

Н. П. ШУВАЛОВА, Л. Н. БЕЛЛ

**ВЛИЯНИЕ СИНЕГО СВЕТА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫХОД
= ФОТОСИНТЕЗА ХЛОРЕЛЛЫ, ИЗМЕРЯЕМЫЙ
В КРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 6 I 1970)

Ранее нами была обнаружена аномалия в энергетике хлореллы в сине-зеленой области спектра (¹). В этой области значение энергетического выхода фотосинтеза оказалось приблизительно на 50% выше значения, вычисленного в предположении, что имеет место полное сопряжение энерго- и газообмена. В красной же области спектра экспериментальное значение ϵ совпадало со значением, рассчитанным в соответствии с газообменом.

Запасание энергии, несопряженное с выделением кислорода, трудно объяснить специфическим протеканием первичного фотоакта, отличным от протекания его в красной области спектра. Действительно, использование на фотосинтез энергии второго возбужденного уровня хлорофилла или возможность влияния нагрева хлоропласта или части его благодаря избыточной энергии синего кванта на ход фотосинтеза маловероятны.

С другой стороны, можно предложить объяснение наблюдаемого эффекта, если учитывать многочисленные данные, указывающие на регуляторное действие синего света на ряд самых разнообразных физиологических процессов, таких как движение протоплазмы (²), движение хлоропластов (³), уменьшение вязкости протоплазмы (⁴), а также на путь (⁵⁻⁹) и эффективность (¹⁰⁻¹³) фотосинтеза.

Такое разнообразное действие синего света наводит на мысль, что в его основе лежат структурные изменения клетки, которые этот свет вызывает. Эти фотоструктурные изменения могут благоприятствовать процессу запасания энергии, не сопровождаемому выделением кислорода.

Если это предположение правильно, то следует ожидать, что синий свет, изменяя соответствующим образом структуру хлоропласта, может повысить энергетический выход фотосинтеза, измеряемый на красном свете. Другими словами, энергетический выход фотосинтеза, измеряемый на красном свете в присутствии синего, может быть больше энергетического выхода, измеряемого на красном свете.

Целью настоящей работы была проверка этой возможности.

Опытным объектом служил термофильный штамм водоросли *Chlorella rupeoidosa*. Водоросль выращивалась в питательной среде Тамия при непрерывном освещении люминесцентными лампами белого света при интенсивности около 8000 лк. Суспензия продувалась воздухом, содержащим 0,5% CO₂. Температура суспензии поддерживалась при 34—38°. Для адаптации хлореллы к низким интенсивностям света, используемым во время измерений, водоросль перед опытом переносили на слабый белый свет интенсивностью около 500 лк, получаемый от лампы накаливания; суспензия облучалась в течение 16 час. при непрерывной продувке воздухом. В некоторых опытах суспензия предварительно облучалась красным светом, выделяемым с помощью стеклянного фильтра KC-11, или синим светом, выделяемым с помощью водного раствора CuSO₄. Для опытов клетки центрифугировались и затем суспендировались в карбонатном буфере № 9 до плотности ~ 100 млн. клеток в 1 см³.

Таблица 1
Энергетический выход фотосинтеза хлореллы (в процентах) для красного света (670 мμ) и красного света на фоне синего света (430 или 460 мμ)

Серия I															
Дата	19 III-68	27 III	28 III	29 III	30 III	1 IV	3 IV	4 IV	4 IV						
$\epsilon_{670} (+430)$	20,7	37,6	23,0	13,0	14,0	34,0	49,9	24,1	19,9	25,7	28,7	20,9	13,0	27,2	
ϵ_{670}	11,0	21,8	18,9	15,0	20,0	49,0	16,0	—	41,2	—	22,0	—	17,4	16,5	
$K = \frac{\epsilon_{670} (+430)}{\epsilon_{670}}$	1,93	1,72	1,21	0,87	1,01	0,73	2,12	1,77*	2,15	1,78*	1,17	1,30*	1,20	0,75*	1,65
{ $\bar{K}_I = 1,4 \pm 0,3$															
Серия II				Серия III											
Дата	10 X-68	11 X	14 X	Дата	27 XI-68	8 XII	9 XII	14 XII	12 XII						
$\epsilon_{670} (+460)$	-2,5	-9,0	10,2	—	14,0	13,2	10,5	10,0	20,5	10,7	-1,5	-6,0			
ϵ_{670}	16,7	17,7	15,9	16,5	18,4	14,7	17,0	20,0	17,4	15,1	19,0				
$K = \frac{\epsilon_{670} (+460)}{\epsilon_{670}}$	-0,15	-0,51	0,64	0,62*	0,76	0,90	0,59	1,02	0,62	-0,10	-0,31				
{ $\bar{K}_{II} = 0,4 \pm 0,5$													{ $\bar{K}_{III} = 0,6 \pm 0,3$		
Серия IV															
Дата	1 VIII-69	2 VIII	5 VIII	8 VIII	12 VIII	13 VIII									
$\epsilon_{670} (+460)$	10,1	18,6	17,5	25,5	33,9	23,3	22,5	36,2	18,1	20,2	34,9	23,6			
ϵ_{670}	12,8	10,3	17,0	16,3	18,7	18,6	13,2	—	—	16,0	—	18,1			
$K = \frac{\epsilon_{670} (+460)}{\epsilon_{670}}$	0,80	1,80	1,03	1,56	1,81	1,25	1,70	2,76*	1,13*	1,26	2,18*	1,30			
{ $\bar{K}_{IV} = 1,6 \pm 0,4$															

* Для расчета данного значения K брались ϵ_{670} или $\epsilon_{670} (+\text{синий свет})$, измеренные в тот же день.

Энергетический выход измерялся на фотокалориметре методом температурной кривой⁽¹⁴⁾. Для измерения ϵ на монохроматическом красном свете с $\lambda = 670$ м μ ($\epsilon_{\text{к}}$) интенсивности варьировались от 1500 до 4000 эрг/см²·сек. Измерения энергетического выхода для красного света в присутствии синего фона $\epsilon_{\text{н(с)}}$ проводились при интенсивности синего фона 3000 эрг/см²·сек; интенсивность красного света, накладываемого на фон синего, варьировалась в пределах от 200 до 500 эрг/см²·сек. Измерения $\epsilon_{\text{к}}$ и $\epsilon_{\text{н(с)}}$ чередовались так, чтобы избежать систематических ошибок, связанных с возможным влиянием цикла развития хлореллы на величину ϵ .

Проводились четыре серии опытов (табл. 1). Как видно из таблицы, в сериях I и IV, которые проводились в весенне-летний период, был получен эффект повышения энергетического выхода под действием синего света. Величину эффекта усиления можно характеризовать отношением $K = \epsilon_{\text{н(с)}/\epsilon_{\text{к}}}$. В опытах серии I среднее значение этого отношения равнялось $K_I = 1,4 \pm 0,3$; в серии IV $K_{IV} = 1,6 \pm 0,4$.

В сериях II и III, которые проводились в осенне-зимний период, не только не наблюдалось стимулирующего эффекта синего света, но, даже наоборот, имело место сильное уменьшение энергетической эффективности $\epsilon_{\text{н(с)}}$. Коэффициенты K_{II} и K_{III} были соответственно равны $0,4 \pm 0,5$ и $0,6 \pm 0,3$.

При отдельных измерениях ϵ абсолютная ошибка измерения может доходить до 5%, и этим можно частично объяснить разброс значений K внутри каждой серии. Тем не менее, как видно из таблицы, в каждой из четырех серий систематически наблюдается тенденция изменения ϵ в определенную сторону под действием синего света.

Различие результатов серий I и IV, с одной стороны, и серий II и III, с другой, может быть обусловлено различием в физиологическом состоянии клеток летом и зимой⁽¹⁵⁾.

Отметим, что был проведен ряд опытов, в которых фон синего света был слабым (~ 60 эрг/см²·сек или 550 эрг/см²·сек) при интенсивности красного света 1500—4000 эрг/см². В этом случае влияния синего света на энергетический выход не наблюдалось. Возможно, это объясняется тем, что синий и красный свет оказывают антагонистическое влияние на «бескислородный» процесс запасаания энергии.

Результаты данной работы свидетельствуют о регуляторном действии синего света на фотоэнергетику хлореллы. В летних опытах наблюдается четкое повышение энергетического выхода на красном свету под действием относительно сильного фона синего света. В опытах, проведенных в осенне-зимнее время, синий свет снижал энергетический выход на красном свету. Наблюдаемое регуляторное действие синего света может быть ответственно за аномально большое значение энергетического выхода, обнаруженное ранее в сине-зеленой области спектра⁽¹⁾.

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

Поступило
29 XII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Белл, Н. П. Шувалова и др., ДАН, 182, 1439 (1968). ² H. I. Virgin, In: Photophysiology, 1, N. Y.—London, 1964, p. 273. ³ Л. Н. Бабушкин, Физиол. раст., 2, в. 2, 97 (1955). ⁴ H. I. Virgin, Physiol. Plant., 7, 343 (1954). ⁵ A. H. Hauschild, C. D. Nelson, G. Krotkov, Canad. J. Bot., 40, 179 (1962). ⁶ A. H. Hauschild, C. D. Nelson, G. Krotkov, Canad. J. Bot., 40, 1619 (1962). ⁷ G. Krotkov, Trans. Roy. Soc. Canada, 2, Ser. 4, 205 (1964). ⁸ W. Kowallik, Planta, 64, 191 (1965). ⁹ J. Terborgh, Plant Physiol., 41, 1401 (1966). ¹⁰ O. Warburg, G. Krippahl et al., Zs. Naturforsch., 9b, 164 (1954). ¹¹ O. Warburg, G. Krippahl, W. Schroder, Zs. Naturforsch., 9b, 667 (1954). ¹² O. Warburg, G. Krippahl, H. Schroder, Zs. Naturforsch., 10b, 631 (1955). ¹³ K. Adler, Studia biophysica, 5, 225 (1967). ¹⁴ Л. Н. Белл, Г. Л. Меринова, Физиол. раст., 8, в. 2, 161 (1961). ¹⁵ М. Г. Владимирова, М. И. Таутс и др., Тр. МОИП, 24, 142 (1966).