
**ДЕГРАДАЦИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ**

УДК 631.8631.4

**АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ И РАЗРАБОТКА
СОРБЦИОННО-СТИМУЛИРУЮЩЕГО ПРЕПАРАТА
ДЛЯ УСКОРЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ
ИЗ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

© 2020 г. Г. Н. Федотов^{а, *}, И. В. Горепекин^а, Л. В. Лысак^а, Д. И. Потапов^а

^аМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, 119992 Россия

*e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Поступила в редакцию 05.02.2020 г.

После доработки 13.02.2020 г.

Принята к публикации 26.02.2020 г.

Разработан сорбционно-стимулирующий препарат для предпосевной обработки семян, включающий в свой состав бентонит кальция, гумат калия, автолизат пивных дрожжей, гиббереллин и полиэтиленгликоль, который на различных почвах эффективно стимулирует развитие растений на ранних стадиях из семян яровой пшеницы. Показано, что высокая жесткость воды не оказывает негативного влияния на действие стимулятора, а раствор стимулятора надо готовить за 4–6 ч до применения. Он может храниться более недели, не теряя своих стимулирующих свойств. Установлено, что обработанные раствором стимулятора семена могут храниться более двух месяцев без потери эффективности действия стимулятора, а предпосевная обработка семян раствором стимулятора совместно с биологическими и химическими фунгицидами не снижает эффект действия стимулятора. Выяснено, что высушивание почвенных образцов до воздушно-сухого состояния заметно увеличивает аллелотоксичность почв, что, по-видимому, связано со структурным переходом в матрице почвенных гелей и большей доступностью для растений аллелотоксинов, которые закреплены на гидрофобных участках частиц, образующих почвенные гели.

Ключевые слова: стимуляция семян, предпосевная обработка семян, технологические параметры обработки семян, фунгициды, высушивание почвенных образцов, актуальная и потенциальная аллелотоксичность

DOI: 10.31857/S0032180X2009004X

ВВЕДЕНИЕ

Стимулирующая предпосевная обработка семян известна достаточно давно [15, 19]. Для ее проведения используют различные препараты [7, 15, 18, 19] или стимулирующие воздействия [1, 5, 19, 26]. При этом предпосевная обработка семян препаратами-стимуляторами в условиях производства в отличие от применения стимулирующих воздействий реализуется значительно проще, так как можно использовать стандартное оборудование, применяемое для протравливания семян. Необходимо отметить, что при стимуляции семян наблюдаемые положительные эффекты часто не воспроизводятся, что объясняли влиянием погодных условий, качества семян или другими причинами, но, в целом, природа невоспроизводимости не была понятна.

Было выдвинуто предположение [23, 24], что небольшая величина эффектов при стимулирующей обработке семян биологически активными веществами (БАВ) и невоспроизводимость вели-

чины стимуляции обусловлены действием веществ-стимуляторов на фоне угнетающего воздействия на семена аллелотоксинов, поступающих в них из почв [2–4, 6, 8–10, 13, 17, 25, 27, 28]. Как следствие, в зависимости от величины ингибирующего действия аллелотоксинов стимулирующее влияние проявляется в различной степени.

Установлено, что защита семян от ингибирующего действия аллелотоксинов сорбционными препаратами на основе бентонита (БК) и гумата (Г) сама стимулирует их развитие без веществ-стимуляторов, а также обеспечивает значительное повышение эффективности использования некоторых препаратов, содержащих вещества-стимуляторы: гормоны роста растений, субстраты дыхательного метаболизма, стимуляторы широкого спектра действия [21, 23]. При проведении этих исследований выявлено [21], что из почвы в прорастающие семена поступают не только аллелотоксины, но и БАВ, которые необходимы для развития растений, а закрепление этих БАВ на сорбентах за-

медляет прорастание семян и развитие их проростков. Поэтому в сорбционный препарат была введена добавка автолизата пивных дрожжей (АПД), содержащего большой набор разнообразных БАВ (витамины, ферменты, аминокислоты и т. д.), которые должны были блокировать сорбционные центры сорбента, способные закреплять БАВ, поступающие в семена из почвы. Тем самым снималось негативное действие сорбционных препаратов на прорастание некоторых видов семян [21, 23].

Эксперименты по предпосевной обработке семян растворами, содержащими наряду с сорбционными препаратами индивидуальные гормоны роста растений, субстраты дыхательного метаболизма и БАВ-стимуляторы, показали, что величина стимуляции этими растворами носит экстремальный характер и может быть достаточно велика. При этом интервал концентраций высокой эффективности применения этих гормонов был достаточно узок. При введении субстратов дыхательного метаболизма, гормонов роста растений и стимуляторов широкого спектра действия в раствор сорбционного препарата (БК-Г-АПД) эффективность применения многих БАВ резко возросла [21, 23].

В то же время не было отмечено стимуляции при использовании диэтиламиноэтилгексаноата, триаконтанола, а также кинетина и форхлорфенурина. При использовании гормона ауксиновой природы (3-индолилуксусной кислоты) отсутствовало стимуляции при малых концентрациях смешалось заметным ингибированием [23].

Большая часть полученных результатов была вполне предсказуемой. Так, трудно было ожидать высоких стимулирующих эффектов при любых применяемых концентрациях БАВ. Это связано с тем, что для растений важную роль играет не увеличение концентрации какого-либо одного гормона или БАВ, а сбалансированность концентраций гормонов и других БАВ в растениях и их отдельных органах [14].

По-видимому, по этой же причине не все изученные препараты оказывали стимулирующее действие на прорастание семян. Если их наличие в растении после поступления необходимых для развития семян БАВ из почвы находилось на близком к оптимальному уровню, то дополнительное введение растительных гормонов уже не могло оказывать стимулирующего действия.

Таким образом, показано, что наличие в составе препарата бентонита кальция (БК) и гумата (Г), образующих бентонито-гуматовый комплекс (закрепляющий аллелотоксины из почв и снижающий их поступление в семена), АПД (предотвращающего закрепление стимулирующих БАВ из почв на сорбционном бентонито-гуматовом комплексе) и введение в препарат по отдельности различных стимулирующих компонентов (гормонов роста растений, субстратов дыхательного ме-

таболизма и веществ-стимуляторов широкого спектра действия) для большинства БАВ значительно увеличивает стимуляцию начального этапа развития растений из семян. Были обнаружены достаточно значительные эффекты стимуляции (от 20 до 50%) [21, 23], но необходимо было проверить, нельзя ли добиться большей стимуляции.

Поэтому представляло интерес изучить влияние на стимуляцию введения в сорбционный препарат, содержащий БК, Г и АПД, одновременно нескольких различных веществ-стимуляторов.

Для внедрения в практику сельского хозяйства возникла необходимость изучить влияние на эффективность применения разработанного стимулирующего препарата в реальных производственных условиях:

- жесткости воды;
- времени, прошедшего от приготовления раствора препарата до обработки им семян;
- времени хранения обработанных препаратом семян;
- введения в раствор препарата фунгицидов;
- посева обработанных семян на различных дерново-подзолистых почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В экспериментах использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) сорт “Лиза” урожая 2018 г.

Проращивали семена в образцах дерново-подзолистых почв (здесь и далее названия почв приведены по классификации почв СССР 1977 г.): окультуренная дерново-подзолистая глубоко-подзолистая глубокопахотная легкосуглинистая почва на покровных суглинках после вико-овсяной смеси (1 – ВУ) – 2018 г., после горчицы (2 – ВУ и 2* – И) – 2018 и 2019 г., после картофеля (3 – ВУ) Московская область, Чашниково – 2018 г.; дерново-неглубокоподзолистая освоенная глубокопахотная легкосуглинистая почва на покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г. (5 – ВУ и 5* – И) Московская область, Чашниково – 2019 г.; агродерново-глубокоподзолистая супесчаная на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях почва (9 – ВУ и 9* – И), подстилаемая с глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками (окрестности поймы р. Яхромы, Московская область) – 2018 и 2019 г.

В экспериментах также использовали образцы серой лесной освоенной со вторым гумусовым горизонтом высококовскипающей среднесуглинистой почвы на лёссовидных карбонатных суглинках, залежь (10 и 10*) и после пшеницы (11 и 11*) из окрестностей г. Суздаль (поля Владимирского НИИСХ) – 2019 г., а также чернозема выщелоченного среднемошного среднесуглинистого на

лёссовидном суглинке, после пшеницы¹ Орловская область (12) – 2019 г.

Свойства дерново-подзолистых и серых лесных почв приведены в работах [16, 20].

В индексации почв приводятся цифры без звездочки с буквой И и со звездочкой с буквами ВУ. Индекс без звездочки означает, что почвенный образец готовили общепринятым в почвоведении способом – после отбора образца его довели до воздушно-сухого состояния. Для получения из него увлажненного образца добавляли воду при тщательном перемешивании и выдерживали в таком состоянии не менее 2 нед. Индекс со звездочкой означает, что отобранный образец, содержащий влагу, хранили при комнатной температуре, поддерживая его увлажненное состояние.

Для защитного действия семян от почвенных аллелотоксинов использовали гумат калия (Г), произведенный ООО НВЦ “Агротехнологии” (Россия) из бурого угля, и бентонит кальция (БК) по ОСТ 18-49-71 (Россия). Для блокирования активных центров глино-гумусового комплекса, способных поглощать БАВ, поступающие из почвы в семена, использовали АПД, произведенный ООО “Биотех плюс” (Россия). Применяли суспензии сорбционного препарата, содержащие БК – 40 г/л, Г – 10 г/л, АПД – 12 г/л.

В качестве биологически активных веществ к сорбционным препаратам добавляли субстраты дыхательного метаболизма: янтарную (ЯК), фумаровую (ФК) и шавелевую (ШК) кислоты; гормоны роста растений: препарат “Бутон”, содержащий 2% гиббереллина, гиббереллин 90%-ный (Г), 6-бензиламинопури (6-БАП), brassinolid (Брасс), содержащий 0.1% brassinosteroidов; стимулятор широкого спектра действия: парааминобензойную кислоту (ПАБК). Добавляли их в обнаруженных [21, 23] оптимальных концентрациях. В качестве компонентов сорбционно-стимулирующего препарата использовали также неионогенные ПАВ: Полисорбат 20 (П-20) в концентрации 120 мг/л и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с молекулярной массой от 400 до 20000 у. е. в концентрации 300 мг/л. ПАВ использовали в концентрациях, соответствующих для них максимуму эффективности стимуляции.

Обработку семян проводили полусухим способом при расходе 40 литров раствора на тонну семян.

Для повышения воспроизводимости получаемых данных изучали изменение интегральной длины проростков 7.5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод, основан-

ный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [22].

Для определения воздействия почв на развитие семян (аллелотоксичности почв) проводили сравнительные испытания по изменению суммарной длины проростков семян в песке и почвах, принимая за 100% развитие семян в песке и рассчитывая относительно этого значения замедления или ускорения развития проростков семян почвой.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разным качеством семян до 7%.

Для моделирования жесткости воды в дистиллированную воду добавляли нитрат кальция.

Для изучения влияния времени хранения приготовленных растворов и обработанных семян на эффект стимуляции их выдерживали при температуре 27–28°C.

Для изучения влияния фунгицидов на начальную стадию развития растений из семян использовали фунгициды: Тебу-60 (тебуконазол, 60 г/л), Раксил Ультра (тебуконазол, 120 г/л), Ламадор (протионазол, 250 г/л; тебуконазол, 150 г/л), Баритон (протионазол, 37.5 г/л; флуоксастробин, 37.5 г/л), Иншур перформ (пираклостробин, 40 г/л; тритиконазол, 80 г/л), а также биофунгицид Фитоспорин-М (*Bacillus subtilis*, штамм 26 Д) при рекомендуемых для их применения для предпосевной обработки семян расходах препаратов. Для биофунгицидов Алирин (*Bacillus subtilis*, штамм В-10 ВИЗР), Гамаир (*Bacillus subtilis*, штамм М-22 ВИЗР) и Глиокладин (*Trichoderma harzianum*, штамм 18 ВИЗР) расход препаратов был взят по аналогии с применением Фитоспорина-М. Их применяли, обрабатывая семена растворами фунгицидов или растворами, содержащими фунгицид и стимулятор.

Общую численность бактерий в дерново-подзолистой почве (9 и 9*) определяли методом прямой люминесцентной микроскопии после окраски препаратов почвенной суспензии акридином оранжевым. Длину мицелия грибов и численность спор грибов после окраски почвенной суспензии акридином оранжевым [12]. Численность сапротрофных культивируемых бактерий определяли на глюкозо-пептонно-дрожжевой (ГПД) среде классическим методом посева, таксономическую принадлежность бактерий на основании фенотипических признаков (микроморфология, особенности жизненного цикла, наличие спор и плодовых тел), окраска по Граму (тест с 3% КОН) [11, 12]. Структура бактериального комплекса (СБК) охарактеризована с использованием подходов, разработанных на кафедре биологии почв [11].

¹ Свойства чернозема были определены агрохимической службой: рН – 5.1; P₂O₅ – 15.3 мг/100 г; K₂O – 14.0 мг/100 г; гумус – 5.58%; В – 0.97 мг/100 г; Mg – 7.42 мг/100 г; Zn – 0.86 мг/100 г; Cu – 0.47 мг/100 г; Mn – 20.5 мг/100 г; S – 6.7 мг/100 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для увеличения стимулирующих эффектов была предпринята попытка добавлять в сорбционные препараты одновременно несколько БАВ-стимуляторов в оптимальных при их использовании с сорбционным препаратом концентрациях [21, 23].

Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют, что добавление нескольких БАВ к сорбционному препарату в большинстве случаев не приводит к росту величины стимуляции. Рассмотрим совместное применение фумаровой кислоты и препарата “Бутон”, содержащего гиббереллины (опыты 2, 3 и 7). Введение фумаровой кислоты в сорбционный препарат дает стимуляцию 24%, препарата “Бутон” – 34%, а при их совместном применении величина стимуляции даже несколько уменьшается (до 31%). Аналогичный результат наблюдается при совместном использовании препарата “Бутон” с 6-бензиламинопурином (опыты 3, 5 и 8). Введение 6-БАП в сорбционный препарат дает стимуляцию 47%, препарата “Бутон” – 34%, а при их совместном применении величина стимуляции тоже несколько снижается (до 46%). При совместном применении фумаровой и парааминобензойной кислот эффект стимуляции снижается более заметно (опыты 2, 4 и 11). Введение фумаровой кислоты в сорбционный препарат дает стимуляцию 24%, ПАБК – 31%, а при их совместном использовании наблюдается уменьшение до 21%.

Увеличение числа биологически активных компонентов до трех ситуацию не изменяет (опыты 2, 4, 5, 10 и 12). Так одновременное введение в сорбционный препарат фумаровой кислоты, ПАБК и 6-БАП не приводит к росту стимуляции по сравнению с использованием двух БАВ – ПАБК и 6-БАП. В случае трех БАВ стимуляция составляет 53%, а при введении в сорбционный препарат только ПАБК и 6-БАП – 55%.

Использование в составе препарата неионных ПАВ также принципиально не меняет ситуации (опыты 15, 20 и 21). При введении в сорбционный препарат Брассинолида наблюдается стимуляция 20%, Полисорбата-20 – 17%, а при их совместном введении в сорбционный препарат уменьшается до 14%.

Таким образом, в большинстве случаев эффекты стимуляции от отдельных БАВ, вводимых в сорбционный препарат не суммируются, и предсказать БАВ, которые нужно вводить в сорбционно-стимулирующий препарат для повышения его эффективности не представляется возможным, что хорошо иллюстрируется представленными результатами.

Однако эмпирическим путем, перебирая варианты, удалось найти БАВ, которые при совместном использовании в препарате дают эффекты большей величины, чем каждый из них в отдельности.

Так введение в сорбционный препарат одновременно ПАБК и 6-бензиламинопурина (опыт 10) дает заметно больший эффект, чем использование этих БАВ в сорбционном препарате по отдельности (опыты 4 и 5).

Ранее было показано [21], что на величину стимуляции при предпосевной обработке семян сорбционными препаратами большое влияние оказывает состояние почв, в которые высевают обработанные семена – чем выше ингибирующая способность почв, тем выше эффект стимуляции. Поэтому, на наш взгляд, более корректно изучать влияние стимуляторов на почвах, оказывающих минимальное ингибирующее (лучше стимулирующее) воздействие на прорастание семян. Так как в этом случае препарат будет всегда лучше действовать на почвах, оказывающих на развитие семян меньшее стимулирующее и большее ингибирующее влияние.

В связи с этим дальнейшие эксперименты по поиску стимуляторов проводили на почве 9* – И, которая стимулирует, а не угнетает прорастание семян и развитие их проростков по сравнению с инертным субстратом.

Из проведенных экспериментов следует, что в этих условиях стимулирующие эффекты становятся заметно меньше. Так введение в сорбционный препарат ПАБК и 6-бензиламинопурина (опыт 27) дает стимуляцию только 25, а не 55%, как мы наблюдали в опыте 10.

Дальнейшие исследования показали, что к повышению стимуляции приводит добавление к сорбционному препарату гиббереллинов и Полисорбата-20 (опыт 17), а также гиббереллинов и брассинолида (опыт 23).

Попытки заменить Полисорбат-20 на Полисорбат-60 или Полисорбат-80 привели к заметному снижению эффекта стимуляции. Учитывая это, можно предположить, что эффективность использования полисорбатов основывается не только на поверхностной активности, но и на их индивидуальном влиянии на биохимические процессы, протекающие в семенах при прорастании.

Лучшие результаты при создании сорбционно-стимулирующего препарата удается получить, вводя в сорбционный препарат гиббереллины и полиэтиленгликоль (опыт 19). В результате эффект стимуляции возрастает до 36%. При этом молекулярная масса ПЭГ не оказывает значимого влияния на эффект стимуляции, а оптимальная концентрация ПЭГ в сорбционно-стимулирующем препарате составляет 300 мг/л.

Таким образом, в результате проведенных в первой части работы экспериментов удалось разработать комплексный сорбционно-стимулирующий препарат, включающий в свой состав бентонит кальция, гумат калия, автолизат пивных дрожжей, гиббереллин и полиэтиленгликоль, ко-

Таблица 1. Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорт “Лиза” суспензиями сорбционного препарата (БК-Г-АПД) с добавками различных БАВ на изменение суммарной длины проростков на различных дерново-подзолистых почвах

Номер опыта	Номер почвы и год отбора образца	Воздействие почвы, %	Состав препарата, г/л	Изменение суммарной длины проростков*, %
1	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД</u> 40-10-12	+32 ± 4
2	2 – ВУ – 2018	–16	<u>БК-Г-АПД-ФК</u> 40-10-12-1	+24 ± 3
3	2 – ВУ – 2018	–16	<u>БК-Г-АПД-Бутон</u> 40-10-12-2	+34 ± 4
4	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-ПАБК</u> 40-10-12-0.75	+31 ± 4
5	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-6-БАП</u> 40-10-12-0.075	+47 ± 5
6	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-Бутон-ПАБК</u> 40-10-12-2-0.75	+37 ± 4
7	1 – ВУ – 2018	–5	<u>БК-Г-АПД-Бутон-ФК</u> 40-10-12-2-1	+31 ± 4
8	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-Бутон-6-БАП</u> 40-10-12-2-0.075	+46 ± 5
9	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-ФК-6-БАП</u> 40-10-12-1-0.075	+47 ± 6
10	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-ПАБК-6-БАП</u> 40-10-12-0.75-0.075	+55 ± 6
11	2 – ВУ – 2018	–16	<u>БК-Г-АПД-ФК-ПАБК</u> 40-10-12-1-0.75	+21 ± 3
12	2 – ВУ – 2018	–16	<u>БК-Г-АПД-ФК-ПАБК-6-БАП</u> 40-10-12-1-0.75-0.075	+53 ± 6
13	3 – ВУ – 2018	–20	<u>БК-Г-АПД-Бутон-ФК-ПАБК-6-БАП</u> 40-10-12-2-1-0.75-0.075	+35 ± 4
14	1 – ВУ – 2018	–5	<u>БК-Г-АПД-Бутон-ПАБК-6-БАП</u> 40-10-12-2-0.75-0.075	+38 ± 5
15	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-П-20</u> 40-10-12-0.12	+17 ± 2
16	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Ги6б</u> 40-10-12-0.1	+23 ± 3
17	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Ги6б-П-20</u> 40-10-12-0.1-0.12	+31 ± 3
18	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-ПЭГ</u> 40-10-12-0.1-0.3	+17 ± 2
19	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Ги6б-ПЭГ</u> 40-10-12-0.1-0.3	+36 ± 4
20	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Бр</u> 40-10-12-0.3	+20 ± 3
21	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Бр-П-20</u> 40-10-12-0.3-0.12	+14 ± 2
22	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Бр-ПЭГ</u> 40-10-12-0.3-0.3	+22 ± 3
23	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД-Бр-Ги6б</u> 40-10-12-0.3-0.1	+32 ± 4

Таблица 1. Окончание

Номер опыта	Номер почвы и год отбора образца	Воздействие почвы, %	Состав препарата, г/л	Изменение суммарной длины проростков*, %
24	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД</u> -Бр-Гибб-П-20 40-10-12-0.3-0.1-0.12	+30 ± 4
25	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД</u> -6-БАП 40-10-12-0.075	+15 ± 2
26	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД</u> -6-БАП-П-20 40-10-12-0.075-0.12	+15 ± 2
27	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД</u> -ПАБК-6-БАП 40-10-12-0.75-0.075	+25 ± 3
28	9* – И – 2019	+23	<u>БК-Г-АПД</u> -ПАБК-6-БАП-П-20 40-10-12-0.75-0.075-0.12	+10 ± 2

Примечание. БК – бентонит кальциевый; Г – гумат; ФК – фумаровая кислота; ЯК – янтарная кислота; ЩК – шавелевая кислота; Бутон – препарат “Бутон”; ПАБК – парааминобензойная кислота; 6-БАП – 6-бензиламинопурин; Гибб – гиббереллин; П-20 – Полисорбат-20; ПЭГ – полиэтиленгликоль; Бр – Брассинолид.

* Проводили сравнение изменения суммарной длины проростков обработанных семян с необработанным контролем на тех же почвах.

торый оказывает заметное стимулирующее влияние на раннюю стадию развития растений из семян яровой пшеницы.

На следующем этапе исследования было изучено влияние технологических параметров приготовления раствора сорбционно-стимулирующего препарата (ССП) на эффективность его использования: жесткости воды, в которой готовят препарат, времени, прошедшего от приготовления раствора препарата до обработки им семян, и времени, прошедшего от обработки семян препаратом до их посева.

Из полученных данных (табл. 2) хорошо видно, что жесткость воды не влияет на эффективность применения препарата, так же как и время, прошедшее от обработки семян до посева. Последнее имеет большое значение, так как позволяет проводить обработку семян заранее, а не в период сева, когда в условиях производства это представляет определенные сложности.

Обращает на себя внимание, что обработку следует проводить не сразу после приготовления раствора препарата, а через несколько часов. Связано это, по-видимому, с тем, что нужно время для набухания и распада крупных глинистых частиц бентонита до мелких. Необходимо также отметить, что препарат не теряет своей эффективности при хранении раствора в течение недели.

Применение фунгицидов, используемых для предпосевной обработки семян совместно с сорбционно-стимулирующим препаратом, не оказывает значимого негативного влияния на эффект стимуляции в сравнении с семенами обработанными только фунгицидами (табл. 3). Величина эффекта от действия сорбционно-стимулирующего препарата сохраняется при использовании хими-

ческих и биологических фунгицидов. Все это открывает возможности для внедрения сорбционно-стимулирующего препарата в практику сельского хозяйства.

На последнем этапе работы было необходимо проверить эффективность использования разработанного препарата на различных почвах. При этом лабораторные эксперименты должны быть максимально приближены к реальным условиям, в которых обязательным этапом производственного процесса является протравливание семян фунгицидами.

Как хорошо видно из представленных результатов (табл. 4), эффективность действия разработанного стимулятора сохраняется на всех изученных образцах почв вне зависимости от их типа, предистории и аллелотоксичности. Причем при использовании стимулятора совместно с фунгицидом эффект стимуляции проявляется всегда сильнее.

Из представленных в таблице данных обращает на себя внимание то, что аллелотоксичность почв, которые проходили стадию высушивания практически всегда выше аллелотоксичности тех же почвенных образцов, которые хранили, поддерживая их во влажном состоянии. Этот вопрос с методической точки зрения может быть достаточно важен при изучении аллелотоксичности почв, так как в некоторых случаях аллелотоксичность может оказывать заметное влияние на действие стимуляторов, например сорбционных [21]. Важно это также и при поиске корреляций между аллелотоксичностью почв и урожайностью растений, выращиваемых на этих почвах. Так как всегда встает вопрос о хранении и подготовке для исследования почвенных образцов, чтобы получае-

Таблица 2. Влияние различных параметров обработки семян яровой пшеницы сорт “Лиза” ССП (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) на изменение суммарной длины проростков при стимуляции начальной стадии развития из них растений на дерново-подзолистой почве 9* – И – 2019

Исследуемый параметр	Величина параметра, мг/л по Ca ²⁺ (характеристика жесткости)	Изменение суммарной длины проростков*, %
Жесткость воды	130 (вода средней жесткости)	+36 ± 3
	250 (вода очень жесткая)	+36 ± 4
Время, прошедшее после приготовления раствора	1 час	+23 ± 3
	2 часа	+31 ± 3
	4 часа	+36 ± 5
	6 часов	+36 ± 4
	1 сутки	+36 ± 4
	4 суток	+36 ± 4
	8 суток	+36 ± 4
Время, прошедшее после обработки семян раствором	3 недели	+30 ± 4
	0–6 часов	+36 ± 4
	3 суток	+36 ± 4
	7 суток	+36 ± 4
	1 месяц	+36 ± 4
	2 месяца	+34 ± 4

* Проводили сравнение изменения суммарной длины проростков обработанных семян с необработанным контролем на тех же почвах.

Таблица 3. Влияние обработки фунгицидами и ССП (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) семян яровой пшеницы сорт “Лиза” при посеве в дерново-подзолистую почву (9* – И – 2019) на начальную стадию развития растений (%)

Фунгицид	Изменение длины проростков семян, обработанных		
	стимулятором и фунгицидами, в сравнении с семенами, обработанными стимулятором	фунгицидами, в сравнении с необработанными семенами	стимулятором и фунгицидами, в сравнении с семенами, обработанными только фунгицидами
Тебу 60	-35 ± 4	-43 ± 5	+31 ± 4
Раксил ультра	-21 ± 3	-26 ± 3	+33 ± 4
Ламадор	-26 ± 3	-37 ± 4	+37 ± 4
Иншур перформ	-36 ± 4	-45 ± 5	+31 ± 4
Баритон	-55 ± 6	-71 ± 7	+32 ± 4
Фитоспорин М	+3 ± 2	0 ± 2	+37 ± 4
Алирин	0 ± 2	+4 ± 2	+33 ± 4
Гамаир	0 ± 2	+6 ± 2	+31 ± 4
Глиокладин	+6 ± 2	+5 ± 2	+38 ± 5

мые результаты были корректны. Кроме того, обнаружение потенциальной и актуальной аллелотоксичности² расширяет наши экспериментальные возможности, позволяя проводить исследова-

² Мы назвали их так по аналогии с рН. Актуальная аллелотоксичность соответствует исходной почве, а потенциальная аллелотоксичность проявляется при соблюдении определенных условий.

ния на одном почвенном образце, имеющем идентичные предысторию и агрохимические свойства, но отличающемся (иногда заметно) по аллелотоксичности.

На наш взгляд, наиболее вероятными является два объяснения этого явления. Первое состоит в том, что при прохождении стадии высушивания происходит частичная гибель почвенных микро-

Таблица 4. Воздействие почвы на семена и влияние предпосевной обработки фунгицидом “Ламадор” и сорбционно-стимулирующим препаратом (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) семян яровой пшеницы сорт “Лиза” при посеве в различные образцы почв на начальную стадию развития растений (%)

Почва и год отбора образца	Воздействие почвы	Действие стимулятора на развитие проростков семян	
		необработанных фунгицидом	обработанных фунгицидом
Д-п почва 2 – ВУ – 2019	-36 ± 4	$+28 \pm 4$	–
Д-п почва 2* – И – 2019	-33 ± 4	$+36 \pm 4$	$+46 \pm 5$
Д-п почва 5 – ВУ – 2019	-29 ± 4	$+25 \pm 3$	–
Д-п почва 5* – И – 2019	-11 ± 3	$+38 \pm 4$	$+56 \pm 6$
Д-п почва 9 – ВУ – 2019	-27 ± 4	$+37 \pm 4$	–
Д-п почва 9* – И – 2019	$+23 \pm 3$	$+35 \pm 4$	$+37 \pm 4$
С-л почва 10 – ВУ – 2019	-2 ± 2	$+17 \pm 3$	–
С-л почва 10* – И – 2019	$+25 \pm 3$	$+15 \pm 3$	$+28 \pm 4$
С-л почва 11 – ВУ – 2019	-14 ± 3	$+28 \pm 4$	–
С-л почва 11* – И – 2019	0 ± 2	$+20 \pm 3$	$+51 \pm 5$
Чернозем 12 – ВУ – 2019	$+24 \pm 3$	$+16 \pm 3$	$+33 \pm 4$

Таблица 5. Общая численность бактерий, длина грибного мицелия и численность спор грибов в образцах дерново-подзолистой почвы (9 и 9*)

Образец почвы	Бактерии, млрд/г	Грибы	
		мицелий, м/г	споры, млрд/г
9* – И – 2019	7.1 ± 0.7	1340 ± 120	0.11 ± 0.01
9 – ВУ – 2019	6.1 ± 0.6	1007 ± 100	0.25 ± 0.03

Таблица 6. Численность и таксономический состав культивируемых сапротрофных бактерий (глюкозо-пептонно-дрожжевая среда – ГПД) в образцах дерново-подзолистой почвы (9 и 9*)

Образец почвы	Численность, млн КОЕ/г	Актиномицеты	Споровые	Коринеформы	Грамотрицательные
		(млн КОЕ/г)/%			
9* – И – 2019	4.3 ± 0.4	$1.2 \pm 0.2/27$	$0.3 \pm 0.03/7$	$1.0 \pm 0.1/23$	$1.8 \pm 0.2/43$
9 – ВУ – 2019	3.1 ± 0.3	$1.0 \pm 0.1/30$	$0.3 \pm 0.03/10$	$1.1 \pm 0.1/33$	$0.7 \pm 0.1/27$

организмов с последующим их развитием при увлажнении. При этом может изменяться состав почвенной микрофлоры, а это может оказывать влияние на аллелотоксичность.

Для проверки этого объяснения наблюдаемого явления были проведены сравнительные микробиологические исследования исходного образца дерново-подзолистой почвы (9*) и образца, который был высушен и снова увлажнен (9). На этих почвенных образцах наблюдается максимальная разница в их воздействии на прорастание семян и дальнейшее развитие проростков. Полученные результаты представлены в таблицах (табл. 5–7).

Показатели общей численности бактерий в контроле (9*) и опыте (9) составляли 7.1 и 6.1 млрд клеток в 1 г почвы соответственно, длина грибно-

го мицелия 1340 и 1007 м в 1 г почвы соответственно (табл. 5). Более высокие значения численности бактерий и длины грибного мицелия зафиксированы в контроле (9*), более низкие в варианте с высушиванием (9). Обращает на себя внимание более высокая численность спор грибов в варианте с высушиванием (9) по сравнению с контролем (9*) – 0.25 и 0.11 млрд в 1 г соответственно.

Численность сапротрофных культивируемых бактерий на ГПД среде также была больше в контроле (9*) и ниже в варианте с высушиванием (9) – 4.3 и 3.1 млн КОЕ в 1 г соответственно (табл. 6). Состав бактериального комплекса по вариантам опыта различался. Максимальное содержание грамотрицательных бактерий было в контроле (9*) – 43%,

Таблица 7. Таксономическая структура бактериального комплекса (СБК) в образцах дерново-подзолистой почвы (9 и 9*)

Образец почвы	Доминанты, больше 30%	Субдоминанты, 20–30%	Группа среднего обилия, 10–20%	Минорные компоненты, меньше 10%
9* – И – 2019	Грамотрицательные	Актиномицеты, коринеформы	Нет	Споровые
9 – ВУ – 2019	Коринеформы	Актиномицеты, грамотрицательные	Споровые	Нет

меньше содержание актиномицетов и коринеформ – 27 и 23%, еще меньше содержание споровых – 7%. В варианте с высушиванием (9) увеличилось содержание актиномицетов и коринеформ – 30 и 33%. Значительно уменьшалось содержание грамотрицательных бактерий – 27%. Содержание споровых составляло 10%.

Выявленные закономерности в изменении структуры СБК при высушивании более четко проявляются при анализе СБК с использованием критериев доминирования. В контроле (9*) доминируют грамотрицательные бактерии, в качестве субдоминантов выступают актиномицеты и коринеформы, споровые выступают в роли минорных компонентов (табл. 7). В варианте с высушиванием почвы (9) в качестве доминантов выступают коринеформы, субдоминантами являются актиномицеты и грамотрицательные бактерии, споровые входят в группу среднего обилия. Обращает на себя внимание, что грамотрицательные бактерии в варианте с высушиванием (9) были представлены в основном, скользкими бактериями родов *Mucococcus* и *Polyangium*. Эти бактерии обладают более высокой устойчивостью к высушиванию, чем другие грамотрицательные бактерии.

Из проведенных экспериментов по микробиологии следует, что, во-первых, показатели общей численности бактерий и длины грибного мицелия в контроле (9*) больше, чем в варианте с высушиванием (9). Численность спор, напротив, больше в варианте с высушиванием и меньше в контроле. Во-вторых, численность сапротрофных культивируемых бактерий выше в контроле (9*), ниже в варианте с высушиванием (9). В-третьих, структура сапротрофного бактериального комплекса в контроле (9*) и варианте с высушиванием (9) различались. В контроле (9*) доминируют грамотрицательные бактерии, в варианте с высушиванием (9) – коринеформы и актиномицеты. После высушивания содержание грамотрицательных бактерий значительно уменьшается.

Таким образом, высушивание приводит к снижению численности микроорганизмов в почве, и это не позволяет объяснить рост аллелотоксичности при высушивании почв с позиции изменения количества почвенных микроорганизмов, выде-

ляющих аллелотоксины. Невозможно также объяснить наблюдаемое явление, полагая, что микроорганизмы используют аллелотоксины в качестве источников углерода, так как во времени аллелотоксичность исходных почв практически не изменяется.

Второе объяснение увеличения аллелотоксичности почв состоит в том, что при высушивании почв в них происходит структурный переход, в результате которого гидрофобные участки частиц матрицы почвенных гелей меняют свое положение в пространстве так, чтобы увеличить свой контакт с воздухом. Во влажном почвенном образце термодинамически выгодно, чтобы гидрофобные участки поверхности частиц минимизировали свои контакты с водой, содержащейся в почвах, ориентируясь друг к другу. При увлажнении воздушно-сухих почвенных образцов происходит обратный структурный переход с ориентацией гидрофобных участков почвенных частиц друг к другу. Однако этот переход требует энергии активации и не проходит до конца. В результате большая часть гидрофобных участков частиц, образующих матрицу почвенных гелей (по сравнению с исходным влажным почвенным образцом), контактирует с водой. Учитывая, что аллелотоксины имеют большей частью гидрофобную природу [3], это приводит к выходу дополнительного количества закрепленных почвенных аллелотоксинов в почвенный раствор и к повышению аллелотоксичности почв.

Таким образом, можно говорить о существовании актуальной и потенциальной аллелотоксичностей, которые могут заметно отличаться друг от друга. Первая из них характерна для отобранных влажных почвенных образцов. Вторая соответствует почвенным образцам, которые были высушены до воздушно-сухого состояния с последующим увлажнением и выдержкой до прихода в равновесное состояние.

Из этого следует практически значимый вывод, что для получения правильных представлений о воздействии почвенных аллелотоксинов на растения необходимо использовать для исследования почвенные образцы с актуальной аллелотоксичностью.

ВЫВОДЫ

1. Разработан сорбционно-стимулирующий препарат, включающий в свой состав бентонит кальция, гумат калия, автолизат пивных дрожжей, гиббереллин и полиэтиленгликоль, который эффективно стимулирует на различных почвах развитие растений на ранних стадиях из семян яровой пшеницы.

2. Показано, что:

– высокая жесткость воды не оказывает негативного влияния на действие стимулятора;

– раствор стимулятора надо готовить за 4–6 ч до применения, и он может храниться более недели, не теряя своих стимулирующих свойств;

– семена, обработанные раствором стимулятора, могут храниться более двух месяцев без потери эффективности действия стимулятора;

– предпосевная обработка семян раствором стимулятора совместно с биологическими и химическими фунгицидами не снижает эффект действия стимулятора.

3. Установлено, что высушивание почвенных образцов до воздушно-сухого состояния заметно увеличивает аллелотоксичность почв, что, по-видимому, связано со структурным переходом в матрице почвенных гелей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов И.В., Федотов В.А. Воздействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы // Ползуновский вестник. 2011. № 2/1. С. 156–159.
2. Берестецкий О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов. Л.: ВНИИСХМ, 1978. С. 7–30.
3. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. Избр. тр. Киев: Наукова думка, 1991. 432 с.
4. Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головки Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
5. Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / Под ред. Н.Ф. Батыгина. Мн.: Ураджай, 1986. 118 с.
6. Коношина С.Н. Влияние различных способов использования почвы на ее аллелопатическую активность. Дис. ... канд. с.-х. н. Орел, 2000. 145 с.
7. 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.
8. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 464 с.
9. Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии: монография. Орел: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2017. 166 с.
10. Лобков В.Т. Экологические основы почвоутомления в полевых агроценозах центрально-черноземной полосы России. Автореф. дис. ... докт. с.-х. н. Курск, 1994. 32 с.
11. Лысак Л.В., Добровольская Т.Г., Скворцова И.Н. Методы оценки бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий. М.: МАКС Пресс, 2003. 120 с.
12. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
13. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 220 с.
14. Муромцев Г.С., Чкаников Д.И., Кулаева О.Н., Гамбург К.З. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
15. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 506 с.
16. Окорков В.В. Удобрения и плодородие серых лесных почв Владимирского ополья. Владимир: ВОО ВОИ, 2006. 356 с.
17. Рудаков В.О., Рудаков О.Л. Природа почвенных фитоксикозов и проблема защиты растений // Агро XXI. 2009. № 1-3. С. 11–13.
18. Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрешова И.Ю., Злотников А.К. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы // Агротехника. 2009. № 10. С. 39–47.
19. Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
20. Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Позднякова А.Д., Загородняя Ю.А., Исакова С.А. Взаимосвязь предыстории использования и химических свойств почв с их аллелотоксичностью // Почвоведение. 2020. № 3.
21. Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Аллелотоксичность почв и повышение эффективности использования гиббереллинов для предпосевной обработки семян // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 6. С. 45–50.
22. 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.
23. Шоба С.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Грачева Т.А. Повышение эффективности стимуляции развития проростков семян яровой пшеницы при предпосевной обработке гормонами роста растений // Доклады академии наук. Сер. Науки о жизни. 2020. Т. 490. № 2.
24. Шоба С.А., Салимгареева О.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Степанов А.Л. Закрепление аллелотоксинов почв гуминовыми веществами как основа

- стимуляции прорастания семян // Доклады академии наук. 2019. Т. 487. № 3. С. 108–111.
25. Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications / Eds.: M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands. 2006. 637 p.
26. Balakhnina T. et al. 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. № 3. P. 59.
27. McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // *Bacteriological Reviews*. 1964. V. 28. P. 181–207.
28. Rice E.L. Allelopathy. N.Y.: Academic Press, 1984. 422 p.

Soil Alleloxicity and Creation of Sorption-Stimulating Preparation to Accelerate Plant Development from Spring Wheat Seeds at Early Stages

G. N. Fedotov^{1,*}, I. V. Gorepekin¹, L. V. Lysak¹, and D. I. Potapov¹

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com*

Sorption-stimulating preparation for pre-sowing seed treatment, containing calcium bentonite, potassium humate, brewer's yeast autolysate, gibberellin and polyethylene glycol is created. It efficiently stimulates plant development from spring wheat seeds at early stages on different soil. It is shown that high water hardness has no negative impact on the effect of stimulant. The stimulant solution should be prepared 4–6 hours prior to its application and can be stored for more than a week without losing its stimulating properties. Seeds treated by the stimulant solution can be stored more than two months without losing the results of treatment; the pre-sowing seed treatment with the stimulant solution in combination with biological and chemical fungicides does not decrease the stimulant efficiency. It was also found that drying the soil samples to air-dry condition increases markedly the soil alleloxicity, and this phenomenon may be related to the structural transition soil gels in the matrix, and greater availability of allelotoxins for plants. These substances are fixed on hydrophobic ingredients of particles that form the soil gels.

Keywords: seed stimulation, pre-sowing seed treatment, technological parameters of seed treatment, sorption-stimulating preparation, fungicides, drying of soil samples, actual and potential alleloxicity