УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор - проректор по научной деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
д.ф.-м.н., профессор
Таюрский Дмитрий Альбертович
«__» _____ 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» на диссертационную работу Ласточкиной Оксаны Владимировны «Механизмы регуляции устойчивости растений к абиотическим стрессам эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* Cohn», представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по научной специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений

Актуальность темы исследования. Изменения климата приводят к все большим биотическим (увеличение популяции насекомых-вредителей и бурное развитие фитопатогенных микромицетов/бактерий, снижение биоразнообразия микробиоты почвы и уменьшение количества полезных микробов, угрозу для опылителей) и абиотическим стрессам (засуха, экстремальные перепады температур, нарушение кислотности почв, резкое выпадение осадков). В период роста и развития растения испытывают комплексное воздействие нескольких стресс-факторов (абиогенных и биогенных), напряжение которых непрерывно меняется. Повышение устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням и другим неблагоприятным факторам окружающей среды является одной из важнейших проблем растениеводства. При этом невозможно вывести сорта сельскохозяйственных растений, одновременно устойчивых ко всем (или большинству) неблагоприятным условиям, фитопатогенным бактериям и грибам, и характеризующихся высокой урожайностью.

Для решения проблемы снижения урожая ввиду климатических факторов в настоящее время применяют методы математического моделирования климата для предсказания погодных условий и выбора сортов с устойчивостью к прогнозируемым факторам риска (засуха, высокая или низкая температура и тп) и применение различных агротехнологий. Среди последних, в последние годы набирает популярность использование эндофитных бактерий, стимулирующих рост растений (PGP-бактерии), которые позволяют решить проблему плохой

4351-В
29.10.2026

всхожести, слабого развития корней и низкой устойчивости растений к стрессу и болезням и одновременно снизить химическую нагрузку на растения и почву. PGP-бактерии позиционируются как эффективные и экологически чистых агенты, повышающие устойчивость и продуктивность растений за счет смягчения как биотических, так и абиотических стрессов посредством различных механизмов, включая производство вторичных метаболитов и усиление усвоения питательных веществ. В связи с этим диссертационная работа Ласточкиной О.В., посвященная выяснению механизмов регуляции устойчивости растений к абиотическим стрессовым факторам с использованием эндофитных бактерий *B. subtilis*, *является актуальной и своевременной.*

Характеристика содержания работы. *Диссертационная работа* изложена на 347 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов, результатов исследований и их обсуждения, заключения, выводов, списка использованной литературы, включающего 640 источников, из них 569 – зарубежных. Иллюстрированный материал включает 60 рисунков и 19 таблиц.

Во введении автор обосновывает актуальность темы исследования, формирует цели и задачи исследования.

В обзоре литературы дан подробный и всесторонний анализ имеющихся в литературе данных о роли PGR-бактерий в повышении устойчивости растений к абиотическим стрессовым факторам среды; о распространении, разнообразии, колонизации и физиологических функциях PGR-бактерий в растениях, о роли Bacillus spp, в микроб – индуцированной системной устойчивости растений к абиотичеким стрессам; о факторах эффективного взаимодействия растений и PGR-бактерий в условиях абиотических стрессов. Давая оценку проведенному анализу литературных источников, можно сказать, что диссертант, отчетливо представляет состояние рассматриваемой проблемы.

Глава 2 «Материалы и методы исследования» изложена достаточно подробно. Следует отметить широкий набор современных экспериментальных методов, используемых в работе и хороший научно-методический уровень проведенных исследований. В работе, наряду с традиционными физиологическими и биохимическими, использованы современные микробиологические, молекулярно-генетические, биоинформационные, цитогенетические методы, иммуноферментный и гистохимический анализ.

Экспериментальная часть докторской диссертации включает 9 разделов.

В разделе «Идентификация, биологическая активность, ростстимулирующие и антистрессовые свойства *B. subtilis* 10-4 на различные растения представлены данные об *in vitro* фунгистатической активности и протекторном действии исследуемых эндофитов на растения в условиях абиотических стрессов (засуха, засоление, тяжелые металлы), что подтверждает общий вывод об их эффективности как перспективных естественных биорегуляторов роста и индукторов фитоиммунитета

для повышения продуктивности и комплексной устойчивости растений к широкому спектру неблагоприятных факторов.

В разделе «Специфичность ответных реакций инокулированных эндофитами *B. subtilis* растений пшеницы с разными стратегиями адаптации при обезвоживании» получены доказательства того, что инокуляция *B. subtilis* улучшала рост у устойчивых к обезвоживанию сортов в условиях водного дефицита на ранних стадиях онтогенеза. Инокуляция *B. subtilis* чувствительных сортов оказала ингибирующий эффект при прорастании семян в присутствии высоких концентраций сахарозы. В то же время на клеточном уровне защитный эффект *B. subtilis* в условиях водного дефицита был проявлен для обоих экотипов: снижение МДА, поддержание повышенного уровня хлорофиллов и водоудерживающей способности листьев.

В разделе «Вклад гормональных перестроек в защитное действие эндофитных *B. subtilis* на контрастные по стратегии адаптации к засухе растения пшеницы» впервые получены экспериментальные данные о том, что эндофитный штамм *B. subtilis* 10-4 оказывает дифференцированный защитный эффект на растения пшеницы устойчивых и чувствительных сортов, обусловленный модификациями гормонального статуса и структурной адаптацией тканей корня. Автором представлены экспериментальные доводы в пользу выполнения эндогенной СК роли гормонального интермедиата в проявлении предадаптирующего и системного защитного действия *B. subtilis* 10-4 на растения в условиях водного дефицита. Полученные результаты углубляют понимание ранних реакций у различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы на инокуляцию эндофитными *B. subtilis*.

В разделе «Влияние дефицита влаги и клеток эндофитных штаммов *B. subtilis* на состояние фотосинтетического аппарата у контрастных по адаптивным стратегиям растений пшеницы» полученные результаты свидетельствуют о том, защитный эффект эндофита *B. subtilis* 10-4 реализуется через комплексное воздействие на фотосинтетическую функцию (содержание пигментов, флуоресценция хлорофилла) растения-хозяина (пшеницы) в условиях водного дефицита. Выявленные морфометрические изменения устьичного аппарата под влиянием эндофитов указывают не только на смягчение последствий стресса, но и на индукцию долгосрочных адаптивных перестроек, направленных на оптимизацию соотношения между поглощением CO_2 и потерей воды.

В разделе «Вклад компонентов ASA–GSH комплекса в вызываемую эндофитными *B. subtilis* стабилизацию редокс-статуса у растений пшеницы с контрастными стратегиями адаптации при обезвоживании» совокупность полученных данных свидетельствуют в пользу того, что выявленная специфичность реакций, различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы в ответ на инокуляцию эндофитом *B. subtilis* 10-4 обусловлена их способностью регулировать компоненты AsA-GSH комплекса в качестве эффективной антиоксидантной системы. При этом ключевую роль в реализацию протекторного действия *B. subtilis* 10-4 у устойчивых к засухе сортов играет аскорбиновая кислота, а у чувствительных – глутатион, что в обоих случаях

приводит к уменьшению окислительных повреждений мембран и улучшению роста растений в условиях водного дефицита.

В разделе «Роль эндофитных *B. subtilis* в пролонгированной устойчивости растений пшеницы при комбинированном воздействии гербицидного прессинга и почвенной засухи» продемонстрировано, что эндофитные бактерии *B. subtilis* (10-4, 26Д) после предпосевной инокуляции оказывают длительное стимулирующее рост и защитное действие на растения обоих исследуемых сортов, повышают их устойчивость к абиотическим стрессорам с ускоренным восстановлением в пост-стрессовый период. В результате повышается урожайность, и биохимические показатели качества зерна, определяющие хлебопекарный потенциал.

В разделе «Молекулярно-генетические основы физиологического и антистрессового действия эндофита *B. subtilis* 10-4 на растения» проведено полное секвенирование и биоинформатический анализ генома *B. subtilis*.

Анализ представленного диссертантом материала свидетельствует об обоснованности и достоверности полученных автором результатов. Выводы аргументированы и в целом объективно отражают полученные экспериментальные данные. Текст автореферата отражает основные результаты и выводы диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в комплексном изучении влияния эндофитных *B. subtilis* (на примере штамма 10-4) при воздействии дефицита влаги на гормональный статус, AsA-GSH цикл, состояние ФСII фотосинтетического аппарата, морфологию устьиц, водный обмен, компоненты клеточной стенки (лигнин, суберин), ГАМК у контрастных по стратегии адаптации к засухе растений пшеницы.

Выявлены универсальные и специфические (сортоспецифичные) защитные реакции растений, индуцируемые эндофитными *B. subtilis* в условиях обезвоживания, засоления, токсического действия Cd, комбинации обезвоживания с инфицированием возбудителем фузариоза и гербицидным прессингом, что проявляется в снижении степени повреждающего эффекта стрессов на растительные организмы, и в конечном итоге, предотвращает снижение урожая.

Впервые продемонстрирована ключевая роль эндофит (*B. subtilis* 10-4)-индуцированного накопления эндогенной СК как гормонального интермедиата в реализации протекторного действия на растения пшеницы в условиях водного дефицита на начальных стадиях вегетации.

Новизной обладают сведения об участии эндогенной ГАМК в опосредованной эндофитными *B. subtilis* адаптации и устойчивости к комбинированному воздействию гербицидного прессинга и засухи у растений пшеницы. Получены приоритетные данные о пролонгированном защитном эффекте эндофитных *B. subtilis* (10-4, 26Д) на рост и биохимические показатели растений пшеницы при комбинированном стрессе (гербицид+засуха), ускоренном их восстановлении в пост-стрессовый период и формировании повышенного урожая зерна с улучшенным аминокислотным, минеральным составом и другими показателями качества.

Впервые выявлены функционально-важные свойства и ключевые гены эндофита *B. subtilis* 10-4.

Таким образом, полученные в настоящей работе данные обладают научной значимостью, расширяют и углубляют современные представления о эндофитных бактерий *B. subtilis* в ростовых процессах и формировании защитных реакций растений в ответ на неблагоприятные факторы окружающей среды.

Научная и практическая значимость. Автором выявлен ряд общих критериев, характеризующих защитное действие эндофитных *B. subtilis* на физиологию различных агрокультур при разнообразных стрессовых воздействиях и их комбинациях, включающий эффективную колонизацию растений, снижение окислительных и осмотических повреждений клеток, усиление лигнификации корней и поддержание фотосинтеза, что позволяет отнести этот природный регулятор роста к препаратам с широким спектром защитного действия.

Полученные результаты открывают перспективы для разработки микробных препаратов и интеграции ассоциированных с растениями эндофитных бактерий *B. subtilis* в селекционные программы по созданию климатически устойчивых агрокультур. Полученные сведения вносят вклад в понимание фундаментальных основ взаимодействия эндофитных бактерий *B. subtilis* с растениями пшеницы и могут быть использованы для разработки биоинокулянтов, усиливающих механизмы защиты растений, для внедрения в экологически-ориентированные технологии выращивания культур в разных агроэкологических регионах в условиях меняющегося климата.

Перспективный для практического применения эндофитный штамм *B. subtilis* 10-4 депонирован в Национальном биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт»; полногеномная последовательность штамма депонирована в международной базе данных NCBI DDBJ/ENA/GenBank

Результаты могут быть внедрены в образовательный процесс в рамках спецкурсов по физиологии и биохимии растений, а также рекомендованы АПК для повышения устойчивости растений.

Достоверность результатов исследования. В диссертационной работе представлены многократно воспроизводимые результаты с применением современных методов исследования. Достоверность результатов подтверждается соответствующими статистическими анализами и публикацией полученных данных. Результаты исследований прошли апробацию на международных и Российских конференциях, полностью отражены в рецензируемых научных изданиях. Количество публикаций автора впечатляет, 34 статьи в изданиях, рецензируемых в базах данных Scopus и Web of Sciences и рекомендуемых ВАК. Всего публикаций – 39.

Вместе с тем, анализ работы позволяет сделать некоторые **замечания и задать вопросы:**

1. Какая была влажность почвы (в абсолютных цифрах) в контрольном и опытных вариантах при моделировании засухи?

2. Выход электролитов следует рассчитывать в процентах от общего выхода электролитов (Hepbum et al., 1986; Гришенкова, Лукаткин, 2005; Лукаткин и др., 2013; Хохлова и др., 2005, 2015; Игнатенко, 2019; Ястреба и др., 2020 и др.), табл. 4.2.

3. Наличие в бактериальном геноме генов биосинтеза определенных соединений, во-первых не означает, что эти метаболиты синтезируются, а, во-вторых, что они поступают в растение. Автором в среде культивирования бактерий обнаружены только ИУК, АБК и салициловая кислота. Поэтому говорить о том, что все выявленные гены бактерий вовлечены в механизмы повышения устойчивости у растений, на наш взгляд, несколько преждевременно.

4. В таблице 3.5 на первых этапах развития (2-3 пары настоящих листьев) у сахарной свеклы при инфицировании *Alternaria alternate* масса надземной части и корнеплодов увеличивалась, по сравнению с контролем, а к периоду сбора урожая снижалась. С чем связано увеличение данных параметров на ранних этапах развития?

5. Автор пишет, что инокуляция бактериями повышала эндогенный уровень салициловой кислоты (рис.5.6.а), что коррелирует с показателями роста (рис. 4.2), т.е. тоже повышает. В связи с этим у меня возник вопрос, каков может быть механизм действия СК, стимулирующий рост. СК, так же, как и АБК, повышают устойчивость растений, прежде всего, за счет торможения роста, в результате чего происходит перераспределение ассимилятов в пользу синтеза защитных веществ.

6. Имеются технические ошибки. Например, у ряда рисунков не указана достоверность различий (рис. 8.4, 8.5, 3.7). В табл. 3.3 было бы полезно указать возраст использованных для опыта растений. На рис. 5.2 не подписаны оси ординат.

Указанные выше замечания, тем не менее, не умаляют достоинств рецензируемой работы.

В заключение можно констатировать, что диссертационная работа Ласточкиной Оксаны Владимировны на тему «Механизмы регуляции устойчивости растений к абиотическим стрессам эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* Cohn», соответствует специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений (биологические науки) и представляет законченное фундаментальное исследование, выполненное на актуальную тему на высоком методическом уровне, в котором была решена важная научная проблема повышения засухоустойчивости растений в ухудшающихся климатических условиях с помощью эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* Cohn.

Считаем, что диссертационная работа Ласточкиной Оксаны Владимировны на тему «Механизмы регуляции устойчивости растений к абиотическим стрессам эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* Cohn», по своей актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, достоверности и обоснованности выводов, апробации основных положений соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на

соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Ласточкина Оксана Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по научной специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Отзыв на диссертационную работу Ласточкиной О.В. «Механизмы регуляции устойчивости растений к абиотическим стрессам эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* Cohn» обсужден и одобрен на совместном заседании кафедры ботаники и физиологии растений и кафедры микробиологии Института фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский федеральный университет» (протокол № 2 от «12» октября 2026 г.). Присутствовало 18 человек, результаты голосования: «за» - 18 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет.

Заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений Института фундаментальной медицины и биологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор биологических наук (03.00.12 – физиология и биохимия растений), профессор

Тимофеева Ольга Арнольдовна
«12» октября 2026 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Почтовый адрес: 420008, Казань, Кремлевская, 18,
e-mail: public.mail@kpfu.ru, тел. 8(843) 236-78-92; факс 8(843) 233-78-14

Я, Тимофеева Ольга Арнольдовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ласточкиной Оксаны Владимировны, и их дальнейшую обработку _____

УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВ

Тимофеевой О.А
Вед. специалист
Шарипова А.А