

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ахтямовой Зарины Асхатовны «Влияние ризосферных бактерий на содержание гормонов, рост и водный обмен растений пшеницы и ячменя в оптимальных условиях и на фоне засоления», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических по специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Диссертантом выбрана актуальная тема, а именно изучение механизмов действия на растения ризосферных бактерий, стимулирующих их рост и повышающих устойчивость к неблагоприятным абиотическим факторам среды. Это важно для повышения эффективности их использования в растениеводстве как средства повышения урожайности сельскохозяйственных культур в благоприятных и стрессовых условиях. К одним из важных механизмов действия бактерий можно отнести их способность продуцировать фитогормоны и с их помощью влиять на содержание гормонов в растениях. Однако сведений о влиянии ризосферных бактерий на содержание гормонов в растениях, а также их защитному действию на растения в условиях засух и засоления почвы, которое обусловлено бактериальными фитогормонами, недостаточно. Многократно отмечалось увеличение скорости транспирации растений под влиянием бактерий и необходимость компенсации возросших потерь воды ее притоком из корней, увеличение способности растений поглощать воду. Но, как правило, это связывали со стимуляцией развития их корневой системы. Сведения о влиянии бактерий на гидравлическую проводимость тканей крайне скудны. Недостаток информации об этих процессах определяет актуальность данной работы, направленной на выявление роли гормонов в действии ризосферных бактерий на рост и водный обмен растений в нормальных для роста условиях и на фоне засоления.

Положения и результаты представляются обоснованными благодаря использованию З.А. Ахтямовой охарактеризованных ранее штаммов бактерий, синтезирующих ауксины и цитокинины, адекватных способов обработки растений бактериями, использованию дефицитного по одному из фитогормонов (абсцизовой кислоте, АБК) мутанта ячменя, а также применению разнообразных подходов для решения поставленных задач: анализа концентрации гормонов в растениях, экспрессии генов, контролирующих метаболизм гормона абсцизовой кислоты (АБК), элементного анализа и гистохимического выявления суберина и лигнина для оценки формирования апопластных барьеров. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждена их воспроизводимостью в достаточном количестве повторений, а также применением статистических методов обработки данных.

Новизна данной диссертационной работы определяется тем, что З.А. Ахтямовой впервые удалось продемонстрировать, что стимуляция формирования апопластных барьеров под влиянием бактерий препятствует неконтролируемому притоку ионов (в том числе, токсичных ионов натрия) и способствует поддержанию концентрации макроэлементов (калия и фосфора) и ионного гомеостаза растений. Ею впервые изучено влияние бактерий на дефицитный по АБК мутант однодольного растения (ячменя). До сих пор значимость способности растений синтезировать этот гормон для их реакции на бактериальную инокуляцию изучали лишь на дефицитном по АБК мутанте двудольных растений арабидопсиса и томатов. Также диссертантом впервые показано, что инокуляция компенсировала дефицит АБК в растениях, благодаря способности бактерий синтезировать этот гормон и влиять на его метаболизм в самом растении. Новизной отличаются также полученные З.А. Ахтямовой сведения о влиянии бактерий на накопление АБК в корнях растений и связи этого эффекта с поддержанием водного баланса растений за счет гидравлической проводимости. До сих пор роль АБК в действии бактерий на водный потенциал растений рассматривалась лишь с точки зрения влияния этого гормона на устьичную проводимость.

Полученные диссертантом результаты значимы не только для лучшего понимания действия бактерий на растения, но и для углубления представлений о гормональной регуляции роста и развития растений. Результаты данной работы по изучению гормонального статуса растений помогают лучше понять парадоксальный эффект, неоднократно описанный в литературе, когда инокуляция корней ризобактериями не влияла на их ростовые параметры, но существенно улучшала рост надземной части растений и повышала урожай. Эти результаты открывают также возможность повышения с помощью бактерий урожайности важных сельскохозяйственных культурах (пшеницы и ячменя), что определяет их значимость для практики.

Структура диссертации традиционна. Обзор литературы содержит современную и достаточную информацию о продуцируемых бактериями гормонах и механизмах солеустойчивости растений, и свидетельствует о глубоком знании и понимании затронутых в работе проблем. Объекты и методы исследований описаны подробно и позволяют воспроизвести поставленные эксперименты. В разделе, посвященном собственным результатам диссертанта, последовательно представлены данные, полученные сначала в нормальных для роста условиях, а затем на фоне засоления. Первым идет описание результатов изучения пшеницы, для которой показаны влияние бактерий *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas mandelii* на их рост, концентрацию ауксинов и цитокининов, формирование апопластных барьеров и содержание

калия, фосфора и натрия в норме и на фоне засоления. Затем следует описание результатов, которые получены при изучении действия бактерий на растения ячменя (в том числе дефицитного по АБК мутанта). В этом разделе делается акцент на роли АБК в адаптации инокулированных растений к засолению и механизмах регуляции концентрации этого гормона в присутствии бактерий.

Основные положения диссертации правильно и достаточно подробно отражены в автореферате и опубликованы.

К диссертации имеются следующие замечания:

1. Неудачным представляется название Таблицы 1: «Обзор преимуществ инокуляции ризобактериями, стимулирующими рост растений». Во-первых, непонятно по отношению к чему и какие имеются преимущества? Во-вторых, на эту тему опубликовано несколько сотен работ (только по ключевому слову PGPR база данных PubMed выдаёт 172 публикации), поэтому приведенные в таблице работы являются очень малой долей информации и таблицу лучше назвать так «Примеры инокуляции ризобактериями, стимулирующими рост растений».
2. Страница 47: Желательно было представить данные по агрохимической характеристике использованной почвы.
3. На рисунке 1а вариант инокуляции штаммом *B. subtilis* IB-22 отмечен буквами а и b, что означает отсутствие различий с вариантом инокуляции штаммом *P. mandelii* IB-K14. Это противоречит размерам столбиков и ошибок средних величин на рисунке, а также описанию результатов в тексте (стр. 56).
4. Очень интересные и обладающие научной новизной, результаты получены при визуализации берберина в поперечных срезах корней (Рисунки 7 и 11). При обсуждении этих результатов желательно было дать количественную оценку наблюдаемых эффектов. Программа ImageJ позволяет это сделать путем расчёта площадей определённого цвета. Это дало бы возможность статистически оценить эффекты и, возможно, получить дополнительную оригинальную информацию.
5. Непонятно, зачем в Таблицу 6 включен столбец с вариантом «Песок с $240 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ », поскольку данные отсутствуют?
6. Вывод №2 об «увеличении отложения лигнина и суберина, а также ускорении образования поясков Каспари» было бы целесообразно дополнить информацией о том, какую роль играют эти факты в положительном действии бактерий на растения.

Данные замечания имеют формальный характер к представлению результатов, и не уменьшают положительное впечатление и научную значимость проделанной Ахтямовой З.А. работы.

В целом диссертационная работа Ахтямовой Зарины Асхатовны «Влияние ризосферных бактерий на содержание гормонов, рост и водный обмен растений пшеницы и ячменя» заслуживает положительной оценки. Она является оригинальной, законченной научно-квалификационной работой, расширяющей представление о механизмах действия ростстимулирующих бактерий на содержание гормонов и водный обмен растений. Выводы, сделанные автором из полученных результатов, являются полностью обоснованными. Работа имеет значение для развития науки в областях физиологии и биохимии растений. Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Ахтямова Зарина Асхатовна, заслуживает присвоения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник, и.о. зав. лабораторией ризосферной микрофлоры
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
микробиологии» Министерства науки и высшего образования РФ, г. Санкт-
Петербург (ФГБНУ ВНИИСХМ),
доктор биологических наук

Белимов Андрей Алексеевич

Адрес: ФГБНУ ВНИИСХМ,
шоссе Подбельского, д. 3, Пушкин-8, г. Санкт-Петербург, 196608
Тел.: +7 (812) 476-51-00
E-mail: belimov@rambler.ru

Подпись д.б.н. А.А. Белимова заверяю:
Ученый секретарь ФГБНУ ВНИИСХМ, к.б.н.



Алисова С.М.

11.01.2023