

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 581.132(134)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МЕТОДОМ КВАНТОВОГО ВЫХОДА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ РАСТЕНИЙ

М. Х.-М. Магомедова, А. Т. Маммаев,
М. Ю. Алиева, Е. В. Пиняскина, А. В. Пиняскина

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН

Структурно-функциональная саморегуляция является важнейшим свойством всех биологических систем. Регуляторные механизмы определяют устойчивость системы, ее способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды (температура, газовый и химический состав, освещенность и т.д.). Предлагается методический подход к оценке вероятности засоления почв по параметрам флуоресценции растений для разработки концептуальных основ применения данного метода при мониторинге изменения системы почва-растение и моделирования экологического риска деградации почв аридных территорий.

Structural and functional autoregulation is the crucial property of all biological systems. Regulatory mechanisms determine sustainability of a system, its ability to adapt to changing of environmental conditions (temperature, gas and chemical composition, illumination, etc). Proposed is the methodical approach to assessment of the possibility of soil salinity according to plant fluorescence parameters for developing conceptual bases of this method application when monitoring changes in soil-plant systems and modeling environmental risks of soil degradation in arid lands.

Ключевые слова: фотосинтез; фотосистема 2; флуоресценция; засоленность почвы.

Keywords: photosynthesis; photosystem 2; fluorescence, soil salinity.

Растительность оказывает влияние на структуру и характер органических веществ почвы, ее влажность. Степень и характер влияния растительности как почвообразующего фактора зависит от видового состава растений, густоты их стояния, химизма и многих других факторов. При этом сами растения очень чувствительны к изменениям окружающей среды. Различные физические и химические факторы, влияющие на состояние растительных сообществ и на физиологию растений, в конечном счете прямо или косвенно отражаются на работе молекулярных систем фотосинтеза [1].

Одним из самых перспективных методов оперативной оценки состояния растения считается метод индукции флуоресценции хлорофилла. В наибольшей мере регуляторные механизмы фотосинтеза проявляются в различных индукционных явлениях, и в частности в явлении так называемой индукции флуоресценции фотосинтезирующих объектов. Флуоресценция весьма чувствительна к состоянию фотосинтетического аппарата, что, наряду с простой техникой эксперимента, обуславливает интерес к ее изучению. Это явление, несомненно, может быть положено в основу простого и адекватного метода, который позволил бы не только получать информацию о физико-химическом состоянии и функциональной активности фотосинтетического аппарата в различных условиях, но и делать выводы о состоянии самой среды обитания растений. В настоящее время изучение флуоресценции хлорофилла является по существу единственным методом, который позволяет контролировать протекание

in situ тех фотохимических реакций, которые связаны с работой так называемой фотосистемы 2 высших растений – системы, наиболее чувствительной к факторам внешней среды.

В последние годы для характеристики функциональной активности фотосинтетического аппарата растений, произрастающих в условиях повышенной засоленности почвы, нами активно используется метод измерения квантового выхода фотосинтеза и флуоресценции травянистых.

Методы и объекты

Объектом изучения служил первый зрелый лист растений Кермек Мейера (*Limonium meyeri*). Отбор объектов исследования (не менее 30 листьев с одной площадки) и измерение квантового выхода флуоресценции и фотосинтеза проводили на трех опытных площадках с предположительно разным уровнем засоления. Опытные площадки № 1, 2, 3 были заложены на бессточной равнине, прилегающей к северо-западной окраине с. Н. Хушет, с юго-запада участка пролегает железная дорога, с севера протекает р. Талгинка, за ней расположена южная окраина г. Махачкалы. Почва – луговая, солончаковая, слабо-среднезасоленная. Травостой в некоторых местах имеет высоту 30–40 см. Проективное покрытие – 60–70%.

Опытные площадки визуально выглядят так: *точка № 1* – почва средне- или слабозасоленная, ландшафт луговой, лугово-солончаковый, бессточная равнина, растения – злаковые, луговые, с участием галофитов (преимущественно костер, плевел луговой, эфемеры); *точка № 2* – почва луговая, слабозасоленная. От железной дороги около 200 м. Рельеф аналогичен участку № 1. Растительность луговая с участием злаковых представителей и разнотравья (плевел, мартук, костер кровельный). Разнотравье – подорожник, камыш, лапчатка (большое разнообразие). Участок выглядит более зеленым, чем участок № 1. Элементы остепнения (полынь). Растительность в фазе колошения злаков – 30 см. Проективное покрытие – 30–40%; *точка № 3* – сильнозасоленный вариант, кермеково-солянковая растительность. В обилии встречаются солянки однолетние, встречается камыш и редко кермек. Территория – бессточная равнина с признаками мезопонижения, где скапливаются поверхностные воды, способствуя образованию коркового солончака. Растительность солончаковая, редко встречаются злаковые, кермек, лебеда, разнотравье. Проектное покрытие – 15–20%.

Средняя температура воздуха составляла $30 \pm 6^\circ\text{C}$, влажность воздуха – 70–80%. Анализ почв проводили по ОСТ 46-52-76 [2].

Измерения флуоресценции проводились на импульсном флуориметре MINI-PAM (WALZ, Германия). Исследованные показатели фотосинтеза растений: F_0 – фоновый уровень флуоресценции растений; F – квантовый выход флуоресценции растений; F_m – максимум переменной флуоресценции растений; Y – квантовый выход фотосинтеза.

Результаты и обсуждение

Анализ водных вытяжек выявил, что наибольшая концентрация основных солей наблюдалась в почве с участка № 3 и наименьшая с участка № 1, за исключением бикарбонатов, которые распределены таким образом: наибольшее количество на участке № 2 и 1, наименьшее – на участке № 3 (см. таблицу). Это можно объяснить тем, что на данных участках травостой выше, соответственно перегной осенью – зимой больше. Это способствует образованию углеродсодержащих соединений, что со-

ответствует литературным данным. По плотности растительного покрова наибольшей густотой отличался участок № 2, наименьшей обладал участок в точке № 3.

Химический состав водных вытяжек почв с участков № 1, 2, 3 (мг/экв, %)

Участок №	Сухой остаток	Сумма солей	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺
1	0,072	0,083	7,9	0,76 0,046	0,175 0,0062	0,2 0,0096	0,76 0,0152	0,18 0,0022	0,18 0,0042
2	0,21	0,223	7,5	0,8 0,0488	1,2 0,043	1,4 0,62	1,3 0,026	0,7 0,0084	1,5 0,0345
3	0,65	0,659	7,5	0,45 0,027	3,12 0,11	6,42 0,308	3 0,06	2 0,024	5,6 0,13

Анализ полученных данных по составу водных вытяжек и процентному соотношению солей почвах с трех опытных площадок показывает следующее:

- в почве с участка № 1 (рис. 1а) преобладают соли с участием ионов кальция (34%) и соли угольной кислоты (33%);
- на участке № 2 (рис. 1б) преобладают соли с участием ионов кальция (19%), соли серной (20%) и соляной (17%) кислот;
- в водной вытяжке с опытного участка № 3 (рис. 1в) преобладают соли с участием ионов калия+натрия (27%), кальция (15%), соли серной кислоты (31%), соли соляной кислоты (15%).

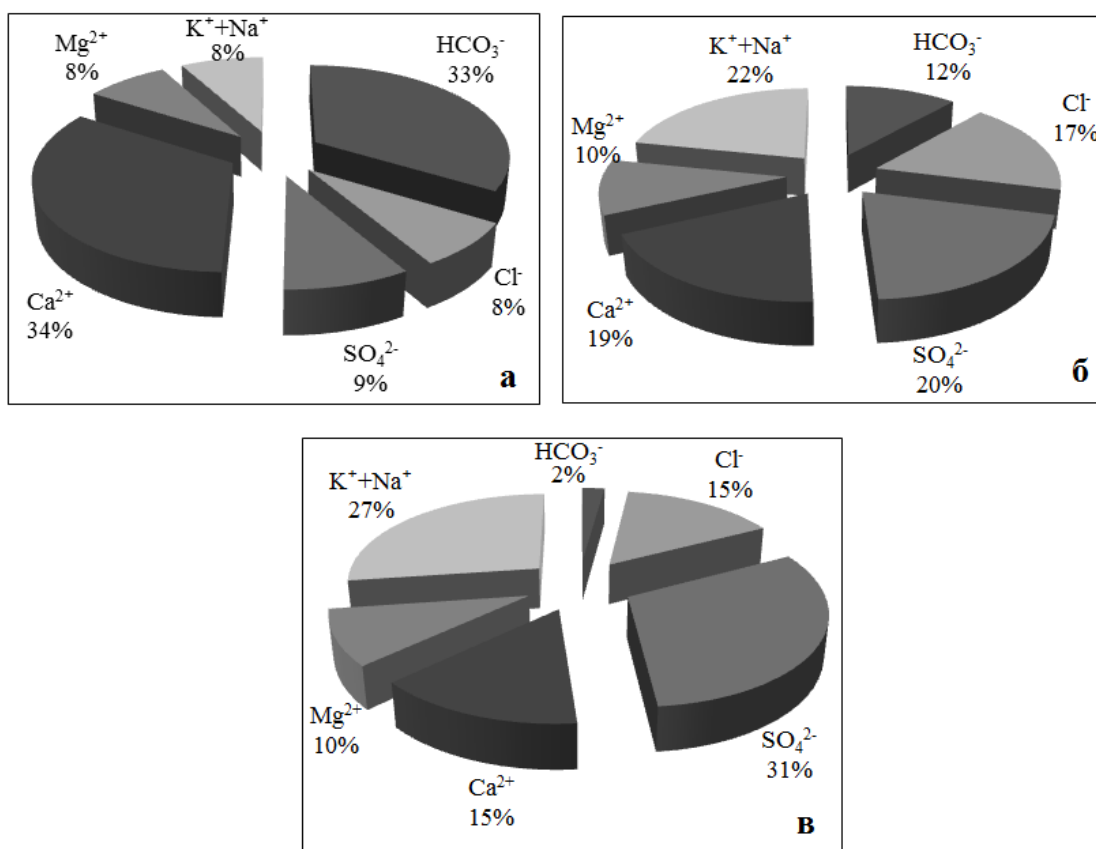


Рис. 1 а, б, в. Соотношение солей в водной вытяжке почвы с опытных участков: а) участок № 1; б) участок № 2; в) участок № 3

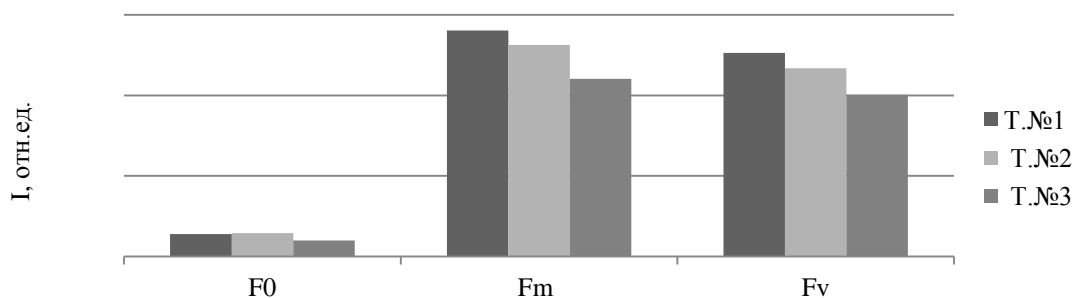


Рис. 2. Зависимость выхода флуоресценции от степени засоленности почвы

По соотношению солей серной и соляной кислот можно предположить, что это почвы сульфатного засоления.

Сравнительный анализ флуоресцентных показателей растений кермек (рис. 2) выявил, что наибольшее значение максимальной (F_m) и вариабельной (F_v) флуоресценции отмечено у растений с участка № 1, наименьшее значение – с площадки № 3. Таким образом, обнаружена обратная корреляция флуоресцентного ответа растений от степени засоленности почвы (см. таблицу): чем меньше содержание солей в почве, тем выше показания замедленной флуоресценции [3–5].

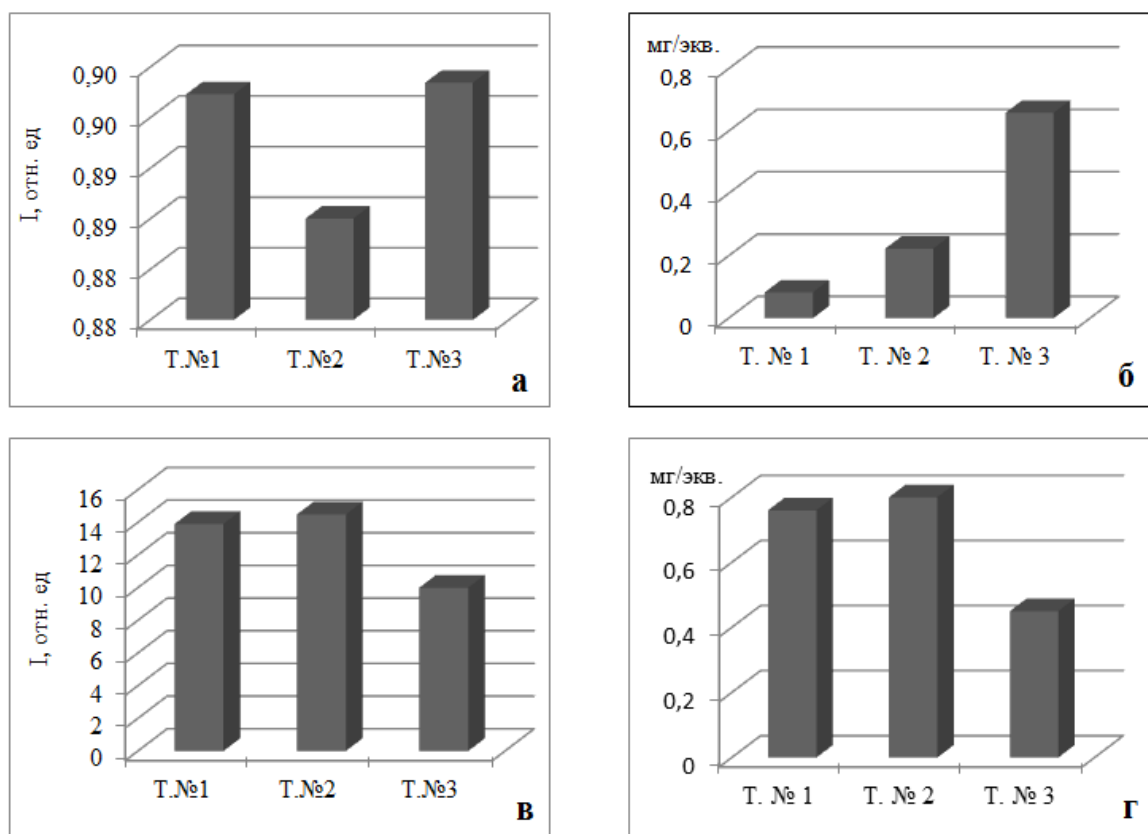


Рис. 3 а, б, в, г. Влияние засоления почв на показатели фотосинтетических характеристик *Limonium meyeri*: а) фотосинтетическая активность (F_v/F_m) листьев Кермека Мейера с участков № 1, 2, 3; б) сумма солей в водной вытяжке почв с участков № 1, 2, 3; в) зависимость выхода показаний флуоресценции F_0 от уровня засоленности почвы; г) содержание бикарбонатов (HCO_3^-) в почвах с опытных участков № 1, 2, 3

Эффективность фотохимического преобразования энергии в фотосистеме 2 наиболее высока у растений, собранных с участка № 3, наименьшее значение данного параметра – у образцов с участка № 2 (рис. 3а) и с концентрацией общей суммы солей в почве (рис. 3б) практически не связана. Сравнительный анализ показаний фотосинтетической активности (рис. 3а) и фоновой флуоресценции (F_0) (рис. 3в) выдает нам обратную корреляцию: наибольшее значение F_0 у растений, произрастающих на площадке № 2, наименьшее значение – у растений с участка № 3. Так как F_0 является показателем суммарного содержания светособирающих пигментов фотосинтетического аппарата растений [6–10], мы можем предполагать, что наибольшее количество этих пигментов в листьях растений на участке № 2, здесь и травостой гуще, и видов растений больше, и сами растения выглядят зеленее. Если значение F_0 является показателем суммарного содержания светособирающих пигментов фотосинтетического аппарата и их концентрация выше в растениях с участка № 2, то эффективность фотохимического преобразования энергии в ФС II в листьях этих же растений (рис. 3а) ниже, чем у растений с других площадок. Сопоставив степень распределения солей угольной кислоты (рис. 3г) и фотосинтетическую активность растений на трех исследуемых участках (рис. 3а), выявили обратную зависимость: чем больше бикарбонатов в почве, тем ниже фотосинтетическая активность.

Прямой зависимости фотосинтетической активности от концентрации других солей в почве (см. таблицу) не наблюдалось, тогда как замедленная флуоресценция чутко реагирует на различия общей суммы всех солей в почве. Таким образом, можно предположить, что в то время, как показания фотосинтетической активности еще не могут служить отражением солевого дисбаланса в почве, различия в индукции флуоресценции уже выдают четкую закономерность в реакции растений на разность концентрации солей в почвах. Различные растения по-разному реагируют на содержание и качественный состав солей в почвенном растворе [10].

Заключение

В результате анализа полученных нами результатов исследований влияния засоления почв на флуоресцентную реакцию растений кермек выявлены закономерности флуоресцентного ответа растения на степень засоленности почвы: чем больше содержание солей в почве, тем ниже интенсивность флуоресценции. Использование данного метода в исследовании проблем аридизации поможет своевременно информировать и расширить возможности прогнозирования дальнейшего развития событий, разрабатывать методы борьбы с этими явлениями, т.к. вредное влияние солей на величину и качество урожая (от 0,1%) в нашей аграрной системе несомненно.

Полученные данные открывают перспективы для разработки новых подходов к решению важной в практическом отношении проблемы прогнозирования состояния и продуктивности почв, защиты растений от деструктивного воздействия внешней среды. На основе полученной информации могут осуществляться оценка и прогноз степени изменения окружающей среды, разрабатываться управленческие критерии для осуществления хозяйственной и природоохранной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берри Дж.А., Даунтон У.Дж.С. Зависимость фотосинтеза от факторов окружающей среды // Фотосинтез / под ред. Говинджи. М.: Мир, 1987. Т. 2. С. 273–364.

2. Отраслевой стандарт ОСТ 46-52-76 «Методы агрохимических анализов почв. Определение химического состава водных вытяжек и состава грунтовых вод для засоленных почв» (введен в действие приказом Министерства сельского хозяйства СССР от 20 августа 1976 г. № 173).

3. Характер световых кривых растений, как показатель состояния почвы аридных территорий / М.Х.-М. Магомедова, А.Т. Маммаев, М.Ю. Алиева, Е.В. Пиняскина // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/130-23951> (дата обращения: 08.11.2016).

4. Флуоресцентные исследования системы почва-растение / А.Т. Маммаев, М.Ю. Алиева, М.Х.-М. Магомедова, Е.В. Пиняскина // Аридные экосистемы. 2016. № 2. С. 48–55.

5. Магомедова М.Х.-М., Алиева М.Ю., Биарсланов А.Б. Особенности флуоресцентных характеристик и пигментного состава растений, как показателей различий в уровне засоленности почвы // Вестн. Даг. науч. центра. 2014. № 52. С. 27–31.

6. Маммаев А.Т. Флуоресценция растений при экстремальных условиях экологических воздействий // Биофизические методы изучения растений, микроорганизмов и почв : сб. ст. / под ред. А.Т. Маммаева. Махачкала: Наука – Дагестан, 2007. 149 с.

7. Маторин Д.Н., Венедиктов П.С., Рубин А.Б. Замедленная флуоресценция и ее использование для оценки состояния растительного организма // Изв. АН. Сер. биол. 1985. № 4. С. 508–520.

8. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 4. С. 7–13.

9. Allakhverdiev S.I., Murata N. Salt stress inhibits photosystem II and I in cyanobacteria // Photosynth. Res. 2008. Vol. 98. P. 529–539.

10. Chlorophyll *a* fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves / P. Mehta, A. Jajoo, S. Mathur, S. Bharti // Plant Physiology and Biochemistry. 2010. Vol. 48. P. 16–20.

Поступила в редакцию 14.11.2016 г.

Принята к печати 26.12.2016 г.