

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Боталовой Ксении Ивановны «Влияние кислотности и щелочности корневой среды на состояние защитных систем и развитие *Triticum aestivum* L., *Secale cereale* L., *Pisum sativum* L.», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.21. - Физиология и биохимия растений

Актуальность диссертационной работы К.И. Боталовой обусловлена важностью и необходимостью изучения ответных реакций растений на стрессовые воздействия, в том числе изменение pH корневой среды, на уровне антиоксидантных систем – как важных компонентов их защиты. В настоящее время проблема засоления и защелачивания почв приобретает все большее значение в связи с изменением климата, интенсификацией сельского хозяйства и продукционной способностью сельскохозяйственных культур. В этой связи комплексное исследование роста и функционирования про-/антиоксидантных систем у различных видов растений (на примере пшеницы мягкой, ржи посевной и гороха посевного) в условиях кислотного (pH 3) и щелочного (pH 10) стрессов представляет несомненный научный и практический интерес.

Научная новизна диссертационного исследования определяется тем, что впервые проведено сравнительное изучение ответных реакций листьев трех видов культурных растений, различающихся по устойчивости к pH среды, в первые часы действия кислотного и щелочного стрессов. Установлена видоспецифичность их ответных реакций на экстремальные значения pH корневой среды. Особый интерес представляют данные о различном участии низкомолекулярных антиоксидантов – пролина и флавоноидов – в защитных реакциях изученных видов растений. Впервые показано, что изменения в метаболизме органических кислот (щавелевой, яблочной, лимонной, янтарной) являются важным компонентом адаптационного ответа растений на неблагоприятную реакцию корневой среды.

Практическая значимость работы состоит в выявлении физиолого-биохимических маркеров стрессового состояния растений, которые могут быть использованы при оценке их устойчивости к экстремальным значениям pH, а также в селекционно-генетических программах. Полученные результаты существенно расширяют представления о механизмах адаптации растений к неблагоприятным экологическим факторам.

Общая оценка работы. Диссертационная работа построена по традиционному плану. Она изложена на 171 страницах и состоит из 3-х глав, заключения, выводов, списка литературы, содержащего 225 источников, в том числе 124 - на иностранных языках. В

тексте имеется 28 рисунков, 12 таблиц и приложение, включающее 33 таблицы с экспериментальными данными и статистическими показателями.

Во «Введении» дается краткое представление предметной направленности работы и обоснование ее актуальности. Обозначена цель исследования и задачи, которые подлежат решению; представлены сведения об объектах. Наряду с этим охарактеризованы выносимые на защиту основные положения; отражена научная новизна и научно-практическая значимость работы; отмечена достоверность научных положений и выводов; приведен перечень научных конференций, на которых апробировались результаты работы. В этом разделе содержится информация о личном вкладе автора в проведенные исследования, сообщается о соответствии диссертации паспорту научной специальности, а также приводятся сведения о структуре диссертационной работы, публикациях по теме диссертации, представлены благодарности руководителю и коллегам.

Глава 1 «Обзор литературы» включает 4 подраздела в которых представлены сведения по окислительному стрессу растений; антиоксидантной системе, ответственной за стресс-защиту, включая ферментативные и неферментативные (низкомолекулярные) антиоксиданты; механизмам pH-регуляции; адаптации растений к кислой и щелочной корневой среде, включая представления о почвах с различными значениями pH, влиянии кислых и щелочных значений pH корневой среды на растения и процессы их адаптации. Завершающим разделом этой главы является «Закключение», где диссертантом отражены как достижения, так отсутствие таковых в исследуемой им области и указана целесообразность и значимость поставленных задач, что свидетельствует о хорошем знании К.И. Боталовой литературных источников.

В главе 2 «Материалы и методы исследования» дано подробное описание объектов исследования, физиолого-биохимических показателей исследованных растений, а также методической обработки результатов. Все это соответствует поставленным задачам и современному уровню исследований в области физиологии и биохимии растений. В процессе работы диссертантом применен комплекс физиологических (оценка ростовых параметров, определение водноудерживающей способности тканей) и биохимических (спектрофотометрические методы определения содержания пероксида водорода, активности антиоксидантных ферментов, концентрации пролина, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, а также метод обращенно-фазной ВЭЖХ для анализа органических кислот) методов. Выбор вермикулита в качестве субстрата позволил эффективно моделировать условия кислотного и щелочного стрессов и поддерживать заданный уровень pH в течение эксперимента. Статистическая обработка результатов проведена с использованием адекватных непараметрических методов.

В главе 3 «Результаты исследований и обсуждение» приводится подробное описание результатов работы, их интерпретация и обсуждения, изложенные в 8 подразделах. Экспериментальные данные представлены наглядно в виде графиков и таблиц, что облегчает восприятие материала. Их обсуждение проведено на достаточно высоком научном уровне с привлечением современной отечественной и зарубежной литературы.

К числу **наиболее интересных результатов** следует отнести следующие:

1. Установлено, что в листьях всех изученных культур сельскохозяйственного назначения в первые часы после воздействия экстремальных значений pH корневой среды происходит активизация про-/антиоксидантного метаболизма, что проявляется в изменениях содержания пероксида водорода, повышении активности каталазы и пероксидаз, увеличении концентрации восстановленной аскорбиновой кислоты.

2. Выявлена принципиальная разница в накоплении пролина и флавоноидов в листьях злаков и бобовых при стрессовых воздействиях: у пшеницы и ржи их количество повышалось, тогда как у гороха - снижалось, что указывает на отличия в функционировании системы низкомолекулярных протекторов.

3. Особый интерес представляют данные о видоспецифичных изменениях в метаболизме органических кислот: у злаков при кислотном стрессе наблюдается снижение концентрации карбоновых кислот цикла Кребса, тогда как у гороха – их аккумуляция, что может быть направлено на поддержание осмотического баланса и pH-гомеостаза.

В разделе «Заключение» К.И. Баталова обобщает полученные результаты в контексте оценки изменений биохимических показателей в листьях растений трех важнейших сельскохозяйственных культур в условиях кислотного и щелочного стрессов, наглядно представив это на схеме (рис. 28 в диссертации). Такой подход для анализа экспериментальных данных очень правилен и актуален, позволяя оценить сходство/отличия ответа растительных тканей на стрессовое воздействие. Совокупность собственных и литературных данных позволило диссертанту сделать этот заключительный раздел информативным и ценным.

В итоге было сформулировано шесть выводов согласно поставленным задачам, каждый из которых подтвержден данными экспериментальных исследований.

Вместе с тем к работе имеется ряд **замечаний и вопросов**:

1. В задачах исследования указано «Определить скорость роста и прирост надземной массы...», однако в работе фактически определяли длину и массу надземной части растений в фиксированные сроки, а не скорость роста как таковую. Целесообразно

было бы уточнить формулировку задачи или дополнить работу расчетом относительной скорости роста.

2. В работе использована уксусная кислота для создания кислой среды (рН 3). Хотелось бы узнать, рассматривал ли автор возможность влияния специфического действия ацетата на метаболизм растений, помимо собственно эффекта низкого рН? Возможно, использование неорганических кислот позволило бы более корректно интерпретировать полученные результаты.

3. В выводе 4 указано, что «изменение рН корневой среды видоспецифичным образом изменяет содержание низкомолекулярных антиоксидантов пролина и флавоноидов в листьях растений». Однако пролин традиционно рассматривается не только как антиоксидант, но и как осмопротектор. Возможно, стоило более четко разграничить эти функции в обсуждении результатов.

4. Было бы интересно узнать мнение автора о причинах различий в продолжительности периода выращивания злаков (5 дней) и гороха (14 дней) до начала стрессового воздействия. Не могли ли эти различия повлиять на сравнительную оценку ответных реакций растений?

5. В работе исследовано суммарное содержание флавоноидов. Представляло бы интерес более детальное изучение состава флавоноидного комплекса с использованием методов ВЭЖХ, что позволило бы выявить конкретные соединения, участвующие в адаптационном ответе.

Высказанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования.

Диссертация К.И. Боталовой представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на хорошем методическом уровне. Ее содержание соответствует паспорту специальности 1.5.21. «Физиология и биохимия растений». Сформулированные автором выводы обоснованы и соответствуют полученным результатам. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты работы.

Результаты работы К.И. Боталовой опубликованы в российских журналах, рекомендованных ВАК (3 статьи) и апробированы на научных конференциях различного уровня. Представленный в автореферате общий список печатных работ, включая другие статьи и тезисы (всего 21 публикация), отражает исследования диссертанта и коррелируют с содержанием представленной диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Боталовой Ксении Ивановны «Влияние кислотности и щелочности корневой среды на состояние

защитных систем и развитие *Triticum aestivum* L., *Secale cereale* L., *Pisum sativum* L.» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук, изложенным в п.п. 9-14 Положения о присуждении научных степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), а ее автор, Боталова Ксения Ивановна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.21. - Физиология и биохимия растений.

Согласна на сбор, обработку, хранение и передачу персональных данных при работе диссертационного совета 24.1.210.01 (Д 003.047.01) по диссертационной работе Боталовой К.И.

Официальный оппонент:

Загоскина Наталья Викторовна

доктор биологических наук (специальность: 1.5.21 - Физиология и биохимия растений),

профессор

ведущий научный сотрудник,

руководитель группы фенольного метаболизма растений

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук

Россия, 127276 Москва, ул. Ботаническая д. 35

Тел: +7(499) 678-54-00, внутр.: 658; e-mail: zagoskina@ifr.moscow

Н.В. Загоскина

«29» декабря 2025 г.

Подпись Н.В. Загоскиной удостоверяю:

Ученый секретарь ИФР РАН,

канд. биол. наук



Н.В. Лобус