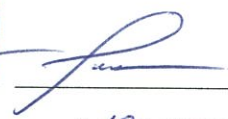


УТВЕРЖДАЮ

И.о. Генерального директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского
центра «Карельский научный центр
Российской академии наук»
член-корреспондент РАН
доктор биологических наук



 О.Н. Бахмет
«19» января 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» на диссертационную работу 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 проблемы. Кислотность почвы оказывает непосредственное влияние на многие физиологические процессы у растений, в том числе на поступление элементов минерального питания, водный обмен, проницаемость мембран и др. Для нормального роста большинства сельскохозяйственных культур оптимальная реакция среды находится в интервале от слабокислых до слабощелочных значений, а любое отклонение от оптимальных значений в сторону низкого или высокого pH приводит к целому ряду изменений и нарушений клеточного гомеостаза, что негативно отражается на жизнедеятельности и продуктивности растений. Известно, что разные виды, сорта (генотипы) отличаются по устойчивости к изменению pH почвенной среды, что во многом связано с разной эффективностью функционирования у них механизмов устойчивости. В частности, ячмень и пшеница более чувствительны к кислым почвам, тогда как рожь – более устойчива. Поскольку почвы с неблагоприятным уровнем pH занимают в России довольно большие площади, занятые под

сельскохозяйственные культуры, сравнительное изучение устойчивости отдельных видов растений к этому виду стрессового воздействия является весьма актуальным с точки зрения выбора культур для выращивания в таких условиях. В этой связи представленная диссертационная работа, целью которой было изучение реакции растений пшеницы, ржи и гороха на действие низкой или высокой pH корнеобитаемой среды, представляет определенный научный интерес и практическую значимость.

Новизна исследований. Впервые на примере трех видов сельскохозяйственных культур установлена отчетливо выраженная видоспецифичность в реакции растений на действие кислотного и щелочного стресса, причем уже впервые часы изменения pH среды. Впервые показано, что в листьях пшеницы и ржи при низком и при высоком pH уменьшалось содержание яблочной, лимонной, янтарной и щавелевой кислот.

Научная и практическая значимость диссертационной работы. Результаты исследований дополняют имеющиеся на сегодняшний день представления об ответе разных видов растений на стресс, вызванный высоким или низким уровнем кислотности и щелочности корнеобитаемой среды. Выявленные маркеры стрессового состояния растений, связанные с про-/антиоксидантным равновесием в клетке в этих условиях, могут быть предложены при подборе видов и сортов изученных сельскохозяйственных культур для выращивания на почвах с низким или высоким значением pH. Результаты исследования будут использованы в курсах «Физиология растений», «Физиология и биохимия устойчивости растений» в вузах биологического и экологического профиля.

Степень достоверность результатов подтверждена применением методов статистической обработки экспериментальных данных. Результаты работы представлены на 8 конференциях разного уровня. По результатам работы опубликовано 4 статьи в рецензируемых журналах из Перечня ВАК РФ, 3 статьи в рецензируемых журналах, не включенных в перечень ВАК.

Структура диссертационной работы традиционна. Диссертация состоит из 3-х глав: Обзор литературы, Материалы и методы, Результаты и обсуждение. Далее следуют заключение, выводы и список использованных литературных источников. Диссертационная работа изложена на 171 странице, включает 28 рисунков и 12

таблиц. Список литературы включает 225 источников. Диссертация содержит 33 приложения.

В главе 1 представлен литературный обзор, обобщающий современные представления об окислительном стрессе у растений, о компонентах антиоксидантной защиты клетки, в том числе антиоксидантных ферментах и неферментных соединениях. В обзоре также описаны механизмы регуляции кислотности, которые имеются у растений, указываются известные на сегодняшний день механизмы адаптации растений к низким и высоким значениям pH корнеобитаемой среды. В главе 2 указываются объекты исследований, описываются условия выращивания растений, перечисляются используемые методы и методики изучения физиолого-биохимических показателей, дается понятная схема опытов. Помимо этого, указаны методы статистического анализа.

Глава 3 посвящена описанию результатов исследования и их обсуждению. В подглаве 3.1. представлены данные о влиянии разного pH корнеобитаемой среды на высоту побега и накопление надземной биомассы у изученных видов растений. В ходе работы автором было обнаружено, что на рост побега в большей степени влияла низкая pH среды. Согласно полученным данным наиболее устойчивой к кислой среде оказалась пшеница сорта Горноуральская, а к щелочной – горох сорта Ямальский РС I. При изучении воздействия разных pH на оводненность тканей побега был обнаружен интересный факт: у злаков (пшеницы и ржи) на оводненность листьев более сильное отрицательное влияние оказала щелочная среда, тогда как у гороха – кислая. В подглавах 3.3-3.4 автор представляет данные об изменении содержания пероксида водорода в листьях изученных видов растений при стрессовых воздействиях. В ходе работы уже в первые часы действия высоких и низких значений pH обнаружено увеличение активности важных антиоксидантных ферментов – пероксидазы и каталазы. При этом также обнаружены отчетливые межвидовые различия. Так, в отсутствии действия стрессоров активность пероксидазы у растений гороха сорта Ямальский РС I была почти в 5 раз выше, чем у растений ржи сорта Фаленская 4. Возможно, именно с этим связана меньшая активизация активности фермента в условиях кислой или щелочной среды у гороха по сравнению со злаками. Подглавы 3.5-3.7 посвящены изучению содержания неферментных компонентов антиоксидантной системы в

листьях растений при стрессовых воздействиях. Автором представлены интересные данные, касающиеся изменения содержания аскорбиновой кислоты, флаваноидов и пролина в листьях растений в неблагоприятных условиях. Так, содержание аскорбиновой кислоты повышалось в стрессовых условиях у всех видов растений, содержание пролина в листьях пшеницы возрастало только при pH 3, в листьях ржи – при обоих видах стрессового воздействия, а в листьях гороха увеличения его содержания не было обнаружено ни при кислотном, ни при щелочном стрессе. Более того, у гороха, в отличие от злаков, оба вида стрессового воздействия не вызывали также повышения содержания флаваноидов, чья антиоксидантная защита хорошо известна. В завершении подглавы 3.7 автором представлен корреляционный анализ полученных данных, который позволил выявить имеющиеся зависимости между изученными морфологическими, физиологическими и биохимическими показателями у растений. При этом автор не только фиксирует наличие тех или иных корреляций, но и объясняет их, привлекая для этого данные литературы и полученные в работе результаты. Отмечу, что несомненным плюсом работы является изучение изменения биохимических показателей у растений в динамике. В подглаве 3.8 показаны данные по изучению содержания органических кислот в листьях растений при действии на них низкого или высокого pH. Диссертантом выявлено, что наиболее значимые изменения в содержании органических кислот у злаков наблюдались при кислом значении pH. В частности, в этих условиях в листьях пшеницы снижалась концентрация яблочной, лимонной и янтарной кислот, в листьях ржи – щавелевой кислоты. В листьях гороха содержание органических кислот возрастало при обоих видах стрессового воздействия.

В заключении автор обращает внимание на тот факт, что у растений разных видов в течение 48 часов после изменения pH корневой среды тормозится рост побега и снижается накопление надземной биомассы. При этом уже в первые часы стрессового воздействия в клетках происходят определенные изменения физиологических и биохимических показателей и процессов, направленных на адаптацию растений к изменившимся условиям внешней среды. Автором представлена схема, отражающая изменения биохимических показателей в условиях кислотного и щелочного стрессовых воздействий. На схеме отчетливо

видны межвидовые различия в ответной реакции растений на действие изученных стрессоров. В завершении работы представлены выводы, которые соответствуют поставленным цели и задачам.

Автореферат полностью соответствует диссертации.

Вопросы и замечания к работе.

1. Хорошо известно, что в ответ на стрессовое воздействие у растений повышается активность антиоксидантных ферментов, поэтому считать, что это является новизной исследований нельзя, также как и участие пролина и флавоноидов в защитных реакциях растений;

2. В литературном обзоре автор пишет о том, что ответные реакции растений на изменившиеся условия делят на неспецифические и специфические. Однако далее речь идет только о неспецифических реакциях. Какой пример специфической реакции растений на стрессовое воздействие, связанное с неблагоприятным pH, автор может привести?

3. Что автор подразумевает под термином «системные реакции» в контексте данной работы?

4. Не корректно изменения ростовых показателей (ускорение роста или прироста) приводить в отрицательных значениях (табл. 2 диссертации). Например, как объяснить, что ускорение прироста биомассы побега у растений ржи в кислой среде равно -12, т.е. был не прирост биомассы, а ее резкая убыль?

5. С чем связано более сильное отрицательное воздействие щелочной среды на оводненность листьев у злаков по сравнению с кислым pH?

6. Исследования показали, что в ответ на изменение pH среды у злаков содержание неферментных антиоксидантов возрастает, а у гороха, наоборот, снижается. Как объяснить обнаруженный эффект? Имеются ли в литературных источниках сведения об участии других антиоксидантов в адаптации растений гороха к данному виду стрессовых воздействий?

7. Разница в ответной реакции культурных видов на стрессовое воздействие между сортами одного вида иногда бывает больше, чем между видами, поэтому при формулировке заключения и выводов правильнее было бы указать не только вид растения, но и сорт.

В целом несмотря на высказанные замечания, диссертационная работа К.И. Боталовой представляет собой законченное исследование. По своей актуальности, поставленным цели и задачам, выбранным методам и объему проведенных исследований, а также новизне и практической значимости диссертация полностью соответствует требованиям п.9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013, а ее автор Боталова Ксения Ивановна заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата наук по специальности 1.5.21 – Физиология и биохимия растений.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Ученого совета ИБ КарНЦ РАН, протокол № 13 от 23 декабря 2025 г. Результаты голосования: «за» – 18 чел., против – 0 чел., воздержались - 0 чел.

Отзыв рассмотрен и принят на заседании Ученого совета КарНЦ РАН, протокол № 01 от 16 января 2026 г. Результаты голосования: на заседании присутствовали 22 чел. из 30 чел. списочного состава, проголосовали за – 22 чел., против – 0 чел., воздержались - 0 чел.

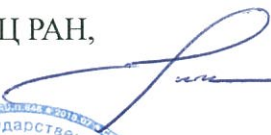
Отзыв подготовлен:

Казниной Натальей Мстиславовной – заместителем директора по научной работе Института биологии –обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», ведущим научным сотрудником лаборатории экологической физиологии растений, доктором биологических наук (03.01.05- физиология и биохимия растений).

Заместитель директора по научной работе ИБ КарНЦ РАН,
ведущий научный сотрудник лаборатории
экологической физиологии растений ИБ КарНЦ РАН,
доктор биологических наук


Казнина Наталья Мстиславовна

Председатель Ученого совета КарНЦ РАН,
чл.-корр., д.б.н.


Бахмет Ольга Николаевна

Подпись Н.М. Казниной, О.Н. Бахмет заверяю:

Ученый секретарь КарНЦ РАН,
кандидат биологических наук


Фокина Наталья Николаевна



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН)

Почтовый адрес: 185910

Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская д. 11

Телефон: (8142) 76-60-40,

Сайт организации: <http://www.krc.karelia.ru/>

Адрес электронной почты: krcras@krc.karelia.ru

« 19 » января 2026 года