

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Дуплий Надежды Геннадьевны «Действие производных пластохинона класса SkQ на устойчивость растений к экстремальным факторам среды», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования. В настоящее время поиск новых экологически безопасных способов повышения устойчивости культурных растений к абиотическим стрессам является одной из центральных проблем современной экологии растений и агробιοтехнологии. В условиях нарастающей аридизации климата и техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами, разработка препаратов на основе митохондриально-направленных антиоксидантов, таких как производные пластохинона SkQ1 и SkQ3, является крайне актуальной. Автором проведено системное исследование протекторных свойств этих соединений при засухе, воздействии наночастиц оксида цинка и гипоксии, что напрямую соотносится с решением задач продовольственной безопасности в зонах рискованного земледелия.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Диссертационная работа выполнена на высоком методическом уровне. Сочетание лабораторных и оранжерейных экспериментов с многолетними полевыми испытаниями в различных почвенно-климатических условиях (Ростовская область, Краснодарский край, Республика Армения) придает результатам особую достоверность. Для анализа молекулярных механизмов автором квалифицированно применены современные методы, включая ПЦР в реальном времени и хемилюминесцентный анализ. Все этапы лабораторных, оранжерейных и полевых исследований, а также обработка и анализ данных выполнены лично автором. Выводы работы полностью обоснованы и логично

вытекают из полученного экспериментального материала. Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы и подкреплены обширным фактическим материалом.

Основные положения диссертации прошли обсуждение на международных и всероссийских конференциях. По теме диссертации опубликованы 17 научных работ, из них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК и 2 статьи в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Научная новизна и практическая значимость работы. Впервые проведена комплексная оценка влияния SkQ1 и SkQ3 на широкий спектр культур (пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, рис) при разных типах абиотического стресса. Изучена динамика экспрессии генов антиоксидантной системы в корнях и побегах под действием SkQ в условиях стресса, установлено снижение транскрипционной активности генов в корнях на фоне протекторного действия препаратов. Полученные результаты могут служить основой для разработки новых экологически безопасных препаратов, повышающих стрессоустойчивость растений, что особенно востребовано для регионов рискованного земледелия.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов обеспечивается большим объемом экспериментального материала, использованием сертифицированного оборудования, многократной повторностью опытов и корректной статистической обработкой данных. Подтверждением достоверности служит согласованность лабораторных, оранжерейных и полевых данных. Использование современных молекулярно-генетических методов и хемилюминесцентного анализа повышает надежность выводов о механизмах антиоксидантного действия SkQ. Новизна положений подтверждена приоритетными результатами, ранее не представленными в литературе.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 145 страницах печатного текста, содержит 26 таблиц, 37 рисунков и

1 приложение. Список литературы включает 217 источников, в том числе 192 на иностранном языке.

В первой главе диссертации «Обзор литературы» (стр. 13 – 42) представлен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Описаны механизмы повреждающего действия абиотических факторов (засуха, тяжелые металлы, затопление), роль активных форм кислорода (АФК) и защитные реакции растений. Представлены механизмы антиоксидантной защиты растений на основе ферментативных и неферментативных компонентов. Рассмотрены свойства производных пластохинона класса SkQ: строение, митохондриальная адресность, механизм действия (восстановление радикалов и мягкое разобщение дыхания). Приведены данные об эффективности SkQ.

Замечание. Обзор литературы хорошо вводит в проблематику абиотических стрессов и антиоксидантной защиты, но недостаточно фокусируется на SkQ в приложении к конкретным стрессовым факторам и растительным объектам. Раздел 1.3 о SkQ слишком ориентирован на медико-биологические исследования, что не релевантно для растений.

Во второй главе «Материалы и методы исследования» (стр. 42 – 56) представлены объекты исследования (сорта и гибриды озимой пшеницы, ярового ячменя, подсолнечника, кукурузы и риса). Приведено описание лабораторных экспериментов в фитотроне, оранжерейных и полевых опытов по изучению влияния неблагоприятных абиотических факторов (засуха, переувлажнение, загрязнение тяжелыми металлами) на развитие различных сельскохозяйственных культур. Для анализа экспрессии генов антиоксидантной системы применялись молекулярно-генетические методы, которые включали выделение РНК, обратную транскрипцию и ПЦР в реальном времени. Результаты были подвергнуты статистическому анализу.

Замечание. 1) В методах отсутствуют оранжерейные опыты с пшеницей и ячменём (только лабораторные), что снижает экологическую валидность

результатов. 2) В таблице 2 «Характеристика исследуемых сортов и гибридов» отсутствует описание сортов озимой пшеница (Таня, Гром, Ермак, Конкурент), которые заявлены в условиях проведения полевых испытаний. 3) При фунгицидных систем защиты отсутствует указание действующих веществ препаратов и их нормы применения. 4) При описании молекулярно-генетических исследований не указано, каким образом проводился отбор растительных образцов и подбор праймеров.

В третьей главе «Результаты исследований» (стр. 57 – 114) в трех подглавах представлены основные данные, полученные автором и интерпретированные им в виде графиков и зависимостей.

В подглаве 3.1 «Влияние производных пластохинона (SkQ1 и SkQ3) на устойчивость растений к почвенной засухе» изучено влияние митохондриально-направленных антиоксидантов SkQ1 и SkQ3 на устойчивость растений к почвенной засухе и экспрессию генов антиоксидантной системы в листьях и корнях ячменя, а также влияние предпосевной обработки SkQ3 на урожайность, структуру урожая и качество зерна. Установлена оптимальная концентрация применения SkQ (2,5 нМ), которая в условиях засухи способствует увеличению биомассы побегов и корней пшеницы и ячменя, росту и накоплению сухой массы у подсолнечника и кукурузы. Анализ экспрессии генов показал тканеспецифичную регуляцию, при сильной засухе в корнях экспрессия снижается, тогда как в листьях одни гены подавляются, а другие усиливаются. Эффективность подтверждена полевыми испытаниями.

Замечание. 1) Чем обоснован выбор ярового ячменя (сорт Щедрый) в качестве тест-культуры для определения оптимальной концентрации применения SkQ? 2) Название таблицы 6 не соответствует ее наполнению: указано влияние SkQ1 и SkQ3 на биометрические параметры, в таблице только SkQ3. А также в таблице 5 определена оптимальная концентрация применения в размере 2,5 нМ, зачем приводится SkQ3 25 нМ? 3) Какой вариант опыта на рисунках 8 и 9 подразумевается под «опытный вариант»? 4) Чем обоснован выбор концентрации

SkQ 7,5 нМ при проведении оранжерейный экспериментов на кукурузе и подсолнечнике? 5) В таблицах 11 и 12 отсутствует НСР, насколько достоверно влияние SkQ3 на элементы структуры урожая и качественные показатели зерна?

В подглаве 3.2 «Влияние производных пластохинона (SkQ1 и SkQ3) на скорость роста и экспрессию генов антиоксидантной системы ячменя в норме и в присутствии частиц оксида цинка» изучено влияние антиоксидантов SkQ1 и SkQ3 на устойчивость ячменя к токсичности микро- и наночастиц оксида цинка. Установлено, что оксид цинка активирует антиоксидантные гены в корнях, а обработка семян SkQ1 или SkQ3 снижает токсический эффект при умеренных концентрациях загрязнителя, восстанавливая ростовые показатели.

Замечание. 1) Не указан размер нано- и микрочастиц оксида цинка, это имеет значение, так как чем меньше их размер, тем выше проникающая способность и, соответственно, токсичность. 2) На с. 101 объясняется причина неоднородности изменения транскрипционной активности в листьях и корнях ячменя, которая основывается на генерации АФК хлоропластами и пероксисомами, но нет данных об уровне H_2O_2 , супероксида или активности ферментов (СОД, каталаза, АПХ).

В подглаве 3.3 «Анализ протекторного эффекта SkQ 1 на скорость роста, уровень АФК и экспрессию генов антиоксидантной системы риса в норме и в условиях гипоксии» показано, что SkQ1 в концентрации 10^{-8} М восстанавливает рост проростков риса в условиях гипоксии, снижает уровень АФК и нормализует экспрессию антиоксидантных генов.

Замечание. 1) В таблице 25 концентрация кислорода в условиях затопления составляла 9,2 мг/л (3 % от нормоксии), каким образом поддерживался данный уровень кислорода в течение 7 дней? 2) Что понимается под «свойством обновления», которое объясняет эффективность SkQ в низких концентрациях? 3) Сигнал хемилюминесценции находится в прямой положительной корреляции с АФК. Присутствие SkQ1 в концентрации 10^{-5} М снижает интенсивность быстрой вспышки и светосумму в 4 раза по сравнению с

контролем (гипоксия), а при 10^{-8} М – в 1,5 раза. Однако общее содержание АФК в тканях при повышении концентрации SkQ1 возрастает дозозависимо. Как можно объяснить это противоречие?

В заключение работы приводятся выводы, список использованной литературы и приложение. В выводах приведены полученные автором основные результаты диссертационного исследования. Выводы сформулированы корректно и отражают содержание диссертационного исследования.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание диссертации.

Общее заключение. Работа написана грамотным научным языком, хорошо иллюстрирована. Материал представлен в логической последовательности, стиль изложения и оформление соответствуют уровню требований, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Полученные результаты, сделанные выводы и сформулированные положения научно обоснованы, достоверны, подтверждены значительным натурным и аналитическим материалом, имеют существенную научную значимость и большую практическую ценность.

Работа вносит существенный вклад в понимание механизмов действия антиоксидантов SkQ, повышающих устойчивость растений к засухе, загрязнению тяжёлыми металлами и гипоксии, раскрывая механизмы регуляции антиоксидантных генов и доказывая перспективность их применения для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в стрессовых условиях.

Поставленные задачи решены, цель исследования достигнута, работа прошла успешную апробацию на многих международных и всероссийских конференциях.

Таким образом, по своей актуальности, современным методам исследования, объёму фактического материала и качеству его анализа и

обработки, научной новизне и практической значимости диссертационная работа и автореферат отвечают требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ЮФУ» (№62-ОД от 27.03.2026 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Дуплий Надежда Геннадьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки).

Официальный оппонент:

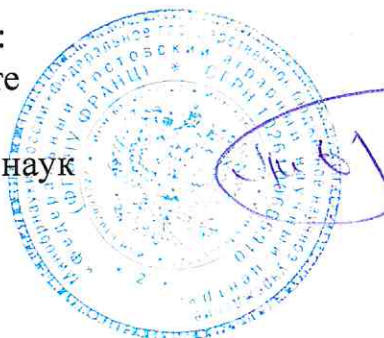
Полиенко Елена Александровна, кандидат биологических наук по специальности 03.02.08 – экология, заведующий лабораторией защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр».

26 мая 2026 года



346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская,1
Тел.: тел.: (886350) 37-3-89, e-mail: priemnaya@franc161.ru

Подпись Полиенко Е.А. заверяю:
Зам. директора по научной работе
ФГБНУ ФРАНЦ,
кандидат сельскохозяйственных наук



А.В. Гринько