

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора биологических наук

Соловченко Алексея Евгеньевича

на диссертационную работу Сухова Владимира Сергеевича

«Вызванная переменным потенциалом быстрая инактивация фотосинтеза у высших растений: механизмы, связь с теплоустойчивостью, подходы к управлению и мониторингу», представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.2. Биофизика

Актуальность темы исследования

Поиск закономерностей в ответах высших растений на действие неблагоприятных факторов различной природы, а также расшифровка механизмов стресс-толерантности и повреждений были и остаются среди ключевых проблем биофизики и физиологии растений. В случае растений, представляющих собой «федерацию органов» и не обладающих характерной для животных нервной системой особый интерес представляет быстрая передача сигналов о неблагоприятном внешнем воздействии и оперативная мобилизация защитных механизмов растительного организма. Действительно, важно понимать, каким образом у растений сигнал о неблагоприятном воздействии быстро достигает расположенных на некотором расстоянии органов и тканей растений в отсутствие «классических» структур, осуществляющих передачу нервных импульсов. Следует подчеркнуть, что решение вышеупомянутых проблем чрезвычайно важно и с практической точки зрения, поскольку без него невозможно достижение устойчивости культурных растений к действию стрессоров окружающей среды и, соответственно, устойчивое растениеводство в условиях современной климатической нестабильности. Эти задачи имеют первостепенное значение в обеспечении продовольственной безопасности.

Наряду с пониманием механизмов быстрой передачи сигналов о внешних воздействиях и индукции устойчивости растений принципиальное значение имеет возможность экспресс-мониторинга возникновения стрессов и «развертывания» защитного потенциала растительного организма. Для решения этой задачи оптимальны методы неинвазивного проксимального зондирования состояния растений путем анализа амплитуды и спектральных характеристик отраженного растениями света. В результате исследований по вышеупомянутым направлениям к настоящему времени накоплен значительный объем информации и экспериментальных данных, однако далеко не во всех случаях достигнуто понимание соответствующих процессов, происходящих в организмах растений. Кроме того, современные подходы к оптическому мониторингу быстрых и «тонких» перестроек в целых органах и тканях растений далеки от совершенства. Также далеки от полноты представления о том, как именно возникающие в растениях электрические потенциалы оперативно индуцируют в защитные ответы фотосинтетического аппарата, составляющие «первый эшелон» обороны растения от повреждающего действия стрессоров. Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования В.С. Сухова не вызывает сомнений.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Целью работы явилось комплексное исследование взаимосвязи вызванного стрессорами распространения переменного потенциала быстрой инактивации

фотосинтетического аппарата и развитием ответов растений на действие этих неблагоприятных факторов. Выполненное исследование обладает высокой степенью новизны, в которой глобально можно выделить три аспекта. Во-первых, автором диссертационного исследования был разработан и реализован целый ряд инновационных методов для анализа электрической активности растений и её проявлений, включая методы неинвазивного экспресс-анализа развития стрессовых ответов растений по изменениям их спектров отражения. Во-вторых, детально исследованы механизмы, реализующие взаимосвязь распространения переменного потенциала и «свертывания» активности фотосинтетического аппарата с параллельным «развертыванием» защитных механизмов, таких как тепловая диссипация энергии электронного возбуждения в светособирающей антенне (нефотохимическое тушение) и пр. В-третьих, разработана математическая модель, связывающая генерацию электрических потенциалов и акклимационные изменения функций фотосинтетического аппарата.

Степень обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

Достоверность научных положений и выводов, сделанных по результатам исследования, обеспечивается получением исчерпывающего экспериментального материала и его корректным анализом. Достоверность данных не вызывает сомнений, поскольку исследования проведены на современном высокотехнологичном оборудовании, в том числе собственной разработки, с использованием адекватных методов, экспериментальных моделей, корректных статистической обработки полученных данных. Автор самостоятельно выработал и применил эффективный методологический подход к планированию и выполнению диссертационного исследования. Особую ценность представляют исследования, раскрывающие механизмы преобразования электрических потенциалов в физиолого-биохимические защитные реакции растительного организма, а также разработанные оптические методы мониторинга этих защитных реакций.

Выводы согласуются с поставленными задачами, в целом соответствуют поставленной цели, сформулированы корректно, отражают ключевые результаты диссертационного исследования.

Обоснованность положений, выносимых на защиту, и выводов подтверждается широким опубликованием результатов работы в высокорейтинговых научных журналах. За последние 10 лет автором опубликовано 57 статей в журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus, РИНЦ и иных библиографических базах, что дает основание представлять диссертацию к защите в виде научного доклада. Результаты диссертации широко обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях. Все вышеизложенное подтверждает достоверность результатов, обоснованность положений и выводов диссертации Сухова В.С.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Результаты диссертационного исследования В.С. Сухова значительно расширяют имеющиеся представления о ключевых особенностях восприятия растениями и распространения в них электрических сигналов о стимулах окружающей среды, а также о

механизмах индукции этими сигналами акклимационных и защитных реакций фотосинтетического аппарата растений.

Научные положения, выносимые на защиту, базируются на собственном материале автора и отражают полученные в работе основные результаты. Разработанные автором неинвазивные оптические методики мониторинга растений позволяют решать сложные задачи количественной оценки развития стрессовых состояний и «развертывания» защитных механизмов у растений.

Научная ценность работы заключается, среди прочего, в установлении взаимосвязи между возникновением и распространением переменного потенциала в растениях и их защитных реакциями (инактивация фотосинтетического аппарата, отвод избытка энергии электронного возбуждения в тепло, рост теплоустойчивости). Не менее важна расшифровка механизмов, реализующих эту взаимосвязь (изменение рН апопласта, доступность CO₂ как одного из субстратов фотосинтеза, вариация квантового выхода фотосистем и т.д.).

Практическое значение результатов, связано, прежде всего, с возможностью использования разработанных методов, как инвазивных, так и неинвазивных оптических для количественного мониторинга состояния растений. Особую ценность представляют неинвазивные оптические методы, основанные на использовании оптимизированных индексов семейства PRI для оценки статуса акклимации растений. Данные разработки могут использоваться в высокопроизводительном фенотипировании растений для целей ускоренной селекции, а также мониторинга насаждений сельскохозяйственных культур.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты экспериментальных исследований, приведенные в работе, могут послужить основой для разработки новых способов проксимального зондирования растений, как экспериментальных, так и культурных, а также для количественного неинвазивного мониторинга их статуса акклимации к действию стрессоров. Также полученные результаты будут полезны в научной деятельности, связанной с изучением механизмов ответов растений на действие неблагоприятных условий внешней среды. Новые представления о распространении электрических сигналов и реализации их эффектов в растениях могут быть использованы в педагогической деятельности ВУЗов для преподавания ряда дисциплин, включая биофизику и физиологию растений.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертационная работа Сухова В.С. построена в виде научного доклада, изложенного на 95 страницах текста. Диссертация состоит из введения, раздела «Основное содержание доклада», заключения и выводов, списка научных публикаций автора за последние 10 лет, списка литературы. Диссертация содержит 45 рисунков, аккуратно и грамотно оформлена.

Во введении автор дает краткий очерк проблематики исследования, формулирует цель и задачи исследования, обосновывает их актуальность.

Изложение раздела «Основное содержание доклада» начинается с подробного описания объектов и методов исследования. При этом делается акцент на методах собственной разработки, а также на алгоритмах анализа и интерпретации данных, включая методы математического моделирования. Далее следует краткое, но тем не менее весьма информативное представление основных результатов исследований с их обсуждением в

контексте современного состояния вопроса и значения их для дальнейших исследований и разработки.

В разделе «Заключение и выводы» автор подытоживает основные результаты исследования, обозначает основные тенденции в развитии исследований электрических сигналов в растениях, механизмов их воздействия на физиологические процессы в общем и на фотосинтез, в частности. Автор также очерчивает области возможного применения собственных методов и результатов, формулирует выводы диссертационного исследования. Выводы работы логично вытекают из полученных результатов и согласуются с поставленными задачами.

Представленные в диссертации результаты в полной мере опубликованные в рецензируемых научных изданиях в виде 66 статей. По всему тексту диссертации в соответствующих разделах указаны ссылки на собственные публикации автора и литературные данные.

Замечания по диссертационной работе

Несмотря на общую положительную оценку материала диссертации, при знакомстве с работой возникли некоторые вопросы и замечания.

1. На рис. 1 не ясна ориентировочная величина системного потенциала (выглядит как практически ровная линия).

2. В разделе 2.2.14 желательно было бы уточнить методы и (или) алгоритмы «анализа моделей». Перечисленные программы не могут считаться наименованиями методов.

3. На рис. 4 и аналогичных наряду с примерами кривых желательно бы указывать меру разброса для всей полученной выборки данных (например, стандартное отклонение в характерных/ключевых точках кривых).

4. Насколько данные, представленные на рис. 8б, существенны для понимания связи между переменным потенциалом и развитием NPQ? Показанная амплитуда изменений очень мала и свидетельствует, скорее, о том, что упомянутая связь имеет существенное значение только в присутствии актиничного света.

5. Аналогичный вопрос о физиологической (не статистической!) значимости наблюдаемых изменений можно поставить в отношении малых изменений квантового выхода фотосистемы II (рис. 14б, 17б, 24б, 26в и т. д.).

6. Имеется ряд терминологических неточностей. Так, коэффициент отражения характеризует не интенсивность отраженного света, а отражательную способность объекта (это отношение интенсивностей света, отраженного объектом, и света, упавшего на объект).

Сделанные замечания не являются принципиальными, не снижают ценности научного исследования и не влияют на теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение

С учетом вышеизложенного диссертационная работа Сухова Владимира Сергеевича «Вызванная переменным потенциалом быстрая инактивация фотосинтеза у высших растений: механизмы, связь с теплоустойчивостью, подходы к управлению и мониторингу» является законченной научно-квалификационной работой и по своему содержанию соответствует специальности 1.5.2 — Биофизика. В диссертации В. С. Сухова решена проблема взаимосвязи переменного потенциала, быстрой инактивации фотосинтеза и

влияния этих явлений на стресс-толерантность высших растений, разработаны методические подходы к неинвазивному дистанционному мониторингу этих явлений.

Основные результаты и выводы работы имеют высокое фундаментальное и прикладное значение. Разработанные неинвазивные методы мониторинга состояния растений при стрессах и сопровождающих их явлений имеют высокий потенциал для внедрения в практику точного растениеводства.

По своей новизне, актуальности, объему выполненных исследований и их практической значимости диссертационная работа Сухова Владимира Сергеевича соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Сухов Владимир Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.2. Биофизика.

Официальный оппонент – Соловченко Алексей Евгеньевич
д.б.н. (03.00.12 Физиология и биохимия растений),
профессор кафедры биоинженерии
биологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

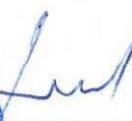


А.Е. Соловченко

119234 Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, к. 442
Рабочий тел. +7(495)939-25-87
solovchenkoae@my.msu.ru

05.11.2025

Подпись Соловченко А.Е. удостоверяю
Заместитель декана биологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова



А.М. Рубцов