

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. ВОСКРЕСЕНСКАЯ

**О ВЛИЯНИИ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА
НА СООТНОШЕНИЕ ВЕЩЕСТВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ
ПРИ ФОТОСИНТЕЗЕ**

(Представлено академиком А. И. Опариним 5 VII 1952)

Вопрос о разнокачественности продуктов фотосинтеза, впервые поставленный в 1894 г. (1), в последние годы получил дальнейшее развитие и экспериментальное подтверждение (2, 3). В частности, показано, что коротковолновые лучи спектра физиологической радиации способствуют фотосинтетическому образованию белков в большей степени, нежели длинноволновые. Накопление углеводов в этих условиях, наоборот, уменьшается. Несмотря на выравненность интенсивности светопотока по поглощаемым хлорофиллом квантам, увеличение органической массы листьев также резко заторможено в коротковолновой части спектра (4). Последнее обстоятельство не позволяет определить специфичность действия этой части спектра на синтез белка, так как известно, что низкие освещенности приводят к подобному же эффекту (1, 3).

В задачу настоящей работы входило определить фотосинтетическое образование белков в различных участках спектра, при условии выравненного накопления растениями органической массы. Опыты проводились с листьями кукурузы и подсолнечника, выращенными в условиях естественного освещения. Подготовка листьев к экспозиции осуществлялась методом, описанным ранее (5). Источники освещения — неоновые трубки НД-1 (длинноволновая часть спектра) и ртутные лампы ИГАР-2 (коротковолновая). Путем предварительных опытов были найдены условия освещения, обеспечивающие практически одинаковое накопление органической массы.

Прибыль абсолютно-сухого вещества за экспозицию определялась по разности между весом 315 см² листьев, экспонированных на свету, и контрольных (фиксированных до экспозиции). Белковый азот в привесе рассчитывался по такому же принципу. Данные по увеличению абсолютно-сухого веса листьев и белкового азота приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что во всех случаях (за исключением опыта № 1, который был проведен при светопотоке, выравненном по квантам) накопление органической массы на обоих источниках освещения было более или менее одинаковым. Содержание белкового азота в таких условиях увеличивалось значительно сильнее на лампах ИГАР-2 (опыты №№ 4, 6, 8). В некоторых случаях (опыты №№ 3, 7) на неоновых трубках вовсе не обнаружено увеличения белкового азота, в то же время на ИГАР-2 прибавка составляла 1—1,75 мг. Итак, в условиях одинакового накопления органической массы растением, положительное действие света ламп ИГАР-2 проявляется даже значительно ярче, чем при выравненности светопотока по квантам. Значит, коротковолновые

Таблица 1

Изменения содержания белкового азота листьев при экспозиции на неоновых трубках и лампах ИГАР-2 (в мг на 315 см² листовой поверхности)

Растение	Дата опыта	№ опыта	Контроль		Неоновые трубки				ИГАР-2			
			средн. вес 315 см ² листьев в мг	N белк. в 315 см ² листьев	средн. вес 315 см ² листьев в мг	увел. абс. сух. веса листа за экспоз. в мг	N белк. в 315 см ² листьев	увел. белк. N за экспоз.	средн. вес 315 см ² листьев в мг	увел. абс. сух. веса листа за экспоз. в мг	N белк. в 315 см ² листьев	увел. белк. N за экспоз.
Подсол- нечник	8 VII	1	1054,8	57,80	1090,4	35,6	59,86	+2,06	1070,7	15,9	59,95	+2,15
	17 VII	2	838,2	41,74	895,6	57,4	40,12	-1,62	891,8	53,6	39,59	-2,15
	4 IX	3	764,0	41,02	819,8	55,8	40,58	-0,44	811,6	47,6	42,04	+1,02
	18 IX	4	879,5	44,85	995,3	115,8	48,37	+3,52	879,6	100,1	50,74	+5,89
Кукуруза	17 VIII	5	881,5	24,59	959,7	78,2	22,84	-1,75	950,1	68,6	24,41	-0,18
	18 VIII	6	688,5	19,75	720,8	32,3	19,96	+0,21	736,4	47,9	21,50	+1,75
	7 IX	7	752,1	22,33	802,8	50,7	21,91	-0,42	806,1	54,0	23,86	+1,53
	12 IX	8	710,0	21,37	752,1	42,1	21,43	+0,06	747,8	37,8	21,98	+0,61

лучи оказывают специфическое положительное действие на образование белков при фотосинтезе.

В этих же образцах, методом Бертрана определялось содержание подвижных углеводов (см. табл. 2). Поскольку перед опытом листья находились 24 часа в темноте, в контрольных вариантах крахмал не обнаружен, резко снижено было содержание моноз и дисахаров. После освещения количество моноз и, главным образом, дисахаров резко возросло. В некоторых опытах обнаружено также накопление крахмала и гемицеллюлоз.

Благодаря одинаковому накоплению растением органической массы, в опытах №№ 2 и 5, где не обнаружено новообразования белка, больших различий в увеличении моноз, дисахаров и гемицеллюлоз не наблюдалось. Наоборот, углеводов образовалось одинаково или даже несколько больше на синем свете.

Однако сумма вновь образуемых углеводов совпала только в тех случаях, когда не было увеличения белка. Если же белок накапливался, тогда соответственно меньше было обнаружено углеводов. Так как синтез белка интенсивнее проходил на свете ламп ИГАР-2, то и углеводы в этом случае накапливались меньше, чем на свете неоновых трубок. Это уменьшение затрагивает все фракции. Например, в опыте № 3 и свете неоновых трубок увеличения белкового азота не было, на ИГАР-2 оно достигало 6,37 мг. Соответственно, на свете неоновых трубок накопление углеводов было выше по всем фракциям. В этих условиях удалось даже наблюдать накопление крахмала. В опыте № 4, где образование органического вещества было особенно интенсивным, на ИГАР-2 образовалось свыше 35 мг белка, на неоновых трубках — 22 мг.

Образование крахмала на ИГАР-2, очевидно, вызвано тем, что весь минеральный азот листьев был израсходован на синтез белка уже задолго до окончания срока экспозиции, в результате чего в последние часы экспозиции на обоих участках образовывались углеводы. Таким образом, и этот опыт показывает, что в листе при наличии соответствующих условий обеспечивается в первую очередь синтез белка. При отсутствии благоприятных условий для этого процесса происходит накопление углеводов в листьях. С точки зрения гипотезы А. А. Ничипоровича, приведенные данные можно объяснить таким образом: в результате восстановления CO₂ водородом, полученным при фотоокислении воды, создается промежуточный продукт фотосинтеза, который затем претерпевает дальнейшие пре-

вращения. Образование углеводов и белков представляет отдельные ветви превращений. В зависимости от условий соотношение этих процессов может меняться. Если растение в данных условиях способно накапливать белок, последний и будет образовываться в первую очередь. Соответственно уменьшится количество промежуточного продукта, идущего на образование углеводов (3). Очевидно, растение для нормальной жизнедеятельности сперва обеспечивает накопление белка, а создание подвижных углеводов в значительной степени характеризует наличие запасных веществ в клетке, идущих на вторичные синтезы. Усиленному синтезу белка в коротковолновом участке спектра, возможно, способствует наличие дополнительных фотохимических реакций, осуществляемых за счет энергии, поглощаемой каротиноидами. Известно, например, что синтез белка у гетеротрофов, обладающих желтыми пигментами, происходит интенсивнее в коротковолновой части спектра (6).

Неодинаково происходит и накопление органических кислот при фотосинтезе в различных участках спектра. Сумма кислот определялась методом Пятницкого (7).

Из табл. 3 видно, что на лампах ИГАР-2 кислот накапливается значительно больше, чем на неоновых трубках. Вопрос о роли органических кислот в растении до сих пор окончательно не выяснен. Имеются материалы, указывающие на участие кислот в синтетических процессах клетки (8). Очевидно также, что образование некоторых кислот непосредственно связано с процессом фотосинтеза (9, 10). Большое накопление органических кислот на лампах ИГАР-2 в наших опытах сочеталось с уменьшением содержания углеводов и усиленным синтезом белка. Параллелизм между этими процессами, нам кажется, косвенно свидетельствует о том, что органические кислоты могут являться исходными веществами для синтеза белков.

Таким образом спектральный состав света оказывает специфическое действие на состав веществ, образующихся при фотосинтезе. Даже при кратковременном воздействии на растения, у которых фотосинтетический аппарат был сформирован в одинаковых условиях освещения, в листе меняется соотношение углеводов, белков, органических кислот. Так как это явление удается наблюдать только при наличии фотосинтеза (4), оно безусловно является результатом изменения деятельности фотосинтетического аппарата растений.

Приведем также данные по анализу содержания белков и углеводов у

Таблица 2

Новообразование углеводов и белков за экспозицию (в мг на 315 см² листьев)

Фракция вещества	Подсолнечник						Кукуруза					
	Опыт № 2		Опыт № 3		Опыт № 4		Опыт № 5		Опыт № 6		Опыт № 7	
	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2
Монозы	нет ув.	0,74	2,87	нет ув.	8,08	1,57	3,04	4,44	5,32	1,03	7,42	6,51
Дисахара	4,87	4,93	10,65	12,82	15,90	9,33	22,69	18,53	19,93	17,35	10,60	9,63
Крахмал	нет	нет	7,29	нет	1,59	1,46	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Гемипеллозы	0,88	1,75	3,21	2,40	нет ув.	нет ув.	1,70	11,69	нет ув.	нет ув.	нет ув.	нет ув.
Сумма	5,75	7,42	24,02	15,22	25,57	12,36	27,43	31,66	25,25	18,38	18,02	16,14
Белок	-10,12	-13,43	-2,75	+6,37	+22,00	+36,81	-10,93	-1,12	+1,31	+10,9	-2,62	+9,56

Таблица 3

Изменение суммы органических кислот в листьях при фотосинтезе (расчет на яблочную кислоту в мг)*

Растение и № образца	Условия опытов	На 1 г сух. в-ва		Узлич. за экспоз.
		На 315 см ² листьев	На 315 см ² листьев	
Подсолнечник № 1	Контр.	10,45	11,01	
	Неон. тр.	12,36	13,47	2,46
	ИГАР-2	12,71	13,63	2,62
№ 4	Контр.	5,24	4,60	
	Неон. тр.	6,62	6,58	1,98
	ИГАР-2	8,58	8,39	3,79
Кукуруза № 6	Контр.	23,42	21,80	
	Неон. тр.	22,42	22,13	0,33
	ИГАР-2	24,66	23,60	1,80
№ 5	Контр.	19,59	17,26	
	Неон. тр.	20,47	19,64	2,38
	ИГАР-2	22,42	21,29	4,03
№ 7	Контр.	16,43	12,35	
	Неон. тр.	18,18	14,58	2,23
	ИГАР-2	25,44	20,50	8,15

* В опыте № 4 свет выравнен по квантам (поглощенным), в остальных опытах — по накоплению органического вещества.

растений, выращиваемых в течение 20 дней на свете неоновых трубок и ИГАР 2 (см. табл. 4).

Как видно из табл. 4, общая сумма углеводов во втором случае вдвое меньше, что свидетельствует о затрудненном синтезе углеводов в коротковолновом участке спектра. Подобные результаты были получены для томатов (11).

В наших опытах сухой вес растений был практически одинаков для обоих участков спектра. Следовательно, в данном случае можно говорить о перестройке обмена веществ, так как вместо углеводов, которые накапливаются в обычных условиях освещения, где преобладают длинноволновые лучи (12), образуются иные вещества. К числу последних, очевидно, относятся и белки, а также органические кислоты.

Итак, спектральный состав света является фактором, обуславливающим создание определенного типа обмена веществ в растении, с преобладанием различных продуктов. В основе изменения обмена лежит специфическое действие длины волны света на работу фотосинтетического аппарата растений. В заключение приношу глубокую благодарность проф. А. А. Ничипоровичу за руководство работой.

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

Поступило
23 VI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Сапожников, Белки и углеводы зеленых листьев, как продукты ассимиляции. Томск, 1894. ² А. А. Ничипорович, Вестн. АН СССР, 9 (1950). ³ А. А. Ничипорович, Тр. ИФР АН СССР, 8, в. 1 (1952). ⁴ Н. П. Воскресенская, ДАН, 72, № 1, 173 (1950). ⁵ Н. П. Воскресенская, ДАН, 79, № 1, 165 (1951). ⁶ В. Э. Понтович, Изв. АН СССР, сер. биол., № 5, 612 (1945). ⁷ А. А. Шмук, Химия табака и махорки, 1940, стр. 421. ⁸ В. О. Таусон, Основные положения растительной биоэнергетики, изд. АН СССР, 1950, стр. 355. ⁹ А. М. Кузин, Р. Я. Школьник, ДАН, 73, № 2, 355 (1950). ¹⁰ M. Calvin, I. A. Bassham, A. A. Benson, V. H. Lynch, C. Ouellet, L. Schou, W. Stepka, W. E. Tolbert, Symposia, No. 5, 284 (1951). ¹¹ J. W. Mitchell, Bot. Gaz., 99, No. 2, 412 (1937). ¹² Н. Н. Калигин, Лучи Солнца, изд. АН СССР, 1947.

Таблица 4

Накопление углеводов и белков при выращивании растений в различных участках спектра

Растение	Сумма углеводов после 3-час. гидр. 2% HCl, %		Белок, %	
	Неон. тр.	ИГАР-2	Неон. тр.	ИГАР-2
Подсолнечник . . .	6,22	2,89	34,31	36,06
Бобы конские . . .	8,03	4,11	38,18	43,12