

Р. А. ГАСАНОВ, академик АН АзербССР М. Г. АБУТАЛЫБОВ

СПЕКТР ДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТА ЭМЕРСОНА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТНЫХ СИСТЕМ ФОТОСИНТЕЗА ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ИНДУКЦИОННОЙ ФАЗЕ

Современные представления об участии в фотосинтезе нескольких самостоятельных фотохимических реакций, каждая из которых сенсibilизируется особой пигментной системой, базируются в основном на опытах Эмерсона с сотрудниками (1, 2) и на работах Блинкса, Френча и др. (3-5). Доказательства существования двух самостоятельных фотохимических пигментных систем были получены главным образом при спектральных исследованиях низших растений. Работы Литвина с сотрудниками (6-8) расширили наши представления о распространенности эффекта Эмерсона и Блинкса и указали на сходство фотохимических пигментных систем низших и высших растений. Более того, авторы указали на значительную сложность пигментной системы высших растений по сравнению с водорослями.

Сопоставление данных, полученных по спектрам действия фотосинтеза и эффекта Эмерсона, с результатами изучения нативных форм хлорофилла позволило ряду авторов полагать, что различные формы хлорофилла входят в различные пигментные системы и осуществляют специфические функции в процессе фотосинтеза (9-12). Согласно данным Красновского (13), в живой клетке существуют формы хлорофилла, различающиеся по степени агрегации и по фотохимической активности. Однако вопрос о природе и функции длинноволновых форм хлорофилла, поглощающих в области > 700 м μ , пока еще остается невыясненным (14). Тем не менее следует отметить работы (15, 16), авторы которых указывают на роль длинноволнового света в выделении O_2 фотосинтеза, а также работу (8), где показано, что в спектре действия эффекта Эмерсона в процессе зеленения обнаруживаются два длинноволновых максимума: 695-705 и 715-720 м μ .

В связи с этим, мы детально исследовали спектральную зависимость фотосинтеза в длинноволновой области. Измерения проводили на описанной ранее высокочувствительной установке для амперметрического определения скорости выделения O_2 , сконструированной в нашей лаборатории и позволяющей исследовать (как в непрерывном режиме, так и по точкам) спектры действия фотосинтеза в области 400-800 м μ , регистрировать

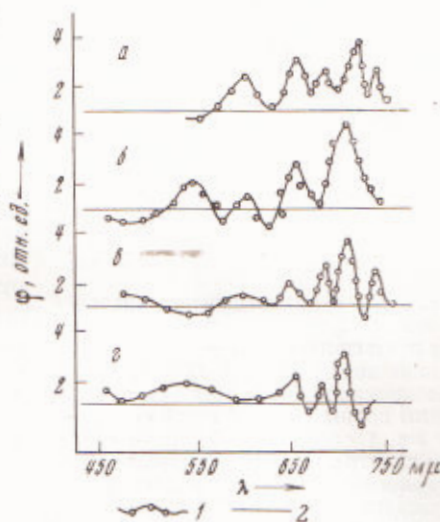


Рис. 1. Спектры действия эффекта Эмерсона при различном дополнительном освещении. 1 — квантовый выход при дополнительном освещении (а — 480; б — 670; в — 680 и г — 730 м μ); 2 — то же без дополнительного освещения

кинетику фотосинтеза при монохроматическом освещении низкой интенсивности, исследовать «хроматические переходы» и эффект Эмерсона и его спектры действия, изучать явления фотостимуляции дыхания с одновременной регистрацией спектров поглощения этих же объектов (17).

Измерения проводили на листьях элодеи и риса. Интенсивность монохроматического освещения во всех случаях подбиралась таким образом, чтобы получить одинаковый эффект.

Детальные исследования спектров действия эффекта Эмерсона показывают, что при некотором дополнительном освещении наряду с максимумами 650; 670; 680; 710—714 м μ появляется ясно выраженный максимум

в области 730—735 м μ (рис. 1): он возникает при освещении в области поглощения каротиноидов и коротковолновой формы Хл а₆₇₀ и отсутствует при освещении в области поглощения Хл а₆₈₀ и Хл б.

Таким образом, в основе эффекта Эмерсона лежит взаимодействие различных пигментных фотохимических систем, которые включают каротиноиды, хлорофилл b, Хл а₆₇₀, Хл а₆₈₀, пигмент с максимумом 710—715 м μ , а также длинноволновый пигмент с максимумом 730—735 м μ .

Зависимость максимумов в спектре действия эффекта от длины волны дополнительного освещения свидетельствует о сложном характере взаимодействия пигментных систем фотосинтеза, не укладывающемся в рамки современных представлений о взаимодействии двух фотохимических систем фотосинтеза.

Величина постоянной времени установки 0,5—0,1 сек. позволила исследовать быстрые изменения скорости выделения кислорода при кратковременном освещении и при смене монохроматического освещения в индукционной фазе. Исследование при монохроматическом освещении подтвердили данные (9, 10)

Рис. 2. Кинетика выделения кислорода после кратковременного освещения листьев элодеи. А — «белый» свет низкой интенсивности (1 сек.); Б — монохроматический свет различной длины волны (1 — 650 м μ , 2 сек.; 2 — 670 м μ , 1 сек.; 3 — 730 м μ , 4 сек.); В — спектр действия «темнового» выделения кислорода после монохроматического освещения $\lambda > 700$ м μ . Светлые стрелки — включение света, темные — выключение. 1 деление самотисца — $2 \cdot 10^{-2}$ ма

о наличии двух типов индукционных кривых фотосинтеза листьев элодеи. Однако при кратковременном (1—4 сек.) освещении низкой интенсивности (меньше 100 эрг/см²·сек) отмечалось несколько типов кинетических кривых (рис. 2). Анализ кривой на рис. 2А, характеризующей изменения в выделении кислорода после 1 сек. освещения «белым» светом, показывает ее многокомпонентность. Наша попытка наблюдать изолированно компоненты, кратковременно возбуждая фотосинтез монохроматическим светом низкой интенсивности, привела к следующим результатам.

Кратковременное освещение $\lambda < 670$ м μ (рис. 2Б) приводит к выбросу O₂ с последующим моментальным «затуханием». Под влиянием кратковременного освещения $\lambda \geq 670$ м μ на кривой после выброса O₂ на спаде появляется четко выраженный горб. Под действием кратковременного освещения в дальней красной области обнаружено появление максимума на индукционной кривой после включения освещения, что, надо полагать, соответствует темновому выделению кислорода. Условия, при которых обнаруживается данный максимум, описаны нами ранее (18). Максимум в спектре действия этого эффекта лежит при 730—740 м μ .

Можно полагать, что наши данные говорят о существовании нескольких независимых процессов, связанных с выделением кислорода.

С целью выяснения закономерностей взаимодействия этих процессов мы исследовали «хроматические» переходы Блинкса. Смена монохроматического освещения, поглощаемого коротковолновой формой Хл а на монохроматическое освещение λ 730 м μ приводит к появлению минимума (рис. 3А) с последующим выходом на стационарный уровень. Темновой

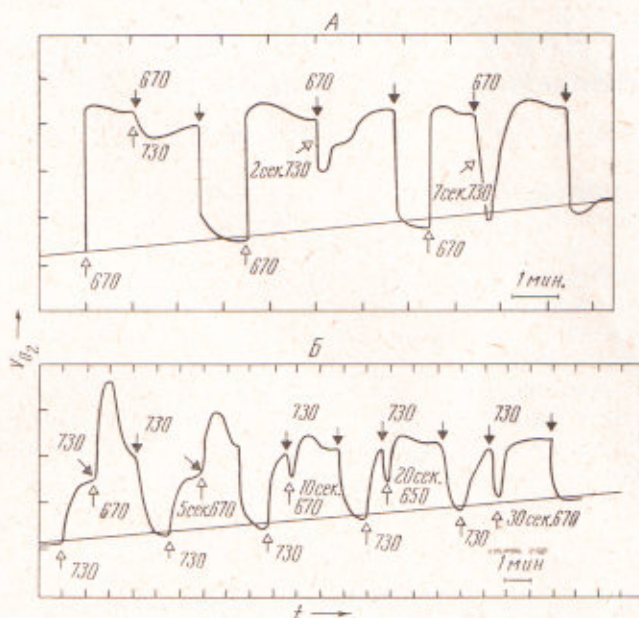


Рис. 3. Переходные процессы при смене длин волн действующего света и при изменении длительности темнового периода: а — 670 на 730 м μ ; б — 730 на 670 м μ . Светлые стрелки — включение света; темные — выключение. Цифра у светлой стрелки — длительность темнового интервала

интервал в 1,5—2 сек. и более приводит к увеличению минимума; однако, как и ранее, наблюдается последующий выход на стационарный уровень. При изменении порядка переключения (рис. 3Б) на кривой возникает резкий максимум, интенсивность которого уменьшается с увеличением темнового интервала при смене освещения. При интервале 20 сек. максимум практически не появляется. Эти данные, на наш взгляд, характеризуют время жизни некоторого фоточувствительного комплекса, предшествующего выделению кислорода и образующегося под влиянием длинноволнового света, и указывают на определенную роль комплекса, образованного под влиянием длинноволнового света (λ 730 м μ), в выделении кислорода.

Проведенные исследования, по-видимому, свидетельствуют о специфической функциональной активности длинноволновых форм пигмента, обнаруживаемых методами абсорбционной и люминесцентной спектроскопии в фотосинтезе, в частности в процессах, связанных с выделением кислорода.

Институт ботаники им. В. Л. Комарова
Академии наук АзербССР
Баку

Поступило
24 XII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ R. Emerson, C. M. Lewis, J. Gen. Physiol., 25, 579 (1942). ² R. Emerson, E. Rabinowitch, Plant. Physiol., 35, 477 (1957). ³ L. R. Blinks, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 46, 327 (1960). ⁴ К. С. Френч, Д. К. Фок, Механизм фото-

синтеза, Тр. V Международн. биохим. конгр., симп. 6, Изд. АН СССР, 1962, стр. 127.
⁵ Е. В. Рабинович, там же. ⁶ Ф. Ф. Литвин, В кн. Биохимия и биофизика фотосинтеза, «Наука», 1965. ⁷ Ф. Ф. Литвин, Хэ И-тань, ДАН, 172, № 5, 1178 (1966). ⁸ Ф. Ф. Литвин, Хэ И-тань, Физиол. раст., 14, 2, 219 (1967). ⁹ C. S. French, J. S. Brown et al., Ann. Rep. of the Director Department of Plant Biology, Carnegie Inst., 1967-1968, p. 536. ¹⁰ W. A. Cramer, W. Z. Butler, Biochim. et Biophys. acta, 153, 891 (1968). ¹¹ Ф. Ф. Литвин, А. А. Красновский, ДАН, 117, № 1, 106 (1957). ¹² Ф. Ф. Литвин, А. А. Красновский, ДАН, 120, № 4, 764 (1958). ¹³ А. А. Красновский, В кн. Механизм фотосинтеза, Изд. АН СССР, 1962. ¹⁴ Ф. Ф. Литвин, В. А. Синещев, В кн. Молекулярная биофизика, «Наука», 1965. ¹⁵ P. Thibault, M. André, Guerin de Moutgaucuil, C. R., 267, 2140 (1968). ¹⁶ H. G. Lundegardh, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 59, 293 (1968). ¹⁷ Р. А. Гасанов, Ф. Ф. Литвин, Матер. I Закавказской конфер. по физиологии растений, 1967. ¹⁸ Р. А. Гасанов, Докл. АН АзербССР, 24, 12, 34 (1968).