

На правах рукописи

МИНИЧ  
ИРИНА БОРИСОВНА

**ВЛИЯНИЕ КРАСНОГО НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОГЕНЕЗ И БАЛАНС  
ЭНДОГЕННЫХ ГОРМОНОВ РАСТЕНИЙ**

03.00.05 - ботаника

03.00.12 - физиология и биохимия растений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Томск - 2005

Работа выполнена на кафедре физиологии и биотехнологии растений Томского государственного университета, лаборатории «Полимерные материалы для фотобиологии» и агробиологической станции Томского государственного педагогического университета

Научный руководитель: доктор биологических наук,  
профессор Р.А. Карначук

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
профессор Т.П. Астафурова  
кандидат биологических наук  
С.И. Михайлова

Ведущая организация: Институт биофизики СО РАН,  
г. Красноярск

Защита диссертации состоится 1 марта 2005 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.09 по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук в Томском государственном университете.

634050, Томск-50, пр. Ленина, 36, тел. (3822)-529-853

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 28 января 2005 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

доктор биологических наук,  
С.П. Кулижский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Свет для растений - важнейший фактор окружающей среды. Он является не только источником энергии для фотосинтеза, но и выступает регулятором всех сторон жизнедеятельности растительного организма. Его регуляторная роль проявляется благодаря наличию специфических фоторецепторов, поглощающих очень узкие участки ФАР. Регулируемые светом процессы нуждаются в небольшой энергии, но очень требовательны к его спектральному составу (Воскресенская, 1975). При изменении в световом потоке одного из участков спектра наблюдаются изменения в морфогенезе растений, так как нарушается передача сигнала в системе фоторегуляции (Карначук, 1989; Deng, 1994). Светофильтры являются одними из наиболее эффективных технических средств, которые применяют для изменения спектрального состава излучения (Сечняк и др., 1981).

В последние годы в научных исследованиях в качестве эффективных селективных фильтров электромагнитного излучения начали находить применение фотокорректирующие полимерные пленки (Толстикова, 1998; Рогозин и др., 1998; Кособрюхов и др., 2000; Минич и др., 2000; Головоцкая и др., 2002; Астафурова и др., 2003; Минич и др., 2003). Такие пленки за счет введения в их состав фотолюминофоров на основе соединений европия преобразуют часть длинноволнового УФ излучения в красную область спектра, в том числе с максимумом люминесцентного излучения 617 нм (Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989; Карасев, 1995; Райда и др., 2003). Использование фотокорректирующих пленок приводит к эффекту ускорения процессов жизнедеятельности растений и повышению их плодоношения, названному авторами полисветановым эффектом (Щелоков, 1986).

Существует несколько предположений о механизме действия излучения, прошедшего через фотокорректирующую пленку, на рост и развитие растений. В первом утверждается, что полисветановый эффект связан со значительным увеличением доли воздействующего на хлорофилл красного света (Щелоков, 1986). В другом говорится о световом насыщении растений, что достигается увеличением количества полезной энергии за счет преобразования УФ света люминофором в пленке и хлорофиллом (Kusnetsov et al., 1989). Хлорофилл при УФ облучении фосфоресцирует в красной и сине-зеленой областях спектра, а преобразованное люминофором в пленке излучение поглощается фитохромом. В итоге активируется работа всех фоторецепторов, что стимулирует процесс фотосинтеза. В третьем предполагается фоторегуляторная природа полисветанового эффекта (Карасев, 1995), и говорится о наличии специфических фоторецепторов, работающих только в ответ на облучение красным светом с длиной волны приблизительно 600 нм (Кособрюхов и др., 2000). Однако экспериментальные доказательства выдвигаемых предположений фрагментативны. Совершенно не изученной является роль эндогенных фитогормонов в прохождении всей совокупности физиологических

процессов в онтогенезе на измененное фотокорректирующими пленками излучение.

**Цель и задачи работы.** Выяснение роли низкоэнергетического люминесцентного излучения с основным максимумом 617 нм в морфогенезе, формировании фотосинтетического аппарата и гормонального баланса растений для объяснения действия полисветанового эффекта.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить особенности роста, развития и фотосинтетического аппарата на модельном объекте *Arabidopsis* дикого типа Ler и его мутантов *hy3* и *hy4* при выращивании под фотокорректирующей пленкой с максимумом излучения 617 нм на белом свете с дополнительной 16-часовой экспозицией длинноволновым УФ светом.
2. Изучить особенности роста, развития и фотосинтетического аппарата *Arabidopsis* дикого типа Ler, мутантов *hy3* и *hy4* при выращивании под фотокорректирующей пленкой с максимумом излучения 617 нм на белом свете с дополнительной 6-часовой экспозицией длинноволновым УФ светом.
3. Оценить влияние изменения уровня эндогенных гормонов на процессы роста, развития и плодоношения *Arabidopsis* дикого типа Ler и мутантов *hy3* и *hy4* при выращивании под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм.
4. Определить эффективность влияния низкоэнергетического света с длиной волны 617 нм, генерируемого фотокорректирующей полиэтиленовой пленкой, на рост и развитие капусты сорта «Надежда» и редьки сорта «Ладушка» в условиях закрытого грунта в регионе Томска.

**Научная новизна.** Полученные результаты вносят вклад в развитие представлений о фоторегуляции морфогенеза и гормонального баланса растений низкоэнергетическим люминесцентным излучением.

Показано регуляторное действие излучения, прошедшего через фотокорректирующую полиэтиленовую пленку с основным максимумом люминесценции 617 нм, на морфогенез и формирование гормонального баланса растений. Впервые показано, что изменения ростовых параметров растений под фотокорректирующей пленкой связаны с изменениями уровня эндогенных гормонов – 3-индолилуксусной кислоты (ИУК), абсцизовой кислоты (АБК), зеатина (З) и зеатинрибозида (ЗР).

Выявлено, что ускоренное развитие и увеличение продуктивности растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., мутанта *hy4*, белокочанной капусты сорта «Надежда» и летней редьки сорта «Ладушка» под фотокорректирующей пленкой связаны с укорачиванием вегетативной фазы растений и быстрым переходом к фазе образования репродуктивных органов.

Впервые в условиях закрытого грунта выявлена зависимость величины полисветанового эффекта от изменений метеорологических условий. Показано, что изменения ростовых параметров растений под

фотокорректирующей пленкой не связаны с уровнем содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений.

**Практическая значимость.** Показана возможность эффективного применения фотокорректирующей пленки в качестве укрытий сооружений закрытого грунта при культивировании капусты сорта «Надежда» и редьки сорта «Ладушка» с целью значительного увеличения их продуктивности. Предложена методика быстрого биологического тестирования фотокорректирующих пленок при использовании их в качестве укрытий минимизированных сооружений закрытого грунта, применяя в качестве тестовых культур рассаду капусты сорта «Надежда» и редьку сорта «Ладушка», а также в лабораторных условиях с использованием растений *Arabidopsis thaliana* дикого типа Leg и мутантов *hu3* и *hu4*. Это позволяет решать вопросы создания фотокорректирующих пленок, используемых в растениеводстве закрытого грунта, с необходимыми фотофизическими свойствами для управления продукционным процессом растений, что используется ОАО «Полимер» (г. Кемерово) и фермерским хозяйством М.П. Борзунова (г. Томск). Полученные результаты используются в учебном процессе Томского государственного университета и Томского государственного педагогического университета при чтении курсов «Физиология растений», «Основы сельского хозяйства».

**Реализация результатов работы** была проведена при выращивании в закрытом грунте на агробиологической станции Томского государственного педагогического университета и в фермерском хозяйстве М.П. Борзунова различных культур - томатов, огурцов, капусты, болгарского перца, редиса, тюльпанов, астр, зеленных культур.

**Апробация работы.** Материалы настоящей работы докладывались на 5-ом Корейско-Российском международном симпозиуме науки и технологии «Корус», г. Томск, 2001; на 5, 8-ой общероссийской межвузовской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование», г. Томск, 2001, 2004; на 5-ой региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «III Сибирская школа молодого ученого», г. Томск, 2000; на международной конференции «Проблемы физиологии растений Севера», г. Петрозаводск, 2004; на межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь Сибири науке России», г. Красноярск, 2004; на VIII международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий», г. Абакан, 2004; на международной научно-практической конференции «Проблемы рационального использования растительных ресурсов», г. Владикавказ, 2004.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных работ.

**Объём и структура работы.** Диссертация изложена на 105 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков, 21 таблицу; состоит из введения, обзора литературы, главы материалов и методик исследования, главы экспериментальных результатов и их обсуждения, выводов, списка литературы, включающего 117 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность за сотрудничество и помощь в организации исследований к.б.н., доценту Головацкой Ирине Феокистовне (ТГУ), к.х.н., доценту Миничу Александру Сергеевичу (ТГПУ), к.х.н., с.н.с. Райде Владимиру Степановичу (ИХН СО РАН), аспирантке ТГУ Ефимовой Марине Васильевне, аспирантке ТГПУ Зеленьчуковой Наталье Сергеевне. Особая благодарность - научному руководителю Карначук Раисе Александровне без чьей помощи выполнение работы было бы невозможным.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили растения из семейства крестоцветных *Brassicaceae* или *Cruciferae* - резушка Таля, арабидопсис (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.), капуста белокочанная (*Brassica oleracea* L. var. capitata L. f. alba (L.) Ditch) среднеспелого сорта «Надежда» и редька (*Raphanus sativus* L.) ранняя летняя сорта «Ладушка». В работе использовали три линии *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.: линию *Landsberg erecta* (Ler) являющуюся фоновой, и две мутационных линии: *hy3* и *hy4* (Koornneef et al., 1980; Seed and DNA catalog, 1997). Мутант *hy3* является дефектным по структуре РНУВ и характеризуется резким ослаблением морфогенетического ответа на красную часть спектра (Seed and DNA catalog, 1997). Мутант *hy4* является дефектным по фоторецептору синего света по структуре CRY1 (Ahmad, Cashmore, 1993).

*Arabidopsis* выращивали на белом свете (интенсивность 29 Вт/м<sup>2</sup>) с дополнительной экспозицией УФ света (интенсивность 4 Вт/м<sup>2</sup>) в двух вариантах: 1) 8 часов темнота / 16 часов белый свет + УФ свет; 2) 8 часов темнота / 4 часа белый свет / 6 часов белый свет + УФ свет / 6 часов белый свет. Источниками света служили люминесцентные лампы ЛБ-40, ЛД-40 и УФ лампа PL-S 9W/08 Black Light (Philips). В качестве светофильтров, помещенных на расстоянии 20 см от источника света, использовали немодифицированную (контроль) и фотокорректирующую (опыт) полиэтиленовые пленки, толщиной 120 мкм, имеющие различные фотофизические свойства (табл. 1). Семена *Arabidopsis* высевали в невысокие предварительно дренированные ёмкости с грунтом и проращивали под контрольной и опытной пленками. Полив производили капиллярным способом.

В процессе роста отмечали время прорастания, образование семядолей, первого листа, формирования цветоноса, начала цветения и формирование стручков. В возрасте 8, 17, 27, 36, 41 и 47 суток проводили морфометрические измерения растений (длины гипокотилия, длины главного и боковых цветоносов, количество листьев и их площадь, сырую массу, массу сухого вещества, отношение площади листьев к биомассе растений (LAR), количество бутонов, цветков и стручков). Определение фотосинтетических пигментов в листьях 27, 36 и 41-суточных растений проводили по методу (Шлык, 1971).

В возрасте 36-ти суток (*ny3*) и 47 суток (*Leg* и *ny4*) отбирали растительный материал для определения содержания эндогенных фитогормонов. Выделение эндогенных гормонов проводили из навески сырого растительного материала 1500 мг, который фиксировали и экстрагировали этанолом (Головацкая, Карначук, 1999). Выделение свободных ИУК и АБК проводили по методу (Кефели и др., 1973), З и ЗР - по методу (Негрецкий, 1988). Идентификацию гормонов проводили с помощью ТХС, используя стандартные метчики ИУК, АБК, З и ЗР. Количественное определение гормонов проводили с помощью твердофазного ИФА (Кудоярова, 1990).

Таблица 1. Состав и некоторые свойства пленок (Райда и др., 2004)

Вариант пленки		Контроль	Опыт
Тип используемого люминофора		нет	Eu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Phen <sub>2</sub> *
Количество люминофора, % масс.		0,00	0,10
Интенсивность люминесценции, отн. ед.		0,0	104,8
Основной максимум в спектрах люминесценции, нм		Нет	617
Пропускание электромагнитного излучения, % в диапазонах нм**	290-330	59 ± 1	51 ± 1
	320-400	65 ± 1	59 ± 1
	380-710	76 ± 1	73 ± 1
Пропускание прямого излучения, %		78,6 ± 0,8	76,4 ± 0,7
Интегральное светопропускание, %		94,7 ± 1,5	93,6 ± 1,2
Рассеяние света, %		12,0 ± 0,5	13,6 ± 0,6
Отражение света, %		9,4 ± 0,8	9,9 ± 0,6
Интенсивность отраженного излучения, %		8,0 ± 1,2	13,1 ± 1,1
Интенсивность поглощенного УФ излучения, Вт/м <sup>2</sup>		---	0,029 ± 0,003
Интенсивность трансформированного УФ излучения, Вт/м <sup>2</sup>		---	0,014 ± 0,001
Интенсивность падающего на почву вторичного излучения, Вт/м <sup>2</sup> (% от ФАР)		---	0,0072 ± 0,0001 (0,0029 ± 0,0001)

\*Eu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Phen<sub>2</sub> – комплекс нитрата европия с 1,10-фенантролином

\*\*Интервалы по ГОСТ 10354

Рассаду капусты и редьку выращивали в сооружениях закрытого грунта размером 1 м<sup>2</sup> высотой 0,6 м, которые укрывали немодифицированной и фотокорректирующей пленками. Растения высаживали семенами (капусту в начале мая, редьку во второй декаде июня) по стандартной технологии (Ченыкаева и др., 1993). Определения морфометрических параметров (высота растений, диаметр стебля, число листьев, площадь листовых пластинок, сырая масса и масса сухого остатка) и показателей содержания фотосинтетических пигментов проводили для 30-

суточных растений. Урожайность редьки определяли по массе корнеплодов в возрасте 30 и 60 суток, капусты - по массе кочана в возрасте 150 суток.

Морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов определяли для 30 растений в каждом варианте и каждой культуры. Эксперименты проводили в трех биологических и шести аналитических повторностях. Статистическую обработку экспериментальных результатов проводили с помощью специализированного пакета «Statistica for Windows» (программы «Excel») с доверительным интервалом 0,9 (морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов) и 0,95 (содержание гормонов). В таблицах и на рисунках приведены данные в виде средних арифметических значений с двухсторонним доверительным интервалом.

#### РОСТ И РАЗВИТИЕ *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. ДИКОГО ТИПА Ler И МУТАНТОВ *hy3* И *hy4* ПОД ФОТОКОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ПЛЕНКОЙ С МАКСИМУМОМ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 617 НМ

Результаты исследований показали различные ответы *Arabidopsis* в зависимости от используемой линии, применяемой в качестве светофильтра пленок и времени дополнительной экспозиции УФ излучения.

При 16-часовой экспозиции УФ светом прорастание семян дикого типа и мутанта *hy4* происходило практически одновременно (табл. 2).

Таблица 2. Рост *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа Ler и мутанта *hy4* под немодифицированной (1) и фотокорректирующей (2) пленками на белом свете (29 Вт/м<sup>2</sup>) с 16-часовой экспозицией УФ света (4 Вт/м<sup>2</sup>)

Период роста	Время от начала проращивания, сутки			
	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

Распрямление изгиба гипокотыля и распускание семядолей наблюдали на третьи сутки. Рост проростков *hy4* был выражен в большей степени, чем у дикого типа под соответствующими пленками.

Развитие опытных и контрольных растений дикого типа на протяжении всего периода проведения эксперимента происходило практически одинаково, на что указывает отсутствие достоверных различий большинства морфометрических показателей растений (табл. 3). Вероятнее всего в данных условиях проведения эксперимента (при 16-часовой

экспозиции УФ светом) увеличение доли красной составляющей за счет преобразования части УФ излучения фотокорректирующей пленкой не влияет в достаточной степени на фитохромную систему растений и компенсируется хорошей работой криптохромной системы дикого типа Ler.

Таблица 3. Ростовые параметры *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа Ler и мутанта *hy4* в возрасте 41 суток под немодифицированной (1) и фотокорректирующей (2) пленками на белом свету (29 Вт/м<sup>2</sup>) с 16-часовой экспозицией УФ света (4 Вт/м<sup>2</sup>)

Параметры	Ler		<i>hy4</i>	
	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 суммарная	5,26±0,70	6,55±0,71	0,58±0,20	0,16±0,06
	151,4±17,2	192,3±20,0	2,09±1,02	14,61±3,94
Площадь листьев, см <sup>2</sup> розеточных на цветоносных побегах общая	3,74±0,44	1,66±0,30	0,55±0,06	1,52±0,26
	3,04±0,31	2,83±0,50	0,38±0,33	2,49±0,24
	6,78±0,54	4,49±0,65	0,93±0,34	4,01±0,24
Сырая масса, мг•10 <sup>2</sup>	1,55±0,10	1,16±0,16	0,20±0,07	0,67±0,06
Сухая масса, мг	16,02±0,59	13,36±0,87	1,39±0,43	4,83±1,10
Кол-во листьев, шт	11,10±0,40	9,75±0,45	6,36±0,44	10,43±0,40
Кол-во бутонов, шт	34,70±2,40	28,40±2,95	11,00±2,00	36,14±2,42
Кол-во цветков, шт	2,50±0,89	3,00±0,91	0,58±0,26	0
Кол-во стручков, шт	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

Для мутанта *hy4* в начальный период развития изменений ростовых параметров не отметили. Далее по мере образования каждого розеточного листа наблюдались нарастающие различия в развитии растений под фотокорректирующей и немодифицированной пленками. В опыте образование цветоноса произошло на 25 сутки, в контроле - на 30 сутки, т.е. на 5 дней позже. Такое резкое различие в формировании цветоноса у мутанта *hy4* привело к различию в сроках образования бутонов, цветков и стручков (табл. 2). Формирование бутонов в опыте наблюдали на 27 сутки, в контроле - на 32 сутки, т.е. также как и цветоноса на 5 дней позже. Начало цветения у мутанта *hy4* в опыте приходится на 29 сутки, а в контроле на 7 суток позже. В возрасте 34 суток у растений линии *hy4* под фотокорректирующей пленкой образовывались первые стручки, а к 37 суткам цветение закончилось. К этому времени образовались новые бутоны, причем в количестве в три раза превосходящем их число в контроле. У контрольных растений *hy4* к данному моменту отметили только начало цветения (на 36 сутки), образование новых бутонов не наблюдали. Формирование стручков у данной линии

арабидопсиса под немодифицированной пленкой происходило только на 40 сутки, т.е. на 6 дней позже, чем под фотокорректирующей пленкой.

Для 17-суточных и 27-суточных растений *hy4* отметили ингибирование удлинения гипокотыля в опыте. Это хорошо согласуется с литературными данными (Ahmad, Cashmore, 1993), в которых отмечается ингибирование роста гипокотыля у мутанта *hy4* при выращивании на красном свете. Первые три недели отличий в площади листовых пластинок 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 суток), и 331,2% (41 сутки). Увеличение размера листовых пластинок у опытных растений мутанта *hy4* и контрольных растений дикого типа *Ler* происходило с одновременным повышением массы сухого вещества (рис. 1).

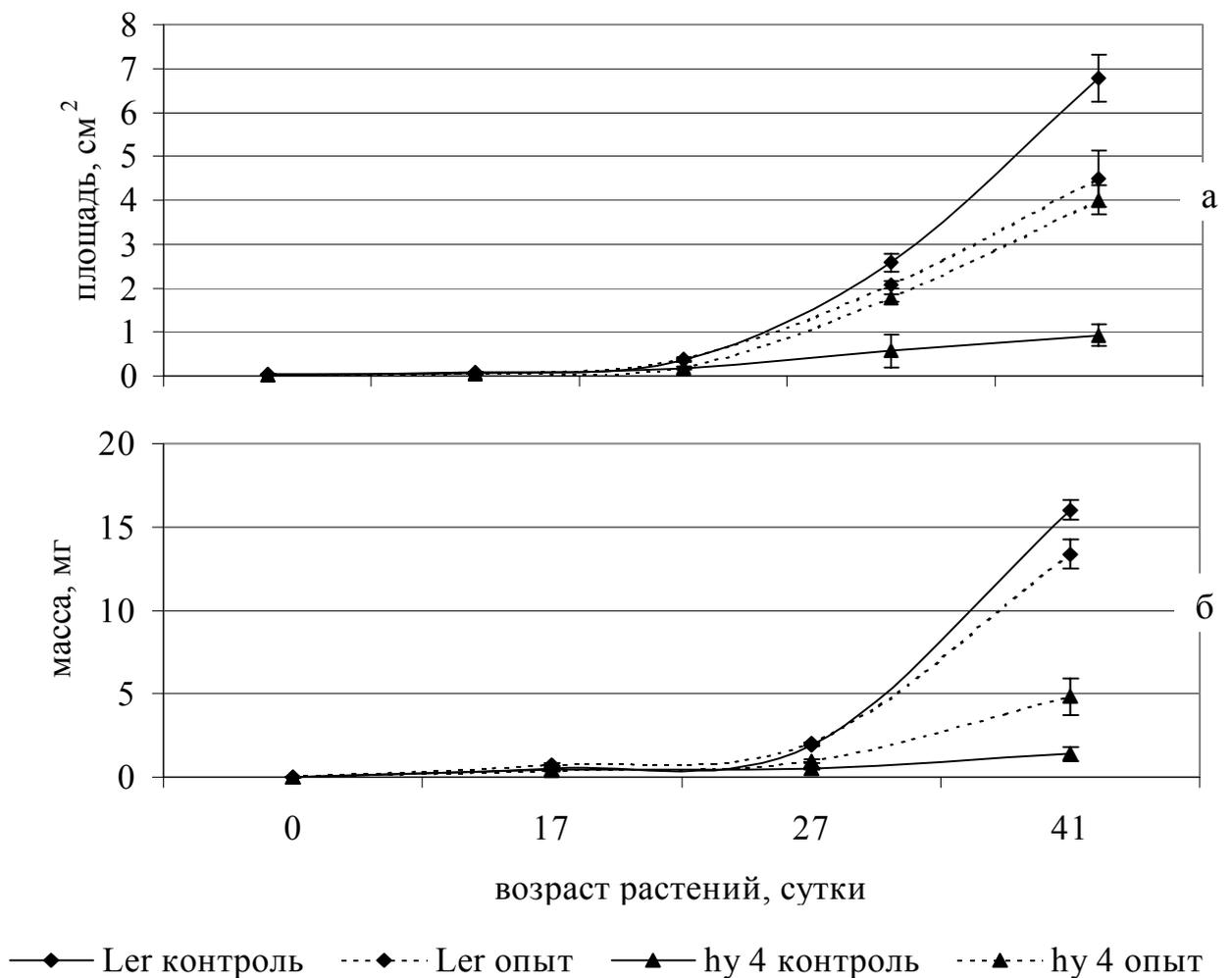


Рис. 1. Динамика роста листовых пластинок (а) и изменения массы сухого вещества (б) растений *Arabidopsis* дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* под немодифицированной (контроль) и фотокорректирующей (опыт) пленками на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 16-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ )

Таким образом, у растений мутанта *hy4*, выращенных под фотокорректирующей пленкой, наблюдается 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), отмечается наличие большего числа бутонов, цветков и стручков.

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

У растений дикого типа *Ler*, выращенных под фотокорректирующей пленкой, отметили накопление хлорофилла *a* и каротиноидов по сравнению с растениями, выращенными под немодифицированной пленкой (рис. 2). В контроле пониженное содержание данных пигментов у *Arabidopsis* линии *Ler* связано с ингибированием синтеза хлорофилла *a* и каротиноидов избыточным УФ излучением, что подтверждается опубликованными данными (Teramura, 1983; Jensen, Vierskov, 1998; Ракитина и др., 2001).

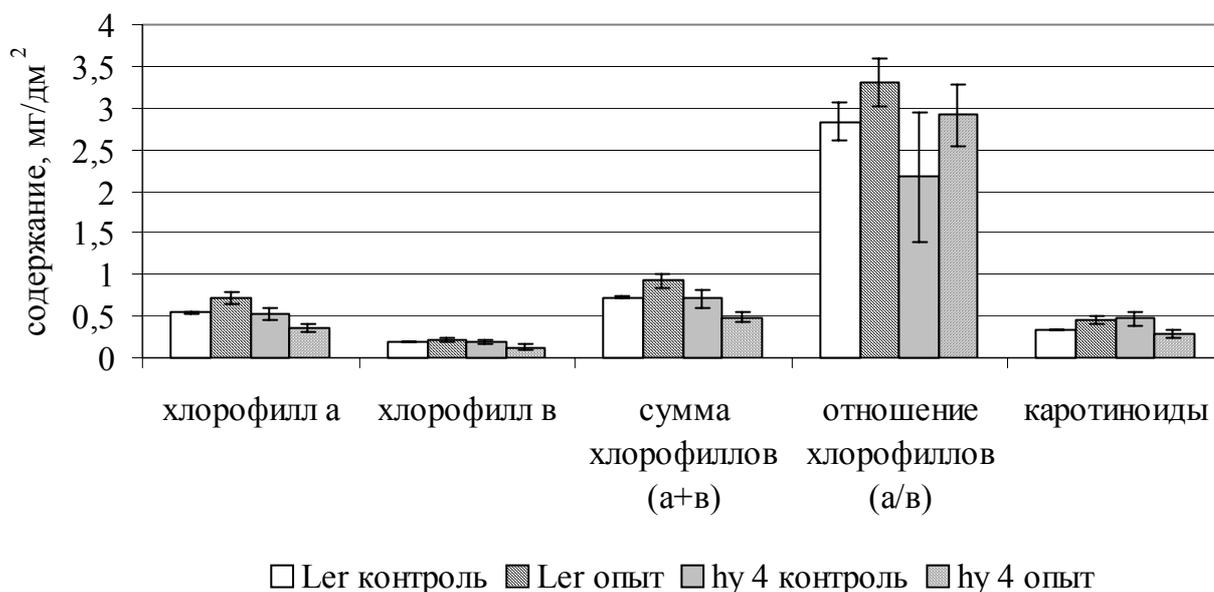


Рис. 2. Содержание пигментов в листьях растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh. дикого типа *Ler* и мутанта *hy4* в возрасте 27 суток, выросших под немодифицированной (контроль) и фотокорректирующей (опыт) пленками на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 16-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ )

У растений мутанта *hy4*, выросших под фотокорректирующей пленкой, наблюдали уменьшение содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. Такое уменьшение содержания фотосинтетических пигментов при усилении процессов роста и плодоношения мутанта *hy4* в опыте по

сравнению с контролем позволяет предположить, что за ускоренное развитие растений в данном случае отвечают процессы, не связанные с фотосинтезом.

Для растений *hy3* в данных условиях проведения эксперимента под обеими пленками наблюдали угнетение процессов роста и развития. Отметили низкую всхожесть семян. Как в опыте, так и в контроле у проростков, достигнувших стадии образования первых настоящих листьев, наблюдали прекращение роста и развития, а через 20 суток растения погибали. Вероятнее всего это связано с влиянием избыточного УФ излучения, что подтверждается литературными данными, в которых отмечается летальное действие избыточного излучения на некоторые световые мутанты *Arabidopsis* и, в частности, на *hy3* (Усманов и др., 1987).

При 6-часовой экспозиции УФ светом у растений дикого типа под фотокорректирующей пленкой достоверно возрастает длина цветоносного побега и площадь поверхности листьев, при этом увеличивается количество стручков, что сопряжено со значительным повышением содержания свободной ИУК и уменьшением уровня свободной АБК по сравнению с контролем (табл. 4-5).

Вероятнее всего это связано с усилением активности фитохрома В, так как под фотокорректирующей пленкой часть УФ света преобразуется в красную область с максимумом излучения 617 нм.

Аналогичный ответ на коррекцию света опытной пленкой наблюдается у растений *hy4*, но он выражен сильнее. Так если площадь поверхности листьев в опыте по сравнению с контролем у растений *Leg* возрастает на 11,4 %, то у растений *hy4* она увеличивается на 25,8 %, а общая длина цветоносов на 22,7 % и 119,1 % соответственно. У опытных растений *Leg* по сравнению с контрольными растениями количество стручков возрастает на 125,2 %, а у опытных растений *hy4* увеличивается на 267,9 %, что связано со значительным уменьшением содержания свободной АБК. Можно полагать, что ИУК и АБК вовлечены в систему трансдукции светового сигнала, а их уровень зависит от работы фитохрома.

На наш взгляд более сильный ответ у опытных растений *hy4* по сравнению с опытными растениями *Leg* на незначительное увеличение доли красного света в потоке излучения связан с более успешной работой компенсаторных механизмов у мутанта. Растения *hy4*, в отличие от растений дикого типа, практически не имеют физиологических ответов на синий свет, так как у них нарушен синтез криптохрома *CRY1*. Вследствие этого у них более успешно работает фитохромная система, что приводит к усилению ответов на красную составляющую электромагнитного излучения, дополнительно увеличенную коррекцией УФ излучения пленкой с люминофором.

Содержание З как в опытных, так и в контрольных растениях дикого типа *Leg* значительно выше, по сравнению с аналогичными вариантами выращивания мутанта *hy4*, что согласуется с имеющимися данными (Карначук и др., 2001). Для ЗР наблюдается обратная закономерность - повышенное содержание у растений *hy4*, по сравнению с *Leg*. Для растений дикого типа отметили достоверное увеличение З и уменьшение ЗР у

опытных растений. Увеличение содержания красной составляющей спектра под фотокорректирующей пленкой за счет преобразования части УФ излучения способствует синтезу ИУК и З, для синтеза которого в свою очередь способствует накопление ауксина (Головацкая и др., 1996; Карначук и др., 2001). Для растений мутанта *hy4* в опыте отметили уменьшение содержания как свободной, так и связанной форм зеатина.

Таблица 4. Ростовые параметры *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа Ler и мутанта *hy4* в возрасте 47 суток под немодифицированной (1) и фотокорректирующей (2) пленками на белом свете (29 Вт/м<sup>2</sup>) с 6-часовой экспозицией УФ света (4 Вт/м<sup>2</sup>)

Параметры	Ler		<i>hy4</i>	
	1	2	1	2
Длина цветоноса, см главного боковых общая	16,43±1,42	20,06±1,86	9,22±1,16	23,40±1,07
	6,41±1,68	11,28±1,49	5,42±1,42	15,30±1,01
	22,84±1,43	31,33±1,55	14,64±2,45	38,70±1,26
Кол-во листьев, шт в розетке на главном цветоносе на боковых цветоносах общее	5,22±0,64	6,00±0,65	4,37±0,51	4,40±0,33
	2,67±0,34	2,89±0,38	2,18±0,18	2,40±0,33
	4,33±0,60	5,78±1,36	5,09±0,62	6,60±0,33
	12,22±1,06	14,67±1,34	11,64±0,64	13,40±0,33
Площадь листьев, см <sup>2</sup> розеточных цветоносных общая	3,87±0,75	5,16±1,19	1,56±0,30	2,59±0,24
	3,33±0,40	4,07±1,00	2,99±0,50	3,92±0,05
	7,19±0,43	9,23±0,74	4,55±0,42	6,51±0,26
Сырая масса, мг•10 <sup>-1</sup>	12,77±1,66	23,67±2,07	8,65±0,45	10,60±0,25
Кол-во бутонов, шт на главном цветоносе на боковых цветоносах общее	7,89±0,70	7,44±1,18	7,82±0,67	5,60±0,33
	11,44±2,20	12,33±2,33	12,00±1,59	12,00±3,00
	19,33±2,33	19,77±2,72	19,82±1,82	17,60±3,02
Кол-во цветков, шт	0,89±0,83	2,11±0,93	3,27±0,93	4,00±0,43
Кол-во стручков, шт	1,11±0,52	5,22±1,55	0,36±0,42	4,60±1,73
Кол-во семян в стручке, шт	11,07±1,66	12,01±2,09	10,56±1,54	12,06±1,88

Таким образом, у растений Ler и *hy4*, выращенных под фотокорректирующей пленкой, по сравнению с контрольными растениями значительно усиливаются процессы роста, развития и плодоношения, обусловленные более ранним переходом растений в репродуктивную фазу. Изменения ростовых параметров связаны с изменениями уровня эндогенных гормонов: уменьшением содержания гормонов ингибиторов и увеличением содержания в них свободных гормонов стимуляторов роста и развития.

Иная закономерность обнаружена у растений *hy3* (табл. 5-6). У опытных растений наблюдали уменьшение длины цветоноса на 23,6 %, количества цветков и стручков на 15,2 % и 31,9 % соответственно. Эти изменения сопряжены со значительным уменьшением в опыте содержания ИУК, хотя у опытных растений *hy3* и отметили уменьшенное содержание АБК. Для мутанта *hy3* выявили также обратную закономерность по уровню содержания З и ЗР, по сравнению с растениями дикого типа Ler.

Таблица 5. Содержание гормонов в растениях *Arabidopsis*, выращенных под немодифицированной (1) и фотокорректирующей (2) пленками на белом свете (29 Вт/м<sup>2</sup>) с 6-часовой экспозицией УФ света (4 Вт/м<sup>2</sup>)

Линии <i>Arabidopsis</i>	Возраст растений, сутки	Содержание гормонов нг/г сырой массы			
		свободная ИУК	свободная АБК	З	ЗР
Ler (1)	47	4,90 ± 0,77	5,28 ± 1,81	27,29 ± 10,79	0,74 ± 0,38
Ler (2)	47	38,16 ± 12,55	1,55 ± 0,16	48,38 ± 7,21	0,46 ± 0,29
<i>hy4</i> (1)	47	13,61 ± 4,18	47,49 ± 15,15	4,14 ± 1,08	10,13 ± 5,49
<i>hy4</i> (2)	47	---	8,75 ± 3,39	0,32 ± 0,01	5,50 ± 0,55
<i>hy3</i> (1)	36	144,56 ± 49,84	4,12 ± 1,53	8,87 ± 0,89	0,35 ± 0,14
<i>hy3</i> (2)	36	30,49 ± 10,23	1,25 ± 0,93	6,55 ± 0,55	1,84 ± 0,69

Таблица 6. Ростовые параметры *Arabidopsis* мутанта *hy3* в возрасте 36 суток под немодифицированной (1) и фотокорректирующей (2) пленками на белом свете (29 Вт/м<sup>2</sup>) с 6-часовой экспозицией УФ света (4 Вт/м<sup>2</sup>)

Параметры	<i>hy3</i>	
	1	2
Длина гипокотилия, мм	5,33±0,47	6,53±0,45
Длина главного цветоноса, см	8,50±0,90	5,19±0,61
Кол-во листьев, шт в розетке на главном цветоносе общее	2,47±0,30	3,47±0,33
	1,93±0,18	2,20±0,22
	4,40±0,33	5,67±0,36
Площадь листьев, см <sup>2</sup> розеточных цветоносных общая	0,72±0,17	0,90±0,07
	0,81±0,08	0,53±0,13
	1,53±0,18	1,43±0,10
Сырая масса, мг	26,40±2,43	21,87±1,48
Кол-во бутонов, шт	2,20±0,55	3,47±0,47
Кол-во цветков, шт	1,27±0,38	0,60±0,25
Кол-во стручков, шт	2,73±0,38	1,20±0,40
Кол-во семян в стручке, шт	10,17±1,37	10,12±1,28

Такие изменения содержания гормонов, ростовых параметров и плодоношения мутанта *hy3* связаны с тем, что у данной линии *Arabidopsis*

вследствие нарушения синтеза фитохрома В снижен уровень физиологических ответов на красный свет, а компенсаторные механизмы за счет работы криптохромной системы у мутанта *hу3* под фотокорректирующей пленкой мало эффективны, так как пленкой уменьшена доля УФ излучения.

Таким образом, у растений *hу3*, выращенных под фотокорректирующей пленкой, по сравнению с контрольными растениями значительно замедляются процессы роста, развития и плодоношения, что связано с изменениями уровня эндогенных гормонов: уменьшением содержания в них гормонов стимуляторов и ингибиторов роста и развития.

Сравнительный анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что свет, прошедший через фотокорректирующую пленку с максимумом люминесцентного излучения в области 617 нм, оказывает регуляторное действие на состояние гормонального баланса растений, меняя соотношение стимуляторов и ингибиторов роста, тем самым, изменяя скорость ростовых реакций, что отражается на продуктивности растений.

#### РАЗВИТИЕ И ПЛОДОНОШЕНИЕ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОД ФОТОКОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ПЛЕНКОЙ С МАКСИМУМОМ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 617 НМ

В закрытом грунте изменение спектрального состава солнечного излучения фотокорректирующей пленкой благоприятно влияет на процессы роста и развития рассады капусты. При оптимальных метеоусловиях опытные растения по большинству морфометрических показателей в 1,2-1,4 раза превосходили контрольные (табл. 7).

Таблица 7. Морфометрические показатели 30-суточной капусты, выращенной под фотокорректирующей (опыт) и немодифицированной (контроль) пленками на солнечном свете

Вариант	Высота, мм	Диаметр стебля, мм	Кол-во листьев, шт	Площадь листьев, см <sup>2</sup>	Сухая масса надземной части, мг
контроль	117,67±16,25	3,19±0,16	5,0±0,2	46,70±3,89	0,73±0,08
опыт	157,33±17,96	3,93±0,37	7,0±0,3	73,3±5,03	1,07±0,11

Так, показатели общей ассимилирующей поверхности опытной рассады капусты по сравнению с контролем выше на 57,0%, массы сухого остатка надземной части - на 46,58%, количества листьев - на 40,0%, высоты - на 33,7%, диаметра стебля - на 23,2%. Однако при значительном увеличении ростовых параметров не отметили изменений в важнейшем показателе фотосинтетической функции - содержании зеленых и желтых пигментов.

При неблагоприятных метеоусловиях, прежде всего освещенности, наблюдали на начальном этапе практически идентичное развитие растений капусты в опыте и в контроле. На более позднем этапе отметили ускоренный рост и развитие рассады капусты в опыте (рис. 3).

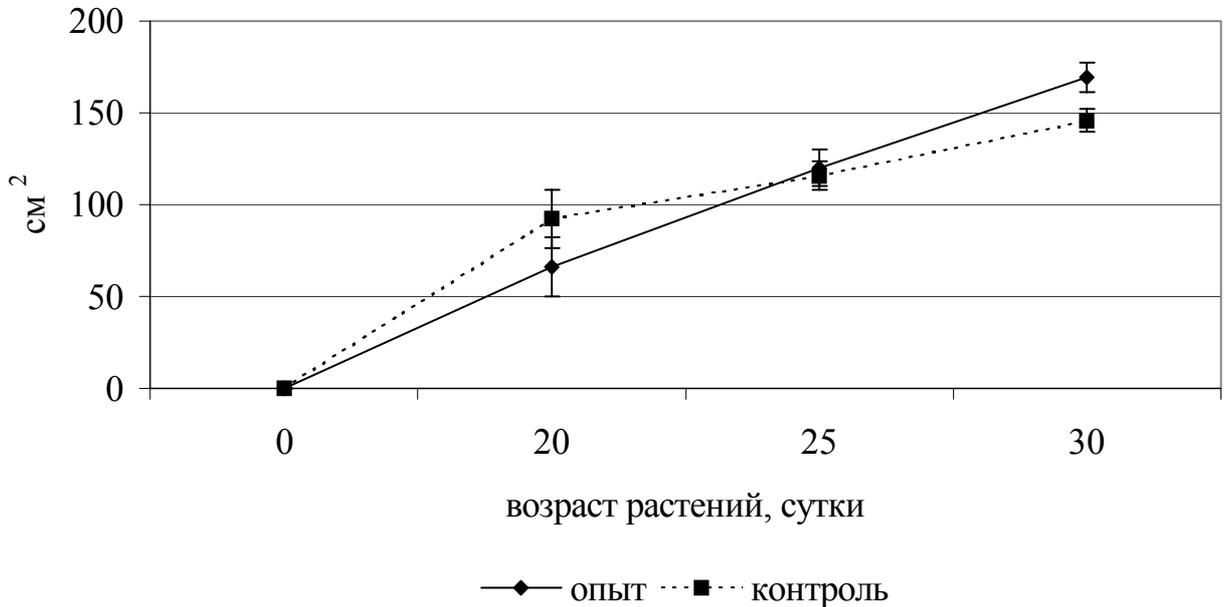


Рис. 3. Динамика изменения площади поверхности листьев капусты, выращенной под фотокорректирующей (опыт) и немодифицированной (контроль) пленкой на солнечном свете при неблагоприятных метеоусловиях

Дальнейшее культивирование капусты в открытом грунте из рассады, выращенной под фотокорректирующей пленкой даже в неблагоприятных метеоусловиях, приводит к увеличению ее продуктивности по сравнению с контролем, что выражается в повышении размера и массы опытных кочанов (табл. 8).

Таблица 8. Продуктивность и морфометрические показатели кочанов капусты сорта «Надежда», культивируемых из рассады, выращенной под фотокорректирующей (опыт) и немодифицированной (контроль) пленками.

Параметры кочана	Контроль	Опыт
Масса, кг	1,84±0,27	4,32±0,25
Ширина, см	17,07±2,01	24,92±1,88
Высота, см	22,40±2,14	30,11±1,51

Таким образом, прошедший через фотокорректирующую пленку солнечный свет ускоряет рост и развитие рассады капусты, что в дальнейшем способствует повышению ее продуктивности. Изменения ростовых параметров рассады капусты не связано с изменениями уровня фотосинтетических пигментов в листьях растений.

## РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РЕДЬКИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОД ФОТОКОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ПЛЕНКОЙ С МАКСИМУМОМ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 617 НМ

В закрытом грунте для редьки отметили интенсивный рост под опытной пленкой надземной части растений (табл. 9). Например, площадь поверхности листьев опытных растений по сравнению с контролем увеличилась на 33,31 %. Такие различия в развитии надземной части растений привели к различному развитию корнеплодов, что выразилось в увеличении урожайности редьки под фотокорректирующей пленкой на 77,6 %. Отметим ускоренный переход растений в фазу образования репродуктивных органов. Под фотокорректирующей пленкой образование цветоноса у редьки наблюдали на 43 сутки, а под немодифицированной пленкой на две недели позже. При этом отметили прекращение роста корнеплода и надземной части растений в опыте через 6 недель с момента посадки семян в грунт, а в контроле - через 8 недель. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях редьки при этом достоверно не изменилось.

Таблица 9. Морфометрические показатели и урожайность 30-суточной редьки сорта «Ладушка» под фотокорректирующей (опыт) и под немодифицированной (контроль) пленками на солнечном свете

Показатели	контроль	опыт
Количество листьев, шт	6,1 ± 0,4	7,4 ± 0,3
Площадь листьев, см <sup>2</sup>	420,87 ± 49,48	744,64 ± 117,60
Длина листовой пластины, мм	325,02 ± 9,72	374,42 ± 12,81
Масса надземной части растений, г		
сырая	25,26 ± 3,91	50,58 ± 8,95
сухой остаток	2,74 ± 0,12	3,80 ± 0,40
Масса корнеплода, г	14,70 ± 2,81	37,53 ± 6,43

### ВЫВОДЫ

1. Показано, что свет, прошедший через фотокорректирующую пленку с максимумом люминесцентного излучения 617 нм, регулирует действие морфогенеза *Arabidopsis*, меняя состояние гормонального баланса растений посредством изменения соотношения стимуляторов и ингибиторов роста, что приводит к различиям в скорости ростовых реакций и продуктивности.
2. Установлено, что при выращивании *Arabidopsis* дикого типа Ler и мутанта *hy4* под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм у растений укорачивается вегетативная фаза и ускоряется переход к фазе образования репродуктивных органов.

3. У растений *Arabidopsis* дикого типа *Leg* при выращивании на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 6-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ ) под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм усиливаются процессы роста, развития и плодоношения. Изменения ростовых параметров растений сопряжены с изменениями уровня эндогенных гормонов - существенным уменьшением содержания АБК, ЗР и увеличением уровня ИУК и З.
4. Растения *Arabidopsis* мутанта *hy4*, имеющие дефект фоторецептора синего света, при выращивании на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 16-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ ) под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм отличаются от растений, культивируемых под немодифицированной пленкой, по характеру роста, времени протекания стадий жизненного цикла и урожайности. Ускорение процессов жизнедеятельности растений под фотокорректирующей пленкой регулируется активацией фитохромной системы посредством красной составляющей электромагнитного излучения.
5. У растений *Arabidopsis* мутанта *hy4* при выращивании на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 6-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ ) под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм усиливаются процессы роста, развития и плодоношения. Изменения ростовых параметров растений сопряжены с уменьшением содержания АБК, ЗР и З.
6. Показано, что у растений *Arabidopsis* дикого типа *Leg* при выращивании на белом свете с 16-часовой экспозицией УФ света под фотокорректирующей пленкой на начальных этапах онтогенеза происходит накопление хлорофилла *a* и каротиноидов, а у мутанта *hy4* - уменьшение содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. На поздних этапах онтогенеза у растений обеих линий уровень фотосинтетических пигментов выравнивается. Ускорение процессов роста и плодоношения мутанта *hy4* под фотокорректирующей пленкой имеет фоторегуляторную природу.
7. У растений *Arabidopsis* мутанта *hy3*, имеющих дефект по фоторецептору красного света, при выращивании на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 6-часовым добавлением УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ ) под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм значительно замедляются процессы роста, развития и плодоношения, что связано с изменениями уровня эндогенных гормонов - уменьшением содержания ИУК, АБК, З и повышением уровня ЗР.
8. Установлено, что растения *Arabidopsis* мутанта *hy3* при выращивании на белом свете ( $I=29 \text{ Вт/м}^2$ ) с 16-часовой экспозицией УФ света ( $I=4 \text{ Вт/м}^2$ ) под фотокорректирующей пленкой с максимумом люминесцентного излучения 617 нм в начальный период онтогенеза ускоренно развиваются. В дальнейшем избыточное УФ излучение летально действует на растения, которые погибают до начала формирования второй пары настоящих листьев.

9. Установлено, что при использовании в качестве укрытий сооружений закрытого грунта фотокорректирующей пленки с максимумом люминесцентного излучения 617 нм влияние света на изменения ростовых параметров и продуктивность редьки сорта «Ладушка» и капусты сорта «Надежда» не связано с уровнем содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Минич А.С., Минич И.Б., Иваницкий А.Е., Райда В.С. Биологическое тестирование пленок для закрытого грунта с различными фотофизическими свойствами // Вестник Томского гос. пед. ун-та, Томск: ТГПУ, 2000. №2, вып. 2(18), сер. естеств. и точн. науки. -С. 70-73.
2. Рогозин В.И., Минич И.Б., Минич А.С. Об опыте использования светокорректирующих пленок для закрытого грунта на агробиостанции ТГПУ // Международный конгресс «Наука, образование, культура на рубеже тысячелетий», Труды второй сибирской школы молодого ученого, Томск, 19-21 апреля 2000 г., Томск: ТГПУ, 2000. -Т.1. -С.167-171.
3. Кутявина О.В., Минич И.Б., Минич А.С. Биологическое тестирование светокорректирующих полиэтиленовых пленок, выпускаемых ОАО «Полимер» // Материалы V региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «III сибирская школа молодого ученого», Томск, 22-23 декабря 2000 г., Томск: ТГПУ, 2001. -Т.1., сер. ест. и точн. науки. -С. 105-108.
4. Семенов О.М., Гончарик М.В., Минич И.Б., Рогозин В.И., Минич А.С. Выращивание рассады белокочанной и цветной капусты под светокорректирующей полиэтиленовой пленкой // Материалы V региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «III сибирская школа молодого ученого», Томск, 22-23 декабря 2000 г., Томск: ТГПУ, 2001. -Т.1., сер. ест. и точн. науки. -С. 123-126.
5. Irina Minich, Aleksandr Minich, Raisa Karnachuk, Irina Golovazkaja, Vladimir Raida Biological tests of adjusting light films // The 5<sup>th</sup> Korea-Russia international symposium science and technology «Korus 2001», Tomsk, June 26-July 3 2001, Tomsk, Russia: TPU, 2001. -V.2. -p. 77-79.
6. Маховикова О.И., Минич И.Б., Силантьева А.Д., Минич А.С. Влияние метеорологических условий на жизнедеятельность рассады капусты сорта «Надежда» при выращивании под светокорректирующими пленками // Материалы V общероссийской межвузовской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование», Томск, 23-26 апреля 2001 г., Томск: ТГПУ, 2003. -Т.1., сер. ест. и точн. науки. -С. 297-301.
7. Силантьева А.Д., Минич И.Б., Маховикова О.И., Попадейкина П.А., Минич А.С. Жизнедеятельность рассады капусты сортов «Надежда» и «Точка» под светокорректирующими пленками, выпускаемыми предприятиями Западной Сибири // Материалы V общероссийской межвузовской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых

- «Наука и образование», Томск, 23-26 апреля 2001 г., Томск: ТГПУ, 2003. - Т.1., сер. ест. и точн. науки. -С. 336-339.
8. Минич А.С., Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Райда В.С., Толстикова Г.А. Влияние метеорологических условий на эффективность использования светокорректирующих пленок для ограждения закрытого грунта при выращивании растений в условиях региона г. Томска // Вестник Томского гос. пед. ун-та, Томск: ТГПУ, 2003. -№4, вып. 4(36), сер. естеств. и точн. науки. -С. 39-44.
  9. Минич А.С., Минич И.Б., Райда В.С., Карначук Р.А., Толстикова Г.А. Биологическое тестирование светокорректирующих пленок в условиях закрытого грунта при выращивании белокочанной капусты // Сельскохозяйств. биол., 2003. -№3. -с. 112-115.
  10. Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С. Фотоморфогенез *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа и мутанта *hy4* при выращивании под фотокорректирующей пленкой с люминесцентным излучением в области 617 нм // Сборник материалов межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь Сибири науке России», Красноярск, 18 мая 2004 г., Красноярск: 2004. - С.70-72.
  11. Карначук Р.А., Головацкая И.Ф., Минич И.Б., Минич А.С. Морфогенез и фитогормоны *Arabidopsis thaliana* при адаптации к селективному свету // Тезисы докладов международной конференции «Проблемы физиологии Севера»: годовое собрание общества физиологов России, Петрозаводск, 15-18 июня 2004 г., Петрозаводск: 2004. - С. 85.
  12. Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Дудко А.Н., Казина Е.В. Жизнедеятельность *Arabidopsis* мутанта *hy4* при выращивании под фотокорректирующей пленкой с люминесцентным излучением в области 617 нм // Материалы VIII всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Наука и образование», Томск, 19-23 апреля 2004 г., Томск: ТГПУ, 2004. -С. 37-43.
  13. Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Казина Е.В., Дудко А.Н. Рост и развитие проростков *hy3* под фотокорректирующей пленкой с люминесцентным излучением 617 нм // Материалы VIII всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Наука и образование», Томск, 19-23 апреля 2004 г., Томск: ТГПУ, 2004. - С. 33-36.
  14. Карначук Р.А., Минич И.Б., Ефимова М.В., Головацкая И.Ф. Роль селективного света в продукционном процессе растений // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы рационального использования растительных ресурсов», сентябрь 2004 г., Владикавказ: 2004. –С. 263-264.
  15. Зеленьчукова Н.С., Минич И.Б. Фотоморфогенез и гормональный баланс *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа, мутанта *hy3* и *hy4* при адаптации к низкоэнергетическому красному люминесцентному излучению // Материалы VIII международной научной школы-

конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий», 27-29 ноября 2004 г., Абакан: 2004. -С. 58.