

УДК 631.8; 631.4

## О ДЕЙСТВИИ СОРБЦИОННО-СТИМУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

© 2021 г. Член-корреспондент РАН С. А. Шоба<sup>1</sup>, Г. Н. Федотов<sup>1</sup>,  
И. В. Горепекин<sup>1</sup>, Д. И. Потапов<sup>1</sup>, Т. А. Грачева<sup>1,\*</sup>

Поступило 26.03.2021 г.

После доработки 07.04.2021 г.

Принято к публикации 08.04.2021 г.

Изучено влияние различных видов воздействий на почвенные образцы на прорастание в них семян и развитие проростков в сравнении с песком (аллелотоксичности). Установлено, что различные виды пробоподготовки могут заметно изменять аллелотоксичность почв. Показано, что исходная почва оказывала на развитие проростков стимулирующее воздействие (+23%). Всушивание до воздушно-сухого состояния с последующим увлажнением увеличивало аллелотоксичность почвенных образцов до –27%. Автоклавирование образцов при 148°C (4.5 атм) увеличивало их аллелотоксичность до –77%. Полученные данные позволяют предположить, что аллелотоксины могут находиться в почвах в активном и закрепленном состояниях и переходить из закрепленного состояния в активное при применении различных видов воздействий на почвы. Изучение влияния аллелотоксичности образцов почв на эффективность применения сорбционно-стимулирующего препарата (ССП), используемого для предпосевной обработки семян яровой пшеницы, показало, что при росте аллелотоксичности почв эффект от применения СПП монотонно снижается. Проведенные оценочные расчеты показали, что количество сорбента применяемого для защиты семян от аллелотоксинов на 3–4 порядка меньше того количества, которое способно закрепить аллелотоксины, содержащиеся в почвах. Из этого следует, что на развитие проростков семян оказывают влияние только небольшая часть аллелотоксинов, находящихся в почвах в активном состоянии.

**Ключевые слова:** аллелотоксичность почв, стимуляция семян, предпосевная обработка семян, поглощение растениями аллелотоксинов из почв, обменная сорбция

DOI: 10.31857/S2686738921040235

Для стимулирующей предпосевной обработки семян используют различные химические вещества, физические воздействия, а также биологические препараты [1–4].

Было выдвинуто предположение [5], что недостаточная эффективность подобных обработок связана с наличием в почвах аллелотоксинов [6–9], которые угнетающе действуют на растения и снижают эффект от применения стимуляторов.

В работе [5] было предложено обрабатывать семена составами, которые кроме стимуляторов содержат сорбенты, поглощающие и закрепляющие аллелотоксины, что позволило повысить эффективность применения препаратов за счет снижения негативного воздействия аллелотоксинов на прорастание семян зерновых культур и развитие из них растений. При этом природа действия

сорбционных препаратов была не совсем понятна.

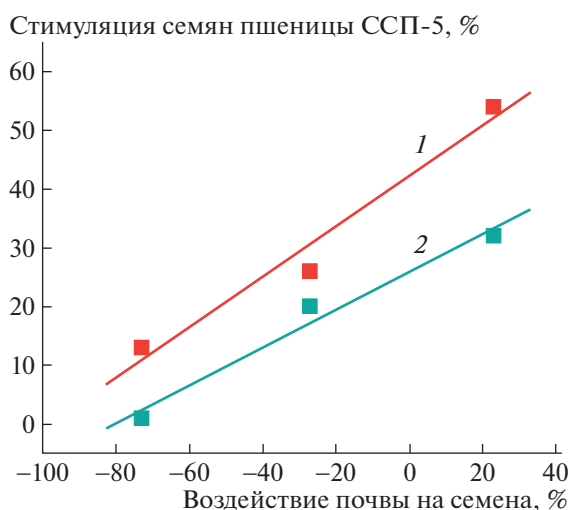
Целью работы являлось выяснение причины эффективности применения для обработки семян сорбционных препаратов.

В экспериментах использовали семена яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов “Лиза” и “Любава”, предоставленные “ФИЦ “Немчиновка”, с лабораторной всхожестью не менее 95%.

Проращивали семена в образцах агродерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой почвы из окрестностей поймы р. Яхрома, которую готовили различными способами. В работе использовали образцы исходной почвы (И), которые хранили, поддерживая их влажное состояние. Другие образцы 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 2 нед. Такие образцы имели индекс ВУ. Третью группу образцов готовили, проводя автоклавирование исходных поч-

<sup>1</sup> Московский государственный имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru



**Рис. 1.** Влияние аллелотоксичности образцов дерново-подзолистой почвы на действие стимулятора ССП-5 при обработке им семян яровой пшеницы сортов "Лиза" (1) и "Любава" (2) при расходе препарата 40 л/т семян.

венных образцов при 148°C (4.5 атм) в течение 2 ч (индекс Авт).

Для защитного действия семян от почвенных аллелотоксинов использовали гумат калия (Г), произведенный из бурого угля, и бентонит кальция (БК), к которым добавляли автолизат пивных дрожжей (АПД). Применяли суспензии сорбционного препарата, содержащие БК — 40 г/л, Г — 10 г/л, АПД — 12 г/л. К компонентам сорбционного препарата добавляли гиббереллин 90%-ный (Китай) в концентрации 300 мг/л и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с молекулярной массой 400 у.е. в концентрации 300 мг/л. Данный 5-компонентный препарат назвали ССП-5 (сорбционно-стимулирующий препарат пятикомпонентный). Подбор состава препарата был проведен в работах [5, 11].

Обработку семян проводили полусухим способом при расходе 40 и 60 л раствора (суспензии) препарата на тонну семян.

Изучали изменение интегральной длины проростков 7.5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод биотестирования<sup>1</sup>, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом семян с проростками в воде и длиной их проростков [10].

<sup>1</sup> Биотестирование на данный момент считается единственным методом, пригодным для изучения аллелотоксичности почв [6]. Связано это с тем, что даже зная концентрации сотен аллелотоксинов, которые могут содержаться в почвах, невозможно предсказать эффект от их совместного действия из-за взаимного влияния аллелотоксинов друг на друга и разной степени их закрепления в почвах.

Для определения воздействия почв на развитие семян (аллелотоксичности почв) проводили сравнительные испытания по развитию проростков семян в песке и почвах [6]. При проведении этих экспериментов принимали за 100% развитие семян в песке и рассчитывали относительно полученного значения замедление или ускорение развития проростков семян почвой.

Для определения эффективности действия стимулирующих препаратов проводили сравнительное изучение развития в образцах почв необработанных семян (контроль) и обработанных ССП-5 семян.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. Использование в одном опыте 1000–1200 семян позволяло снизить ошибку, связанную с разноточностью [3] семян до 7%.

Вегетационные опыты проводили в прямоугольном вегетационном сосуде (40 × 18 × 15 см). Вегетационный сосуд заполняли исходной дерново-подзолистой почвой. Семена по 20 штук (обработанные и необработанные) высевали на глубину 5 см. При помощи фитоламп создавали длину дня 18 ч. Через 7 дней после посева проводили взвешивание зеленой массы растений. В связи с небольшим числом используемых в вегетационном эксперименте семян результаты имели полуколичественный характер.

Проведенные эксперименты показали, что образцы одной и той же почвы, которые готовили разными способами, заметно отличались по аллелотоксичности — скорости развития проростков семян в сравнении с их развитием на лишенном аллелотоксинов песке. Образец исходной почвы (И) стимулировал развитие проростков семян на +23%, ВУ образцы угнетали развитие семян на 27%, автоклавированные образцы угнетали развитие семян на 77%<sup>2</sup>. Это свидетельствовало о том, что аллелотоксины в почвах находятся в доступной и недоступной для растений формах, а различные обработки образцов (высушивание или автоклавирование) переводят большее количество аллелотоксинов в доступное для растений состояние.

Можно было ожидать, что разная аллелотоксичность почвенных образцов будет оказывать отличающееся влияние на действие сорбционно-стимулирующих препаратов.

Для установления механизма перехода аллелотоксинов из почв в семена (растения) изучили влияние аллелотоксичности почв на действие

<sup>2</sup> Следует отметить, что автоклавирование образцов при 125°C, а также прогрев влажных образцов при температуре 80–100°C в замкнутых сосудах не приводят к значимому увеличению аллелотоксичности. Она близка к нулю.

ССП-5 при обработке им семян пшеницы сортов “Лиза” и “Любава” (рис. 1).

Из полученных данных (рис. 1) хорошо видно, что эффективность действия ССП-5 с ростом аллелотоксичности почвенных образцов снижается достаточно монотонно. Подобное не должно было бы наблюдаться, если бы процесс лимитировался только предотвращением сорбентом попадания аллелотоксинов в семена. В этом случае после достижения концентрации аллелотоксинов величины сорбционной емкости сорбента (по аллелотоксинам) эффективность применения препарата должна была бы снижаться скачкообразно. Однако этого не происходит, что позволяет предполагать наличие сопоставимости величины сорбционной емкости ССП-5 с содержанием доступных растениям аллелотоксинов в навесках почвы, в которые их высевают.

Проведем небольшой расчет. На обработку 7.5 г (~ 200 шт.) семян мы расходует в виде суспензии 18 мг сухого препарата, которые при проведении вегетационных опытов высеваем в 20 кг почвы. Почвенные растворы, вызывающие угнетение растений, содержат 500–1000 мг/л аллелотоксинов (в пересчете на кумарин) [6]. Учитывая, что влажность почв, с которыми мы работаем, около 20%, в 20 кг почвы только в почвенном растворе должно содержаться ориентировочно 1500–4000 мг аллелотоксинов. Вполне очевидно, что 18 мг сорбционного препарата не могут закрепить такое количество аллелотоксинов.

Однако литературные данные [11] и результаты вегетационных опытов (рис. 2) свидетельствуют об эффективности применения сорбционно-стимулирующих препаратов для предпосевной обработки семян. Из полученных данных следует, что в контроле из 20 семян яровой пшеницы сорт “Лиза” проросло только 17 (обработанные семена проросли все), а наземная вегетативная масса проростков, выросших из обработанных семян, была почти на 40% больше массы проростков, выросших в контроле (1.65 и 1.19 г), что хорошо видно на фотографии (рис. 2).

Таким образом, возникает противоречие: “сорбент не может стимулировать развитие проростков семян за счет поглощения всех почвенных аллелотоксинов из-за их большого количества, но он стимулирует”.

Для объяснения наличия стимулирующего эффекта при применении сорбционных препаратов необходимо предположить, что на растения действует очень небольшая часть всех почвенных аллелотоксинов, и их количество сравнимо с сорбционной емкостью ССП-5, используемого для обработки семян. Из этого следует, что лимитирует ингибирование растений, в первую очередь, не количество аллелотоксинов в почвах, а процесс поступления аллелотоксинов из почв в семена.



**Рис. 2.** Яровая пшеница сорт “Лиза”, выросшая в дерново-подзолистой почве за 6 сут из необработанных семян (1) и семян обработанных сорбционно-стимулирующим препаратом (кальциевый бентонит – 40 г/л, гумат – 10 г/л, автолизат пивных дрожжей – 12 г/л, гиббереллин – 300 мг/л и полиэтиленгликоль с молекулярной массой 400–300 мг/л) с расходом 60 л суспензии препарата на тонну семян (2).

Следовательно, процесс поступления аллелотоксинов из почв в семена не является свободным, а обусловлен определенными ограничениями. Наиболее вероятным ограничением является освобождение аллелотоксинов из почв за счет обменных реакций с веществами, выделяемыми растениями (семенами). Если принять, что процессы обменной сорбции с поступлением аллелотоксинов в семена происходят лишь на почвенных частицах примыкающих к зерновкам, то наблюдаемые результаты получают логичное объяснение.

На основе предложенного механизма поступления аллелотоксинов из почв в семена и развивающиеся растения следует, что для стимуляции растений необходимо, чтобы сорбционные препараты могли “перехватывать” аллелотоксины, находящиеся в почве в непосредственной близости от растительных объектов. Причем, если эффект при использовании сорбционного препарата для обработки семян на почвах с более высокой аллелотоксичностью снижается, то должно быть достаточно несколько поднять дозу препарата, чтобы обеспечить поглощение ингибирующих зерновки аллелотоксинов.

Последний вывод был проверен экспериментально. Увеличение расхода ССП-5 при обработке им семян яровой пшеницы сорт “Лиза” с 40 до 60 л на тонну семян привело на ВУ почве к значительному повышению эффективности его приме-

нения с 25 до 50%, т.е. эффект вырос до величины, наблюдаемой на образцах исходной почвы.

Таким образом, в ходе проведенных опытов было установлено, что аллелотоксины в почвах могут присутствовать как в активном, так и в недоступном для растений состояниях. Аллелотоксины в активном состоянии за счет обменных реакций поступают в растения из прилегающих к ним областей почв. Необходимость сорбировать аллелотоксины только из почвенных частиц, примыкающих к зерновкам и освобождаемых из почв за счет обменных реакций, обеспечивает эффективность применения сорбционно-стимулирующих препаратов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов И.В., Абыльзильдина Р.Р., Пусенкова Л.И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. № 4. С. 373–385.
2. Назарова А.А., Полищук С.Д. Особенности роста и развития кукурузы гибрида “Обский 140” при обработке семян препаратами на основе наночастиц железа, кобальта и их сочетания // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 48. № 1. С. 174–177.
3. Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. – М.: Изд. Колос, 1983. 349 с.
4. Araújo S.D.S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A., Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology // *Frontiers in plant science*. 2016. V. 7. P. 1–12.
5. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Горепекин И.В. Аллелотоксичность почв и способ уменьшения ее негативного влияния на начальную стадию развития растений // Почвоведение. 2020. № 8. С. 1007–1015.
6. Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головкин Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наук. думка, 1979. 248 с.
7. 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.
8. 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. Article 1020.
9. Jilani G., Mahmood S., Chaudhry A.N., Hassan I., Akram M. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review // *Annals of Microbiology*. 2008. 58. № 3. P. 351–357.
10. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // Почвоведение. 2019. № 4. С. 489–496.
11. Шоба С.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Грачева Т.А., Салимгареева О.А. Природа повышения эффективности применения сорбционно-стимулирующих препаратов для предпосевной обработки семян при введении в их состав неионогенных ПАВ // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2020. Т. 494. С. 513–516.

## ON THE SORPTION-STIMULATING PREPARATIONS INFLUENCE ON SEED GERMINATION

Corresponding Member of the RAS S. A. Shoba<sup>a</sup>, G. N. Fedotov<sup>a</sup>, I. V. Gorepekin<sup>a</sup>,  
D. I. Potapov<sup>a</sup>, and T. A. Gracheva<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup> Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>#</sup>e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru

The influence of various types of impacts on soil samples on the germination of seeds and the development of seedlings in comparison with sand (allelotoxicity) was studied. It is established that various preparing of soil samples can significantly affect their allelotoxicity. It is shown that initial soil stimulated seedlings development (+23%). Drying to air-dry condition with further wetting increased the allelotoxicity to – 27%. Autoclaving of samples (148°C, 4.5 atm) increased their allelotoxicity to – 77%. Received data allow suggesting that allelotoxins can exist in the soil in active and fixed forms and move from the fixed form to the active form when applying various types of impacts on the soil. The study of the influence of soil samples allelotoxicity on the application efficiency of sorption-stimulating preparation (SSP), used for the pre-sowing treatment of spring wheat seeds, shows that the application effect of SSP monotonously decreases when allelotoxicity increases. The conducted calculations show that the amount of sorbent used to protect seeds from allelotoxins is 3–4 orders of magnitude less than the amount that can fix allelotoxins contained in soils. It follows that the development of seed seedlings is influenced only by a small part of allelotoxins, existing in soils in the active state.

**Keywords:** allelotoxicity of soils, seed stimulation, pre-sowing seed treatment, sorption-stimulating preparation, the effect of soil allelotoxicity on the effectiveness of the stimulants use, the uptake of allelotoxins from the soils by plants