

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Действительный член АН БССР Т. Н. ГОДНЕВ,
С. В. КАЛИШЕВИЧ и Г. Ф. ЗАХАРИЧ

**О СТРОЕНИИ ХЛОРОПЛАСТОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ
ХЛОРОФИЛЛА У НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ**

Хотя вопрос о тонкой структуре хлоропластов, благодаря усовершенствованию микроскопической техники и микрографии, а также применению электронного микроскопа, сильно продвинулся вперед, проблема строения фотосинтезирующего аппарата все еще далека от своего полного разрешения. Причиной этого является еще очень недостаточное знание той картины пространственных отношений у молекул поглощающих световую энергию пигментов и связанного с ними белково-липоидного комплекса, которые все еще лежат за пределами и электронного микроскопа и рентгеноструктурного анализа. Изучение этой стороны проблемы пока возможно только путем более детального сравнительного анализа химического состава хлоропластов разных растений на отдельных стадиях развития и при разных внешних условиях. Можно считать окончательно установленной не гомогенную, а гранулярную структуру хлоропласта, описание которой можно найти в ряде сводных работ советских и иностранных авторов (1-9).

Как расположены пигменты в веществе гран и в каком сочетании находятся они с белковыми и липоидными молекулами в гранах, является пока вопросом, разрешение которого требует точного количественного определения соотношения составных частей гран — белков, липоидов и пигмента. Существующие до сих пор попытки получить такое соотношение методом выделения вещества хлоропластов и вещества гран дали пока сильно расходящиеся у отдельных исследователей результаты. Другой путь определения количества пигментов на один хлоропласт — подсчет его объема и поверхности — привел к цифрам того же порядка. Однако эти количественные определения содержания пигментов на один хлоропласт, а также его объемной поверхностной концентрации сделаны, насколько нам известно, только для нескольких растений.

Так, Эйлер (7) нашел для *Elodea densa* величину $2,75 \cdot 10^{-15}$ граммолекул.

Такую же величину нашел Гансон (7) для хлоропластов *Normidium flaccidum*. Величины такого же порядка были найдены нами для хлоропластов *Mnium*. Это отношение количества хлорофилла, белка и липоида согласовалось с предположением об образовании в гранах комплексов, в состав которых входят молекулы протеина с молекулярным весом порядка 17.000, хлорофилла и липоида. Если представить себе, что вещество гран состоит из чередующихся слоев параллельно расположенных белковых молекул и пигментных молекул, расположенных параллельными рядами, то получается примерно соотношение, полученное в указанных выше опытах.

Однако ряд химических определений, а также наши определения отношения пигмента к массе хлоропласта в хлоропластах сирени, в

листьях разного возраста, показывают, что это отношение может значительно уклоняться от указанной выше цифры, увеличиваясь почти вдвое. Поэтому мы решили распространить наши определения на некоторые водные растения, у которых подсчет хлоропластов можно произвести особенно удобно, благодаря простоте анатомической структуры и малому количеству хлоропластов в клетках.

В качестве объекта для исследования были взяты листья рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.), растущего вблизи берегов оз. Нарочь на глубине от 20 до 50 см. Каждый раз брались средние листья побега в разное время вегетационного периода. Рдест блестящий (*Potamogeton luteus* L.) был взят в качестве второго объекта. Эти растения наблюдались нами на глубинах до 5 м, причем в отдельных пробах брались листья как растущие на поверхности (3—4-й лист от вершины побега), так и с глубины 3,5 м (с глубинных ответвлений, 3—4-й лист от конца). Оба эти растения представляют для исследования интересующего нас вопроса то большое удобство, что они построены в анатомическом отношении очень просто: они представляют собой пластинку, состоящую из расположенных в три слоя по толщине листа параллельно поверхности удлинённых, приблизительно призматических клеток, почти одинаковых по всей поверхности листа. Это позволяет производить подсчет как числа клеток, так и числа хлоропластов в них, не прибегая к срезам.

Чтобы избежать ошибки вследствие попадания в часть исследуемых объектов крупной средней жилки, для исследования брался не весь лист, а вырезанные из него в средней части, не затрагивая главной жилки, 4 круглых диска диаметром 7,7 мм. В каждом из этих 4 дисков производился десятикратный подсчет числа клеток в полях зрения, взятых в разных местах диска как на нижней, так и на верхней стороне. Найденное таким образом среднее количество клеток умножалось на среднее число хлоропластов в них. С помощью объективного микрометра измерялся диаметр поля зрения при взятых для определения окуляре и объективе и определялась площадь, занимаемая полем зрения. Делением площади взятых для определения дисков на площадь поля зрения определялось число полей зрения, укладывающееся в исследуемых дисках. Умножением найденного вышеописанным способом числа хлоропластов в каждом поле зрения на число полей зрения находилось общее число хлоропластов в исследуемых дисках.

Тотчас после их анатомического исследования диски помещались в фарфоровую ступку, тщательно измельчались с мелом и песком и полностью извлекались ацетоном (не более 25 см³). Ацетоновый экстракт количественно переносился в кювету фотоэлектрического компенсационного колориметра и в ней доводился точно до 30 см³. Измерение погашения производилось при красном фильтре с максимумом пропускания в области 6600 Å, что, как показали наши предварительные опыты, позволяет определять количество хлорофилла без отделения каротиноидов.

В продолжение наших более ранних работ по определению размеров хлоропластов, количества хлорофилла на хлоропласт, а также концентрации хлорофилла в хлоропластах, были произведены этого рода определения у рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.) и рдеста блестящего (*Potamogeton luteus* L.) в листьях, растущих на разной глубине. Было найдено (см. табл. 1):

1. В период максимального накопления содержание хлорофилла в хлоропластах рдеста пронзеннолистного имеет величину того же порядка, что и у ранее исследованных растений (у *Syringa vulgaris* $2 \cdot 10^{-9}$, у *Mnium medium* $2,4 \cdot 10^{-9}$, у *Elodea canadensis* $1,8 \cdot 10^{-9}$), и составляет в среднем $3,6 \cdot 10^{-9}$. Это количество подвержено колебаниям от

Таблица 1

Время взятия пробы	Полуоси хлоропластов в μ *			Объем хлоропластов в μ^3	Количество хлорофилла на хлоропласт в $\text{мг} \cdot 10^{-9}$	Концентрация хлорофилла в хлоропластах в %
	a	b	c			

Рдест пронзеннолистный

12 VII	2,81	2,69	1,59	50,44	3,87	7,6
24 VII	3,44	3,12	1,6	71,45	4,46	6
24 VII	3,96	3,13	1,63	84,24	3,08	3,6
6 VIII	4,01	3,04	1,37	70,28	3,37	4,8
6 VIII	3,48	3,01	1,21	53,20	1,94	3,7
12 VIII	4,18	3,52	1,76	108,5	3,44	3
12 VIII	3,69	2,75	1,38	58,35	4,38	7,3
Средн. . .	3,65	3,04	1,66	70,95	3,50	5,14

Рдест блестящий (глубина 1 м)

16 VII	3,15	2,50	1,25	42,88	4,27	9,9
16 VII	2,90	2,3	1,48	46,75	3,22	6,9
18 VII	2,84	2,81	1,46	48,81	3,64	7,5
18 VII	3,69	2,94	1,49	67,75	2,39	3,5
3 VIII	2,64	1,77	1,08	20,12	1,83	8,6
3 VIII	2,75	2,09	1,32	31,78	1,74	5,4
Средн. . .	3,16	2,40	1,34	43,15	2,68	6,9

Рдест блестящий (глубина 2 м)

16 VII	3,28	3,11	1,46	62,4	5,28	6
18 VII	3,59	2,51	1,48	55,58	4,81	8,7
Средн. . .	3,43	2,84	1,47	59,14	5,04	8,35

Рдест блестящий (глубина 3 м)

15 VII	4,31	3,06	1,53	84	2,4	2,8
3 VIII	4,25	3,44	1,63	99	1,92	1,9
3 VIII	3,69	1,63	1,50	37,63	3,25	8,6
Средн. . .	4,08	2,71	1,55	70,39	2,52	4,43

* a — наибольшая полуось, b — средняя полуось, c — наименьшая полуось хлоропласта.

$1,94 \cdot 10^{-9}$ до $4,38 \cdot 10^{-9}$ и находится в приблизительном соответствии с колебаниями размеров хлоропластов.

2. У рдеста блестящего в листьях, взятых на поверхности, количество хлорофилла на хлоропласт имеет величину того же порядка и подвержено аналогичным колебаниям.

3. Концентрация хлорофилла в массе хлоропласта в среднем очень близка к ранее найденным цифрам (⁵, ⁸, ⁶), что указывает, повидимому, на приблизительное постоянство этой величины у разных растений. Однако в отдельных случаях наблюдаются колебания, максимальная амплитуда которых у разных растений примерно одинакова: у рдеста пронзеннолистного от 3,6 до 7,6, ср. 5,14; у рдеста блестящего, поверхно-

стные листья от 3,5 до 9,9, ср. 6,90; у рдеста блестящего, на глубине 3 м от 1,9 до 8,6, ср. 4,43. Это стоит, вероятно, в связи с набуханием интергранулярного вещества стромы и расхождением гранул на большие расстояния.

Поступило
9 IV 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Табенцкий, Изв. АН СССР, сер. биол., № 5 (1947). ² Л. П. Бре-
славец, Изв. АН СССР, сер. биол., № 3 (1947). ³ Е. Р. Гюббенет, Природа,
№ 11 (1946). ⁴ A. Frey-Wyssling, Protoplasma, 29, 279 (1937). ⁵ Т. Н. Год-
нев и С. В. Калишевич, Сборн., посв. памяти Любименко, 1938, стр. 51.
⁶ Т. Н. Годнев и С. В. Калишевич, ДАН, 27, № 8 (1940). ⁷ E. Rabinow-
itch, Photosynthesis and Related Processes, N. Y., 1945. ⁸ S. Granick and
K. R. Porter, Am. J. Bot., 34, No. 10, 545 (1947). ⁹ Н. М. Сисакян, А. М.
Золковер и В. И. Бирюзова, ДАН, 60, № 7 (1948).