

## 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.** Изучение особенностей влияния экстремальных факторов окружающей среды на растительные организмы имеет значение как для фундаментальной, так и прикладной науки. Общим последствием воздействия различных абиотических факторов является негативное повышение в клетках синтеза активных форм кислорода. Контроль уровня этих форм посредством антиоксидантов предположительно будет эффективным способом снижения отрицательных последствий стрессовых факторов на растения. Поэтому тестирование и внедрение препаратов на основе антиоксидантов перспективно в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Эта проблема значима для регионов с возможным затоплением территорий, загрязнением почв тяжелыми металлами, и особенно, испытывающих дефицит почвенной влаги.

Наиболее выраженный эффект среди митохондриально-направленных антиоксидантов продемонстрировала группа веществ, получившая название SkQ. Эти вещества эффективны при низких концентрациях и показывают длительную антиоксидантную активность. Поскольку первоначально подобные исследования были всесторонне проведены на животных и микроорганизмах, то имеется целесообразность проведения аналогичных опытов на растениях.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.** Научные положения, вынесенные на защиту, являются обоснованными применительно к пяти изученным культурным растениям и подтверждаются достаточным объемом и тщательным анализом собственных экспериментальных данных, включая статистическую обработку результатов. Выводы исследования соответствуют содержанию экспериментальных глав

работы и изложены лаконично. Рекомендации для практического использования результатов носят конкретный характер и должны повысить эффективность выращивания растений.

**Научная новизна и практическая значимость работы.** Впервые выполнена оценка засухоустойчивости растений после однократной обработки семян митохондриально-направленными антиоксидантами SkQ1 и SkQ3 в лабораторных, оранжерейных и полевых экспериментах. Проанализированы признаки морфометрии и урожайности пшеницы, ячменя, подсолнечника и кукурузы.

Выяснено действие SkQ1 на всхожесть семян, скорость роста и транскрипционную активность генов антиоксидантной системы проростков риса как в норме, так и при гипоксии. Впервые изучена динамика экспрессии этих генов у проростков ячменя при обработке семян SkQ1 и SkQ3 при дефиците влаги, а также при наличии частиц оксида цинка различной дисперсности и концентрации. Полученные результаты углубляют современные представления о влиянии антиоксидантов на устойчивость растительных организмов к таким абиотическим факторам, как засуха, тяжелые металлы и гипоксия.

Предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур митохондриально-направленными антиоксидантами класса SkQ повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и их урожайность.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, выводов, списка литературы, приложения. Работа изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 28 таблиц, 37 рисунков, одно приложение. Список литературы включает 217 источников, из них 192 на иностранном языке.

**Анализ диссертации по главам.** Первая глава диссертации посвящена обзору научной литературы по теме исследования (стр. 13 - 41) и включает всесторонний анализ абиотических факторов среды, индуцирующих окислительный стресс у растений, механизмов антиоксидантной защиты растений при окислительном стрессе, строения и антиоксидантных свойств производных пластохинона класса SkQ.

Во второй главе «Материалы и методы исследования» (стр. 42 - 55) указаны биологические объекты - растения озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.), риса посевного (*Oryza sativa* L.), подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) и кукурузы (*Zea mays* L.)

Далее детально описаны методики лабораторных исследований в определении засухоустойчивости, устойчивости к микро- и нано- частицам оксида цинка и устойчивости к гипоксии. Дана достаточная характеристика приемов анализа скорости роста и развития растений в условиях оранжереи, а также оценки продуктивности в полевых опытах.

Молекулярно-генетические методы изложены в области выделения РНК из растительной ткани, обработки РНК ДНКазой и постановки обратной транскрипции, проведения ПЦР, определения транскрипционной активности генов, кодирующих белки антиокислительного стресса.

Кроме того, изложены методы оценки перекисной резистентности хемилюминесцентным анализом и статистической обработки данных.

Глава три посвящена описанию и обсуждению экспериментальных данных (стр. 56-114).

Так в условиях пониженного содержания почвенной влаги одноразовая обработка семян водными растворами SkQ1 и SkQ3 в концентрации 2,5 нМ повышает массу побегов и корней на 15–40 % у озимой пшеницы, ярового ячменя, подсолнечника и кукурузы.

Анализ транскрипционной активности генов антиоксидантной системы: SodA1, SodB, GR, GST1, GST6, Cat1, Cat2, Arx1, показал, что обработка семян ячменя растворами SkQ1 и SkQ3 в концентрации 2,5 нМ в условиях пониженного содержания почвенной влаги уменьшает в 3–11 раз транскрипционную активность этих генов в корнях растений.

В присутствии микрочастиц оксида цинка в концентрации 300 мг/л длина и масса побегов и корней 14-ти дневных проростков ячменя не изменяются по сравнению с контролем. Однако при воздействии наночастиц в той же концентрации длина и масса корней уменьшается на 14 % и 12 % соответственно. При совместной обработке семян ячменя растворами SkQ1 или SkQ3 в

концентрации 2,5 нМ с наночастицами оксида цинка в концентрации 300 мг/л длина и масса корней увеличиваются на 10 %, достигая значений контрольных показателей.

В присутствии оксида цинка в концентрации 2000 мг/л, как в микро-, так и в наноформе длина и масса корней 14-ти дневных проростков ячменя снижаются в два раза по сравнению с контролем. При совместной обработке семян ячменя растворами SkQ1 или SkQ3 в концентрации 2,5 нМ длина и масса корней увеличиваются на 12 и 17 % соответственно по сравнению с необработанными семенами.

При прорастании семян ячменя, предварительно обработанных растворами SkQ1 или SkQ3 в концентрации 2,5 нМ в присутствии частиц оксида цинка в концентрации 300 мг/л, как в микро-, так и в и наноформе, уровень транскрипции генов антиоксидантной системы (SodA1, SodB, GR, GST1, GST6, Cat1, Cat2, Arx1) в листьях и корнях 14-ти дневных проростков повышался в 6–8 раз по сравнению с необработанными SkQ семенами. При увеличении концентрации оксида цинка, как в микро-, так и в наноформе до 2000 мг/л уровень транскрипции этих генов в листьях возрастал (за исключением генов SodB и Cat2) в 0,5–4,8 раза, а в корнях, наоборот, снижался в 5–18 раз, по сравнению с необработанными семенами.

При прорастании риса из-под слоя воды в условиях гипоксии, SkQ1 в концентрации 10 нМ увеличивает на 12 % всхожесть семян, на 57 % массу побегов и на 102 % массу корней 7-дневных проростков, а также снижает у них на 20 % содержание активных форм кислорода и уровень экспрессии генов антиоксидантных ферментов.

Предпосевная обработка семян водными растворами SkQ3 в концентрации 2,5 нМ повышает в засушливых условиях выращивания урожайность озимой пшеницы сорта Лидия и Лазурит в зерноградском районе Ростовской области, на 3,7 и 4,4 ц/га, соответственно; ярового ячменя сорта Щедрый в Армавирском районе республики Армения и зерноградском районе Ростовской области на 7,4 ц/га и 10 ц/га, соответственно, а также гибрида подсолнечника НК Конди в Верхнедонском районе Ростовской области на 3,3 ц/га.

**К работе имеются некоторые вопросы и замечания:**

1. *Гены антиоксидантной защиты* растений (стр. 7, 9, 10 и др.), контролирующие ферменты элиминации повышенного содержания активных форм кислорода для снижения окислительного стресса, в работе эпизодически называются еще и *генами окислительного стресса* (стр. 8, 70, 72 и др.), что вызывает сомнение в правильности формулировки последнего термина.

2. В работе нет унификации написания названий сортов растений, используется как название в кавычках, так и без них. По правилам ботанической номенклатуры название селекционного культивара (сорта) обязательно заключается в кавычки в случае полного таксономического названия вида растения, т.е. род, видовой эпитет, автор и затем название сорта в кавычках с заглавной буквы. Это нужно для устранения недопонимания при сложных ботанических описаниях, включающих еще и подвиды, разновидности, формы, а также фамилии нескольких авторов. Очевидно, что при обычном названии сорта достаточно заглавной буквы без кавычек.

3. В таблице 11 (стр. 75) нет НСР для трех признаков продуктивности.

4. В таблице 19 (стр. 85) вместо «масса» написано «вес» 1000 семян

5. В таблице 21 (стр. 88) значения урожайности указаны в ц/га, а не в т/га и без НСР.

6. На рисунке 21 сомнительно изображение растений вверх корнями и без обозначений контроля и фактора.

7. В Заключение (стр. 115) вероятно присутствует повтор абзаца.

8. Поскольку в работе доказано положительное влияние пластохиноновых антиоксидантов класса SkQ на урожайность культур в полевых опытах, то не понятно отсутствие расчета экономической эффективности их применения для оценки вероятного повышения рентабельности агропроизводства и обоснованности рекомендаций для практики.

9. По тексту диссертации суммарно отмечено 35 грамматических ошибок, т.е. одна ошибка на четыре страницы (145/35), что, вероятно, является вполне допустимым значением.

Отмеченные замечания и вопросы ни в коей мере не подвергают сомнению достоверность результатов и выводов рассматриваемой диссертации и носят исключительно дискуссионный характер.

**Общее заключение.** Диссертация Дуплий Н.Г. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные результаты, сделанные выводы и сформулированные положения научно обоснованы, достоверны, подтверждены значительным фактическим материалом и его статистической обработкой, имеют существенную научную значимость и практическую ценность. Работа написана грамотным научным языком, хорошо иллюстрирована и соответствует уровню требований, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание диссертации.

Результаты исследования представлены на российских и международных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, включая 2 статьи в изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и 4 статьи в журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК.

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

**Официальный оппонент:**

**Демури́н Яков Николаевич**, доктор биологических наук по специальностям 03.00.15 – генетика, 06.01.05 – селекция и семеноводство (биологические науки), профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения **Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта**

10 06 2026 года

350038, Россия, г. Краснодар, ул. Филатова, д. 17 Федеральное государственное бюджетное научное учреждение **Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта**

E-mail: yakdemurin@yandex.ru

Тел.: 89882422180

Подпись Демурина Я.Н. заверяю:

Заместитель директора  
**ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК**  
кандидат биол. наук



М.В. Трунова