

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора биологических наук Креславского Владимира Даниловича на диссертацию Нестерова Виктора Николаевича на тему «Экофизиологические механизмы реализации адаптивных стратегий галофитов», представленную в диссертационный совет 24.2.479.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», на соискание ученой степени доктора биологических наук по научной специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Актуальность темы исследования

По разным оценкам одна пятнадцатая часть земной суши, включая территории, используемые сельским хозяйством, занята засоленными почвами. В этой связи большое значение приобретает проблема освоения и использования таких земель.

Солеустойчивые растения или галофиты способны осуществлять полный жизненный цикл на почвах с высоким содержанием солей. Галофиты разнообразны по своим экологическим, физиологическим, биохимическим, морфологическим и анатомическим признакам. В зависимости от накопления солей в растительных тканях галофиты разделяют на соленакапливающие, солевывделяющие и малопроницаемые для солей. Также среди галофитов нередки виды с разным фотосинтетическим метаболизмом CO_2 : C_3 -, C_4 -, САМ-растения. Подобное разделение галофитов подразумевает, что приспособление данных растений к засолению достигается различными стратегиями.

Для понимания механизмов адаптации растений к засолению необходимо изучение структурных и функциональных параметров, отражающих связь растений с условиями среды. Однако, сведения о галофитах, произрастающих по градиенту почвенного засоления, малочисленны и мало систематизированы.

Очевидно, что разные стратегии адаптации галофитов, связанные как с накоплением солей, так и с типом фотосинтеза, могут существенно различаться по характеру и диапазону изменений адаптивных признаков, чему и была посвящена данная диссертационная работа.

Считаю, что актуальность данного исследования не вызывает сомнений.

Характеристика содержания работы

Диссертация Нестерова Виктора Николаевича построена по традиционной схеме и состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, главы с описанием результатов и их обсуждения, заключения, выводов, списка цитируемой литературы. Работа изложена на 273 страницах, содержит 98 рисунков и 25 таблиц. Список литературы включает 518 источников, из которых 375 представлены публикациями на английском языке.

Первая глава – «Обзор литературы» (стр. 14-90) состоит из 4-х частей, в которых рассмотрена проблема засоления почвы, вероятный сценарий увеличения засоленных территорий при изменении климата, показаны

биоэкологическая характеристика галофитов, данные об особенностях их ростовых процессов и фотосинтеза, известные механизмы адаптации к засолению почвы, роль клеточных мембран в регуляции солеустойчивости. В отдельной подглаве (1.3.5., с. 60-74), посвященной липидным рафтам, рассмотрены доступные сведения о субмембранных структурах и их физиологической роли. Также автором описаны литературные сведения о особенностях регуляции редокс-метаболизма галофитов, об экологическом и экономическом потенциале галофитов и возможных способах повышения солеустойчивости гликофитов и галофитов. Проанализированы проблемные области экофизиологии солеустойчивых растений.

Во второй главе – «Объекты и методы исследования» (стр. 91-106), показаны характеристика района исследования, отобранные для анализа виды растений (24 вида), дана информация о лабораторных экспериментах и условиях проведения опытов, применяемых методах анализа, включая современные – например, конфокальная микроскопия, газовая хромато-масс-спектрометрия. Спектр проведенных анализов включает микроскопические, хроматографические и различные спектральные методы исследований. Подробно приведены математические методы обработки данных, включая перечень используемых автором статистических программ. Методы, применяемые в данной работе, соответствуют поставленным целям и задачам.

Третья глава «Результаты исследований» (стр. 107-215) состоит из нескольких разделов, в которых даны результаты диссертанта. Приводятся основные показатели условий среды, в которых произрастали исследуемые виды растений. Представлены данные о функциональной активности, На-аккумулирующей способности галофитов. Показано разделение видов растений по экологическим стратегиям. Для галофитов с разным типом солеустойчивости и фотосинтеза установлена зависимость скорости фотосинтеза от оводненности тканей листа и степени засоленности почвы. Также показаны результаты о мезоструктурных особенностях листьев галофитов и ультраструктуре их хлоропластов в зависимости от стратегии солеустойчивости/типа фотосинтеза. Сделан вывод, что повышенное содержание солей в почве и накопление их в листьях приводит к гипертрофии клеток у эугалофитов, большому количеству и размерам хлоропластов в них, и повышенной гранальности хлоропластов.

В подглаве 3.3. подробно показаны особенности мембран галофитов, дифференцированных по экологическим стратегиям. Установлено, что модификация липидов растений является одним из механизмов солеустойчивости галофитов на клеточном уровне организации, но зависит от стратегии солеустойчивости и типа фотосинтеза. Выявлено, что облигатные галофиты отличаются повышенным выходом электролитов из клеток, увеличенной долей мембранных липидов, стерина и их разнообразием, меньшей ненасыщенностью жирных кислот липидов в сравнении с факультативными. Большее накопление в клетках листьев фосфолипидов, стигмастерина, жирных

кислот C18:2 и/или C18:1 характерно для растений с C4-типом фотосинтеза.

Особенно можно отметить подглаву 3.4. с результатами о липидных рафтах галофитов и влиянии засоления на состав мембранных структур, где продемонстрированы новые сведения о галофитах на молекулярно-клеточном уровне.

Также оценена степень окислительного стресса и антиоксидантный потенциал у исследуемых групп галофитов. Показано, что для солевывделяющих и ограничивающих поступление солей в надземную часть галофитов процессы перекисного окисления липидов играют более существенную роль и что у этих же групп растений выявлена и большая активность антиоксидантной защиты.

Кроме того, Нестеровым В.Н. описаны результаты по задачам практической направленности – влиянию климатических условий на продуктивность и физиолого-биохимические показатели эугалофита *Salicornia perennans* и оценке фиторемедиационного потенциала галофитов. Полученные результаты показывают, что галофиты вполне можно применять, в том числе, в технологиях рекультивации и восстановления нарушенных земель.

В разделе «**Заключение**» (с. 216-220) в кратком виде описано, что адаптивные стратегии галофитов реализуются за счет разных механизмов, связанных с особенностями структуры на уровне строения органов, тканей, клеток, хлоропластов и мембран, а также скорости фотосинтеза, водного обмена, содержания пигментов, липидов и антиоксидантов. В этом же разделе представлена обобщенная схема, отражающая экофизиологические механизмы реализации адаптивных стратегий галофитов.

Новизна

Несомненно, что работа Нестерова В.Н. имеет несколько элементов новизны. Например, наличие взаимосвязи климатических условий и физиолого-биохимических параметров галофитов. Так, автором впервые выявлены экофизиологические особенности изменения адаптивных стратегий галофитов, связанных с регуляцией солевого обмена и типом фотосинтеза, при различной степени засоления среды и обеспеченности ее влагой. Но наиболее важным является то, что липидный компонент мембран является одним из ключевых элементов адаптации растений при их «продвижении» по градиенту засоления. Впервые было доказано наличие липидных рафтов в хлоропластах и митохондриях галофитов и их участие в клеточном ответе у изученных растений на воздействие NaCl.

Научная и практическая значимость

Выявленные закономерности позволяют прогнозировать фотосинтетическую активность – продуктивность фитоценозов засоленных местообитаний, а также предоставляют возможность применять их в разработке технологий выращивания солеустойчивых растений в качестве культурных, особенно с учетом предполагаемых изменений климата.

Предложенная в работе экспериментальная схема может служить тест-

методом для оценки и исследования фиторемедиационного потенциала галофитов. Также методика извлечения липидных рафтов из эндомембран клеток листьев может быть использована в учебных и исследовательских целях.

В целом, полученные Нестеровым В.Н. данные могут быть использованы при чтении курсов лекций по широкому кругу дисциплин: ботанике, анатомии, морфологии, физиологии, биохимии и экологии растений.

Достоверность результатов исследования

Полевые исследования были проведены в период с 2010 по 2022 г. в районе соленых и солоноватоводных озер Нижней Волги. Всего было отобрано свыше 2000 проб растений и 150 проб почвы на различные виды анализов. Это подчеркивает большой объем работы.

Можно отметить, что статистические методы, применяемые в данной работе, в целом соответствуют поставленным целям и задачам. Однако они не всегда подробно отражены на иллюстрациях в представленной диссертации.

Замечания, вопросы и комментарии по содержанию и оформлению работы.

1. Не совсем понятна насколько разница между данными в некоторых рисунках и таблицах автореферата и диссертации достоверна. Пример, это табл. 3, 4 и 7 и т. д. в автореферате. Не указана достоверное отличие параметров в строках таблиц. Например, Рис. 16 А и Б автореферат. Не приводятся данные по достоверности отличий 3 вариантов в подписи к рисунку. Написано, что $p = 0.003$. Однако реально на Рис. даны очень высокие погрешности. Также в диссертации не указана достоверная разница, например, на Рис. 49 и 50.

2. Написано: «Также были проведены дисперсионный (ANOVA), корреляционный, дискриминантный и др. анализы» Думаю, что автор использовал эти анализы, однако оценки не отражены на конкретных таблицах и рисунках. Надо объяснить такой подход.

3. Скорость фотосинтеза оценивали при интенсивности света ($10-1800 \text{ мкМ/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) в естественных условиях в утреннее, дневное и вечернее время, используя портативный инфракрасный газоанализатор. То есть интенсивность света сильно меняется в оценках, однако в таблицах данные по интенсивности света не приводятся. Например, табл. 6 (автореферат). сказано об интенсивности света $1200 \text{ мкмоль квантов м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Надо это объяснить.

4. На рисунках не указаны ссылки на конкретные работы с участием автора.

5. На схеме адаптивных стратегий галофитов отсутствуют данные о скорости фотосинтеза, хотя в выводах эта информация есть.

6. Рис. 6 автореферата и рис. 37 в диссертации сложны для восприятия. Было бы хорошо упростить представление данных на рисунке.

7. Экофизиологические механизмы реализации адаптивных стратегий галофитов рассмотрены для специфических почв и условий. Что можно сказать для почв и условий другого типа.

8. Как оценивали опалесценцию при изучении рафтов и в чем была специфика рафтов в мембранах галофитов?

Заключение

Диссертационная работа Нестерова Виктора Николаевича это завершённый самостоятельный научный труд, который является цельным исследованием, выполненным на высоком методическом уровне, в котором была решена важная научная проблема «Экофизиологические механизмы реализации адаптивных стратегий галофитов». Следует отметить большой объём проделанной работы и тщательность и детальность оформления работы Нестерова В.Н. и логичное изложение результатов.

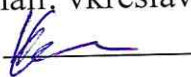
Считаю, что диссертационная работа Нестерова Виктора Николаевича на тему «Экофизиологические механизмы реализации адаптивных стратегий галофитов», по своей актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, достоверности и обоснованности выводов, апробации основных положений соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Нестеров Виктор Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по научной специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии фототрофных организмов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института фундаментальных проблем биологии Российской Академии наук – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Пущинский научный центр биологических исследований Российской Академии наук», доктор биологических наук (03.01.05 – Физиология и биохимия растений),

142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, дом 2

Тел. 8-9150819946, e-mail: vkreslav@rambler.ru

2.09.2025 г.



Креславский Владимир Данилович

Я, Креславский Владимир Данилович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Нестерова Виктора Николаевича, и их дальнейшую обработку.

