



УДК 581.13

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ, ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И РОСТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ

© 2008. Магомедова М.Х.-М., Маммаев А.Т., Алиева М.Ю.  
Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН

Исследовалось влияние минерального питания на ростовые и оптические параметры и активность фотосинтетического аппарата растений, проросших на водной, песчаной и почвенной средах. Полученные результаты исследований расширяют представления о возможности использования замедленной флуоресценции для экспресс-диагностики состояния окружающей среды.

Influence of a mineral nourishment on the growth, optical parameters and activity of the photosynthetic device of the plants which have sprouted on water, sandy and soil environments was investigated. The received results of researches expand representations about possibility of the decelerated to fluorescence use for express diagnostics of environment condition.

В современных условиях сильного антропогенного воздействия на внешнюю среду успешное проведение экологического мониторинга должно позволить прогнозировать изменение характеристик отдельных звеньев экологической системы и на основании этого предсказать дальнейшую эволюцию экосистемы во времени. Принципиальное значение в этом отношении имеет получение экспресс-информации состояния клеток организмов в результате различных внешних воздействий. Эта информация позволила бы уже на ранних этапах диагностировать изменение клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов. Отвечающие этим требованиям современные биофизические методы экспресс-диагностики состояния клеток основаны на регистрации начальных нарушений клеточного метаболизма в основном на мембранном уровне организации клетки.

При нарушении состояния фотосинтетических мембран под действием внешнего фактора происходят определенные изменения оптических свойств хлорофилла, которые и служат источником информации для экспресс-диагностики состояния клеток. Этому обстоятельству способствует то, что в фотосинтетическом аппарате фотосистема II, ответственная за разложение воды и выделение кислорода, является чувствительной мишенью для таких внешних факторов, как экстремальные температуры, избыточная освещенность, соли тяжелых металлов, высушивание, повышение содержания солей в питательной среде [6, 10]. Продолжительные воздействия недостатка влаги, засухи, засоленность почв приводят к характерным изменениям спектров поглощения хлорофилла листового покрова и позволяют сделать вывод о неблагоприятном состоянии растений. Однако эти эффекты наблюдаются через значительные промежутки времени, когда нарушения состояния растений уже произошли и стали, как правило, необратимыми.

Фотосинтез и минеральное питание являются тесно связанными и взаимообусловленными процессами. Если минеральное питание стимулирует образование фотосинтетического аппарата и интенсивности его работы, то интенсивный фотосинтез, в свою очередь, является условием, способствующим эффективному использованию элементов минерального питания. В настоящее время в исследованиях фотосинтеза широко используются методы, основанные на измерении и анализе переменной (вариабельной) и замедленной флуоресценции хлорофилла. Растущий интерес к фотолюминесцентным показателям определяется возможностью создания на их основе экспресс и бесконтактных, а в будущем и дистанционных методов диагностики состояния растений. Большие перспективы развития данной области определяются интегральностью фотолюминесцентных показателей. Это позволяет использовать фотолюминесценцию для получения разнообразных данных о функционировании фотосинтетического аппарата.



рата растений и изучения действия на фотосинтез практически любых возмущающих факторов и обеспечивает множественность возможных методических решений конкретной задачи.

Для изучения состояния фотосинтетического аппарата растений традиционно используется ин-формация, которую несет флуоресценция хлорофилла. В этом отношении одним из наиболее важных явлений является эффект индукции флуоресценции – изменение во времени интенсивности флуоресценции адаптированного к темноте объекта, возникающее в ответ на включение постоянного освещения [2]. Нами изучены зависимость ростовых параметров, интенсивности замедленной флуоресценции (ЗФ) и фотосинтетической активности растений от среды прорастания.

**Методика.** Объектом изучения служили листья третьего снизу яруса 14-15-ти суточных проростков гороха (*Pisum sativum L.*) сорта «Альфа». Растения проращивались в лабораторных условиях при естественном освещении на водной, песчаной и почвенной средах. Каждое новое растение перед темновой адаптацией проходило 5-ти минутную световую адаптацию и, перед каждым измерением после темнового периода растение 5 мин адаптировалось к интенсивности облучаемого света при закрытой шторке. Темновой период увеличивался на 30 сек с 30-ти до 900 сек один круг. Измерения интенсивности ЗФ регистрировались с помощью однодискового фосфороскопа на установке нашей конструкции [5] с регистрацией свечения в отраженных лучах. Частота импульсного освещения образцов составляла  $8 \times 10^3$  Гц, длительность импульса облучения и измерения составляла 1,2 мсек. Точки на графиках отображают среднее значение из 8-10-ти аналитических повторностей.

**Результаты и обсуждение.** Все большее распространение получают экосистемы, нарушенные в результате технической деятельности человека. С ростом индустриализации и урбанизации усиливается влияние на растения неблагоприятных условий минерального питания. Поэтому актуальны поиски в природных экосистемах видов и популяций, у которых выработаны генотипические механизмы адаптации к экстремальным факторам почвенной среды [9].

Уже давно установлено, что под влиянием различных неблагоприятных факторов происходят неспецифические изменения фотосинтетического метаболизма  $CO_2$ , которые заключаются в снижении интенсивности фотосинтеза, образования сахарозы и относительном увеличении поступления углерода в органические соединения и аминокислоты.

Рост – функция, непосредственно зависящая от жизнедеятельности всего организма в целом. В явлениях роста отражена вся цепь совершающихся в организме процессов развития и обмена веществ, отдельные звенья которой находятся в различной зависимости от условий внешней среды. Изменения этих условий меняет не только ход отдельных функций, но и существенно нарушает соотношение между ними, характер и направление процессов обмена. Нами проводились измерения параметров растений, выросших на воде, песке и почве. Результаты этих измерений отображены на рис. 1, где у растений, выросших на воде, несмотря на отсутствие питательных веществ, длина корня и высота самого растения имеют наибольшие значения. Это возможно связано с тем, что для прорастания семян, активизации ферментов роста наиболее подходит водная среда. В то же время, длина и ширина листовой пластинки имеет большее значение у растений гороха, выросших на почвенной среде. Так как лист – орган более сложного устройства и выполняющий непростые задачи в растительном организме (фотосинтез, ассимиляция углекислого газа, устьичная регуляция, газообмена и др.) для его нормального роста, по-видимому, растению требуется среда, содержащая достаточное количество минеральных элементов.

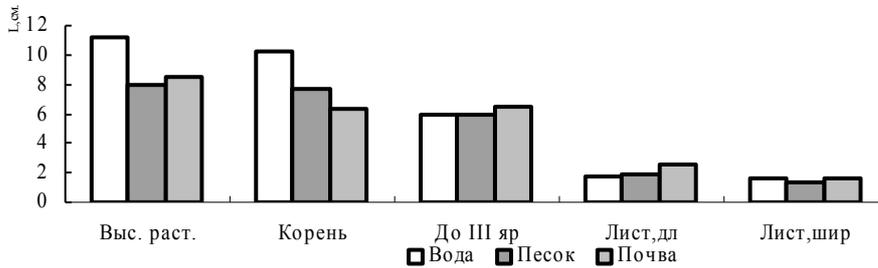


Рис. 1. Соотношение анатомических параметров 14-ти дневных проростков гороха в зависимости от среды произрастания.

**Рис. 1.** Соотношение анатомических параметров 14-ти дневных проростков гороха в зависимости от среды произрастания.



Условия, благоприятствующие росту какого-либо одного органа (например, стебля) не всегда оптимальны для роста других (например, корни). Кроме того, условия внешней среды могут влиять на рост какого-либо органа не только непосредственно, но и косвенно, через влияние, оказываемое ими на рост и развитие другого органа. Нередко направления прямого или косвенного влияния могут не совпадать и даже быть противоположными [7]. Условия минерального питания, без сомнения, оказывают существенное влияние на показатели фотосинтетического аппарата. Установлено, что улучшение снабжения минеральными элементами (в том числе добавка микроэлементов) способствует увеличению пластидного наполнения клетки и размеров хлоропластов. Так в листьях злаков, растущих в прибрежной полосе, богатой экскрементами морских птиц, хлоропласты крупнее и многочисленнее, чем у тех же видов растений в отдалении от берега [2].

Индукцию ЗФ растений гороха в зависимости от среды, в которой прорастивалось растение, и длительности темновой адаптации отображены на рис. 2.

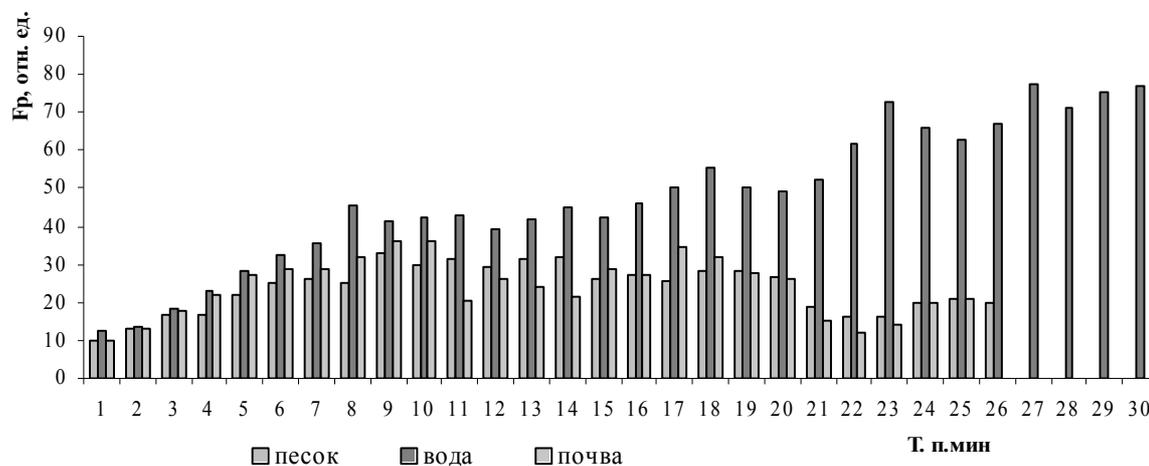


Рис. 2. Зависимость интенсивности замедленной флуоресценции от среды прорастания.

Рис. 2. Зависимость интенсивности замедленной флуоресценции от среды прорастания.

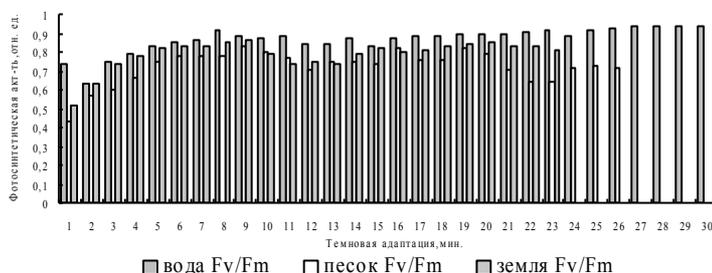


Рис.3. Зависимость фотосинтетической активности растений от среды прорастания и длительности темнового периода.



**Рис. 3.** Зависимость фотосинтетической активности растений от среды проращивания и длительности темнового периода.



Интенсивность ЗФ растений, выросших на воде заметно выше, чем у растений выросших на песке и почве. ЗФ растений выросших на почве и песке приблизительно на одном уровне и на порядок ниже этих же показателей растений, выросших на водной среде. Возможно, у растений, выросших на песке и почве фотосинтез более защищен от обратных переходов электрона от первичного акцептора в реакционный центр, вследствие которых и возникает флуоресценция. Наиболее ярко выражены эти отличия при увеличении темновой адаптации растения выше 6 мин перед его облучением белым светом. Возможно, при этих длительностях темновой адаптации уже включаются процессы темновой стадии фотосинтеза – биохимия. К внезапному включению света растительные механизмы фотосинтетических переходов генетически не готовы, т.к. в природе эти переходы – «свет – темнота» и наоборот, происходят плавно. Резкое включение света после длительной темновой адаптации для растения в нашем случае является стрессом и в этих «некомфортных» условиях наиболее ярко можно наблюдать зависимость выхода ЗФ растений от условий проращивания (минерального питания). Относительная автономность хлоропластов имеет существенное значение для их стресс – устойчивости. В отмирающем листе они, как и другие пластиды, сохраняются последними [3].

На рис. 3 отражена зависимость фотосинтетической активности растений гороха от минерального питания и длительности темновой адаптации. Как видно из рисунка у растений гороха, выращенных на разных средах при увеличении времени темновой адаптации заметных отличий в фотосинтетической активности не наблюдалось и держалось на приблизительно одинаковом уровне. Незначительные отличия в уровне фотосинтетической активности этих растений появляются при увеличении времени темновой адаптации до 23-24 мин и выше, тогда как отличия в замедленной флуоресценции появлялись значительно раньше – с 6-7 мин темновой адаптации растения.

Отсутствие заметных отличий в фотосинтетической активности растений гороха, выросших на разных средах (вода, песок, почва), предположительно можно объяснить и тем, что в течение 14-ти дней роста значительная часть питательных веществ в растение поступает из семян гороха. Кроме того, к 8-10-ти дням после посадки семян гороха зеленеют, тем самым, участвуя в фотосинтетической поддержке роста растения. И, возможно именно поэтому различия в питательной среде слабо отражаются на фотосинтетической деятельности растений, но этот вопрос требует дальнейшего детального изучения.

По данным многих авторов, минеральные удобрения влияют на фотосинтез тремя основными путями: они могут повышать интенсивность фотосинтеза на единицу листовой поверхности, действуя в качестве ионов на клеточные коллоиды – на их набухаемость *growth* и проницаемость; могут способствовать увеличению общей ассимиляционной поверхности; могут удлинять продолжительность жизни листьев [1, 2, 4]. В фазе 3-6 настоящих листочков условия минерального питания могут еще не оказывать заметного влияния на свойства листа как оптической системы. В начале вегетации листья десятидневных растений фасоли (фаза первой пары настоящих листьев) практически не отличались между собой по оптическим свойствам в зависимости от условий минерального питания. У 14-дневных растений фасоли, находящихся в фазе первой пары листьев, уже наметились некоторые изменения оптических свойств в зависимости от варианта минерального питания [4].

Спектральная кривая поглощения лучистой энергии листом почти копирует такие же кривые фотосинтетических пигментов, что указывает на подчиненность оптической системы листа основной физиологической функции растения – фотосинтеза. В то же время оптические свойства листьев в той или иной мере зависят от целого ряда так называемых «внутренних факторов» – содержание пигментов, воды и других внутриклеточных соединений, структурно-морфологических признаков листа, общего объема и ориентации хлоропластов, а также от степени открытия устьиц и наличия процесса фотосинтеза. Физиология растений уже располагает данными, свидетельствующими об изменчивости большинства вышеперечисленных факторов при различных внешних условиях произрастания растительного организма [4].

Таким образом, замедленная флуоресценция является более тонким, чувствительным инструментом обнаружения нарушений в состоянии окружающей среды, целостности самого растения и процессов, протекающих в нем. Познание механизмов фотосинтетической деятельности растений посредством ЗФ предоставляет нам источник информации для экспресс-диагностики состояния клеток, дает возмож-



ность оценивать и прогнозировать на ранних стадиях возможные нарушения фотосинтетических процессов в экологически неблагоприятных условиях внешней среды.



### Библиографический список

1. Алиев Д.А., Азизов И.В., Э.Г. Казобекова Э.Г. Фотосинтетическая способность и развитие хлоропластов в онтогенезе пшеницы. – Баку: Элм, 1988. – 116 с.
2. Горьшина Т.К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1989. – 204 с.
3. Емельянов Л.Г., Анкуд С.А. Водобмен и стресс-устойчивость растений. – Мн.: Наука і тэхніка, 1992. – 144 с.
4. Жакобэ А.Г. Минеральное питание и активность фотосинтетического аппарата растений. – Кишинев: Штиинца, 1974. – 155 с.
5. Маммаев А.Т. Флуоресценция растений при экстремальных условиях экологических воздействий // Биофизические методы изучения растений, микроорганизмов и почв. / Под ред. А.Т. Маммаева. – Махачкала: Наука, 2007. – 149 с.
6. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 4 – С. 7-13.
7. Рубин А.Б. Курс физиологии растений. Изд. 4-е перераб. и доп. Учебник для университетов. – М.: Высш. школа, 1976. – 576 с.
8. Тихонов А.Н. Регуляция световых и темновых стадий фотосинтеза // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 11. – С. 8-15.
9. Школьник М.Я., Смирнов Ю.С. О причинах повышения содержания фенолов у растений при избытке и недостатке минеральных элементов // Растения в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования. / Под ред. М.Я. Школьника, Н.В. Алексеевой-Поповой. – Л.: Наука, 1983. – С. 140-148.
10. Vavilin D.V., Ducruet J.-M., Matorin D.N. et al. // J. Photochem. Photobiol. B. 1998. Vol. 42/3. – P. 233.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (06-04-96602).*

УДК 633

## БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СКАЛИСТОГО ХРЕБТА

© 2008. Теймуров А.А., Ханаева Х.Р.

Дагестанский государственный университет, Чеченский государственный педагогический институт

В статье анализируется общий ботанико-географический состав флоры восточной части Скалистого хребта и дается высотно-поясная картина распределения видов, относящихся к разным географическим типам и элементам.

In article the general botaniko-geographical structure of flora of east part of the Skalistyj ridge and a vyshotno-zone picture of distribution of the kinds concerning different geographical types and elements is analyzed.

Ни один вид никогда не занимает площади своего ареала сплошь. Это связано с тем, что даже в небольшом, относительно однородном географическом районе не наблюдается полной выравненности экологических условий (влажность и химизм почвы, микроклимат). Но ареалы растений, как правило, охватывают значительные части суши со сложной топографией и массой разнообразных местообитаний (большие равнины, горные системы). В то же время каждый вид (по своей экологической природе) нуждается в строго определенном местообитании. Поэтому пестрота физико-географических условий на территории ареала неизбежно порождает прерывистое распределение особей и популяций вида и, следовательно, можно говорить о топологии вида на площади его ареала.

В классификации географических элементов мнения исследователей расходятся в значительной степени. Одни из них [1, 2, 3 и др.] исходят из того, географический элемент – это группа видов со сходным типом ареала. Другие же [4, 5, 6 и др.] основываются на концепции фитохорионов.

Определенный вклад в разработку схем классификации географических элементов внесли и кавказские флористы [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 и др.]. Как справедливо отмечает Н.Н. Портениер [14] у