом грунте.

Список литературы

- [1] Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головкин Э.А. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
- [2] Коношина С.Н. Влияние различных способов использования почвы на ее аллелопатическую активность: дис. ... канд. с.-х. наук. Орел: Орловский ГАУ, 2000. 145 с.
- [3] Коношина С.Н. Влияние физиолого-активных веществ высших растений на формирование аллелопатической активности почвы // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 3. С. 617.
- [4] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 464 с.
- [5] Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии. Орел: Изд-во Орловского ГАУ, 2017. 166 с.
- [6] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. by M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands, 2006, 637 p.
- [7] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy // Frontiers in Plant Science, 2015, v. 6, p. 1020.
- [8] Jilani G., Mahmood S., Chaudhry A.N. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review // Annals of Microbiology, 2008, v. 58, no. 3, pp. 351–357.
- [9] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // Bacteriological Reviews, 1964, v. 28, pp. 181–207.

- [10] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, v. 5, no. 8, pp. 285–290.
- [11] Rice E.L. *Allelopathy*. New York: Academic Press, 1984, 422 p.
- [12] Потапов Д.И., Шваров А.П., Горепекин И.В., Салимгареева О.А., Федотов Г.Н. Влияние пробоподготовки почвенных образцов на их теплогидрофизические свойства и аллелотоксичность // *Почвоведение*, 2022. № 3. С. 315–325.
- [13] Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Лысак Л.В. Аллелотоксичность почв и разработка сорбционно-стимулирующего препарата для ускорения начальной стадии развития растений из семян яровой пшеницы // *Почвоведение*, 2020. № 9. С. 1121–1131.
- [14] Шоба С.А., Федотов Г.Н., Горепекин И.В. О действии сорбционно-стимулирующих препаратов на прорастание семян // *Доклады Академии наук. Науки о жизни*, 2021. Т. 499. С. 76–79.
- [15] Бирюков А.О. Стимулирующая способность тепличного грунта в условиях применения регуляторов роста растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. 20 с.
- [16] Михеева Г.А., Сомова Л.А. Влияние биологических препаратов на рост и развитие растений лука и биологическую активность почвы // *Агрохимия*, 2009. № 2. С. 60–65.
- [17] Наумова Г.В., Макарова Н.Л., Жмакова Н.А., Овчинникова Т.Ф. Влияние гуминовых препаратов на ферментативную активность почвы при выращивании от-
дельных культур // *Экологический вестник Северного Кавказа*, 2019. Т. 15. № 2. С. 19–23.
- [18] Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 6. С. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101
- [19] Einhellig F.A. Interactions involving allelopathy in cropping systems // *Agronomy Journal*, 1996, v. 88, no. 6, pp. 886–893.
- [20] Latif S., Chiapusio G., Weston L.A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence // *Advances in botanical research*, 2017, v. 82, pp. 19–54.
- [21] Tharayil N., Bhowmik P. C., Xing B. Bioavailability of allelochemicals as affected by companion compounds in soil matrices // *J. of agricultural and food chemistry*, 2008, v. 56, no. 10, pp. 3706–3713.
- [22] Blum U., Wentworth T.R., Klein K., Worsham A.D., King L.D., Gerig T.M., Lyu S.W. Phenolic acid content of soils from wheat-no till, wheat-conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems // *J. of Chemical Ecology*, 1991, v. 17, no. 6, pp. 1045–1068.
- [23] Vinken R., Schäffer A., Ji R. Abiotic association of soil-borne monomeric phenols with humic acids // *Organic geochemistry*, 2005, v. 36, no. 4, pp. 583–593.
- [24] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [25] Чичина Т.В. Разработка технологии белковых ингредиентов на основе остаточных пивных дрожжей с использованием холодильной обработки: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2014. 126 с.

Сведения об авторах

Горепекин Иван Владимирович✉ — аспирант Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», decembrist96@yandex.ru

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», gennadiy.fedotov@gmail.com

Потапов Дмитрий Иванович — аспирант Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», zmiyovka1995@mail.ru

Батырев Юрий Павлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Шалаев Валентин Сергеевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 26.01.2022.

Одобрено после рецензирования 13.05.2022.

Принята к публикации 19.05.2022.

ALLELOTOXICITY OF SOILS AND SOIL SUBSTRATES REDUCTION

I.V. Gorepekin¹✉, G.N. Fedotov¹, D.I. Potapov¹,
Yu.P. Batyrev², V.S. Shalaev²

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, GSP-1, 1, p. 12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

decembrist96@yandex.ru

Sorption-stimulating preparation has been developed, and its effect on allelopathy reduction of soils and soil-like substrates has been studied. Calcium bentonite and potassium humate with the addition of brewer's yeast autolysate and polyethylene glycol are the base of the preparation. The preparation reduces the soil allelotoxins for plants due to sorption. Optimal concentrations of composition components of the developed preparation were determined. The profitability of the preparation application when introducing it into the soil substrates of greenhouses was justified.

Keywords: allelopathy of soils, sorption-stimulating preparation, introduction of sorption compositions into the soil, profitability of reducing allelopathy of soils, greenhouse farms

Suggested citation: Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Potapov D.I., Batyrev Yu.P., Shalaev V.S. *Snizhenie allelotoksichnosti pochv i pochvennykh substratov* [Allelopathy of soils and soil substrates reduction] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 46–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-46-52

References

- [1] Grodzinskiy A.M., Bogdan G.P., Golovko E.A. *Allelopaticeskoe pochvoutomlenie* [Allelopathic soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1979, 248 p.
- [2] Konoshina S.N. *Vliyanie razlichnykh sposobov ispol'zovaniya pochvy na ee allelopaticeskuyu aktivnost'* [Influence of different methods of soil use on its allelopathic activity]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Orel: Orlovskiy GAU, 2000, 145 p.
- [3] Konoshina S.N. *Vliyanie fiziologo-aktivnykh veshchestv vysshikh rasteniy na formirovanie allelopaticeskoy aktivnosti pochvy* [The influence of physiologically active substances of higher plants on the formation of allelopathic activity of the soil]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 3, p. 617.
- [4] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR, 1958, 464 p.
- [5] Lobkov V.T. *Iskol'zovanie pochvenno-biologicheskogo faktora v zemledelii* [Use of the soil-biological factor in agriculture]. Orel: Orlovskiy GAU, 2017, 166 p.
- [6] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Edited by M.J. Reigosa, N. Pedrol and L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands, 2006, 637 p.
- [7] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, p. 1020.
- [8] Jilani G., Mahmood S., Chaudhry A.N. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review. *Annals of Microbiology*, 2008, v. 58, no. 3, pp. 351–357.
- [9] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, pp. 181–207.
- [10] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, v. 5, no. 8, pp. 285–290.
- [11] Rice E.L. Allelopathy. New York: Academic Press, 1984, 422 p.
- [12] Potapov D.I., Shvarov A.P., Gorepekin I.V. *Vliyanie probopodgotovki pochvennykh obrazcov na ih teplogidrofizicheskie svoystva i allelotoksichnost'* [Influence of sample preparation of soil samples on their thermal hydrophysical properties and allelopathy]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2022, no. 3, pp. 312–325.
- [13] Fedotov G.N., Gorepekin I.V., Lysak L.V. *Allelotoksichnost' pochv i razrabotka sorbtionno-stimuliruyushchego preparata dlya uskoreniya nachal'noy stadii razvitiya rasteniy iz semyan yarovoy pshenitsy* [Soil allelopathy and development of a sorption-stimulating drug to accelerate the initial stage of plant development from spring wheat seeds]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2020, no. 9, pp. 1121–1131.
- [14] Shoba S.A., Fedotov G.N., Gorepekin I.V. *O deystvii sorbtionno-stimuliruyushchikh preparatov na prorastanie semyan* [On the effect of sorption-stimulating drugs on seed germination]. *Doklady akademii nauk. Nauki o zhizni* [Doklady Biological Sciences. Doklady Biochemistry and Biophysics], 2021, t. 499, pp. 76–79.
- [15] Biryukov A. O. *Stimuliruyushchaya sposobnost' teplichnogo grunta v usloviyah primeneniya regulyatorov rosta rasteniy* [Stimulating ability of greenhouse soil under conditions of application of plant growth regulators]: avtoreferat Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2009, 20 p.
- [16] Miheeva G. A., Somova L. A. *Vliyanie biologicheskikh preparatov na rost i razvitie rasteniy luka i biologicheskuyu aktivnost' pochvy* [The effect of biological preparations on the growth and development of onion plants and the biological activity of the soil]. *Agrohimiya / Agrochemistry*, 2009, no. 2, pp. 60–65.
- [17] Naumova G. V., Makarova N.L., Zhmakova N.A. *Vliyanie guminovykh preparatov na fermentativnyuyu aktivnost' pochvy pri vyrashchivaniy otdel'nykh kul'tur* [The effect of humic preparations on the enzymatic activity of the soil during the cultivation of individual crops]. *Ekologicheskii vestnik severnogo Kavkaza / Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2019, v. 15, no. 2, pp. 19–23.
- [18] Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Metodika dlya otsenki effektivnosti deystviya stimulyatorov prorastaniya semyan* [Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

- [19] Einhellig F.A. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal*, 1996, v. 88, no. 6, pp. 886–893.
- [20] Latif S., Chiapusio G., Weston L.A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. *Advances in botanical research*, 2017, v. 82, pp. 19–54.
- [21] Tharayil N., Bhowmik P. C., Xing B. Bioavailability of allelochemicals as affected by companion compounds in soil matrices. *J. of agricultural and food chemistry*, 2008, v. 56, no. 10, pp. 3706–3713.
- [22] Blum U., Wentworth T.R., Klein K., Worsham A.D., King L.D., Gerig T.M., Lyu S.W. Phenolic acid content of soils from wheat-no till, wheat-conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems. *J. of Chemical Ecology*, 1991, v. 17, no. 6, pp. 1045–1068.
- [23] Vinken R., Schäffer A., Ji R. Abiotic association of soil-borne monomeric phenols with humic acids. *Organic geochemistry*, 2005, v. 36, no. 4, pp. 583–593.
- [24] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [25] Chichina T.V. *Razrabotka tekhnologii belkovykh ingredientov na osnove ostatochnykh pivnykh drozhzhey s ispol'zovaniem khodil'noy obrabotki* [Development of technology of protein ingredients based on residual brewer's yeast using refrigeration]: Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). Sankt-Peterburg, 2014, 126 p.

Authors' information

Gorepekin Ivan Vladimirovich [✉] — Ph.D. Student of the Lomonosov Moscow State University, decembrist96@yandex.ru

Fedotov Gennadiy Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Potapov Dmitriy Ivanovich — Ph.D. Student of the Lomonosov Moscow State University, zmiyovka1995@mail.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

Received 26.01.2022.

Approved after review 13.05.2022.

Accepted for publication 19.05.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest