

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. ВОСКРЕСЕНСКАЯ

**О ВЛИЯНИИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА НА ОБРАЗОВАНИЕ  
УГЛЕВОДОВ И БЕЛКОВ В ЛИСТЕ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 2 III 1950)

Раскрытие путей образования органического вещества в процессе фотосинтеза — проблема, важность решения которой еще в 1867 г. сформулировал К. А. Тимирязев (<sup>1</sup>). До сих пор остается неясным вопрос о природе продуктов фотосинтеза. Неизвестно, всегда ли они однородны по своему составу, а многообразие веществ в растении является лишь следствием вторичных, энзиматических превращений, или уже в процессе фотосинтеза в зависимости от разных условий создаются разнокачественные продукты.

Свыше полувека тому назад русским ученым В. В. Сапожниковым было указано на возможность образования в процессе фотосинтеза наряду с углеводами и других продуктов, в частности белков. В то же время он получил экспериментальный материал, подкрепляющий это положение (<sup>2,3</sup>). Однако и сейчас господствующим является взгляд, что в процессе фотосинтеза образуется однотипный, универсальный материал, углеводы, а все жизненно необходимые разнообразные вещества в растении являются результатом вторичных энзиматических превращений.

Накапливающийся экспериментальный материал заставляет подвергнуть эту точку зрения переоценке. На возможность образования в процессе фотосинтеза иных веществ, помимо углеводов, указывал в свое время В. Н. Любименко (<sup>4</sup>). В 1946 г. В. О. Таусон (<sup>5</sup>) подверг обсуждению взгляд об универсальности углеводов как продуктов фотосинтеза и пришел, на основе анализа имеющихся литературных данных, к отрицательному выводу. А. А. Ничипорович (<sup>6</sup>) \* считает, что понятию об углеводах как единственных продуктах фотосинтеза противоречат следующие факты: 1) Известно, что водород, получаемый в результате фотоокисления воды, может направляться на восстановление не только  $\text{CO}_2$ , но и многих других окислителей (хинон, окисное железо, нитраты и т. д.). Полученные в этой реакции наряду с продуктами восстановления  $\text{CO}_2$  и другие «первичные продукты» деятельности фотосинтетического аппарата в дальнейшем, можно предположить, либо вступают во взаимодействие между собой (образуя, например, белки), либо превращаются самостоятельными путями. 2) На различные интенсивности и длины волн света растение реагирует не только быстротой накопления сухой массы, но и различным ходом процессов органического образования, развития и обмена веществ. Поэтому в разных условиях освещения, при участии фотосинтетического аппарата, растения могут образовывать разные продукты в различных соотношениях. По мнению Ничипоровича, возможно, что фотохимические реакции, осуществляемые при участии

\* Доклад на Всесоюзном съезде Ботанического общества в 1950 г.

фотосинтетического аппарата, не ограничены только первичной реакцией фотоокисления воды, но связаны и с последующими превращениями продуктов фотосинтеза. Одним из доказательств в пользу этой точки зрения могли бы служить материалы, характеризующие качественный состав продуктов, образуемых при экспонировании зеленых листьев на свете разных длин волн.

В настоящей работе была сделана попытка при помощи кратковременных опытов с вырезками из листьев выяснить действие красного и синего света на образование сухого вещества растением и сопоставить его с количеством образованных за тот же период времени углеводов, а также выяснить влияние разных длин волн света на синтез азотистых веществ и установить необходимость наличия  $\text{CO}_2$  для этого синтеза.

В качестве опытных объектов были взяты кукуруза, подсолнечник и фасоль, в возрасте около одного месяца. В опыт поступали листья всегда одного яруса, вполне жизнедеятельные, но с законченными ростовыми процессами. Предварительно, прямо на грядках, растения затенялись на 48 час. для освобождения листа от ассимилятов. Из срезанных листьев сверлом (диаметром 2 см) делались высежки. Так как недостаток углеводов мог стать причиной торможения синтеза азотистых соединений, то, при проведении опытов в отсутствие углекислоты, в высежки при помощи метода вакуум-инфильтрации вводились инверт (глюкоза + фруктоза) и  $\text{KNO}_3$ , последний в качестве источника азота. Затем разложенные на влажную фильтровальную бумагу высежки помещались в опытные, герметически закрывающиеся камеры, которые освещались светом различных длин волн. В случае исключения  $\text{CO}_2$  на дно камер наливалась 20%  $\text{NaOH}$ , при наличии фотосинтеза каждые 30 мин. производилась подкормка листьев углекислым газом. После экспозиции в течение 5,5 час. высежки вынимались из камер и фиксировались острым паром. Контролем служили высежки, фиксированные сразу после инфильтрации. При температуре 50—55° образцы высушивались до постоянного веса, после чего поступали в анализ. Сумма углеводов определялась путем 3-часового гидролиза навески 2%  $\text{HCl}$  на кипящей водяной бане. Редуцирующая способность определялась методом Хагедорна. Осаждение белковых веществ производилось методом Барнштейна — Штутцера. Азот амидов определялся путем отгонки в вакууме при температуре 40°, с  $\text{MgO}$  <sup>(7)</sup>.

Источником света в опытах являлись лампы накаливания, опущенные в проточную воду, и люминесцентные лампы синего света с люминофором  $\text{MgWO}_4$ . При помощи жидких светофильтров, в одном случае  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , в другом  $\text{CuSO}_4$ , вырезались участки спектра от 580—700 м $\mu$  и 450—575 м $\mu$ . Свет выравнивался по количеству квант и для красного составлял 18 000 эрг/см<sup>2</sup> сек., для синего 30 000 эрг/см<sup>2</sup> сек., с некоторыми отклонениями в зависимости от колебания напряжения в электросети.

Накопление сухого вещества на синем свету было всегда ниже, чем на красном. Особенно резко это было заметно для кукурузы и подсолнечника. По фасоли разница сглаживалась. Эта картина повторилась во всех опытах. Некоторые из них приведены в табл. 1. Анализ причин этого явления нами не производился. Однако можно указать, что меньшая интенсивность накопления сухого вещества на синем свету при невысокой интенсивности освещения (люминесцентными лампами) наблюдалась и ранее <sup>(8)</sup>.

Что касается прибыли углеводов, то она ни в одном из опытов не соответствовала прибыли сухого вещества. Как видно из табл. 2, у всех без исключения растений углеводов накапливалось значительно меньше, чем сухого вещества.

Полученные нами данные совпадают с результатами В. В. Сапожникова <sup>(2)</sup>, а также Борстрема <sup>(9)</sup>. Сумма образованных углеводов в опытах этих авторов, при достаточной обеспеченности растений азотом,

никогда не соответствовала количеству усвоенной углекислоты. Что касается действия длины волны света, то оказывается, что красный свет в большей мере способствует накоплению углеводов, чем синий. Иначе говоря, на синем свете относительно больше накапливается веществ неуглеводного характера. Можно было предполагать, что это различие является следствием вторичных превращений, например более энергичного потребления углеводов для синтеза белка на синем свете, так как имеются данные о том, что коротковолновая часть спектра способствует ускорению синтеза белков в растениях (10, 11). В своих опытах мы сделали попытку расчленить первичный и вторичный синтезы азотистых соединений путем исключения  $\text{CO}_2$ .

Таким образом, если бы в отсутствие  $\text{CO}_2$  шел синтез белка, то он являлся бы безусловно вторичным процессом, происходящим с использованием введенных в лист углеводов. Отсутствие же синтеза в варианте без углекислоты говорило бы о непосредственном создании белка в процессе фотосинтеза

или об образовании в результате усвоения  $\text{CO}_2$  какого-то первичного продукта, необходимого для синтеза белков. Из азотсодержащих органических веществ нами определялись белковый азот и азот амидов. Результаты анализов представлены в табл. 3 (в мг на 110 высечек).

Как видно из табл. 3, в отсутствие углекислоты как на красном, так и на синем свете образование белка и амидов практически не наблюдается.

В случае подсолнечника происходит явная убыль их. Исключение составляет лишь кукуруза, у которой обнаружена незначительная прибыль белкового азота. Итак, сколько-нибудь заметный синтез белка происходил только в присутствии  $\text{CO}_2$ , т. е. при наличии фотосинтеза.

Отсутствие синтеза белков за счет готовых углеводов на свету без углекислоты наблюдалось А. М. Печеницкой. В ее опытах, с иной ме-

Таблица 1

Накопление сухого вещества отрезками листьев на красном и синем свете (на 110 высечек в мг) \*

Растение	№ опыта	Вес контрольных высечек	Вес высечек после экспозиции		Прибыль сухого вещества	
			красный свет	синий свет	красный свет	синий свет
Фасоль . . .	3	406,9	439,8	444,7	32,9	37,8
	18	306,1	344,4	342,1	38,3	36,0
	20	382,1	402,3	395,6	20,2	13,5
Кукуруза . . .	14	387,6	425,1	411,4	37,5	23,8
	9	430,5	483,0	445,0	52,5	14,5
	12	488,9	521,5	492,7	32,6	3,8
	27	485,9	554,0	519,2	68,1	33,3
Подсолнечник	6	485,8	605,0	569,3	119,2	83,5
	8	508,7	538,8	524,5	30,1	15,8
	10	506,0	607,0	523,4	101,0	17,4
	16	437,8	469,3	447,1	31,5	9,3

\* В проведении анализов в настоящей работе принимала участие Н. П. Шувальса.

Таблица 2

Прибыль углеводов и сухого вещества в отрезках листьев за 5,5 час.

Растение	Прибыль сухого вещества в мг		Прибыль углеводов в мг		% углеводов к общему приросту	
	красный свет	синий свет	красный свет	синий свет	красный свет	синий свет
Кукуруза . . .	37,5	23,8	26,87	15,09	71,6	63,4
	52,5	14,5	34,45	4,95	65,6	34,1
Подсолнечник	32,6	44,9	21,68	16,92	66,5	37,7
	31,5	9,3	25,00	5,39	79,3	58,0
	101,0	17,4	43,01	2,51	42,6	14,4
Фасоль . . . .	38,3	36,0	31,47	16,59	82,2	46,1

тодической и объектами, так же как и в наших, необходимым условием новообразования белка было наличие фотосинтеза. В наших опытах

Таблица 3

Варианты	N белковый	N амидов	Прибыль на привес сухого вещества	
			N белков	N амидов

#### Кукуруза № 27

Контроль . . . . .	12,87	1,07		
Красный свет + CO <sub>2</sub>	14,40	1,25	+1,53	+0,18
Синий свет + CO <sub>2</sub>	15,33	1,11	+2,46	+0,04
Красный свет — CO <sub>2</sub>	13,41	0,93	+0,54	—0,14
Синий свет — CO <sub>2</sub>	13,13	0,89	+0,26	—0,18

#### Подсолнечник № 8

Контроль . . . . .	28,07	0,93		
Красный свет + CO <sub>2</sub>	30,43	0,50	+2,36	—0,43
Синий свет + CO <sub>2</sub>	29,17	0,67	+2,10	—0,26
Красный свет — CO <sub>2</sub>	25,27	0,28	—2,80	—0,65
Синий свет — CO <sub>2</sub>	24,29	0,58	—3,78	—0,35

#### Фасоль № 18

Контроль . . . . .	15,73	1,19		
Красный свет + CO <sub>2</sub>	15,42	1,41	—0,31	+0,22
Синий свет + CO <sub>2</sub>	15,66	1,36	—0,07	+0,17
Красный свет — CO <sub>2</sub>	14,16	1,27	—1,57	+0,08
Синий свет — CO <sub>2</sub>	14,33	1,22	—1,40	+0,03

этот процесс был относительно более интенсивным на синем свете, если учесть, что прибыль белков была значительно больше (кукуруза) или одинакова (подсолнечник) с таковой на красном свете, а привесы сухого вещества всегда ниже на синем. В случае фасоли, при наличии фотосинтеза новообразования белка не происходит. Небольшой распад его слабее выражен на синем свете. Возможно, такое поведение фасоли связано с тем, что листья поступали в опыт в фазу бутонизации, когда мог происходить усиленный отток азота из листьев.

Из полученных данных следует, что:

1. Накопление сухой массы отрезанным листом при экспозиции на свету происходит интенсивней в длинноволновой части спектра. То же можно сказать об углеводах.

2. Синтез белка в отсутствие углекислоты за счет готовых углеводов не происходит ни на красном, ни на синем свете.

3. При наличии фотосинтеза (в случае кукурузы и подсолнечника) идет новообразование белка. Интенсивность этого процесса относительно больше на синем свете.

В заключение приношу глубокую благодарность проф. А. А. Ничипоровичу за руководство работой.

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

Поступило  
2 III 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. А. Тимирязев, Избр. соч., 1, 1948, стр. 373. <sup>2</sup> В. В. Сапожников, Образование углеводов в листьях и передвижение их по растению, М., 1890. <sup>3</sup> В. В. Сапожников, Белки и углеводы зеленых листьев, как продукты ассимиляции, Томск, 1894. <sup>4</sup> В. Н. Любименко, Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире, М.—Л., 1935. <sup>5</sup> В. О. Таусон, Изв. АН СССР, сер. биол., № 3 (1947). <sup>6</sup> А. А. Ничипорович, О фотосинтезе растений. Стенограмма публичн. лекции, 1948. <sup>7</sup> А. Р. Кизель, Практическое руководство по биохимии растений, 1934. <sup>8</sup> А. Ф. Клешнин, ДАН, 67, № 3 (1949). <sup>9</sup> Н. Burström, Ark. f. Bot., 30 B. № 8 (1943). <sup>10</sup> А. Палладин, Rev. Gén. de Bot., 11 (1899). <sup>11</sup> R. H. Dastur, U. K. Kanitkar and M. S. Rao, Ann. of Bot., N. S., 2, No. 8 (1938).