

А. А. ШАХОВ, С. В. ШИЩЕНКО, В. С. ХАЗАНОВ, С. Г. НАРИНЯН

ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАСТЕНИЙ

Изучение влияния экстремальных факторов космического пространства на живые организмы представляет собой одну из основных проблем космической биологии [1]. Среди экстремальных факторов особого внимания заслуживает действие на организмы ультрафиолетового (УФ) излучения, которое в зависимости от длины волны и дозы облучения может иметь положительное или отрицательное влияние. В наземных условиях, особенно в горах, УФ лучи являются постоянно действующим фактором среды. В наземных исследованиях по космической физиологии растений на горе Арагац (3220 м н. ур. м.) было показано, что, изменяя интенсивность падающей на растения естественной, довольно высокой УФ радиации, можно изменять спектральные свойства растений и структуру хлоропластов [2, 3]. Таким образом, возникает необходимость изучения способности растений поглощать лучистую энергию в условиях разного ультрафиолетового режима, что может иметь значение для решения ряда вопросов космической физиологии растений.

Выращивание растений при ограниченном доступе УФ лучей (под полиэтиленовой пленкой) влияет, в согласии с данными ранних опытов [2], на спектральные свойства растений. Проникновение через полиэтиленовую пленку большего, по сравнению со стеклом, количества УФ лучей повышает способность растений поглощать солнечную энергию по всему исследованному спектру (табл. 1), но особенно ближних инфракрасных лучей (λ 860 мкм). В целом поглощаемая листом мощность, в полдень в интервале длины волны 400—860 мкм под стеклом равна

$$3,2 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}, \text{ под пленкой} - 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}.$$

На основании этого можно предположить, что дополнительное искусственное УФ облучение растений в высокогорных условиях Арагаца повлияет на спектральные свойства листьев. Действительно, ежедневное (по 10 и 20 мин.) облучение в течение месяца редиса сорта Месячный радиацией от лампы ПРК-2 при облученности в интервале длины волны 290—340 мкм равное $1700 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$ дало существенное изменение в поглощении лучей отдельных спектральных участков (табл. 2).

Как видно, под влиянием УФ облучения (20 мин.) поглощение зеленых лучей увеличилось на 12%, красных (λ 698) на 9, дальних красных на 75 и ближних инфракрасных на 250%. В целом, мощность, по-

Таблица 1

Спектральные свойства листьев кресс-салата, выращенного на высоте 3200 м н. ур. м., 29.VIII 1963 г. в % от падающей радиации

Длина волны (ммк)	Под стеклом			Под пленкой		
	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение
434	0,5	6,1	93,4	0,6	5,0	94,4
548	19,0	16,7	64,3	17,4	15,6	67,0
578	12,9	13,1	74,0	11,9	10,8	77,3
621	8,3	9,2	82,5	8,1	7,8	84,1
645	7,2	9,5	83,3	3,7	6,0	90,3
660	2,1	7,7	90,2	3,2	6,7	90,1
698	14,5	15,8	69,7	13,4	14,6	72,0
730	34,7	38,1	27,2	39,0	37,8	23,2
860	45,6	50,1	4,3	43,0	39,0	18,0

глощаемая листом в полдень, в интервале длина волны 400—860 ммк, у контрольных растений равна $3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$, у облученных ежедневно

10 мин.— $3,7 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$, у облученных ежедневно 20 мин.— $3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$.

Такова реакция мезофитного растения на продолжительное УФ облучение, во время которого растения смогли приспособиться в онтогенезе.

Таблица 2

Спектральные свойства листьев редиса, выращенного на высоте 3200 м н. ур. м., 29.VIII 1963 г. в % от падающей радиации

Длина волны (ммк)	Контроль			УФ облучение 10 мин.			УФ облучение 20 мин.		
	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение
434	0,5	5,0	94,5	0,4	6,2	93,4	0,7	3,7	95,6
548	16,7	13,9	69,4	13,4	10,1	76,5	13,1	9,6	77,3
578	10,8	10,8	78,4	11,4	9,7	78,9	11,1	8,7	80,2
621	7,5	7,5	85,0	5,4	6,5	88,1	7,7	8,8	83,5
645	5,4	7,8	87,8	4,5	6,9	88,6	6,5	7,6	85,9
660	3,0	5,7	91,3	2,3	5,6	92,1	3,3	6,5	90,2
698	14,5	15,8	69,7	13,6	13,1	73,3	10,9	13,3	75,8
730	40,0	36,3	23,7	41,6	30,3	28,1	31,4	27,2	41,4
860	45,5	50,0	4,5	49,5	37,6	12,9	41,3	43,1	15,6

Для того, чтобы выяснить, как изменится поглощение листом лучистой энергии, если растения подвергнуть действию УФ радиации в течение более короткого времени нарастающими дозами радиации, появится ли различие в реакции фотосинтетического аппарата, если облучение производить днем (при солнечном освещении) и ночью (в темноте) были поставлены специальные опыты. Растения ячменя Полярный 14.

выращенные на почве (+NPK) в вегетационных сосудах, в фазе трубкования в течение 17 дней были подвергнуты дневному или вечернему, нарастающему изо дня в день, коротковолновому УФ облучению: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120 мин и т. д., общей продолжительностью 39 ч. 15 мин. Облучение производилось бактерицидными лампами БУВ-15. Облученность растений для длины волны 254 мкм равнялась $100 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$. В результате такого нарастающего облучения, даваемого растениям в середине онтогенеза, они не смогли за короткий период достаточно приспособиться, чтобы в качестве фотореактивирующего противодействия коротковолновому УФ излучению увеличить поглощение света листом (табл. 3).

Таблица 3

Спектральные свойства листьев ячменя Полярный 14 при искусственном недельном дополнительном облучении ($\lambda=254$ мкм) на высоте 3200 м н. ур. м., 28.VIII 1963 г. в % от падающей радиации

Длина волны (мкм)	Естественное освещение (контроль)			Естественное освещение + УФ облучение днем			УФ облучение ночью		
	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение
434	0,7	4,0	95,3	0,8	11,3	87,9	0,2	6,8	93,0
548	10,3	7,3	82,4	14,4	17,1	68,5	16,7	19,4	63,9
578	14,1	10,5	75,4	22,8	25,0	52,2	18,5	16,0	65,5
621	9,6	8,5	81,9	10,8	16,0	73,2	20,5	11,2	68,3
645	5,7	5,6	88,7	9,6	17,5	72,9	10,0	8,5	81,5
660	3,1	4,8	92,1	7,0	15,0	78,0	6,6	7,0	86,4
698	16,6	9,5	73,9	16,7	22,5	60,8	17,5	14,0	68,5
730	42,3	34,6	23,1	40,8	39,6	19,6	43,0	37,4	19,6
860	50,0	41,0	9,0	40,5	42,0	17,5	47,4	43,7	8,9

Наоборот, поглощение лучистой энергии уменьшилось на всем участке видимого света (434—730 мкм) и только поглощение ближних инфракрасных лучей сохранилось на прежнем уровне или даже увеличилось при дополнительном УФ дневном облучении. Из этого следует вывод, прежде всего, о лабильности спектральных свойств листьев растений, их способности реагировать на неблагоприятный УФ режим.

У местного дикорастущего растения—*Alchemilla caucasica*, приспособленного в своей эволюции к росту и развитию в условиях высокого естественного УФ излучения, указанный двухнедельный режим искусственного УФ облучения не уничтожил способность к высокому поглощению лучистой энергии по всему спектру (табл. 4).

Поскольку контрольные растения, находясь в сосудах, пострадали от пересадки, то их спектральные свойства не определялись, но, судя по высоким величинам поглощения света подопытными растениями, последние менее болезненно реагировали на дополнительное УФ облучение, чем завезенный на Арагац северный ячмень. Это может свидетельство-

Таблица 4

Спектральные свойства листьев *Alchemilla caucasica* при искусственном недельном УФ ($\lambda=264$ мкм) облучении на высоте 3200 м н. ур. м. 28.VIII 1963 г. в % от падающей радиации

Длина волны (мкм)	УФ облучение днем			УФ облучение ночью		
	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение
434	0,0	4,5	95,5	0,0	3,4	96,6
548	4,4	10,7	84,9	9,8	10,2	80,0
578	4,8	10,8	84,4	6,8	9,1	84,1
621	5,3	10,4	84,3	4,6	6,4	89,0
645	4,8	10,3	84,9	4,7	6,8	88,5
660	3,6	11,4	85,0	2,3	6,0	91,7
698	11,2	14,9	73,9	9,3	10,4	80,3
730	25,0	25,6	49,4	29,6	34,0	36,4
860	34,3	46,0	19,7	40,0	46,5	13,5

вать в пользу более высокой устойчивости альпийских растений к УФ лучам, что было отмечено Генрици [4], Пиршле [5] и др.

В связи с важной ролью фосфора в фотоэнергетике растений, мы определили изменение спектральных свойств растений под действием средневолновых УФ лучей (эритемные лампы) в зависимости от обеспеченности фосфором.

Таблица 5

Спектральные свойства листьев ячменя Полярный 14 на высоте 3200 м н. ур. м. в зависимости от фосфорного питания в % от падающей радиации

Длина волны (мкм)	НК			NPK			N(2P)K		
	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение	отражение	пропускание	поглощение

При естественном освещении

434	0,0	8,1	91,9	0,0	5,7	94,3	1,2	4,4	94,4
548	11,0	13,4	75,6	20,7	17,7	61,6	26,2	16,7	57,1
578	6,5	7,8	85,7	15,5	12,7	71,8	22,6	11,7	65,7
621	6,5	6,6	86,9	9,4	9,0	81,6	14,0	11,4	74,6
645	4,7	9,2	86,1	8,9	7,2	83,9	12,0	9,1	78,9
660	1,7	5,4	92,9	4,9	5,9	89,2	6,9	5,3	77,8
698	12,0	11,3	76,7	17,3	11,8	70,9	23,7	16,1	60,2
730	35,0	34,0	31,0	32,3	22,2	55,5	48,3	35,0	16,7
860	44,5	49,0	6,5	48,4	42,9	8,7	54,0	40,7	5,3

При дополнительном (искусственном) облучении УФ радиацией: ($\lambda=300-320$ мкм)

434	0,3	4,4	95,3	0,9	3,9	95,2	0,5	4,5	95,0
548	15,0	14,0	71,0	24,1	11,6	64,3	22,5	15,8	71,7
578	10,5	11,4	78,1	18,4	7,8	73,8	17,0	12,2	70,8
621	6,7	5,8	87,5	13,9	7,1	79,0	10,7	9,3	80,0
645	5,0	5,8	89,2	10,5	3,0	86,5	6,8	6,3	86,9
660	2,4	5,9	91,7	6,0	3,9	90,1	4,9	5,4	89,7
698	14,0	14,1	81,9	22,1	11,4	66,5	15,3	14,3	70,4
730	35,0	35,4	29,6	50,0	26,6	23,4	50,0	37,5	12,5
860	44,0	43,6	12,4	56,6	32,6	10,8	57,0	43,0	0,0

Как видно из табл. 5, добавление одинарной и двойной дозы фосфора к почве, которая и без того содержала фосфор, повлекло снижение поглощения света, особенно в области длины волн 548—621 мкм и красных лучей (λ 660, 698 мкм). По-видимому, пониженные температуры на Арагаце задерживали поступление фосфора в корни и его активное участие в метаболизме, что затрудняло передвижение фосфора в листья. Искусственное в течение месяца облучение растений УФ радиацией эритемных ламп (облученность $200 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$) по 2—3 часа ежедневно увеличило поглощение света (табл. 5) на фонах N(2P)K и NPK. На фонах NK и NPK УФ облучение повысило поглощение ИК лучей (λ 860 мкм), а на фоне N(2P)K—снизило. Таким образом, на поглощение лучистой энергии листьями ячменя в условиях высокого УФ облучения и пониженной температуры на Арагаце влияет фосфорное питание. Вероятно, при этом происходит изменение во взаимосвязи светового и корневого питания, обмена веществ между листьями и корнями. Изменение такого обмена, по В. О. Казаряну [6], является одним из внутренних факторов, влияющих на онтогенез и физиологические процессы в растениях.

В ы в о д ы

1. На высоте 3200 м н. ур. м. дополнительное в течение месяца (по 10—20 мин. ежедневно) УФ облучение (λ 290—340 мкм) редиса увеличило поглощение листьями лучистой энергии. В результате мощность энергии, поглощаемая в полдень листом, в интервале длины волны 400—860 мкм возросла на 30—40 000 эрг/см².

2. При действии на ячмень Полярный 14 УФ радиацией (254 мкм), нарастающими в течение 17 дней дозами, общей продолжительностью около 40 час., поглощение лучистой энергии видимого света (λ 434—730 мкм) уменьшилось, а ИК лучей (λ 860 мкм) увеличилось вдвое при УФ облучении днем (табл. 3).

3. При указанном режиме УФ облучения высокогорное растение *Alchemilla caucasica* сохранило способность к высокому поглощению лучистой энергии по всему исследованному спектру, что свидетельствует о высокой устойчивости альпийского растения к коротковолновым УФ лучам.

4. Полученные данные могут представить интерес для наземных исследований по космической физиологии растений в условиях искусственно создаваемого «квазикосмического» ультрафиолетового режима.

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева АН СССР
Ботанический институт АН АрмССР
Всесоюзный научно-исследовательский
светотехнический институт

Поступило 23.VI 1964 г.

Ա. Ա. ՇԱԽՈՎ, Ս. Վ. ՇԻՇՉԵՆԿՈ, Վ. Ս. ԽԱԶԱՆՈՎ, Ս. Գ. ՆԱՐԻՆՅԱՆ

ՈՒՆՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲՈՒՅՍԻ ՍՊԵԿՏՐԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ո Վ մ

Սրկրային կենդանի օրգանիզմների վրա տիեզերական տարածության ծայրահեղ գործոնների ազդեցության ուսումնասիրությունը կոսմիկական բիոլոգիայի հիմնական պրոբլեմներից մեկն է:

Այդ գործոններից հատուկ ուշադրության արժանի է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման ազդեցությունը օրգանիզմների վրա: Լեռնային պայմաններում ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները հանդիսանում են օրգանիզմի վրա մշտապես ազդող գործոն և այդ ուղղությամբ Հայաստանում Արագած լեռան վրա ծովի մակերևույթից 3220 մ բարձր կատարված են մի շարք աշխատանքներ [2, 3]:

Այդ աշխատանքները ցույց են տալիս, որ ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների ազդեցության տակ կարելի է փոխել բույսերի բլորուպլաստների սպեկտրային հատկությունները: Այս հանգամանքը հիմք է տալիս ուսումնասիրելու բույսերի կլանողական ունակությունը ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման տարբեր ուժիմներում, որպիսի հանգամանքը կարող է որոշակի նշանակություն ունենալ բույսերի կոսմիկական ֆիզիոլոգիայի մի շարք հարցերի լուծման համար:

Այս կապակցությամբ Արագածի բարձունքներում դրվել են մի շարք փորձեր ամսական բողկի և կոտեմի վրա, աճեցնելով նրանց ջերմոցային պայմաններում ապակու (որից չեն թափանցում ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները) և պոլիէտիլենային թաղանթի (որից թափանցում են ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները) տակ: Նշված օբյեկտները, բացի բնական ճառագայթներից, ազդեցության են ենթարկվել նաև արհեստական ճառագայթումով, ինչպես և ուլտրամանուշակագույն ու ինֆրակարմիր հատուկ լամպերի միջոցով: Փորձերը կատարվել են նաև բացօդյա պայմաններում գարու «Պոլյարնի 14» սորտի վրա:

Մեր փորձերի արդյունքները մեզ բերել են հետևյալ եզրակացությունը:

1. Ծովի մակերևույթից 3220 մ բարձր, վրա մեկ ամսվա ընթացքում (ամեն օր 10—20 րոպե) տրված ուլտրամանուշակագույն ճառագայթումը (ՆՆ 290—340 մմկ) նպաստել է ամսական բողկի տերևների ճառագայթային էներգիան կլանելու ունակության բարձրացմանը:

Դրա շնորհիվ կեսօրին տերևների կլանման արագությունը 400—860 մմկ ալիքների սահմաններում ավելանում է 30—40.000 էրգ/սմ²-ով:

2. Ազդելով գարու Պոլյարնի 14 սորտի վրա ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներով (254 մմկ), որը 17 օրվա ընթացքում օրըստօրե ավելացվել է 40 ժամ բնդհանուր տևողությամբ, տեսանելի լույսի էներգիայի յուրացումը (ՆՆ 434—730 մմկ) պակասել է, իսկ ինֆրակարմիրը (ՆՆ 860 մմկ) ավելացել է կրկնակի անգամ ցերեկը ուլտրամանուշակագույնի ճառագայթման դեպքում:

3. Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթային ուժիմի դեպքում բարձրալեռնային Կովկասյան գայլաթաթը *Alchimilla caucasica*) պահպանել է ճառագայթ-

ման մեծ կլանողականությունը լույսի ամբողջ սպեկտրով, որը վկայում է ալգյան բույսի զգալի դիմացկունությունը կարճալիք ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման հանդեպ:

4. Ստացված տվյալները կարող են հետաքրքրություն ներկայացնել բույսերի կոսմիկական ֆիզիոլոգիայի բնագավառում երկրային հետազոտությունների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сисакян Н. М., Парин В. В., Черниговский В. Н., Яздовский В. И. Изв. АН СССР, (сер. биол.), стр. 153—162, 1962.
2. Шахов А. А., Станко С. А., Наринян С. Г. ДАН Арм. ССР, т. 36, 1, 1963.
3. Шахов А. А., Наринян С. Г., Голубкова Б. М. ДАН Арм. ССР, т. 37, 1, 1963.
4. Henrici M. Verh. d. naturf. Gesellsch. Basei, Bd. 30, 1918.
5. Pirschle K. Biol. Ztrbl. Bd. 61, H. 9—10, 1941.
6. Казарян В. О. Физиологические основы онтогенеза растений. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1959.