

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. КРАСИНСКИЙ, В. А. ВАЛУТИНА и Е. А. ПРЯХИНА

**ВЛИЯНИЕ ФОТОСИНТЕЗА
НА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ
КЛЕТОК ЛИСТОВЫХ ТКАНЕЙ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 14 VII 1947)

По Вюрмзеру (1), окислительно-восстановительная система с низким Eh, образующаяся из сахаров, играет важную роль в создании редокс-потенциала содержимого растительных клеток. Поскольку при фотосинтезе содержание сахаров увеличивается, можно ожидать, что это должно приводить к снижению редокс-потенциала в клетках листовых тканей (2). Исходя из этих соображений, мы провели ряд опытов, имевших целью выяснить влияние фотосинтеза на окислительно-восстановительный режим клеток зеленого листа.

Опытными растениями были горох, пшеница и примула. Горох и пшеница выращивались в вазонах; опыты ставились с молодыми растениями в возрасте 25—35 дней. У примулы для опытов использовались листья среднего возраста и более молодые. Опытные растения стояли у окна и, так как работа проводилась в основном в зимние месяцы (от ноября до середины марта), они получали слабое освещение, и содержание углеводов в них было невысокое.

Перед началом опытов растения помещались на сутки в темноту с целью вызвать уменьшение содержания углеводов и тем сделать в дальнейшем результаты более четкими. После пребывания в темноте вазоны с горохом и пшеницей ставились под 300-ваттные лампы, причем парные вазоны помещались на расстоянии 25—30 см и 100—120 см от ламп, получая свет неодинаковой интенсивности — около 15000 и 1000 люксов. У растений примулы, после пребывания их в темноте, срезались попарно отобранные листья (не менее 10 пар) и ставились черешками в стаканы с дистиллированной водой (с соблюдением предосторожностей, исключающих завядание). Парные стаканы с листьями помещались также под 300-ваттные лампы на различном расстоянии от источника света. При близком расположении ламп между ними и растениями помещался стеклянно-водный светофильтр, который обеспечивал одинаковую температуру в обоих вариантах опытов.

При описанной постановке опытов контролем служили листья при малой освещенности со слабым фотосинтезом, а опытные листья при достаточно ярком освещении ассимилировали энергично. Это давало возможность изучить влияние фотосинтеза на окислительно-восстановительный режим листьев в связи с содержанием в них сахаров, и вместе с тем исключало действие фактора темноты, влияющего на состояние устьиц.

Свет растениям давался непрерывный в течение 20—24 или 36—48 час. Затем листья гороха, пшеницы и примулы подвергались анали-

зам. Определялись: 1) сахара и крахмал — методом Хагедорна-Иенсена (определения крахмала проводились с диастазом); 2) Eh — электрометрическим методом с применением неплатинированных платиновых электродов; 3) рН — хингидронным методом; 4) редуцирующая сила экстрактов из листьев — по Тадокоро (3). Определения Eh и рН, производившиеся по принятой в нашей лаборатории методике в листовой кашеце разбавленной водой, дают средние показатели, характеризующие напряженность окислительно-восстановительных процессов и активную реакцию в клетках листовых тканей.

Данные, полученные в опытах с горохом, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Горох. Влияние фотосинтеза на Eh, гН и содержание углеводов

№ опыта и дата	Вариант	Продолжи- тельн. освеще- ния, в час.	Содержание в % на сырой вес			Eh	гН	рН
			сахара	крах- мал	сахара + крахмал			
18 4 III 1947	Контроль	20	0,86	0,19	1,05	+0,1880	19,3	6,40
	Фотосинтез		1,22	0,88	2,10	+0,1549	17,8	6,24
19 8 III 1947	Контроль	21	0,80	0,80	1,60	+0,1928	19,3	6,35
	Фотосинтез		1,20	1,50	2,70	+0,1712	18,6	6,29
20 11 III 1947	Контроль	37	0,51	1,69	2,20	+0,2245	21,0	6,62
	Фотосинтез		1,16	2,44	3,60	+0,1924	19,9	6,62

Как видно, три опыта дали близкие результаты. Интенсивный фотосинтез на ярком свете (опыт) по сравнению со слабым фотосинтезом при малой освещенности (контроль) вызывал снижение Eh и гН. В среднем (см. табл. 2) Eh снижался на 29 mV, а гН на 1,1; при этом содержание сахаров и крахмала увеличивалось (см. табл. 1 и 3).

Данные, аналогичные рассмотренным, получены в опытах с пшеницей и примулой. Эти данные в виде итоговых цифр сведены в табл. 2 и 3.

В листьях пшеницы фотосинтез (интенсивный) вызывал понижение Eh (в среднем) на 24,4 mV и гН на 0,9. Содержание сахаров и особенно крахмала увеличивалось.

С примулой были проведены 2 серии опытов — зимой и весной. В зимней серии опытов фотосинтез (интенсивный) в среднем дал снижение Eh на 33,8 mV и гН на 1,08 (см. табл. 2) и повысил редуцирующую силу на 0,7 ед. (по Тадокоро). При этом наблюдалось увеличение содержания сахаров (по сравнению с контролем) и резкое возрастание содержания крахмала. В опытах весенней серии обращает на себя внимание (см. табл. 3) незначительное увеличение количества крахмала на ярком свете при высоком содержании его в контроле (на слабом свете). Как показали специальные определения, это объясняется тем, что на весеннем солнце листья примулы до начала опыта накапливали много крахмала, и выдерживание растений в темноте в течение 2 и даже 3 суток не приводило к обескрахмаливанию листьев — содержание крахмала оставалось почти столь же высоким. Несмотря на эту осо-

Влияние фотосинтеза и введения сахаров на о.-в. режим Таблица 2

Число опытов	Название растения	В а р и а н т	Ен	гН	Редуцирующая сила по Тадоко-ро через 30 час.	рН
	Фотосинтез	+0,1728	18,8	—	6,38	
3	Пшеница	Контроль	+0,2968	22,8	—	6,27
		Фотосинтез	+0,2724	21,9	—	6,27
5	Примула	Контроль	+0,1770	19,24	8,6	6,62
		Фотосинтез (зима)	+0,1432	18,16	9,3	6,63
3	Примула	Контроль	+0,1739	19,63	—	6,81
		Фотосинтез (весна)	+0,1486	18,77	—	6,81
4	Примула	Контроль	+0,1780	19,5	8,7	6,70
		Глюкоза 5%	+0,1556	18,8	9,2	6,70
2	Примула	Контроль	+0,1929	19,8	8,3	6,58
		Сахароза 10%	+0,1807	19,4	8,7	6,58

Влияние фотосинтеза и введения сахаров на содержание углеводов Таблица 3

Число опытов	Название растения	Вариант	Содержание в % на сырой вес (по глюкозе)			Содержание углеводов, принимая контроль за 100		
			сахара	крах- мал	сахара + + крахмал	сахара	крах- мал	сахара + + крахмал
	Фотосинтез	1,19	1,61	2,80	165	181	174	
3	Пшеница	Контроль	1,20	1,10	2,30	100	100	100
		Фотосинтез	1,54	3,40	4,94	128	309	215
5	Примула	Контроль	1,39	0,55	1,94	100	100	100
		Фотосинтез (зима)	2,23	3,32	5,55	160	604	306
3	Примула	Контроль	1,43	5,20	6,63	100	100	100
		Фотосинтез (весна)	2,11	5,60	7,71	148	108	116
4	Примула	Контроль	0,85	2,04	2,89	100	100	100
		Глюкоза 5%	2,60	2,28	4,88	306	112	169
2	Примула	Контроль	1,41	0,88	2,29	100	100	100
		Сахароза 10%	3 97	1,32	5,29	282	150	231

бенность «весенних» листьев примулы, фотосинтез значительно снижал в них E_h (на 25,3 mV) и gH (на 0,86).

Изложенные данные позволяют сделать вывод, что фотосинтез изменяет о.-в. режим в клетках листовых тканей, именно — снижает E_h и gH . Снижение E_h может доходить до 49,6 mV, а снижение gH до 1,7 (у примулы).

Чтобы выяснить роль сахаров в установленных изменениях E_h и gH клеток листовых тканей при фотосинтезе, была проведена 3-я серия опытов с листьями примулы (зимой). Растения примулы первоначально 24 часа выдерживались в темноте. Затем с них срезались попарно отмеченные листья, и половина листьев ставилась черешками в воду, а другая половина — в раствор глюкозы или сахарозы (4). Листья помещались на 2 суток в темноту, после чего анализировались.

Данные, приведенные в табл. 2 и 3, показывают, что на растворах глюкозы и сахарозы в листьях накапливались главным образом сахара и в меньшей степени крахмал, причем снижались E_h и gH и увеличивалась редуцирующая сила. Таким образом, можно говорить о том, что обогащение листьев сахарами изменяет о.-в. режим клеток.

Однако сахара, поступившие в листья из раствора через черешки, действовали на о.-в. режим менее эффективно, чем сахара, образовавшиеся при фотосинтезе. Сахаров на растворах глюкозы и сахарозы в листьях примулы накапливалось относительно больше, а E_h и gH они снижали и редуцирующую силу увеличивали меньше, чем при фотосинтезе (см. табл. 2 и 3, зимняя серия опытов с примулой).

Можно дать следующее объяснение этого явления. Во-первых, имеются основания предполагать, что при фотосинтезе образуются активные формы сахаров (5), которые, очевидно, служат для создания редокс-системы (1,2); через черешки же из раствора поступают в листья неактивные сахара, которые лишь постепенно активируются и осваиваются. Во-вторых, образовавшиеся в листьях при фотосинтезе сахара, по имеющимся данным (6-8), быстро перерабатываются в другие соединения, которые могут влиять на о.-в. режим клеток.

По Красинскому (9), на о.-в. режим при фотосинтезе, повидимому, влияют не столько накапливающиеся сахара, сколько общая их продукция и соединения, из них образующиеся.

Все вышеизложенное можно резюмировать так:

1. Фотосинтез снижает E_h и gH и увеличивает редуцирующую силу содержимого клеток листовых тканей.

2. Аналогично, но значительно слабее, действует введение растворов сахаров в листья через черешки.

3. Таким образом, сахара (вероятно, активные формы) влияют на о.-в. режим клеток, причем при фотосинтезе, очевидно, имеет значение не столько накопление сахаров, сколько общая их продукция.

Горьковский государственный
университет

Поступило
8 VII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Р. Вюрмзер, Биологич. окисл. и восстановление, 1935. 2 Л. Михаэлис, Окислит.-восстанов. потенциалы, 1936. 3 Н. Красинский, Уч. зап. Горьк. гос. ун-та, в. 9, 3 (1940). 4 А. Г. Тошевинова, Экспер. бот., в. 2 (1936). 5 С. Д. Львов, Уч. зап. ЛГУ, сер. биол. наук, в. 15 (1945). 6 W. Sároschikoff, Ber. d. Deutsch. botan. Ges., 8 233 (1890). 7 Ф. Н. Крашенинников, Накопление солнечной энергии в растениях, 1901. 8 S. Ruben, W. Hassid and M. D. Kamen, J. Am. Chem. Soc., 61, 661 (1939). 9 Н. Красинский, Уч. зап. Горьк. гос. ун-та, в. 13 (1947).