

На правах рукописи



ШАЙТАРОВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА

**МОРФОГЕНЕЗ, ГОРМОНАЛЬНЫЙ БАЛАНС И ПРОДУКТИВНОСТЬ
РАСТЕНИЙ ПРИ АДАПТАЦИИ К УФ-А ИЗЛУЧЕНИЮ**

03.01.05 – Физиология и биохимия растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в лаборатории агроэкологии (аккредитация РОСС. RU 0001.516054) кафедры ботаники Томского государственного педагогического университета (ТГПУ), в лаборатории «Полимерные материалы для фотобиологии» кафедры органической химии ТГПУ и на агробиологической станции ТГПУ

Научный руководитель: кандидат химических наук, доцент
Минич Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Карначук Раиса Александровна

кандидат биологических наук
Шихов Валентин Николаевич

Ведущая организация: Институт биологии УНЦ РАН

Защита диссертации состоится «28» октября 2011 года в 13 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.15 при Сибирском федеральном университете

По адресу: Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, ауд. Р8-06

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Сибирского федерального университета

Автореферат разослан «__» сентября 2011 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.б.н, доцент



Н.А. Гаевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Солнечный свет для растений служит регулятором всех сторон жизнедеятельности и источником энергии для фотосинтеза (Воскресенская, 1975; Карначук и др., 1987; Stapleton, 1992; Jackson, 1995; Franklin, 2004). Падающая на растение солнечная радиация в зависимости от астрономических, географических, климатических, суточных и метеорологических факторов имеет различную интенсивность, направление, продолжительность и спектральный состав (Клешнин, 1955; Шульгин, 1973). Такие различия свойств световых сигналов являются для растений индикаторами состояния окружающей среды, полученную информацию они используют для адаптации и развития (Kasahara et al., 2002; Franklin, 2004; Franklin, Whitelam, 2005; Thomas, 2006; Devlin et al., 2007; Roden, Ingle, 2009).

Наряду с ФАР важнейшим компонентом солнечной радиации, влияющим на жизнедеятельность растений, является УФ-А излучение (Шульгин, 1973), так как его поглощение различными частями растений достигает значительной величины (Дубров, 1963; Тооминг, 1977; Соловченко, 2009). Обладая самой высокой проникающей способностью из всей УФ радиации (Middleton, Teramura, 1993), УФ-А свет может существенно влиять на морфогенез и продуктивность растений, особенно при его совместном действии с ФАР (Дубров, 1963; Whitelam, Devlin, 1998; Christie, Briggs, 2001; Данильченко и др., 2002; Borevitz, 2002; Соловченко, 2009). Изменение интенсивности и соотношения ФАР и УФ-А радиации в солнечном излучении имеет колебательный характер, определяется временем года и суток, географической широтой и состоянием атмосферы. Кроме того, в некоторых регионах, в том числе в Западной Сибири, отмечается уменьшение поступающей ФАР и увеличение доли УФ-А света в солнечном излучении (Житорчук и др., 1994; Байков, 1998; Коваленко, Молодых, 1999). Вследствие этого, актуальным является изучение совместного влияния УФ-А излучения и белого света (БС) при их различных соотношениях в световом потоке на морфогенез, продуктивность, изменение уровня ростовых веществ, аскорбиновой кислоты (АК) и фотосинтетических пигментов (ФСП) растений.

Цель и задачи исследования. Целью работы явилось определение роли УФ-А излучения различной интенсивности в регуляции морфогенеза, гормонального баланса и продуктивности растений.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить морфогенез, динамику накопления эндогенных фитогормонов, продуктивность, уровень аскорбиновой кислоты и фотосинтетических пигментов на примере модельного объекта *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и его мутанта *hy4* при выращивании на белом свете.
2. Установить особенности жизнедеятельности *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и *hy4* при дополнительном облучении УФ-А светом различной интенсивности.
3. Определить эффективность применения в практике защищенного грунта в качестве покрытий культивационных сооружений полиэтиленовых пленок, уменьшающих интенсивность УФ-А света в солнечном излучении, с целью управления продукционным процессом.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. УФ-А излучение с интенсивностью 0,35 и 0,70 Вт/м² в составе БС с интенсивностью 63 Вт/м²

удлиняет этапы онтогенеза *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и *hy4*, изменяя баланс эндогенных фитогормонов, уменьшает семенную продуктивность, изменяет уровень аскорбиновой кислоты и фотосинтетических пигментов. Ингибирующее влияние УФ-А радиации на рост и развитие растений увеличивается с повышением ее интенсивности в световом потоке.

Применение в качестве покрытий для защищенного грунта полиэтиленовых пленок, уменьшающих интенсивность УФ-А света в солнечном излучении за счет введения в их состав модификаторов на основе комплекса нитрата лантана с 1,10-фенантролином, или комплекса нитрата европия с 1,10-фенантролином или фосфат-ванадата иттрия, активированного европием, способствует повышению продуктивности растений.

Научная новизна работы. Полученные результаты вносят вклад в развитие представлений о фоторегуляции морфогенеза и продуктивности растений УФ-А излучением при его различных соотношениях с БС.

Показано, что УФ-А радиация влияет на морфогенез *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и *hy4*, ингибируя ростовые реакции, удлиняя онтогенез и уменьшая продуктивность растений за счет изменения соотношения ростовых веществ, уровня аскорбиновой кислоты и фотосинтетических пигментов. Повышение интенсивности УФ-А излучения в световом потоке усиливает его ингибирующее влияние на рост и развитие растений.

Выявлено участие криптохрома в регуляции морфогенеза *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. при УФ-А облучении.

Использование покровного материала, уменьшающего интенсивность УФ-А света в солнечном излучении, увеличивает продуктивность растений в защищенном грунте.

Научно-практическая значимость работы. Показана возможность повышения продуктивности растений в защищенном грунте за счет применения в качестве покрытий культивационных сооружений полиэтиленовых пленок, уменьшающих интенсивность УФ-А света в солнечном излучении за счет введения в их состав модификаторов на основе комплекса нитрата лантана с 1,10-фенантролином, или комплекса нитрата европия с 1,10-фенантролином или фосфат-ванадата иттрия, активированного европием, что используется в фермерском хозяйстве на территории г. Томска.

Полученные результаты используются в учебном процессе ГОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет» (ТГПУ) при чтении курсов «Физиология растений» и «Биологические основы сельского хозяйства».

Личный вклад соискателя состоит в постановке и проведении экспериментальных исследований, в интерпретации и статистической обработке полученных результатов.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа проведена в ходе выполнения Договора между ГОУ ВПО «ТГПУ» и ООО «Томскнефтехим» № 93-781-07 от 19 июля 2007 года «Исследование фотофизических свойств и проведение биологических испытаний фотофлуоресцентных пленок ПЭВД для сельского хозяйства» (гос. регистр. № 01200005038) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы шифр «2009-1.1-152-067» по теме «Биогеохимические процессы

формирования углеродного баланса и образования парниковых газов в болотах Сибири».

Апробация работы. Материалы настоящей работы были доложены на XI Международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий», г. Абакан, 2007; Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов», г. Ярославль, 2007; Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России», г. Пенза, 2008; Международной научной конференции «Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений» г. Екатеринбург, 2008; XIII Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий», г. Новосибирск, 2008; XII (XIII, XIV) Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование», г. Томск, 2008 (2009, 2010); Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов», г. Минск, 2009; Международной научной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера» г. Апатиты, Мурманская область, 2009.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных списком ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, обзор литературы, главу, посвященную объектам и методам исследования, две главы экспериментальных результатов и их обсуждения, выводов и списка использованной литературы (414 наименований, в том числе 292 иностранных источников). Работа изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 50 рисунков, 13 таблиц.

ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА МОРФОГЕНЕЗ РАСТЕНИЙ

Первая глава состоит из пяти разделов. В первом разделе описан фотоморфогенез растений и его особенности. Во втором и третьем разделах представлены данные о влиянии УФ излучения на растительные организмы, морфофизиологические и биохимические эффекты, вызываемые УФ излучением, а также механизмы репараций повреждений. Четвертый раздел посвящен описанию современного состояния изученности влияния на морфогенез растений ключевых эндогенных фитогормонов. В пятом разделе представлены данные о роли АК в онтогенезе растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Для исследований в светокультуре использовали *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. исходной линии экотипа *Landsberg erecta* (Ler) (Koornneef et al., 1980; Boccalandro, Mazza, 2001) и его мутант *hy4*, являющийся дефектным по структуре *CRY1* и проявляющий пониженную чувствительность к продолжительному облучению синим светом (СС) и УФ-А при фотоморфогенезе проростков (Ahmad, Cashmore, 1993; Vagnall et al., 1996; Головацкая и др., 2001; Карначук и др., 2002; Lin, 2002).

Для исследований в защищенном грунте были выбраны огурец посевной (*Cucumis sativus* L.) партенокарпический гибрид F₁ Примадонна, капуста

белокочанная (*Brassica oleracea* L.) среднеспелого сорта Надежда, салат посевной (*Lactuca sativa* L.) сорта Московский парниковый.

Методы исследований. Условия выращивания растений. Для выращивания растений в светокультуре и в защищенном грунте использовали почвенную смесь, состоящую из равных количеств перегноя, чернозема и торфа. Семена *Arabidopsis* высевали в предварительно дренированные ёмкости с грунтом и проращивали в трех различных световых условиях. Полив производили капиллярным способом. Растения выращивали с фотопериодом 16 часов до окончания вегетации на БС от люминесцентных ламп L 37 W/77 «Fluora» (Osram, Германия) с интенсивностью светового потока 63 Вт/м² и на комбинированном свете (КМС), состоящем из БС (63 Вт/м²) и различной интенсивности УФ-А излучения от люминесцентных ламп TLD 36 W/08 «Black Light» (Philips, Нидерланды). На КМС-1 интенсивность светового потока УФ-А излучения составляла 0,35 Вт/м² (соотношение интенсивностей потока БС и УФ-А света 180:1), на КМС-2 – 0,70 Вт/м² (90:1). Интенсивность светового потока была выровнена по падающим квантам с помощью спектрометра AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды).

Исследования в защищенном грунте проводили на агробиологической станции ТГПУ и в крестьянском (фермерском) хозяйстве М.П. Борзунова (г. Томск). Растения выращивали из семян: *Brassica oleracea* и *Lactuca sativa* – в период мая, *Cucumis sativus* L. – с 30 мая по сентябрь в сооружениях защищенного грунта, покрывая их немодифицированной (контроль) и модифицированными (опыт) пленками (табл. 1).

Таблица 1 – Фотофизические свойства полиэтиленовых пленок, используемых для исследований в защищенном грунте (Райда и др., 2003)

Характеристика пленок	Типы пленок			
	контроль	ЛА	ФЕ	ФВИ
Тип модификатора в пленке	нет	La(NO ₃) ₃ x2Ph	Eu(NO ₃) ₃ x2Ph	Y(PV)O ₄ :Eu
Содержание модификатора в пленке, % масс.	0,00	0,05	0,05	0,20
Основной максимум в спектре люминесценции, нм	---	---	615	619
Относительная интенсивность люминесценции, %	---	---	74,5	18,8
Пропускание ФАР, %	78,6	77,5	77,5	78,2
Рассеивание, %	12,0	12,8	12,8	---
Интенсивность УФ излучения, поглощенного добавкой, %	0,0	1,0	1,0	1,0

Методы морфологических и биохимических исследований. Измерение ростовых параметров растений *Brassica oleracea* проводили в возрасте 30 суток, *Cucumis sativus* и *Lactuca sativa* – каждые десятые сутки, *Arabidopsis* – в возрасте 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 и 56 суток, что соответствовало различным возрастным периодам растений, фенологические наблюдения проводили каждый день. Длину гипокотыля, длину и ширину семядольных листьев *Arabidopsis* измеряли под бинокулярным микроскопом «Альтами» (увеличение 8,75^x). Длину стебля и побегов сельскохозяйственных культур измеряли от основания до его верхушки, длину цветоносных побегов *Arabidopsis* измеряли от основания до верхушки

соцветия. Высоту розетки листьев измеряли от корневой шейки растений до вершины самого длинного настоящего листа. Площадь поверхности листьев растений высчитывали бумажно-весовым методом. Сырую массу и массу сухого вещества растений определяли на аналитических весах с точностью 0,1 мг. Для определения массы сухого вещества растения высушивали до постоянного веса при температуре 103-105 °С. Число листьев, бутонов, цветков, стручков, семян в стручке (для *Arabidopsis*), завязей и плодов (для *Cucumis sativus*) проводили арифметическим счетом. На конец вегетации реальную семенную продуктивность растений *Arabidopsis* определяли подсчетом всех созревших семян, урожайность *Cucumis sativus* – подсчетом и измерением веса всех снятых плодов.

Определение содержания хлорофиллов и каротиноидов проводили на спектрометрах AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды), СФ-26 (Россия) и КФК-3 (Россия) в 100%-ных ацетоновых экстрактах растительного материала, рассчитывая по формулам Хольма (Шлык, 1971).

Выделение и определение содержания АК проводили по методике (Ермаков, 1972).

Выделение эндогенных гормонов проводили из навески сырого растительного материала, который фиксировали жидким азотом и экстрагировали 80%-ным этиловым спиртом по (Головацкая, Карначук, 1999). Для выделения свободных ИУК и АБК экстракт упаривали до водного остатка и экстрагировали диэтиловым эфиром при pH=3,0 по (Кефели и др., 1973). Разделение свободных ИУК и АБК проводили с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках Silufol UV-254 (Kavalier, Чехия) в системе растворителей: диэтиловый эфир – хлороформ – уксусная кислота (100:100:1, по объему). Для идентификации веществ на хроматограмме использовали стандартные образцы ИУК и АБК (Sigma-Aldrich, США). Содержание и активность эндогенных ИУК и АБК в растениях определяли биотестированием по степени удлинения отрезков coleoptилей проростков *Triticum vulgare* L. сорта Новосибирская-29 относительно контроля на 2%-ном растворе сахарозы (Головацкая, Карначук, 1999).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью специализированного пакета «Statistic for Windows» (программа «Excel»). Оценку достоверности результатов исследований проводили при 95 %-ом уровне надежности. В таблицах и на рисунках приведены средние арифметические значения с двухсторонним доверительным интервалом для *Arabidopsis* из 3-5 независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 3 биологических повторностях минимум на 30 растениях, для сельскохозяйственных культур – трехлетних исследований.

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОГЕНЕЗА, ГОРМОНАЛЬНОГО БАЛАНСА И СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ *ARABIDOPSIS THALIANA* Ler и *hy4* ПРИ ОБЛУЧЕНИИ БС И УФ-А СВЕТОМ

Рост и развитие Arabidopsis на БС

На БС с момента появления всходов до начала формирования стручков у мутанта *hy4* отметили переход в следующую фазу развития на 1-2-е суток позже, чем у *Arabidopsis* Ler. Более поздний переход растений *hy4* в генеративную фазу развития и нахождение в ней на 3-е суток дольше по сравнению с растениями дикого типа привело к удлинению срока вегетации мутантной линии на 12 суток –

жизненный цикл растений *Ler* составил 54 суток, а мутанта *hy4* – 66 суток.

Интенсивный рост главного цветonoсного побега у обеих линий наблюдали в период с 21-х по 42-е сутки (рис. 1).

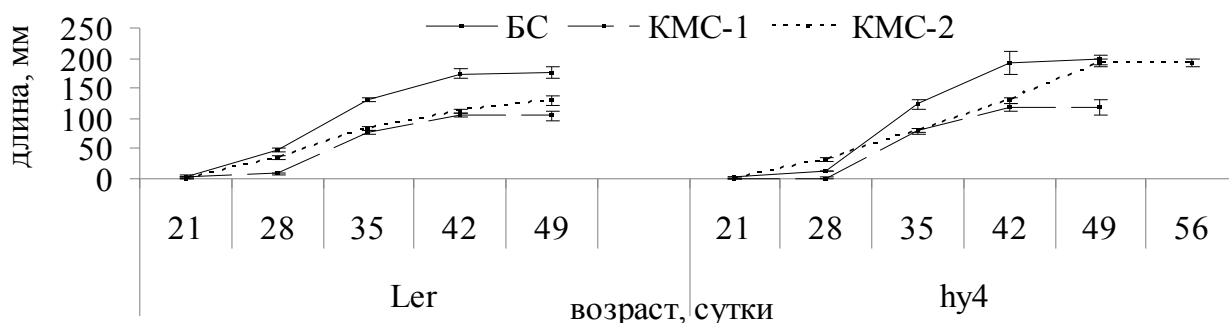


Рисунок 1 – Динамика длины главного цветonoсного побега *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Увеличение площади ассимилирующей поверхности растений *Ler* наблюдали до 35-и суток, а *hy4* – до 42-х суток (рис. 2), которое происходило как за счет увеличения числа, так и роста листовых пластинок. Далее в связи с естественными процессами старения растений наблюдали опадение листьев и уменьшение ассимилирующей поверхности растений обеих линий.

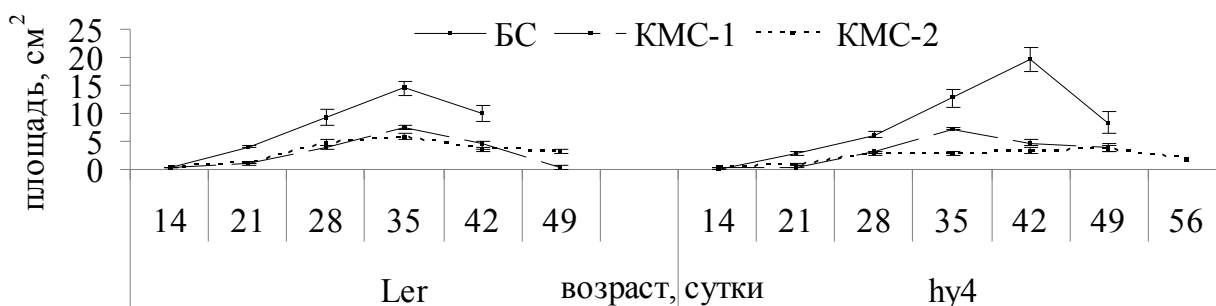


Рисунок 2 – Динамика площади поверхности розеточных листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Различия в росте и развитии *Ler* и *hy4* на БС отразились на формировании генеративных органов и реальной семенной продуктивности растений обеих линий. Максимальное число бутонов у растений дикого типа отметили на 35-е сутки, а у мутанта – на 42-е сутки (рис. 3).

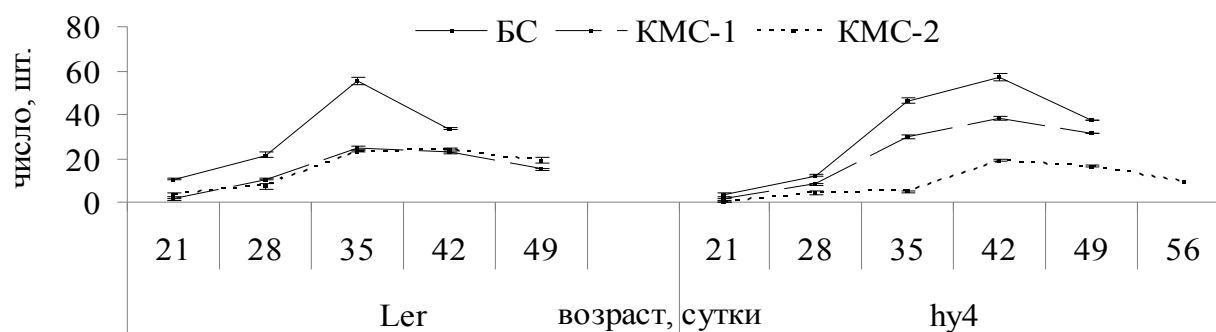


Рисунок 3 – Динамика число бутонов *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Однако значительных отличий в количестве бутонов растений обеих линий на БС не наблюдали, что, возможно, объясняется компенсаторной ролью

фитохромов в данном процессе (Talbot et al., 2002, 2003). Максимум образования стручков у *Ler* отметили на 42-е, у *hy4* – на 49-е сутки (рис. 4).

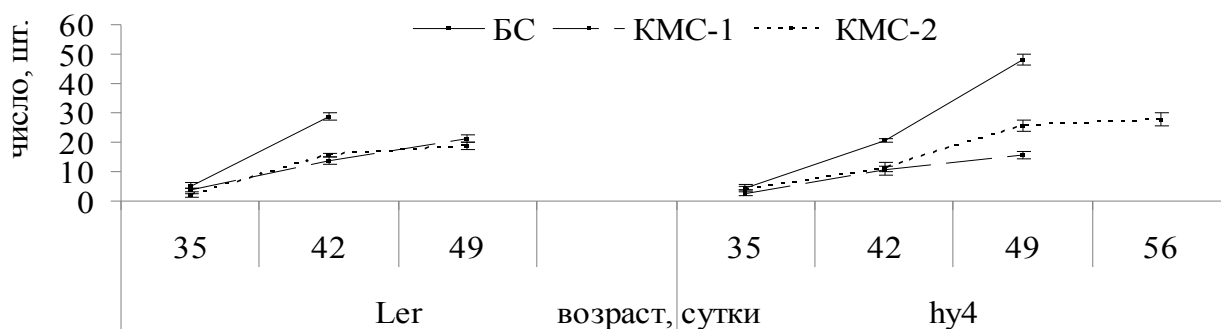


Рисунок 4 – Динамика количества стручков *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

На конец онтогенеза реальная семенная продуктивность растений *Ler* на БС составила в среднем 1129 семян с растения, причем в среднем на одном растении формируется 29 стручков, в каждом из которых находится 39 семян (рис. 5).

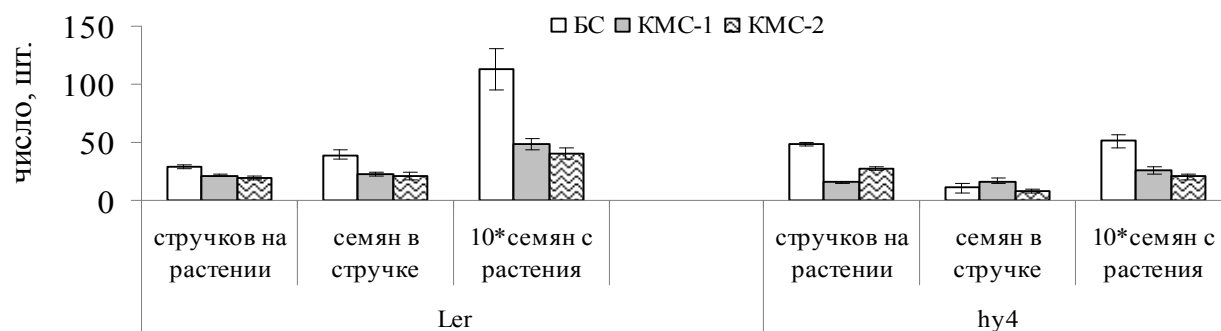


Рисунок 5 – Реальная семенная продуктивность *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в конце онтогенеза в зависимости от условий освещения

На одном растении *hy4* формируется около 48 стручков (в 1,7 раза больше, чем у растений *Ler*), однако число семян в стручке мутанта в среднем составило 11 штук, что в 3,5 раза меньше, чем у растений *Ler* (рис. 5). Таким образом, реальная семенная продуктивность растений *hy4* на БС составила в среднем 511 семян с растения, что в 2 раза меньше, чем у растений *Ler*. Это, вероятно, связано с его дефектом по структуре *CRY1*.

Такое развитие *Arabidopsis* на БС сопряжено с изменением уровня эндогенных фитогормонов. У *Ler* наблюдали положительную динамику накопления ростовых веществ, причем уровень ИУК был выше, чем уровень АБК, что способствовало активному формированию биомассы и репродуктивных органов растений дикого типа. У мутанта отметили увеличение только ИУК, что связано с его морфогенетическими особенностями (табл. 2).

При выращивании растений на БС максимальный уровень хлорофилла *a* (Хл *a*) в листьях *Ler* наблюдали на 21-е сутки, а в листьях *hy4* – на 28-е сутки, т.е. в период интенсивного роста и развития розеточных листьев каждой линии (рис. 6).

Таблица 2 – Содержание эндогенных ИУК и АБК в *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Вариант освещения растений	Возраст растений, сутки	Содержание гормонов, нг/г сырой массы			
		Свободная ИУК		Свободная АБК	
		<i>Ler</i>	<i>hy4</i>	<i>Ler</i>	<i>hy4</i>
БС	21	5.3 ± 0.5	следы	6.5 ± 0.4	7.1 ± 0.4
	28	23.4 ± 0.7	79.6 ± 1.9	следы	6.2 ± 0.5
	35	116.8 ± 2.6	29.2 ± 1.5	26.4 ± 1.4	следы
КМС-1	21	5.8 ± 0.3	2.0 ± 0.3	5.3 ± 0.5	5.3 ± 0.2
	28	1.2 ± 0.1	0.6 ± 0.1	8.8 ± 0.9	7.9 ± 0.6
	35	29.2 ± 1.3	следы	44.1 ± 2.1	66.1 ± 2.6
КМС-2	21	3.5 ± 0.6	40.9 ± 2.0	7.9 ± 0.3	7.9 ± 0.4
	28	4.4 ± 0.3	0.6 ± 0.1	13.5 ± 1.3	следы
	35	1.2 ± 0.1	следы	33.5 ± 2.6	176.2 ± 22.9

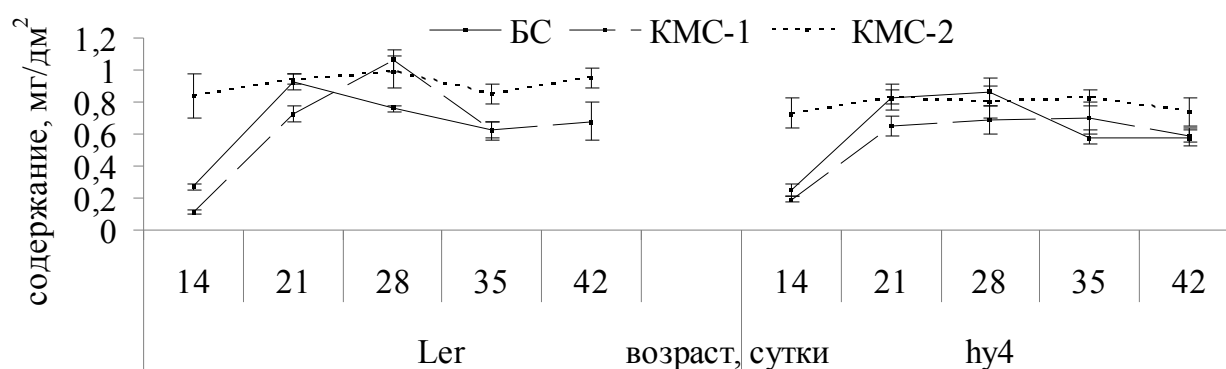


Рисунок 6 – Динамика содержания хлорофилла *a* в розеточных листьях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Концентрация хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар) у растений *Ler* и *hy4* на всем протяжении вегетационного периода менялась незначительно, максимальное накопление отметили на 21-е сутки (рис. 7, 8), что связано с началом образования репродуктивных органов растений (рис. 3, 4).

Достоверных отличий у обеих линий *Arabidopsis* в уровне накопления АК на БС не установили. Отметили два пика накопления АК в растениях *Ler* и *hy4*. Первый пик пришелся на 21-е сутки (рис. 9) – в период начала образования бутонов и максимального накопления ФСП в листьях растений (рис. 3, 6-8).

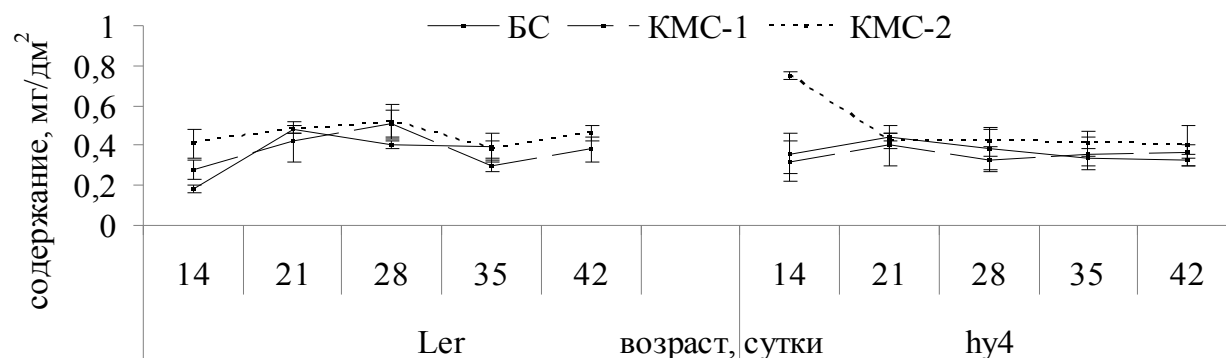


Рисунок 7 – Динамика содержания хлорофилла *b* в розеточных листьях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

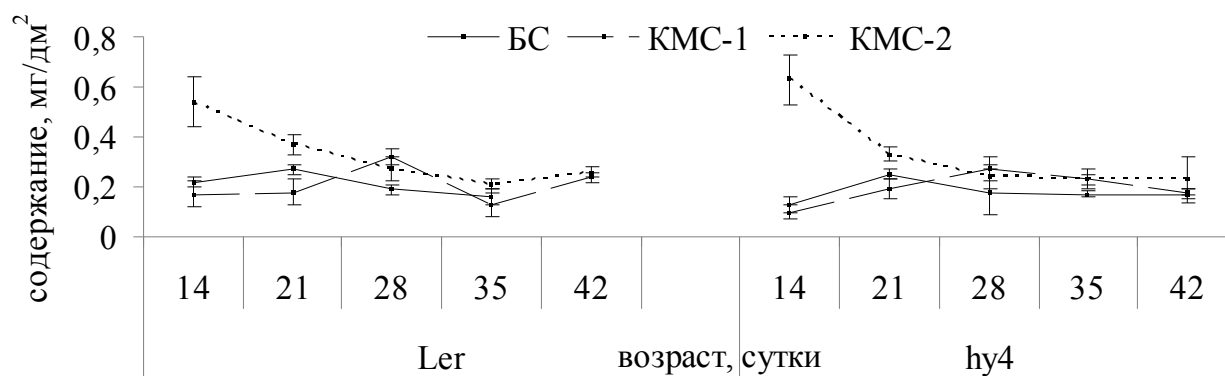


Рисунок 8 – Динамика содержания каротиноидов в розеточных листьях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и hy4 в зависимости от условий освещения

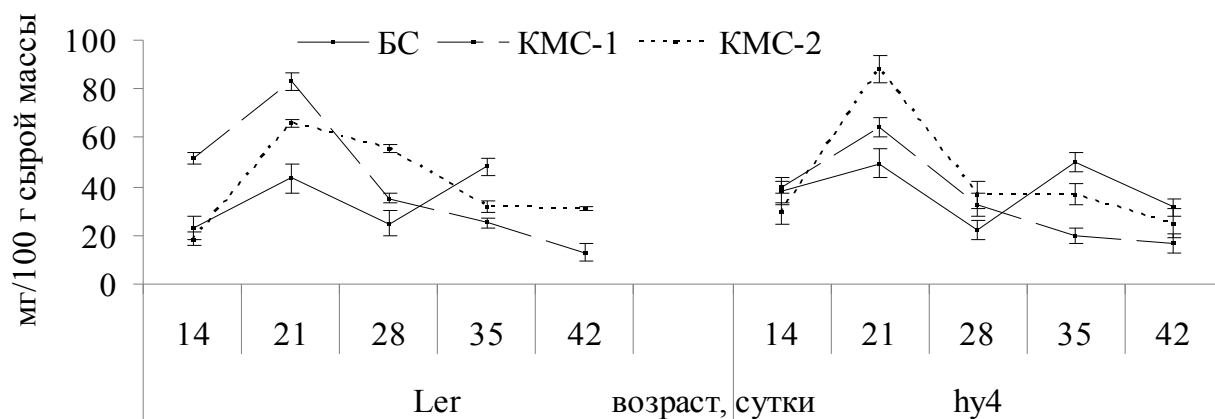


Рисунок 9 – Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ler и hy4 в зависимости от условий освещения

Это указывает на участие АК в процессе формирования фотосинтетического аппарата, что подтверждается литературными данными, в которых отмечается вовлечение АК в биосинтез хлорофилла (Foyer, Harbinson, 1994). Второй пик выявили в момент массового цветения (35-е сутки) (рис. 9), что указывает на участие АК в контроле процесса перехода растений в фазу цветения и подтверждается литературными данными (Conklin et al., 1997, 2000; Barty et al., 2006; Kotchoni et al., 2009).

Таким образом, динамика роста и развития *Arabidopsis* Ler и hy4 на БС является схожей, но отличается замедлением ростовых процессов у мутанта hy4. Это проявляется в более длительном прохождении растений hy4 каждой фазы развития, начиная от прорастания семян до гибели растения. Такие различия в онтогенезе у растений мутанта в отличие от дикого типа связаны с дефектом по структуре *CRY1* (Ahmad, Cashmore, 1993), отсутствие которого приводит к задержкам в развитии растений (Bagnall et al., 1996; Головацкая и др., 2001; Карначук и др., 2002; Lin C, 2002). Рост и развитие растений обеих линий сопряжены с изменением накопления ростовых веществ, АК и ФСП.

Рост и развитие растений *Arabidopsis* на БС с дополнительной экспозицией УФ-А излучения при соотношении интенсивностей светового потока 180:1

С момента появления всходов на КМС-1 отметили ингибирующее действие УФ-А излучения на процессы роста и развития растений, что проявилось в более

позднем появлении всходов по сравнению с БС: у *Ler* – на 2-е суток, у *hy4* – на 1-и сутки. Это привело к изменению динамики развития и к удлинению сроков вегетации растений обеих линий на 3-е суток.

Ингибирование процессов жизнедеятельности растений *Ler* и *hy4* в ответ на УФ-А лучи выразилось в торможении роста главного цветonoсного побега (рис. 1) и ассимилирующей поверхности растений, относительно БС (рис. 2). Отметим, что, по сравнению с БС, на КМС-1 площадь поверхности листьев растений была меньше у *Ler* – в 2 раза, у *hy4* – в 2,7 раза.

На КМС-1 отметили схожую динамику развития *hy4*, дефектного по структуре *CRY1*, с динамикой развития *Ler* (рис. 1, 2), что указывает на вовлечение криптохрома 2 в процесс адаптации растений к УФ-А облучению с интенсивностью 0,35 Вт/м². Такое заключение подтверждают литературные данные, в которых показано, что при понижении интенсивности синего и УФ-А света в восприятии светового сигнала принимает участие криптохром 2 (Lin, 2002; Hoang et al., 2008).

В ответ на УФ-А лучи наблюдали ингибирование образования и развития бутонов, что привело к уменьшению, по сравнению с БС, числа стручков у растений *Ler* в 2,1 раза, у *hy4* – в 3 раза (рис. 4). Это привело к снижению в 2,3 раза у *Ler* и в 2 раза у *hy4* реальной семенной продуктивности, по сравнению с растениями на БС (рис. 5).

Динамика изменения ростовых процессов растений *Ler* и *hy4*, на КМС-1, так же как на БС сопряжена с динамикой накопления эндогенных фитогормонов (табл. 2). Отметим увеличение уровня АБК по отношению к уровню ИУК, что опосредованно проявляется в торможении роста и развития растений в ответ на УФ облучение.

На КМС-1 у растений *Ler* наблюдали изменения уровня ФСП по сравнению с БС (рис. 6-8). В возрасте 14-и суток отметили минимальный уровень Хл *a* и Кар, но максимальное содержание Хл *b* (на 55 % больше, чем на БС). Уменьшение уровня Кар, возможно, объясняется их ролью в защите хлорофиллов от фотоокисления под действием УФ света (Terao, 1989; Conn et al., 1991; Edge et al., 1997; Koyama, 1991; Frank et al., 1999; Дымова, 2007).

Динамика накопления ФСП растений *hy4* на КМС-1 была схожей с динамикой их накопления на БС. Достоверные отличия в содержании отметили только для Хл *a* на 21-е и 28-е сутки – наблюдали уменьшение его уровня на 28 % и на 25 % соответственно (рис. 6-8).

Эти процессы привели к изменению соотношения Хл *a/b* и Хл (*a+b*)/Кар у растений обеих линий, причем у *Ler* происходит увеличение, а у *hy4* – уменьшение соотношения пигментов на КМС-1 по сравнению с БС. Это может говорить о наличии у растений адаптивных изменений в содержании светособирающего белкового комплекса, влияющего на развитие хлоропластов и приводящее к изменениям в составе и строении Хл *a/b*- белкового комплекса (Ебрахим, 2005). Уменьшение соотношения Хл *a/b* и Хл (*a+b*)/Кар у растений *hy4* по сравнению с растениями *Ler* на КМС-1 связано с его дефектом по структуре *CRY1*.

Максимум содержания АК в листьях растений на КМС-1, как и на БС, наблюдали на 21 сутки (начало бутонизации). Однако количество АК у опытных растений *Ler* отметили в 1,9 раза, а у *hy4* – в 1,3 раза больше по сравнению с БС

(рис. 9). Активный синтез АК является ответной защитной реакцией растения на стрессовое воздействие УФ лучей, что подтверждается литературными данными (Чупахина, 1997; Arrigoni, De Tullio, 2002; Conkli, Barth, 2004; Puppo et al., 2005; Noctor, 2006; Tenhaken, 2009). Кроме того, повышенный уровень АК на КМС-1 сопряжен с ингибированием ростовых реакций растений *Ler* и *hy4*, что связано с участием АК в биохимических превращениях, лежащих в основе роста (Чупахина, 1997).

Таким образом, показано, что световая адаптация растений обеих линий *Arabidopsis* к УФ-А облучению с интенсивностью светового потока 0,35 Вт/м² (при соотношении интенсивностей БС и УФ-А 180:1) проявляется уже на начальном этапе онтогенеза через увеличение соотношения АБК/ИУК, накопление АК и изменение уровня ФСП. Это отражается в ингибировании ростовых реакций, торможении развития репродуктивных органов, удлинении сроков вегетации и уменьшении реальной семенной продуктивности растений. Отсутствие достоверных отличий в динамике роста развития *Ler* и *hy4*, дефектного по структуре *CRY1*, указывает на участие криптохрома 2 в регуляции процессов морфогенеза при действии низких интенсивностей УФ-А света.

Рост и развитие растений Arabidopsis на БС с дополнительной экспозицией УФ-А излучения при соотношении интенсивностей светового потока 90:1

При изучении особенностей морфогенеза растений *Arabidopsis thaliana* на БС с дополнительной экспозицией УФ-А, интенсивность которого составляла 1,1 % от интенсивности БС (КМС-2), отметили на начальных этапах вегетации ингибирующее действие УФ лучей, аналогичное КМС-1. При выращивании растений *Ler* и *hy4* на КМС-2 прорастание наблюдали в те же сроки, что и на КМС-1.

На КМС-2 отметили медленный рост главного цветonoсного побега по сравнению с БС. Однако по сравнению с КМС-1 к 49-м суткам отметили увеличение длины цветonoсного побега (на 30% у *Ler* и на 60% у *hy4*), что связано с продолжением вегетационного периода растений на КМС-2 (рис. 1).

Увеличение интенсивности УФ света с 0,35 до 0,7 Вт/м² привело к отличиям в динамике развития *Ler* и *hy4*, что выразилось в более интенсивном росте главного цветonoсного побега и ассимилирующей поверхности растений *hy4*, являющихся дефектными по структуре *CRY1*. Это указывает на участие криптохрома 1 в восприятии светового сигнала при соотношении БС к УФ-А 90:1, что подтверждается литературными данными об активации работы криптохрома 1 при повышении интенсивности синего и УФ-А света и неспособности криптохрома 2 накапливаться в таких условиях (Ahmad et al., 1998; Lin, 2002; Hoang et al., 2008).

Начиная с 21-х суток, на КМС-2 по сравнению с растениями на БС отметили меньшие размеры листовых пластинок у *Ler* в 2,5 раза и у *hy4* в 1,5 раза. По отношению к КМС-1 достоверных изменений в динамике площади ассимилирующей поверхности растений на КМС-2 не наблюдали (рис. 2).

Динамика формирования и развития бутонов, стручков, а также показатели реальной семенной продуктивности у растений *Ler* на КМС-2 практически не отличалась от КМС-1 (рис 3, 4). Однако отметили на 80% меньшее количество стручков по сравнению с БС, что привело к снижению реальной семенной продуктивности на КМС-2 в 4,1 раза (рис. 5). Изменение семенной

продуктивности происходило как за счет уменьшения количества стручков (в 1,5 раза), так и за счет уменьшения числа семян в стручке (в 1,8 раза) по отношению к БС.

У растений *hy4* на КМС-2 наблюдали формирование в 2 раза большего числа бутонов и в 1,6 раза – стручков, чем на КМС-1 (рис. 3, 4). Кроме того, у мутантной линии образование и развитие стручков на КМС-2 наблюдали в возрасте 56-и суток, что на 7 суток позднее, чем на БС и на КМС-1. Однако это не привело к увеличению числа семян в стручке, количество которых на КМС-2 отметили в 2,3 раза и 1,5 раза меньше по сравнению с КМС-1 и БС соответственно (рис. 5). Это способствовало снижению реальной семенной продуктивности у растений *hy4* на КМС-2 по сравнению с КМС-1 на 22 %, а по сравнению с БС в 2,5 раза. Вероятно, повышение доли УФ-А излучения в световом потоке ингибирует развитие семязачатков в стручках и формирование из них семян, а компенсаторно-адаптационные процессы растения, направленные на увеличение численности репродуктивных органов, мало эффективны.

Динамика накопления эндогенных гормонов *Ler* и *hy4* на КМС-2 схожа с динамикой накопления гормонов на КМС-1, но различается соотношением ИУК/АБК, вследствие повышения уровня АБК и понижения содержания ИУК, что привело к торможению процессов роста и развития растений в ответ на увеличение доли УФ лучей в световом потоке (табл. 2).

Изменения морфометрических параметров и семенной продуктивности растений связаны с уровнем накопления ФСП в листьях растений *Ler* и *hy4*. На КМС-2 происходит в начальный период онтогенеза растений усиленное накопление ФСП – на 14-е сутки отметили их максимальное содержание (рис. 6-8). В отличие от растений, выращенных на КМС-2, такие изменения у *Ler* на КМС-1 были отмечены на 1-ую неделю позже, а у *hy4* на КМС-1 изменений не наблюдали. Следовательно, в ответ на повышение интенсивности УФ-А излучения в световом потоке с $0,35 \text{ Вт/м}^2$ до $0,7 \text{ Вт/м}^2$ (при мощности БС света 63 Вт/м^2) растения *Arabidopsis* уже на ранних этапах развития активируют процессы синтеза и накопления ФСП в листьях, изменяя соотношение Хл *a/b* и Хл (*a+b*)/Кар.

Максимальный уровень АК в листьях растений *Ler* и *hy4*, как и на БС и на КМС-1, наблюдали на 21-е сутки, в период начала бутонизации. При этом у *Ler* на КМС-2 выявили накопление АК на 50 % больше, чем на БС, и на 20 % меньше, чем на КМС-1, а у *hy4* содержание АК было выше, чем на БС и на КМС-1 на 80 % и 35 % соответственно (рис. 9). Содержание АК в листьях растений *hy4* на КМС-2 сопряжено с уровнем ФСП. На момент максимального накопления ФСП в листьях *hy4* на КМС-2 (на 14-е сутки) установили минимальное содержание АК, которое было ниже, чем на БС и на КМС-1 соответственно на 23,5 % и 26,9 % (рис. 6-9). Можно предположить, что уменьшение количества АК на КМС-2 по отношению с КМС-1 и БС на 14-е сутки, связано с расходом ее на синтез Хл, возможно и Кар, в ответ на повышение доли УФ-А излучения в световом потоке, что описывается Чупахиной Г.Н. (Чупахина, 1997).

Таким образом, у растений *Ler* и *hy4* на КМС-2, по сравнению с БС и КМС-1, происходит торможение роста и развития, при этом повышение доли УФ-А лучей в КМС-2 относительно КМС-1 способствует более сильному ингибированию ростовых процессов, которое сопровождается снижением семенной

продуктивности растений обеих линий.

Анализ полученных результатов показывает, что световая адаптация растений к облучению УФ-А светом различной интенсивности совместно с БС проявляется уже на начальном этапе онтогенеза через изменение уровня ростовых веществ и АК. Это отражается в торможении реакций роста и развития растений, что приводит к удлинению сроков вегетации и снижению семенной продуктивности *Arabidopsis*. Понижение семенной продуктивности растений в ответ на УФ-А облучение сопряжено с увеличением соотношения Хл a/b и Хл $(a+b)/\text{Кар}$, что может предполагать наличие адаптивных изменений в содержании светособирающего Хл a/b -белкового комплекса. Кроме того, в условиях КМС-2 облучения на начальных этапах онтогенеза у растений обеих линий происходит активный синтез и накопление пигментов, что может указывать на участие всего фотосинтетического аппарата растений в адаптации к УФ-А облучению. На основании полученных результатов, указывающих на отсутствие адаптивных изменений в соотношении Хл a/b на КМС-1 у *hy4*, и наличии у него дефекта по структуре *CRY1* (Seed and DNA catalog, 1997; <http://Arabidopsis.info>), можно предположить, что в адаптации растений к повышению интенсивности УФ-А излучения участвует также криптохромы.

МОРФОГЕНЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ УФ-А СВЕТА В СОЛНЕЧНОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Изменение морфогенеза и продуктивности Brassica oleracea L. при выращивании под модифицированными пленками в защищенном грунте

Исследования в защищенном грунте под модифицированными пленками ФЕ и ЛА, поглощающими УФ-А излучения, показали, что солнечный свет, прошедший через данные пленки, способствует лучшему росту и развитию растений капусты (рис. 10).

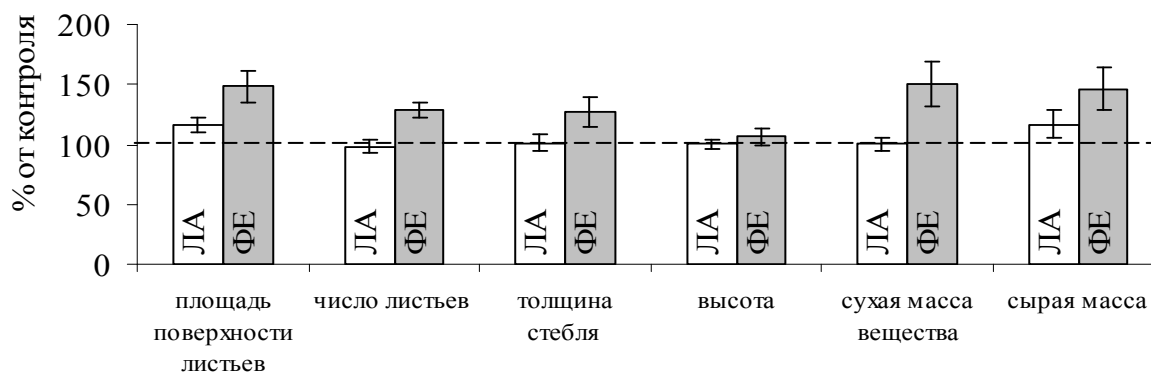


Рисунок 10 – Морфометрические показатели 30-суточной белокочанной капусты сорта Надежда, выращенной в защищенном грунте под пленками ЛА и ФЕ

По отношению к контролю под пленкой ЛА отметили увеличение общей ассимилирующей поверхности и сырой массы растений на 16,2 % и 16,7 %. Такой результат связан с уменьшением на 1 % УФ-А излучения в солнечном спектре пленкой ЛА. Возможно, более интенсивное развитие растений под пленкой ЛА определяется также изменением соотношения падающих на растение прямых и

рассеянных лучей (табл. 1). Известно, что в продуктивности растений защищенного грунта эффективность рассеянных лучей выше, чем направленных (Panagoropoulos et al., 1990; Тихомиров и др., 2000; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2008).

Таким образом, использование в защищенном грунте пленок, поглощающих часть УФ излучения и уменьшающих его долю в световом потоке, является эффективным для повышения продуктивности растений.

Использование флуоресцентной пленки ФЕ, уменьшающей на 1 % УФ излучения за счет поглощения его люминофором в пленке и люминесцирующей в красной области спектра с максимумом 615 нм, приводит к повышению продуктивности капусты на 48 % по отношению к контрольным растениям. Сравнение роста и развития капусты под флуоресцентной пленкой и пленкой ЛА, показывает, что под пленкой ФЕ продуктивность растений в 3 раза выше, чем под пленкой ЛА. Это указывает на то, что на 1/3 увеличение продуктивности растений определяется уменьшением доли УФ-А излучения, а на 2/3 – флуоресцентным излучением пленок. Использование флуоресцентной пленки в практике защищенного грунта является более эффективным по сравнению с пленкой ЛА.

Изменение морфогенеза и продуктивности *Lactuca sativa* L. при выращивании под флуоресцентной пленкой в защищенном грунте

Исследования показали различную величину физиологических ответных реакций растений салата под флуоресцентными и немодифицированной пленками (табл. 3).

Таблица 3 – Морфометрические параметры и содержание ИУК, АБК и АК в листьях 40-суточного *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под немодифицированной (контроль) и флуоресцентными плёнками

Показатели	Виды пленок		
	контроль	ФЕ	ФВИ
Площадь поверхности листьев, см ²	1644,7 ± 88,7	1812,4 ± 142,1	2420,9 ± 462,8
Число листьев, шт	21,8 ± 0,8	24,0 ± 1,3	24,0 ± 2,3
Высота розетки листьев, см	33,4 ± 0,6	26,0 ± 1,8	27,8 ± 1,2
Сырая масса, г	52,2 ± 3,11	62,7 ± 3,9	74,2 ± 14,2
Масса сухого вещества, г	2,3 ± 0,2	2,9 ± 0,2	3,1 ± 0,3
Содержание АК, мг/%	23,4 ± 1,4	22,3 ± 2,7	20,1 ± 2,2
Содержание ИУК, нг/растение	следы	1,17 ± 0,29	11,68 ± 2,12
Содержание АБК, нг/растение	6,17 ± 0,93	0,31 ± 0,07	следы

Под флуоресцентными пленками по сравнению с контролем наблюдали ускоренное образование и рост листовых пластинок, что привело к увеличению ассимилирующей поверхности опытных растений под пленками ФЕ и ФВИ на 10,2 % и 25,3 % соответственно. Изменение габитуса способствовало увеличению сырой массы салата на 20,1 % под пленкой ФЕ и на 42,2 % под пленкой ФВИ относительно контроля и массы сухого вещества на 26,1 % и 34,8 % соответственно.

Анализ результатов исследований показывает, использование в качестве покрытий защищенного грунта пленок, уменьшающих интенсивность УФ-А излучения в световом потоке на 1 %, способствует повышению продуктивности

растений. Дополнительное преобразование пленками, поглощенного УФ-А излучения в красную область спектра с максимумами люминесцентного излучения 615 и 619 нм, приводит к более усиленному росту, развитию и повышению продуктивности растений. Такие пленки могут быть рекомендованы для использования в практике сельского хозяйства в качестве покрытий культивационных сооружений для улучшения жизнедеятельности растений и повышения их продуктивности. Повышение продуктивности *Lactuca sativa* под пленками ФЕ и ФВИ, относительно контроля, сопряжено с изменением уровня ИУК и АБК (табл. 3).

Изменение морфогенеза и продуктивности *Cucumis sativus* L. при выращивании под флуоресцентной пленкой ФВИ в защищенном грунте

В ходе исследований растений огурца не наблюдали отличий в развитии главного побега контрольных и опытных растений. Однако при равномерном его развитии у опытных растений отметили образование большего числа боковых побегов и формирование в 1,3 раза большего количества завязей, по сравнению с контролем (рис. 11).

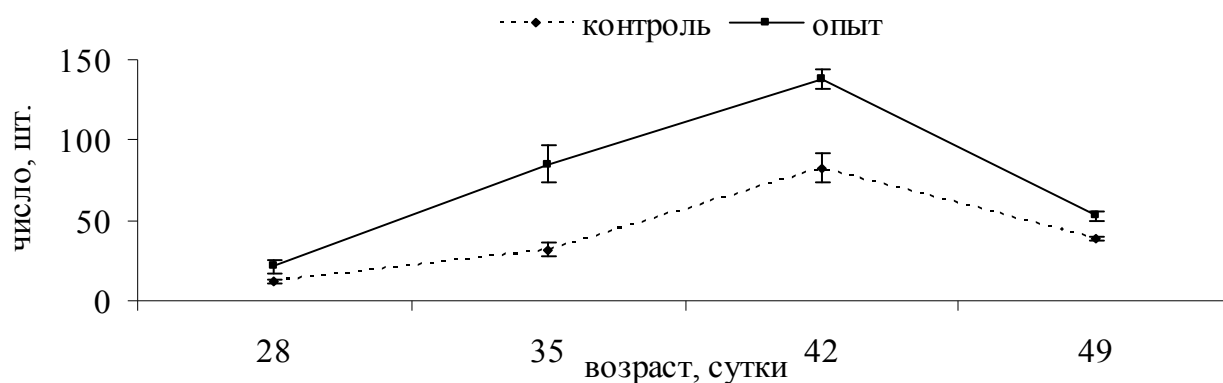


Рисунок 11 – Динамика длины главного побега (а) и количества завязей (б) *Cucumis sativus* гибрида F1 Примадонна под флуоресцентной ФВИ (опыт) и немодифицированной (контроль) полиэтиленовыми пленками

Более интенсивное развитие генеративных органов у опытных растений способствовало повышению урожайности *Cucumis sativus* под флуоресцентной пленкой на 20 % по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность *Cucumis sativus* гибрида F₁ Примадонна, выращенного в защищенном грунте под флуоресцентной (опыт) и немодифицированной (контроль) полиэтиленовыми пленками (посев семян в грунт – 30 мая, среднее значение 3 лет).

Возраст растений на момент сбора урожая, сутки	Урожайность, кг/м ²		Разница в урожайности опытных растений по отношению к контролю, %
	контроль	опыт	
63	4,670 ± 0,132	5,174 ± 0,097	110,8
84	8,934 ± 0,201	10,412 ± 0,198	116,6
105	11,407 ± 0,156	13,526 ± 0,203	118,6
119	---	13,735 ± 0,209	120,4
Итого (суммарная урожайность), кг/м ²	11,407 ± 0,156	13,735 ± 0,209	120,4

При этом содержание АК в опытных растениях по сравнению с контролем на всем протяжении вегетации было выше в листьях – в 1,2-1,4 раза, в плодах – в 1,6-2,9 раз (рис. 12) и не сопровождалось изменениями в уровне ФСП.



Рисунок 12 – Динамика уровня содержания АК в листьях (а) и плодах (б) *Cucumis sativus* гибрида F₁ Примадонна под флуоресцентной ФВИ (опыт) и немодифицированной (контроль) полиэтиленовыми пленками

Таким образом, использование в качестве покрытий сооружений защищенного грунта флуоресцентной пленки ФВИ, поглощающей часть УФ-А излучения и преобразующего его в КС с максимумом в области 619 нм, способствует повышению продуктивности растений *Cucumis sativus*.

ВЫВОДЫ

1. УФ-А излучение с интенсивностью 0,35 и 0,70 Вт/м² в составе БС с интенсивностью 63 Вт/м² ингибирует рост и развитие *Arabidopsis thaliana*, удлиняя сроки вегетации и снижая семенную продуктивность. Показано участие криптохрома в регуляции морфогенеза.
2. Ингибирующее действие УФ-А лучей с интенсивностью 0,35 Вт/м² в составе БС сопряжено с изменением соотношения основных эндогенных гормонов ИУК и АБК в растениях.
3. Увеличение интенсивности УФ-А излучения до 0,7 Вт/м² повышает уровень аскорбиновой кислоты и фотосинтетических пигментов в растениях.
4. Использование в защищенном грунте модифицированной полиэтиленовой пленки, содержащей комплекс нитрата лантана с 1,10-фенантролином и уменьшающей интенсивность УФ-А света в солнечном излучении на 1 %, повышает продуктивность рассады *Brassica oleracea* L. сорта Надежда до 16 % при выращивании в климатических условиях Томского региона.
5. Применение флуоресцентных полиэтиленовых пленок, содержащих комплекс нитрата европия с 1,10-фенантролином и фосфат-ванадат иттрия, активированный европием, генерирующих свет в красной области спектра с максимумами 615 нм и 619 нм за счет поглощения части УФ-А излучения, в защищенном грунте в условиях региона Томска увеличивает урожайность *Cucumis sativus* гибрида F₁ Примадонна до 20 %, продуктивность *Lactuca Sativa* L. сорта Московский парниковый до 25 % и рассады *Brassica oleracea* L. сорта Надежда до 48 %.

**Список статей, опубликованных по теме диссертации
В изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Синтез аскорбиновой кислоты и морфогенез *Arabidopsis thaliana* (L.) при адаптации УФ-А излучению / А. С. Минич, И. Б. Минич, **О. В. Шайтарова**, Н. Л. Пермякова // Вестник Томского гос. пед. ун-та. 2009. Вып. 6 (84). С. 126–131.
2. Использование фотолюминесцентной и гидрофильной пленки для повышения продуктивности огурца посевного в защищенном грунте / А. С. Минич, И. Б. Минич, **О. В. Шайтарова**, Н. Л. Пермякова, В. С. Райда // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1 (2). С. 97–101.
3. Vital activity of *Lactuca sativa* and soil microorganisms under fluorescent films / A. S. Minich, I. B. Minich, **O. V. Shaitarova**, N. L. Permyakova, N. S. Zelenchukova, A. E. Ivanitsky, D. A. Filatov, G. A. Ivlev // Vestnik TGPU. 2011. № 8 (110).

В прочих изданиях

4. **Шайтарова О. В.**, Зеленьчукова Н. С. Изменение морфогенеза и продуктивности растений *Lactuca sativa* L. и *Raphanus sativus* L. и накопления в них аскорбиновой кислоты в защищенном грунте под светокорректирующими пленками // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий, 14–17 ноября 2007. Абакан : Изд-во Хакасского ун-та им. Н.Ф. Катанова, 2007. С. 60.
5. **Шайтарова О. В.**, Зеленьчукова Н. С., Минич И. Б. Фотоморфогенез *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh дикого типа и мутанта *hy4* при адаптации к УФ-А излучению // Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов : материалы Всероссийской научно-практической конференции, 29 ноября 2007. Ярославль : РИО ЯрГУ, 2007. С. 57–62.
6. Минич А. С., Минич И. Б., **Шайтарова О. В.** Защита растений салата от УФ радиации в защищённом грунте и повышения продуктивности за счёт использования светокорректирующих плёнок // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России : сб. статей VI Международной научно-практической конференции, февраль 2008. Пенза : РИО ПГСХА, 2008. С. 299–301.
7. Роль УФ-А излучения низкой интенсивности в морфогенезе и семенной продуктивности *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh Ler, *hy3* и *hy4* / А. С. Минич, И. Б. Минич, **О. В. Шайтарова**, Н. С. Зеленьчукова, Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова // Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений : тезисы докладов Международной научной конференции, 6-10 октября 2008. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2008. С. 284–285.
8. Влияние стратификации на морфогенез и семенную продуктивность *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh Ler, *hy3* и *hy4* / А. С. Минич, И. Б. Минич, **О. В. Шайтарова**, Т. Ю. Севастьянова, С. В. Шкребова // Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений : тезисы докладов Международной научной конференции, 6-10 октября 2008. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2008. С. 286–287.
9. **Шайтарова О. В.**, Пермякова Н. Л., Батракова К. А. Влияние уменьшения доли УФ радиации в световом потоке на морфогенез капусты в защищенном грунте за счёт использования светокорректирующих плёнок // Экология России и сопредельных

территорий : материалы XIII Международной экологической студенческой конференции, 24-26 октября 2008. Новосибирск : РИЦ НГУ, 2008. С. 48–49.

10. Роль синего света низкой интенсивности в морфогенезе растений *Arabidopsis thaliana* / Н. П. Кайдалова, А. С. Сюткина, **О. В. Шайтарова**, К. А. Батракова, Н. Л. Пермякова, И. Б. Минич // Наука и образование : сб. мат-лов XII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 21-25 апреля 2008. Томск : Изд-во ТГПУ, 2008. С. 136–141.

11. Изменения в морфогенезе и синтезе аскорбиновой кислоты *Arabidopsis thaliana* при облучении УФ-А светом низкой интенсивности / **О. В. Шайтарова**, А. С. Минич, И. Б. Минич, Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова, Т. Ю. Севастьянова // Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера : тезисы докладов международной научной конференции, 7-11 июня 2009. Апатиты, Мурманская обл. 2009. С. 233–234.

12. Фотофлуоресцентная пленка нового поколения – эффективный материал для выращивания растений в защищенном грунте / А. С. Минич, И. Б. Минич, **О. В. Шайтарова**, А. Е. Иваницкий, В. С. Райда, И. Г. Климов, Э. А. Майер, Е. Д. Коваль // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы международной научно-практической конференции, 18-20 ноября 2009. Минск : ООО «Мэджик», ИП Вараксин, 2009. Ч. 2. С. 297–299.

13. Ростовые реакции *Arabidopsis thaliana* Ler и *hy4* при адаптации к УФ-А излучению низкой интенсивности / Е. В. Шатова, **О. В. Шайтарова**, Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова, И. Б. Минич // Наука и образование : сб. материалов XIII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 20-24 апреля, 2009. Томск : Изд-во ТГПУ. С. 272–278.

14. Влияние УФ-А излучения низкой интенсивности на морфогенез и синтез аскорбиновой кислоты *Arabidopsis thaliana* / К. А. Батракова, **О. В. Шайтарова**, Н. Л. Пермякова, И. Б. Минич // Наука и образование : сб. материалов XIV Всероссийской с международным участием конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-23 апреля, 2010. Томск : Изд-во ТГПУ. 2010. Т. 1, Ч. 2. С. 35–41.

15. Морфогенез, продуктивность и накопление аскорбиновой кислоты *Cucumis Sativus* гибрида Примадонна F₁ при выращивании под светокорректирующей пленкой / Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова, **О. В. Шайтарова**, О. Г. Таукина // Наука и образование : сб. материалов XIV Всероссийской с международным участием конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-23 апреля, 2010. Томск : Изд-во ТГПУ. 2010. Т. 1, Ч. 2. С. 65–72.