

УДК 581.13

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. ШУВАЛОВА, А. Н. КРУПЕНКО, Т. В. ВОЛКОВА, Л. Н. БЕЛЛ

**О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ СКОРОСТЯМИ ФОТОСИНТЕЗА
ХЛОРЕЛЛЫ, ИЗМЕРЯЕМЫМИ ПО ЭНЕРГО- И ГАЗООБМЕНУ
ПРИ НАСЫЩАЮЩИХ ИНТЕНСИВНОСТЯХ СВЕТА**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 12 XII 1972)

Ранее нами было показано, что при низких интенсивностях синего света, соответствующих линейному участку световой кривой фотосинтеза, энергетический выход фотосинтеза, измеренный на фотокалориметре, оказался выше (до 50%) значения, рассчитанного на основании измерений выделения кислорода. На красном свете измеренный и вычисленный энергетические выходы совпали ⁽¹⁾.

Последующие опыты показали, что несоответствие между энергетическим и газометрическим показателями фотосинтеза возможно и при высоких (насыщающих) интенсивностях синего света ⁽²⁾. Этот вывод был сделан путем сравнения относительных значений насыщающих скоростей фотосинтеза по энерго- и газообмену, измеренных на синем и красном свете.

В настоящем сообщении приведены результаты сравнений абсолютных скоростей фотосинтеза. Они показывают, что максимальные скорости запасаания энергии могут заметно превышать максимальные скорости выделения кислорода не только на синем, но и на красном свете.

Опыты проводились с водорослью *Chlorella pyrenoidosa*. Условия выращивания и подготовки растения к опыту описаны в ⁽²⁾.

Скорость выделения кислорода измерялась амперометрическим методом. Средняя ошибка измерений не превышает 5%. В контрольных опытах было проверено, что используемые высокие интенсивности света не вызывали тока в отсутствие фотосинтезирующей хлореллы, т. е. не вызывали электрического эффекта.

Скорость фотосинтеза по запасанию энергии измерялась на фотокалориметре по методу температурной кривой ⁽⁴⁾.

Наш фотокалориметр был специально сконструирован для измерения энергетического выхода (эффективности) фотосинтеза. В данной работе он использовался для измерения интенсивности (скорости) фотосинтеза. Измерения скорости проводились следующим образом.

На рис. 1, *a* показана зависимость температуры нагрева фотосинтезирующей суспензии хлореллы от интенсивности падающего света. Если прямая *b* изображает зависимость температуры нагрева суспензии от интенсивности света, ожидаемую в том случае, когда водоросль не фотосинтезирует и вся световая энергия, поглощаемая ею, деградирует в тепло, то разность ординат обеих кривых ($T_2 - T_1$) при какой-нибудь интенсивности света I' , как легко показать ⁽⁴⁾, пропорциональна энергии, запасаемой в единицу времени. Прямую *b* можно построить, исходя из следующих соображений. При достаточно высоких интенсивностях света, соответствующих насыщению фотосинтеза, наклоны кривых *a* и *b* должны быть одинаковыми, так как для растения в фотосинтезирующем и нефотосинтезирующем состояниях равные приращения падающей энергии обуславливают равные приращения энергии, идущей на нагрев ⁽⁴⁾.

Таким образом, температурную кривую нефотосинтезирующей суспензии *b* можно определить следующим способом: из точки температурной кривой суспензии фотосинтезирующей водоросли *a*, соответствующей нулевой интенсивности света, проводится прямая линия *b*, наклон которой равен наклону кривой *a* при насыщающих интенсивностях света. По разности ординат обеих кривых при различных интенсивностях света можно построить «энергетическую световую кривую» фотосинтеза.

В настоящей работе нас интересовала скорость фотосинтеза при насыщающих интенсивностях света. Для определения этой величины температура суспензии измерялась при трех низких интенсивностях света (1200—4000 эрг/см² · сек.), соответствующих линейному участку световой кривой фотосинтеза, и при трех высоких интенсивностях света (50000—70000 эрг/см² · сек.), соответствующих насыщению фотосинтеза. Экстраполируя оба линейных участка температурной кривой к нулевой интенсивности света, найдем две точки пересечения с осью ординат, расстояние между которыми (*b*₀ — *B*₀) характеризует интенсивность фотосинтеза при насыщающей интенсивности света (рис. 1). Ординаты *b*₀ и *B*₀ вычислялись нами методом наименьших квадратов.

Абсолютная градуировка фотокалориметра, т. е. перевод непосредственно измеряемых величин (напряжения, компенсирующего термо-э.д.с.) в единицы мощности проводилась путем облучения неактивной, полностью поглощающей жидкости (туши) в калориметре светом известной интенсивности. Интенсивность света измерялась при помощи термостолбика. Чувствительность последнего определялась с помощью светозмерительных ламп с известными цветовыми температурами и комбинаций светофильтров, вырезающих различные области видимого спектра (°). Кроме того, чувствительность термостолбика была определена во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева по эталонной лампе, создающей известную энергетическую облученность. Обе градуировки совпали с точностью до 3%. Для данной модификации фотокалориметра градуировочный коэффициент оказался в среднем равным 180 эрг/сек · мв или 3,5 эрг/сек. на деление шкалы показывающего прибора.

Точность фотокалометрического метода определения насыщающих значений фотосинтеза описываемым методом оценивалась путем построения энергетических световых кривых фотосинтеза суспензии туши. В идеальном случае значения высот этих световых кривых должны равняться нулю. В опытах наблюдались отклонения от нуля, которые в среднем составляли не более 15% от измеряемых значений скорости запасаения энергии при насыщающих интенсивностях света. Эту величину в 15% можно считать средней ошибкой измерения скорости фотосинтеза по энергообмену.

Учитывая указанные ошибки, мы считаем, что различие между непосредственно измеренной скоростью запасаения энергии и скоростью, вычисленной по газометрическим данным, превышающее 25%, указывает на существование реального расхождения между энерго- и газообменом.

Специальными опытами проверялось, что показания обоих (фотокалометрической и амперометрической) установок пропорциональны плотности клеток. Это позволило их пересчитать на одно и то же число клеток, а следовательно, сопоставить их между собой.

Результаты опытов и их обсуждение. На синем свете в 9 из 16 опытов (т. е. в 56% случаев) скорости фотосинтеза, измеренные на фотокалориметре, превышали более чем на 25% максимальные скорости,

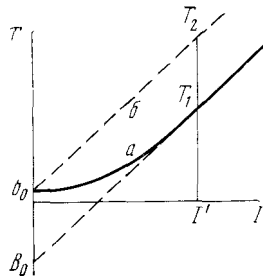


Рис. 1. Температурные кривые нагрева суспензии хлореллы фотосинтезирующей (*a*) и нефотосинтезирующей (*b*)

рассчитанные на основании данных по выделению O_2 . В 19 из 30 опытов (63% случаев) имело место превышение энергообмена над газообменом и на красном свете. Таким образом, сравнение абсолютных значений скоростей фотосинтеза указывает на превышение скорости запасаания энергии над скоростью, рассчитанной по поглощению O_2 как на синем, так и на красном свете.

В наших предыдущих опытах, проведенных при низких интенсивностях, повышенная скорость запасаания энергии света наблюдалась только на синем свете (¹). В настоящей же работе превышение энергообмена над газообменом наблюдается как на синем, так и на красном свете.

Вряд ли можно объяснить наблюдаемое превышение энергообмена циклическим или псевдоциклическим фотофосфорилированием, так как по литературным данным оба типа фосфорилирования насыщаются при относительно низких интенсивностях света (^{6,7}).

Возможным объяснением наблюдаемого эффекта может быть усиление дыхания (точнее, экзотермических процессов) на свету (⁸). Часть энергии дыхания (например, до 60% при окислительном фосфорилировании (⁹)) может не деградировать в тепло, в то время как поглощение кислорода снижает в большей мере скорость видимого газообмена.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР
Москва

Поступило
12 XII 1972

Институт фотосинтеза
Академии наук СССР
Пушкино-на-Оке

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Белл, Н. П. Шувалова и др., ДАН, 182, 1439 (1968). ² Н. П. Шувалова, А. Н. Крупенко и др., ДАН, 207, 248 (1972). ³ Г. С. Гришина, Л. Н. Белл, Г. С. Букина, Физиол. раст., 13, 737 (1966). ⁴ Л. Н. Белл, Г. Л. Мерпинова, Физиол. раст., 8, в. 2, 161 (1961). ⁵ М. И. Эпштейн, Спектральные измерения в электровакуумной технике, М., 1970. ⁶ Q. Kandler, Zs. Naturforsch., 126, 27 (1957). ⁷ W. Urbach, H. Gimmeler, Zs. Pflanzenphysiol., 62, 276 (1970). ⁸ Л. Н. Белл, Сборн. Биохимия и биофизика фотосинтеза, «Наука», 1965, стр. 252. ⁹ А. Ленингер, сборн. Современные проблемы биофизики, 1, ИЛ, 1961, стр. 177.