

УДК 631.8; 631.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

АЛЛЕЛОТОКСИНЫ В ПОЧВАХ И СТИМУЛЯЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕМЯН**Г.Н. Федотов^{1, 2}, В.С. Шалаев², Ю.П. Батырев²**¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Изучено влияние обработки семян зерновых культур растворами, содержащими биологические фунгициды, сорбенты, многозарядные катионы и гуминовые препараты, на развитие семян и их проростков в песке и на различных почвах. Проведенные эксперименты подтверждают предположение о том, что стимуляция развития семян различными препаратами состоит в их защите от ингибирующего действия аллелотоксинов. Об этом свидетельствует стимулирующее влияние некоторых твердых сорбентов, а также данные, показывающие, что освобождения активных центров гуматов приводит к повышению эффективности их использования. С этих позиций хорошо объясняется различная стимуляция гуматами семян, прорастающих на песке и в почвах. В связи с практически полным отсутствием почв без аллелотоксинов, в основе разработки препаратов-стимуляторов развития семян должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Ключевые слова: аллелопатия, токсикоз почв, ингибирование почвами развития семян, сорбенты, микроорганизмы

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Аллелотоксины в почвах и стимуляция развития семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 62–70.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

Поиск стимулирующих воздействий и стимуляторов прорастания семян, способных повышать их посевные качества [1–6] проводили параллельно с изучением ответной реакции на эти воздействия. Эксперименты очень часто ставили, проращивая обработанные тем или иным способом семена на инертных субстратах — фильтровальной бумаге или песке. При наблюдаемом в этих условиях ускорении их развития, считали, что препарат или воздействие — эффективны и могут применяться в сельском хозяйстве.

Несомненно, почвы оказывают большое влияние на стимуляцию, так как семена активно с ней взаимодействуют, выделяя в почву вещества [4], которые служат питанием для почвенных микроорганизмов и обуславливают их бурное развитие в прилегающих к семенам областях почвы [7]. Кроме того, из почв в семена поступают вырабатываемые микроорганизмами или закрепленные в почвах биологически активные вещества (БАВ): витамины, антибиотики, растительные гормоны и т. д. [8]. В результате действие стимуляторов на развитие семян реализуется в условиях параллельно идущих процессов поступления из почв в семена витаминов, фитогормонов, кофакторов ферментов, других необходимых семенам БАВ, а также аллелотоксинов, ингибирующих прорастание семян и дальнейшее развитие из них растений [8–12]. Причем поступление в семена из почв аллелотоксинов — не частный случай, а широко распространенное явление [8–10], как показали многочисленные исследования.

В частности, в работе [13] представлены результаты изучения прорастания и развития семян

в почвах по сравнению с промытым песком, не содержащим аллелотоксинов. Было проведено сравнение прорастания семян в разных субстратах с влажностью, при которой процессы развития семян в каждом из них протекали с максимальной скоростью, показавшее, что дерново-подзолистая, серая лесная, каштановая почвы и чернозем ингибируют прорастание семян и развитие их проростков, по сравнению с песком, причем величина ингибирования нередко достигала 50...80% [13].

При разработке стимуляторов значение содержащихся в почвах аллелотоксинов в большинстве случаев не учитывали, а основное внимание уделяли использованию в качестве стимуляторов необходимых для прорастания семян и развития из них растений БАВ — витаминов, фитогормонов, кофакторов ферментов и др. Подобный подход позволял в некоторых случаях повысить скорость развития семян на инертных субстратах, по-видимому, в тех случаях, когда используемые в качестве стимуляторов БАВ лимитировали прорастание семян и рост их проростков.

Таким образом, по имеющимся литературным данным можно предположить, что стимуляция, применяемая в условиях реальных почв, представляет собой ускорение процессов роста при действии на семена почвенных аллелотоксинов.

Учет наличия аллелотоксикоза почв позволяет оценить проблему с несколько иных позиций: воспринимаемая нами при проведении экспериментов «стимуляция» может во многих случаях являться снижением ингибирования развития семян вследствие уменьшения поступления аллелотоксинов из почв в семена.

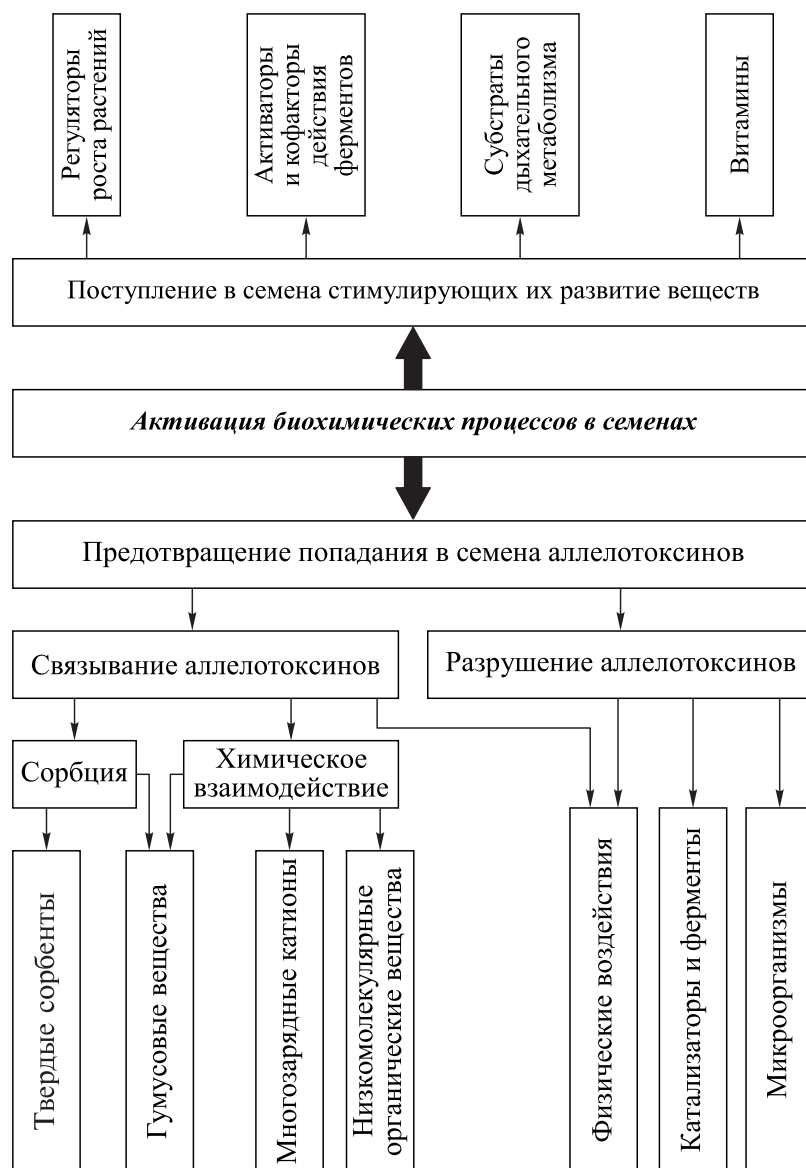


Схема возможных подходов к стимуляции семян, учитывающая наличие фитотоксинов в почвах и семенах
 Scheme of possible approaches to seed stimulation, taking into account the presence of phytotoxins in soils and seeds

Весь комплекс приемов, применявшихся для стимуляции биохимических процессов в семенах ранее [2, 4], и тех, которые могут появиться при рассмотрении вопроса с позиций возможности существования стимуляции в результате снятия ингибирования прорастания семян аллелотоксинами почв, изображен на схеме. Из нее следует, что кроме приемов прямого ускорения биохимических реакций в семенах за счет поступления в них регуляторов роста растений, витаминов, субстратов дыхательного метаболизма, активаторов и кофакторов ферментов для стимуляции развития семян следует рассмотреть приемы, снижающие попадание аллелотоксинов в семена из почв. В частности, задачу предотвращения

ингибирующего действия аллелотоксинов можно решать, разрушая или связывая их с помощью сорбентов, многозарядных катионов, физических воздействий или микроорганизмов, которые будут разрушать аллелотоксины, используя их для питания [10, 14–17].

С общих позиций возможность стимуляции благодаря снижению влияния токсикоза почв не вызывает сомнений, однако прямые эксперименты, доказывающие эту возможность, не были проведены.

Цель работы

Цель работы — проверка предположения о возможности стимуляции прорастания семян и

ускорения развития из них растений из-за снижения негативного влияния на семена аллелотоксинов почв.

Объекты и методы

Исследования проводили на семенах яровой пшеницы (*Triticum*) сорта Лиза, озимой пшеницы (*Triticum*) сорта Безенчукская 380, озимого тритикале (*Triticosecale*) сорта Немчиновский 56, ярового ячменя (*Hordeum*) сортов Раушан и озимой ржи (*Secale cereale*) сорта Татьяна.

В работе использовали: сухой отмытый речной песок с размером частиц 0,5...0,8 мм; образцы дерново-подзолистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы влажностью 18,1 % (после зерновых); образцы серой лесной почвы из Тульской обл. (Щекинский район) влажностью 21,6 % (после зерновых); образцы чернозема типичного из Липецкой обл. (Данковский район) влажностью 33,1 % (после картофеля).

В качестве стимуляторов использовали растворы следующих микробиологических фунгицидов:

– Фитоспорин-М — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм 26 Д, производство компании «БашИнком», Россия, (100 г/л);

– Алирин-Б — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм В-10 ВИЗР, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л);

– Гамаир — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм М-22 ВИЗР, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л);

– Глиокладин — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм ВИЗР-18, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л).

Также проверяли действие твердых сорбентов:

– силикагель ЛС для тонкослойной хроматографии, Chemapol, Praha, (8 г на 1 кг семян);

– оксид алюминия, ХЧ, (по ТУ 6-09-973-71), Донецкий завод химреактивов, (8 г на 1 кг семян);

– Инертон АW, носитель для газовой хроматографии, Chemapol, Praha, (8 г на 1 кг семян);

– Полисорб МП, энтеросорбент (коллоидный диоксид кремния), производство АО «Полисорб», Россия, (8 г на 1 кг семян);

– Фильтрум-сти (лигнин гидролизный), производство АО «АВВА РУС», Россия, (8 г на 1 кг семян);

– активированный уголь, БАУ-А, производство ООО «Галекс Групп», Россия, (8 г на 1 кг семян).

Обработку семян проводили твердыми сорбентами, находящимися в порошкообразном состоянии. Расход препаратов был выбран на основе способности семян удерживать порошок на своей поверхности.

Применяли для проверки стимулирующего действия гумат калия (натрия), произведенный ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля, при концентрации раствора 10 г/л. Использо-

вали как исходный гумат, так и препарат, который получили, пытаясь активировать исходный гумат путем освобождения его активных центров. Для этого исходный гумат помещали в гептан в соотношении 1:100 (гумат : гептан) и кипятили в течение 1 ч. Затем полученные активированные гуматы отфильтровывали, сушили и использовали их растворы для проведения экспериментов.

Для обработки семян использовали также растворы, содержащие многозарядные катионы цинка и кальция.

Все обработки семян проводили полусухим способом при расходе растворов 20 л на 1 т семян. Для этого 50 г семян помещали в пластиковую лодочку размером 20×7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску суспензии стимулятора 1 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Было изучено влияние обработки семян различными стимуляторами на развитие семян в песке и почвах на основе изменения интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.). Интегральную длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [13]. Опыты проводили при указанных в работе условиях [13]. Проросшие в почве или песке семена отмывали от субстрата и помещали порциями в мерный цилиндр объемом 100 мл с водой, размещенный на вибростол, колеблющемся с частотой 50 Гц. После внесения в цилиндр каждой порции проросших семян, которые создавали ажурную пористую структуру, на них на 15–20 с помещали небольшой грузик массой 8 г в виде резиновой пробки, что приводило к уплотнению структуры. После помещения в цилиндр всех проросших семян на них клали грузик и проводили дополнительное уплотнение структуры легкими постукиваниями (30–40) цилиндра с семенами о стол. Эти операции позволяли создать достаточно однородную структуру, а нижняя граница груза позволяла определять насыпной объем с точностью до 0,5 мл.

При проведении экспериментов по проращиванию семян на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г почвы или песка, затем ровным слоем размещали 7,5 г семян, а сверху — 30 г почвы или песка соответственно. После этого в чашку равномерно из мерной пипетки добавляли воду.

Использовали шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян [4]. В результате ошибка опыта не превышала 7 % при 95%-м уровне значимости.

Т а б л и ц а 1

Влияние предпосевной обработки семян зерновых культур препаратами, содержащими микроорганизмы, на их прорастание и развитие проростков в различных субстратах
The pretreatment effect of grain seeds with stuff containing microorganisms on their germination and development of seedlings in various substrates

Культура, сорт	Субстрат	Препарат	Эффект, %
Тритикале, сорт Немчиновский 56	Песок	Фитоспорин-М	-7
	Дерново-подзолистая почва		+9
	Чернозем		+3
	Серая лесная почва		+4
Ячмень, сорт Раушан	Песок	То же	-1
	Чернозем		-2
Пшеница, сорт Лиза	Дерново-подзолистая почва	Фитоспорин-М	+2
		Алирин-Б	+11
		Гамаир	+5
		Глиокладин	+4

Т а б л и ц а 2

Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорта Лиза различными сорбентами на их прорастание и развитие проростков в дерново-подзолистой почве

The pretreatment effect of spring wheat seeds of the variety Lisa with various sorbents on their germination and development of seedlings in sod-podzolic soil

Препарат	Эффект, %
Силикагель	+5
Оксид алюминия	+11
Инертон	-20
Полисорб	+3
Фильтрум	0
Активированный уголь	-18
Активированный уголь с гуматом на его поверхности	0

Т а б л и ц а 3

Влияние предпосевной обработки семян пшеницы растворами, содержащими многозарядные катионы, на их прорастание и развитие в дерново-подзолистой почве

The pretreatment effect of wheat seeds with solutions containing multiply charged cations on their germination and development in sod-podzolic soil

Культура, сорт	Раствор	Эффект, %
Пшеница, сорт Безенчукская 380	Сульфат цинка, 2 г/л (по цинку)	0
	5 г/л (по цинку)	0
	10 г/л (по цинку)	-2
	20 г/л (по цинку)	-3
Пшеница, сорт Лиза	Нитрат кальция, 10 г/л (по кальцию)	-2
	20 г/л (по кальцию)	-5

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы было изучено влияние предпосевной обработки семян на стимуляцию их развития микроорганизмами (табл. 1).

По полученным данным видно, что из используемых биофунгицидов на основе микроорганизмов значимое стимулирующее влияние оказали только Алирин-Б и Фитоспорин-М. Причем эффективность действия Алирина-Б проявилась на дерново-подзолистой почве с яровой пшеницей сорта Лиза, а «Фитоспорина-М — на озимом тритикале сорта Немчиновский 56 на дерново-подзолистой почве (см. табл. 1).

Обращает на себя внимание тот факт, что применение препарата Фитоспорин-М на озимом три-

тикале сорта Немчиновский 56 на песке приводит к некоторому угнетению развития семян, а использование этого препарата на дерново-подзолистой почве с яровой пшеницей сорта Лиза не дает положительного результата. Также хорошо видно отсутствие значимого эффекта при использовании препарата Фитоспорин-М на тритикале сорта Немчиновский 56 на других почвах. Для ячменя сорта Раушан этот препарат не дал эффекта во всех случаях его применения. Отметим, что остальные препараты (Гамаир и Глиокладин) при испытании тоже не показали значимых результатов (см. табл. 1).

Обработка семян твердыми сорбентами (табл. 2) приводила иногда к некоторому стимулированию их развития (оксид алюминия). В ряде случаев при использовании сорбентов

Т а б л и ц а 4

Влияние предпосевной обработки семян зерновых культур гуматами на их прорастание и развитие проростков в различных субстратах

The pretreatment effect of grain crops seeds with humates on their germination and development of seedlings in various substrates

Культура, сорт	Субстрат	Препарат	Эффект, %
Пшеница, сорт Лиза	Песок	Гумат	+4
	Дерново-подзолистая почва		+12
	Песок	Гумат, активированный в гептане	+6
	Дерново-подзолистая почва		+25
Пшеница, сорт Безенчукская 380	Песок	Гумат	-3
	Дерново-подзолистая почва		0
	Песок	Гумат, активированный в гептане	+3
	Дерново-подзолистая почва		+11
Рожь, сорт Татьяна	Песок	Гумат	+19
	Чернозем		+23
	Песок	Гумат, активированный в гептане	-11
	Чернозем		-9

(инертна и активированного угля) мы наблюдали (см. табл. 2) заметное ингибирование развития семян.

Изучение обработки семян растворами, содержащими катионы цинка и кальция, показало, что наличие в растворах многозарядных катионов не активирует их развитие (табл. 3).

Из данных табл. 4 хорошо видно, что влияние обработки песка гуматом для семян пшеницы сорта Лиза при их посеве достаточно мало, но заметно возрастает при посеве в дерново-подзолистую почву. Освобождение у гуматов активных центров в гептане заметно повышает эффект стимуляции, проявляющийся при посеве в дерново-подзолистую почву.

Для семян пшеницы сорта Безенчукская 380 обработка неактивированным гуматом не оказывает значимого влияния ни на песке, ни на дерново-подзолистой почве, но обработка активированным гуматом при посеве на дерново-подзолистой почве заметно стимулирует развитие семян по сравнению с их посевом в песок (см. табл. 4).

Несколько иная картина наблюдается для озимой ржи сорта Татьяна. При посеве в чернозем обработка семян раствором гумата заметно активирует развитие семян так же, как при их посеве в песок, а обработка активированным гуматом приводит к проявлению ингибирования прорастания семян при посеве в оба субстрата (см. табл. 4).

Анализ полученных результатов показывает, что стимуляция не связана с наличием в семенах фитопатогенов, так как в этом случае все биофунгициды оказали бы стимулирующее действие при их применении на всех субстратах.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что патогены не присутствуют и в почвах,

поскольку в противном случае при посеве обработанных биофунгицидами семян в почвы всегда наблюдалась бы стимуляция.

Наличие стимулирующего эффекта препарата Фитоспорин-М при посеве обработанных им семян озимого тритикале сорт Немчиновский 56 в дерново-подзолистой почве по сравнению с посевом в песке позволяет констатировать сложный характер эффекта стимуляции развития семян биофунгицидами. Данный эффект не объясняется выделением микроорганизмами биологически активных для развития семян веществ, так как это приводило бы к стимуляции развития семян и в песке, и в почвах. Действие препаратов можно объяснить способностью некоторых штаммов бактерии «*Bacillus subtilis*» разрушать аллелотоксины, поступающие в семена из почв. Различная толерантность культур и сортов растений к аллелотоксинам и различный их комплекс в разных почвах позволяют понять разнообразие наблюдаемых эффектов.

Стимуляция сорбентом (оксидом алюминия) однозначно свидетельствует об удалении из системы веществ, ингибирующих процесс развития семян, однако и в таком случае наблюдается ингибирование сорбентами развития семян. Подобное ингибирование характерно как для гидрофобных (активированный уголь), так и для гидрофильных сорбентов (инертон), т. е. данный эффект не связан со свойствами поверхности сорбентов. По-видимому, возникновение ингибирования объясняется поглощением сорбентами необходимых для развития семян БАВ, молекулы которых содержат гидрофильные и гидрофобные участки и могут закрепляться на сорбентах разной природы. При использовании препаратов, способных снижать в семенах активность не только аллелотоксинов,

но и БАВ, можно ожидать появление ингибирования там, где мы ожидали обнаружить стимуляцию вследствие поглощения алелелотоксинов.

Результаты, полученные при обработке семян растворами, содержащими многозарядные катионы, для стимуляции их развития, свидетельствуют о следующем. Катионы не лимитируют развитие семян и не могут значимо снизить количество алелелотоксинов, поступающих из почвы в семена. Следует отметить, что данный отрицательный результат касается конкретных семян и конкретной почвы. На других почвах, в которых многозарядные катионы способны снижать концентрацию алелелотоксинов, ситуация может быть иной. Однако универсального эффекта от применения для стимуляции развития семян многозарядных катионов ожидать не стоит.

Для объяснения результатов, наблюдаемых при обработке семян растворами гуматов, примем во внимание, что не только почвы, но и семена содержат фитотоксины, ингибирующие их развитие. Это отмечается в работах М.Г. Николаевой [18] и следует из исследований Н.А. Красильникова [8], показывающего, что фитотоксины из почв распространяются по всему растению, а следовательно, могут попасть и в семена. В результате при изучении прорастания семян в песке (или другом инертном субстрате) мы фактически исследуем влияние на их прорастание накопившихся в семенах алелелотоксинов и активацию прорастания семян гуминовыми веществами за счет устранения негативного действия этих алелелотоксинов. При прорастании семян в почвах на их развитие наряду с алелелотоксинами, присутствующими в семенах, влияют алелелотоксины, поступающие в семена из почв, которых может быть значительно больше, чем их содержится в семенах, а по составу они могут заметно различаться. При проведении испытаний в песке мы изучаем влияние применяемых препаратов на снижение ингибирующего воздействия алелелотоксинов, содержащихся в семенах, при проведении экспериментов в почвах, по-видимому, большее влияние должны оказывать алелелотоксины, поступающие в семена из почв.

В связи с этим наблюдаемые на семенах пшеницы, обработанных растворами гуматов, результаты можно объяснить незначительным содержанием алелелотоксинов в семенах. Поэтому обработка семян гумусовыми веществами (ГВ) при их посеве в песок не оказывает заметного влияния на развитие семян.

При посеве в почву алелелотоксины, ингибирующие развитие семян и поступающие из почвы, вероятно, хорошо закрепляются на активированном гумате. Это приводит к появлению значительного стимулирующего эффекта при посеве

в почву семян, обработанных активированным гуматом. Отметим, что объяснить наблюдаемые в почвах и не наблюдаемые в песке эффекты стимуляции чем-то иным, а не наличием в почвах алелелотоксинов, достаточно затруднительно.

Для семян ржи (см. табл. 4) субстрат, на котором высевают семена, мало влияет на эффект стимуляции. По-видимому, эффект стимуляции связан с содержанием алелелотоксинов в самих семенах, но освобождение активных центров гумата приводит к появлению заметного угнетения развития семян. Это можно объяснить тем, что ГВ, так же, как рассмотренные выше твердые сорбенты, способны поглощать из семян БАВ, определяющие их развитие, и при нехватке этих веществ происходит замедление развития семян.

При рассмотрении хорошо известного стимулирующего воздействия гуминовых препаратов на развитие семян с позиций снижения ГВ ингибирующего влияния алелелотоксинов заметно изменяются представления о природе стимуляции. Связано это с тем, что появляется возможность объяснить с единых позиций несколько хорошо известных экспериментальных фактов.

Во-первых, исчезает необходимость поиска механизмов действия ГВ путем вмешательства в биохимические реакции [19]: влияния на проницаемость клеточных мембран, дыхательного метаболизма и т. д.

Во-вторых, исчезает необходимость искать пути проникновения ГВ внутрь растительных клеток [20, 21], так как ГВ могут сорбировать токсины и снижать их концентрацию внутри растительных клеток, находясь на поверхности последних.

В-третьих, становится понятным проявление биологической активности ГВ при фолитарной обработке. Связано это, скорее всего, с тем, что часть алелелотоксинов попадает через корни в ветви и листья растений и может замедлять их рост и фотосинтез [8], а ГВ удаляют алелелотоксины из листьев за счет сорбции.

В-четвертых, логично объясняется при подобном подходе защитная способность ГВ при действии на растения стрессов. Обусловлена она известным свойством растений выделять при стрессе алелелотоксины [10, 22], которые замедляют биохимические реакции, защищая растения от гибели. В условиях наличия стресса ГВ снижают концентрацию алелелотоксинов в растениях, ускоряя их вегетацию и снижая воздействие стресса.

В результате рассмотрения природы стимуляции и биологической активности ГВ с новых позиций возникает новая возможность повышения эффективности использования гуматов путем освобождения их сорбционных центров, удаляя с них закрепленные молекулы.

Выполненные эксперименты свидетельствуют, о том, что для стимуляции прорастания и дальнейшего развития семян следует обеспечить развивающиеся семена всеми необходимыми для нормального прорастания БАВ, удалить фитотоксины из семян или другим способом устранить их негативное влияние на развитие семян, а также не допустить поступления фитотоксинов из почв в семена.

При этом характер и значимость влияния на развитие семян каждого из перечисленных факторов для пар *семена — почва* заранее предсказать невозможно, но не вызывает сомнений то, что они могут различаться. Следовательно, проведение экспериментов по разработке стимулятора на какой-либо паре *семена — почва* не может прогнозировать эффективность применения найденного стимулятора для других пар *семена — почва*.

Это позволяет сделать вывод о том, что возможность разработки пригодного для большого числа культур и почв стимулятора только на основе сорбции токсинов из семян и предотвращения их поступления в семена из почв является маловероятной. Основные мешающие факторы — поглощение сорбентами аллелотоксинов, необходимых для развития семян БАВ, и трудность разработки сорбента, который сможет поглотить все ингибирующие развитие семян аллелотоксины, способные поступить в семена из почвы.

Можно предположить, что более перспективен вариант, в котором используется защита семян от аллелотоксинов микроорганизмами, способными их дезактивировать. Подобное можно осуществлять двумя способами: во-первых, путем нанесения таких микроорганизмов на семена перед посевом, при чем необходимо, чтобы эти микроорганизмы могли функционировать в присутствии почвенных микроорганизмов, не угнетаясь ими; во-вторых, путем обработки семян веществами, которые активируют развитие почвенных микроорганизмов, способных защитить семена от проникновения в них аллелотоксинов. Второй вариант значительно более перспективен, так как количество аллелотоксинов, содержащихся в почве, в этом случае не будет влиять на способность препаратов стимулировать развитие семян при условии способности микроорганизмов их «утилизировать». Можно предположить, что именно на этом механизме основана активация прорастания семян и развития из них растений препаратом Альбит [23, 24], основным действующим веществом которого является полибетагидроксимасляная кислота, являющаяся запасным энергетическим материалом у прокариот.

Таким образом, в связи с практически полным отсутствием почв, не содержащих аллелотокси-

ны, в основе разработки препаратов — стимуляторов развития семян, по-видимому, должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Выводы

1. Проведенные эксперименты подтверждают предположение о том, что стимуляция развития семян различными препаратами состоит в защите прорастающих семян от ингибирующего действия аллелотоксинов. Об этом свидетельствуют: заметное стимулирующее влияние некоторых сорбентов, активация гуматов путем освобождения их активных центров, различная стимуляция гуматами семян, прорастающих на песке и почвах.

2. Защитить семена от аллелотоксинов почв, используя твердые сорбенты или сорбционную способность ГВ, по-видимому, не удастся, в первую очередь из-за количества аллелотоксинов в почве, превышающего сорбционную емкость тех препаратов-сорбентов, которые могут оставаться на семенах после обработки.

3. В связи с практически полным отсутствием почв, не содержащих аллелотоксины, в основе разработки препаратов-стимуляторов развития семян должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Список литературы

- [1] Алтухов И.В., Федотов В.А. Взаимодействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы // Ползуновский вестник, 2011. № 2/1. С. 156–159.
- [2] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / Под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [3] Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4 (78). С. 22–24.
- [4] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [5] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta physiologicae plantarum, 2015, v. 37, no. 3, pp. 59.
- [6] Šerá V. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Science and Technology, 2013, v. 15, no. 9, pp. 935.
- [7] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Применение системного подхода к изучению стимуляции прорастания семян в почвах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 28–34.
- [8] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР, 1958. 464 с.
- [9] Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головкин Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
- [10] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. Reigosa M.J., Pedrol N., Gonzalez L. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.

- [11] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, no. 2, pp. 181–207.
- [12] Rice E.L. Allelopathy. New York–London: Academic Press, 1984, 422 p.
- [13] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние алелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // *Почвоведение*, 2019. № 4. С. 489–496.
- [14] 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.
- [15] Ghulam J., Shaikat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil - a review // *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants // *Sci. Bull.*, 2015, no. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosrati I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [18] Николаева М.Г. Покой семян и факторы его контролируемые // *Физиология и биохимия покоя и прорастания семян* / Под ред. М.Г. Николаевой и Обручевой. М.: Колос, 1982. С. 72–98.
- [19] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере. Ростов-на-Дону, 2009. 120 с.
- [20] Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водной и почвенных средах в условиях абиотических стрессов: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 303 с.
- [21] Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / Под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: СПбГУ, 2004. 248 с.
- [22] Биохимические механизмы интоксикации растений при засолении среды. Алма-Ата: Наука, 1980. 172 с.
- [23] Алехин В.Т., Сергеев В.Р., Злотников А.К., Попов Ю.В., Рябчинская Т.А., Рукин В.Ф. Альбит на зерновых культурах и сахарной свекле // *Защита и карантин растений*, 2006. № 6 С. 26–27.
- [24] Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрецова И.Ю., Злотников А.К. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы // *Агрохимия*, 2009. № 10. С. 39–47.

Сведения об авторах

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

Поступила в редакцию 22.05.2019.

Принята к публикации 07.07.2019.

ALLELOTOXINS IN SOILS AND SEEDS GROWTH STIMULATION

G.N. Fedotov^{1,2}, V.S. Shalaev², Yu.P. Batyrev²

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

The influence of grain seeds treatment with solutions containing biological fungicides, sorbents, multicharged cations and humic preparations on the seeds growth and their germs in sand and various soils was studied. The experiments confirm the hypothesis that the stimulation of seeds by various stimulants is protect them from inhibitory actions of allelotoxins. This is evidenced by the stimulating effect of some solid sorbents, as well as data showing that the release of active centers of humates leads to increase efficiency of their use. From these positions the different stimulation of seeds germinating on sand and in soils by humates is well explained. In connection with the almost complete lack of soil without allelotoxins, the basis for development of seeds growth stimulants, should lie to protect them from soil allelotoxins.

Keywords: allelopathy, soils toxicity, the inhibition of soil seeds growth, sorbents, microorganisms

Suggested citation: Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Allelotoksiny v pochvakh i stimulyatsiya razvitiya semyan* [Allelotoxins in soils and seeds growth stimulation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 62–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

References

- [1] Altukhov I.V., Fedotov V.A. *Vzaimodeystvie IK-izlucheniya razlichnykh dlin voln na semena pshenitsy* [Interaction of IR radiation of different wavelengths on wheat seeds]. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 2/1, pp. 156–159.
- [2] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Ed. N.F. Batygin. Minsk: Uradszhay, 1986, 118 p.

- [3] Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Pre-sowing treatment of spring wheat seeds with humic preparation from peat]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (78), pp. 22–24.
- [4] Sechnyay L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [5] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta physiologiae plantarum*, 2015, v. 37, no. 3, pp. 59.
- [6] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries. *Plasma Science and Technology*, 2013, v. 15, no. 9, pp. 935.
- [7] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Primenenie sistemnogo podkhoda k izucheniyu stimulyatsii prorastaniya semyan v pochvakh* [Application of a systematic approach to study of seed germination stimulation in soils]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 2, pp. 28–34.
- [8] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR, 1958, 464 p.
- [9] Grodzinskiy A.M., Bogdan G.P., Golovko E.A., Dzyubenko N.N., Moroz P.A., Prutenskaya N.I. *Al-lelopaticheskoe pochvou-tomlenie* [Allelopathic soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1979, 248 p.
- [10] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. Reigosa M.J., Pedrol N., Gonzalez L. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.
- [11] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, no.2, pp. 181–207.
- [12] Rice E.L. Allelopathy. New York–London: Academic Press, 1984, 422 p.
- [13] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F., Gorepekin I.V. *Vliyanie allelotoksichnosti pochv na prorastanie semyan zernovykh kul'tur* [The influence of soils allelotoxicity on grain crops seeds germination]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, 2019, no. 4, pp. 489–496.
- [14] 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.
- [15] Ghulam J., Shaikat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review. *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants. *Sci. Bull.*, 2015, no. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [18] Nikolaeva M.G. *Pokoy semyan i faktory ego kontroliruyushchie* [Rest of seeds and its controlling factors]. *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorastaniya semyan* [Physiology and biochemistry of seeds dormancy and germination]. Moscow: Kolos, 1982, pp. 72–98.
- [19] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu, 2009, 120 p.
- [20] Kulikova N.A. *Zashchitnoe deystvie guminovykh veshchestv po otnosheniyu k rasteni-yam v vodnoy i pochvennykh sredakh v usloviyakh abioticheskikh stressov* [Protective effect of humic substances on plants in water and soil environments under abiotic stresses]. *Dis. ... Dr. Sci. (Biol.)*. Moscow, 2008, 303 p.
- [21] Popov A.I. *Guminovye veshchestva: svoystva, stroenie, obrazovanie* [Humic substances: properties, structure, formation]. Ed. E.I. Ermakov. St.Petersburg: SPbPU, 2004, 248 p.
- [22] *Biokhicheskie mekhanizmy intoksikatsii rasteniy pri zasolenii sredy* [Biochemical mechanisms of plants intoxication under saline environment]. Alma-Ata: Nauka, 1980, 172 p.
- [23] Alekhin V.T., Sergeev V.R., Zlotnikov A.K., Popov Yu.V., Ryabchinskaya T.A., Rukin V.F. *Al'bit na zernovykh kul'turakh i sakharной svekle* [Albite on grain crop and sugar beet]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2006, no. 6, pp. 26–27.
- [24] Ryabchinskaya T.A., Kharchenko G.L., Sarantseva N.A., Bobreshova I.Yu., Zlotnikov A.K. *Polifunktional'noe deystvie preparata Al'bit pri predposevnoy obrabotke semyan yarovoy pshenitsy* [The multifunctional effect of the stimulant Albite during the pre-sowing treatment of spring wheat seeds]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 2009, no. 10, pp. 39–47.

Authors' information

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

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

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

Received 22.05.2019.

Accepted for publication 07.07.2019.