

7. Куминова А.В. Весенняя фаза развития липового острова Кузнецкого Алатау // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. Новосибирск, 1949. Т. 3. Вып. 1.
8. Куминова А.В. Растительность Кемеровской области. Новосибирск, 1950.
9. Крылов Г.В. Леса Западной Сибири. М., 1961.
10. Хлонов Ю.П. Липа и липняки в Западной Сибири. Новосибирск, 1965.
11. Хлонов Ю.П. Факторы устойчивости липы сибирской в Горной Шории // Сиб. Эколог. журнал. Т. 6. Новосибирск, 1996.
12. Лашинский Н.Н. и др. Эколого-генетический анализ липовых лесов Горной Шории // Черневая тайга и проблема реликтов: Сб. Томск, 1979.
13. Гудошников С.В. Флора листостебельных мхов черневого подпооя южных гор Сибири и проблема происхождения черневой тайги. Томск, 1986.
14. Седельникова Н.В. Лишайники липового острова на Кузнецкого Алатау // Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. биол. 1970. Вып. 1. № 5.
15. Баумгертнер М.В. Лишайники – биоиндикаторы загрязнения окружающей среды юга Кемеровской области: Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1999.
16. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск, 1975.
17. Яворский В.И. Условия форм-я угленосных отложений Кузнецкого бассейна и их тектоника // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Т. 19. М., 1957.
18. Положий А.В., Крапивкина Э.Д. Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. Томск, 1985.
19. Крапивкина Э.Д. Липовый кустарниковый папоротниково-широколистный лес // Зеленая Книга Сибири. Новосибирск, 1996.

УДК 581.143:581.132

А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленчукова

ВЛИЯНИЕ УФ-А ИЗЛУЧЕНИЯ И КРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Томский государственный педагогический университет

Развитие структур организма растений в онто- и филогенезе зависит от света и регулируется лучистой энергией [1]. Фотосинтетические реакции являются высокоэнергетическими, а индивидуальное развитие растений контролируется светом через фоторегуляторные (фотоинформационные) низкоэнергетические реакции, которые могут осуществляться с помощью очень незначительного количества пигментов, поглощающих ничтожно малую часть солнечного излучения [2]. В этом случае энергия света используется лишь для переключения метаболических путей, которые могут проходить с большим коэффициентом усиления. Для зеленых растений в настоящее время известно несколько фоторегуляторных пигментов, из которых наиболее исследованными являются фитохром, поглощающий свет в пределах длин волн 300–800 нм с максимумом поглощения в красной области спектра, и криптохром, поглощающий синий и УФ-А свет в области с длинами волн 360–500 нм [2–5].

Для низкоэнергетического облучения растений светом определенной длины волны применяют светофильтры, в том числе светокорректирующие полимерные пленки [6]. Такие пленки за счет введения в их состав фотомодификаторов поглощают часть УФ-А излучения и преобразуют его в видимый свет определенной области длин волн, увеличивая долю этой области в потоке солнечного излучения на очень незначительные величины [7]. Среди фотомодификаторов пленок наибольшее применение нашли фотолюминофоры на основе соединений европия, которые преобразуют 0.5–5 % УФ-А излучения в красную область спектра, увеличивая его долю в световом пото-

ке на 0.001–0.01 %. Существует предположение, что на рост и развитие растений влияет только генерируемое пленками люминесцентное излучение, в первую очередь интенсивность и длина волны люминесценции [8–10]. Однако практически отсутствуют сведения о влиянии оставшегося в световом потоке УФ-А излучения или о совместном влиянии избыточного УФ-А излучения и красного излучения низкой интенсивности.

Целью нашей работы являлось выяснение роли люминесцентного излучения с максимумом 617 нм низкой интенсивности и избыточного УФ-А излучения на морфогенез *Arabidopsis thaliana* для установления связи между ними.

Методика

В работе использовали три линии *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. экотипа *Landberg erecta*: дикий тип Ler и световые мутанты *hy3* и *hy4*, описанные М. Koornneef с соавторами [11]. Мутант *hy3* является дефектным по структуре гена *PHYB* и характеризуется ослабленным морфогенетическим ответом на красную часть спектра [12]. Мутант *hy4* является дефектным по структуре гена *CRY1* и имеет низкую чувствительность к облучению синим и УФ-А светом при фотоморфогенезе проростков [13].

Arabidopsis выращивали на белом свете с дополнительной экспозицией УФ-А света (плотность светового потока 63 Вт/м² и 4 Вт/м² соответственно) по схеме: 8 ч темнота / 16 ч белый свет + УФ свет. Источниками света служили люминесцентные лампы ЛБ-

40, ЛД-40 и УФ лампа PL-S 9W/08 Black Light (Philips, Нидерланды), спектр светового потока которых определен на спектрометре «AvaSpec 2048» (Avantes, Нидерланды). В качестве светофильтров, помещенных на расстоянии 20 см от источника света, использовали полиэтиленовые пленки толщиной 120 мкм, имеющие различные фотофизические свойства. Контролем служила немодифицированная полиэтиленовая пленка, опытом – светокорректирующая пленка тех же параметров, но содержащая в своем составе добавку 0.1 % (по массе) фотолуминофора на основе комплексного соединения нитрата европия с 1.10-фенатролином ($\text{Eu}(\text{NO}_3)_3\text{Phen}_2$) [14]. Фотофизические характеристики пленок рассчитаны по спектрам, которые получены на спектрометре «AvaSpec 2048» и на акустооптическом спектрометре «Кварц 3102В» по методикам [14]. Особенность оптических свойств светокорректирующей (опытной) пленки заключается в способности преобразовывать около 1 % падающего на нее УФ-А света в излучение красной области спектра с максимумом 617 нм, увеличивая при этом долю ФАР на 0.003 % [7].

Семена *Arabidopsis* высевали в невысокие предварительно дренированные емкости с грунтом и проращивали под контрольной и опытной пленками. Полив производили капиллярным способом. В процессе роста отмечали время формирования цветоносного побега, образования бутонов, цветков, стручков, проводили морфометрические измерения растений.

Для статистической обработки экспериментальных результатов использовали специализированный пакет «Statistica for Windows» (программа «Excel») с доверительным интервалом 0.95. В таблицах приведены данные средних арифметических значений с двухсторонним доверительным интервалом из двух независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях на 30 растениях.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований показали различные ответы *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh. в зависимости от используемой линии и применяемой в качестве светофильтра пленок. Прорастание семян дикого типа Ler и мутанта *hy4* наблюдали практически одновременно (табл. 1). Распрямление изгиба гипокотилия и распускание семядолей отметили на третьи сутки, что хорошо согласуется с литературными данными [15]. Рост проростков *hy4* был выражен в большей степени, чем у дикого типа под соответствующими пленками. У растений дикого типа Ler длина гипокотилей как в опыте, так и в контроле была близкой на протяжении всего периода проведения эксперимента (табл. 2–5).

Для мутанта *hy4* в начальный период развития изменений в росте гипокотилия не наблюдали (рис. 1). Для 17-суточных и 27-суточных растений отметили ингибирование удлинения гипокотилия под светокорректирующей пленкой, люминесцирующей в красной

Таблица 1
Рост *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh. дикого типа Ler и мутанта *hy4* под обычной (1) и светокорректирующей (2) пленками на белом свете (63 Вт/м^2) с добавлением УФ света (4 Вт/м^2)

Период роста	Время от начала проращивания, сут			
	Ler		<i>hy4</i>	
	1	2	1	2
Прорастание	2±1	2±1	2±1	2±1
Появление семядолей	3±1	3±1	3±1	3±1
Образование первого листа	6±1	6±1	6±1	6±1
Формирование цветоноса	24±1	23±1	30±1	25±1
Формирование бутонов	27±1	26±1	32±1	27±1
Цветение	29±1	29±1	36±1	29±1
Образование стручков	38±1	36±1	40±1	34±1

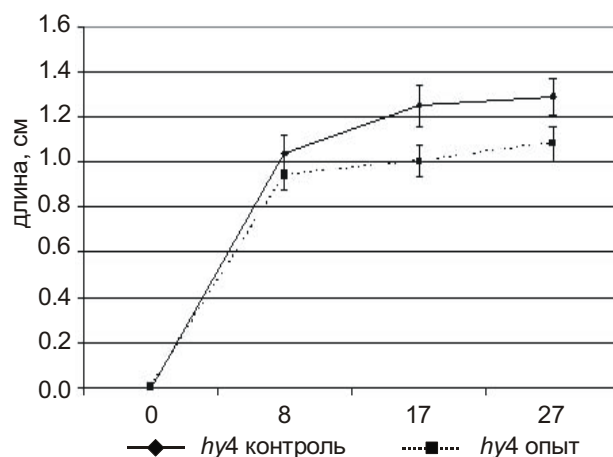


Рис. 1. Динамика роста гипокотилия растений *Arabidopsis* мутанта *hy4* под немодифицированной (контроль) и светокорректирующей (опыт) пленками на белом свете ($I=63 \text{ Вт/м}^2$) с добавлением УФ-А света ($I=4 \text{ Вт/м}^2$)

области спектра с максимумом излучения 617 нм, причем основные различия в размере гипокотилия наблюдали у 17-суточных растений. Это хорошо согласуется с литературными данными [13], в которых отмечается ингибирование роста гипокотилия у мутанта *hy4* при выращивании на красном свете.

Первый настоящий лист как у растений дикого типа, так и у мутанта *hy4* в обоих вариантах появился на шестые сутки после посева (табл. 1). На протяжении следующих недель происходило постепенное формирование розетки. По мере образования каждого розеточного листа наблюдали нарастающие различия в развитии растений обеих линий под светокорректирующей и немодифицированной пленками. У дикого типа в обоих вариантах исследований формировались вы-

Таблица 2

Ростовые параметры *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* в возрасте 8 сут под немодифицированной (1) и светокорректирующей (2) пленками на белом свете (63 Вт/м^2) с добавлением УФ света (4 Вт/м^2)

Параметр	Ler		hy4	
	1	2	1	2
Длина гипокотыля, см	0.96 ± 0.06	0.88 ± 0.04	1.04 ± 0.08	0.94 ± 0.06
Длина семядольного листа, мм	1.67 ± 0.07	1.39 ± 0.07	1.00 ± 0.12	1.26 ± 0.07
Ширина семядольного листа, мм	1.37 ± 0.06	1.27 ± 0.07	0.97 ± 0.06	1.20 ± 0.05
Площадь листа, $\text{мкм}^2 \cdot 10^5$ семядольного первого настоящего	19.31 ± 1.45	14.83 ± 1.62	8.57 ± 1.16	13.11 ± 1.09
	0.16 ± 0.03	0.10 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.08 ± 0.01

тянутые розеточные листья, у которых длина заметно превышала ширину. У мутанта *hy4* за счет усиленного роста листовых пластинок в ширину формировались листья округлой формы. Площадь листовых пластинок растений дикого типа была значительно больше по сравнению с растениями мутанта *hy4* под соответствующими пленками (табл. 2–5, рис. 2).

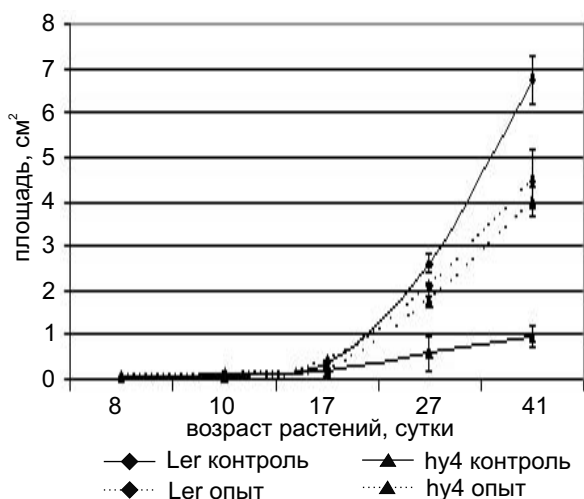


Рис. 2. Динамика роста листовых пластинок растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Neuh. дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* под немодифицированной (контроль) и светокорректирующей (опыт) пленками на белом свете ($I=63 \text{ Вт/м}^2$) с 16-часовой экспозицией УФ-А света ($I=4 \text{ Вт/м}^2$)

Однако и внутри одной линии развитие растений в разных вариантах происходило по-разному. Для растений дикого типа *Ler* по вариантам пленок отличий в площади листовых пластинок первые три недели не наблюдали. Затем под немодифицированной пленкой рост пластинок розеточных листьев происходил быстрее, чем под светокорректирующей пленкой, а рост цветоносных листьев имел обратную зависимость (табл. 4–5). Общая площадь поверхности листьев опытных растений была меньше на 19.6 % через 27 сут и на 33.8 % через 41 сут (рис. 2).

Для мутанта *hy4*, как и для растений дикого типа, первые три недели отличий в площади листовых пла-

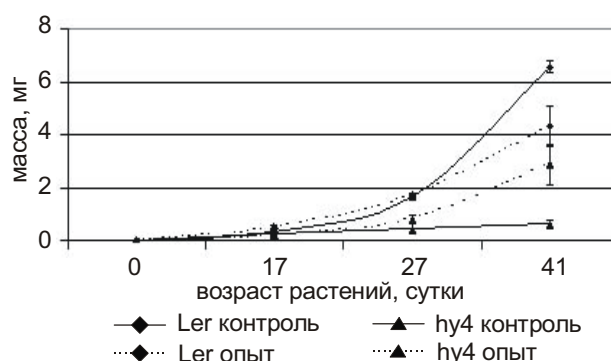


Рис. 3. Динамика изменения массы сухого остатка листьев растений *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* под немодифицированной (контроль) и светокорректирующей (опыт) пленками на белом свете ($I=63 \text{ Вт/м}^2$) с 16-часовой экспозицией УФ-А света ($I=4 \text{ Вт/м}^2$)

стинок не наблюдали. Далее в опыте усилился рост как розеточных, так и цветоносных листьев, что привело к резкому увеличению площади листовых пластинок по сравнению с контролем на 212.3 % (27 сут) и 331.2 % (41 сут) (табл. 4–5, рис. 2).

Увеличение размера листовых пластинок у опытных растений мутанта *hy4* и контрольных растений дикого типа *Ler* происходило с одновременным повышением массы сухого остатка листьев и общей сухой массы растений (табл. 4–5; рис. 3–4).

Однако развитие листовой поверхности по сравнению с развитием стебля у обеих линий *Arabidopsis* под светокорректирующей и немодифицированной пленками происходило по-разному, на что указывает показатель LAR (отношение площади листьев к биомассе растения), определяющий эффективность в образовании листовой поверхности. Хотя у дикого типа площадь поверхности листьев в контроле была выше, чем в опыте, показатель LAR оставался близким в обоих вариантах исследований на всем протяжении проведения эксперимента. Это указывает на пропорциональное развитие листьев и стебля у растений дикого типа *Ler* под светокорректирующей и немодифицированной пленками. У растений *hy4* в опы-

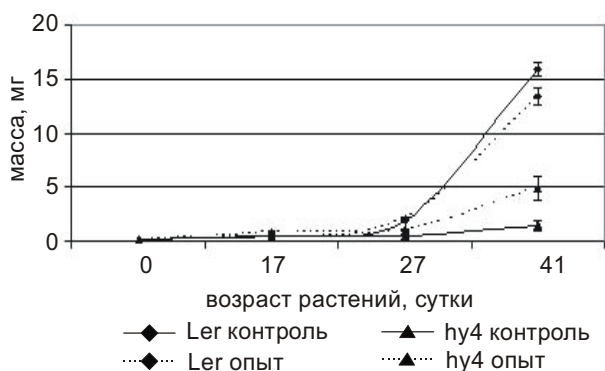


Рис. 4. Динамика изменения общей массы сухого остатка растений *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hu4* под немодифицированной (контроль) и светокорректирующей (опыт) пленками на белом свету ($I=63 \text{ Вт/м}^2$) с 16-часовой экспозицией УФ-А света ($I=4 \text{ Вт/м}^2$)

те отметили увеличение показателя LAR по сравнению с контрольными растениями. Наибольшее различие в значениях LAR отметили у 27-суточных растений *hu4* – на 66 %, а в возрасте 41 сут – на 27 %. Такие различия в значениях LAR указывают на то, что в отличие от немодифицированной пленки под светокорректирующей пленкой у растений *hu4* доминируют процессы роста листьев по сравнению с ростом стебля.

Таким образом, развитие листовых пластинок у растений дикого типа под светокорректирующей пленкой замедляется по сравнению с контрольными растениями. Рост листовых пластинок мутанта *hu4* в опыте превышал показатели растений в контроле.

Формирование цветоноса у растений дикого типа *Ler* началось на 23–24-е сутки в обоих вариантах ис-

следований. Достоверных различий по срокам бутонизации, цветения и формирования стручков, а также в их количестве для *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа *Ler* не наблюдали.

У растений линии *hu4* в опыте образование цветоноса произошло на 25-е сутки, в контроле – на 30-е сутки, т.е. на 5 дней позже. Такое резкое различие в формировании цветоноса у мутанта *hu4* привело к различию в сроках образования бутонов, цветков и струч-

Таблица 3

Ростовые параметры *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа *Ler* и мутанта *hu4* в возрасте 17 сут под немодифицированной (1) и светокорректирующей (2) пленками на белом свету (63 Вт/м^2) с добавлением УФ света (4 Вт/м^2)

Параметр	Ler		hu4	
	1	2	1	2
Длина гипокотыля, см	1.12±0.03	1.08±0.05	1.25±0.09	1.00±0.07
Общая площадь листьев, см ²	0.36±0.04	0.38±0.04	0.18±0.03	0.19±0.03
Сырая масса, мг	2.60±0.24	2.50±0.25	0.90±0.22	1.25±0.25
Сухая масса, мг	0.31±0.09	0.46±0.09	0.26±0.06	0.19±0.08
	0.51±0.09	0.76±0.09	0.46±0.08	0.39±0.08
Кол-во листьев в розетке, шт	4.10±0.15	4.00±0.01	2.30±0.32	3.10±0.19

Таблица 4

Ростовые параметры *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hu4* (возраст 27 сут) под немодифицированной (1) и светокорректирующей (2) пленками на белом свету (63 Вт/м^2) с добавлением УФ света (4 Вт/м^2)

Параметр	Ler		hu4	
	1	2	1	2
Длина гипокотыля, см	1.20±0.06	1.15±0.08	1.29±0.08	1.08±0.08
Длина цветоноса, см	0.28±0.14	0.51±0.16	0	0.72±0.23
Площадь листьев, см ²	2.51±0.21	1.92±0.11	0.57±0.09	1.63±0.34
	0.07±0.03	0.16±0.04	0	0.15±0.05
	2.58±0.20	2.08±0.09	0.57±0.09	1.78±0.37
Сырая масса, мг	25.30±2.09	22.70±1.22	6.44±0.98	11.50±1.50
Сухая масса, мг	1.67±0.13	1.71±0.12	0.42±0.08	0.82±0.13
	1.94±0.10	2.01±0.10	0.51±0.08	0.95±0.11
LAR, см ² /мг·10 ⁻²	1.04±0.11	0.91±0.07	0.91±0.11	1.51±0.19
Кол-во листьев, шт	6.90±0.35	6.50±0.25	5.11±0.52	5.89±0.30
	0.60±0.24	1.20±0.43	0	1.67±0.60
	7.50±0.25	7.70±0.30	5.11±0.52	7.56±0.39
Кол-во бутонов, шт	0	0	0	1.89±1.19

Таблица 5

Ростовые параметры *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* (возраст 41 сутки) под немодифицированной (1) и светокорректирующей (2) пленками на белом свете (63 Вт/м²) с добавлением УФ света (4 Вт/м²)

Параметр	Ler		hy4		
	1	2	1	2	
Длина главного цветоносного побега, см	24.90±0.17	22.37±0.15	5.51±0.15	7.99±0.52	
Длина боковых цветоносов, см					
	средняя	5.26±0.70	6.55±0.71	0.58±0.20	
	суммарная	151.4±17.2	192.3±20.0	2.09±1.02	
Площадь листьев, см ²					
	розеточных	3.74±0.44	1.66±0.30	0.55±0.06	
	на цветоносных побегах	3.04±0.31	2.83±0.50	0.38±0.33	
общая	6.78±0.54	4.49±0.65	0.93±0.34	4.01±0.24	
Сырая масса, мг·10 ²	1.55±0.10	1.16±0.16	0.20±0.07	0.67±0.06	
Сухая масса, мг					
	Стебля	8.77±0.49	7.93±0.87	0.73±0.30	1.90±0.49
	Листьев	6.59±0.22	4.33±0.75	0.61±0.13	2.90±0.79
	Стручков	0.66±0.18	1.10±0.55	0.04±0.03	0.03±0.03
	Общая	16.02±0.59	13.36±0.87	1.39±0.43	4.83±1.10
LAR, см ² ·мг ⁻¹ ·10 ⁻²	0.44±0.02	0.39±0.04	0.48±0.05	0.61±0.05	
Кол-во листьев, шт					
	в розетке	6.90±0.47	5.60±0.40	4.00±0.31	5.57±0.42
	на главном цветоносе	2.70±0.23	2.40±0.45	1.86±0.48	3.43±0.42
	на боковых цветоносах	1.50±0.25	1.75±0.32	0.50±0.38	1.43±0.20
Общее	11.10±0.40	9.75±0.45	6.36±0.44	10.43±0.40	
Кол-во цветков, шт					
	на главном цветоносе	0.60±0.51	0.80±0.82	0.29±0.26	0
	на боковых цветоносах	1.90±0.95	2.20±0.99	0.29±0.26	0
общее	2.50±0.89	3.00±0.91	0.58±0.26	0	
Кол-во бутонов, шт					
	на главном цветоносе	9.30±1.11	8.50±1.20	4.57±0.61	12.00±1.89
	на боковых цветоносах	25.40±2.54	19.90±3.01	6.43±2.01	24.14±2.50
общее	34.70±2.40	28.40±2.95	11.00±2.00	36.14±2.42	
Кол-во стручков, шт					
	на главном цветоносе	6.20±1.66	6.80±1.15	0.43±0.03	1.14±0.09
	на боковых цветоносах	3.10±2.20	5.30±2.22	0	0
общее	9.30±2.33	12.10±2.30	0.43±0.03	1.14±0.09	
Кол-во семян в стручке, шт	10.33±2.08	10.13±1.33	10.30±1.06	10.40±1.02	

ков (табл. 1). Формирование бутонов в опыте наблюдали на 27-е сутки, в контроле – на 32-е сутки, т.е. так же, как и цветоноса на 5 дней позже. Начало цветения у мутанта *hy4* в опыте приходится на 29-е сутки, а в контроле на 7 сут позже. В возрасте 34 сут у растений линии *hy4* под фотокорректирующей пленкой отметили образование первых стручков и окончание цветения на 37-е сутки. К этому времени наблюдали образование новых бутонов, причем в количестве в три раза больше, чем в контроле. У контрольных растений *hy4* к данному моменту отметили только начало цветения (на 36-е сутки), образование новых бутонов не наблюдали. Формирование стручков у данной линии *Arabidopsis* под немодифицированной пленкой происходило только на 40-е сутки,

т.е. на 6 дней позже, чем под светокорректирующей пленкой.

Таким образом, выращивание растений *Arabidopsis* дикого типа *Ler* под светокорректирующей пленкой не приводит к резким различиям в развитии по сравнению с растениями, выращенными под немодифицированной пленкой. На это указывает отсутствие достоверных различий большинства их морфометрических показателей. Вероятнее всего, в данных световых условиях проведения эксперимента увеличение доли красной составляющей за счет преобразования части УФ-А излучения светокорректирующей пленкой не влияет в достаточной степени на фитохромную систему растений. Такое влияние дополнительного красного света с максимумом излучения 617 нм, по

Таблица 6

Ростовые параметры 17-суточных растений *Arabidopsis* мутанта *hy3* под обычной (1) и светокорректирующей пленками (2) на белом свету (63 Вт/м^2) с добавлением УФ света (4 Вт/м^2)

Параметр	1	2
Длина гипокотыля, см	0.93 ± 0.06	1.20 ± 0.09
Длина семядольного листа, мм	1.17 ± 0.11	1.49 ± 0.06
Ширина семядольного листа, мм	1.17 ± 0.05	1.50 ± 0.07
Площадь листа, $\text{мкм}^2 \cdot 10^5$		
Семядольных Настоящих	12.42 ± 1.64	19.71 ± 1.96
	0.20 ± 0.01	0.38 ± 0.14

м^2)

нашему мнению, компенсируется хорошей работой криптохромной системы растений дикого типа *Ler*, так в световом потоке присутствует избыточное УФ-А излучение.

У растений *Arabidopsis* мутационной линии *hy4*, выращенных под светокорректирующей пленкой, по сравнению с растениями, выращенными под немодифицированной пленкой, наблюдали ускорение протекания ряда процессов жизненного цикла: формирования цветоноса, бутонов, начало цветения и образования стручков. При этом в опыте относительно контроля формируется большая ассимилирующая поверхность растений (как за счет числа листьев, так и за счет увеличения площади листовых пластинок) с образованием большего количества бутонов, цветков и стручков.

Известно, что линия *hy4* является дефектной по фоторецептору *CRY1*, т.е. у растений снижен уровень физиологических ответов на синий свет [13]. Все процессы жизнедеятельности регулируются ими за счет большей активации фитохромной системы посредством красной составляющей электромагнитного излучения. Вероятнее всего, увеличение доли красного света, полученного за счет преобразования части УФ-А излучения светокорректирующей пленкой, является стимулирующим для протекания процессов роста, развития и плодоношения растений мутанта *hy4*.

Для растений *hy3* в обоих вариантах исследований наблюдали угнетение процессов роста и развития (табл. 6), а также отметили низкую всхожесть семян (около 50 %). В начальный период развития (до 17 сут) в контроле наблюдали ингибирование удлинения гипокотыля проростков *hy3*. Гипокотыли растений *hy3* в опыте были длиннее на 22.5 % по сравнению с контролем. Однако размеры семядольных листьев у проростков в опыте были значительно больше, чем в контроле – на 58.7 % (табл. 6). Характер роста первой пары настоящих листьев для проростков *hy3* ана-

логичен развитию семядолей. В опыте площадь поверхности настоящих листьев больше контрольных на 87.5 %.

Таким образом, развитие растений *hy3* в используемых световых условиях протекает медленнее, чем на белом свету, однако под светокорректирующей пленкой процессы ингибирования протекают менее значительно. По нашему мнению, такое различие на начальном этапе жизненного цикла растений *Arabidopsis* мутационной линии *hy3*, выращенных под светокорректирующей и немодифицированной пленками, связано с действием низкоэнергетического люминесцентного излучения с максимумом 617 нм на фитохромную систему растений. Известно, что линия *hy3* является дефектной только по структуре фитохрома В и характеризуется резким ослаблением морфогенетического ответа на красную часть спектра [13]. Вероятнее всего, различие в развитии проростков *hy3* связано с тем, что в данных условиях проведения эксперимента важную роль в регуляции ростовых ответов играет фитохром А.

Однако как в опыте, так и в контроле у растений *hy3* после образования первых настоящих листьев наблюдали прекращение роста и развития, а через 20 сут отметили гибель растений. Вероятнее всего, на более поздних стадиях развития растений основную роль в фотоморфогенезе играет избыточное УФ-А излучение, которое летально действует на *Arabidopsis* линии *hy3*, что подтверждается литературными данными [16].

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений показали, что достоверных изменений в содержании хлорофиллов в листьях опытных растений относительно контроля для каждой используемой линии *Arabidopsis* не наблюдали. Для каротиноидов отметили уменьшение их уровня в опыте для растений *hy3* и *hy4*, а для дикого типа – увеличение. Максимальные изменения наблюдали для *hy3* в возрасте 17 сут – уменьшение на 45 % в опыте, а для растений *hy4* и *Ler* в возрасте 27 сут (для *hy4* – уменьшение на 30 %, для *Ler* – увеличение на 21 %). На более поздних стадиях развития (41 сут и более) достоверных изменений в содержании каротиноидов, как и хлорофиллов, в обоих вариантах исследований не отметили. Такие изменения в содержании фотосинтетических пигментов и процессов роста и плодоношения *Arabidopsis* в опыте по сравнению с контролем позволяют предположить, что за развитие растений в данном случае отвечают процессы, не связанные с фотосинтезом.

Сравнительный анализ динамики развития растений *Arabidopsis* всех линий показывает, что совместное влияние низкоэнергетического красного люминесцентного излучения, генерируемого светокорректирующей пленкой, и длинноволнового УФ-А излучения приводит к изменению скорости ростовых реакций и отражается на продуктивности растений. Характер изменений определяется как световыми усло-

виями роста и развития растений, так и генетическими особенностями *Arabidopsis*. Можно предположить, что действие света, прошедшего через светокоррек-

тирующую пленку с максимумом люминесцентного излучения в области 617 нм, осуществляется через фоторегуляторные пигменты.

Литература

1. Шульгин И.А. Растение и солнце. Л., 1973.
2. Воскресенская Н.П. Фоторегуляторные реакции и активность фотосинтетического аппарата // Физиология растений. 1987. Т. 34. Вып. 4.
3. Borthwick H.A., Hendricks S.B. Effects of radiation on grow and development // Handbuch der Pflanzenphysiologie, 16, Springer-Verlag Heidelberg, 1961.
4. Briggs W.R., Huala E. Blue-light photoreceptors in higher plants // Ann. Rev. Cell Dev. Biol. 1999. № 15.
5. Cashmore A.R., Jarillo J.A., Wu Y.-J., Lin D. Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals // Scienc. 1999. V. 284. № 15.
6. Минич И.Б. Влияние красного низкоэнергетического люминесцентного излучения на морфогенез и баланс эндогенных гормонов растений: Дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005.
7. Райда В.С., Иваницкий А.Е., Бушков А.В. и др. Определение вклада УФ возбуждаемой люминесцентной составляющей светокорректирующих полимерных пленок в проходящее через них солнечное излучение // Оптика атмосферы и океана. 2004. № 2–3. Вып. 17.
8. Минич А.С., Минич И.Б., Райда В.С. и др. Биологическое тестирование светокорректирующих пленок в условиях закрытого грунта при выращивании белокочанной капусты // Сельскохозяйств. биол. 2003. № 3.
9. Kusnetsov S.I., Leplianin G.V., Mironov U.I. et. al. «Polisvetan», a high performance material for cladding greenhouses // Plasticulture. 1989. № 3. V. 83.
10. Карасев В.Е. Полисветаны – новые полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства // Вестн. ДВО РАН. 1995. № 2.
11. Koornneef M. et al. Genetic control of light-inhibited hypocotyl elongation in *Arabidopsis thaliana* // Pflanzenphysiol. 1980. V. 100.
12. Ahmad M., Cashmore A.R. HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light photoreceptor // Nature. 1993. V. 366. № 11.
13. Seed and DNA catalog / *Arabidopsis* Biological Resource Center. Internet Edition. 1997. V. 12. -<http://aims.cps.msu.edu/aims>.
14. Райда В.С., Иваницкий А.Е., Майер Э.А., Толстиков Г.А. Особенности пропускания света светокорректирующими пленками ПЭВД с люминофорами на основе комплексных соединений европия // Пластмассы. 2003. № 12.
15. Тищенко С.Ю. Роль синего света в регуляции роста, морфогенеза и баланса эндогенных фитогормонов *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh: Дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2000.
16. Усманов П.Д., Медник И.Г., Лпкинд Б.И., Гиллер Ю.Е. Генотипические особенности реакции растений на средневолновую ультрафиолетовую радиацию // Физиология растений. 1987. Т. 34. Вып. 4.

УДК 57.003

З.В. Лысенкова

РЕКРЕАЦИОННОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Смоленский гуманитарный университет

Одной из доминант устойчивого развития признано образование, средствами которого без социальных потрясений можно оптимизировать взаимодействие общества с окружающей средой [1]. Концепция устойчивого развития по своему содержанию очень близка к разработанной в нашей стране концепции рационального природопользования. Работами Д.Л. Арманда, В.А. Анучина, Ю.К. Ефремова, А.А. Минца, И.В. Комара, Ю.Г. Саушкина и других выдающихся отечественных географов была создана теоретическая основа данной концепции, направленной на радикальное улучшение всех сторон взаимодействия общества с окружающей средой. Развитие теоретических положений концепции рационального природопользования и необходимость реализации их на практике способствовали появлению новых научных направлений исследования различных аспектов человеческой деятельности в тесной связи с окружающим миром. Одним из таких направлений является рекреационное природополь-

зование, представляющее собой хороший пример экологически неагрессивного источника социально-экономического роста различных регионов.

Подготовка специалистов, способных решать задачи в целях достижения устойчивого развития общества, требует разработки учебных программ соответствующих курсов. По заданию Учебно-методического совета университетов России по экологии и устойчивому развитию нами (в соавторстве с д.г.н., проф. В.В. Рудским) была разработана программа дисциплины «Основы рекреационного природопользования» [2], рассчитанная на магистров, специализирующихся в области экологии и природопользования. При построении данной программы мы руководствовались следующими принципами: комплексности, историчности, актуальности, практичности [3]. Соблюдение этих принципов позволяет обеспечить системную увязку рассмотрения теоретических основ и методических подходов, разработанных в концепции рационального природополь-