

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. А. Шахов, С. Г. Наринян и Б. М. Голубкова

Изменение структуры хлоропластов под влиянием
 температурно-радиационного режима на горе Арагац

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. О. Гулкяном 28/1 1963)

Результаты исследований по влиянию космической и ультрафиолетовой радиации в наземных экспериментах в горах дали нам основание считать, что высокогорья должны явиться наземным форпостом в области космической биологии (1). Из-за непродолжительного пребывания живых организмов в околоземном космическом пространстве и в результате еще малого количества таких опытов, данных о действии экстремальных факторов космоса на растительный организм, пока немног.

Следует считать совершенно необходимым проведение в горах на высоте 3000—4000 м над уровнем моря комплексных наземных исследований по радиационным проблемам космической биологии. В основе таких исследований должны быть: во-первых, изучение влияния естественного радиационного режима (ультрафиолетовой, инфракрасной, космической и других видов радиации) на организмы; во-вторых, имитация отдельных факторов или «квазикосмических» радиационных режимов для изучения их биологического действия.

Задачей настоящей работы является электронномикроскопическое исследование хлоропластов растений, обитающих на высоте 3225 м. Постановка такой задачи вызвана в данном случае тем, что в условиях высокогорного температурно-радиационного режима Арагаца растения имеют высокий коэффициент поглощения солнечной энергии (1). Участие же хлоропластов в процессе фотосинтеза, а через него и в обеспечении на космическом корабле биологического круговорота вещества на основе использования энергии солнечного света, ставит хлоропласты в положение чрезвычайно важного объекта исследований по космической физиологии растений. Именно благодаря хлоропластам может быть в длительных полетах обеспечена регенерация воздуха в кабине — поглощение углекислоты, выделяемой человеком или животным, и обогащение атмосферы в кабине кислородом. На космическом корабле будет как бы имитирован естественный круговорот вещества и газов в природе (2).

В качестве основного объекта нашего исследования взят редис сорта Месячный. Он выращивался на высоте 3225 м в условиях открытого

грунта (контроль) и в парниках. Чтобы выяснить, имеет ли значение для структуры и функции хлоропластов спектральный состав солнечной радиации, растения в парниках в течение всего лета выращивались под стеклом (первый вариант) и под полиэтиленовой пленкой (второй вариант).

Спектральное пропускание пленки и стекла, измеренное на спектрофотометре СФ-4, дано в таблице.

Как видно, пленка около половины УФ-лучей (τ 44—59 %) пропускает в той области (240—310 $m\mu$), которая стеклом полностью задерживается. Волны длиной 310—340 $m\mu$, достигающие в горах поверхности земли и имеющие значение для жизнедеятельности растений, пропускаются пленкой значительно больше, чем стеклом. В пределах видимого участка спектра пленка пропускает на 10—25 % меньше стекла, а в области ИК-радиации различия невелики (при $\lambda = 760—1400 m\mu$ $\tau = 76—80$ %).

Таким образом, растения редиса, выращенные в течение вегетационного периода под полиэтиленовой пленкой, облучались относительно больше УФ-радиацией и меньше видимой радиацией по сравнению с растениями под стеклом.

Спектральное пропускание ($\tau^0/0$) полиэтиленовой пленки и оконного стекла

$\lambda_{m\mu}$	$\tau^0/0$													
	пленка	стекло												
240	44	0	360	64	90	510	73	93	710	75	86	910	80	80
250	45	0	365	64	90	520	75	94	720	75	83	920	80	80
260	49	0	370	64	90	530	74	93	730	75	83	930	80	80
270	51	0	375	64	90	540	74	93	740	75	83	940	80	80
280	53	0	380	64	90	550	74	93	750	75	83	950	80	79
285	55	0	385	64	90	560	75	93	760	76	82	960	80	79
290	55	0	385	64	90	570	75	93	770	76	82	970	79	79
295	56	0	390	64	91	580	76	93	780	76	81	980	80	80
300	56	0	395	65	92	590	76	92	790	76	80	990	80	80
305	56	0	400	66	93	600	77	92	800	77	80	1000	80	80
310	59	2	410	68	94	610	75	90	810	77	79	1020	80	80
315	59	5	420	68	94	620	74	87	820	77	80	1040	80	80
320	61	15	430	68	93	630	73	86	830	77	80	1060	80	80
325	61	30	440	68	93	640	73	90	840	79	80	1080	80	79
330	61	44	450	69	93	650	73	89	850	79	80	1100	80	78
335	62	47	460	70	93	660	75	90	860	79	80	1125	79	78
340	62	55	470	71	93	670	76	90	870	80	80	1150	78	78
345	63	76	480	72	93	680	75	89	880	80	80	1175	78	78
350	63	83	490	73	94	690	75	90	890	80	80	1200	78	78
355	63	86	500	73	93	700	75	87	900	80	80	1250	78	78
												1400	78	78

Такое изменение соотношения между интенсивностью белого света и ультрафиолетовой радиации (относительное ослабление первого и усиление второй), важное с точки зрения фотоэнергетики растений, повлияло на субмикроскопическую структуру хлоропластов.

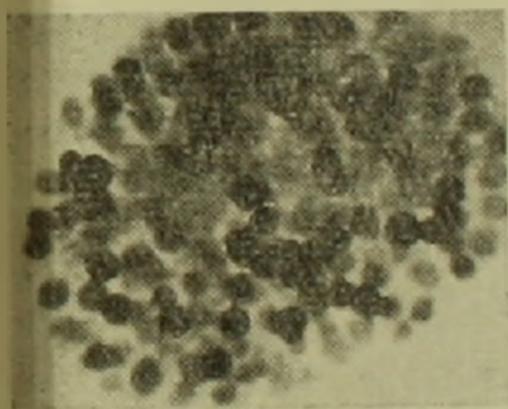
Целые хлоропласты выделялись из листьев по видоизмененной методике Паладе. Фиксатором служила осмиевая кислота в ацетат-верональ-

ном буфере при $pH=7,4$. Работа проводилась на японском электронном микроскопе IEM-50 при увеличении в 10500 раз.

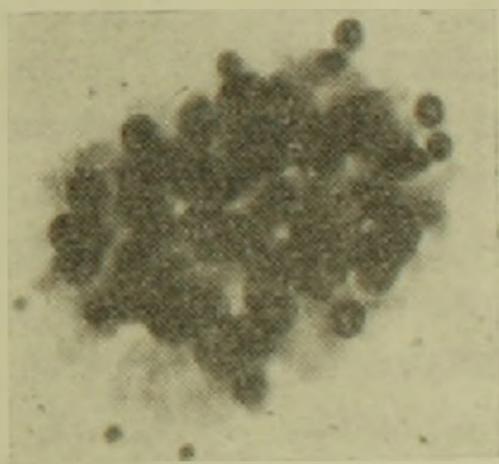
В листьях редиса, выращенного под стеклом, содержатся хлоропласты округлой формы с хорошо обозначенными гранами и крупными осмиофильными гранулами (фиг. 1). Осмиофильные гранулы видны на микрофотографиях в виде черных круглых «шариков», имеющих липоидную природу (3). Как видно, они по своим размерам превышают диаметр гран хлоропласта. (Граны на микрофотографиях выглядят сероватыми дисками).

В листьях редиса, выращенного под полиэтиленовой пленкой, хлоропласты по размеру почти не отличаются от хлоропластов растений под стеклом. Однако по структуре разница довольно заметная. Хлоропласты растений, выращенных под полиэтиленовой пленкой, содержат в строме очень крупные осмиофильные гранулы. Последние в диаметре превышают не резко очерченные граны в полтора-два раза и, соединяясь друг с другом, занимают значительную часть (фиг. 2). Такое обилие в хлоропластах осмиофильных гранул свидетельствует об изменении липидного обмена и о наличии значительного количества свободных липидов, это, по-видимому, связано с изменением радиационного режима, т. е. усилением УФ-облучения на фоне ослабленного белого света.

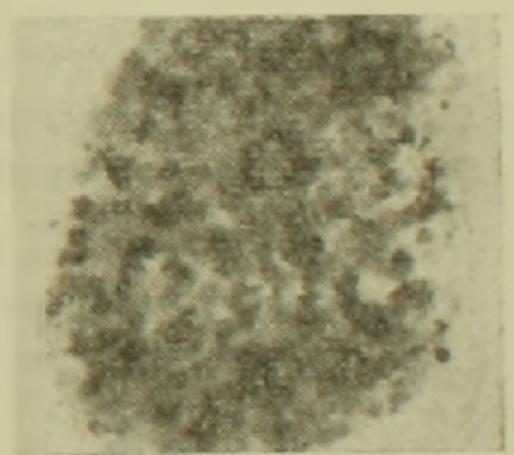
Какова же структура хлоропластов одновозрастных растений редиса, выращенных рядом в открытом грунте и облучавшихся естественной высокогорной радиацией?



Фиг. 1. Хлоропласты листьев редиса, выращенного под стеклом. 10500 \times .



Фиг. 2. Хлоропласты листьев редиса, выращенного под полиэтиленовой пленкой. 10500 \times .



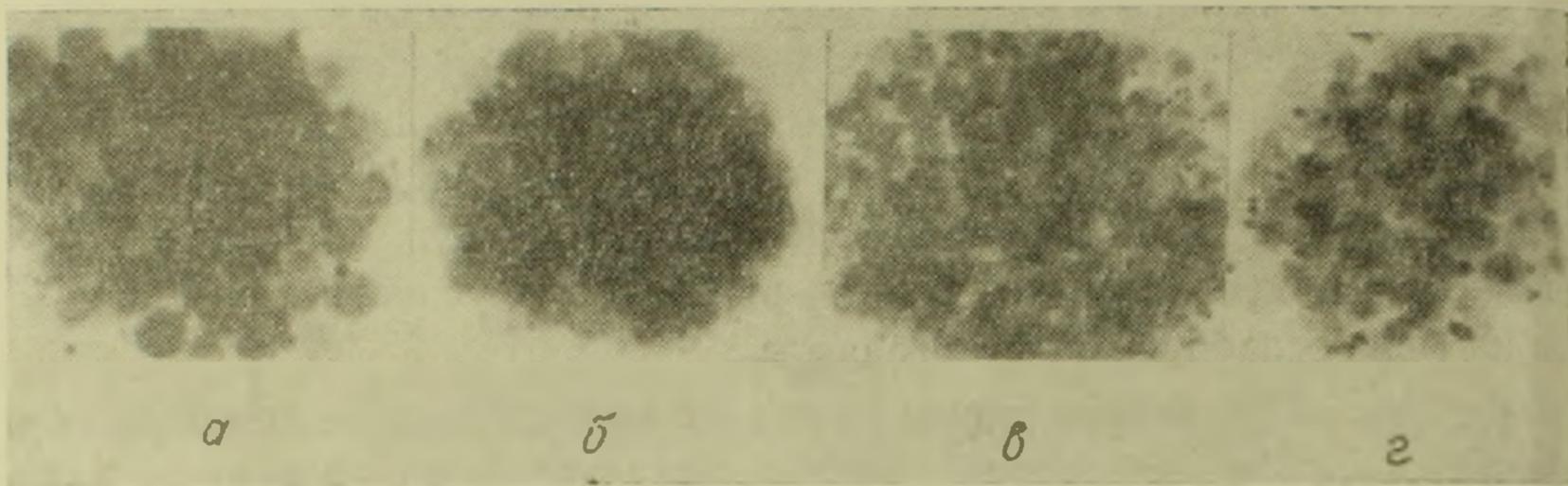
Фиг. 3. Хлоропласты листьев редиса, выращенного в открытом грунте. 10500 \times .

Как видно из фиг. 3, хлоропласты имеют более овальную форму средней плотности и содержат небольшие неясно выраженные граны и очень мелкие осмиофильные гранулы. Такая субмикроскопическая структура хлоропласта свидетельствует о том, что в условиях высокогорного температурно-радиационного режима на естественном панхроматическом фоне солнечной радиации хлоропласты редиса имеют нормальное строение. Они не испытывают каких-либо нарушений в липидном обмене.

Изучение хлоропластов дикорастущих растений на горе Арагац выя-

вило следующую субмикроскопическую структуру зеленых пластид. Оказалось, что в листьях *Doronicum oblongifolium*, *Oxyria elatior*, *Hyoscyamus niger*, *Delphinium foetidum* хлоропласты большого размера с крупными гранами и мелкими осмиофильными гранулами (фиг. 4 а, б, в, г.)

Наши другие исследования, проведенные на Севере и в Москве, выявили онтогенетическую изменчивость субмикроскопической структуры хлоропластов. В частности, было установлено, что у картофеля, начиная с фазы бутонизации, хлоропласты структурно изменяются. Известно, что спектральный состав света влияет на развитие, фотопериодизм, старение растений (^{4,5}). Однако этот вопрос сложен и противоречив (⁵). Нам представляется, что описанное выше изменение структуры хлоропластов у редиса связано не столько с развитием одновозрастных растений, сколько с изменением радиационного режима.



Фиг. 4. Хлоропласты листьев *Doronicum oblongifolium* (а), *Oxyria elatior* (б), *Hyoscyamus niger* (в), *Delphinium foetidum* (г) в открытом грунте. 105000X.

Поскольку изменение радиационного режима повлияло на спектральные свойства листьев редиса и структуру хлоропластов, то это несомненно повлияло и на фотосинтез. Однако сопоставление изменения спектральных свойств (¹) и хлоропластов приводит к следующему заключению. Наличие в хлоропластах высокогорного редиса, выращенного под полиэтиленовой пленкой, большого количества свободных липидов не препятствует высокому поглощению лучистой энергии, в особенности зеленых и красно-инфракрасных лучей. При сравнении спектральных свойств растений, выращенных под стеклом и пленкой, оказывается, что у растений, имеющих хлоропласты с большим содержанием осмиофильных гранул (под пленкой), поглощение лучистой энергии выше. Это может быть связано с той большой ролью, какую липиды играют в обмене веществ и энергетике растения.

Липиды представляют собой весьма важную часть хлоропластов; в химическом составе хлоропластов они занимают второе место после белков (⁶). Они составляют одну треть сухого веса хлоропластов, участвуют в активном обмене веществ при фотосинтезе и, по-видимому, обеспечивают возможность образования ориентированных квазикристаллических структур, необходимых для эффективного переноса энергии и продуктов обмена веществ (⁷).

Интересная, с точки зрения фотоэнергетики растений, связь между поглощением солнечной энергии и содержанием липидов требует специальных исследований. Как показано нами (8), УФ-облучение, приближающееся по интенсивности к космическому, повышает в листьях редиса содержание свободных липидов и увеличивает поглощение лучистой энергии от УФ до ИК.

Таким образом, для структуры и функции хлоропластов имеет несомненное значение спектральный состав и интенсивность солнечной радиации. Учитывая вышезложенные данные, а также материалы о космическом значении фотоадаптации и фотореактивации в растениях (9), мы приходим к выводу о важности исследования структуры и функции хлоропластов в условиях цветного света. Выбор же фильтров при облучении растений в космосе, чтобы с максимальной продуктивностью использовать солнечную энергию, требует внимательного отношения и исследования в связи с проблемой фотоэнергетики растений. Все это необходимо иметь в виду при разработке принципов расчета и формирования искусственной среды обитания, при построении замкнутого экологического комплекса в кабинах космических кораблей.

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

Ботанический институт Академии наук Армянской ССР

Ա. Ա. ՇՍԽՈՎ. Ս. Գ. ՆՍՐԻՆՅԱՆ ԷՎ Բ. Մ. ԳՈԼՈՒԲՆՈՎԱ

Քլորոպլաստների կառուցվածքի փոփոխությունը ջերմա-ճառագայթման աեծիմի ազդեցությամբ ճակ Արագած լեռան վրա

Քլորոպլաստների մասնակցությունը ֆոտոսինթեզի պրոցեսում և արեզակնային էներգիայի օգտագործման հիման վրա նյութերի շրջանառություն ապահովումը կոսմիկական նախերում, առաջադրում է քլորոպլաստների ուսումնասիրությունը որպես շափագանց կարևոր օրյեկտային կոսմիկական ֆիզիոլոգիայում:

Ի նկատի ունենալով այն հանգամանքը, որ բույսերը Արագածի վրա ունեն արեզակնային էներգիայի կլանման մեծ կոեֆիցիենտ (1) կատարված է քլորոպլաստների էլեկտրոնա-միկրոսկոպիկական հետազոտություն:

Փորձի օրյեկտները եղել են ամսարողը և վայրի աճող տեսակները 3225 մ. բարձրության վրա ճեռագոտելու համար ուլտրամանրաշափագային և սպեկտրալ կազմի ազդեցությունը, բույսերը աճեցվել են ջերմոցներում՝ ապակու պոլիէթիլենային թաղանթի տակ և բաց զրուհտում: Ուլտրամանրաշափագային ճառագայթները (310—310 մու) թաղանթի կողմից բաց են թողնվել ավելի, բան ապակու կողմից: Դրա հետեանքով պոլիէթիլենային թաղանթի տակ աճեցված բույսերի քլորոպլաստները իրենց ստրմայում պարունակում են շատ խոշոր օսմիոֆիլ գրանուլներ (նկ. 2): Դա ցույց է տալիս լիպիդների փոփոխությունը, նրանց ազատ ֆրակցիայի պարունակության մեծացումով: Արեզակնային փոխանակության այդպիսի փոփոխությունը չի նկատվում այն բույսերի մոտ, որոնք աճել են բարձր լեռնային արեզակնային ճառագայթման բնական պայմաններում (նկ. 3, 4): Քլորոպլաստների կառուցվածքի և ֆունկցիայի համար նշանակություն ունի արեզակնային ճառագայթման ինտենսիվությունը և սպեկտրալ կազմը: Արեզակնային էներգիան ավելի արդյունավետ օգտագործելու նպատակով կոսմոսում բույսերի ճառագայթաղման դեպքում ֆիյտրոնների բնորոշությունը պահանջում է բույսերի ֆոտոէներգիական պրոբլեմի հետ կապված ուսումնասիրություններ:

ЛИТЕРАТУРА — Ч Р Ц Ц Ц Ы П Р Р З П Р Ы

- ¹ А. А. Шахов, С. А. Станко, С. Г. Наринян, ДАН АрмССР т. XXXVI, № 1 (1963).
² Н. М. Сисакян, В. В. Парин, В. Н. Черниговский, В. Н. Яздовский, Сб.: Проблемы космической биологии, Изд. АН СССР, т. 1, 1962. ³ R. V. Park, N. G. Pop, Journ. Mol. Biol. vol. III, № 1, 1961. ⁴ В. О. Казарян, Изв. АН АрмССР, № 7, 1946. ⁵ В. О. Казарян, Физиологические основы онтогенеза растений, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1959. ⁶ Н. М. Сисакян, С. С. Мелик-Саркисян, Успехи биол. химии, т. IV, Изд. АН СССР, 1962. ⁷ А. А. Бенсон, Обмен липидов в хлоропластах, V Международный биохим. конгресс, Симпозиум, VI М., 1961. ⁸ А. А. Шахов, Журн. общ. биол., т. 23, вып. 2, 1962. ⁹ А. А. Шахов, С. А. Станко, В. С. Хазанов, Сб.: Проблемы космической биологии, т. II, Изд. АН СССР, 1962.