Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ВОПРОСЫ ФОТОСИНТЕЗА

Выпуск I

ТОМСК - 1964

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

STATE UNIVERSITY
nom V. V. Kuybishev

ON PHOTOSYNTHESIS

PROCEEDINGS
OF LABORATORY FOR PHOTOSYNTHESIS
PROBLEMS. SECTIO OF PHYSIOLOGY AND
BIOCHEMISTRY OF PLANTS

Issue I

Editor: Doctor of Biological Sciences
Prof. M. M. Okunzov

A PUBLICATION OF TOMSK UNIVERSITY
Tomsk — 1964

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В. В. КУЙБЫШЕВА

ПРОФЕССОР
ИОГАНЗЕН Б.А. Германову

Дорогому Федору Германовичу
от авторов

ВОПРОСЫ ФОТОСИНТЕЗА

РАБОТЫ ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
ФОТОСИНТЕЗА
ПРИ КАФЕДРЕ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ
РАСТЕНИЙ

Выпуск 1

Под редакцией доктора биологических наук
проф. М. М. Окунцова

Научная библиотека ТГУ Для книг

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Томск — 1964

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ПРЕДИСЛОВИЕ

С целью усиления научно-исследовательских работ в вузах по проблеме фотосинтеза в ряде университетов были созданы соответствующие лаборатории. В том числе в Томском университете при кафедре физиологии и биохимии растений была организована проблемная лаборатория биологического фотосинтеза.

Основными направлениями работ нашей лаборатории являются исследования ряда биосинтезов в растении, связанных с наличием специфических фотохимических реакций, которые мы называем вторичным фотосинтезом, так как в основе их лежат реакции образования продуктов за счет первично ассимилированных углеводов. Кроме того, мы занимаемся выяснением вопроса о влиянии света различного спектрального состава на биосинтез пигментов в растениях.

В данном сборнике публикуются некоторые работы, выполнявшиеся в лаборатории в течение ряда лет.

На основании большого фактического материала показано, что в листьях растений, обогащенных углеводами, кроме темнового биосинтеза крахмала, существует фотохимическая полимеризация углеводов. Приведены данные, говорящие о спектре действия фотохимической полимеризации углеводов и наличии, по-видимому, двух сопряженных фотохимических реакций при протекании этого процесса.

Показано, что биосинтез аскорбиновой кислоты, наблюдаемый в зеленых листьях на белом свету, прямо не связан с фотосинтезом, а, как мы предполагаем, с наличием специфической фотохимической реакции. Приведены многочисленные данные, говорящие о влиянии света отдельных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках растений.

В литературе отмечается, что наиболее эффективными для хлорофиллообразования являются главным образом красный и синий свет. Нами установлено при работе с эти-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

олированными проростками ячменя, что более активным для биосинтеза хлорофиллов *а* и *в* оказался свет средневолнового участка спектра: зеленый, желтый и оранжевый. Кроме того, приведены данные, характеризующие влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов.

Получены данные, показывающие специфическое влияние света отдельных участков спектра на биосинтез белковых фракций и содержание свободных аминокислот в листьях бобов.

В сборнике помещена работа, в которой приводятся некоторые уточнения к методике определения хлорофиллов *а* и *в* на фотоэлектрическом колориметре.

М. Окунцов

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ

М. М. ОКУНЦОВ, Н. М. ФРОЛОВА

Образование крахмала в листьях растений, как известно, считается темновым, или биохимическим процессом. Тем не менее в ряде работ отмечается специфическая роль света при биосинтезе крахмала. В этом плане интересно мнение Зейбольда (A. Seybold, 1941), который считал, что хлорофилл *в* является специфическим сенсибилизатором полимеризации сахаров до крахмала. Свои представления он подкреплял ссылками на коррелятивную зависимость у ряда растений между содержанием хлорофилла *в* и накоплением крахмала. Е. Рабинович (1951), отвергая гипотезу Зейбольда, считает, что отсутствуют доказательства о наличии правильной корреляции между хлорофиллом *в* и образованием крахмала. Считается, что свет увеличивает проницаемость протоплазмы. Так, например, В. В. Лепешкин (1912) показал, что проницаемость протоплазмы для селитры на свету, приблизительно в 1,3—1,8 раз выше, чем в темноте. Викери (Vickery, 1955) наблюдал в отделенных от растений листьях на свету количественный переход яблочной кислоты в крахмал. Ли Шу-цзюнь (1959) исследовал образование крахмала в дисках из листьев пшеницы и проса, плавающих на растворе сахарозы. Им было показано, что в темноте крахмалообразование идет пропорционально парциальному давлению кислорода. На свету крахмалообразование идет интенсивнее, чем в темноте, и оно не коррелируется с давлением кислорода. Прибавление эфира с целью повышения проницаемости протоплазмы усилило синтез крахмала в плавающих листьях на 3%-ном растворе сахарозы. В связи с этим автор предполагает, что стимулирующее действие света на образование крахмала не может быть объяснено увеличением проницаемости. Тем не менее эти рассуждения, по-видимому, могут иметь место, если предположить, что на фоне эфира свет может дополнительно увеличить проницаемость протоплаз-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

мы для сахара. Ли Шу-цзюнь отмечает, что механизмы образования крахмала из двуокиси углерода при фотосинтезе и сахарозы различны. В работе делается общий вывод о том, что свет оказывает прямое ускоряющее действие на образование крахмала из сахарозы, и этот процесс связывается с возможным образованием макроэргических фосфатных связей.

Konogamitsu Yoso, Ono Hayashi (1961) сообщили, что в бесхлорофилловых участках листьев пестролистных растений крахмал отсутствовал, тогда как в зеленых участках крахмал был обнаружен. В отделенных листьях, плавающих на растворах глюкозы, глюкозо-1-фосфата, сахарозы и фруктозы, крахмал был обнаружен как в хлорофиллоносных, так и в альбиносных тканях. При этом было замечено, что в бесхлорофилловых участках ткани срезанных листьев образование крахмала происходит только в присутствии АТФ, а в не отделенных от растения листьях крахмалообразование происходило и в отсутствие АТФ.

Из приведенного краткого обзора следует, что свет оказывает прямое и положительное влияние на биосинтез крахмала в листьях растений. Что касается механизма крахмалообразования на свету, то предположительно считается, что он связан или с прямым воздействием света на процесс крахмалообразования, который связывают с энергией АТФ, или с тем, что свет повышает проницаемость протоплазмы для сахара, и добавочно проникший на свету сахар синтезируется обычным темновым путем.

В своей работе мы исследовали характер влияния света на биосинтез углеводов и активность амилазы в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы и 10%-ном растворе сахарозы. Объектом исследования послужили 4—7-дневные проростки овса и в отдельных опытах—ячменя. Растения выращивались в сосудах на черноземно-луговой почве. Влажность в почве поддерживалась равной 60% от полной влагоемкости. Плавающие листья освещались светом различного спектрального состава. Отдельные участки спектра получали при помощи светофильтров, характеристики которых приведены в табл. 1. Дальняя инфракрасная радиация (от 1000 до 3000 *mμ*) снималась при помощи водного экрана толщиной 6,5 см (А. Ф. Клешнин, 1954). Источниками освещения служили лампы белого света, лампы накаливания и ультрафиолетовые лампы ПРК-2. Длительность освещения листьев, плавающих на сахарных растворах, была от 8 до 20 часов, контролем служили листья, плавающие в темноте. Листья, плавающие на сахарных растворах, освещались в специальных камерах. Для предохранения листьев от перегрева применялся вентилятор. Как показали измерения микроэлектротермометром, температура освещенных листь-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ев отличалась от темновых не больше, чем на 1°С. После опыта листья промывались водой и в них определялось содержание общих и редуцирующих углеводов методом Иссекутца и амилаза по Баху и Опарину.

Таблица 1

Характеристика светофильтров, применявшихся в опытах для получения света определенного спектрального состава

Цвет интервала	Длина волны в *mμ*	Обозначение светофильтров	Наличие водного экрана
Инфракрасный	860—3000	ИКС$_3$	нет
Желтый, оранжевый, красный, инфракрасный	560—3000	ОС$_{13}$	нет
Оранжевый, красный, инфракрасный	600—3000	КС$_{10}$	нет
Оранжевый, красный, ближний инфракрасный	600—1000	КС$_{10}$	есть
Оранжевый, красный, ближний инфракрасный	600—1000	КС$_2$	есть
Красный, ближний инфракрасный	620—1000	КС$_{13}$	есть
Зеленый*)	480—600	ЖС$_{17}$, СЗС$_{10}$	есть
Зеленый	480—580	ЗС$_1$	есть
Синий	440—500	СС$_5$, ЖС$_{12}$	есть
Синий, фиолетовый, инфракрасный	400—500 860—3000	СС$_5$ СЗС$_{18}$	нет
Синий, фиолетовый	400—500	СС$_5$, СЗС$_{18}$	есть
Ультрафиолетовый	320—400	УФС$_4$	нет

*) С резким уменьшением интенсивности в желтой части спектра.

Ниже приведены данные по влиянию белого света различной интенсивности на содержание углеводов и активность амилазы в листьях, плавающих на 10%-ном растворе сахарозы. Белый свет интенсивностью от 5 до 15 тыс. эрг/см^2 сек во всех опытах (табл. 2) значительно повысил содержание редуцирующих и нередуцирующих углеводов по сравнению с темновым контролем. Белый свет интенсивностью 30 тыс. эрг/см^2 сек не изменил содержания редуцирующих углеводов, но зато более резко увеличил содержание нередуцирующих углеводов. Активность амилазы в плавающих листьях под влиянием белого света различной интенсивности увеличилась в два, три и более раз. Но, несмотря на возросший гидролиз, мы наблюдаем значительное нарастание фракции

Таблица 2

Влияние белого света на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса и ячменя, плавающих на 10%-ном растворе сахарозы

	Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев								Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие				
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
Проростки овса	В темноте	—	10	58,61	59,03	58,82	31,45	31,71	31,58	100,00	27,21	100,00	15,16	9,77	12,47
	На белом свету (лампа БС-30)	5	10	71,39	73,85	72,62	37,02	41,17	39,10	123,81	33,52	123,05	24,08	18,57	21,32
	В темноте	—	10	65,23	68,79	67,01	21,02	24,75	22,89	100,00	44,12	100,00	14,29	17,10	15,70
	На белом свету (лампа БС-30)	15	10	83,86	91,57	87,72	27,11	30,70	28,91	126,30	58,81	133,30	31,33	36,08	33,71
	В темноте	—	10	72,50	76,89	74,70	38,15	36,18	37,17	100,00	37,53	100,00	24,82	26,82	25,82
	На белом свету (лампа БС-30)	30	10	122,57	125,74	124,16	40,32	37,22	38,77	104,30	85,39	227,52	52,30	49,36	50,82
Проростки ячменя	В темноте	—	20	67,82	66,96	67,39	29,48	27,85	28,67	100,00	38,72	100,00	8,32	10,83	9,57
	На белом свету (лампа БС-30)	15	20	118,71	116,21	117,46	49,31	54,12	51,72	180,40	65,74	169,78	29,36	29,55	29,46
	В темноте	—	20	87,34	88,21	87,78	40,69	39,30	40,00	100,00	47,78	100,00	3,62	3,97	3,80
	На белом свету (лампа БС-30)	15	20	126,00	133,89	129,95	53,20	52,03	52,62	131,55	77,33	161,85	21,62	27,39	24,51

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

нередуцирующих углеводов. Для выяснения действующих участков спектра белого света, оказывающих такое большое влияние на поступление и последующее превращение углеводов в листьях, а также столь резко увеличивающих активность амилазы, нами проведены опыты с освещением плавающих листьев на 10%-ном растворе сахарозы светом отдельных участков спектра. Интенсивности света оранжево-красного, ближнего инфракрасного (600—1000 *mμ*) и инфракрасного (860—3000 *mμ*) были приравнены к интенсивности белого света, а интенсивности зеленого, сине-фиолетового и ультрафиолетового света были взяты примерно равными той интенсивности, которая входила в состав общего света. Из приведенных данных (табл. 3) мы видим, что ни один из исследованных участков спектра, и в том числе наиболее активный для фотосинтеза оранжево-красный, не оказал влияния как на содержание различных фракций углеводов, так и на активность амилазы. Другими словами, поступление сахарозы в листья из раствора и последующее ее превращение на свету отдельных участков спектра протекают так же, как в темноте, а не так, как на свету.

Проведенные опыты дали нам основание предположить, что те глубокие изменения, которые обнаружены в листьях, находящихся на белом свету и плавающих на растворе сахарозы, не обусловливаются светом отдельных участков спектра, а протекают под влиянием одновременного действия света каких-то различных участков спектра. Для выяснения этого вопроса мы провели опыты с одновременным освещением листьев, плавающих на сахарозе оранжево-красным и инфракрасным (600—3000 *mμ*) вместе с сине-фиолетовым светом (400—500 *mμ*). Результаты опыта приведены в табл. 4, из которых следует, что освещение листьев всем красным светом и сине-фиолетовым общей интенсивностью 24 тыс. эрг/см² сек, состоящей из 1,3 тыс. эрг/см² сек сине-фиолетового, 4,6 тыс. эрг/см² сек оранжево-красного и 18,1 тыс. эрг/см² сек инфракрасного света, привело к весьма интенсивному увеличению нередуцирующих углеводов, но содержание редуцирующих углеводов осталось без изменения. Активность амилазы в листьях, освещенных красным и сине-фиолетовым светом, осталась такой же, как в темновых листьях, а не увеличилась, как на белом свету (табл. 2). Отсюда следует, что резкое увеличение активности амилазы в плавающих листьях под влиянием белого света связано со специфическим спектральным составом света и в данном опыте независимо от накопления больших количеств нередуцирующих углеводов.

В проведенных нами опытах с плавающими листьями на сахарозе трудно объяснить причины повышения нередуцирующих углеводов в листьях под влиянием белого света.

Таблица 3

Влияние света отдельных участков спектра на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 10 %-ном растворе сахарозы

	Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев										Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие					
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %		I	II	среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15
Опыт № 1	В темноте	—	10	70,62	67,12	68,87	38,85	38,91	38,88	100,00	29,99	100,00		18,38	17,43	17,91
	На белом свету (лампа БС-30)	25	10	104,94	100,50	102,72	57,75	59,65	58,70	150,98	44,02	146,78		29,09	26,91	28,00
Опыт № 2	В темноте	—	10	75,45	70,17	72,81	40,78	39,94	40,36	100,00	32,45	100,00		19,00	17,09	18,05
	На оранжево-красном и ближнем инфракрасном свету (600—1000 *mμ*)	25	10	73,22	74,80	74,01	39,74	42,18	40,96	101,49	33,05	101,85		17,03	15,75	16,39
	На инфракрасном свету (860—3000 *mμ*)	25	10	74,40	73,39	73,90	41,62	40,37	40,99	101,56	32,91	101,42		20,18	19,71	19,95

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт № 3	В темноте	—	10	48,35	50,04	49,20	20,33	21,82	21,08	100,00	28,12	100,00	20,61	17,63	19,12
	На зеленом свету (480—580 *mμ*)	1,5	10	53,17	49,27	51,22	23,03	20,71	21,87	103,85	29,35	104,37	24,01	18,10	21,05
	На сине-фиолетовом свету (400—500 *mμ*)	1,3	10	55,26	54,24	54,75	25,47	23,09	24,28	115,18	30,47	108,36	19,55	21,35	20,45
Опыт № 4	В темноте	—	10	75,19	68,38	71,79	42,55	40,04	41,30	100,00	30,49	100,00	14,03	12,22	13,14
	На ультрафиолетовом свету (320 – 400 *mμ*)	0,2	10	70,29	71,19	70,74	38,65	39,16	38,91	94,21	31,83	104,39	12,05	13,48	12,77

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 4

Влияние света смешанных участков спектра на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 10%-ном растворе сахарозы.

Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев									Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
			общие			редуцирующие				нередуцирующие				
			I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
В темноте	—	10	50,12	49,75	49,94	25,74	27,48	26,61	100,00	23,33	100,00	5,50	7,06	6,28
На оранжево-красном, инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400 – 500; 600 — 3000 *mμ*)	24	10	83,38	88,40	85,89	29,05	27,39	28,22	106,05	57,67	247,19	7,45	7,96	7,71

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Увеличение нередуцирующих углеводов в этом случае могло происходить или за счет простого накопления сахарозы, или в результате сложных процессов полимеризации углеводов, протекающих на свету. По той же причине трудно объяснить резкое увеличение активности амилазы под влиянием света, так как усиление гидролиза могло происходить как за счет повышения активности самой амилазы, так и сахаразы. Для того, чтобы иметь возможность судить несколько более подробно о природе накопления нередуцирующих углеводов, а также о характере гидролиза углеводов на свету, мы провели опыты с освещением листьев, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, светом различного спектрального состава.

В табл. 5 приведены данные по влиянию белого света на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы. Из них следует, что в листьях на белом свету происходит значительное увеличение как редуцирующих, так и нередуцирующих углеводов и резкое повышение активности амилазы. При этом необходимо отметить, что поступление глюкозы в лист и ее последующая полимеризация протекают и в темноте, но под влиянием света эти процессы количественно сильно возрастают. Это можно видеть из опыта № 2 (табл. 5), откуда следует, что в листьях, плавающих на растворе глюкозы в темноте, по сравнению с исходными увеличилось содержание редуцирующих углеводов приблизительно на 20%, а нередуцирующих — на 35%, тогда как на свету содержание тех и других углеводов возросло более чем в два раза. При рассмотрении вероятных причин увеличения содержания редуцирующих углеводов на свету в листьях, плавающих на растворе глюкозы, обычно считают, что увеличение содержания этой фракции происходит в результате процесса фотосинтеза или повышения проницаемости протоплазмы для глюкозы. Но проведенные нами опыты дают основание высказать предположение о наличии третьей причины, заключающейся в том, что под влиянием света в листьях, плавающих на растворе глюкозы, происходит резкое повышение активности амилазы, и поэтому увеличение содержания редуцирующих сахаров на свету можно также объяснить как результат повышения гидролиза полисахаридов.

Отмечая высокую полимеризацию углеводов в плавающих на глюкозе листьях на белом свету, мы обращаем внимание на то, что интенсивная полимеризация углеводов на свету идет в присутствии весьма активной амилазы, а значит, при одновременно интенсивно идущем гидролизе полисахаридов. Отсюда мы делаем вывод, что фактически на белом свету полимеризация углеводов идет намного интенсивнее, чем это следует из данных таблицы, так как определенная часть

Таблица 5

Влияние белого света на содержание углеводов и активность амилазы в 7-дневных проростках овса, плавающих в 1%-ном растворе глюкозы

	Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев									Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие				
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
Опыт № 1	В темноте	—	8	25,29	26,84	26,07	19,59	17,36	18,48	100,00	7,59	100,00	0,00	1,31	0,66
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	51,11	53,81	52,46	28,47	30,03	29,25	158,28	23,21	305,79	12,65	10,10	11,37
Опыт № 2	Исходные листья (анализ до опыта)	—	—	24,46	26,52	25,49	14,70	15,13	14,92	100,00	10,57	100,00	0,61	0,12	0,37
	В темноте	—	8	30,58	34,01	32,30	17,75	18,33	18,04	120,91	14,26	134,91	0,00	0,00	0,00
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	52,80	56,36	54,58	32,55	31,38	31,97	214,28	22,61	213,90	14,60	11,17	12,89

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

полимеризованных углеводов гидролизуется высокоактивной амилазой.

В табл. 6 приведены данные, говорящие о влиянии света слабой интенсивности на полимеризацию углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы. Из этих данных следует, что интенсивность белого света, равная 5 тыс. эрг/см² сек, способствовала интенсивной полимеризации углеводов, активность амилазы при этом повышалась слабо, и на содержание редуцирующих углеводов свет этой интенсивности не оказал влияния. Белый свет интенсивностью 1 тыс. эрг/см² сек уже оказался запороговым и не оказал влияния на полимеризацию углеводов.

Нами было исследовано влияние различных источников света на процесс полимеризации углеводов в листе (табл. 7). На рассеянном солнечном свету, несмотря на то, что содержание редуцирующих углеводов осталось без заметного изменения, полимеризация углеводов шла весьма интенсивно и достигла 238,26% от темнового контроля. Такая высокая полимеризация углеводов шла на солнечном свету, несмотря на значительно возросшую активность амилазы. На свету лампы белого света (БС-30) также имеет место значительная полимеризация углеводов, несмотря на высокую активность амилазы, и здесь мы наблюдаем довольно интенсивное накопление редуцирующих углеводов. Совершенно неожиданную картину мы видим на свету лампы накаливания. Несмотря на равную интенсивность света лампы накаливания и лампы белого света, свет лампы накаливания не оказал влияния на процесс полимеризации углеводов, а также не изменил содержания редуцирующих углеводов и активности амилазы по сравнению с темновым контролем.

На основании данных опытов мы не можем утверждать, что увеличение редуцирующих углеводов в листьях, плавающих на растворе глюкозы, происходит исключительно только за счет фотосинтеза. Процесс фотосинтеза на свету лампы накаливания, как известно, протекает, но увеличения как редуцирующих, так и общих углеводов в плавающих листьях на 1%-ном растворе глюкозы под влиянием света лампы накаливания не происходит. Это явление хорошо согласуется с известными данными, показывающими, что при обогащении листа углеводами фотосинтетический процесс хотя и протекает, но сильно задерживается (Н. В. Любименко, 1935).

Трудно также согласиться с предположением, что свет увеличивает проницаемость протоплазмы для глюкозы, так как свет лампы накаливания не способствует более ускоренному поступлению глюкозы в лист. Кроме того, если бы свет только увеличивал проницаемость протоплазмы и не оказывал влияния на обмен поступившего в лист сахара, то

Таблица 6

Влияние белого света различной интенсивности на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев									Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
			общие			редуцирующие				нередуцирующие				
			I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
В темноте	—	8	35,10	35,42	35,26	24,77	24,14	24,48	100,00	10,80	100,00	0,00	0,00	0,00
На белом свету (лампа БС-30)	5	8	42,44	46,45	44,45	27,10	27,67	27,39	111,98	17,06	157,96	1,94	0,86	1,40
На белом свету (лампа БС-30)	1	8	34,32	36,08	35,20	25,17	23,89	24,53	100,29	10,67	98,80	0,00	0,00	0,00

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 7

Влияние белого света, солнечного и света лампы накаливания на содержание углеводов и активность амилазы в 5-дневных проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия опыта		Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев									Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие				
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
Опыт № 1	В темноте	—	8	34,19	31,63	32,91	23,23	24,18	23,71	100,00	9,20	100,00	0,00	0,00	0,00
	На солнечном свету	рассеянный	8	48,79	48,11	48,45	25,59	27,47	26,53	111,89	21,92	238,26	7,79	6,01	6,90
Опыт № 2	В темноте	—	8	32,05	32,04	32,05	16,72	18,56	17,64	100,00	14,41	100,00	0,00	0,00	0,00
	На белом свету (лампа БС-30)	18	8	51,99	51,73	51,86	24,94	24,85	24,90	141,16	26,96	187,09	10,66	13,21	11,94
	На свету лампы накаливания	18	8	33,16	35,33	34,24	19,36	19,77	19,57	110,94	14,67	101,80	1,65	0,02	0,84

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

поступление глюкозы в лист шло бы быстрее на свету только первое время, а затем скорость поступления стала бы затухать, и через длительное время количество поступившей в лист глюкозы на свету и в темноте должно было бы выровняться. Из полученных нами данных следует, что солнечный свет и свет лампы белого света оказывают прямое влияние на обмен поступившего в лист сахара.

Наши опыты по влиянию различных источников света дали нам основание предположить, что на вторичные процессы обмена глюкозы после поступления ее в лист оказал влияние различный спектральный состав исследованных источников света. Солнечный свет и свет лампы белого света способствуют полимеризации поступившей в лист глюкозы и значительно повышают активность амилазы, тогда как свет лампы накаливания не оказывает влияния на эти процессы. Распределение энергии в спектре ламп накаливания и люминесцентных ламп белого света, как известно, сильно отличается (А. Ф. Клешнин, 1954). При сравнении спектральной характеристики ламп в процентах к их максимальному излучению мы видим, что у ламп белого света максимальное излучение находится около 600 *mμ*, с резким падением в длинноволновой части около 700 *mμ*, а также с резким падением интенсивности света в коротковолновой части, в которой имеется несколько пиков, и, в частности, в сине-фиолетовом конце спектра. Спектральная интенсивность ламп накаливания имеет совершенно иной характер. При расчете от максимальной интенсивности света около 800 *mμ* происходит постепенное снижение интенсивности в сторону сине-фиолетовой части спектра. Эти соображения позволили нам прийти к выводу о том, что процесс полимеризации углеводов, активно протекающий в листьях, плавающих на растворе глюкозы, и высокая активность в них амилазы зависят от какого-то определенного распределения спектральной энергии. Для проверки этого вывода нами проведен ряд опытов по выяснению влияния отдельных участков спектра на вторичные превращения глюкозы и активность амилазы в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы. Результаты опытов приведены в табл. 8, 9 10 и 11.

Интенсивность света отдельных участков спектра была равна или близка к интенсивности белого света, но в отдельных опытах интенсивность света того или иного участка спектра, особенно зеленого и синего, снижалась до величины, близкой к интенсивности, которая как составная часть входит в общую интенсивность белого света.

При освещении плавающих на глюкозе листьев красным и ближним инфракрасным светом (620—1000 *mμ*) интенсивностью 25 тыс. эрг/см² сек (равной белому), а также интенсивностью 50 тыс. эрг/см² сек (табл. 8) мы наблюдаем

Таблица 8

Влияние света длинноволнового участка спектра на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 1%-ком растворе глюкозы

Условия опыта		Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев										Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие					
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %		I	II	среднее
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15
Опыт № 1	В темноте	—	8	26,27	25,09	25,68	17,64	18,80	18,22	100,00	7,46	100,00		0,00	0,00	0,00
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	45,71	43,43	44,57	31,37	32,45	31,91	175,14	12,66	169,70		17,80	18,08	17,94
	На красном и ближнем инфракрасном свету (620—1000 *mμ*)	25	8	30,37	30,83	30,60	23,37	23,52	23,45	128,70	7,15	95,84		1,39	1,35	1,37
	На красном и ближнем инфракрасном свету (620—1000 *mμ*)	50	8	31,35	33,67	32,51	26,90	27,09	27,00	148,19	5,51	73,86		2,03	4,45	3,24
Опыт №2	В темноте	—	8	33,71	37,45	35,58	19,72	20,23	19,98	100,00	15,60	100,00		—	—	—
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	52,80	56,36	54,58	32,55	31,38	31,97	160,01	22,61	144,94		—	—	—

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт №2	На оранжево-красном свету (600—720 *mμ*)	4	8	33,24	37,76	35,50	21,91	19,88	20,90	104,60	14,60	93,59	—	—	—
Опыт № 3	В темноте	—	8	39,89	38,78	39,34	26,93	24,70	25,82	100,00	13,52	100,00	—	—	—
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	53,84	55,30	54,57	34,56	34,43	34,50	133,62	20,07	148,45	—	—	—
	На желтом, оранжевом, красном и инфракрасном свету (560—3000 *mμ*)	22	8	38,72	38,91	38,82	25,72	26,03	25,88	100,23	12,94	95,71	—	—	—
Опыт № 4	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	65,08	66,53	65,81	31,74	33,16	32,45	100,00	33,36	100,00	9,59	8,45	9,02
	На оранжево-красном и ближнем инфракрасном свету (600—1000 *mμ*)	25	8	45,97	47,39	46,68	29,98	31,55	30,77	94,83	15,91	47,69	0,00	0,00	0,00

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

в листьях значительное увеличение редуцирующих углеводов, особенно при интенсивности 50 тыс. эрг/см² сек, и некоторое увеличение активности амилазы, хотя намного слабее, чем на белом свету. Несмотря на значительное увеличение редуцирующих углеводов, красный свет не оказал положительного влияния на их полимеризацию и даже при более высокой интенсивности (50 тыс. эрг/см² сек) заметно снизил содержание нередуцирующих углеводов, что, вероятно, связано с некоторым увеличением активности амилазы. На желто-оранжевом, красном и инфракрасном свету (560—3000 *mμ*) общей интенсивностью 22 тыс. эрг/см² сек в листьях не наблюдается изменения содержания редуцирующих углеводов и отсутствует полимеризация углеводов. На оранжевом, красном и ближнем инфракрасном свету (600—1000 *mμ*) интенсивностью 25 тыс. эрг/см² сек редуцирующих углеводов в листьях оказалось столько же, сколько на белом свету равной интенсивности, но тем не менее полимеризация также отсутствует, так как содержание нередуцирующих углеводов здесь достигает только 47,69% от белого света и активная амилаза здесь отсутствует. Освещение плавающих листьев одним оранжево-красным светом (600—720 *mμ*) не оказало влияния на содержание редуцирующих углеводов и на процесс их полимеризации. Хотя интенсивность света в этом варианте была равной 4 тыс. эрг/см² сек, но, как видно из табл. 6, белый свет, близкий к интенсивности 5 тыс. эрг/см² сек, оказывает весьма большое влияние на полимеризацию углеводов, и во всяком случае в белом свете общей интенсивностью 5 тыс. эрг/см² сек оранжево-красного света во много раз меньше — 4 тыс. эрг/см² сек.

Освещение ультрафиолетовым светом (320—400 *mμ*) интенсивностью 500 эрг/см² сек (приближающаяся к интенсивности ультрафиолета в солнечном свете в утренние часы) не оказало влияния на полимеризацию углеводов, активность амилазы и содержание редуцирующих углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы (табл. 9). Сине-фиолетовый свет (400—500 *mμ*) интенсивностью 2,2 тыс. эрг/см² сек (такая интенсивность сине-фиолетового света бывает в солнечном свету в утренние часы дня) и один синий свет (440—500 *mμ*) интенсивностью 14 тыс. эрг/см² сек (указанная интенсивность синего света бывает в солнечном свету приблизительно в предполуденные часы) не оказали положительного влияния на процесс полимеризации углеводов, на активность амилазы и на содержание редуцирующих углеводов. Интересные результаты были получены при освещении плавающих листьев на 1%-ном растворе глюкозы зеленым светом (480—600 *mμ*) интенсивностью 9 тыс. эрг/см² сек (близкая интенсивность зеленого света бывает в предполуденные часы в солнечном свету).

Таблица 9

Влияние света коротковолнового участка спектра на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия опыта		Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев										Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие					
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %		I	II	среднее
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15
Опыт № 1	В темноте	—	8	28,73	30,64	29,69	16,09	15,73	15,91	100,00	13,78	100,00		0,28	0,00	0,14
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	39,96	40,50	40,23	20,38	21,19	20,79	130,67	19,44	141,07		8,06	9,02	8,54
	На ультрафиолетовом свету (320—400 *mμ*)	0,5	8	31,08	30,21	30,65	15,21	16,14	15,68	98,55	14,97	108,64		0,44	0,55	0,50
Опыт № 2	В темноте	—	8	27,69	29,74	28,72	15,49	15,79	15,64	100,00	13,08	100,00		0,00	1,62	0,81
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	50,08	52,71	51,40	28,98	28,22	28,60	182,86	22,80	174,31		7,24	6,93	7,09
	На сине-фиолетовом свету (400—500 *mμ*)	2,2	8	32,61	30,37	31,49	15,87	18,33	17,10	109,33	14,39	110,02		0,00	0,00	0,00
	На зеленом свету (480—600 *mμ*)	9	8	31,97	33,67	32,82	19,52	18,68	19,10	122,12	13,72	104,89		1,10	0,13	0,62

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт № 3	В темноте	—	8	33,02	32,10	32,56	17,77	17,84	17,81	100,00	14,75	100,00	0,03	0,00	0,01
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	49,77	47,18	48,48	26,06	27,66	26,86	150,81	21,62	146,58	12,64	12,80	12,72
	На синем свету (440—500 *mμ*)	14	8	34,86	36,06	35,46	19,27	18,24	18,76	105,33	16,70	113,22	0,00	0,00	0,00
Опыт № 4	В темноте	—	8	34,90	35,13	35,02	22,09	24,05	23,07	100,00	11,95	100,00	0,00	0,00	0,00
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	55,64	55,64	55,64	36,35	36,44	36,40	157,78	19,24	161,00	12,34	10,88	11,61
	На желто-оранжевом свету (560—780 *mμ*)*)	10	8	39,21	40,73	39,97	25,90	27,13	26,52	114,95	13,45	112,55	2,97	1,20	2,08

*) Интенсивность красного света невелика.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Зеленый свет хотя и не оказал положительного влияния на полимеризацию углеводов и активность амилазы, зато значительно увеличил количество редуцирующих углеводов, повысив их содержание на 22,12% по сравнению с темновым контролем, оказав, таким образом, аналогичное влияние с красным и ближним инфракрасным светом (620—1000 *mμ*) (см. табл. 8). Желто-оранжевый свет (560—780 *mμ* — интенсивность красного света весьма невелика) общей интенсивностью 10 тыс. эрг/см² сек не оказал заметного влияния на полимеризацию углеводов, содержание редуцирующих углеводов и незначительно повысил активность амилазы.

В табл. 10 приведены дополнительные данные о влиянии наиболее существенных для процесса фотосинтеза красного с ближним инфракрасным (620—1000 *mμ*) и синего (440—500 *mμ*) участков солнечного спектра на процесс полимеризации углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы. Интенсивность красного, синего и белого света была равна 9 тыс. эрг/см² сек. Из этих данных следует, что под влиянием белого света произошла значительная полимеризация углеводов и увеличение содержания редуцирующих углеводов. Красный и синий свет здесь также не оказал влияния на полимеризацию углеводов и содержание редуцирующих углеводов, хотя при более высокой интенсивности красный свет увеличивает содержание редуцирующих углеводов в листьях (табл. 8).

Данные по влиянию инфракрасной радиации на полимеризацию углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, приведены в табл. 11, из которой следует, что под влиянием инфракрасной радиации интенсивностью 25 и 80 тыс. эрг/см² сек полимеризации углеводов не произошло, а даже наблюдается некоторое снижение нередуцирующих углеводов. Инфракрасная радиация интенсивностью 80 тыс. эрг/см² сек не повлияла на содержание редуцирующих углеводов в листьях. Снижение интенсивности инфракрасной радиации до 25 тыс. эрг/см² сек оказало некоторое положительное влияние на содержание редуцирующих углеводов, хотя и незначительное по сравнению с белым светом, что может быть связано с некоторым понижением нередуцирующих углеводов.

Сравнивая влияние белого света и света отдельных участков спектра на полимеризацию углеводов, содержание редуцирующих углеводов и активность амилазы в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, мы видим, что ни один из исследованных участков спектра не оказал положительного влияния на полимеризацию углеводов и усиление активности амилазы, как белый свет. В то же время некоторые отдельные участки спектра способствовали повышению содержания редуцирующих углеводов в плавающих

Таблица 10

Влияние синего и красного участков спектра на содержание углеводов в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия опыта	Интенсивность освещения в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев								
			общие			редуцирующие				нередуцирующие	
			I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %
В темноте	—	8	32,93	33,17	33,08	18,17	17,18	17,68	100,00	15,40	100,00
На белом свету (лампа БС-30)	9	8	44,19	44,72	44,46	23,45	23,20	23,33	131,96	21,13	137,21
На красном и ближнем инфракрасном свету (620—1000 *mμ*)	9	8	35,42	36,18	35,80	18,37	20,79	19,58	110,75	16,22	105,32
На синем свету (440—500 *mμ*)	9	8	33,99	34,98	34,49	17,16	16,81	16,99	96,10	17,50	113,64

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 11

Влияние инфракрасной радиации на содержание углеводов в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия опыта	Интенсивность освещения в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев								
			общие			редуцирующие				нередуцирующие	
			I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %
В темноте	—	8	36,31	37,62	36,97	17,33	18,35	17,84	100,00	19,13	100,00
На белом свету (лампа БС-30)	25	8	57,08	54,54	55,84	26,85	27,42	27,14	152,13	28,67	149,87
На инфракрасном свету (860—3000 *mμ*)	25	8	34,34	35,27	34,81	20,27	21,16	20,72	116,14	14,09	73,65
На инфракрасном свету (860—3000 *mμ*)	80	8	34,70	35,63	35,17	18,18	18,71	18,45	103,42	16,72	87,40

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

листьях по сравнению с темновым контролем. Так, оказалось, что под влиянием красного света повышенной интенсивности и зеленого света в листьях заметно повышалось содержание редуцирующих углеводов. Но это увеличение содержания редуцирующих углеводов в листьях, плавающих на растворе глюкозы, трудно связать с фотосинтетическим процессом. Как известно, на синем, сине-фиолетовом и желто-оранжевом свету фотосинтез протекает тоже хорошо и даже лучше, чем на зеленом, однако увеличение редуцирующих углеводов на свету этих участков спектра не наблюдается. Отсюда мы делаем вывод, что увеличение редуцирующих углеводов в листьях под влиянием красного и зеленого света носит специфический характер, тем более, что при добавлении к красному свету одного желто-оранжевого или желто-оранжевого вместе с инфракрасным увеличения редуцирующих углеводов не происходит.

Также нет основания утверждать, что причиной полимеризации углеводов на свету является повышение проницаемости протоплазмы для глюкозы под влиянием света. Так, например, под влиянием красного и зеленого света редуцирующие углеводы хотя и проникли в лист в несколько больших количествах, чем в темноте, но процесс полимеризации при этом не протекает.

Отсутствие полимеризации углеводов в плавающих листьях на растворе глюкозы при освещении их светом отдельных участков спектра и наличие интенсивной полимеризации углеводов в листе под влиянием белого света дали нам основание предположить, что полимеризация углеводов в листьях является фотохимическим процессом и что для его осуществления необходимо воздействие света различного спектрального состава.

Для выяснения вопроса о влиянии красного и синего света при одновременном их воздействии на процесс полимеризации углеводов и активность амилазы в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, были проведены исследования, данные которых приведены в табл. 12. Из многократно проведенных опытов следует, что при освещении плавающих листьев всем красным светом (оранжево-красным и инфракрасным 600—3000 *mμ*) и сине-фиолетовым светом (400—500 *mμ*) общей интенсивностью 24 тыс. эрг/см² сек, состоящей из 1,3 тыс. эрг/см² сек сине-фиолетового, 4,6 тыс. эрг/см² сек оранжево-красного и 18,1 тыс. эрг/см² сек инфракрасного света в листьях идет процесс полимеризации углеводов почти так же, как на белом свету, но в содержании редуцирующих углеводов заметных изменений не произошло, и амилаза осталась неактивной. Оранжево-красный и ближний инфракрасный свет (600—1000 *mμ*) вместе с сине-фиолетовым (400—500 *mμ*) общей интенсивностью 6 тыс. эрг/см² сек,

Таблица 12

Влияние красного и сине-фиолетового участков спектра при их одновременном воздействии на содержание углеводов и активность амилазы в проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

	Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание углеводов в *мг* на 1 *г* свежих листьев									Активность амилазы в *мг* сахара на 1 *г* свежих листьев		
				общие			редуцирующие				нередуцирующие				
				I	II	среднее	I	II	среднее	в %	в *мг* на 1 *г*	в %	I	II	среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт № 1	В темноте	—	8	34,00	33,05	33,53	25,45	24,18	24,82	100,00	8,71	100,00	0,29	0,08	0,19
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	57,67	54,51	56,09	35,97	36,68	36,33	146,37	19,76	226,87	3,84	3,84	3,84
	На оранжево-красном, инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400 – 500; 600—3000 *mμ*)	24	8	44,78	45,13	44,96	29,99	26,50	28,25	113,82	16,71	191,85	0,00	0,00	0,00
Опыт № 2	В темноте	—	8	32,57	31,85	32,21	20,47	18,37	19,42	100,00	12,79	100,00	0,00	0,00	0,00
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	43,25	47,47	45,36	28,78	27,93	28,36	146,04	17,00	132,92	17,65	12,67	15,16

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт № 2	На оранжево-красном, инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400—500; 600—3000 *mμ*)	24	8	36,75	37,21	36,98	19,83	22,65	21,24	109,37	15,74	123,06	0,00	0,00	0,00
Опыт № 3	В темноте	—	8	30,47	31,05	30,76	26,32	26,42	26,37	100,00	4,39	100,00	—	—	—
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	55,12	53,97	54,55	31,90	31,61	31,76	120,44	22,79	519,13	—	—	—
	На оранжево-красном, инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400—500; 600—3000 *mμ*)	24	8	39,39	39,18	39,29	25,26	26,14	25,70	97,46	13,59	309,57	—	—	—
Опыт № 4	В темноте	—	8	38,87	33,04	35,96	19,43	18,30	18,87	100,00	18,09	100,00	—	—	—
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	53,23	59,35	56,29	22,62	21,62	22,12	117,22	34,17	199,94	—	—	—
	На оранжево-красном, ближнем инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400—500; 600—1000 *mμ*)	6	8	43,53	44,39	43,96	20,62	21,60	21,11	111,87	22,85	133,70	—	—	—

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Продолжение таблицы 12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опыт № 5	В темноте	—	8	35,70	36,44	36,07	20,58	21,28	20,93	100,00	15,14	100,00	—	—	—
	На белом свету (лампа БС-30)	25	8	56,20	62,26	59,23	37,10	37,31	37,21	177,78	22,02	145,44	—	—	—
	На оранжево-красном, ближнем инфракрасном и сине-фиолетовом свету (400 – 500, 600—1000 *mμ*)	6	8	41,42	40,45	40,94	21,60	21,84	21,72	103,77	19,22	126,95	—	—	—

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

состоящей из 1,3 тыс. эрг/см² сек сине-фиолетового и 4,7 тыс. эрг/см² сек оранжево-красного и ближнего инфракрасного света, тоже оказал большое положительное влияние на полимеризацию углеводов, не изменив содержания редуцирующих углеводов. Отсюда можно думать, что дальняя инфракрасная радиация от 1000 до 3000 $m\mu$ не принимает прямого участия в процессе световой полимеризации углеводов. Из этих данных также следует, что по крайней мере в листьях гидролиз полисахаров, характеризующихся высокой активностью амилазы, не всегда вызывается накоплением этих веществ, а зависит также от условий освещения.

Д. Арнон (1962), проводя опыты с хлоропластами из листьев, лишенных крахмала, показал, что они способны фотосинтезировать только после добавления крахмала и неорганического фосфора или каталитических количеств глюкозо-1-фосфата. Эти данные позволили ему предположить, что при ассимиляции двуокиси углерода должно происходить фосфорилирование крахмала и его расщепление на углеводофосфат.

Полученные нами данные, показывающие резкое повышение активности амилазы на белом свету в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, по-видимому, согласуются с представлениями Арнона. В то же время мы должны подчеркнуть, что если фосфорилирование крахмала с последующим его расщеплением на углеводофосфат строго коррелируется с фотосинтезом, то мы наблюдали бы повышение активности амилазы при освещении листьев красным, синим или смешанным красным и синим светом. Но в этих случаях активность амилазы не изменялась, и резкое увеличение ее наблюдается только на белом свету. Это дает нам основание предположить, что повышение активности амилазы не просто зависит от фотосинтетического процесса, а зависит от света какого-то специфического спектрального состава.

На основании изложенного делаем вывод, что наблюдаемая нами полимеризация углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, под воздействием белого света является фотохимическим процессом. Так как фотохимическая полимеризация углеводов в плавающих листьях протекает при одновременном освещении их светом красного и синего участков спектра, то это дало нам основание предположить, что процесс фотохимической полимеризации углеводов в листьях осуществляется по крайней мере при участии двух сопряженных фотохимических реакций — одна из них протекает на красном, а другая — на синем свету.

Обсуждая полученные нами данные опытов по влиянию света на полимеризацию углеводов в зеленых листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, мы приходим к следующим выводам.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Процесс полимеризации углеводов в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы, под воздействием света протекает во много раз интенсивнее, чем в темноте. Это дает нам основание считать, что помимо темнового биосинтеза крахмала в листьях интенсивно идет полимеризация углеводов под влиянием света. Световую полимеризацию углеводов в листьях мы не можем связать с фотосинтезом, а также объяснять исключительно повышением проницаемости протоплазмы под влиянием света, так как полимеризация углеводов не идет на одном красном и на одном синем свету, а также на свету лампы накаливания. Кроме того, если утверждать, что свет, повышая проницаемость протоплазмы, способствует проникновению в нее глюкозы, а она полимеризуется темновым путем, то с этих позиций трудно объяснить факт отсутствия в листьях полимеризации углеводов на красном и ближнем инфракрасном свету (620—1000 $m\mu$) и на зеленом свету (480—600 $m\mu$), где под влиянием этих участков спектра в листьях накапливается высокое содержание редуцирующих углеводов и, несмотря на это, отсутствует их полимеризация.

Полимеризация углеводов на свету в листьях представляет собой специфический фотохимический процесс, который мы в отличие от первичного фотосинтеза, связанного с ассимиляцией двуокиси углерода, называем вторичным фотосинтезом, так как в основе его лежат реакции образования полимера за счет первично фотосинтезированных углеводов.

Фотохимическая полимеризация углеводов не протекает на свету отдельных исследованных нами монохроматических участков спектра — инфракрасном, красном, желто-оранжевом, зеленом, синем, сине-фиолетовом и ультрафиолетовом. При смешении сине-фиолетового света (400—500 $m\mu$) с оранжево-красным и ближним инфракрасным (600—1000 $m\mu$) в плавающих листьях интенсивно идет процесс полимеризации углеводов. Это дает нам основание предполагать, что процесс фотохимической полимеризации углеводов в листе протекает при участии по крайней мере двух сопряженных фотохимических реакций: одна из них протекает на синем, а другая — на красном участках спектра.

Фотохимическая полимеризация углеводов, согласно новым представлениям (Д. И. Арнон, 1959, 1961; М. Кальвин, 1961; С. И. Лебедев, 1961), может осуществляться за счет макроэргических связей таких соединений, как аденозинтрифосфат (АТФ), восстановленный пиридиннуклеотид (ТПН-Н), и некоторых других, которые могут принимать участие не только в первичном фотосинтетическом процессе, связанном с ассимиляцией двуокиси углерода, но и в ряде других многочисленных биосинтезов. Мы предполагаем, что фотохимическая полимеризация углеводов в листьях растений проте-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

кает при помощи энергии подобных макроэргических связей. По современным представлениям (А. Ленингер, 1961), передача энергии аденозинтрифосфатом путем переноса фосфорных групп лежит в основе всех эндергонических реакций биосинтеза и, в частности, образования гликогена из глюкозы.

ЛИТЕРАТУРА

Arnon D. I. 1959. Conversion of Light into Chemical Energy in photosynthesis. Nature, vol. 184, № 4679.

Арнон Д. И. 1961. Фотосинтетическое фосфорилирование и единая схема фотосинтеза. V Межд. биох. конгресс. Симпозиум VI. Механизм фотосинтеза, М.

Арнон Д. И. 1962. Хлоропласты и фотосинтез. Структура и функция фотосинтетического аппарата. ИЛ., М.

Кальвин М. 1961. Получение и передача энергии при фотосинтезе. Совр. проблемы биофизики, т. I, изд-во ИЛ., М.

Клешнин А. Ф. 1954. Растение и свет. Изд-во АН СССР. М.

Konagamitsu Yoso, Ono Hayashi. 1961. Образование крахмала в бесхлорофилльных частях листьев пестролистных растений. Рефер. журнал «Биология», № 11.

Лебедев С. И. 1961. Фотосинтез. Изд-во УАСХН, Киев.

Ленингер А. 1961. Преобразование энергии дыхания. Совр. пробл. биофизики, т. I, изд-во ИЛ., М.

Ли Шу-цзюнь. 1959. Фосфорилирование и крахмалообразование в клетках. Рефер. журнал «Биология», № 22.

Ли Шу-цзюнь. 1959. Влияние света на образование из сахарозы крахмала в листовых пластинках. Рефер. журнал «Биология», № 6.

Любименко Н. В. 1935. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Сельхозгиз, М.

Рабинович Е. 1951, 1953. Фотосинтез, т. I, т. II. ИЛ., М.

Seybold A. 1941. Botan. Arch. 42, 254.

Vickery Hubert Bradford 1955. Изменения органических кислот и крахмала в листьях Bryophullum в условиях непрерывного освещения. Рефер. журнал «Биология», № 6.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ БИОСИНТЕЗ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ

М. М. ОКУНЦОВ, Г. Н. КОТЛЯРОВА

Свет оказывает большое влияние на биосинтез аскорбиновой кислоты, и этому вопросу уделяется большое внимание, особенно после того, как было высказано предположение о том, что аскорбиновая кислота непосредственно участвует в процессе фотосинтеза (К. Л. Поволоцкая, 1937; Т. Н. Кузнецова-Зарудная, 1937; В. А. Благовещенский. 1940; А. М. Кузин, 1940). Большинство авторов отмечают положительное влияние света на биосинтез аскорбиновой кислоты (Кузнецова-Зарудная; В. А. Девяткин, 1959; А. М. Смирнов и К. Е. Овчаров, 1960). Поволоцкая сообщает, что для синтеза аскорбиновой кислоты в прорастающих семенах свет не является необходимым, хотя он и увеличивал накопление аскорбиновой кислоты. Кузнецова-Зарудная предполагает, что при прорастании семян возможен переход аскорбиновой кислоты из неактивной в активную форму. Б. А. Рубин (1940) считает, что синтез аскорбиновой кислоты в растениях при наличии углеводов может идти и без света.

Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, Н. С. Спиридонова и О. Т. Лутикова (1939) стимулирующее действие света объясняют тем, что в процессе фотосинтеза образуются подвижные сахара, которые после окислительных превращений дают аскорбиновую кислоту. С. Д. Львов, Г. К. Гуцевич и А. Пантелеев (1945) присоединились к высказанной выше гипотезе, считая, что в процессе фотосинтеза создаются особые активные сахара, из которых легко может синтезироваться молекула аскорбиновой кислоты. В случае отсутствия света, предполагают авторы, синтез аскорбиновой кислоты может идти из наличных сахаров, но в этих условиях он требует более сложных условий для перестройки молекулы сахара

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

в аскорбиновую кислоту, что может привести к задержке или приостановить синтез аскорбиновой кислоты. В. А. Деваткин (1950) показал, что при инфильтрации в листья глюкозы, левулозы, инозита, сорбита, 2-кето-*l*-гулоновой кислоты увеличивается биосинтез аскорбиновой кислоты. Все эти вещества сходны в своем строении, по расположению отдельных атомов в положении 5 и 6 с l-аскорбиновой кислотой. Ишервуд и др. (Isherwood a. oth., цитировано по А. В. Труфанову, 1959) считают, что вероятнее всего синтез аскорбиновой кислоты протекает из галактозы.

Франкэ (Franke Wolfgang, 1961), работая с зелеными и альбиносными проростками конских бобов, установил, что содержание аскорбиновой кислоты у четырехнедельных альбиносных проростков значительное и не уступает таковому у зеленых проростков. Отсюда автор делает вывод об отсутствии прямой связи между фотосинтезом и образованием аскорбиновой кислоты. А. М. Смирнов и К. Е. Овчаров (1960) выращивали изолированные корни на свету и в темноте и обнаружили, что на свету в корнях значительно возросло содержание аскорбиновой кислоты. Так как корни были изолированы от надземных органов, то в синтезе аскорбиновой кислоты хлорофилл не принимал участия. В то же время авторы сообщают, что свет задержал рост корней, и последнее, возможно, могло привести к концентрированию аскорбиновой кислоты на единицу веса корня. Б. А. Рубин в своей работе (1940) привлек внимание к вопросу о влиянии различных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в растениях.

Б. И. Щербаков (1949) исследовал влияние красного света с примесью ультрафиолетового и сине-фиолетового вместе с зеленым и пришел к выводу, что на красном свету с ультрафиолетовым образование аскорбиновой кислоты шло интенсивнее, чем на сине-фиолетовом и зеленом, и наибольшей активностью отличался белый свет. К. Е. Овчаров (1958), выращивая проростки хлопчатника под люминесцентными лампами разного спектрального состава, нашел, что зеленый свет усиливал образование аскорбиновой кислоты, а синий свет задерживал ее образование. М. М. Окунцов, О. А. Роньжина и Е. И. Симонова (1960) показали, что инфракрасный свет способствовал увеличению содержания аскорбиновой кислоты в этилированных проростках, что нельзя связать с фотосинтетическим процессом.

В нашей работе мы не касаемся сложного вопроса о причинах образования аскорбиновой кислоты в неосвещаемых частях растений, в частности, в клубнях картофеля, который может отличаться специфичностью (Я. С. Заверуха, 1951), хотя М. Рэйд (M. Reid, 1938), исследуя образование аскорбиновой кислоты в корнях, нашла, что, когда растение осве-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

щено, в корнях наблюдается большое содержание аскорбиновой кислоты. Автор для объяснения данного факта считает вероятным предположить, что синтезированная в листьях на свету аскорбиновая кислота может быть транспортирована в корни, или в корнях из углеводов образуется аскорбиновая кислота.

Свои исследования по выяснению роли света в биосинтезе аскорбиновой кислоты мы проводили с 6—8-дневными зелеными и этиолированными проростками ячменя. Предварительными анализами было показано, что в 4- и 5-дневных проростках содержание аскорбиновой кислоты мало изменялось от условий освещенности. Растения выращивались на черноземно-луговой почве, влажность которой поддерживалась равной 60% от полной влагоемкости. Перед опытами растения около 40 часов выдерживались в темноте для того, чтобы в них снизилось содержание аскорбиновой кислоты.

Растения освещались в специальных камерах в течение 10 часов. В неосвещенное отделение камеры помещался темновой контроль. С помощью вентилятора поддерживались одинаковые температурные условия в обоих отделениях камеры, так что разница в температуре листьев растений, находящихся в темноте и освещенных светом, не превышала 1°С. Кроме темнового контроля, при работе с отдельными участками монохроматического света вводили световой контроль: растения освещали белым светом ламп БС-30 интенсивностью 16 тыс. эрг/см² сек. Опытные растения освещались светом различного спектрального состава, для получения которого пользовались цветными стеклами с известными характеристиками. В большинстве случаев для того, чтобы получить необходимый участок спектра, проводили наложение нескольких светофильтров.

В табл. 1 приведены характеристики тех светофильтров, которыми пользовались в своих опытах. Для освещения растений смешанным светом нескольких участков спектра применялись соответствующие камеры с несколькими отверстиями для светофильтров, поставленными под определенным углом с тем, чтобы свет различного спектрального состава от разных светофильтров освещал опытные растения. Интенсивности монохроматического света в отдельных случаях приравнивались к интенсивности светового контроля — 16 тыс. эрг/см² сек, в большинстве же случаев для зеленого, синего, фиолетового, ультрафиолетового света они составляли лишь долю от интенсивности светового контроля, так как по техническим причинам не могли получить большие интенсивности монохроматического света.

Освещение растений проводилось в дневные часы, после освещения растения помещались в темноту на ночь, на 12 часов, затем анализировались.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Инфракрасная радиация снималась при освещении слоем воды в 6,5 см (А. Ф. Клешнин, 1954). В тех случаях, когда при освещении водный фильтр не использовался, отмечаем пропускание в инфракрасной области: для зеленого света — 1800—2700 *mμ* и для синего — 1800—3000 *mμ*.

Источниками освещения служили лампы накаливания в 1000, 500 и 300 вт, лампы белого света БС-30, ультрафиолетовые лампы марки ПРК-2.

Таблица 1

Характеристики светофильтров, применявшихся в опытах для получения света определенного спектрального состава

Цвет интервала	Длина волны в *mμ*	Обозначение светофильтров	Наличие водного экрана в 6,5 *см*
Инфракрасный, красный, жёлтый и оранжевый	560—3000	$ОС_{13}$	нет
Инфракрасный	860—3000	$ИКС_3$	нет
Красный с ближним инфракрасным	600—1000	$КС_2$	есть
Желтый и оранжевый*)	560—780	$СЗС_{16}$ $ОС_{13}$	есть
Зеленый**)	480—600	$ЖС_{17}$ $СЗС_{10}$	есть
Зеленый	480—560	$ЖС_{17}$ $СЗС_{10}$ $ПС_7$	есть
Синий и фиолетовый	400—500	$СС_5$ $СЗС_{18}$	есть
Синий	440—500	$ЖС_{12}$ $СС_5$	есть
Фиолетовый	400—460	$ФС_1$ $СЗС_{18}$	есть
Ультрафиолетовый	320—400	УФС-4	нет

*) Со значительным уменьшением интенсивности в красной части спектра.

**) С резким уменьшением интенсивности в жёлтой части спектра.

Аскорбиновую кислоту определяли титрованием 2,6-дихлорфенолиндофенолом, титр краски определяли в день анализа по С. М. Прокошеву.

Для выяснения роли света при биосинтезе аскорбиновой кислоты в листьях растений мы провели опыт с освещением плавающих листьев на 1%-ном растворе глюкозы лампой белого света. Перед опытом растения выдерживались 40 часов в темноте для некоторого снижения уровня аскорбиновой

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

кислоты в проростках. Как растения, так и листья, отделенные от растений и помещенные на 1%-ный раствор глюкозы, освещались в течение 10 часов лампами белого света; контрольные растения и плавающие на глюкозе листья находились в темноте. Данные представлены в табл. 2, из которой следует, что в листьях, плавающих в темноте на 1%-ном растворе глюкозы, концентрация аскорбиновой кислоты осталась такой же, как и в исходных темновых листьях, тогда как следовало бы ожидать значительной прибавки

Таблица 2

Влияние света на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя и в листьях, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Варианты опыта	Условия освещенности	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты в *мг%* в свежих листьях			в % к контролю
				I	II	средн.	
Зеленые проростки 8-дневного ячменя	в темноте	—	10	22,01	21,00	21,50	100,00
Зеленые проростки 8-дневного ячменя	на белом свету	25	10	29,19	27,04	28,12	130,79
Зеленые листья 8-дневного ячменя, плавающие на 1%-ном растворе глюкозы	в темноте	—	10	21,17	19,60	20,38	94,79
Зеленые листья 8-дневного ячменя, плавающие на 1%-ном растворе глюкозы	на белом свету	25	10	40,04	40,92	40,48	188,28

аскорбиновой кислоты от дополнительной глюкозы, поступившей в лист, как добавочного субстрата для синтеза аскорбиновой кислоты, если последний считать исключительно темновым. Под влиянием белого света содержание аскорбиновой кислоты в растущих проростках увеличилось на 30,79%, а в плавающих на 1%-ном растворе глюкозы — увеличилось на 88,28%. Такое большое увеличение аскорбиновой кислоты на свету в плавающих листьях по сравнению с освещенными растущими проростками произошло под влиянием дополнительно поступившего

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

сахара в плавающие листья. Из этих опытов следует, что для образования в зеленых листьях аскорбиновой кислоты недостаточно ввести туда глюкозу, необходимую как материал для синтеза аскорбиновой кислоты. Можно думать, что, по крайней мере, в листьях биосинтез аскорбиновой кислоты не является исключительно только темновым, биохимическим процессом, а для его осуществления необходим свет, который нужен не только для фотосинтетического процесса, а имеет еще и специфическое значение для образования аскорбиновой кислоты в зеленом листе.

Таблица 3

Содержание аскорбиновой кислоты в зеленых 8-дневных проростках овса, плавающих на 1%-ном растворе глюкозы

Условия выращивания проростков	Содержание восстановленной аскорбиновой кислоты в свежих проростках в *мг* %							
	в растущих проростках				в проростках, плавающих в темноте на 1%-ном растворе глюкозы в течение 15 *час*			
	I	II	средн.	в %	I	II	средн.	в %
10 часов на белом свету	47,03	49,04	48,04	100,00	52,19	52,77	52,48	109,24
10 часов в темноте	37,95	41,92	39,94	100,00	43,19	42,09	42,64	106,76
45 часов в темноте	35,46	36,47	35,96	100,00	44,20	44,08	44,14	122,75

Б. А. Рубин (1940) подробно исследовал вопрос о влиянии инфильтрированного в лист сахара на образование в темноте аскорбиновой кислоты. Из его данных следует, что через 20 и 35 часов после введения сахара в листья, находящиеся в темноте, содержание аскорбиновой кислоты оставалось таким же, как и в контроле, и только через 64 и 90 часов после инфильтрации сахара в лист, находящийся в темноте, произошло заметное увеличение содержания аскорбиновой кислоты. Мы повторили данный опыт с тем различием, что проростки овса, предварительно находившиеся на белом свету 10 часов, а также 10 и 45 часов в темноте, затем были помещены в темноту на 15 часов на 1%-ный раствор глюкозы (табл. 3). В проростках, находившихся предварительно 10 часов на свету и 10 часов в темноте, содержание аскорбиновой кислоты после их пребывания на сахарном растворе в темноте в течение 15 часов осталось таким же, как и в исходных проростках. Но в том варианте, когда проростки перед помещением на глюкозу находились 45 часов в темноте, содержание аскорбиновой кислоты в пла-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

вающих листьях на 1%-ном растворе глюкозы повысилось на 22,75%. На основании данных Рубина, а также наших (табл. 2 и 3) следует, что в листьях, плавающих на сахарном растворе в темноте в течение 10—20 и 35 часов, концентрация аскорбиновой кислоты не меняется и остается такой же, что и в исходных листьях, и только после длительного пребывания растений в темноте —45 часов и более — под влиянием введенного сахара происходит увеличение содержания аскорбиновой кислоты, что, по-видимому, связано с глубокими изменениями в листе, происходящими при длительном пребывании растений в темноте.

В связи с тем, что в этиолированных проростках на свету происходит интенсивный биосинтез аскорбиновой кислоты, мы на этих проростках попытались выяснить характер реакции образования аскорбиновой кислоты в зависимости от температуры. Из приведенных данных в табл. 4 следует, что под влиянием белого света и света лампы накаливания в этиолированных проростках ячменя произошло резкое увеличение содержания восстановленной формы аскорбиновой кислоты. Выдерживание этиолированных проростков в темноте при различных температурах, равных 16,5; 25,0 и 28,0°С, в течение 10 часов не сказалось на содержании как восстановленной, так и дегидроаскорбиновой кислоты.

Эти опыты дают основание предположить, что биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых и этиолированных листьях не является исключительно голько темновым, или биохимическим процессом, так как значительное изменение температуры не повлияло на скорость этого процесса. Из этих опытов трудно утверждать, что свет, резко увеличив содержание аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках, оказал влияние на увеличение содержания аскорбиновой кислоты только при помощи фотосинтетического увеличения сахара, так как в листьях, плавающих в темноте на глюкозе (табл. 2), содержание аскорбиновой кислоты не увеличилось, хотя хорошо известно, что глюкоза повышает биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях; и в работе М. М. Окунцова и Н. М. Фроловой (1964) показано, что в листьях, плавающих в темноте на 1%-ном растворе глюкозы, происходит увеличение редуцирующих углеводов до 20%.

Данные, приведенные в табл. 4, имеют еще и методическое значение. Во всех наших опытах освещение растений светом различной интенсивности и на различных участках спектра не давало повышения температуры листьев, которая измерялась при помощи микроэлектротермометра, более чем на 1°С по сравнению с темновым контролем. Такое изменение температуры листьев, как показали приведенные данные, не оказывает влияния на содержание аскорбиновой кислоты в листьях.

Таблица 4

Влияние света и температуры на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Варианты опыта	Условия освещенности	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в *мг%* в свежих листьях								
				восстановленная форма				дегидроаскорбиновая кислота			Сумма	
				I	II	средн.	в %	I	II	средн.	в *мг%*	в % к контр.
Опыт № 1												
Этиолированные 7-дневные проростки	в темноте	—	8	6,76	6,58	6,67	100,00	—	—	—	—	—
Этиолированные 7-дневные проростки	на белом свету	16	8	14,30	15,44	14,87	222,94	—	—	—	—	—
Этиолированные 7-дневные проростки	на свету лампы накаливания	16	8	12,05	12,42	12,24	183,51	—	—	—	—	—
Опыт № 2												
Этиолированные 6-дневные проростки выдерживались при +16,5°С	в темноте	—	10	19,57	18,96	19,26	100,00	3,08	3,76	3,42	22,68	100,00
Этиолированные 6-дневные проростки выдерживались при +25,0°С	в темноте	—	10	18,01	19,22	18,62	96,68	1,87	4,81	3,34	21,96	96,82
Этиолированные 6-дневные проростки выдерживались при +28,0°С	в темноте	—	10	18,60	19,42	19,01	98,70	3,08	3,63	3,36	22,37	98,63

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Для выяснения минимальной интенсивности белого света, при которой начинается биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках, нами проведены опыты, данные которых приведены в табл. 5, откуда следует, что свет интенсивностью 5 тыс. эрг/см² сек резко повысил содержание аскорбиновой кислоты — на 74,16% по сравнению с темновым контролем. При снижении интенсивности белого света до 1 тыс. и 500 эрг/см² сек мы также наблюдаем высокое содер-

Таблица 5

Влияние белого света (лампа БС-31) различной интенсивности на биосинтез аскорбиновой кислоты в 6-дневных зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание восстановленной аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг* %			
			I	II	среднее	в %
Опыт № 1						
В темноте	—	10	18,27	18,27	18,27	100,00
На белом свету	5	10	31,13	32,52	31,82	174,16
На белом свету	1	10	25,02	26,73	25,88	141,65
На белом свету	0,5	10	25,72	24,26	24,99	136,78
Опыт № 2						
В темноте	—	10	7,48	7,34	7,41	100,00
На белом свету	0,4	10	10,61	10,47	10,54	142,24
На белом свету	0,2	10	10,54	8,82	9,68	130,63
На белом свету	0,1	10	9,43	9,75	9,59	129,42
Опыт № 3						
В темноте	—	8	9,42	9,43	9,42	100,00
На свету лампы накаливания	0,08	8	10,51	9,72	10,12	107,43
На свету лампы накаливания	0,02	8	9,05	9,46	9,26	98,30

жание аскорбиновой кислоты в проростках ячменя, равное соответственно 141,65 и 136,78%. Интенсивности, равные 400, 200 и 100 эрг/см² сек, также дали вполне заметное положительное влияние на содержание в зеленых проростках аскорбиновой кислоты, повысив ее содержание по сравнению

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

с темновым контролем соответственно на 42,24; 30,63 и 29,42%. Интенсивности света, равные 20 и 80 эрг/см² сек, оказались запороговыми и не повлияли на содержание аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя. Эти данные позволили нам в опытах освещать проростки светом отдельных участков спектра интенсивностью до 1 тыс. эрг/см² сек, так как на белом свету этой интенсивности и ниже идет биосинтез аскорбиновой кислоты.

Таблица 6

Влияние света на оводненность этиолированных 6-дневных проростков ячменя

Условия освещения, тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Влажность свежих проростков в %		
		I	II	среднее
В темноте	10	92,55	92,36	92,45
На белом свету инт. 16	10	92,14	91,73	91,93
На красном, синем и зеленом свету общей инт. 30	10	92,57	92,28	92,42

Для выяснения вопроса о возможном влиянии света на оводненность проростков нами проведено исследование, данные которого приведены в табл. 6. Освещение проростков в течение 10 часов не сказалось на их оводненности и поэтому не могло сказаться как на скорости биосинтетических процессов от изменения влажности листа, так и на результатах пересчета.

Исследование характера биосинтеза аскорбиновой кислоты под влиянием света в зеленых проростках

Для выяснения вопроса, оказывает ли свет косвенное влияние на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленом листе путем фотосинтетического образования углеводов или специфическое прямое, мы провели ряд опытов, освещая зеленые 6—8-дневные проростки ячменя светом различного спектрального состава. Естественно, нами главное внимание было уделено красному участку спектра, так как на красном свету, как известно, лучше всего протекает фотосинтез, и поэтому можно было бы ожидать на красном свету более интенсивный биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках растений. Результаты опытов сведены в табл. 7 и 8, из которых следует, что на содержание как восстановленной формы аскорбиновой кислоты, так и на суммарное ее содержание весь красный участок спектра — желто-оранжевый, красный и инфракрасный (560—3000 *mμ*) — не оказал влияния, тогда как на белом свету той

Таблица 7

Влияние света красного участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в листьях ячменя в *мг%*								
				в становленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	7	—	10	6,78	7,10	6,94	100,00	1,06	1,18	1,12	8,06	100,00
На желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*) свету	7	16	10	7,60	7,48	7,54	108,64	0,76	0,76	0,76	8,30	102,98
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	13,68	13,94	13,81	198,99	3,34	3,12	3,23	17,04	211,41
Опыт № 2												
В темноте	6	—	10	22,76	23,05	22,90	100,00	9,04	5,37	7,20	30,10	100,00
На красном свету (600—1000 *mμ*)	6	26	10	23,26	23,68	23,47	102,49	6,78	3,35	5,06	28,53	94,78
На белом свету (лампа БС-30)	6	16	10	42,85	40,67	41,76	182,36	1,54	2,24	1,89	43,65	145,02
Опыт № 3												
В темноте	8	—	10	9,90	9,96	9,93	100,00	5,62	5,86	5,74	15,67	100,00
На желто-оранжевом свету (560—780 *mμ*)	8	22	10	9,74	11,31	10,52	105,94	7,42	5,46	6,44	16,96	108,23
На белом свету (лампа БС-30)	8	16	10	18,76	18,41	18,58	187,11	6,61	6,24	6,42	25,00	159,54
Опыт № 4												
В темноте	7	—	10	22,83	19,26	21,04	100,00	4,02	3,29	3,66	24,70	100,00
На красном свету (600—1000 *mμ*)	7	26	10	20,82	22,62	21,72	103,23	3,77	5,27	4,52	26,24	106,23
На инфракрасном свету (880—3000 *mμ*)	7	75	10	18,31	20,72	19,52	92,78	3,34	1,82	2,58	22,10	89,47

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 8

Влияние красного и инфракрасного света на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках овса

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг%*								
				в сстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	средне-нее		
Опыт № 1												
В темноте	8	—	10	47,81	50,13	48,97	100,00	4,84	5,01	4,92	53,89	100,00
На кр сном свету (600—1000 *mμ*)	8	26	10	54,33	52,99	53,66	109,58	2,96	3,33	3,14	56,80	105,40
На инфракрасном свету (860—3000*mμ*)	8	75	10	48,11	47,72	47,92	97,86	5,19	4,28	4,74	52,66	97,72
Опыт № 2												
В темноте	8	—	10	45,78	46,03	45,90	100,00	8,95	8,04	8,50	54,40	100,00
На красном свету (600—1000 *mμ*)	8	26	10	45,88	46,88	46,38	101,04	8,33	12,85	10,59	56,97	104,72
На инфракрасном свету (860—3000*mμ*)	8	75	10	46,05	44,69	45,37	98,94	8,34	9,48	8,91	54,28	99,78

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

же интенсивности содержание восстановленной аскорбиновой кислоты увеличилось по сравнению с темновым контролем на 98,99%, а сумма восстановленной и дегидроформы возросла более чем в два раза.

На красном свету с ближним инфракрасным интенсивностью 26 тыс. эрг/см² сек, что составляет около половины интенсивности в солнечном свету в дневные часы, мы также не обнаружили повышения содержания восстановленной и дегидроаскорбиновой кислоты по сравнению с темновым контролем, тогда как на белом свету всегда наблюдается резкое увеличение как восстановленной аскорбиновой кислоты, так и суммарного ее содержания с дегидроформой. На желто-оранжевом свету (560—780 *mμ*, со значительным уменьшением интенсивности в красной части спектра) интенсивностью 22 тыс. эрг/см² сек и на инфракрасном свету (860—3000 *mμ*) интенсивностью 75 тыс. эрг/см² сек (указанные интенсивности этих участков спектра бывают в солнечном свету в поздние утренние часы) также не наблюдается изменений в содержании аскорбиновой кислоты в зеленых проростках по сравнению с темновым контролем. На основании приведенных данных, а также всех последующих опытов по влиянию света на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках следует, что как белый свет, так и некоторые участки спектра оказывают определенное влияние на содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты, тогда как каких-либо закономерных изменений в содержании дегидроаскорбиновой кислоты под влиянием света не обнаружено.

Приведенные данные позволяют нам утверждать, что весьма интенсивно идущий на белом свету процесс образования аскорбиновой кислоты в зеленых растениях не связан с процессом фотосинтеза, как процессом, доставляющим субстрат для темнового образования аскорбиновой кислоты, так как на свету всего красного участка спектра, а также на красном с ближним инфракрасным и желто-оранжевом свету мы не наблюдаем образования аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя, хотя на этих участках спектра, как известно, фотосинтетический процесс протекает интенсивно.

Наши исследования по выяснению влияния синего участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках (табл. 9) показали, что синий свет интенсивностью свыше 6 тыс. эрг/см² сек не оказал влияния на содержание аскорбиновой кислоты в зеленых проростках, хотя белый свет интенсивностью 1 и тем более 5 тыс. эрг/см² сек (табл. 5) резко повышает биосинтез аскорбиновой кислоты. На одном фиолетовом свету (400—460*mμ*) интенсивностью 1,3 тыс. эрг/см² сек, а также на одном ультрафиолетовом свету (320—400 *mμ*) интенсивностью 1,6 тыс. эрг/см² сек (указанные интенсивности бывают в солнечном свету в утренние часы дня) также не

Таблица 9

Влияние света синего участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг* %								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	8	—	9	19,89	17,85	18,88	100,00	4,04	4,76	4,40	23,28	100,00
На синем свету (440—500 *mμ*)	8	6,6	9	19,58	19,10	19,34	102,44	6,27	7,35	6,81	26,15	112,33
На белом свету (лампа БС-30)	8	16	9	28,59	29,06	28,82	152,65	6,58	8,27	7,42	36,24	155,67
Опыт № 2												
В темноте	8	—	10	14,30	16,84	15,57	100,00	5,39	4,42	4,90	20,47	100,00
На фиолетовом свету (400—460 *mμ*)	8	1,3	10	16,53	16,35	16,44	105,59	5,03	5,93	5,48	21,92	107,08
На белом свету (лампа БС-30)	8	16	10	31,76	27,88	29,82	191,52	5,35	7,10	6,22	36,04	176,06
Опыт № 3												
В темноте	7	—	10	7,29	7,07	7,18	100,00	2,08	1,84	1,96	9,14	100,00
На ультрафиолетовом свету (320—400 *mμ*)	7	1,6	10	7,41	7,10	7,26	101,11	2,53	2,84	2,68	9,94	108,75
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	16,00	15,24	15,62	217,54	2,77	3,80	3,28	18,90	206,78

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

наблюдается повышения содержания аскорбиновой кислоты в зеленых проростках. Отсутствие положительного влияния синего участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках подтверждает наш вывод об отсутствии прямой связи образования аскорбиновой кислоты с фотосинтетическим процессом, так как на синем участке спектра фотосинтез протекает хорошо, и тем не менее на синем свету, а также на фиолетовом и ультрафиолетовом свету мы не наблюдаем повышения биосинтеза аскорбиновой кислоты в зеленых проростках.

Зеленый свет оказал специфическое влияние на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках (табл. 10). При освещении проростков зеленым светом (480—600 *mμ*) интенсивностью 11 тыс. эрг/см² сек (приблизительно такая интенсивность зеленого света бывает в предполуденные часы в солнечном свету) произошло значительное увеличение восстановленной аскорбиновой кислоты в зеленых проростках — на 48,74% по сравнению с темновым контролем и достигло почти половины от увеличения содержания аскорбиновой кислоты в проростках, находящихся на белом свету. Зеленый свет интенсивностью 9 тыс. эрг/см² сек также дает увеличение количества восстановленной аскорбиновой кислоты на 25,98% по сравнению с темновым контролем. Белый свет этой же интенсивности увеличил содержание аскорбиновой кислоты на 86,68%. В опытах с несколько более узким участком спектра зеленого света (480—560 *mμ*) интенсивностью 4,4 тыс. эрг/см² сек мы также видим увеличение в проростках как восстановленной, так и суммы аскорбиновой кислоты. Зеленый свет (480—600 *mμ*) интенсивностью в 1 тыс. эрг/см² сек уже не оказал влияния на биосинтез аскорбиновой кислоты и оказался запороговым.

Проведенные нами опыты по влиянию на биосинтез аскорбиновой кислоты красного, синего и зеленого участков спектра дают нам основание считать, что биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках не является только темновым, или биохимическим процессом, а протекает с обязательным участием фотохимической реакции, которая является специфической и протекает под влиянием зеленого света и не протекает под влиянием отдельных участков красного или синего света. Сейчас трудно что-либо сказать подробнее о фотохимической реакции, протекающей при биосинтезе аскорбиновой кислоты, можно только высказать предположение, что образование аскорбиновой кислоты из глюкозы или галактозы (А. В. Труфанов, 1959) происходит при помощи реакций фотоокисления, которые протекают на зеленом свету.

В своих опытах по выяснению роли зеленого света в фотохимическом биосинтезе аскорбиновой кислоты в зеленых проростках мы обратили внимание на то, что на белом свету

Таблица 10

Влияние зеленого света на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг* %								
				восстановленная форма				дегидрофо ма			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	6	—	10	14,41	14,07	14,24	100,00	—	—	—	—	—
На зеленом свету (480—600 *mμ*)	6	11	10	21,09	21,28	21,18	148,74	—	—	—	—	—
На белом свету (лампа БС-30)	6	16	10	28,41	28,04	28,22	198,17	—	—	—	—	—
Опыт № 2												
В темноте	6	—	10	9,11	9,21	9,16	100,00	—	—	—	—	—
На зеленом свету (480—600 *mμ*)	6	9	10	11,77	11,32	11,54	125,98	—	—	—	—	—
На зеленом свету (480—600 *mμ*)	6	1	10	9,22	9,83	9,52	103,93	—	—	—	—	—
На белом свету (лампа БС-30)	6	9	10	17,22	16,97	17,10	186,68	—	—	—	—	—
Опыт № 3												
В темноте	7	—	10	8,61	8,60	8,60	100,00	2,21	2,36	2,28	10,88	100,00
На зеленом свету (480—560 *mμ*)	7	4,4	10	9,96	9,80	9,88	114,88	3,97	3,77	3,87	13,75	126,38
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	15,89	16,28	16,08	186,98	4,41	3,48	3,94	20,02	184,01
Опыт № 4												
В темноте	8	—	10	15,79	16,45	16,12	100,00	4,75	2,67	3,71	19,83	100,00
На зеленом свету (480—560 *mμ*)	8	4,4	10	19,49	18,22	18,86	117,00	6,71	4,27	5,49	24,35	122,79
На белом свету (лампа БС-30)	8	16	10	25,79	25,17	25,48	158,06	9,94	9,69	9,82	35,30	178,01

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 11

Влияние света смешанных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг %*								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	7	—	10	7,42	7,30	7,36	100,00	1,90	2,07	1,98	9,34	100,00
На зеленом (480—560 *mμ*) и желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*) свету	7	1,4 22	10	9,92	9,61	9,76	132,61	3,36	3,83	3,60	13,36	143,04
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	14,47	15,52	15,00	203,80	2,44	1,84	2,14	17,14	183,51
Опыт № 2												
В темноте	6	—	10	11,38	11,43	11,40	100,00	—	—	—	—	—
На зеленом (480—600 *mμ*) с инфракрасным (1800—2700 *mμ*) и желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*) свету	6	6 22	10	14,16	14,73	14,44	126,67	—	—	—	—	—
На белом свету (лампа БС-30)	6	16	10	23,44	23,07	23,26	204,04	—	—	—	—	—

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг* %								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 3												
В темноте	7	—	10	9,42	9,42	9,42	100,00	—	—	—	—	—
На зеленом (480—560 *mμ*) и сине-фиолетовом (400—500 *mμ*) свету	7	1,4 0,9	10	12,34	11,93	12,14	128,87	—	—	—	—	—
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	17,31	17,50	17,40	184,71	—	—	—	—	—
Опыт № 4												
В темноте	7	—	10	6,15	5,95	6,05	100,00	2,28	1,52	1,90	7,95	100,00
На сине-фиолетовом свету (400—500 *mμ*)	7	3	10	7,39	7,60	7,50	123,97	3,80	4,66	4,23	11,73	147,55
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	14,66	14,53	14,60	241,32	0,89	2,89	1,89	16,49	207,42
Опыт № 5												
В темноте	7	—	10	8,61	8,60	8,60	100,00	2,21	2,36	2,28	10,88	100,00
На сине-фиолетовом (400—500 *mμ*) с инфракрасным (1700—3000 *mμ*) и желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*) свету	7	4 22	10	10,97	10,78	10,88	126,51	2,67	3,09	2,88	13,76	126,47
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	15,89	16,28	16,08	186,98	4,41	3,48	3,94	20,02	184,01

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

фотохимический биосинтез аскорбиновой кислоты идет более интенсивно, чем на одном зеленом свету. Так как отдельные участки красного и синего спектра не оказали положительного влияния на фотохимический биосинтез аскорбиновой кислоты, поэтому мы провели опыты по выяснению роли смешанных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты; данные этих опытов приведены в табл. 11 и 12. При одновременном освещении проростков зеленым светом интенсивностью 1,4 тыс. эрг/см² сек вместе с желто-оранжевым, красным и инфракрасным интенсивностью 22 тыс. эрг/см² сек произошло увеличение содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в зеленых проростках на 32,61% и суммы на 43,04%. При увеличении интенсивности зеленого света до 6 тыс. эрг/см² сек при той же интенсивности и сочетании красного света содержание восстановленной аскорбиновой кислоты увеличилось на 26,67% по сравнению с темновым контролем.

Одновременное освещение проростков зеленым светом (1,4 тыс. эрг/см² сек) с сине-фиолетовым (0,9 тыс. эрг/см² сек) дало увеличение восстановленной формы аскорбиновой кислоты на 28,87% по сравнению с темновым контролем. В этих опытах сочетание зеленого света со всем красным, а также с сине-фиолетовым дало определенное увеличение содержания аскорбиновой кислоты в зеленых проростках. Но величина увеличения содержания аскорбиновой кислоты при сочетании зеленого света со всем красным или с сине-фиолетовым была близкой к увеличению содержания аскорбиновой кислоты на одном зеленом свету (см. табл. 10). Из этих опытов сейчас трудно сделать вывод, влияет ли добавочное освещение красным или сине-фиолетовым светом на интенсивность фотохимического биосинтеза аскорбиновой кислоты, протекающего на одном зеленом свету.

Интересные результаты получились при сочетании тех участков солнечного спектра, которые в чистом виде не оказали влияния на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках. Так, синий и фиолетовый свет по отдельности не оказали влияния на биосинтез аскорбиновой кислоты (табл. 9), тогда как при одновременном освещении зеленых проростков сине-фиолетовым светом биосинтез восстановленной аскорбиновой кислоты увеличился на 23,97%, сумма восстановленной и дегидроаскорбиновой кислоты увеличилась на 47,55%. Сочетание сине-фиолетового света вместе с желто-оранжевым, красным и инфракрасным увеличило содержание восстановленной аскорбиновой кислоты на 26,51%. Белый свет во всех опытах давал резкое увеличение содержания аскорбиновой кислоты в зеленых проростках.

Сочетание зеленого света с сине-фиолетовым, желто-оранжевым, красным и инфракрасным светом (табл. 12) дало увеличение восстановленной аскорбиновой кислоты более чем

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

на 30% по сравнению с темновым контролем при удвоении аскорбиновой кислоты на белом свету.

Обсуждая полученные результаты опытов по выяснению влияния условия освещения на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках, мы приходим к выводу, что биосин-

Таблица 12

Влияние света сине-фиолетового, зеленого и красного участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг%*			
				восстановленная форма			
				I	II	средн.	в %
Опыт № 1							
В темноте	6	—	10	12,91	12,80	12,86	100,00
На сине-фиолетовом (400—500 *mμ*) с инфракрасным (1800—3000 *mμ*);		4					
зеленом (480—600 *mμ*) с инфракрасным (1800—2700 *mμ*);	6	6	10	17,46	18,08	17,77	138,18
желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—1000 *mμ*) свету		4					
На белом свету (лампа БС-30)	6	16	10	27,66	27,33	27,50	213,84
Опыт № 2							
В темноте	7	—	10	10,38	9,63	10,00	100,00
На сине-фиолетовом (400—500 *mμ*) с инфракрасным (1800—3000 *mμ*);		4					
зеленом (480—560 *mμ*) с инфракрасным (1800—2700 *mμ*);	7	4,3	10	13,90	12,84	13,37	133,70
желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*) свету		22					
На белом свету (лампа БС-30)	7	16	10	20,50	20,98	20,74	207,40

тез протекает с участием фотохимических реакций. Опыты с освещением зеленых проростков узкими монохроматическими участками спектра показали, что на биосинтез аскорби-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

новой кислоты не оказывают влияния ультрафиолетовый, фиолетовый, синий, желто-оранжевый, красный и инфракрасный свет и что только зеленый свет способствует биосинтезу аскорбиновой кислоты. Эти данные дали нам основание считать, что биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках не связан с обычным фотосинтезом, так как в противном случае он хорошо протекал бы на красном и синем свету, на которых хорошо идет процесс фотосинтеза.

Полученные нами многочисленные данные, показывающие, что биосинтез аскорбиновой кислоты хорошо протекает на зеленом свету, дали нам основание утверждать, что идущий в зеленых проростках процесс биосинтеза аскорбиновой кислоты состоит не только из темновых, биохимических реакций, но также и из фотохимических реакций, которые являются специфическими и протекают только на зеленом свету. Но при этом необходимо отметить, что на белом свету биосинтез аскорбиновой кислоты протекает значительно интенсивнее, чем на зеленом свету. Тем не менее добавление к зеленому свету красного или синего света заметно не изменяет интенсивность биосинтеза аскорбиновой кислоты, что затрудняет объяснение значительного усиления биосинтеза аскорбиновой кислоты на белом свету по сравнению с одним зеленым, хотя снижение образования аскорбиновой кислоты на одном зеленом свету по сравнению с белым может быть связано с тем, что фильтры, пропускающие зеленый свет ($ЖС_{17}$, $ПС_7$ и $СЗС_{10}$), срезают некоторые пики зеленого света, имеющиеся в свету лампы белого света.

На основании современных представлений (Д. И. Арнон, 1959, 1961; М. Кальвин, 1961; С. И. Лебедев, 1961) мы можем предположить, что фотохимические реакции, участвующие в фотохимическом биосинтезе аскорбиновой кислоты в зеленых проростках, связаны с возникновением в каких-то специфических соединениях макроэргических связей, которые образуются на зеленом свету.

В то же время мы должны обратить внимание на полученные нами данные, когда биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых проростках достаточно хорошо протекает при отсутствии зеленого света, при одновременном освещении красным и синим светом или синим и фиолетовым, т. е. теми участками спектра, которые порознь не оказывают положительного влияния на синтез аскорбиновой кислоты в проростках. Объяснение этим фактам сейчас дать затруднительно. Но в связи с этим мы хотим обратить внимание на то, что, как указывает Труфанов, процесс образования аскорбиновой кислоты в организмах может идти по разным схемам и, как известно, в данное время вероятными признаются две схемы биосинтеза аскорбиновой кислоты: или через глюкозу, или при предварительной изомеризации ее в галактозу.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Исследование особенности биосинтеза аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках

Ниже приведены данные ряда опытов, показывающие влияние света различного спектрального состава на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя.

Прежде всего необходимо отметить, что в этиолированных проростках, так же как и в зеленых, под влиянием света происходит значительное изменение в содержании восстановленной формы аскорбиновой кислоты, тогда как в содержании дегидроаскорбиновой кислоты определенных закономерных изменений под влиянием света не наблюдается. При воздействии красного света с ближним инфракрасным (600—1000 *mμ*) (табл. 13) в этиолированных проростках не наблюдается увеличения восстановленной аскорбиновой кислоты и суммарного ее содержания с дегидроформой, в то время как на белом свету происходит значительное увеличение содержания аскорбиновой кислоты. Эти данные совпадают с результатами, полученными в опытах с зелеными проростками, где красный свет также не оказал положительного влияния на биосинтез аскорбиновой кислоты (табл. 7 и 8), и подтверждают сделанный нами вывод, что биосинтез аскорбиновой кислоты не связан прямо с фотосинтезом, так как в этиолированных проростках после выдерживания их на красном свету в течение 10 часов уже появляется заметное количество хлорофилла и, как известно, после такого длительного экспонирования этиолированных проростков на красном свету в них уже идет фотосинтез, но, несмотря на образовавшиеся в процессе фотосинтеза сахара, увеличения содержания аскорбиновой кислоты не наблюдается.

В табл. 14 приведены данные по влиянию желто-оранжевого, инфракрасного и всего красного участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках. Из этих данных следует, что на всем красном (желто-оранжевом, красном и инфракрасном) участке спектра (560—3000 *mμ*) произошло значительное увеличение восстановленной аскорбиновой кислоты — на 38,30% по сравнению с темновым контролем, что составляет около половины аскорбиновой кислоты, синтезированной на белом свету. Изменение суммы аскорбиновой кислоты оказалось примерно такого же порядка. На желто-оранжевом свету (560—780 *mμ*, со значительным уменьшением интенсивности в красной части спектра) произошло увеличение содержания восстановленной аскорбиновой кислоты на 24,27% по сравнению с темновым контролем, что составляет около половины восстановленной аскорбиновой кислоты, синтезированной на белом свету. Изменение суммы аскорбиновой кислоты произошло в таком же порядке. Оказалось, что влияние на биосинтез аскорбино-

Таблица 13

Влияние красного света на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг%*								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	средн.		
Опыт № 1												
В темноте	8	—	10	33,29	33,56	33,42	100,00	1,83	1,65	1,74	35,16	100,00
На красном свету (600—1000 *mμ*)	8	26	10	36,84	35,73	36,28	108,5[illegible]	3,96	2,58	3,27	39,55	112,48
На белом свету	8	16	10	45,57	48,82	47,20	141,23	5,45	5,20	5,32	52,52	149,37
Опыт № 2												
В темноте	7	—	10	35,92	36,48	36,20	100,00	4,75	4,11	4,43	40,63	100,00
На красном свету (600—1000 *mμ*)	7	26	10	38,24	35,92	37,08	102,43	4,03	5,47	4,75	41,83	102,95
На белом свету	7	16	10	48,98	45,38	47,18	130,33	7,30	7,70	7,50	54,68	134,58

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 14

Влияние света красного участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. эрг/см²сек	Экспозиция в часах	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в мг %								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	7	—	10	11,08	10,63	10,86	100,00	3,51	3,68	3,60	14,46	100,00
На желто-оранжевом, красном и инфракрасном свету (560—3000 *mμ*)	7	17	10	15,41	14,64	15,02	138,30	5,01	5,39	5,20	20,22	139,83
На белом свету	7	16	10	20,53	20,79	20,66	190,24	7,04	7,51	7,28	27,94	193,22
Опыт № 2												
В темноте	7	—	10	15,32	15,42	15,37	100,00	7,88	5,41	6,64	22,01	100,00
На желто-оранжевом свету*) (560—700 *mμ*)	7	22	10	20,12	18,07	19,10	124,27	5,43	5,95	5,69	24,79	112,63
На белом свету	7	16	10	24,55	22,54	23,54	153,16	6,34	5,68	6,01	29,55	134,26
Опыт № 3												
В темноте	8	—	10	33,10	34,63	33,86	100,00	1,88	6,63	4,26	38,12	100,00
На инфракрасном свету (860—3000 *mμ*)	8	25	10	34,76	35,56	35,16	103,84	7,20	6,22	6,71	41,87	109,84
На белом свету	8	16	10	46,81	49,85	48,33	142,73	8,48	6,91	7,70	56,03	146,98
Опыт № 4												
В темноте	7	—	10	12,78	12,90	12,84	100,00	4,98	4,79	4,88	17,72	100,00
На инфракрасном свету (860—3000 *mμ*)	7	75	10	15,95	16,04	16,00	124,61	5,71	3,37	4,56	20,56	116,03
На белом свету	7	16	10	28,15	28,50	28,32	220,56	7,07	4,45	5,76	34,08	192,32

*) С резким уменьшением интенсивности света в красной части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

вой кислоты инфракрасной радиации зависит от ее интенсивности. Так, инфракрасный свет интенсивностью 25 тыс. эрг/см² сек не оказал влияния на биосинтез аскорбиновой кислоты, тогда как при интенсивности 75 тыс. эрг/см² сек содержание восстановленной аскорбиновой кислоты увеличилось на 24,61% по сравнению с темновым контролем. Сумма аскорбиновой кислоты также увеличилась, но на меньшую величину в связи с увеличением ее абсолютного значения.

Синий участок спектра оказал положительное влияние на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя (табл. 15). Так, на одном синем свету (440—500 *mμ*) интенсивностью 6,5 тыс. эрг/см² сек (приблизительно такая интенсивность синего света бывает в утренние часы дня в солнечном свете) содержание восстановленной аскорбиновой кислоты повысилось на 18,47%, а общей — на 16,44% по сравнению с темновым контролем. На одном фиолетовом свету (400—460 *mμ*) интенсивностью 1,3 тыс. эрг/см² сек (приблизительно такая интенсивность бывает в утренние часы в солнечном свете) восстановленная аскорбиновая кислота увеличилась на 20,84%, а общая—на 18,30%. При совместном освещении синим и фиолетовым светом (400—500 *mμ*) содержание аскорбиновой кислоты увеличилось значительно сильнее, чем на одном синем и на одном фиолетовом свету. Восстановленная аскорбиновая кислота под влиянием сине-фиолетового света увеличилась на 46,65%, а сумма — на 42,55%, что составляет около половины прибавки аскорбиновой кислоты на белом свету. Такое значительное увеличение аскорбиновой кислоты на сине-фиолетовом свету по сравнению с одним синим и одним фиолетовым произошло, несмотря на значительное снижение суммарной энергии сине-фиолетового света до 0,9 тыс. эрг/см² сек. Освещение этиолированных проростков ультрафиолетовым светом (320—400 *mμ*) интенсивностью 1,6 тыс. эрг/см² сек (приблизительно такая интенсивность ультрафиолетового света бывает в утренние часы в солнечном свете) привело к повышению восстановленной аскорбиновой кислоты на 27,17%, а суммы —на 67,10%.

На зеленом свету (480—560 *mμ*) интенсивностью 4,4 тыс. эрг/см² сек (приблизительно такая интенсивность зеленого света бывает в утренние часы в солнечном свете) произошло увеличение содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках на 24,57% и общей — на 29,44% (табл. 16).

Рассматривая приведенные данные по влиянию отдельных участков солнечного спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках и сравнивая эти данные с аналогичными данными, полученными с зелеными проростками (см. табл. 7—10), необходимо отметить, что сходные результаты получились на красном свету, на котором биосинтез

Таблица 15

Влияние света синего участка спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг%*								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	средн.	в %	I	II	средн.		
Опыт № 1												
В темноте	8	—	9	24,05	23,27	23,66	100,00	3,00	3,10	3,05	26,71	100,00
На синем свету (440—500 *mμ*)	8	6,5	9	28,52	27,54	28,03	118,47	3,35	2,79	3,07	31,10	116,44
На белом свету	8	16	9	35,91	38,64	37,28	157,56	2,78	3,74	3,26	40,54	151,78
Опыт № 2												
В темноте	7	—	10	14,98	15,34	15,16	100,00	3,69	4,03	3,86	19,02	100,00
На фиолетовом свету (400—460 *mμ*)	7	1,3	10	17,40	19,24	18,32	120,84	3,91	4,44	4,18	22,50	118,30
На белом свету	7	16	10	25,75	24,60	25,18	166,09	3,43	3,14	3,28	28,46	149,63
Опыт № 3												
В темноте	7	—	10	10,45	9,23	9,84	100,00	1,91	1,63	1,77	11,61	100,00
На сине-фиолетовом свету (400—500 *mμ*)	7	0,9	10	14,72	14,14	14,43	146,65	2,17	2,07	2,12	16,55	142,55
На белом свету	7	16	10	17,77	17,90	17,84	181,30	4,80	4,97	4,88	22,72	195,69
Опыт № 4												
В темноте	7	—	10	8,71	9,24	8,98	100,00	0,00	0,29	0,14	9,12	100,00
На ультрафиолетовом свету (320—400 *mμ*)	7	1,6	10	11,68	11,16	11,42	127,17	4,12	3,52	3,82	15,24	167,10
На белом свету	7	16	10	17,96	17,65	17,80	198,22	5,26	5,12	5,19	22,99	252,08

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

аскорбиновой кислоты не шел как в зеленых, так и в этиолированных проростках. Эти данные дают нам основание считать, что синтез аскорбиновой кислоты в растениях прямым путем не связан с фотосинтезом, так как в красных лучах лучше всего идет фотосинтез, и в случае, если бы биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях растений носил бы исключительно только темновой характер, то на красном свету из образовавшихся сахаров как в зеленых, так и в этиолированных проростках мы наблюдали бы увеличенное содержание аскорбиновой кислоты.

Таблица 16

Влияние зеленого света на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенс. света в тыс. *эрг/см²сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг%*								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
В темноте	8	—	10	18,77	18,20	18,48	100,00	5,63	6,39	6,01	24,49	100,00
На зеленом свету (480—560*mμ*)	8	4,4	10	23,44	22,60	23,0-	124,57	8,34	9,03	8,68	31,70	129,44
На белом свету	8	16	10	29,77	33,32	31,54	170,67	7,22	6,67	6,94	38,48	157,12

Зеленый свет также оказал сходное влияние на биосинтез аскорбиновой кислоты как в зеленых, так и в этиолированных проростках, что дало нам основание считать, что биосинтез аскорбиновой кислоты в растениях прямо связан со специфическими фотохимическими реакциями, протекающими на зеленом свету. Остальные участки спектра оказали различное влияние на содержание аскорбиновой кислоты в зеленых и этиолированных проростках. Так, ультрафиолетовый, фиолетовый, синий, желто-оранжевый, весь красный и инфракрасный свет высокой интенсивности способствовал образованию аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках и не оказал влияния на содержание аскорбиновой кислоты в зеленых проростках. Эти особенности биосинтеза аскорбиновой кислоты в этиолированных и зеленых проростках на перечисленных монохроматах пока объяснить трудно.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Большой интерес представляют данные, показывающие, что биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках осуществляется на ультрафиолетовом и на инфракрасном свету высокой интенсивности, то есть на тех участках спектра, на которых, как известно, фотосинтез не протекает. Эти данные также подтверждают вышевысказанное нами предположение, что биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях растений прямо не связан с фотосинтезом, а протекает при участии специфических фотохимических реакций.

В связи с тем, что на свету отдельных участков спектра фотохимический биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках идет менее интенсивно, чем на белом свету, мы провели исследования для выяснения роли смешанных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты. Из полученных данных (табл. 17) следует, что на сине-фиолетовом свету (400—500 *mμ*) с инфракрасным (1800—3000 *mμ*) интенсивностью 4 тыс. эрг/см² сек и всем красном (560—3000 *mμ*) интенсивностью 22 тыс. эрг/см² сек увеличение восстановленной аскорбиновой кислоты произошло на 29,35 и общей на 29,10%, тогда как на белом свету содержание аскорбиновой кислоты увеличилось соответственно на 73,19 и 93,69%.

Более интенсивное увеличение аскорбиновой кислоты произошло при освещении этиолированных проростков зеленым светом (480—560 *mμ*) при интенсивности света, равной 1,4 тыс. эрг/см² сек, в сочетании с общим красным (560—3000 *mμ*) интенсивностью 22 тыс. эрг/см² сек. В этом случае содержание восстановленной аскорбиновой кислоты увеличилось на 89,20% по сравнению с темновым контролем, в то время как на белом свету на 103,34%. Сочетание сине-фиолетового с инфракрасным (4 тыс. эрг/см² сек) и зеленого с инфракрасным (6 тыс. эрг/см² сек) увеличило содержание аскорбиновой кислоты на 29,55%. Сочетание всех трех участков спектра (зеленого с инфракрасным интенсивностью 4,3 тыс. эрг/см² сек, сине-фиолетового с инфракрасным — 4 тыс. эрг/см² сек и всего красного — 22 тыс. эрг/см² сек) также значительно увеличило содержание восстановленной аскорбиновой кислоты на 41,10% по сравнению с темновым контролем, тогда как на белом свету ее содержание увеличилось на 62,92%.

При рассмотрении этих данных следует, что наибольшее увеличение аскорбиновой кислоты происходит в тех вариантах, где есть сочетание зеленого и красного света, хотя, безусловно, выяснение оптимальных сочетаний различных участков солнечного спектра для биосинтеза аскорбиновой кислоты в этиолированных, а также и в зеленых проростках необходимо уточнить, применяя различные интенсивности света. Эти данные показывают, что фотохимические реакции, имеющие

Таблица 17

Влияние света смешанных участков спектра на биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках ячменя

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг %*								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 1												
В темноте	7	—	10	10,91	11,17	11,04	100,00	1,61	1,68	1,64	12,68	100,00
На сине-фиолетовом с инфракрасным (400—500 *mμ*, 1800—3000 *mμ*), желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*)	7	4										
		22	10	14,51	14,05	14,28	129,35	1,85	2,33	2,09	16,37	129,10
На белом свету	7	16	10	19,26	18,97	19,12	173,19	4,96	5,93	5,41	24,56	193,69
Опыт № 2												
В темноте	7	—	10	7,41	8,16	7,78	100,00	1,79	1,32	1,56	9,34	100,00
На зеленом (480—560 *mμ*), желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*)	7	1,4										
		22	10	13,21	16,24	14,72	189,20	0,31	−0,54	−0,12	14,60	156,32
На белом свету	7	16	10	15,83	15,82	15,82	203,34	1,61	1,39	1,50	17,32	185,44

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 17

Условия опыта	Возраст проростков в днях	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Экспозиция в *часах*	Содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях в *мг* %								
				восстановленная форма				дегидроформа			сумма	в % к контролю
				I	II	среднее	в %	I	II	среднее		
Опыт № 3												
В темноте	6	—	10	29,93	30,31	30,12	100,00	—	—	—	—	—
На сине-фиолетовом с инфракрасным (400—500 *mμ*, 1800—3000 *mμ*), зеленом с инфракрасным (480—600 *mμ*, 1800 - 2700 *mμ*)	6	4 6	10	38,91	39,12	39,02	129,55	—	—	—	—	—
На белом свету	6	16	10	49,32	44,12	46,72	155,11	—	—	—	—	—
Опыт № 4												
В темноте	6	—	10	18,29	16,45	17,37	100,00	2,18	2,59	2,38	19,75	100,00
На зеленом с инфракрасным (480—560 *mμ*, 1800—2700 *mμ*), сине-фиолетовом с инфракрасным (400—500 *mμ*, 1800—3000 *mμ*), желто-оранжевом, красном и инфракрасном (560—3000 *mμ*)	6	4,3 4 22	10	24,39	24,63	24,51	141,10	3,04	2,07	2,56	27,07	137,06
На белом свету	6	16	10	28,38	28,21	28,30	162,92	4,06	4,27	4,16	32,46	164,35

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

место при биосинтезе аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках, протекают лучше не на отдельных участках спектра, а при смешении света различных участков солнечного спектра.

Из проведенных нами опытов с освещением как зеленых, так и этиолированных проростков видно, что биосинтез аскорбиновой кислоты протекает при участии специфических фотохимических реакций.

Как известно, количество прореагировавшего вещества при фотохимической реакции является постоянным в том случае, если постоянным является произведение интенсивности света на время его действия (А. Н. Теренин, 1947). В этом плане нами проведен опыт с освещением зеленых проростков ячменя белым светом, при этом переменными величинами являлись интенсивность света (I) и длительность освещения (t). Эти величины были подобраны таким образом, чтобы их произведение оставалось постоянным. При наличии фотохимических реакций в процессе биосинтеза аскорбиновой кислоты следует ожидать постоянное количество синтезированной аскорбиновой кислоты в проростках. Полученные нами данные представлены в табл. 18, из которой следует, что при изменении интен-

Таблица 18

Влияние переменной интенсивности света и времени освещения при постоянстве их произведения на биосинтез аскорбиновой кислоты в 6-дневных зеленых проростках ячменя

Условия опыта	Интенс. света в тыс. эрг/см² сек	Время освещения в часах	Произведение вр. освещ. (t) на интенс. света (I)	Содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты в свежих листьях в мг%			
				I	II	среднее	в %
В темноте	—	—	—	6,46	6,72	6,59	100,00
На белом свету	10	9	90	13,53	11,82	12,68	192,41
На белом свету	15	6	90	13,52	13,27	13,40	203,34
На белом свету	30	3	90	14,70	12,91	13,80	209,41

сивности света (I) от 10 до 15 и 30 тыс. эрг/см² сек и соответственно времени освещения (t) от 9 до 6 и 3 часов их произведение (It) постоянно равнялось 90, при этом содержание восстановленной аскорбиновой кислоты, как продукта реакции, тоже оставалось постоянным. Так, содержание аскорбиновой кислоты в зеленых проростках во всех вариантах под влиянием света увеличилось примерно одинаково — от 92,41 до 109,41% по сравнению с темновым контролем.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Эти данные подтверждают сделанный нами вывод, что биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях является процессом, протекающим с участием специфической фотохимической реакции, и в целом является процессом фотохимическим. Как известно, световые кривые фотосинтеза с увеличением интенсивности освещения изгибаются и при световом насыщении становятся горизонтальными. При сравнительно слабых интенсивностях света практически существует точная пропорциональность между скоростью фотосинтеза и интенсивностью света, и этот участок световой кривой фотосинтеза является линейным. Рабинович (1953) приводит подробные данные границ линейного участка световых кривых фотосинтеза ряда растений и сообщает, что линейный участок световых кривых фотосинтеза обычно простирается от 5 до 10 тыс. эрг/см² сек, хотя в некоторых случаях первые признаки искривления наблюдаются уже при интенсивности света, равной 1 тыс. эрг/см² сек, тогда как в других случаях подъем продолжается до 50 и даже до 100 тыс. эрг/см² сек. Приведенные им световые кривые фотосинтеза целых молодых растений пшеницы показывают, что при интенсивности света около 18 тыс. эрг/см² сек уже наблюдается искривление световой кривой фотосинтеза.

Если предполагать, что биосинтез аскорбиновой кислоты является темновым и его зависимость от фотосинтеза определяется только количеством синтезированных сахаров, и если считать, что все образованные сахара в процессе фотосинтеза или какой-то определенный их процент идут только на образование аскорбиновой кислоты, то и при таких довольно натянутых допущениях мы едва ли бы обнаружили линейную зависимость образования аскорбиновой кислоты при интенсивности 15 и тем более 30 тыс. эрг/см² сек. Отсюда, как нам кажется, следует, что полученные нами данные (табл. 18) подтверждают ранее сделанный нами вывод, что биосинтез аскорбиновой кислоты в растениях не связан прямо с фотосинтезом, а является специфическим фотохимическим процессом.

При обсуждении наших данных по влиянию света различного спектрального состава на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых и этиолированных проростках мы приходим к выводу, что биосинтез аскорбиновой кислоты, протекающий в листьях растений, является специфическим фотохимическим процессом.

Общепринятые представления, заключающиеся в том, что биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях растений является чисто темновым, или биохимическим процессом, связанным с фотосинтезом косвенно, как с процессом, значение которого сводится только к тому, что он доставляет сахара, необходимые для биосинтеза аскорбиновой кислоты, не со-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

гласуются с полученными нами фактами. Если бы биосинтез аскорбиновой кислоты был темновым процессом и был бы связан только лишь с фотосинтезом, то образование аскорбиновой кислоты должно было бы идти в зеленых листьях особенно интенсивно на красном свету, а также на синем свету и в темноте в листьях, плавающих на растворе глюкозы.

Но наши многочисленные исследования показали, что образование аскорбиновой кислоты в зеленых листьях и этиолированных проростках не происходит на красном свету (600—1000 *mμ*). В зеленых листьях аскорбиновая кислота не образуется и на синем свету (440—500 *mμ*). В зеленых листьях, плавающих в темноте на 1%-ном растворе глюкозы, мы также не наблюдали образования аскорбиновой кислоты. Эти данные дали нам основание считать, что биосинтез аскорбиновой кислоты не является только темновым, биохимическим процессом и прямо не связан с фотосинтезом, так как, несмотря на образование углеводов в зеленом листе при фотосинтезе, идущем на одном красном свету или на одном синем свету, и при темновом введении в зеленый лист глюкозы, биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленом листе в этом случае не протекает.

Полученные нами данные по влиянию отдельных монохроматических участков света на биосинтез аскорбиновой кислоты в зеленых листьях растений показали, что из всех участков спектра, исследованных нами, только на одном зеленом свету осуществляется биосинтез аскорбиновой кислоты. Эти данные дали нам основание придти к выводу, что протекающий в зеленых листьях процесс биосинтеза аскорбиновой кислоты состоит не только из темновых, биохимических реакций, но также и фотохимических реакций, которые являются специфическими и в зеленых листьях, из всех монохроматических участков спектра, протекают только на зеленом.

В этиолированных проростках биосинтез аскорбиновой кислоты, так же как в зеленых проростках, не протекает на красном свету и хорошо идет на зеленом свету, что также подтверждает наличие специфических фотохимических реакций в этом процессе. В то же время биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках имеет свои особенности. В отличие от зеленых проростков в этиолированных проростках биосинтез аскорбиновой кислоты осуществляется на всех участках спектра, кроме красного с ближним инфракрасным, — ультрафиолетовом, фиолетовом, синем, зеленом, желто-оранжевом и инфракрасном. Специальный интерес представляют полученные нами данные, показывающие, что биосинтез аскорбиновой кислоты в этиолированных проростках осуществляется на ультрафиолетовом свету

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

(320—400 *mμ*), а также на инфракрасном свету (860—3000 *mμ*) интенсивностью 75 тыс. эрг/см² сек, то есть на тех участках солнечного спектра, на которых фотосинтез не протекает. Эти данные подтверждают наш вывод, что биосинтез аскорбиновой кислоты, протекающий в листьях растений, прямо не связан с фотосинтезом, а является специфическим фотохимическим процессом.

В зеленых проростках нами подмечена особенность биосинтеза аскорбиновой кислоты, которая заключается в том, что, несмотря на отсутствие биосинтеза аскорбиновой кислоты на некоторых монохроматических участках спектра, при их сочетании происходит образование в листьях аскорбиновой кислоты.

Таким образом, в листьях растений протекает фотохимический биосинтез аскорбиновой кислоты, который, вероятно, можно назвать вторичным фотосинтезом, так как субстратом для этого процесса являются углеводы (глюкоза, галактоза и др.), образование которых связано с обычным или первичным фотосинтезом.

Затрагивая вопрос о возможном характере фотохимических реакций при биосинтезе аскорбиновой кислоты в листьях растений, мы можем, на основании работ Арнона, высказать возможное предположение, суть которого заключается в том, что фотохимические реакции, участвующие в биосинтезе аскорбиновой кислоты в листьях растений, связаны с возникновением макроэргических связей в каких-то специфических соединениях под влиянием главным образом зеленого и некоторых других участков солнечного спектра.

ЛИТЕРАТУРА

Arnon D. I., 1959. Nature, vol. 184, № 4679, page 10—21.

Арнон Д. И. 1961. Фотосинтетическое фосфорилирование и единая схема фотосинтеза. V Международный биохимический конгресс. Симпозиум VI. Механизм фотосинтеза.

Благовещенский В. А., 1940. Роль окислительно-восстановительных систем при фотосинтезе. Сб. «Синтез органического вещества и роль витаминов в растении». Изд-во АН СССР.

Девяткин В. А., 1950. Биохимия, т. 15, вып. 4.

Девяткин В. А., 1959. Тр. Бот. ин-та АН СССР, серия 6, вып. 7.

Заверуха Я. С., 1951. Укр. биохим. журнал, 23, № 3.

Кальвин М., 1961. Получение и передача энергии при фотосинтезе. Совр. проблемы биофизики, т. 1. Изд-во ИЛ.

Клешнин А. Ф., 1954. Растение и свет. Изд-во АН СССР.

Кузин А. М., 1940. Роль аскорбиновой кислоты при синтезе углеродной цепи. Сб. «Синтез органич. вещества и роль витаминов в растении». Изд-во АН СССР.

Кузнецова-Зарудная Т. Н., 1937. Динамика превращения витамина С у гороха и роль света в образовании витамина С. Сб. «Проблема витаминов», 2. Изд-во ВАСХНИЛ.

Лебедев С. И., 1961. Фотосинтез. Изд-во УАСХН.

Львов С. Д., Гуцевич Г. К., Пантелеев А., 1945. О функциональном значении витамина С для растения. Уч. зап. Ленингр. гос. ун-та, серия биол. наук, № 75, вып. 15.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Овчаров К. Е., 1958. Роль витаминов в жизни растений. Изд-во АН СССР.

Окунцов М. М., Роньжина О. А., Симонова Е. И., 1960. Тезисы докладов первой конф. физиологов и биохимиков растений Сибири. Иркутск.

Окунцов М. М., Фролова Н. М., 1964. Фотохимическая полимеризация углеводов. Вопросы фотосинтеза, вып. 1. Изд-во Томского университета.

Поволоцкая К. Л., 1937. Витамин С в прорастающих семенах. Сб. «Проблема витаминов», 2. Изд-во ВАСХНИЛ.

Рабинович Е., 1953. Фотосинтез, т. 2. Изд-во ИЛ.

Reid M. E. 1938. American Journal of Botany, vol. 25, page 701.

Рубин Б. А., 1940. Природа, № 6.

Рубин Б. А., 1940. Условия образования витамина С и каротина и их роль в растении. Сб. «Синтез орг. вещества и роль витаминов в растении». Изд-во АН СССР.

Рубин Б. А., Арциховская Е. В., Спиридонова Н. С. и Лутикова О. Т., 1939. Биохимия, т. 4, вып. 3.

Смирнов А. М., Овчаров К. Е., 1960. Физиология растений, т. 7, вып. 2.

Теренин А. Н., 1947. Фотохимия красителей. Изд-во АН СССР.

Труфанов А. В., 1959. Биохимия и физиология витаминов и антивитаминов. Сельхозгиз.

Franke Wolfgang, 1961. Доказательство независимости образования витамина С от фотосинтеза. Реф. журнал «Биология», № 9.

Щербаков Б. И., 1949. ДАН СССР, т. 66, № 6.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА БИОСИНТЕЗ ХЛОРОФИЛЛА В РАСТЕНИЯХ

М. М. ОКУНЦОВ, О. А. РОНЬЖИНА, Е. И. СИМОНОВА

Известно, что для осуществления фотосинтеза растения используют более интенсивно красный и сине-фиолетовый свет. Остальные лучи видимой части спектра поглощаются гораздо меньше. В отношении зеленого света единого мнения нет. Многие авторы считают его совершенно непригодным для фотосинтеза, другие признают, что желто-зеленое излучение определенной интенсивности используется растениями для фотосинтетического процесса.

Основываясь на этом, можно было бы ожидать, что в зеленении растений более эффективными являются красные и сине-фиолетовые спектральные участки. Однако имеющиеся по этому вопросу литературные данные весьма противоречивы. Хотя большинство авторов указывают, что хлорофиллообразование лучше всего протекает на красном и несколько слабее на синем свету, тем не менее в некоторых работах отмечается лучшее образование зеленого пигмента на других спектральных участках. В работе А. Б. Брандта с сотрудниками (1957) отмечается, что при оптимальном уровне облученности (40—60 вт/м²) происходит большее накопление хлорофилла на синем свету по сравнению с красным. При низкой облученности (18—25 вт/м²) наибольшее накопление пигментов наблюдалось при действии красного света и меньшее — при действии синего. Но в работах Брандта участок спектра, пропускаемый используемыми светофильтрами, был недостаточно узким.

Так, синие люминесцентные лампы излучали в области от 400 до 600 $m\mu$ с максимумом от 460 до 540 $m\mu$, т. е. фактически наряду с синими пропускали зеленые и желтые лучи. Красные лампы излучали в области от 520 до 710 $m\mu$ с максимумом между 620 и 680 $m\mu$, т. е. пропускали не только

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

красные, но и зеленые и желто-оранжевые лучи. У жидких светофильтров спектральная область пропускания была менее широкой. Так, в синей камере лучистый поток занимал область от 400 до 550 *mμ* с максимумами при 450—500 *mμ* (включая фиолетовые, синие, зеленые лучи), в красной камере от 600 до 740 *mμ* с максимумом при 660 *mμ* (включая оранжевые и красные лучи). С. М. Соколова (1958), выращивая растения при свете разного спектрального состава, приходит к заключению, что у яровой пшеницы содержание хлорофилла выше при синем свете, чем при красном. У озимой пшеницы наблюдалась тенденция к большему синтезу хлорофилла при красном свете.

Автор указывает, что на синем свету озимые и яровые растения имели более высокое отношение хлорофилла *а* к хлорофиллу *в*.

Соколова в своих опытах (с интенсивностью света, равной $^1/_3$ прямой солнечной радиации) использовала в качестве светофильтров цветной целлофан, возможно, имеющий широкий диапазон пропускания. К сожалению, автор не указывает спектр их пропускания. Е. Я. Ермолаева (1953) наблюдала у растений под влиянием красного света повышенное содержание хлорофилла (за исключением теневыносливого табака) по сравнению с растениями, находившимися в условиях синего света. По-видимому, автор в своих опытах не использовала узкие участки солнечного спектра, так как для получения света определенного качества светофильтры окрашивались красителями (красной анилиновой краской и берлинской лазурью). Кроме того, в ее опытах не устранялась инфракрасная радиация. И. А. Чернавина (1959) нашла, что при выращивании растений (до пяти дней) обеспечивается более интенсивное накопление зеленых пигментов в синих лучах по сравнению с красными (интенсивность радиации равнялась 8 тыс. эрг/см² сек). При более длительном выращивании более эффективным был красный свет.

Но автор не указывает, какую длину волны пропускали использованные им светофильтры. Сэйр (1928) считает, что зеленые лучи являются более благоприятными для образования хлорофилла, чем синие, но через его фильтры проходил широкий участок спектра (например, зеленый фильтр пропускал область от 464 до 630 *mμ*). Х. Рудольф (1933) находит более интенсивное накопление хлорофилла в красных, меньше в желто-зеленых и затем в синих лучах. Франк (1946) отмечает у этиолированных растений два основных максимума поглощения хлорофилла; один в красной области — при 645 *mμ*, а другой в синей области — при 445 *mμ* и два меньших максимума — при 575 *mμ* и 545 *mμ* (т. е. в желтой и зеленой области спектра). Р. Ван Дер Вин и Г. Мейер (1962) сообщают, что хотя все участки видимого спектра эффектив-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ны для образования зеленых пигментов, но отмечают, что синий свет во многих случаях сильнее ускоряет образование хлорофилла, чем красный.

Далее они подчеркивают, что влияние света на образование хлорофилла является сложным. Они обращают внимание на наличие при образовании хлорофилла двух различных реакций на свет. Так, например, при действии на этиолированные проростки фасоли вначале слабым светом, а затем светом высокой интенсивности образование хлорофилла идет лучше на синем, а не на красном свету. При освещении этиолированных проростков светом слабой интенсивности были получены противоположные результаты, а именно: на красном свету хлорофиллообразование шло интенсивнее, чем на синем, что согласуется с вышеприведенными данными Брандта. Эффект от красного освещения погашался последующим освещением инфракрасным светом. В работе сообщается, что некоторые растения, такие как мирабилис и ривина, при выращивании их на сильном красном свету образуют только несколько нормальных зеленых листьев, а в последующем образующиеся листья оказываются полностью лишенными хлорофилла.

Авторы подчеркивают, что зеленый свет для образования хлорофилла был неэффективным. Сравнивая влияние света различного спектрального состава на такие физиологические процессы, связанные с действием света, как хлорофиллообразование, фотопериодическая реакция, фотоморфогенез, авторы выделяют зеленый свет (500—550 *mμ*), как область спектра, вызывающую наименьшую отзывчивость у растений. Они рекомендуют при работах с растениями, когда необходимо избегать влияния света, применять слабое зеленое освещение, как практически не оказывающее влияния на растение и, в частности, на хлорофиллообразование, фотопериодизм и пр. Дж. Уокен (1962) приводит кривую, характеризующую спектр действия для синтеза хлорофилла в эвглене, из которой хорошо видно, что поглощение в голубой части спектра (400—440 *mμ*) менее эффективно, чем в красной. По мнению автора, это означает, что некоторые пигменты, вероятнее всего каротиноиды, защищают молекулу хлорофилла от действия синего света. Желто-оранжевый, зеленый и синий участки спектра показали весьма слабую активность.

Из краткого обзора литературных данных, касающихся влияния света отдельных участков спектра на биосинтез хлорофилла, мы видим, что их противоречивость является не только случайностью, связанной с тем, что у различных авторов применяемый ими свет обладал различным спектральным составом, а также, по-видимому, и сложностью влияния света различного спектрального состава на процесс

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

хлорофиллообразования и, возможно, наличием некоторой специфики у отдельных растений, что, в частности, видно из цитированных выше данных о влиянии красного света на образование хлорофилла в листьях растений мирабилис и ривина.

В нашей работе изучалось накопление хлорофиллов растениями при освещении их светом различных спектральных областей и интенсивностей. Объектом наших исследований служили 6-дневные (а в отдельных опытах 4-дневные) проростки этиолированного и зеленого ячменя в фазе одного листа. Определенные участки солнечного спектра получали с помощью стеклянных светофильтров, спектральная характеристика которых представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика светофильтров, применявшихся в опытах для получения света определенного спектрального состава

Цвет интервала	Длина волны в *mμ*	Обозначения светофильтров	Водный экран в 6,5 *см*
Инфракрасный	860—3000	$ИКС_3$	нет
Красный, оранжевый	600—1000*)	$КС_2$	есть
Красный с ближним инфракрасным	620—1000*)	$КС_{13}$	есть
Желто-оранжевый	560—780**)	$СЗС_{16}, ОС_{13}$	есть
Желтый	560—600	$СЗС_{16}, ЗС_7, ОС_{13}$	есть
Зеленый	480—600***)	$СЗС_{10}, ЖС_{17}$	есть
Синий	440—500	$СС_5, ЖС_{12}$	есть
Фиолетовый	400—460	$ФС_1, СЗС_{18}$	есть
Ультрафиолетовый	320—400	$УФС_4$	нет
Инфракрасный, красный, желтый, оранжевый	560—3000	$ОС_{13}$	нет
Синий, фиолетовый	400—500	$СС_5, СЗС_{18}$	есть

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

На рис 1. изображен спектр пропускания зеленого света, полученного при наложении светофильтров $СЗС_{10}$ и $ЖС_{17}$, из которого следует, что данные светофильтры пропускают незначительное количество желтых лучей. Для краткости свет, пропускаемый данными светофильтрами, мы в дальнейшем будем называть зеленым. На рис. 2 изображен спектр пропускания светофильтров $СЗС_{16}$ и $ОС_{13}$, при наложении

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

они пропускают желто-оранжевый свет и небольшое количество главным образом коротковолнового красного света. В дальнейшем изложении свет, пропускаемый через эти светофильтры, мы будем называть условно желто-оранжевым. На рис. 3 приведен спектр пропускания светофильтров СЗС$_{16}$, ЗС$_7$ и ОС$_{13}$, которые при наложении дают желтый свет с незначительной примесью красного света. Дальняя инфра-

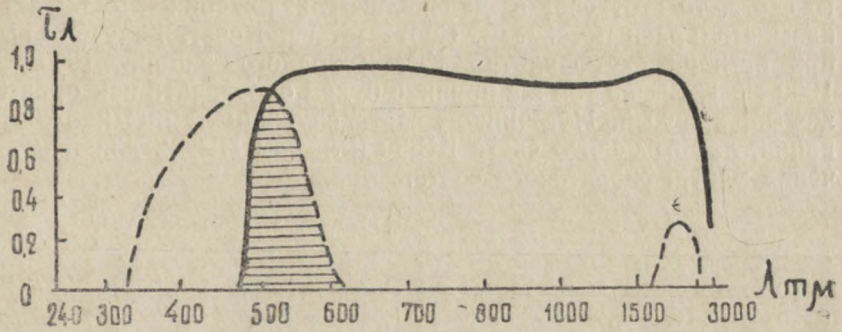

Рис. 1. Спектр пропускания зеленого света при наложении двух светофильтров:
1 - - - спектр пропускания светофильтра СЗС$_{10}$;
2 — спектр пропускания светофильтра ЖС$_{17}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания зеленого света в области 480—600 *mμ* с резким уменьшением в желтой части спектра.

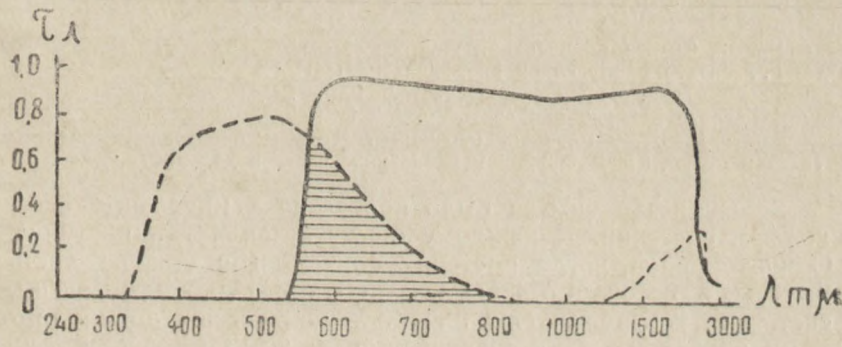

Рис. 2. Спектр пропускания желто-оранжевого света при наложении двух светофильтров:
1 — — — спектр пропускания светофильтра СЗС$_{16}$;
2 — спектр пропускания светофильтра ОС$_{13}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания желто-оранжевого света со значительным уменьшением в красной части спектра.

красная радиация от 1000 до 3000 *mμ* снималась при помощи водного экрана толщиной в 6,5 см (А. Ф. Клешнин, 1954). Ближняя инфракрасная радиация — 860—1000 *mμ*, прошедшая через инфракрасный фильтр и водный экран, оказалась небольшой интенсивности.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Так, например, если пропустить через фильтр ИКС$_1$ инфракрасный свет интенсивностью 25 тыс. эрг/см^2 сек, то при наличии водного экрана интенсивность коротковолновой части снизится до 1 тыс. эрг/см^2 сек. Красный свет мы получали при помощи светофильтра КС$_{13}$ с применением водного экрана (620—1000 *mμ*). Так как водный экран пропускает сравнительно небольшое количество ближнего инфракрасного света, то этот свет в дальнейшем изложении мы будем называть красным светом. Соответственно свет, полученный при помощи светофильтра КС$_2$ и водного экрана (600—1000 *mμ*), мы по той же причине будем обозначать как оранжевый, красный. Источником света служили лампы накаливания, лампы белого света БС-30 и лампы ПРК-2 для получения ультрафиолетового света.

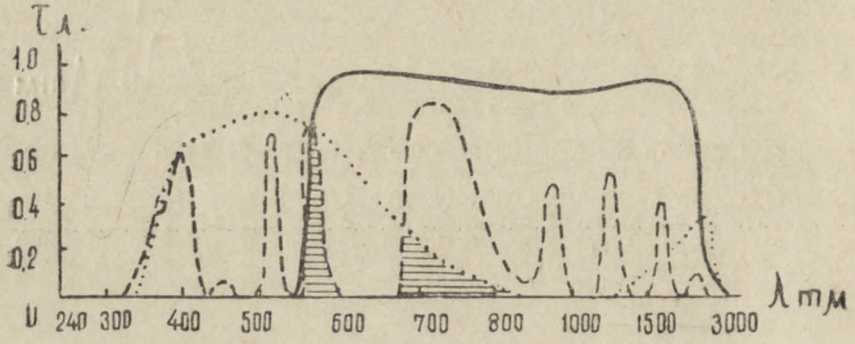

Рис. 3. Спектр пропускания желтого света:
1... спектр пропускания светофильтра СЗС$_{16}$;
2— — — спектр пропускания светофильтра ЗС$_7$;
3— спектр пропускания светофильтра ОС$_{13}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания желтого света в области 560—600 *mμ* и небольшую часть в дальней красной.

Большинство опытов было проведено с 10-часовым освещением растений. К каждому опыту ставили два контроля. Один темновой, когда растения помещали в темную часть камеры, в которой освещались опытные растения. Другим, световым, контролем служили растения, освещавшиеся лампами белого света интенсивностью в 20 тыс. эрг/см^2 сек. После освещения в отдельных опытах растения оставляли на ночь в течение 14 часов в темноте, после чего их анализировали. В некоторых опытах растения сразу после освещения фиксировали в ацетоне при температуре твердой углекислоты (Д. Н. Сапожников и др., 1957).

Один из опытов был поставлен с выращиванием растений на красном, желто-оранжевом, зеленом, синем и белом свету выравненной интенсивности, равной 9 тыс. эрг/см^2 сек. Этиолированный ячмень в фазе колеоптиля освещали в течение 3 дней по 8 часов светом указанных участков спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Определение пигментов проводили на спектрофотометре СФ-4 без предварительного их хроматографического разделения на бумаге. Расчеты приведены в γ на 1 г свежих листьев.

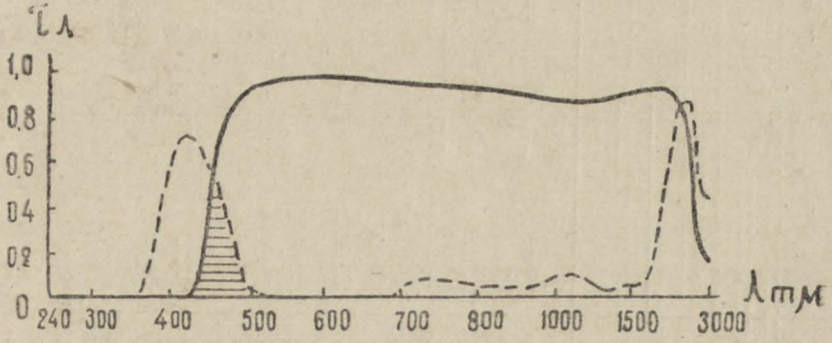

Рис. 4. Спектр пропускания синего света при наложении двух светофильтров:
1 - - - спектр пропускания светофильтра $СС_6$;
2 — спектр пропускания светофильтра $ЖС_{12}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания синего света в области 440—500 *mμ*.

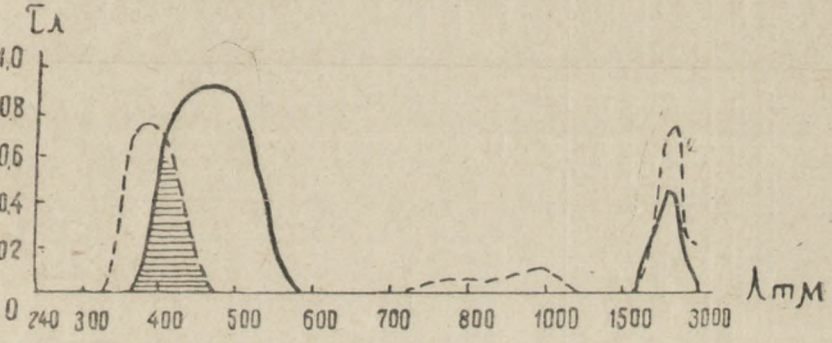

Рис. 5. Спектр пропускания фиолетового света при наложении двух светофильтров:
1 - - - спектр пропускания светофильтра $ФС_1$;
2 — спектр пропускания светофильтра $СЗС_{18}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания фиолетового света в области 400—460 *mμ*.

Полученные нами данные представлены в табл. 2—7. Из табл. 2, 3, 4, 5 видно, что для образования хлорофилла *а* и *в* в этиолированных проростках ячменя наиболее благоприятными оказались зеленый и особенно желто-оранжевый свет. Этот результат наблюдался при интенсивностях желто-оранжевого света, равных 20 и 9 тыс. эрг/см² сек, и зеленого света интенсивностью 9 тыс. эрг/см² сек. Содержание хлоро-

Таблица 2

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в 6-дневных этиолированных проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещенности	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Хлорофилл					
			a		*в*		сумма	в % к контролю
			повторности	среднее	повторности	среднее		
На красном, оранжевом свету	600—1000*)	25	242,72 274,39	258,55	36,52 41,64	39,08	297,63	73
На желто-оранжевом свету	560—780**)	20	386,24 395,62	390,93	59,55 55,97	57,76	448,69	110
На белом свету		20	363,18 352,06	357,62	45,77 52,20	48,98	406,60	100
На желто-оранжевом, красном и инфракрасном свету	560—3000	20	230,61 221,71	226,16	25,91	25,91	252,07	64
На сине-фиолетовом свету	400—500	2	183,33 197,80	190,56	27,21	27,21	217,77	55
На белом свету		20	369,49 325,71	347,60	40,87 50,39	45,63	393,23	100

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Продолжение таблицы 2

Условия освещенности	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Хлорофилл *a* повторности	Хлорофилл *a* среднее	Хлорофилл *в* повторности	Хлорофилл *в* среднее	сумма	в % к контролю
На красном свету	620—1000*)	25	431,22 374,77	402,99	96,21 73,56	84,88	487,87	81
На белом свету		20	491,58 515,63	503,60	98,51 95,82	97,16	600,76	100
На красном свету	620—1000	50	559,57 595,90	577,73	206,43 193,71	200,07	777,80	78
На зеленом свету	480—600***)	9	603,19 661,86	632,52	196,88 220,24	208,56	841,08	85
На белом свету		20	760,13 786,08	773,10	214,24 220,56	217,40	990,50	100

*) С небольшой интенсивностью света в ближней инфракрасной части спектра.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 3

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в этиолированных проростках ячменя (хлорофилл в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Возраст проростков в днях	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см² сек*	Хлорофилл					
				а		*в*		сумма	в % к контролю
				повторности	среднее	повторности	среднее		
На красном свету	6	620—1000*)	9	359,67 334,51	347,09	42,08 57,36	49,72	396,81	66
На желто-оранжевом свету	6	560—780**)	9	492,99 518,73	505,86	130,06 138,34	134,20	640,06	106
На белом свету	6		20	491,58 515,63	503,60	98,51 95,82	97,16	600,76	100
На желтом свету	6	560—600	9	393,24 371,62	382,43	50,46 41,78	46,14	428,57	82
На белом свету	6		20	444,39 464,41	454,40	57,54 73,09	65,32	519,72	100
На зеленом свету	6	480—600***)	9	725,53 615,86	670,69	89,17 74,14	81,65	752,34	93
На белом свету	6		20	701,16 710,32	705,74	109,32 95,59	102,45	808,19	100

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 3

Условия освещения	Возраст проростков в днях	Длина волны в $m\mu$	Интенсивность света в тыс. $эрг/см^2$ $сек$	Хлорофилл					
				а		*в*		сумма	в % к контролю
				повторности	среднее	повторности	среднее		
На зеленом свету	6	480—600***)	9	603,19 661,86	632,52	196,88 220,24	208,56	841,08	85
На белом свету	6		20	760,13 786,08	773,10	214,24 220,56	217,40	990,50	100
На синем свету	6	440—500	9	204,99 255,50	230,24	26,08 40,33	33,20	263,44	47
На белом свету	6		20	478,92 511,29	495,10	53,60 79,70	66,65	561,75	100
На красном свету	4	620—1[illegible]00*)	9	459,37 504,34	481,85	123,02 129,88	126,45	608,30	64
На желто-оранжевом свету	4	560—780**)	9	571,23 622,62	596,92	157,64 169,41	163,52	759,74	80
На зеленом свету	4	480—600***)	9	630,34 644,18	637,26	189,05 187,22	188,13	825,39	87
На белом свету	4		20	714,13 738,40	726,26	208,09 231,98	220,03	946,29	100

*), **), ***) — аналогичны таковым в табл. 2.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

филлов на зеленом и желто-оранжевом свету было близким к их содержанию на белом свету, а на желто-оранжевом даже в отдельных случаях было выше, чем на белом свету, несмотря на то, что интенсивность последнего была равна или даже выше, чем зеленого и желто-оранжевого света.

Желтый свет интенсивностью 9 тыс. эрг/см² сек оказал на хлорофиллообразование сходное влияние с желто-оранжевым и зеленым светом при равных интенсивностях. На красном свету образование хлорофиллов идет заметно слабее, чем на зеленом, желто-оранжевом и желтом. Изменение интенсивности красного света от 9 до 50 тыс. эрг/см² сек не оказало заметного влияния на содержание как хлорофилла *а*, так и хлорофилла *в*. Оранжевый и красный свет, при равных интенсивностях, оказал сходное влияние с одним красным светом на биосинтез хлорофиллов. Весь красный свет— желтый, оранжевый, красный, инфракрасный (560—3000 *mμ*)—интенсивностью 20 тыс. эрг/см² сек дал некоторое снижение содержания хлорофилла *а* и особенно хлорофилла *в* по сравнению с красным, а также оранжево-красным и особенно с желто-оранжевым, при равных интенсивностях света. Синий свет интенсивностью 9 и 11 тыс. эрг/см² сек показал менее эффективное влияние на процесс хлорофиллообразования по сравнению со всеми исследованными участками спектра при равной интенсивности света.

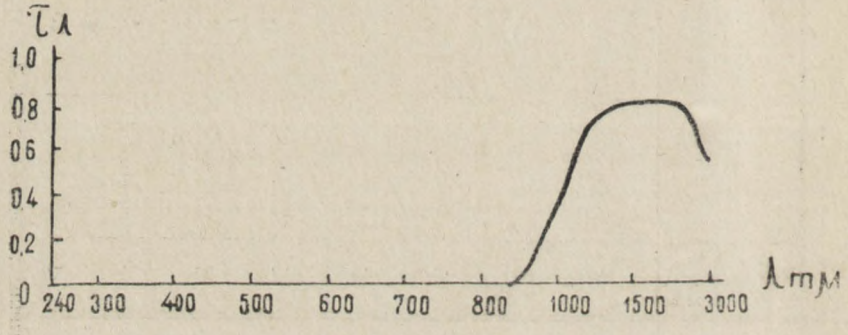

Рис. 6. Спектр пропускания инфракрасного света, полученного через светофильтр ИКС₃.

Данные по влиянию слабой интенсивности света (1 тыс. эрг/см² сек) на биосинтез хлорофиллов представлены в табл. 4 и частично в табл. 2, из которых следует, что хлорофиллы *а* и *в* также лучше всего образуются на желто-оранжевом и зеленом свету. На желтом, а также на фиолетовом и ультрафиолетовом свету наблюдается высокое содержание хлорофиллов, хотя и несколько меньше, чем на желто-оранжевом и зеленом. Значительно слабее шло образование

Таблица 4

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в 6-дневных этиолированных проростках ячменя (хлорофилл в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в mμ	Интенсивность света в тыс. эрг/см²сек	Хлорофилл					
			а		*в*		сумма	в % к контролю
			повторности	среднее	повторности	среднее		
На красном свету	620—1000	1	129,30 160,23	144,76	24,98 40,78	32,88	177,64	21
На желто-оранжевом свету	560—780**)	1	330,75 333,01	331,88	98,52 99,20	98,86	430,74	52
На желтом свету	560—600	1	188,39 222,66	205,52	39,18 58,50	48,84	254,36	30
На фиолетовом свету	400—460	1	220,14 226,36	223,25	62,47 61,68	62,07	285,32	34
На белом свету		20	619,12 628,56	623,84	197,72 222,32	210,02	833,86	100
На зеленом свету	480—600***)	1	321,12 322,11	321,61	81,78 70,12	75,95	397,56	42
На белом свету		20	714,13 738,40	726,26	208,09 231,98	220,03	946,29	100

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 4

Условия освещения	Длина волны в $m\mu$	Интенсивность света в тыс. $эрг/см^2сек$	Хлорофилл					
			а		*в*		сумма	в % к контролю
			повторности	среднее	повторности	среднее		
На синем свету	440—500	1	85,78 69,99	77,88	10,78 7,62	9,20	87,08	15
На белом свету		20	478,92 511,29	495,10	53,60 79,70	66,65	561,75	100
На ультрафиолетовом свету	320—400	1,3	277,06 276,67	276,86	80,14 71,28	75,71	352,57	36
На белом свету		20	760,13 786,08	773,10	214,24 220,56	217,40	990,50	100

*), **), ***)—аналогичны таковым в табл. 2

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 5

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в 6-дневных этиолированных проростках ячменя. Листья ячменя фиксировались в охлажденном ацетоне (хлорофилл в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Хлорофилл					
			а		*в*		сумма	в % к контролю
			повторн.	среднее	повторн.	среднее		
На красном свету	620—1000*)	50	709,80 707,70	708,75	240,10 286,23	263,16	971,91	64
На желто-оранжевом свету	560—780**)	20	866,00 829,80	847,90	319,88 388,27	354,07	1201,97	79
На синем свету	440—500	11	393,11 347,70	370,40	109,00 77,92	93,46	463,86	31
На белом свету		20	1037,30 1103,30	1070,30	426,21 456,60	441,40	1511,70	100
На зеленом свету	480—600***)	9	623,76 569,76	596,76	249,87 243,27	246,57	843,33	78
На белом свету		20	691,35 779,23	735,29	329,49 352,29	340,89	1076,18	100

*) С небольшой интенсивностью света в ближней инфракрасной части спектра.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

хлорофиллов на красном свету. На синем свету процесс хлорофиллообразования был замедлен.

В специальной постановке нами выяснялось влияние выращивания этиолированных проростков при освещении их светом различного спектрального состава на биосинтез хлорофиллов. Освещению были подвергнуты этиолированные проростки ячменя в фазу колеоптеля. Проростки освещались в течение 3 дней по 8 часов. Интенсивность света была равна 9 тыс. эрг/см² сек. Из приведенных данных (табл. 6) следует, что наиболее активными в образовании хлорофилла *а* и хлорофилла *в* оказались желто-оранжевый, а также зеленый свет, которые показали сходные результаты. Значительно слабее шло образование хлорофиллов на красном свету. Меньше всего содержалось хлорофилла в проростках, которые освещались синим светом.

Таблица 6

Влияние длительного освещения (в течение трех дней по 8 часов) светом различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в 4-дневных проростках ячменя (хлорофилл в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенс. света в тыс. *эрг/см²сек*	Хлорофилл					
			а		*в*		сумма	в % к контролю
			повторн.	среднее	повторн.	среднее		
На красном и ближнем инфракрасном свету	620—1000*)	9	699,37 709,05	704,21	220,14 220,78	220,46	924,67	53
На желто-оранжевом свету	560—780**)	9	963,98 984,20	974,09	331,02 349,93	340,47	1314,56	76
На зеленом свету	480—600***)	9	984,35 956,01	970,18	346,96 335,12	341,04	1311,22	76
На синем свету	440—500	9	496,48 495,89	496,18	152,00 142,50	147,25	643,43	37
На белом свету		9	1194,27 1273,46	1233,86	496,70 503,88	500,29	1734,15	100

Кроме выяснения вопроса о влиянии различного света на биосинтез хлорофиллов в этиолированных проростках, мы исследовали также влияние света различного спектрального

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

состава на содержание хлорофиллов в зеленых листьях ячменя, предварительно выдержанных 12—13 часов в темноте. Из приведенных данных (табл.7) следует, что на белом свету интенсивностью 20 тыс. эрг/см² сек во всех опытах происходит заметное увеличение как хлорофилла *а* (от 20 до 43%), так и хлорофилла *в* (от 23 до 54%). На инфракрасном свету интенсивностью 25 тыс. эрг/см² сек, а также на красном интенсивностью 25 и 50 тыс. эрг/см² сек не произошло увеличения хлорофиллов. Весьма интересным оказалось влияние зеленого света, на котором произошло значительное увеличение в зеленых листьях хлорофилла *а* (на 24%) и заметное увеличение хлорофилла *в* (на 17%). Желто-оран-

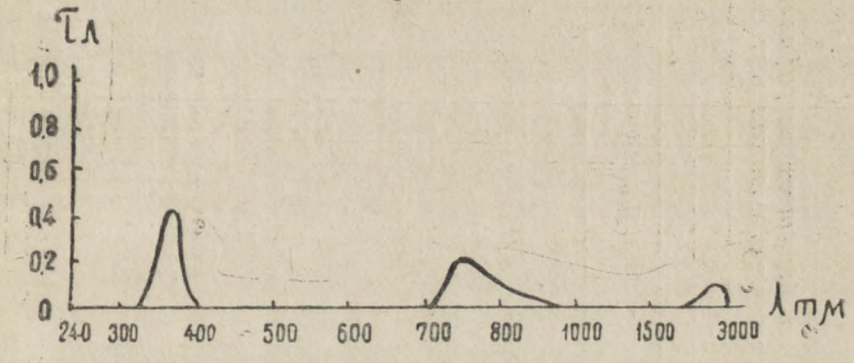

Рис. 7. Спектр пропускания ультрафиолетового света, полученного через светофильтр $УФС_4$.

жевый свет не оказал влияния на содержание в зеленых листьях хлорофилла *а* и несколько повысил содержание хлорофилла *в*.

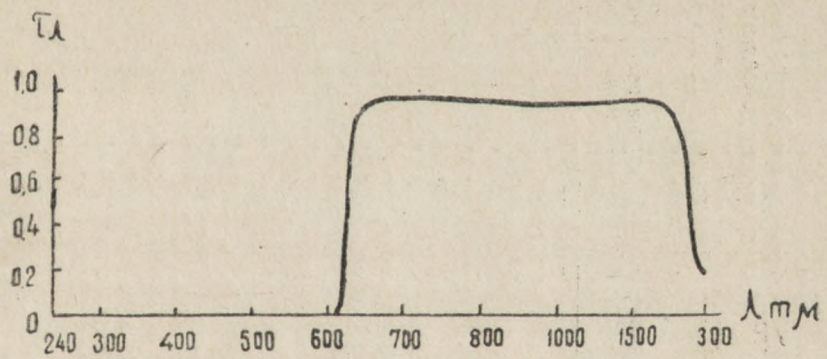

Рис. 8. Спектр пропускания красного светофильтра $КС_{13}$.

Обсуждая полученные нами данные о влиянии различных участков спектра на биосинтез хлорофиллов, мы установили, что при освещении этиолированных проростков ячменя

Таблица 7

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез хлорофилла в 6-дневных зеленых проростках ячменя (хлорофилл в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Хлорофилл					
			a		*в*		сумма	в % к контролю
			повторности	среднее	повторности	среднее		
			1393,19		659,18			
В темноте			1489,40	1441,29	717,49	688,33	2129,62	100
			1375,28		749,63			
На инфракрасном свету	860—3000	25	1406,65	1390,96	705,05	727,34	2118,30	99
			1646,25		852,87			
На белом свету		20	1807,98	1727,11	841,04	846,95	2574,06	121
			1592,38		805,20			
В темноте			1466,26	1529,32	727,61	766,40	2295,72	100
			1516,20		772,27			
На красном свету	620—1000*)	50	1573,31	1544,75	651,40	711,83	2256,58	98
			1647,59		885,65			
На желто-оранжевом свету	560—780**)	20	1621,54	1634,56	881,51	883,58	2518,14	110
			1939,42		1012,80			
На белом свету		20	2075,26	2022,34	1067,20	1040,00	3062,34	133

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 7

Условия освещения	Длина волны в $m\mu$	Интенсивность света в тыс. $эрг/см^2сек$	Хлорофилл					
			a		*в*		сумма	в % к контролю
			повторности	среднее	повторности	среднее		
В темноте			1360,60 1351,90	1356,25	567,90 551,70	559,80	1916,05	100
На красном свету	620—1000*)	25	1233,40 1193,00	1213,20	533,50 504,50	519,00	1732,20	90
На зеленом свету	480—600***)	9	1629,10 1731,60	1680,35	630,10 685,60	657,85	2338,20	122
На белом свету		20	1808,90 2078,40	1943,65	819,40 904,90	862,15	2805,80	146

*) С небольшой интенсивностью света в ближней инфракрасной части спектра.
**) Со значительным уменьшением пропускания света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением пропускания света в жёлтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

светом повышенной интенсивности наиболее эффективными оказались зеленый, желто-оранжевый и желтый свет. На красном свету совместно с ближним инфракрасным (620—1000 *mμ*, 9 тыс. эрг) образовалось меньшее количество хлорофилла в проростках, которое заметно не изменилось при освещении растений этим участком спектра повышенной интенсивности (25 тыс. и 50 тыс. эрг). Дополнительное прибавление к нему оранжевого света не изменило полученных результатов. Наоборот, при добавлении света дальней инфракрасной радиации образование хлорофиллов заметно снизилось, что согласуется с литературными данными о тушении хлорофиллообразования инфракрасной радиацией. Синий свет оказался значительно менее эффективным, чем красный той же интенсивности и особенно по сравнению с зеленым, желто-оранжевым и желтым светом. В опытах с трехдневным выращиванием проростков ячменя на свету отдельных участков спектра, а также при освещении этиолированных проростков светом слабой интенсивности, равной 1 тыс. эрг/см² сек, мы также обнаружили более эффективное образование хлорофиллов на желто-оранжевом и зеленом свету. При слабых интенсивностях хороший эффект получается на фиолетовом, ультрафиолетовом и желтом участках спектра.

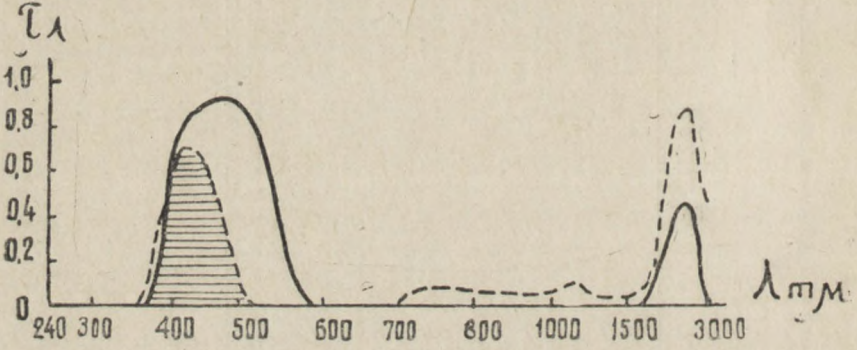

Рис. 9. Спектр пропускания сине-фиолетового света при наложении двух светофильтров:
1 - - - спектр пропускания светофильтра $СС_5$.
2— спектр пропускания светофильтра $СЗС_{18}$.
Заштрихованная площадь обозначает спектр пропускания сине-фиолетового света в области 400—500 *mμ*.

Из наших данных следует, что для процесса образования хлорофиллов в этиолированных проростках ячменя более эффективной оказалась средневолновая часть спектра, включающая зеленый, желтый и оранжевый свет.

Слабая эффективность синего света при процессе хлорофиллообразования хорошо согласуется с представлениями Уокена, который считает, что каротиноиды, имеющие макси-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

мум поглощения в синей части спектра, «защищают» молекулу хлорофилла от его действия. В наших опытах при недостаточно высоких интенсивностях синего света его слабое влияние на процесс хлорофиллообразования, по-видимому, можно объяснить тем, что каротиноиды поглощали значительную часть этого света. Фиолетовый свет менее интенсивно поглощается каротиноидами, и поэтому даже при слабых интенсивностях мы наблюдаем его высокую эффективность для процесса хлорофиллообразования.

Высокую эффективность средневолнового участка спектра и особенно зеленого и желтого света мы связываем с данными, приведенными в работе Уокена о наличии побочных максимумов в спектрах действия для образования хлорофилла. Для проростков овса они оказались 575, 545 *mμ*; для проростков мутанта альбино пшеницы 593, 548 *mμ* и для эвглены 590, 510 *mμ*. Кроме того, автор, приводя спектры поглощения протохлорофилла, кроме основных, общеизвестных

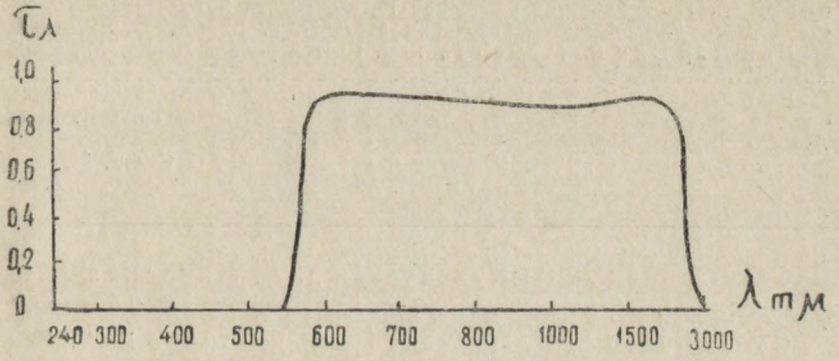

Рис. 10. Спектр пропускания инфракрасного, красного, желтого и оранжевого света, полученного через светофильтр $ОС_{13}$.

максимумов, сообщает дополнительные или побочные максимумы, которые равняются при растворении в метаноле 578 *mμ* и в эфире 571 и 535 *mμ*. Рассматривая приведенные побочные максимумы для спектра образования хлорофилла и спектра поглощения протохлорофилла, мы видим, что они лежат в зеленой и желтой части спектра. Эти данные дают нам основание предполагать, что в исследованных нами этиолированных проростках ячменя, возможно, достаточно выражены вышеупомянутые побочные максимумы, так как хлорофиллообразование в этиолированных проростках ячменя более эффективно идет на зеленом, желтом и желто-оранжевом свету.

Наблюдаемое на белом свету увеличение хлорофиллов в зеленых проростках ячменя мы обнаружили на зеленом свету и не нашли на красном, желто-оранжевом и инфракрас-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ном свету. Зеленый свет достаточно энергично поглощается зеленым листом (А. Ф. Клешнин, Н. А. Шульгин, 1959). Об интенсивном поглощении зеленого света наиболее богатыми хлорофиллом участками листа кукурузы сообщают С. В. Тагеева, И. П. Павлова, А. Б. Брандт (1962). Уокен отмечает, что в адаптированных к темноте растениях было найдено вещество, флуоресцирующее в области 520 и 580 *mμ*, то есть в зеленой и желтой части спектра. Автор предполагает, что это вещество, возможно, является предшественником хлорофилла. Большое поглощение зеленым листом зеленого света в какой-то мере стоит в связи с полученными нами данными о положительном влиянии этого участка спектра на образование хлорофилла в зеленых листьях растения.

ЛИТЕРАТУРА

Брандт А. Б., Деревянко В. Г., Павлова И. П., Тагеева С. В., 1957. Значение различной интенсивности и спектрального состава света для пигментообразования растениями. Биофизика, т. 2, вып. 6.

Ван Дер Вин Р., Мейер Г., 1962. Свет и рост растений. М., Сельхозиздат.

Ермолаева Е. Я., 1953. Влияние света различного спектрального состава на некоторые физиологические процессы растений. Тр. Бот. ин-та АН СССР, экспериментальная ботаника, сер. IV, вып. 9.

Клешнин А. Ф., 1954. Растение и свет. Изд-во АН СССР, М.

Клешнин А. Ф. и Шульгин И. А., 1959. Об оптических свойствах листьев растений, ДАН СССР, т. 125

Rudolf H. 1933. Über die Einwirkung des farbigen Lichts auf die Enstehung der chloroplastenfarbstoffe. Planta. B 21, № 1.

Сапожников Д. И., Красовская Т. А., Маевская А. Н., 1957. Изменение соотношения основных каротиноидов пластид зеленых листьев при действии света. ДАН СССР, т. 113, № 2.

Сапожников Д. И., Маевская А. Н. и Попова И. А., 1959. Количественное определение хлорофиллов *а* и *в* при помощи бумажной хроматографии. Физиол. раст., т. 6, вып. 3.

Sayre G. D. 1928. The development of chlorophyll in seedlings in different ranges of wave length of light. Plant Physiology, v. 3.

Соколова С. М., 1958. Влияние света разного спектрального состава на некоторые физиологические процессы у пшеницы. Вестник Московского университета, № 4.

Тагеева С. В., Павлова И. П., Брандт А. Б., 1962. Морфогенез ультраструктуры хлоропластов и развитие оптических свойств листа кукурузы. Изв. АН СССР, серия биол., № 1.

Уокен. Д., 1962. Структура хлоропластов, пигменты и белково-пигментный комплекс. Структура и функция фотосинтетического аппарата. Изд-во ИЛ.

Frank S. R. по Брандту А. Б., Деревянко В. Г., Павловой И. П. и Тагеевой С. В., 1957. Значение различной интенсивности и спектрального состава света для пигментообразования растениями. Биофизика, т. 2, вып. 6.

Чернавина И. А., 1959. Сравнительная характеристика физиологического действия красного и синего света. Проблемы фотосинтеза. Докл. на 2 Всес. конф. по фотосинтезу. Изд-во АН СССР, М.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА БИОСИНТЕЗ КАРОТИНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ

М. М. ОКУНЦОВ, О. А. РОНЬЖИНА, Е. И. СИМОНОВА

Синтезу пигментов в растениях под влиянием различных областей солнечного спектра посвящено много работ. Однако в большей части литературы рассматриваются вопросы, касающиеся образования хлорофилла, в то время как накоплению каротиноидов уделено гораздо меньше внимания. Однако изменения желтых пигментов в зависимости от спектрального состава света представляют интерес в связи с имеющимися сведениями в литературе об их участии в фотосинтезе и окислительно-восстановительных процессах клетки.

Известно, что каротиноиды образуются в темноте и для своего синтеза не требуют обязательного участия лучистой энергии. Но еще Любименко отметил тесную зависимость биосинтеза каротина от освещения. Позднее многие авторы указывают, что в растениях при действиях света наблюдаются значительные накопления не только зеленых, но и желтых пигментов. Так, в опытах Рудольфа (1933) более быстрое образование каротиноидов происходило в синем свете по сравнению с красным и желто-зеленым. Е. Я. Ермолаева (1953) нашла более высокое содержание каротина у растений под влиянием красного света по сравнению с растениями, находившимися на синем свету. А. Б. Брандт с сотрудниками (1957, 1958) на основании своих опытов приходит к выводу, что при оптимальном уровне облученности (40—60 вт/м^2) происходит большее накопление суммы каротиноидов на синем свету по сравнению с красным. При низкой облученности (18—25 вт/м^2) наибольшее накопление пигментов происходило при действии красного света и меньшее — при действии синего света.

Таблица 1

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в 6-дневных этиолированных проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность света в тыс. *эрг/см²сек*	Каротин		Ксантофилл			Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
			повторности	среднее	повторности	среднее	в % к контролю		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В темноте	—	—	9,76 12,42	11,09	75,07 80,75	77,91	100	89,00	7,0
На зеленом свету	480—600*)	9	30,09 34,31	32,20	107,45 104,00	105,72	136	137,92	3,3
На белом свету		20	37,24 31,32	34,28	109,09 97,67	103,38	133	137,66	3,0
В темноте	—	—	8,06 8,54	8,30	78,74 82,88	80,81	100	89,11	9.7
На желтом свету	560—600	10	27,05 28,15	27,60	109,09 107,19	107,64	133	135,24	3,9
На белом свету		20	31,76 28,86	30,30	119,26 122,60	120,93	150	151,23	4,0

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В темноте	—	—	9,65 7,75	8,70	83,20 79,66	81,43	100	90,13	9,4
На красном свету	600—1000**)	25	16,97 16,68	18,32	86,31 95,33	90,82	113	109,14	5,3
На желто-оранжевом свету	560—780***)	20	22,26 21,02	21,64	99,61 95,27	97,44	120	119,08	4,5
На белом свету		20	22,58 22,70	22,64	97,72 98,22	97,97	120	120,61	4,3
В темноте	—	—	8,18 7,92	8,05	79,89 86,26	83,07	100	91,12	10,3
На желто-оранжевом, красном, инфракрасном свету	560—3000	20	18,44 17,70	18,07	97,31 110,02	103,66	125	121,73	5,7
На сине-фиолетовом свету	400—500	2	14,45 15,46	14,95	94,17 103,75	98,96	119	113,91	6,6
На белом свету		20	24,92 22,99	23,95	112,38 115,45	113,91	137	137,86	4,8

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В темноте	—	—	9,63 9,73	9,68	82,35 87,00	84,68	100	94,36	8,7
На инфракрасном свету	860—3000	79	9,09 9,43	9,26	86,57 84,65	85,61	110	94,87	9,2
На белом свету		20	32,70 31,30	32,10	105,60 98,99	102,29	121	134,39	3,1
В темноте	—	—	8,06 8,54	8,30	78,74 82,88	80,80	100	89,10	9,8
На инфракрасном свету	860—3000	25	10,40 9,77	10,08	106,69 101,45	104,07	129	114,15	10,3
На белом свету		20	31,76 28,84	30,30	119,26 112,60	120,93	150	151,23	4,0

*) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.
**) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
***) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

С. М. Соколова (1958) указывает, что на синем свету озимые и яровые растения содержали больше каротиноидов, чем на красном свету, а также более высокое отношение ксантофилла к каротину. А. Ф. Самойлов (1950) в своей работе отмечает, что синтезу каротина способствует более интенсивная ультрафиолетовая радиация на основании того, что высокогорные растения содержат больше этого пигмента, чем равнинные. Как уже отмечалось нами ранее (М. М. Окунцов, О. А. Роньжина, Е. И. Симонова, 1964), такая неоднородность данных, полученных различными авторами, и противоречивость сделанных ими выводов в известной мере объясняются различиями в постановке опытов.

В своих опытах с этиолированными и зелеными растениями ячменя мы выясняли роль отдельных участков видимой области спектра, а также инфракрасного, ультрафиолетового света в накоплении каротиноидов. Для этого шестидневные проростки, а в некоторых опытах четырехдневные освещали светом различной длины волны. Воздействие на растения светом проводили в течение 10 часов. В одной серии опытов растения выращивались на свету различного качества, но одной интенсивности в течение трех дней с помещением их на ночь в темноту (подробнее методика изложена в нашей статье, Окунцов, Роньжина, Симонова, 1964). Выделение из растений желтых пигментов и их разделение на хроматографической бумаге проводили по методу Д. И. Сапожникова (1955) с небольшими изменениями. При извлечении пигментов из этиолированных проростков мы применили смесь этанола с ацетоном при их соотношении 1:3. Разделение желтых пигментов проводили на одномерной, восходящей хроматограмме, применяя растворитель, состоящий из смеси бензола и бензина (Калоша), в отношении 1:1.

Для разделения пигментов была использована быстрая хроматографическая бумага ленинградской фабрики. Затем экстинцию экстрактов пигментов определяли на фотоэлектроколориметре ФЭК-М. Как уже отмечалось нами ранее, при хроматографическом разделении на бумаге выделяются каротин, а также ксантофиллы, два у зеленых и четыре у этиолированных растений. Поэтому при определении суммарного количества ксантофиллов мы учитывали лютеол, виолаксантин при зеленении этиолированных проростков и в зеленых растениях, а в этиолированных и освещенных инфракрасным светом, кроме этих, еще и неидентифицированный нами, который при хроматографическом разделении на бумаге располагается между лютеолом и виолаксантином.

Данные по влиянию света на синтез каротина, полученные нами, представлены в табл. 1—8. Из них видно, что в темноте в растениях каротин синтезируется в небольшом количестве (8—9 γ на 1 г веса), но при освещении светом содержание

Таблица 2

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез желтых пигментов в 6-дневных зеленых проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность в тыс. *эрг/см² сек*	Каротин		Ксантофилл						Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		виолаксантин		сумма	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
В темноте	—	—	71,42 68,14	69,78	72,55 70,61	71,58	56,09 59,69	57,89	129,47	100	199,25	1,8
На инфракрасном свету	860—3000	25	66,35 78,49	72,42	65,95 62,87	64,41	43,16 44,29	43,72	107,83	83	180,26	1,5
На белом свету	—	20	103,90 107,40	105,65	86,47 86,34	86,40	63,99 78,89	71,44	157,84	122	263,49	1,5
В темноте	—	—	45,99 50,71	48,35	75,45 64,33	69,89	46,87 46,19	46,53	116,42	100	164,77	2,4
На красном свету	620—1000*)	50	51,25 48,30	49,77	66,95 60,67	63,81	33,77 31,53	32,62	96,43	83	146,20	1,9
На желто-оранжевом свету	560 780**)	20	52,86 54,57	53,77	59,98 68,61	64,29	39,92 42,61	41,26	105,55	90	159,32	1,9

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Продолжение таблицы 2

Условия освещения	Длина волны в $m\mu$	Интенсивность в тыс. эрг/см² сек	Каротин		Ксантофилл						Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		виолаксантин		сумма	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
В темноте	—	—	67,97 66,70	67,33	71,55 85,21	78,38	56,58 52,72	54,65	133,03	100	200,36	1,9
На красном свету	620—1000*)	25	72,59 58,77	65,68	97,58 79,20	88,39	60,82 55,56	58,19	146,58	110	212,16	2,2
На зеленом свету	480—600***)	9	88,64 87,89	88,26	149,50 142,60	146,05	80,22 72,73	76,47	222,52	167	310,78	2,5
На белом свету	—	20	109,10 112,50	110,80	129,90 136,00	132,95	79,41 84,57	81,99	214,94	161	325,74	1,9

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

его значительно возрастает. Процент увеличения каротина в растениях при этом зависит от качества света. Из полученных данных с 10-часовым освещением растений видно, что у 6-дневных этиолированных проростков ячменя наибольшее содержание каротина наблюдалось в зеленых, фиолетовых и ультрафиолетовых лучах (в 2,5—3 раза больше, чем в темновом контроле). В длинноволновых спектральных участках (красном, желто-оранжевом, желтом) происходит накопление каротина в несколько меньшем количестве (в 2—2,2 раза больше, чем в контроле). Наименьшее увеличение содержания каротина по сравнению с контролем наблюдалось на сине-фиолетовом (в 1,8 раза) и синем свету (в 1,4 раза) слабой интенсивности — 1 тыс. эрг/см² сек (см. табл. 1, 3, 5, 4). Обращают на себя внимание малые различия в содержании каротина в проростках под влиянием различной интенсивности одного и того же спектрального участка (табл. 4, 5 и др.).

При выращивании растений в течение трех дней на свету различного качественного состава, но одной интенсивности, равной 9 тыс. эрг/см² сек, наблюдалась такая же картина (табл. 8). В этом опыте также в большом количестве каротин образуется на зеленом свету и меньше на красном и желто-оранжевом. Под влиянием синего света каротины синтезируются гораздо хуже, чем при зеленом и даже при длинноволновых участках. Возможно, для лучшего образования каротина на синем свету нужна большая его интенсивность. Все вышеизложенные результаты относятся к опытам как с 3-дневным выращиванием, так и с 10-часовым освещением 6-дневных проростков.

У четырехдневных этиолированных растений наблюдается более высокое содержание каротина, чем у шестидневных проростков. При десятичасовом освещении зеленый свет оказался более активным, чем красный. При интенсивности зеленого света в 9 тыс. эрг/см² сек каротина образовалось больше, чем при освещении красным светом более высокой интенсивности, равной 25 тыс. эрг/см² сек, и только при повышении интенсивности красного света до 50 тыс. эрг/см² сек содержание каротина стало близким к его содержанию на зеленом свету (9 тыс. эрг/см² сек).

Таким образом, количество каротина меняется в этиолированных растениях под влиянием ультрафиолетовой и видимой областей спектра. Только на инфракрасном свету (79 тыс. и 25 тыс. эрг/см² сек) синтеза каротина в проростках не происходит, так как содержание пигментов здесь такое же, как и в растениях, растущих в темноте. Выделяется только влияние инфракрасного света слабой интенсивности, равной 1 тыс. эрг/см² сек, когда количество каротина повышается в 1,5 раза. В зеленых листьях ячменя, помещенных на крас-

Таблица 3

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в 6-дневных этиолированных проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность в тыс. *эрг/см²сек*	Каротин		Ксантофилл										Сумма каротиноидов	отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		неидентифицированный		виолаксантин		неоксантин		Сумма 3 ксантофиллов	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
В темноте	—	—	8,95 6,05	7,50	40,30 43,37	41,83	15,08 15,43	15,25	20,86 23,30	22,08	8,18 7,06	7,62	79,16	100	86,66	10,5
На красном свету	620–1000*)	25	23,89 22,89	23,39	48,62 45,01	46,81	0,00	0,00	51,11 48,98	50,04	—	—	96,85	122	120,24	4,1
На белом свету	—	20	27,20 28,84	28,02	49,60 53,20	51,40	0,00	0,00	46,72 45,49	46,10	—	—	97,50	123	125,5	3,5
В темноте	—	—	8,44 6,66	7,55	35,10 38,17	36,63	14,17 15,45	14,81	28,04 28,17	28,10	9,95 7,57	8,76	79,54	100	87,09	10,5
На красном свету	620—1000*)	50	30,91 32,66	31,78	51,49 60,30	55,89	0,00	0,00	44,77 49,75	47,26	—	—	103,15	130	134,93	3,2
На зеленом свету	480—600**)	9	31,90 38,68	35.29	58,89 64,10	61,49	0,00	0,00	53,00 54,46	53,73	—	—	115,22	145	150,51	3,3
На белом свету	—	20	38,42 36,36	37,38	60,66 56,63	58,64	0,00	0,00	51,76 50,50	51,13	—	—	109,77	138	147,15	2,9

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 4

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в 6-дневных этиолированных проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность в тыс. *эрг/см² сек*	Каротин		Ксантофилл								Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		неидентифицированный		виолаксантин		сумма 3 ксантофиллов	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте	—	—	8,97 9,49	9,23	44,44 41,40	42,92	20,54 14,09	17,31	28,47 26,22	27,34	87,57	100	96,79	9,5
На красном свету	620—1000*)	1	21,60 16,56	19,08	49,99 44,99	47,49	0,00	0,00	46,29 45,34	45,81	93,30	106	112,38	4,9
На желто-оранжевом свету	550—780**)	1	25,10 24,56	24,83	48,82 48,07	48,44	0,00	0,00	44,33 48,35	46,34	94,78	108	119,61	3,8
На желтом свету	560—620	1	18,72 24,05	21,38	48,06 49,88	48,97	0,00	0,00	40,38 45,12	42,75	91,72	105	113,10	4,3
На белом свету	—	20	42,53 41,57	42,05	64,03 66,93	65,48	0,00	0,00	53,88 57,46	55,67	121,15	138	163,35	2,9

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте	—	—	4,75 5,37	5,06	37,37 38,36	37,86	5,30 5,45	15,37	25,99 18,81	22,40	75,63	100	80,69	14,9
На инфракрасном свету	860—3000	1	6,90 9,10	8,00	26,62 28,44	27,53	0,28 9,54	9,91	15,56 15,32	15,44	52,88	69	60,42	6,5
На зеленом свету	480—600***)	1	16,57 16,55	16,56	30,20 36,23	33,21	0,00	0,00	40,58 42,40	41,49	74,70	99	91,26	4,5
На фиолетовом свету	400—460	1	17,07 16,60	16,83	36,65 39,85	38,25	0,00	0,00	37,20 39,85	38,52	76,77	101	93,60	4,5
На белом свету	—	—	35,19 35,28	35,23	50,12 43,30	46,71	0,00	0,00	47,99 43,83	45,91	92,62	122	127,85	2,6
В темноте	—	—	6,13 7,71	6,92	26,92 30,95	28,93	10,87 11,70	11,28	17,37 21,54	19,45	59,66	100	74,47	9,8
На синем свету	440—500	1	10,91 10,65	10,78	42,47 41,78	42,22	7,18 6,96	7,07	31,93 34,39	33,16	82,45	138	93,23	7,6
На белом свету	—	20	27,82 28,17	27,99	43,04 47,54	45,28	0,00	0,00	40,42 42,43	41,42	86,70	145	114,69	3,1

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте	—	—	7,46 5,76	6,61	31,92 36,79	34,35	15,88 16,19	16,03	21,07 23,94	22,50	72,88	100	79,49	11,0
На синем свету	440—500	1	13,49	13,49	44,51 38,43	41,47	9,27 7,52	8,39	36,85 38,43	37,64	87,50	120	100,99	6,4
На белом свету	—	20	23,86 23,41	23,63	51,73 52,67	52,20	0,00	0,00	50,73 49,41	50,07	102,27	140	125,90	4,3
В темноте	—	—	8,44 6,66	7,55	35,10 38,17	36,63	14,27 15,45	14,86	28,04 28,17	28,10	79,59	100	87,14	10,5
На ультрафиолетовом свету	320—400	1,3	22,58 21,55	22,06	48,76 45,55	47,15	0,00	0,00	40,64 43,10	41,87	89,02	112	111,08	4,8
На белом свету	—	20	38,42 36,35	37,38	60,66 56,63	58,64	0,00	0,00	51,76 50,50	51,13	109,77	138	147,15	2,9
На зеленом свету	480—600***)	1	21,44 24,80	24,62	39,22 41,22	40,22	0,00	0,00	34,21 36,15	35,18	75,40	—	100,02	3,1
На белом свету	—	20	43,08 46,80	44,94	57,91 58,14	58,02	0,00	0,00	56,85 51,76	54,30	112,32	—	157,26	2,5

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ный свет (25 тыс. эрг/см² сек), содержание каротина также не меняется.

Опыты показали, что на зеленые растения свет действует по-иному, чем на этиолированные. Как видно из табл. 2, увеличение процентного содержания каротина в них происходит только на зеленом свету (интенсивность 9 тыс. эрг/см² сек), но гораздо в меньшей степени, чем в этиолированных растениях. Коротковолновые спектральные участки (синий свет и особенно ультрафиолетовый) не увеличивают, а, наоборот, понижают количество каротина в проростках. На желто-оранжевом свету наблюдается только тенденция к повышению пигмента, а на красном (25 и 50 тыс. эрг/см² сек) совершенно не меняется количество каротина в зеленых проростках.

Различное действие, которое оказывает свет одной и той же длины волны и интенсивности на зеленые и этиолированные проростки, возможно, связано с тем, что в зеленых листьях каротин находится в больших количествах и поэтому освещение их монохроматическим светом, по-видимому, не вызывает заметных изменений.

В отношении других желтых пигментов—ксантофиллов—можно отметить, что содержание их связано с освещением, хотя степень количественного изменения их на различных участках спектра гораздо меньше, чем у каротина. Об этом свидетельствуют полученные нами результаты, представленные в таблицах. Наши данные показали, что наилучшим монохроматическим светом для образования ксантофиллов в этиолированных растениях, при повышенных интенсивностях света, является зеленый и желто-оранжевый свет. Это особенно ярко видно в опыте с выращиванием растений в течение трех дней (табл. 8). При одной и той же интенсивности взятых спектральных участков, равной 9 тыс. эрг/см² сек, на зеленом а также желто-оранжевом свету величина ксантофиллов даже выше, чем в растениях, выросших под лучами белого света. На красном и синем свету ксантофилл синтезируется в меньшей степени (табл. 5, 7).

В зеленых проростках накопление ксантофилла интенсивнее всего идет на зеленом свету, на котором при интенсивности света в 9 тыс. эрг/см² сек пигмента накапливается даже больше, чем на белом свету более высокой интенсивности, равной 20 тыс. эрг/см² сек (табл. 2, 3, 5, 7, 8). Остальные спектральные участки дают меньшую прибавку ксантофилла. При освещении этиолированных проростков светом длинноволнового участка спектра интенсивности 20—25 тыс. эрг/см² сек обнаружилось лучшее влияние желтого и желто-оранжевого света по сравнению с красным и инфракрасным на биосинтез ксантофиллов (табл. 1). Как можно видеть из табл. 4, при слабой интенсивности света

Таблица 5

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в этиолированных проростках ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в mμ	Интенсивность в тыс. эрг/см²сек	Возраст растений в днях	Каротин		Ксантофилл								Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл
				повторности	среднее	лютеол		неидентифицированный		виолаксантин		сумма 3 ксантофиллов	% к контролю		каротин
						повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
В темноте	—	—	6	8,95 6,05	7,50	40,30 43,37	41,83	15,08 15,43	15,25	20,86 23,30	22,08	79,01	100	86,51	10,5
На красном свету	620—1000*)	9	6	21,37 21,39	21,38	52,57 55,82	54,19	0,00	0,00	42,92 48,44	45,71	99,91	126	121,29	4,7
На желто-оранжевом свету	560—780**)	9	6	25,62 28,22	26,92	52,37 50,12	51,24	0,00	0,00	43,25 49,10	46,16	97,40	123	124,32	3,6
На белом свету	—	20	6	27,20 28,84	28,02	49,60 53,20	51,40	0,00	0,00	46,72 45,49	46,10	97,50	123	125,52	3,8
В темноте	—	—	6	6,13 7,71	6,92	26,92 30,95	28,93	10,87 11,70	11,28	17,37 21,54	19,45	59,65	100	66,57	8,6
На инфракрасном свету	860—3000	9	6	4,69 5,35	5,02	27,65 33,08	30,36	10,46 13,12	11,79	18,32 21,84	20,08	62,23	104	67,65	12,3
На синем свету	440—500	9	6	16,39 18,97	17,68	42,08 41,99	42,03	0,00	0,00	37,36 41,20	39,28	81,33	136	99,01	4,6
На белом свету	—	20	6	27,82 28,17	27,99	43,04 47,54	45,29	0,00	0,00	40,42 42,43	41,42	86,70	145	104,69	3,1

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
В темноте	—	—	6	8,44 6,66	7,55	35,10 38,17	36,63	14,17 15,45	14,81	28,04 28,17	28,10	79,54	100	87,09	10,5
На зеленом свету	480—600***)	9	6	31,90 38,68	35,29	58,89 64,10	61,49	0,00	0,00	53,00 54,46	53,73	115,22	144	150,51	3,3
На белом свету	—	20	6	38,42 36,35	37,38	60,66 56,65	58,65	0,00	0,00	51,76 50,50	51,13	109,78	138	147,16	2,9
На красном свету	620—1000*)	9	4	37,76 34,30	36,03	55,34 58,76	57,05	0,00	0,00	43,62 51,14	47,38	104,43	—	140,46	2,5
На желто-оранжевом свету	560—780**)	9	4	35,34 38,20	36,77	56,40 46,70	51,55	0,00	0,00	55,72 38,20	46,96	98,61	—	135,28	2,7
На зеленом свету	480—600***)	9	4	39,18 35,98	37,58	50,99 54,65	52,82	0,00	0,00	44,58 46,84	45,71	98,53	—	136,11	2,6
На белом свету	—	20	4	43,08 46,80	44,94	57,91 58,14	58,02	0,00	0,00	56,85 51,76	54,30	112,32	—	157,26	2,5

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) с резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 6

Влияние инфракрасного света на биосинтез каротиноидов в 4-дневных этиолированных проростках ячменя. Интенсивность света 25 тыс. эрг/см² сек. Содержание каротиноидов в γ на 1 г свежих листьев

Условия освещения	Условия фиксации	Длина волны в *mμ*	Каротин		Ксантофилл								Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		неидентифицированный		виолаксантин		сумма 4 ксантофиллов	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте	Фиксация сразу же после освещения	—	8,63 8,83	8,73	53,61 65,75	59,68	25,52 28,92	27,22	35,74 37,26	36,50	135,02	100	143,75	15,5
На инфракрасном свету		860—3000	8,79 7,85	8,32	56,84 58,19	57,51	24,62 25,52	25,07	35,08 31,05	34,56	126,46	94	134,78	15,2
В темноте	Перед фиксацией растения выдерживались в темноте 14 часов	—	12,91 11,13	12,02	64,14 62,59	63,36	30,77 31,81	31,29	43,39 41,48	42,43	152,72	100	164,74	12,7
На инфракрасном свету		860—3000	12,03 11,97	12,00	61,96 61,14	61,55	26,11 25,40	25,75	42,60 43,80	43,20	143,81	94	155,81	12,00

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте	Без фиксации растения выдерживались в темноте 14 часов	—	10,64 8,59	9,61	37,94 34,96	36,45	14,48 15,08	14,78	25,71 26,26	25,98	87,48	100	97,09	9,1
На инфракрасном свету		860—3000	8,41 10,75	9,58	41,47 41,22	41,34	17,28 14,64	15,96	30,65 26,53	28,59	95,63	109	105,21	9,8
В темноте	Перед фиксацией растения выдерживались 14 часов в темноте	—	10,75 10,93	10,84	46,95 44,10	45,52	20,16 17,00	18,58	29,39 26,42	27,90	100,42	100	111,26	9,3
На инфракрасном свету		860—3000	8,66 6,49	7,57	51,09 51,25	51,17	20,17 19,81	19,99	27,25 30,34	28,79	107,78	107	115,35	14,2

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

(1 тыс. эрг/см² сек) выделяется влияние синего света, где сумма ксантофиллов больше контроля на 20—38% и значительно превышает количество имеющегося пигмента на других спектральных участках. Зеленый, ультрафиолетовый свет, а также длинноволновые участки оказались при этой интенсивности менее эффективными.

В наших опытах было замечено, что на образование ксантофиллов в листьях влияет в большей степени возраст растений. Так, например, разница, наблюдаемая нами у шестидневных растений под влиянием света разного качества в отношении образования пигментов, сглаживается у четырехдневных проростков. У них количество ксантофиллов почти одинаково на зеленом, желто-оранжевом и красном свету при выравненной интенсивности, равной 9 тыс. эрг/см² сек (табл. 5). Таковы полученные нами результаты с этиолированными проростками ячменя.

Зеленые листья в гораздо меньшей степени реагируют на качественный состав света. Но и на них, как видно из табл. 2, особенно большое положительное влияние оказал зеленый свет. В растениях, освещенных этим участком спектра, ксантофилл образуется в таком же количестве, как и на белом свету. На красном свету с повышением интенсивности света сумма ксантофиллов снижается (табл. 2).

Как в опытах с зелеными, так и в опытах с этиолированными растениями выделяется влияние инфракрасного света. По имеющимся в литературе сведениям, инфракрасный свет не поглощается пигментами и не используется растениями в процессе фотосинтеза. В наших опытах с четырехдневными этиолированными растениями инфракрасный свет интенсивностью 25 тыс. эрг/см² сек почти не влияет на образование суммы ксантофиллов по сравнению с темновым контролем. Это обнаружено нами при различных постановках опыта без фиксации и с фиксацией растений при температуре твердой углекислоты (табл. 6). По-иному действует инфракрасный свет на шестидневные этиолированные проростки. При интенсивности 25 тыс. эрг/см² сек количество ксантофиллов повышается на 29% по сравнению с растениями, выращенными в темноте.

В зеленых проростках, наоборот, произошло понижение суммы ксантофиллов на 17% по сравнению с контролем (табл. 1, 2). Выделяется действие инфракрасного света интенсивностью 1 тыс. эрг/см² сек, который вызывает у этиолированных шестидневных проростков резкое понижение содержания ксантофиллов. По сравнению с темновым контролем здесь происходит понижение суммы ксантофиллов на 31% (табл. 4). Взятые нами другие интенсивности (79 и 9 тыс. эрг/см² сек) инфракрасного света не повлияли на содержание ксантофиллов у шестидневных этиолирован-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ных проростков ячменя. Основываясь на полученных нами результатах опытов, можно придти к выводу, что действие инфракрасного света на растения не может быть приравнено к темноте.

Можно отметить, что соотношение ксантофиллов к каротину в растениях также непостоянно. Наиболее широкое (9—10) — в этиолированных растениях и в растениях, находящихся на инфракрасном свету. При освещении другими участками спектра (т. е. при зеленении) оно сужается до 3—4, главным образом за счет образования каротина.

Таким образом, полученные нами данные показывают, что образование каротина и ксантофиллов в растениях зависит от качества света, его интенсивности и связано с возрастом растений. Однако даже при неизменном суммарном количестве всех ксантофиллов в растениях большей частью происходит изменение в соотношении отдельных компонентов. Из табл. 3—6 видно, что в то время как в этиолированных растениях преобладает восстановленная форма ксантофилла над окисленной (т. е. лютеол над виолаксантином), при воздействии светом на проростки соотношение этих пигментов меняется. На белом свету наблюдается равенство обеих форм ксантофиллов. То же наблюдается при освещении этиолированных проростков светом слабой интенсивности (1 тыс. эрг/см² сек) на различных спектральных участках: красном, желто-оранжевом, желтом, фиолетовом, ультрафиолетовом, за исключением зеленого света. Особенно интересные результаты получены при освещении этиолированных проростков синим светом малой интенсивности, равной 1 тыс. эрг/см² сек (табл. 4), когда наряду с лютеолом и виолаксантином в проростках обнаруживается неидентифицированный нами ксантофилл.

При освещении синим участком солнечного спектра происходит понижение процентного содержания главным образом этого ксантофилла, в то время как количество виолаксантина, наоборот, повышается, а лютеол остается без изменений. При повышении интенсивности до 9 тыс. эрг/см² сек на синем свету неизвестный нам ксантофилл не обнаруживается, а количество лютеола и виолаксантина выравнивается. Увеличение интенсивности света (9 тыс. эрг/см² сек) независимо от его качества увеличивает главным образом лютеол по сравнению с виолаксантином. Это наблюдается как у шестидневных, так и у четырехдневных проростков.

Результаты, полученные с влиянием света большей интенсивности, представлены в табл. 3, 7. Из них видно, что на желто-оранжевом свету в растениях преобладает восстановленная форма ксантофилла (лютеол), в то время как на красном свету наблюдается почти равное образование в растениях обоих ксантофиллов (при 25 тыс. эрг/см² сек).

Таблица 7

Влияние света различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в 6-дневных этиолированных проростках ячменя. Листья ячменя фиксировали в охлажденном ацетоне (в γ на 1 г свежих листьев)

Условия освещения	Длина волны в *mμ*	Интенсивность в тыс. *эрг/см²сек*	Каротин		Ксантофилл								Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		неидентифицированный		виолаксантин		сумма трех ксантофиллов	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
На красном свету	620–1000*)	50	30,57 34,84	32,70	51,58 50,02	53,51	0,00	0,00	50,02 45,82	47,92	101,43	85	134,13	3,1
На желто-оранжевом свету	560–780**)	20	35,30 34,40	34,85	73,42 67,15	70,28	0,00	0,00	53,68 54,16	53,92	124,20	105	159,05	3,5
На синем свету	440–500	11	24,76 20,36	22,56	46,56 51,11	48,83	0,00	0,00	41,11 40,93	41,02	90,14	76	112,70	4,0
На белом свету		20	40,73 42,18	41,45	73,20 70,88	72,04	0,00	0,00	62,62 64,40	63,51	135,55	114	177,00	3,3

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В темноте			10,88 10,86	10,87	28,08 37,08	32,58	13,53 14,82	14,17	18,27 21,30	19,78	66,53	100	77,40	6,1
На инфракрасном свету	860—3000	25	12,14 11,85	11,99	31,29 30,13	30,71	15,40 15,06	15,23	15,40 18,07	16,73	62,68	94	74,67	5,2
На зеленом свету	480—600***)	9	27,50 25,70	26,60	53,77 43,72	48,74	0,00	0,00	56,91 45,74	51,32	100,06	150	126,66	3,7
На белом свету		20	27,50 27,60	27,58	53,07 46,97	50,02	0,00	0,00	34,56 44,94	39,75	89,77	143	117,35	3,7

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Таблица 8

Влияние длительного освещения (3 дня) светом различного спектрального состава на биосинтез каротиноидов в 4-дневных листьях ячменя (в γ на 1 г свежих листьев)

Вариант	Длина волны в *mμ*	Интенсивность в тыс. *эрг см²сек*	Каротин		Ксантофилл						Сумма каротиноидов	Отношение ксантофилл / каротин
					лютеол		виолаксантин		сумма	в % к контролю		
			повторности	среднее	повторности	среднее	повторности	среднее				
Красный	620—1000*)	9	41,14 42,90	42,02	46,41 47,90	47,15	28,83 35,39	32,11	79,26	84	121,28	1,9
Желто-оранжевый	560—780**)	9	47,67 47,20	47,43	67,02 58,70	62,86	46,30 38,43	42,36	105,22	111	152,65	2,2
Зеленый	480—600***)	9	44,27 57,57	50,92	67,14 68,04	67,59	47,21 49,35	48,28	115,87	123	166,79	2,3
Синий	440—500	9	31,22 35,25	33,23	45,41 43,00	44,20	36,18 34,19	35,18	79,38	84	112,61	2,4
Белый		9	59,16 59,14	59,15	53,39 59,14	56,26	41,12 34,98	38,05	94,31	100	153,46	1,6

*) С небольшой интенсивностью ближнего инфракрасного света.
**) Со значительным уменьшением интенсивности света в красной части спектра.
***) С резким уменьшением интенсивности света в желтой части спектра.

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Инфракрасный свет не вызывает позеленения этиолированных проростков, и в них, как и при выращивании в темноте, сохраняется четыре ксантофилла. В зеленых растениях после освещения светом этого спектрального участка (25 тыс. эрг/см² сек) понизилось содержание обоих ксантофиллов, но, как и в контроле, здесь преобладает лютеол (табл. 2). В этиолированных проростках инфракрасный свет интенсивностью 9 и 25 тыс. эрг/см² сек не влияет на содержание отдельных ксантофиллов. И только при понижении ее до 1 тыс. эрг/см² сек соотношение ксантофиллов меняется. Значительно падает количество неоксантина, а также неидентифицированного нами ксантофилла. В содержании лютеола и виолаксантина намечается только тенденция к падению. Следовательно, инфракрасный свет оказывает на растения определенное физиологическое влияние так же, как и отдельные участки видимой области спектра.

Таким образом, на основании полученных нами результатов можно заключить, что:

1) наибольшее образование каротина у этиолированных и зеленых проростков происходит на зеленом свету;

2) для образования ксантофилла в этиолированных и зеленых растениях наиболее благоприятным является зеленый свет (9 тыс. эрг/см² сек), а также синий свет при малых интенсивностях (1 тыс. эрг/см² сек);

3) соотношение отдельных ксантофиллов непостоянно в растениях и меняется в зависимости от качественного состава света и его интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

Брандт А. Б., Деревянко В. Г., Павлова И. П. и Тагеева С. В., 1957. Значение различной интенсивности и спектрального состава света для пигментообразования растениями. Биофизика, т. 2, вып. 6.

Брандт А. Б., 1958. Синтез и накопление каротиноидов при действии света различного спектрального состава и интенсивности, Биофизика, т. 3, вып. 6.

Ермолаева Е. Я., 1953. Влияние света различного спектрального состава на некоторые физиологические процессы растений. Тр. Бот. ин-та АН СССР, Экспериментальная ботаника, сер. IV, вып. 9.

Окунцов М. М., Роньжина О. А., Симонова Е. И. 1964. Влияние спектрального состава света на биосинтез хлорофилла в растениях. Вопросы фотосинтеза, вып. 1. Изд-во Томского ун-та.

Rudolf H. 1933. Über dieEinwirkung des farbigen Lichts auf die Entstehung der chloroplastenfarbstoffe. Planta, B. 21, № 1.

Самойлова А. Ф. 1950. О роли витамина С и каротина в растительном организме и использования витаминных растений Туркменистана. Автореферат дисс. на соиск. степени доктора биол. наук.

Соколова С. М. 1958. Влияние света разного спектрального состава на некоторые физиологические процессы у пшеницы. Вестник Московского ун-та, № 4.

Сапожников Д. И., Бронштейн И. А., Красовская Т. А., 1955. Применение метода бумажной хроматографии для анализа пигментов пластид зеленого листа. Биохимия, т. 20, вып. 3.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ВЛИЯНИЕ СВЕТА РАЗНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА СООТНОШЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ И КОЛИЧЕСТВО СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ БОБОВ

М. М. ОКУНЦОВ, А. Б. ОШАРОВ, И. В. НАЗАРЕНКО

Вопрос об участии процесса ассимиляции в первичном синтезе белка в растениях был впервые поставлен в 1884 г. В. В. Сапожниковым.

В дальнейшем многие исследователи указывали на роль света в синтезе белка (Д. Н. Прянишников, 1897; А. М. Левшин, 1917; В. Н. Любименко, 1924; С. П. Костычев, 1937; В. П. Таусон, 1947).

К настоящему времени появился целый ряд работ, которые показывают, что в процессе фотосинтеза наряду с углеводами, а иногда и раньше их образуются органические кислоты, аминокислоты и белки, причем направление синтезов зависит от условий питания, освещения, физиологического состояния листьев и пр. (А. А. Ничипорович, Л. А. Незговорова, 1952, 1953, 1955, 1956, 1959, 1960; Д. Н. Сапожников, 1951; Т. Ф. Андреева, 1951, 1955, 1956; Т. Ф. Андреева, Е. Г. Плышевская, 1952; Т. Ф. Андреева, Э. Я. Нальборчик, 1957; Т. Ф. Андреева, Э. Я. Нальборчик, М. В. Тихомиров, 1957; Т. Ф. Андреева, Л. В. Бондаренко, Г. Ф. Коржева, Т. И. Никулина, 1959; Т. Ф. Андреева, Г. Ф. Коржева, 1961).

Несмотря на то, что получен большой материал, показывающий влияние света на синтез белков, в настоящее время существует мнение, что белки образуются исключительно за счет энергии дыхания и что фотосинтез не играет существенной роли в процессе их образования (В. А. Чесноков, А. А. Баскакова, Л. С. Белозерова и Н. С. Мишустина, 1957).

Особый интерес представляет то, что состав продуктов фотосинтеза зависит от спектрального состава света. Еще

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

К. А. Тимирязев (1890) показал, что образование крахмала в основном идет в красных лучах и не отмечается в синих. В. И. Любименко (1924) наблюдал, что в красных лучах идет наибольшее разложение CO_2, а наибольшее накопление сухой массы идет в синих лучах. В оранжевых и зеленых лучах накопление сухого вещества и фотосинтез были наименьшими. Эти наблюдения позволили ему сделать вывод о том, что красные лучи участвуют в разложении CO_2 и в накоплении первичного продукта, тогда как энергия синих лучей идет на дальнейшую переработку этого первичного продукта. В последнее время работами Н. П. Воскресенской с сотрудниками было показано, что на синем свету происходит более интенсивное накопление белка, чем на красном (Н. П. Воскресенская, 1950, 1952; Н. П. Воскресенская, Г. С. Гришина, 1956, 1958, 1959).

В настоящей работе изучалось влияние света разного спектрального состава на количество фракций белка и количество свободных аминокислот в листьях бобов. Для опыта, в котором изучалось изменение фракций белка, брались листья бобов в фазу 3-го листа, выращенных в условиях вегетационного опыта в почве при освещении люминесцентными лампами БС-30. Растения перед опытом на ночь помещались в темноту. Перед освещением брались листья для исходного анализа. Освещение проводилось белым светом (люминесцентная лампа БС-30), сине-фиолетовым светом (лампы ПРК-2 со светофильтром СС-14), зеленым светом (лампа накаливания со светофильтром ЗС-1 и водным экраном), оранжево-красным светом (лампы накаливания со светофильтром КС-2 и водным экраном). Контрольные растения 6 час. продолжали оставаться в темноте. Все источники освещения выравнивались по интенсивности радиации до 3 тыс. эрг/см² сек по пиранометру Янишевского, термоток которого измерялся на потенциометре КЛ-48.

В опыте по изучению влияния разных участков спектра на количественный состав аминокислот растения освещались в течение 7 час. белым светом (люминесцентные лампы БС-30), сине-фиолетовым (лампы накаливания со светофильтрами СС5 + СЗС 18 и водным экраном), оранжево-красным (лампы накаливания со светофильтром КС-2 и водным экраном) и инфракрасным (лампы накаливания со светофильтром ИКС-3).

Интенсивность света была для синего света 4,5 тыс. эрг/см² сек; для красного — 20 тыс. эрг/см² сек и для инфракрасного — 68 тыс. эрг/см² сек. Интенсивность бралась такая, какую могли обеспечить применяемые источники света. Контрольные растения оставались 7 час. в темноте. Для определения фракций белка листья после опыта фиксировались при температуре в 100°С в сушильном шкафу и высушива-

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

лись при температуре 90°. Для фракционирования брались навески тонко измолотого абсолютно сухого вещества листьев и проводилось последовательное экстрагирование водой, 10%-ным раствором NaCl и 0,2%-ным раствором Na OH. В водной вытяжке белок осаждался по Барнштейну. В остальных вытяжках определялся общий азот фракции.

Предполагалось, что все растворимые низкомолекулярные азотистые формы вымывались при экстрагировании водой. В остатке определялся неизвлеченный остаточный белковый азот. Азот определялся по Кьельдалю. В опыте с определением аминокислот листья фиксировались горячим паром, а затем высушивались в сушильном шкафу. Извлечение свободных аминокислот производилось 80%-ным спиртом (Р. Блок, Ф. Лестранж, Г. Цвейг, 1954). Количественное определение производили по методу Г. Н. Зайцевой, Н. П. Тюленевой (1958). Для разделения применялись восходящие хроматограммы. Пятна аминокислот идентифицировались по имеющимся свидетелям. Количественное определение проводилось по градуировочным графикам.

В табл. 1 приведены результаты определения белковых фракций при освещении светом разного спектрального состава. Как видно из таблицы, колебания общего белка в разных вариантах опыта не выходят за пределы колебаний между повторностями одного варианта. То же самое мы видим и по остаточному белку. На растворимые формы белка свет оказывает большое влияние. Воднорастворимого белка на свету наблюдается больше, чем в темновом контроле. По сравнению с исходным анализом на общем свету происходит уменьшение воднорастворимого белка, но это уменьшение значительно меньше, чем в темноте. На отдельных участках спектра количество воднорастворимого белка выше, чем в темноте. Солерастворимый и щелочерастворимый белки в темноте также уменьшаются. На белом свету обе фракции растворимого белка имеют некоторые прибавки даже по сравнению с исходным содержанием перед опытом. При освещении монохроматическим светом происходит уменьшение содержания соле- и щелочерастворимого белка. На сине-фиолетовом свету количество этих фракций белка равно содержанию таковых в темноте, а на зеленом и оранжево-красном происходит уменьшение соле- и щелочерастворимых фракций больше, чем в темновом контроле. Причем солерастворимый белок имеет наименьшее содержание на зеленом свету, а щелочерастворимый белок имеет наименьшее содержание на оранжево-красном свету.

Табл. 2 содержит результаты опыта по влиянию света разного спектрального состава на количество свободных аминокислот. Результаты показывают, что во время опыта независимо от освещения в темноте происходит существенное

Таблица 1

Влияние света равного спектрального состава на содержание белковых фракций листьев бобов (белок в мг на 1 г абсолютно сухого вещества)

Фракции белка / Варианты опыта	Водорастворимый белок		Солерастворимый белок		Щелочерастворимый белок		Остаточный белок		Общий белок	
	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.
Исходный анализ	65,87 69,94	67,90	29,50 26,25	27,87	35,75 38,37	37,06	225,19 285,19	255,19	356,31 419,75	388,08
Без освещения (контроль)	47,62 43,62	45,62	24,62 24,00	24,31	31,50 33,62	32,56	287,81 290,69	289,25	391,56 391,94	391,75
Освещение белым светом	50,87 54,62	52,74	27,31 35,62	31,46	39,94 37,00	38,47	284,44 275,31	279,87	402,56 390,69	396,62
Освещение сине-фиолетовым светом (350—450 *mμ*)	63,25 56,37	59,81	24,44 —	24,44	36,25 26,29	31,27	286,37 298,37	292,37	404,05 405,87	404,96
Освещение зеленым светом (480—580 *mμ*)	58,37 63,87	61,12	19,37 18,93	19,15	24,75 28,37	26,57	306,31 287,44	296,87	408,81 398,62	403,71
Освещение оранжево-красным светом (580—1000 *mμ*)	52,69 66,81	59,75	19,94 20,50	20,22	19,94 25,12	22,53	287,81 283,75	285,78	384,12 396,19	390,15

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Таблица 2

Влияние света разного спектрального состава на количество свободных аминокислот в листьях бобов (аминокислоты в мг на 1 г абсолютно сухого вещества)

Варианты опыта / Аминокислоты	Исходный анализ		Без освещения (контроль)		Освещение белым светом		Освещение сине-фиолетовым светом (400—480 *mμ*)		Освещение оранжево-красным светом (580—1000 *mμ*)		Освещение инфракрасным светом (860—3000 *mμ*)	
	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.	повторности	средн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Цистин	—	—	—		—		—		—		—	
	—	следы	—	следы	—	следы	—	следы	—	следы	—	следы
Лизин	—		—		0,95		0,83		0,55		0,45	
	—	следы	—	—	0,75	0,85	1,00	0,92	0,25	0,40	0,35	0,40
Аспарагин	2,10		3,55		2,73		3,53		3,60		4,68	
	1,88	1,99	3,38	3,47	2,33	2,53	3,60	3,57	3,30	3,45	3,78	4,23
Серин+глицин+аспарагиновая кислота	3,00		3,00		6,73		3,45		2,58		3,53	
	2,50	2,75	3,03	3,02	7,10	6,92	3,73	3,59	2,23	2,41	2,95	3,24
Глютаминовая кислота	1,73		8,20		0,53		9,80		10,45		10,90	
	2,13	1,93	8,23	8,22	0,60	0,57	10,23	10,02	9,98	10,22	9,80	10,35

Электронная библиотека (репозиторий) Томского государственного университета

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X_1	— —	—	— —	—	— —	—	— —	—	1,93 1,73	1,83	— —	—
α-аланин	2,38 2,62	2,50	2,53 2,40	2,47	1,30 1,35	1,33	2,35 2,55	2,45	0,78 0,60	0,69	1,78 1,50	1,64
X_2	0,12 0,12	0,12	0,58 0,50	0,54	0,35 0,43	0,39	0,50 0,48	0,49	0,55 0,23	0,39	0,85 0,72	0,79
X_3	0,63 0,68	0,66	0,30 0,40	0,35	0,60 0,63	0,62	0,28 0,30	0,29	0,23 —	0,23	0,33 0,30	0,32
Тирозин	0,12 0,12	0,12	1,03 0,88	0,96	0,35 0,40	0,38	0,93 0,93	0,93	0,90 0,57	0,74	1,10 1,00	1,05
Валин	0,55 0,45	0,50	1,60 1,50	1,55	1,23 1,45	1,34	1,78 1,88	1,83	1,35 0,80	1,08	1,50 1,80	1,65
Лейцин	0,38 0,25	0,32	1,10 0,98	1,04	0,80 0,95	0,88	1,33 1,38	1,36	1,23 0,88	1,06	1,52 1,30	1,44

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

изменение количества ряда аминокислот. Довольно сильно возрастает количество аспарагина, глютаминовой кислоты, неидентифицированной кислоты X_2, тирозина, валина и лейцинов. Уменьшается количество лизина, неидентифицированной кислоты X_3. Мало меняются совместно определяемые аспарагиновая кислота, серин, гликокол и α-аланин.

Освещение в течение 7 час. белым светом сильно изменяет картину содержания свободных аминокислот. Появляется почти отсутствующий лизин. Отдельные аминокислоты менее интенсивно возрастают на белом свету по сравнению с темнотой: аспарагин, неидентифицированная аминокислота X_2, тирозин, валин, лейцины. Резко уменьшается количество глютаминовой кислоты и α-аланина и увеличивается количество аминокислот в совместном пятне: аспарагиновой, серина, гликокола. Еще более интересная картина наблюдается при освещении растений монохроматическим светом. При освещении сине-фиолетовым, оранжево-красным и инфракрасным светом содержание большинства свободных аминокислот близко к темновому содержанию (аспарагин, аспарагиновая кислота + серин + гликокол, глютаминовая кислота, аминокислота X_3, тирозин, лейцины).

Отдельные аминокислоты изменяются, как на белом свету или очень своеобразно. Так, лизин на сине-фиолетовом свету изменяется так же, как на белом, а на оранжево-красном и инфракрасном возрастает, но в 2 раза меньше, чем на белом и сине-фиолетовом свету. Интересно, что неидентифицированная аминокислота X_3 появляется только на оранжево-красном свету. α-аланин на сине-фиолетовом свету не изменяется, как и в темноте, на оранжево-красном уменьшается в 3 с лишним раза, а на инфракрасном свету имеет содержание, близкое к тому, которое наблюдается при освещении белым светом.

Резюмируя результаты опытов, можно сказать, что свет разного спектрального состава довольно существенно влияет на растворимые фракции белка даже в условиях, когда не изменяется содержание общего белка. Интересно отметить, что действие отдельных участков спектра на соле- и щелочерастворимый белок отличается от действия белого света. На состав свободных аминокислот отдельные участки спектра действуют еще более существенно, чем на состав белковых фракций.

Полученные данные показывают, что качество света является существенным фактором, влияющим на соотношение белковых фракций и количественный состав свободных аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

Андреева Т. Ф., 1951. Значение фотосинтеза для восстановления нитратов и синтеза белка в листе. ДАН СССР, т. 78, №5.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Андреева Т. Ф., 1955. Исследование образования белка в процессе фотосинтеза. ДАН СССР, т. 102, № 1.

Андреева Т. Ф., 1956. К вопросу о синтезе белка в зеленом листе. Физ. раст., т. 3, № 2.

Андреева Т. Ф. и Плышевская Е. Г., 1952. Исследования образования белка в процессе фотосинтеза с применением N^{15}. ДАН СССР, т. 87, № 2.

Андреева Т. Ф., Нальборчик Э. Я., 1957. К вопросу о влиянии физиологического состояния растения и некоторых внешних воздействий на состав продуктов фотосинтеза. ДАН СССР, т. 114, № 3.

Андреева Т. Ф., Нальборчик Э. Я., Тихомиров М. В., 1957. Образование белка в процессе фотосинтеза. Сб. «Проблемы фотосинтеза» М. — Л.

Андреева Т. Ф. Бондаренко Л. В., Коржева Г. Ф., Никулина Т. И., 1959. Влияние света на образование азотистых продуктов в зеленых листьях и листьях, лишенных хлорофилла. ДАН СССР, т. 130, № 2.

Андреева Т. Ф. и Коржева Г. Ф., 1961. Особенности образования аминокислот и белка в листьях растений при фотосинтезе. Физ. раст., т. 8, № 4.

Блок Р., Лестранж Р., Цвейг Г., 1954. Хроматография на бумаге, стр. 66.

Воскресенская Н. П., 1950. О влиянии длины волны света на образование углеводов и белков в листьях. ДАН СССР, т. 72, № 1.

Воскресенская Н. П., 1952. О влиянии спектрального состава света на соотношение веществ, образующихся при фотосинтезе. ДАН СССР, т. 86, № 2.

Воскресенская Н. П., 1953. Значение спектрального состава света для фотосинтетического образования вещества. ДАН СССР, т. 93, № 5.

Воскресенская Н. П. и Гришина Г. С., 1956. К вопросу об использовании растениями $C^{14}O_2$ в разных условиях освещения. ДАН СССР, т. 106, № 3.

Воскресенская Н. П. и Гришина Г. С., 1958. К вопросу о длительном действии спектрального состава света на растения. Физ. раст., т. 5, № 2.

Воскресенская Н. П., и Гришина Г. С., 1959. О действии интенсивности и спектрального состава радиации на обмен веществ и урожай. ДАН СССР, т. 124, № 2.

Костычев С. П., 1937. Физиология растений.

Лёвшин А. М., 1917. Экспериментально-цитологическое исследование взрослых листьев автотрофных растений в связи с вопросом о природе хондриосом. Саратов.

Любименко В. М., 1924. О синтетическом действии монохроматического света в фотосинтезе. Изв. Ленинградского н.-и. ин-та им. Лесгафта.

Незговорова Л. А., 1952. О возможной роли белков в процессе фотосинтеза. ДАН СССР, т. 85, № 6.

Незговорова Л. А., 1956. К вопросу о продуктах фотосинтеза. Физ. раст., т. 3, № 6.

Незговорова Л. А., 1959. Продление времени существования связи ассимилируемого углерода с аспарагиновой кислотой. Физ. раст., т. 6, № 4.

Незговорова Л. А., 1960. К вопросу о комплексе, фиксирующем углекислоту в процессе фотосинтеза. ДАН СССР, т. 134, № 1.

Ничипорович А. А., 1953. Продукты фотосинтеза и физиологическая роль фотосинтетического аппарата растений. Тр. Ин-та физ. раст. им. К. А. Тимирязева, т. 8, № 3.

Ничипорович А. А., 1955. Результаты изучения продуктов фотосинтеза в зависимости от условий его осуществления с применением меченых атомов. Докл. на Межд. конф. по мирн. исп. атом. энергии.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Прянишников Д. Н., 1897. Белковые вещества и их превращения в растении.

Сапожников В. В., 1894. Белки и углеводы зеленых листьев как продукты ассимиляции. Томск.

Сапожников Д. Н., 1951. К вопросу о механизме фотосинтеза в свете его эволюции. Тр. Бот. ин-та АН СССР, сер. IV, в. 8.

Таусон В. О., 1947. О продуктах фото- и хемосинтеза. Изв. АН СССР, сер. биол., № 3.

Тимирязев К. А., 1890. Об усвоении света растениями, Komptes Renelus, 110, 1346.

Чесноков В. Л., Баскакова А. А., Белозерова Л. С., Мишустина И. С., 1957. Роль фотосинтеза в построении белка у растений. Сб. «Проблемы фотосинтеза», М. — Л.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА *А* И *Б* НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОЛОРИМЕТРЕ

М. М. ОКУНЦОВ, Л. И. КУДИНОВА

Содержание хлорофиллов в вытяжках из листьев часто определяют при помощи фотоэлектрического колориметра (ФЭК), но получающиеся цифры, как это следует из литературных данных, весьма заметно отличаются от данных, полученных спектрофотометрически. Мы предположили, что причиной больших расхождений является применение для ФЭКа стандартного раствора, предложенного Гетри. Стандартный раствор Гетри вполне пригоден для колориметрирования, когда о концентрации хлорофиллового раствора судят визуально по его окраске, при этом концентрация солей, как известно, подобрана таким образом, что соответствует по окраске раствору хлорофилла крепостью 85 мг хлорофилла в литре раствора. При применении стандартного раствора Гетри для колориметрирования на ФЭКе не была введена поправка на оптическую плотность стандартного раствора, что и сказалось на точности результатов.

А. П. Щербаков (1957) сообщил, что стандартный раствор Гетри соответствует не 85 мг, а 42,5 мг хлорофилла в 1 литре раствора.

Для сравнения данных, получаемых при определении хлорофиллов *а* и *в* спектрофотометрическим методом и на фотоэлектрическом колориметре, мы провели измерение различных концентраций хлорофиллов на спектрофотометре СФ-4 и на ФЭК-М. Расчеты хлорофиллов при спектрофотометрических измерениях проведены по формулам Т. Н. Годнева. Из хлорофилловой вытяжки, полученной из листьев овса, нами были выделены хлорофиллы *а* и *в* методом бумажной хроматографии по Д. И. Сапожникову, А. Н. Маевской и И. А. Поповой (1959).

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

В табл. 1 приведены данные определения хлорофилла *а* и хлорофилла *в* в ацетоновом растворе при помощи СФ-4 и ФЭК-М. Из этих данных следует, что при определении различных концентраций хлорофилла *а* фотоэлектрическим колориметром (ФЭК-М) данные оказались завышенными в 3,0 раза по сравнению с таковыми, полученными при помощи спектрофотометра. Измерение различных концентраций хлорофилла *в* показало, что данные, полученные при помощи

Таблица 1

Данные измерений хлорофиллов а и в в чистых растворах при помощи спектрофотометра (СФ-4) и фотоэлектрического колориметра (ФЭК-М) со стандартным раствором Гетри. Концентрация хлорофиллов приведена в γ на литр

№ п/п	Хлорофилл *а*			Хлорофилл *в*		
	определение на СФ-4	определение на ФЭК-М	отношение определений ФЭК-М / СФ-4	определение на СФ-4	определение на ФЭК-М	отношение определений ФЭК-М / СФ-4
1	18,71	55,32	2,9	21,42	57,81	2,7
2	17,65	52,93	3,0	12,86	34,30	2,7
3	15,21	45,93	3,0	11,06	28,73	2,6
4	10,27	31,18	3,0	8,89	23,24	2,6
5	9,49	29,78	3,1	7,62	19,70	2,6
6	5,42	16,14	2,9	5,82	15,12	2,6
7	4,76	14,40	3,0	5,53	14,84	2,7
8	3,70	11,32	3,0	4,35	11,62	2,7
9	2,54	7,63	3,0	3,52	8,93	2,5
10	1,79	5,61	3,1	2,82	7,24	2,6
11	1,22	3,72	3,1	1,94	5,30	2,7
12	0,89	2,70	3,0	1,36	3,73	2,7
13	0,70	2,21	3,1	0,93	2,61	2,8
14	—	—	—	0,51	1,41	2,8
15	—	—	—	0,41	1,12	2,7

ФЭК-М, оказались завышенными в 2,7 раза по сравнению с данными, полученными на СФ-4. Отсюда следует, что определение хлорофиллов *а* и *в* на фотоэлектрическом колориметре с построением калибровочной кривой исходя из предположения, что стандартный раствор Гетри соответствует концентрации хлорофилла, равной 85 мг в литре, дает большую

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ошибку по сравнению со спектрофотометрическим измерением.

На основании полученных нами результатов мы построили новую градуировочную кривую для фотоэлектрического колориметра (ФЭК-М), при этом раствор Гетри был приготовлен обычным способом, но расчеты на содержание хлорофиллов нами были изменены следующим образом. Для хлорофилла *а* стандартный раствор на основании его оптической плотности соответствует не 85 мг хлорофилла в литре, а в три раза меньше, то есть 28,3 мг в 1 литре. Соответственно для хлорофилла *в* концентрация уменьшена в 2,7 раза и равняется 31,5 мг в литре.

Исходя из новых значений соответствия стандартного раствора для хлорофиллов *а* и *в*, мы провели ряд определений содержания в чистых растворах хлорофилла *а* и хлорофилла *в*, взятых в различных концентрациях. Полученные данные приведены в табл. 2, откуда следует, что при измененных

Таблица 2

Данные измерений хлорофиллов а и в в чистых растворах при помощи спектрофотомера (СФ-4) и фотоэлектрического колориметра (ФЭК-М) с измененным значением стандартного раствора. Концентрация хлорофиллов приведена в γ на 1 литр

№ п/п	Хлорофилл *а*		Хлорофилл *в*	
	определение на СФ-4	определение на ФЭК-М	определение на СФ-4	определение на ФЭК-М
1	9,49	9,54	11,06	10,72
2	5,41	5,29	5,53	5,31
3	4,76	5,08	4,36	4,25
4	3,70	4,12	3,54	3,55
5	2,53	2,51	2,82	2,74
6	1,21	1,12	1,54	1,46

нами значениях стандартного раствора результаты определения хлорофилла *а* и хлорофилла *в* в чистых растворах оказались достаточно близкими с данными, полученными на тех же растворах, но с определением на спектрофотометре СФ-4. Проведенное нами исследование дает нам основание считать, что при определении хлорофиллов *а* и *в* в чистых растворах на фотоэлектрическом колориметре следует исходить из того, что стандартный раствор Гетри будет соответствовать для раствора хлорофилла *а* 28,3 мг в литре и

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

соответственно для раствора хлорофилла *в* 31,5 мг в литре, а не 85 мг в 1 литре, как это следовало при визуальном колориметрировании.

ЛИТЕРАТУРА

Годнев Т. Н. 1952. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Издательство АН БССР, Минск.

Сапожников Д. И., Маевская А. Н., Попова И. А. 1959. Количественное определение хлорофиллов *а* и *в* при помощи бумажной хроматографии. Физиология растений, т. 6. в. 3.

Щербаков А. П. 1957. Изв. АН СССР, сер. биол., № 3.

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
М. М. Окунцов, Н. М. Фролова. Фотохимическая полимеризация углеводов в листьях растений. 5
М. М. Окунцов, Г. Н. Котлярова. Фотохимический биосинтез аскорбиновой кислоты в листьях растений. . . . 34
М. М. Окунцов, О. А. Роньжина, Е. И. Симонова. Влияние спектрального состава света на биосинтез хлорофилла в растениях 69
М. М. Окунцов, О. А. Роньжина, Е. И. Симонова. Влияние спектрального состава света на биосинтез каротиноидов в растениях 91
М. М. Окунцов, А. Б. Ошаров, И. В. Назаренко. Влияние света разного спектрального состава на соотношение белковых фракций и количество свободных аминокислот в листьях бобов. . 114
М. М. Окунцов, Л. И. Кудинова. К методике определения хлорофилла *а* и *в* на фотоэлектрическом колориметре. . . 123

SUBJECT INDEX.

Preface 3
M. M. Okunzov, N. M. Frolova. Photochemical polymerization of carbohydrates in plant leaves. 5
M. M. Okunzov, G. N. Kotlyarova. Photochemical biosynthesis of ascorbic acid in plant leaves. 34
M. M. Okunzov, O. A. Ronjina, E. I. Simonova. Effect of spectral composition of light on the chlorophyll biosynthesis in plants. 69
M. M. Okunzov, O. A. Ronjina, E. I. Simonova. Effect of spectral composition of light on the biosynthesis of carotenoids in plants. 91
M. M. Okunzov, A. B. Osharov, I. V. Nazarenko. Effect of different spectral composition of light on the correlation of protein fractions and free aminoacids amount in the leaves of beans. . . 114
M. M. Okunzov, L. I. Kudinova. About method of a and b chlorophyll evaluation on the photoelectrical colorimeter. . . . 123

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

ВОПРОСЫ ФОТОСИНТЕЗА. ВЫПУСК I

Редактор издательства М. И. Волкова

Корректор Т. И. Корсакова

К300422. Сдано в набор 17/VIII. Подписано к печати 31/I-64 г.
Бумага 60×92¹/₁₆. Объем 8 печ. л.; 4 бум. л.
Заказ 4493. Тираж 500.
Цена в ледериновом переплете 81 коп.
Издательство Томского университета, пр. Ленина, 34

Типография № 1 Полиграфиздата, Томск, ул. Советская, 47

Электронная библиотека (репозиторий)
Томского государственного университета

Электронная библиотека (фонды) Томского государственного университета

Томский госуниверситет 1878
Научная библиотека 00936437

Цена 81 коп.