

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

С. Я. Золотницкая и Г. О. Акопян

О влиянии ультрафиолетового облучения на репродуктивное развитие и синтез токоферолов в растениях

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. Х. Бунятыном 3. IX 1960)

В наших предыдущих работах (^{1,2}) было установлено увеличение накопления токоферолов у высокогорных растений по сравнению с видами, обитающими на низменности, а также возрастание содержания витамина у многих видов с повышением их местообитания над уровнем моря.

Хотя обычно наибольшее содержание витаминов наблюдается у растений, собранных в местах их массового распространения, анализ данных, полученных в нашей лаборатории для 88 видов (118 анализов), показал, что в среднем полосой с условиями, наиболее благоприятствующими синтезу токоферолов, является горный пояс в пределах 2000—3600 м.

Таблица 1

Содержание токоферолов в растениях различных горных поясов Армянской ССР

Высота н. у. м. районов сборов	Содержание суммы токоферолов в ‰	Число	
		видов	анализов
Салах-Чайкенд 1140—1240 м	4,2	37	46
Севан 1900—2000 м	4,8	26	32
Яных 2300 м	6,6	16	18
Арагац 3300—3600 м	8,2	20	22

Известно, что солнечное излучение с увеличением высоты местности над уровнем моря обогащается УФ-лучами, обладающими значительной фотохимической активностью. Так как, по основному закону фотохимии Гроттгуса, фотохимический процесс регулируется лучами, поглощаемыми реагирующей системой, спектр образования многих светочувствительных веществ нередко совпадает или близок к спектру их поглощения. Так как УФ-лучи 295—400 мμ поглощаются, наряду с пигментами пластид, антоцианами, флавоноидами, многими ферментами и токоферолом (^{3,4}), было предположено, что интенсив-

ный синтез токоферола в какой-то мере может определяться все возрастающим в горах ультрафиолетовым излучением.

С целью проверки этого предположения в 1960 г. в Ереванском Ботаническом саду были поставлены опыты облучения „горным солнцем“ представителей сем. Злаковых (яровая пшеница сорта Кондик) и сем. Бобовых — короткодневного (что было установлено нами в другой серии опытов) сорта сои. Большинство дикорастущих видов, исследованных нами (табл. 1), принадлежали также к этим двум семействам. Растения высевались в вазоны 17.VI и облучались ежедневно в одно и то же время в трех вариантах экспозиции (10, 40 и 100 секунд) с 4.VII до окончания опыта. Источником света служила ртутно-кварцевая лампа ПРК—4 со светофильтром Вуда, почти полностью непроницаемым для лучей видимого света и пропускающим часть УФ-лучей между 320 и 400 $m\mu$ с максимумом излучения в области около 360 $m\mu$. Растения, не подвергавшиеся облучению, служили контролем.

Сумма токоферолов определялась видоизмененным методом Эмери и Энгеля (⁴), а содержание не α -токоферолов нитрозным способом (⁵).

Влияние облучения выявилось прежде всего в изменении ритма репродуктивного развития подопытных растений. В то время как длиннопдневная пшеница к 10. VIII дала большое число нормально развитых колосьев, облученные растения лишь начинали колоситься. Слабее всего задерживающее действие проявилось в варианте с 10-секундной экспозицией.

В связи с тем, что контроль заметно опережал по развитию облученные растения (отметка начала колошения 4. VIII для первых и 10. VIII для последних), в качестве второго контроля были взяты подгоны, не отличавшиеся по продвинутости фазы колошения от опытных растений, хотя и уступавшие им по мощности развития.

Таблица 2

Характеристика роста и развития облученной пшеницы сорта „Кондик“

Варианты опыта	Число растений	Высота растений в см	Вес растений в г (сухой)	Число колосьев	Примечания
Облучение 10 секунд	18	42	25.0	11	Начало колошения
40	20	42	23.5	4	"
100	19	43	24.0	5	"
Контроль I	15	44	25.0	11	В т. ч. 9 норм. полновозраст. колосьев
II	10	35	9.5	4	Начало колошения

* Под „началом колошения“ указано появление остей колоса и начало его выхода из влагалища последнего листа.

Как видно из данных табл. 2, УФ-лучи, не влияя существенно на рост растений, значительно задерживают развитие длиннопдневной пшеницы аналогично выращиванию на коротком дне. Вместе с тем облучение значительно увеличило содержание токоферолов в растениях, причем преимущественно за счет α -токоферола (за исключением второго варианта). Исследовалась целиком наземная часть растений (средняя проба).

Таблица 3

Содержание токоферолов в облученной пшенице
сорта „Кондик“

Варианты опыта	Сумма токоферолов		°/°/° не α -токоферолов к контролю
	в мг°/°/°	в °/°/° к контролю	
Облучение 10 секунд	4,48	215	86
40	14,12	678	113
100	9,51	457	91
Контроль I	2,08	100	100
II	2,86	136	106

Как видно из данных табл. 3, сумма токоферолов возрастает с увеличением поглощения растением ультрафиолетовой радиации. Разница в накоплении токоферолов весьма существенна и составляет для первого варианта 215°, для второго 678° и для третьего 457° соответственно по отношению к контролю (100°). Таким образом, оптимальная экспозиция близка к экспозиции второго варианта. Снижение содержания токоферолов в подопытных растениях третьего варианта (по сравнению со вторым), возможно, свидетельствует об избыточной дозе облучения.

Растения так называемого „второго контроля“, также находившиеся в стадии начала колошения, уступали по накоплению токоферола только экспериментальным, но не контрольным экземплярам. Здесь проявился также преимущественно направленный синтез относительно большего количества не α -токоферолов, что, возможно, связано с менее благоприятными условиями почвенного питания подгона.

Заслуживает быть отмеченным, что в настоящем случае мы не нашли корреляции между репродуктивным развитием и накоплением токоферолов, наблюдавшейся Сиронвалем (6).

В опытах с соей воздействие УФ-лучей снова проявилось, как воздействие коротким днем и форсировало у короткодневной сои переход к цветению (3. VIII), лишь с небольшим отставанием от цветения варианта, находившегося на 8-часовом световом дне (30. VII).

Контрольные растения на естественной длине дня, достигающей в условиях Еревана к 26. VI—15 часов, зацвели 10. VIII (контроль I).

В опытах с соей в качестве дополнительного варианта было введено выращивание растений на коротком 8-часовом световом дне.

Характеристика роста и развития облученной сои

Варианты опыта	Число раст.	Высота растен. в см	Вес наземной части	Вес корневой	Сравн. вес корневой системы в ‰ к контр.	Число цветков
			в г (сухой)			
Облучение 10 секунд	5	39	27	14	127	8
40 "	6	44	27	17	154	15
100 "	5	45	19	9	82	6
Контроль I	4	42	21	11	100	6
II	5	32	25	10	90	—
8-часовой день	5	38	25	15	136	5

Одновременно с короткодневными растениями 30. VIII убрана и подвергнута анализу часть растений нормального дня, находившихся в фазе вегетации (контроль II).

Как свидетельствуют данные табл. 4, облучение (кроме III варианта) значительно усиливало, подобно короткому дню, также развитие корневой системы сои. Содержание токоферолов у сои определялось на средней пробе листа.

Таблица 5

Содержание токоферолов у облученной сои

Варианты опыта	Дата уборки и анализа	Сумма токоферол. в мг‰	‰‰ не α -токоферол. к контролю
Облучение 10 секунд	4. VIII	4,29	53
40	4. VIII	10,84	31
100	4. VIII	11,89	21
Контроль I	10. VIII	14,73	100
Контроль II	30. VII	2,47	81
8-час. день	30. VII	5,38	103

В результате облучения у сои также повышается содержание суммы и главным образом α -токоферола у подопытных растений.

У сои наблюдается большее содержание токоферола у растений, перешедших к репродукции. Очевидно, более растянутым периодом развития и непрерывным накоплением токоферола к репродуктивной фазе следует объяснить высокое его содержание у контрольных растений, снятых через неделю после облученных.

В литературе имеются общие указания об ускорении цветения под влиянием УФ-лучей (7). Однако, по нашим данным, это влияние диаметрально противоположно для формирования репродуктивных органов у различных по фотопериоду групп растений. Уже отмечавшееся выше сходство с действием короткого дня несомненно отражает приспособительную реакцию растений на „одну из составляющих“ естественного короткодневного режима, поскольку в природных условиях различных широт изменение длины светового дня и спектрального состава солнечной радиации динамически связано. Возмож-

но также, что за счет усиления УФ-излучения следует отнести задержку цветения злаков, неоднократно наблюдавшуюся в горных условиях. Дальнейшее изучение этого вопроса представляет особый предмет исследования.

Принимая во внимание все возрастающее лечебное использование токоферолов при ряде заболеваний, весьма важно для диетического питания располагать полноценными по этому витамину продуктами. Естественное обогащение пищевых растений токоферолом при помощи УФ-лучей, особенно легко достижимое в тепличном хозяйстве, как представляется, может иметь ряд лечебных и экономических преимуществ перед искусственным. Опыты с некоторыми овощными растениями в настоящее время находятся в стадии проведения.

На основании сказанного возможны следующие выводы.

1. Облучение растений УФ-лучами (применявшимися в опыте в указанной дозировке) близко по своему действию на рост и репродуктивное развитие как для коротко-, так и для длиннопневных растений к действию короткого светового дня.

2. УФ-лучи значительно повышают накопление токоферола, причем (особенно у короткодневных растений) за счет наиболее ценного α -токоферола, что дает основание для рекомендации постановки соответствующих опытов в теплицах с овощными растениями.

3. Экспериментальное подтверждение усиления под влиянием искусственного „горного солнца“ синтеза токоферолов позволяет объяснить богатство ими растений в высокогорьях большим удельным весом УФ-радиации в солнечном спектре.

Ботанический институт
Академии наук Армянской ССР

Ս. ՅԱ. ԶՈՒՆՏՆԻՅԱՆ, ԵՎ Գ. Հ. ՀԱՎՈՐՅԱՆ

Ուլտրամանիշակազույն ճառագայթների ազդեցությունը բույսերի ոպիոֆերոլների զարգացման և տոկոֆերոլների սինթեզի վրա

Տարբեր ընակավայրերից վերցված բույսերի ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ տոկոֆերոլների սինթեզի համար ամենաբարենպաստ պայմանները ստեղծվում են լեռնային գոտում, ծովի մակերեսից 2000—3600 մ բարձրության վրա:

Բույսերի ճառագայթումը ուլտրամանիշակազույն ճառագայթներով 320—400 $m\mu$ սահմանում, որի մաքսիմումը ընկած է մոտավորապես 360 $m\mu$ ինտերվալում, զգալիորեն բարձրացնում է տոկոֆերոլների կուտակումը, ընդ որում գերազանցապես ավելի արժեքավոր α — տոկոֆերոլի հաշվին. որը մեզ հիմք է տալիս առաջարկելու դնել համապատասխան փորձեր, բանջարանոցային կուլտուրաները ծ — վիտամինով հարստացնելու ուղղությամբ, մանավանդ ջերմատնային տնտեսություններում: Ուլտրամանիշակազույն ճառագայթների ազդեցությամբ տոկոֆերոլների սինթեզի ուժեղացման փորձնական հաստատումը թույլ է տալիս բացատրելու նրանց կուտակումը բարձրալեռ բույսերի մեջ, որտեղ արևի սպեկտրում ուլտրամանիշակազույն ճառագայթների տեսակարար կշիռն ավելի մեծ է: Բույսերի ճառագայթումը ուլտրամանիշակազույն ճառագայթներով (որոնք օգտագործվել են մեր փորձերում նշված դոզաներով) իր ազդեցությամբ բույսերի աճի և ոպիոֆերոլների զարգացման վրա մոտավորապես նույնն է ինչպես կարճ, այնպես և երկար օրվա բույսերի համար և մոտ է լեռնային կարճ օրվա ազդեցությանը:

¹ С. Я. Золотницкая и Г. О. Акопян, О содержании витамина Е в некоторых растениях из флоры Армении, Бюлл. Бот. сада АН АрмССР, 14 (1954). ² Г. О. Акопян, Изв. АН АрмССР, т. XII, № 8 (1959). ³ А. В. Труфанов, Биохимия и физиология витаминов и антивитаминов, Сельхозгиз, 1959. ⁴ Г. М. Луцевская, Б. Г. Савинов, О методах количественного определения каротина и витамина Е в растениях, Витамины. Изд. АН УССР, 1953. ⁵ R. W. Lehman, Vitamin E. Meth. of Bioch. analysis, v. 2, 1954. ⁶ C. Sironvall and J. Eltanier-Lomba, Nature, March 19, 1960. ⁷ А. Ф. Клешнин, Растение и свет, теория и практика светокультуры растений. Изд. АН СССР, 1954.