

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ
ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ
Им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук

127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д.35
Тел.: (499) 678-54-00 Факс: (499) 678-54-20
E-mail: office@ifr.moscow; ifr@ippras.ru

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
чл.-корр. РАН

Лось Дмитрий
Анатольевич

2022 г.



21.12.2022г. № 363/22

На № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук (ИФР РАН) на диссертационную работу **Суховой Екатерины Михайловны** «Оценка применимости нормализованных индексов отражения для выявления локального и системного действия неблагоприятных абиотических факторов на высшие растения», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности: 1.5.2 – биофизика.

Актуальность темы

Развитие методов дистанционного мониторинга растений на основе использования индексов отражения является активно развивающейся областью науки, которая имеет как фундаментальные, так и прикладные перспективы. Известно, что различные индексы отражения имеют сильную связь со структурными, биохимическими и физиологическими показателями у растений, в частности, с параметрами фотосинтеза. Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью поиска новых индексов отражения, чувствительных к локальному и системному действию

неблагоприятных факторов, а также необходимостью развития методов повышения эффективности уже известных индексов отражения, включая фотохимический индекс отражения (Photochemical Reflectance Index, PRI), который может быть использован для дистанционного мониторинга наиболее быстрых фотосинтетических изменений у растений.

Научная новизна

В ходе выполнения работы был проведен комплексный анализ спектров отражения с использованием нормализованных индексов отражения у растений в условиях действия на них неблагоприятных абиотических факторов. Были предложены новые индексы отражения, являющиеся чувствительными к действию неблагоприятных факторов и имеющие низкую вариабельность в контрольных условиях.

Отдельно были исследованы механизмы быстрых изменений фотохимического индекса отражения. Впервые показана связь фотохимического индекса отражения с энергозависимой компонентой нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла а и на основании измерений светопропускания на длине волны 535 нм подтверждена связь PRI с быстрыми изменениями pH в люмене хлоропластов. Показана зависимость вклада быстро- и медленно-релаксирующих изменений фотохимического индекса отражения от основной длины волны индекса при использовании модифицированных PRI. Впервые предложен метод регистрации фотохимического индекса отражения с использованием коротких вспышек измерительного желто-зеленого света. Дополнительно показано увеличение пространственной неоднородности распределения PRI в листе в условиях действия неблагоприятных факторов.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты диссертационной работы позволили выявить новые индексы отражения, которые являются чувствительными к действию на растения неблагоприятных абиотических факторов (засуха, высокие температуры).

Такие индексы могут быть в дальнейшем использованы в качестве нового инструмента для дистанционного мониторинга состояния растений в неблагоприятных условиях.

Другая группа результатов, имеющих высокую практическую значимость, связана с повышением эффективности применения фотохимического индекса отражения, включая разработку метода снижения влияния фонового освещения на измерение PRI и техническую реализацию системы проксимального имиджинга PRI, выявление модифицированных PRI, являющихся более чувствительными к фотосинтетическим изменениям нежели типичный фотохимический индекс отражения, выявление изменений пространственного распределения PRI на поверхности листа при действии неблагоприятных факторов.

Выявление компонент PRI с различными временами релаксации имеет важное теоретическое значения для понимания связи фотосинтетических процессов и оптических свойств листа. Разработка математической модели, описывающей пространственную неоднородность распределения интенсивности фотосинтеза по поверхности листа, обеспечивает новый теоретический инструмент для исследований роли пространственной неоднородности в фотосинтетических процессах.

Анализ содержания диссертации

Представленная на отзыв диссертация изложена на 133 страницах, состоит из следующих частей «Введение», «Глава 1. Обзор литературы», «Глава 2. Материалы и методы», «Глава 3. Комплексное исследование изменений нормализованных индексов отражения при действии неблагоприятных абиотических факторов», «Глава 4. Исследование применимости фотохимического индекса отражения для оценки состояния растений в условиях действия неблагоприятных абиотических факторов и анализ механизмов его изменений», «Глава 5. Пространственная неоднородность распределения фотохимического индекса отражения и фотосинтетических характеристик листа как дополнительный показатель

воздействия неблагоприятных факторов на растения», «Заключение», «Выводы», «Список литературы», включающий в себя 183 источника. Текст содержит 46 рисунков, 4 таблицы, 36 уравнений.

Раздел «**Введение**» показывает актуальность исследования, описывает научную новизну и значимость полученных результатов.

В главе «**Обзор литературы**» рассматривается современное состояние исследований в области мониторинга растений. Отдельно рассмотрены основные оптические методы мониторинга растений, включая методы анализа флуоресценции, термографию, анализ RGB-изображений и анализ отраженного света в узких спектральных полосах. Особое внимание уделяется преимуществам и недостаткам этих методов. Далее более подробно рассмотрен анализ отраженного света в узких спектральных полосах с использованием индексов отражения, описаны основные индексы отражения, используемые при мониторинге растений. Также рассмотрены причины возникновения у растений пространственной и временной неоднородности оптических свойств.

В главе «**Материалы и методы**» приводится описание объекта и методов исследования. Отмечается, что в работе использовали сельскохозяйственные растения, включая горох, пшеницу и тыкву. В качестве системно действующих неблагоприятных факторов использовали кратковременный водный дефицит, засуху и повышение температуры; для локального повреждения использовали ожог. Отраженный растениями свет измеряли с помощью спектрометра, гиперспектральной камеры и разработанной системы имиджинга фотохимического индекса отражения. Активность световой стадии фотосинтеза оценивали при помощи систем РАМ-флуориметрии. Газообмен и ассимиляция CO_2 измерялись с использованием инфракрасного газоанализатора. В качестве теоретического инструмента для исследования пространственной неоднородности фотосинтетических процессов, диссертантом была разработана математическая модель фотосинтеза в листе растения. Набор методических

приемов, использованных для выполнения диссертационной работы, позволил диссертанту решить стоявшие перед ним задачи и получить оригинальные результаты.

В **главе 3** описывается исследование влияния системного и локального действия неблагоприятных факторов на индексы отражения в видимом диапазоне света, в ходе которого были выявлены наиболее чувствительные к исследуемым факторам индексы отражения. В частности, высокую чувствительность к засухе и нагреву показали индексы отражения, рассчитанные на основе длин волн 613 и 605 нм и длин волн 670 и 432 нм.

В **главе 4** рассматриваются пути повышения эффективности использования фотохимического индекса отражения, включая выявление оптимальных условий для измерения PRI на основании мета-анализа литературных данных, разработку нового метода измерения индекса с использованием коротких вспышек желто-зеленого измерительного света и техническую реализацию системы проксимального имиджинга PRI, подтверждение более высокой эффективности применения светоиндуцированных изменений PRI, выявление модифицированных фотохимических индексов отражения, являющихся более чувствительными к изменениям фотосинтеза. Дополнительно анализируются возможные механизмы быстрых изменений фотохимического индекса отражения.

В **главе 5** исследуются изменения неоднородности пространственного распределения фотохимического индекса отражения в листе растения при действии неблагоприятного фактора (водный дефицит) и анализируется связь таких изменений с изменениями пространственной неоднородности распределения активности фотосинтеза. На основании разработанной диссертантом математической модели проводится анализ возможных причин усиления пространственной неоднородности фотосинтетических процессов.

Разделы «**Заключение**» и «**Выводы**» обобщают результаты исследования.

Замечания по диссертационной работе

В целом, работа заслуживает высокой оценки, однако, хотелось бы уточнить следующие моменты:

1. В своей работе диссертант предлагает модифицированные индексы отражения PRI(545, 570) и PRI(555, 570), которые, как автор полагает, являются более эффективными нежели, классический фотохимический индекс отражения PRI(531, 570). Однако, остается неясным, будут ли эти индексы эффективными при измерении в условиях открытого грунта или при их регистрации на уровне растительного покрова, так как диссертант провел исследования только в лабораторных условиях, на зафиксированном в плоскости измерения листе.

2. В ряде экспериментов при исследовании фотохимического индекса отражения диссертант использует длительные измерительные вспышки желто-зеленого света (десятки секунд). По современным представлениям зеленый свет также играет существенную роль в протекании фотосинтетических процессов, обеспечивая энергией световые реакции фотосинтеза в клетках, расположенных в глубине листа. Возможно ли влияние измерительных вспышек желто-зеленого света на фотосинтетические процессы растений, а, следовательно, на величину фотохимического индекса отражения?

3. На рисунке 4.4 диссертации описывается возможность функционирования разработанной системы с двумя режимами измерительного освещения: с фиксированной и регулируемой длительностью вспышки желто-зеленого света. Второй режим не используется в диссертации. Объясните его назначение.

Заключение

Диссертационная работа Суховой Е.М. является актуальным и оригинальным исследованием, выполненном на высоком уровне. Работа может стать основой для практического применения в области мониторинга растений. Результаты исследования представлены в ведущих рецензируемых научных журналах.

Диссертационная работа Суховой Е.М. соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Сухова Екатерина Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

Диссертационная работа и отзыв обсуждены и одобрены на заседании лаборатории управляемого фотобиосинтеза Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (протокол № 26 от 12.12.2022 г.).

Главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией
управляемого фотобиосинтеза ИФР РАН,
доктор биологических наук,
член-корреспондент РАН



Аллахвердиев Сулейман Ифхан оглы

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева Российской
академии наук (ИФР РАН)

127276, г. Москва,
ул. Ботаническая, д. 35
Тел.: +7 (499) 678-54-00
E-mail: ifr@ippras.ru

Подпись: *Аллахвердиев Е.М.*
Начальник
отдела кадров *Е.М. Сухова*