

На правах рукописи

Минич Александр Сергеевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ  
ПЛЕНКАМИ**

Специальность 03.02.08 – Экология (биологические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Томск – 2011

Работа выполнена на кафедрах ботаники и органической химии биолого-химического факультета ФГБОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор  
Карначук Раиса Александровна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Астафурова Татьяна Петровна

доктор биологических наук, ст. науч. сотр.  
Лящинский Николай Николаевич

доктор биологических наук, профессор  
Тараканов Иван Германович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук  
Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Защита состоится « 16 » ноября 2011 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.10 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Национального исследовательского Томского государственного университета.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. биол. наук

Е.Ю. Просекина

## ВВЕДЕНИЕ (ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ)

**Актуальность работы.** Повышение продуктивности растений при адаптации к солнечному излучению для биологической науки является одним из первостепенных вопросов, так как позволяет выявить потенциальные возможности растений и максимизировать урожай (Клешнин, 1955; Розен, 1969; Шульгин, 1970, 1973; Тооминг, 1984; Devlin et al., 2007). В условиях увеличения численности населения, загрязнения окружающей среды и дефицита пищевых ресурсов проблема максимизирования урожая с получением экологически чистых сельскохозяйственных продуктов проявляется особенно остро. Одним из решений данной проблемы является создание эффективных искусственных экосистем, в том числе открытых экосистем защищенного грунта (Шульгин, 1973; Тихомиров и др., 1991), в которых используется солнечная энергия, а неблагоприятные для растений условия внешней среды изменяются за счет модифицирования полимерного покрытия культивационных сооружений (Brown, 2004; Hammama et al., 2007; Dienel et al., 2010).

В практике сельского хозяйства наибольшее применение нашли полиэтиленовые пленки (Никулина и др., 1986; Castro, 1987; Laverde, 2002; Brown, 2004; Espí et al., 2006). Все их модификации, направленные на повышение продуктивности растений в защищенном грунте за счет светового фактора, связаны с изменением светопроницаемости (Zhang et al., 1996; Pieters et al., 2003). Одной из перспективных и мало изученных модификаций является флуоресцентная пленка, поглощающая часть УФ радиации с генерацией ее в узкополосное люминесцентное излучение красной или синей области спектра за счет введенного в ее состав люминофора (Щелоков, 1986; Минич, 1995; Карасев, 1995; Райда, Толстиков, 2001; Brown, 2004; Espí et al., 2006; Binnemans, 2009). Разработчиками для получения флуоресцентных пленок предложено использование выпускаемых в промышленности люминофоров с максимумами длин волн люминесцентного излучения 447, 612, 615, 619, 626 и 630 нм (А.с. 1381128 СССР, 1988; 2182761 РФ, 2002; Патент 2319728 РФ, 2008). Применение таких флуоресцентных пленок в качестве покрытий культивационных сооружений приводит к повышению продуктивности растений, что связано, по утверждению авторов, с воздействием на них люминесцентного излучения (Щелоков, 1986; Карасев, 1995, 2002; Kusnetsov et al., 1989; Zhang et al., 2000; Kosobryukhov et al., 2000; Астафурова и др., 2003; Gonzalez et al., 2003; Райда и др., 2003, 2004; Espí et al., 2006). Однако экспериментальные доказательства этого фрагментативны, что ведет к возникновению многочисленных предположений о механизме влияния солнечного света, прошедшего через флуоресцентные пленки, на рост, развитие и продуктивность растений и не эффективному их применению на практике. Это обусловлено отсутствием комплексной изученности влияния на продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентными пленками их фотофизических свойств, метеоусловий (в первую очередь изменений температурного и радиационного режимов), видовой и сортовой специфики растений, а также физиолого-биохимических закономерностей

изменений морфогенеза и продуктивности сельскохозяйственных растений, относящихся к различным семействам. Получение таких знаний позволит решать вопросы целенаправленного эффективного использования флуоресцентных пленок в практике защищенного грунта с целью максимизирования продуктивности растений, оптимального использования сельскохозяйственных ресурсов и солнечной энергии.

**Цель работы** – выявление закономерностей морфогенеза и продуктивности растений под флуоресцентными пленками в условиях изменяющихся факторов внешней среды и в светокультуре, а также применения их в практике защищенного грунта для управления производственным процессом.

Для достижения цели были определены следующие **задачи**:

1. По результатам многолетних исследований определить влияние температурного и радиационного режимов на продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения 447, 612, 615, 619, 626 и 630 нм.

2. Изучить влияние на продуктивность растений основных показателей светового режима, создаваемых особенностями фотофизических свойств флуоресцентных пленок: поглощения, отражения, рассеивания солнечной радиации, интенсивности и длины волны люминесцентного излучения.

3. Провести комплексное исследование изменений морфометрических, некоторых биохимических параметров растений и аборигенной микрофлоры почвы под флуоресцентными пленками.

4. Определить под флуоресцентными пленками закономерности изменения продуктивности основных растениеводческих культур, используемых в практике сельского хозяйства, их видовую и сортовую специфику.

5. Изучить в светокультуре под флуоресцентными пленками морфогенез *Arabidopsis thaliana*, как модельного объекта с целью установления роли люминесцентного излучения и уменьшения интенсивности УФ-А радиации в световом потоке в регуляции продуктивности растений.

6. Установить эффективность использования в практике защищенного грунта совместного применения флуоресцентных и гидрофильных полиэтиленовых пленок, а также окрашенных флуоресцентных пленок.

**Научная новизна.** Установлено, что повышение продуктивности растений определяется спецификой светового режима, создаваемого флуоресцентными пленками: совокупностью влияния на растения люминесцентного излучения с максимумом длин волн 447, 612, 615, 619 и 626 нм, уменьшения интенсивности УФ радиация в солнечном излучении и изменения соотношения рассеянных и прямых лучей. Показано, что интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентных пленок, зависящая от экспозиции УФ радиации в световом потоке, является определяющей в изменении продуктивности растений. Впервые экспериментально определена минимальная суммарная среднедневная энергетическая экспозиция УФ излучения солнца, составляющая 99-160 Дж/см<sup>2</sup>д (в зависимости от культуры), необходимая для повышения продуктивности растений под флуоресцентными пленками.

Солнечный свет, прошедший через флуоресцентные пленки, повышает продуктивность растений за счет активации ростовых процессов на начальном этапе онтогенеза, интенсивного развития ассимилирующей поверхности и репродуктивных органов, что сопряжено с изменением уровня эндогенных фитогормонов, аскорбиновой кислоты в растениях и аборигенной микрофлоры почвы.

Люминесцентное излучение флуоресцентных пленок регулирует морфогенез и продуктивность растений, влияя на протекание низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений, контролируемое фитохромами и криптохромами.

**Научно-практическая значимость работы.** Показана возможность эффективного применения флуоресцентных пленок, люминесцирующих с максимумами длин волн 447, 612, 615, 619 и 626 нм, в качестве покрытий сооружений защищенного грунта для повышения продуктивности различных сельскохозяйственных культур. Впервые показана эффективность совместного использования в качестве двухслойного покрытия культивационных сооружений флуоресцентной и гидрофильной полиэтиленовых пленок для повышения продуктивности растений в защищенном грунте и не эффективность применения окрашенных флуоресцентных пленок в регионе Западной Сибири. Предложена методика быстрого биологического тестирования флуоресцентных пленок при использовании их в качестве покрытий минимизированных сооружений защищенного грунта, применяя в качестве тестовых культур капусту сорта Надежда, редьку сорта Ладушка и салат сорта Московский парниковый, а в светокультуре – *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. исходной линии (*Ler*) и мутанты *hy3* и *hy4*. Это позволяет решать вопросы создания флуоресцентных пленок, используемых в растениеводстве защищенного грунта, с необходимыми фотофизическими свойствами для управления продукционным процессом растений, что используется ОАО «Полимер» (г. Кемерово), ООО «Томскнефтехим» (г. Томск), фермерским хозяйством М.П. Борзунова (г. Томск) и тепличным хозяйством «Башня Ли» (КНР). Полученные результаты используются в учебном процессе Томского государственного педагогического университета (ТГПУ) при чтении курсов «Общая экология», «Основы сельского хозяйства», «Физиология растений» и «Химия высокомолекулярных соединений», а также включены в учебное пособие «Биологические основы сельского хозяйства» (2009 год, гриф УМО).

**Внедрение результатов исследований** было осуществлено в фермерском хозяйстве М.П. Борзунова (г. Томск), в тепличном хозяйстве «Башня Ли» (г. Лоян, провинция Хэнвей, КНР) и на агробиологической станции ТГПУ при выращивании различных сельскохозяйственных культур.

**Основные положения, выносимые на защиту.** Повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения 447, 612, 615, 619 и 626 нм определяется совокупностью термического и светового фактора, при оптимальном температурном режиме лимитирующим является интенсивность солнечного излучения в областях УФ-А радиации и ФАР.

Величина изменений продуктивности растений связана с поглощением и рассеиванием солнечного света флуоресцентными пленками, определяется интенсивностью и не зависит от длины волны (в диапазоне 612-626 нм, 447 нм) их люминесцентного излучения.

Люминесцентное излучение флуоресцентных пленок регулирует морфогенез и продуктивность растений, влияя на протекание низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений, изменяя уровень эндогенных фитогормонов и аскорбиновой кислоты.

**Личный вклад соискателя.** Выбор и обоснование научной тематики исследований, разработка методов и проведение экспериментальных исследований, анализ, статистическая обработка и интерпретация полученных результатов исследований.

**Связь темы диссертации с научными программами и договорными исследованиями.** Работа выполнена в ходе реализации совместной программы «Полимерные композиционные материалы – избирательные фильтры-преобразователи электромагнитного излучения и их применение в биологических исследованиях, сельском хозяйстве и медицине» в рамках проекта между институтом химии нефти СО РАН (г. Томск), Томским государственным университетом, ТГПУ, ОАО «Томский нефтехимический комбинат», ОАО «Полимер» (г. Кемерово); в рамках интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН «Фотохимия и электронная архитектура комплексных соединений р- и f-элементов – молекулярно-энергетических антенн светорегулирующих материалов»; в ходе выполнения Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы; в ходе выполнения Договора между ТГПУ и ООО «Томскнефтехим» № 93-781-07 от 19.07.2007 «Исследование фотофизических свойств и проведение биологических испытаний фотофлуоресцентных пленок ПЭВД для сельского хозяйства» (гос. регистр. № 01200005038) и в ходе выполнения Договора между ТГПУ и ОАО «Полимер» (г. Кемерово) № 3/00 от 01.04.2000 «Проведение биологических испытаний специальных полимерных пленок для закрытого грунта».

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены на 4-6-м, 8-10-м отраслевом совещании «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК» (Томск, 1990-1992, 1994-1996); Всесоюзном научно-практическом семинаре «Полимеры в овощеводстве и садоводстве» (Нальчик, 1991); Научно-практической конференции «Химия в интересах успешного развития региона» (Иркутск, 1998); Научно-практической конференции «О перспективах научных исследований для обеспечения производства светокорректирующих и теплоудерживающих композиций на ТНХК и производства в г. Северске пленок на их основе и теплиц для энергосберегающих технологий в тепличных производствах Сибири» (Томск, 1998); Международном конгрессе «Наука, образование, культура на рубеже тысячелетий» (Томск, 2000); 5<sup>th</sup> Korea-Russia International Symposium on Science and Technology «Korus-2001» (Tomsk, 2001); IX Международной конференции «Деструкция и стабилизация полимеров» (Москва, 2001); IX joint international symposium «Atmospheric and Ocean Optics,

Atmospheric Physics» (Tomsk, 2002); V Общероссийской конференции «Наука и образование» (Томск, 2003); Международной конференции «Проблемы физиологии растений Севера» (Петрозаводск, 2004); Международной научно-практической конференции «Проблемы рационального использования растительных ресурсов» (Владикавказ, 2004); The 7<sup>th</sup> international conference «Atomic and molecular pulsed lasers» (Tomsk, 2005); Международной научно-практической конференции «Регуляция продукционного процесса сельскохозяйственных растений» (Орёл, 2005); Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов» (Ярославль, 2007); Международной конференции «Современная физиология растений: от молекул до экосистем» (Сыктывкар, 2007); IV Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России» (Пенза, 2008); Международной научной конференции «Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений» (Екатеринбург, 2008); Международной научной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях крайнего Севера (Апатиты, Мурманская обл., 2009); Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов», (Минск, 2009); Международной научно-технической конференции «Люминесцентные процессы в конденсированных средах» (Харьков, 2009); VIII Международном симпозиуме «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» (Москва, 2009), XXIV Съезде по спектроскопии (Троицк, 2010); VI Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии» (Севастополь, 2010); VII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы биологической физики и химии» (Севастополь, 2011).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 59 работ, в том числе 16 статей в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ, получено 3 патента РФ и 1 положительное решение на получение патента РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 8 глав (обзор литературы, описание материалов и методов исследований, 6 глав с изложением результатов исследований и их обсуждением), заключения, выводов, списка цитируемой литературы, включающего 465 источника, в том числе 225 – на иностранных языках). Работа изложена на 325 страницах машинописного текста и иллюстрирована 120 рисунками и 28 таблицами.

## **1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ СВЕТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ПЛЕНОЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

В главе проанализированы основные способы светового регулирования продуктивности растений в защищенном грунте под пленками различных модификаций, состояние изученности проблемы изменения продуктивности

растений под флуоресцентными пленками и основные предположения о механизмах влияния света на жизнедеятельность растений под ними.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Объекты исследований.** В качестве объектов исследований в защищенном грунте были выбраны растения, имеющие сельскохозяйственное значение и выращиваемые в культивационных сооружениях, различных сортов и гибридов. Из семейства Brassicaceae использовали капусту белокочанную (*Brassica oleracea* var. *capitata* (L.) Pers.), краснокочанную (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* (L.)), кольраби (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* (L.) Mill.), цветную (*Brassica oleracea* var. *botrytis* (L.) Mill.), редьку огородную (*Raphanus sativus* L.), редис (*Raphanus sativus* var. *Raticula* L.); из семейства Solanaceae – томат (*Lycopersicon esculentum* Mill.), баклажан (*Solanum melongena* L.), перец овощной (*Capsicum annuum* L.); из семейства Cucurbitaceae – огурец посевной (*Cucumis sativus* L.), тыкву твердокорую (*Cucurbita pepo* L.), кабачок (*Cucurbita pepo* L. var. *Giraumonts* Duns); из семейства Asteraceae – салат посевной (*Lactuca sativa* L.).

В светокультуре в качестве модельного объекта были выбраны растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Использовали исходную линию *Ler* и мутанты *hy3* и *hy4* с нарушенным синтезом фоторецептора соответственно КС (phyB) и СС (cry1) (Koornneef et al., 1980; Ahmad, Cashmore, 1993; Reed et al., 1993).

**Методы и условия выращивания растений.** Для выращивания растений использовали почвенную смесь, состоящую из равных количеств перегноя, чернозема и торфа. Растения выращивали под флуоресцентными (опыт) и немодифицированной (контроль) пленками.

Для исследований в защищенном грунте использовали пленочные культивационные сооружения на солнечном обогреве. Кратковременные исследования (30-40 суток) проводили по разработанной нами методике (Minich et al., 2001; Минич и др., 2003, 2004) в сооружениях размером 1 м<sup>2</sup>, длительные (2-5 месяцев) – размером от 24 м<sup>2</sup> до 900 м<sup>2</sup> на агробиостанции ТГПУ (Томск), в АОЗТ «Томь» (п. Черная речка, Томский район), в фермерском хозяйстве М.П. Борзунова (Томск) и в хозяйстве «Башня Ли» (г. Лоян, провинция Хэнвей, КНР).

В светокультуре *Arabidopsis* выращивали до окончания вегетации с фотопериодом 16 часов на БС от люминесцентных ламп Fluora (63 и 126 Вт/м<sup>2</sup>) или от ламп ЛБ-40 и ЛД-40 (63 Вт/м<sup>2</sup>), и на КМС, состоящем из БС и УФ-А излучения от люминесцентных ламп Black Light в нескольких световых вариантах. КМС-1 – БС от ламп Fluora (126 Вт/м<sup>2</sup>) и УФ-А излучения (0,35 Вт/м<sup>2</sup> – соотношение интенсивностей потока БС и УФ-А света 360:1). КМС-2 – БС от ламп Fluora (63 Вт/м<sup>2</sup>) и УФ-А излучения (0,35 Вт/м<sup>2</sup> – соотношение 180:1). КМС-3 – БС от ламп Fluora (63 Вт/м<sup>2</sup>) и УФ-А излучения (0,70 Вт/м<sup>2</sup> – соотношение 90:1). КМС-4 – БС от ламп ЛБ-40 и ЛД-40 (63 Вт/м<sup>2</sup>) и УФ-А излучения (4 Вт/м<sup>2</sup> – соотношение 16:1). Спектральный состав излучения и интенсивность, выровненные по падающим квантам, определены на спектрометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды).



**Методы проведения исследований растений.** Ростовые параметры проростков *Arabidopsis* определяли под бинокулярным микроскопом «Альтами» (увеличение  $8.75^x$  и  $24.5^x$ ) и БМИ-6 с окуляром-микрометром. Площадь поверхности листьев растений определяли бумажно-весовым методом на аналитических весах с точностью 0,1 мг. Диаметр стебля измеряли микрометром МК 0-25 мм ГОСТ 6507 у основания 1-го листа с точностью до 0,01 мм. Длину стебля и побегов сельскохозяйственных культур измеряли от основания до их верхушки, длину главного и боковых цветonoсных побегов *Arabidopsis* измеряли от основания до верхушки соцветия. Сырую массу и массу сухого вещества растений определяли на аналитических весах с точностью 0,1 мг. Продуктивность плодовых овощных культур устанавливали в ходе онтогенеза подсчетом и измерением веса всех снятых плодов, урожайность – на конец вегетации в пересчете на  $\text{кг}/\text{м}^2$ . У *Arabidopsis* семенную продуктивность определяли подсчетом числа созревших стручков и семян в стручках (Вайнагий, 1974).

Определение содержания Хл и Кар в листьях растений проводили спектрофотометрически в 100 %-ых ацетоновых растительных экстрактах, рассчитывая по формулам Хольма (Шлык, 1971). Содержание АК и сахаров определяли по методике, описанной в (Ермаков, Арасимович, 1972). Содержание и активность эндогенных фитогормонов в растениях определяли методом ИФА (Кудоярова и др., 1990) и биотестированием (Карначук, Головацкая, 1999). Для выделения ИУК, АБК, З и ЗР сырой растительный материал фиксировали азотом. Выделение ИУК и АБК проводили по методу, описанному в (Кефели и др., 1973), З и ЗР – описанному в (Негрецкий, 1988; Кудоярова и др., 1990). Активность ИУК и АБК определяли по степени удлинения отрезков колеоптилей пшеницы сорта Новосибирская-29 относительно контроля на 2 %-ном растворе сахарозы (Головацкая, Карначук, 1999). Для количественного определения ИУК, АБК, З и ЗР использовали реактивы производства «Фармхиминвест» (Россия), оптическую плотность растворов определяли спектрофотометрически при длине волны 492 нм.

**Методы изготовления и исследования свойств флуоресцентных полиэтиленовых пленок.** Полимерные композиции готовили методом «опудривания» гранул ПЭВД порошкообразным люминофором, изготовление пленок производили методом экструзии с раздувом по ГОСТ 16337 (Райда, Минич и др., 1999). Физико-механические свойства пленок определяли в соответствии с ГОСТ 10354-82 на ООО «Томскнефтехим» на разрывной машине Instron (Италия). Пропускание пленками электромагнитного излучения в областях УФ радиации и ФАР определили спектрофотометрически по методике (Райда, Минич и др., 2001). Величины пропускания и отражения рассчитаны путем отнесения площади под спектром в определенном интервале длин волн к общей площади спектра по методике (Райда и др., 2004). Расчет вклада люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в прошедшее через пленки солнечное излучение проводили по данным интенсивности УФ излучения солнца с учетом коэффициентов трансформации излучения люминофоров в пленках. Максимальные значения интенсивности

люминесцентного излучения флуоресцентных пленок были рассчитаны как среднеарифметические за весь период проведения испытания по методике (Иваницкий, Минич и др., 2009, 2010). Количественную оценку величины поглощения УФ излучения и интенсивности вторичного люминесцентного излучения проводили путем математического расчета площади сечения пленки ПЭВД перекрываемой частицами. Размер частиц люминофора определяли методами электронной и оптической микроскопии (Минич, 1995). Гранулометрический состав органических люминофоров определен методом седиментации на приборе 8 КС 200 S (Seishin, Япония) (Минич, 1995), неорганических люминофоров – методом микроскопии на металлографическом микроскопе Neofot 2 со сканирующей приставкой Uniscan по методике (Райда и др., 2002). Относительную интенсивность люминесценции флуоресцентных пленок и фотостабильность определяли по разработанным нами методикам (Минич и др., 1992, 1998).

***Методы исследований радиационного и температурного режимов.*** Интенсивность солнечного излучения была определена на станции высотного зондирования ИОА СО РАН (г. Томск) по методикам, описанным в (Скляднева, Белан, 2007). Контроль метеорологических условий проводили, сверяя результаты собственных наблюдений за температурой воздуха с данными Гидрометцентра г. Томска по температурному режиму и состоянию облачности для светлого времени суток (URL: <http://meteocenter.net>). Расчет PPFD в сооружениях защищенного грунта под пленками проводили на основании данных излучения в области ФАР, значения пропускания пленок в области ФАР и интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок.

***Методы определения численности микрофлоры почвы и активности каталазы.*** Численность микрофлоры изучали на примере гетеротрофных бактерий, растущих на МПА, подсчетом числа колоний по методике (Звягинцев, 1991). Активность каталазы определяли газометрическим методом (по объему выделившегося кислорода), путем измерения скорости разложения перекиси водорода при ее взаимодействии с почвой (Звягинцев, 1991).

***Статистическая обработка результатов исследований.*** Для статистической обработки экспериментальных результатов использовали специализированный пакет «Statistic for Windows» (программа «Excel»). Оценку достоверности результатов исследований проводили при 95 %-ом уровне надежности (уровень значимости – 0.05). В таблицах и рисунках для растений приведены средние арифметические значения с двухсторонним доверительным интервалом минимум из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях минимум на 30 растениях, для полиэтиленовых пленок – на 10-15 образцах.

### **3. СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ОГРАЖДЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ЭКОСИСТЕМ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

Все флуоресцентные пленки при облучении их УФ-А светом люминесцируют с максимумами излучений аналогичными люминесценции люминофоров, введенных в их состав (табл. 1) (Минич, Райда, 1990, 1992). У

флуоресцентных пленок за счет введения ФЕ в количестве 0.05-0.50 % масс. уменьшается пропускание УФ-В излучения от 17.9 до 66.7 % и УФ-А радиации от 13.8 до 55.3 %, сопряженное с увеличением содержания в них ФЕ ( $r = - 0.99$ ), при введении неорганических люминофоров в количестве 0.10-2.00 % масс. – от 5.7 до 17.1 % и от 4.9 до 13.1 %. Отличие пропускания УФ света флуоресцентными пленками связано с различной химической природой, гранулометрическим составом, удельной плотностью люминофоров (Raida, Minich et al., 2001). Определяющее значение в уменьшении УФ радиации под флуоресцентными пленками принадлежит поглощению, рассеиванию и отражению УФ света частицами люминофора в полимерной матрице.

Пропускание ФАР флуоресцентными пленками с неорганическими люминофорами и ФЕ в количестве 0.05 % масс. достоверно не меняется по сравнению с немодифицированной пленкой. Увеличение содержания ФЕ в пленке способствует уменьшению пропускания ФАР от 2.8 до 16.4 %, что сопряжено с увеличением отражения света этими пленками.

Уменьшение интегрального светопропускания флуоресцентными пленками по сравнению с немодифицированной составляет от 0.33 до 2.43 %. Оно отрицательно коррелировало с содержанием в пленке ФЕ ( $r = - 0.95$ ) и неорганических люминофоров ( $r = - 0.71$ ). Состав проходящего через флуоресцентные и немодифицированную пленки света отличается соотношением прямого и рассеянного излучения. Пленки с ФЕ относительно немодифицированной больше в 1.3-3.0 раза отражают и в 1.1-1.9 раза рассеивают солнечное излучение. Полученные нами результаты исследований фотофизических свойств флуоресцентных пленок подтверждаются данными, опубликованными В.С. Райдой с сотрудниками (Райда и др., 2004), и опровергают данные, представленные в работах (Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989; Карасев, 1995), в которых говорится об увеличении под флуоресцентными пленками на 1-2 % потока КС в интервале 580-700 нм.

Различия интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок определяются количеством и типом введенного в их состав люминофоров. Хотя для пленок с ФЕ она значительно выше, чем у пленок с неорганическими люминофорами, через 2-4 недели эксплуатации данный показатель у всех флуоресцентных пленок становится близким (Минич, 1995).

С учетом квантового выхода люминесценции показатель интенсивности реально падающего на растения люминесцентного излучения составляет от 0.0014 до 0.0148 % от ФАР, что на 2-3 порядка меньше представленного в работе В.Е. Карасева (1995).

Введение в полимерную матрицу красных красителей в количестве 0.2 масс. понижает светопрозрачность пленок на 22.7-26.3 %, синих в том же количестве – более чем на 40 %. Это приводит к ухудшению их интегрального светопропускания на 13-16 % и на 21-28 % соответственно, при этом в окрашенных флуоресцентных пленках происходит тушение люминесценции. Такие показатели оптических свойств окрашенных флуоресцентных пленок указывают на то, что данный тип пленок относится не к флуоресцентным, а к фотоселективным.

Таблица 1 – Состав и фотофизические свойства полиэтиленовых пленок, используемых при исследованиях в качестве ограждений сооружений экосистем защищенного грунта

Характеристики пленок	Наименование пленки																		
	конт- роль	ЛА- 0,05	ФЕ- 0,05	ФЕ- 0,1	ФЕ- 0,3	ФЕ- 0,5	626- 0,1	630- 0,1	630- 0,3	619- 0,2	619- 0,5	612- 0,2	447- 2,0	ФЕ- К1	ФЕ- К2	ФЕ- С	447- С	П-1	С
Тип люминофора / содержание в пленке, %	нет	ЛА / 0.05	ФЕ / 0.05	ФЕ / 0.10	ФЕ / 0.30	ФЕ / 0.50	КТЦ-626 / 0.10	КТЦ-630 / 0.10	КТЦ-630 / 0.30	ФВИ / 0.20	Л-43 / 0.50	ОСИ / 0.20	ФЛ-447 / 2.00	ФЕ / 0.05	ФЕ / 0.05	ФЕ / 0.05	ФЛ-447 / 2.00	нет	нет
Основной максимум в спектре люминесценции, нм	---	---	615				626	630		619		612	447	615			447	---	---
Относит. интенсивность люминесценции, %	0.00	0.00	28.7 ±1.3	40.1 ±0.8	63.8 ±4.5	77.2 ±1.0	7.8 ±0.4	9.4 ±0.5	12.2 ±0.6	12.6 ±0.1	16.8 ±0.1	8.6 ±0.1	8,3 ±0.2	16.5 ±0.8	21.5 ±0.7	23.5 ±0.8	---	---	---
Тип красителя / содержание, %	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	П-1 / 0.2	АЕ-38 / 0.2	син. / 0.2	син. / 0.2	П-1 / 0.2	син. / 0.2
Пропускание ФАР, %	78.6 ±0.8	77.5 ±0.8	77.5 ±0.8	76.4 ±0.7	69.2 ±0.6	65.7 ±0.9	78.2 ±0.3	78.1 ±0.2	78.0 ±0.6	78.2 ±0.2	78.0 ±0.3	78.1 ±0.4	78.2 ±0.3	63.7 ±0.5	67.3 ±0.7	58.5 ±0.6	59.1 ±0.5	63.6 ±0.6	58.8 ±0.5
Пропускание, % в областях 290-330 / 320-400 нм	65.4 / 70.4	53.7 / 60.7	53.7 / 60.7	46.7 / 56.8	33.7 / 43.8	21.8 / 31.5	60.2 / 65.3	61.7 / 67.0	60.3 / 65.2	60.4 / 65.4	54.2 / 61.2	60.5 / 65.5	61.0 / 66.2	---	---	---	---	---	---
Интегральное светопропускание, %	90.6 ±0.2	90.3 ±0.1	90.3 ±0.1	90.1 ±0.1	88.6 ±0.2	88.4 ±0.3	90.3 ±0.3	90.3 ±0.2	90.0 ±0.3	90.2 ±0.1	89.0 ±0.4	89.8 ±0.3	90.1 ±0.2	84.4 ±0.5	86.9 ±0.1	72.1 ±0.8	79.5 ±1.5	83.4 ±0.5	75.4 ±0.7
Отражение света, %	8.0 ±0.2	10.6 ±0.1	10.6 ±0.2	13.1 ±0.3	18.8 ±0.6	24.0 ±1.2	7.5 ±0.1	7.6 ±0.2	9.1 ±0.2	8.1 ±0.2	14.1 ±0.3	9.0 ±0.1	8.2 ±0.1	---	---	---	---	---	---
Рассеивание света, %	12.0 ±0.5	12.8 ±0.4	12.8 ±0.4	13.6 ±0.6	19.4 ±0.5	22.7 ±0.6	23.8 ±0.2	30.8 ±0.3	32.6 ±0.5	---	36.5 ±0.6	---	---	---	---	---	---	---	---
Интенсивность поглощенного люминофором УФ излучения, Вт/м <sup>2</sup>	---	0.014	0.014	0.029	0.084	0.148	---	---	---	---	---	---	---	0.008	0.010	0.012	---	---	---
Интенсивность люминесцентного излучения, мВт/м <sup>2</sup>	---	---	3.5	7.2	21.0	37.0	---	---	---	---	---	---	---	2.0	2.6	2.9	---	---	---

Можно предположить, что их использование в качестве покрытий культивационных сооружений в средней полосе России будет мало эффективным, так как увеличение продуктивности под фотоселективными пленками происходит только при избытке ФАР (Nammata et al., 2007).

Таким образом, фотофизические свойства флуоресцентных пленок отличаются от немодифицированной и между собой способностью люминесцировать с определенной интенсивностью и максимумом длины волны, а также менять соотношение прямого, отраженного и рассеянного света. Интенсивность люминесцентного излучения от флуоресцентных пленок составляет в культивационных сооружениях сотые доли Вт/м<sup>2</sup>, а интенсивность ФАР относительно немодифицированной пленки достоверно не меняется или падает за счет отражения света частицами люминофора в пленке. Исходя из этого можно предположить, что являются некорректными выдвигаемые гипотезы о повышении продуктивности растений под флуоресцентными пленками за счет светового насыщения растений, которое достигается увеличением количества полезной энергии путем преобразования УФ света люминофором в пленке и хлорофиллом (Kusnetsov et al., 1989), а также о «накачке» хлорофилла зеленого листа красным люминесцентным излучением за счет увеличения интенсивности светового потока в области ФАР (Щелоков, 1986; Карасев, 1995; Zhang et al., 2000).

#### **4. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ПЛЕНКАМИ**

##### **4.1. Влияние факторов внешней среды на продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентными пленками в весенний период**

Из 10-летних исследований, проведенных в мае, повышение продуктивности капусты под флуоресцентными пленками по сравнению с контролем наблюдали только в пяти годах (рис. 1). По сравнению с контролем под флуоресцентными пленками отметили увеличение большинства морфометрических показателей надземной части растений, что сопряжено с интенсивным ростом и развитием корневой системы.

Повышение продуктивности капусты в данные годы связано с индивидуальными сезонными особенностями изменения составляющих радиационного баланса и температурного режима. Среднемесячная температура воздуха в мае была близкой к среднестатистическим показателям или выше региональной нормы на 3-7 градусов. Светлое время суток было ясным или с низкой степенью облачности с суммарной экспозицией солнечного излучения в области 400-2300 нм за месяц не менее 58.0 кДж/см<sup>2</sup> (суммарной среднесуточной – не менее 1.7 кДж/см<sup>2</sup>д), а в УФ области, преобразуемой флуоресцентными пленками, – более 3.0 кДж/см<sup>2</sup> (более 99.0 Дж/см<sup>2</sup>д). При оптимальном температурном режиме это значения экспозиции УФ радиации является минимально необходимыми для генерации флуоресцентными пленками люминесцентного излучения с интенсивностью, необходимой для благоприятного воздействия на рост, развитие и продуктивность капусты (Минич и др., 2003а).

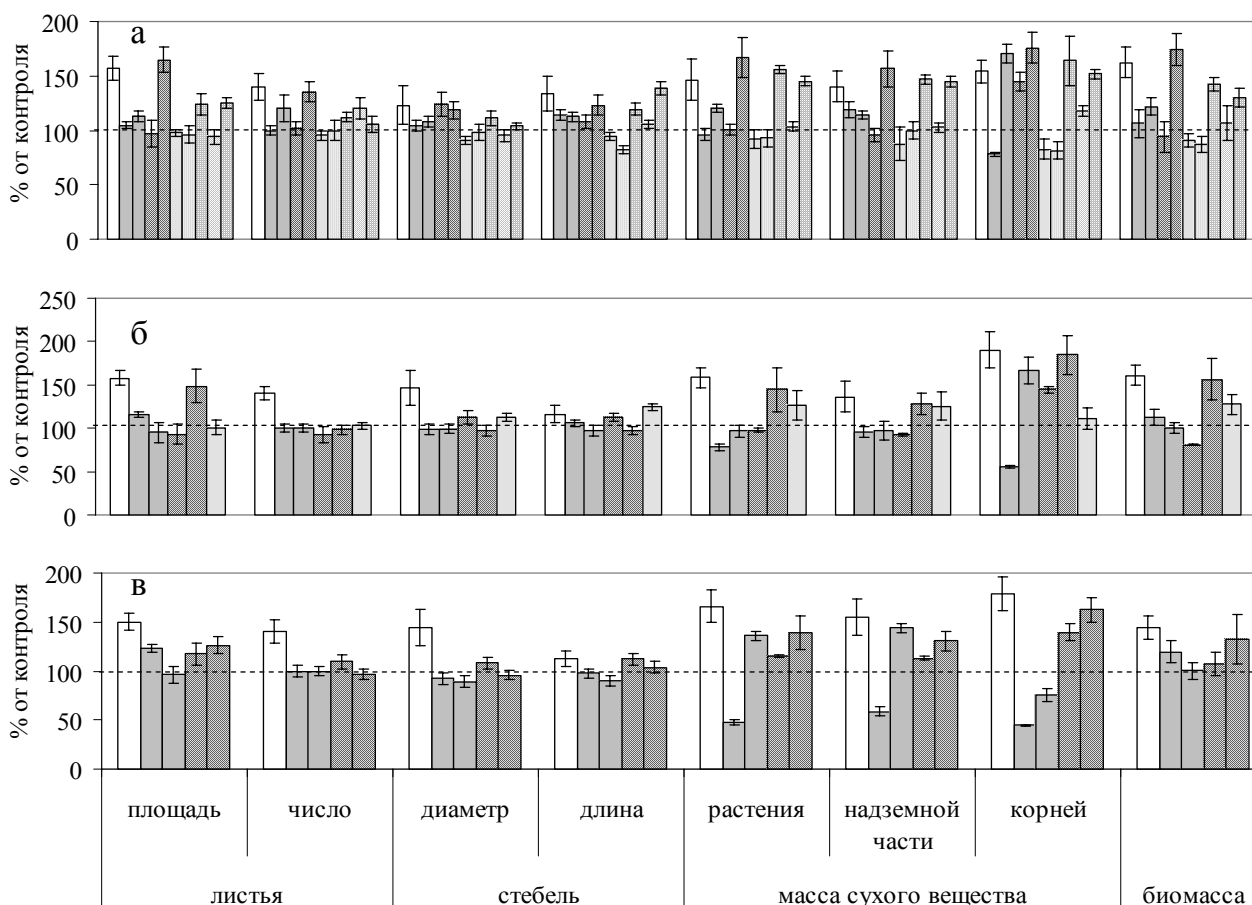


Рисунок 1 – Продуктивность 30-суточной *Brassica oleracea* var. *capitata* L. сорта Надежда, выращенной под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1 (а), ФЕ-0,05 (б), 626-0,1 (в) в мае годов: □ – 1999, ■ – 2000, ▨ – 2001, ▩ – 2002, ▪ – 2003, ▫ – 2004, ▬ – 2005, ▭ – 2006, ▮ – 2007, ▯ – 2008

В неблагоприятные годы в мае наблюдали плотную облачность с краткими прояснениями в отдельные дни и резкими изменениями температуры воздуха, достигающими в ночное время минусовых значений. Для прорастания капусты лимитирующим является предельная минимальная температура воздуха – при низких температурах, наступает торможение ростовых реакций или гибель растений в основном за счет прекращения деятельности корней (Гродзинский А., Гродзинский Д., 1973). На лимитирующее значение термического фактора в 2000, 2004-05 годы указывает слабое развитие корневой системы опытных растений (рис. 1).

В остальные годы в мае суммарная месячная энергетическая экспозиция УФ излучения за пределами сооружений защищенного грунта составила менее  $3.0 \text{ кДж/см}^2$ , а суммарная среднедневная – менее  $99.0 \text{ Дж/см}^2\text{д}$ , в области 400-2300 нм за месяц – менее  $58.0 \text{ кДж/см}^2$ , суммарная среднесуточная – менее  $1.7 \text{ кДж/см}^2\text{д}$ . Вследствие этого растения не получали достаточно ФАР, а интенсивность УФ радиации, поглощение которой вызывает люминесценцию флуоресцентных пленок и определяет специфику светового режима в культивационных сооружениях защищенного грунта, была ниже оптимальной.

Повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками по сравнению с контролем не сопровождается изменением содержания ФСП в

листьях капусты (Минич и др., 2009а). Это указывает на то, что растения внутри сооружений защищенного грунта получают достаточно ФАР для оптимального протекания процесса фотосинтеза.

Вклад люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в общий световой поток, падающего на растения в экосистемах защищенного грунта, низок (табл. 1) (Иваницкий, Минич и др., 2009). Известно, что предельно низкие интенсивности света, недостаточные для осуществления фотосинтеза или его активации, оказываются эффективными индукторами формирования самого фотосинтетического аппарата (Рубин, 1979). Можно предположить, что солнечный свет влияет на продуктивность капусты в защищенном грунте под флуоресцентными пленками за счет изменения протекания низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений (Воскресенская, 1987). Это подтверждают значения PPFД, имеющего линейную связь с продуктивностью растений (Papadopoulos, Pararajasingham, 1997). Под всеми пленками минимальная PPFД в 4-7 раз выше нормы (2 моль/м<sup>2</sup>д), необходимой для роста и развития растений. Различия в PPFД под флуоресцентными пленками по сравнению с немодифицированной определяются светопропусканием пленок и их люминесцентным излучением, причем вклад последнего в увеличение PPFД значительно ниже, чем вклад светопрозрачности в понижении PPFД.

Таким образом, многолетние исследования в мае показали, что повышение продуктивности капусты под флуоресцентными пленками происходит при оптимальном радиационном и температурном режиме, которые являются лимитирующими и определяют рост и развитие растений в пленочных экосистемах защищенного грунта. В весенний период лимитирующим является термический фактор, который зависит от предельной минимальной температуры воздуха и от динамики изменения температуры воздуха в течение суток. При оптимальном температурном режиме повышение продуктивности капусты под флуоресцентными пленками относительно контроля зависит от динамики распределения ясных и малооблачных дней и люминесцентного излучения, генерируемого флуоресцентными пленками. Впервые экспериментально установлено, что в период мая в регионе Томска для повышения продуктивности капусты по флуоресцентными пленками необходим световой режим с минимальной суммарной среднесуточной энергетической экспозицией УФ излучения за пределами сооружений защищенного грунта 99.0 Дж/см<sup>2</sup> (с минимальной суммарной месячной энергетической экспозицией УФ излучения – 3.0 кДж/см<sup>2</sup>).

#### **4.2. Влияние факторов внешней среды на продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентными пленками в летний период**

Результаты исследования роста, развития и урожайности редьки в летний период показывают, что под флуоресцентными пленками относительно контроля повышение продуктивности надземной части растений и корнеплода отличается по годам (Минич и др., 2004). Увеличение массы корнеплода в опытных экосистемах отметили в восьми годах из девяти, а увеличение

продуктивности надземной части – только в пяти (рис. 2), что определяется динамикой изменений светового режима.

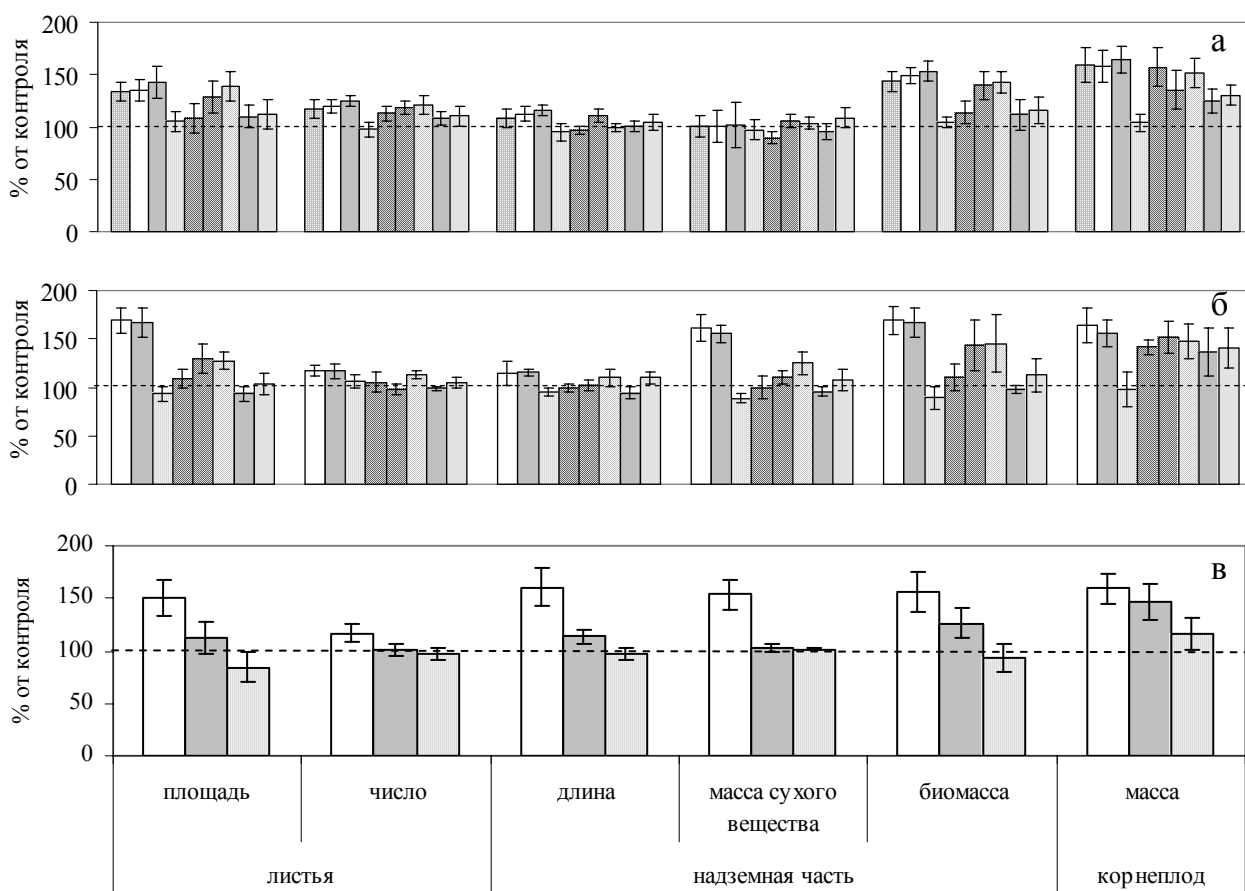


Рисунок 2 – Продуктивность 30-суточной *Raphanus sativus* L. сорта Ладушка, выращенной под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,05 (а), ФЕ-0,1 (б), 626-0,1 (в) в период с 11 июня по 11 июля годов: – 2000, – 2001, – 2002, – 2003, – 2004, – 2005, – 2006, – 2007, – 2008

В летний период при благоприятной температуре воздуха отметили высокий радиационный фон с интенсивностью УФ излучения значительно выше значений, установленных в мае. Это способствовало интенсификации роста и развития корнеплода. Однако увеличение размеров и массы корнеплодов при суммарной энергетической экспозиции УФ света в день менее  $160.0 \text{ Дж/см}^2\text{д}$  не приводит к повышению продуктивности надземной части растений, что связано, вероятно, с видовой и сортовой особенностью онтогенеза редьки. Можно предположить, что для активации роста и развития листовой поверхности редьки под флуоресцентной пленкой необходима среднесуточная энергетическая экспозиция УФ излучения выше  $160.0 \text{ Дж/см}^2\text{д}$ , а суммарная месячная – более  $4.9 \text{ кДж/см}^2$ .

Повышение урожайности и изменение продуктивности надземной части редьки под флуоресцентными пленками по сравнению с контролем не связаны с изменением содержания ФСП в листьях растений.

В 2003 году при благоприятных световых условиях повышение продуктивности редьки в опыте по сравнению с контролем не наблюдали, так как лимитирующим явился термический фактор. В данный год отметили



высокую максимальную температуру воздуха, которая составляла в среднем 26.8 °С, что на 4 градуса выше среднестатистической региональной нормы. Это привело к перегреванию растений, торможению их роста и ассимиляции.

Таким образом, в сооружениях защищенного грунта под флуоресцентными пленками максимальное увеличение продуктивности редьки, как и растений капусты, отметили в те годы, в которых для роста и развития растений оптимальными были температура воздуха и интенсивность фотосинтетического потока. При оптимальном температурном режиме световой фактор лимитирует продуктивность растений под флуоресцентными пленками.

Анализ результатов исследований показывает, что повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками происходит за счет особенности светового режима в защищенном грунте, создаваемого изменяющимися абиотическими факторами внешней среды и спецификой фотофизических свойств пленок.

## 5. РОЛЬ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ ПЛЕНОЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

### 5.1. Влияние на продуктивность растений поглощения УФ радиации, отражения и рассеивания солнечного света флуоресцентными пленками и их люминесцентного излучения

Для исследований использовали полиэтиленовую пленку, содержащую в своем составе ЛА, кристаллы которого являются изоморфными кристаллам ФЕ (Яцимирский, 1966). Вследствие этого пленки с ними одинаково поглощают, отражают и рассеивают солнечный свет (табл. 1). Сходные по фотофизическим свойствам пленки ФЕ-0,05 и ЛА-0,05 отличаются отсутствием у последней люминесцентного излучения в красной области спектра.

При благоприятных метеоусловиях солнечный свет, прошедший через пленки ЛА-0,05 и ФЕ-0,05, по сравнению с контролем способствует лучшему развитию листовых пластинок и корневой системы капусты. Под пленкой ЛА-0,05 отметили увеличение ассимилирующей поверхности растений, сырой массы и массы сухого вещества корневой системы в среднем на 16 %, а под пленкой ФЕ-0,05 – в среднем в 3 раза выше, чем под пленкой ЛА-0,05 (рис. 3).

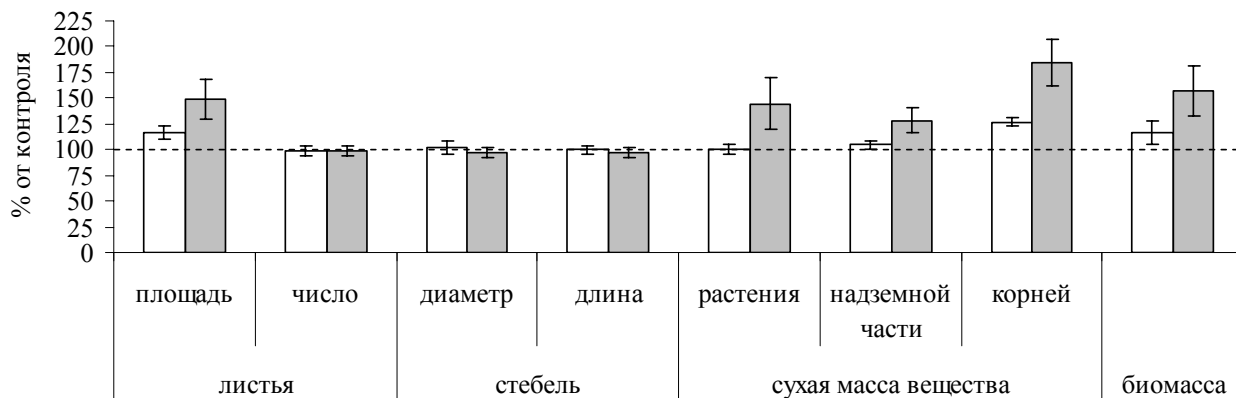


Рисунок 3 – Продуктивность 30-суточной *Brassica oleracea* var. *capitata* L. сорта Надежда, выращенной под пленками □ – ЛА-0,05, ■ – ФЕ-0,05

Повышение продуктивности растений под пленкой ЛА-0,05 по сравнению с немодифицированной происходит за счет поглощения УФ излучения, отражения и изменения соотношения прямых и рассеянных солнечных лучей (табл. 1). Известно, что световой поток с уменьшенной интенсивностью УФ излучения и увеличенной долей рассеянного света по сравнению с направленными лучами является более эффективным в продукционном процессе растений (Тихомиров и др., 2000; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2008). Аналогичные изменения с солнечным светом по сравнению с ЛА-0,05 происходят при его прохождении через пленку ФЕ-0,05, только добавляется наличие красного люминесцентного излучения, генерируемого люминофором ФЕ (табл. 1). Следовательно, различия в продуктивности капусты, выращенной под пленками ФЕ-0,05 и ЛА-0,05, определяются воздействием на растения люминесцентного излучения флуоресцентной пленки.

Таким образом, повышение продуктивности капусты под флуоресцентными пленками определяется наличием специфического для этого типа материала люминесцентного излучения, а также поглощением части УФ радиации и изменением соотношения рассеянного и прямого излучения. Результаты исследований показали, что увеличение морфометрических параметров капусты под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,05 выше в 3 раза, чем под пленкой ЛА-0,05. Следовательно, на 2/3 повышение продуктивности капусты зависит от люминесцентного излучения пленок, а на 1/3 – от поглощения УФ излучения и от изменения ими соотношения падающих на растения прямых и рассеянных лучей (Минич и др., 2010а).

## **5.2. Влияние на продуктивность растений в защищенном грунте длины волны люминесцентного излучения флуоресцентных пленок**

В защищенном грунте под флуоресцентными пленками с максимумами люминесцентного излучения 447, 612, 615, 618 и 626 нм наблюдали ускоренный рост и развитие капусты, редьки и салата по сравнению с контролем (рис. 4) (Minich et al., 2001; Минич и др., 2003, 2004). Повышение продуктивности растений в опыте сопряжено с увеличением соотношения эндогенных ИУК/АБК и уменьшением содержания АК (рис. 5, табл. 2). Это указывает на то, что люминесцентное излучение флуоресцентных пленок в исследуемом диапазоне длин волн изменяет уровень АК и ростовых веществ, участвующих веществ в биохимических превращениях, лежащих в основе роста (Чупахина, 1997). Определенной зависимости величины изменений продуктивности растений от максимума длины волны люминесцентного излучения флуоресцентных пленок не установили (Минич и др., 2008).

Изменений в продуктивности растений под флуоресцентной пленкой с длиной волны люминесцентного излучения 630 нм не выявили. Такой результат ставит под сомнение правильность предположения о том, что роль специфических акцепторов КС в растениях выполняют антиоксидантные ферменты – супероксиддисмутаза, имеющая слабую полосу поглощения в области 630 нм, и каталаза с максимумом поглощения 628 нм (Kosobryukhov et al., 2000; Мартиросян, 2008).

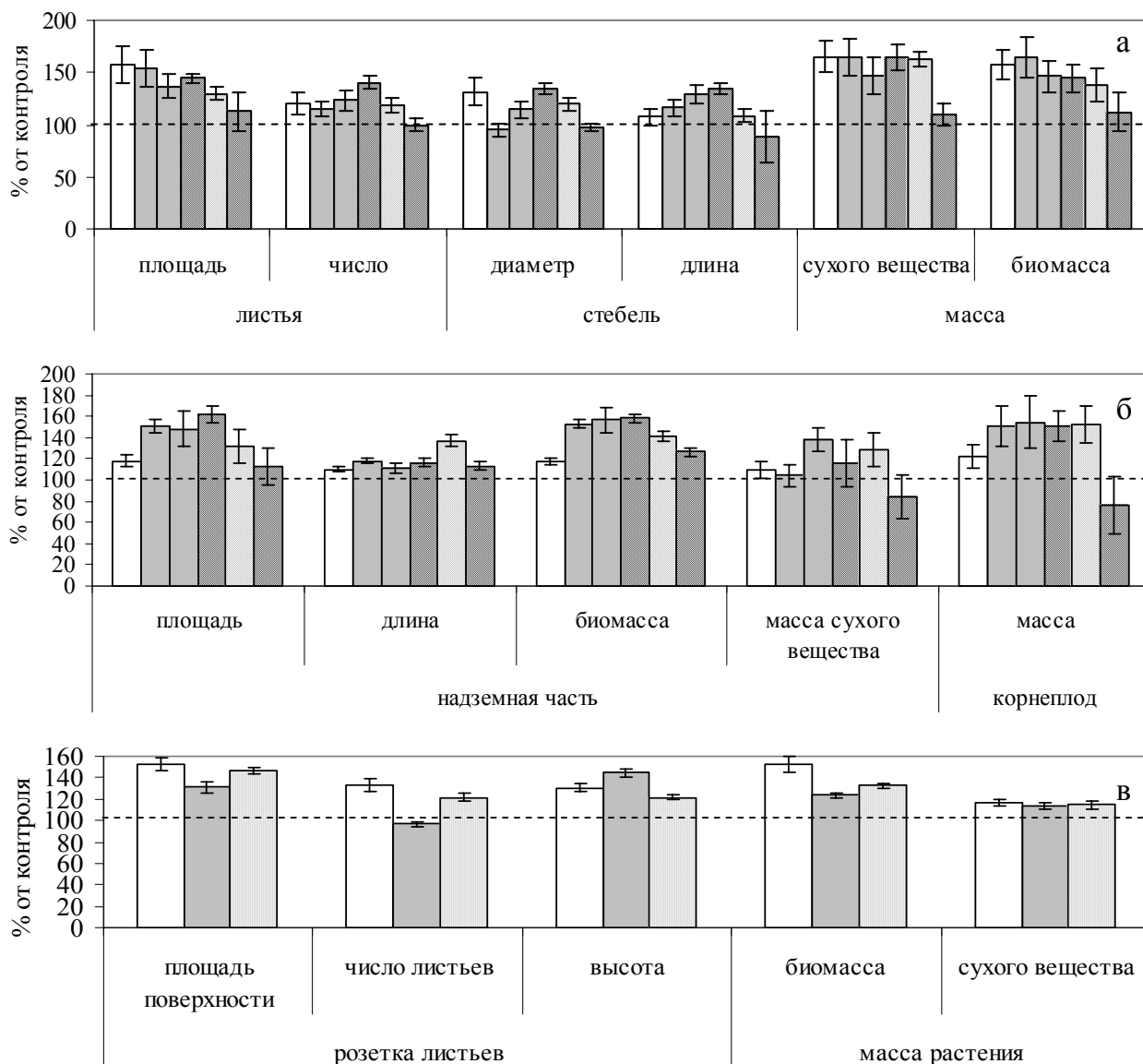


Рисунок 4 – Продуктивность 30-суточных *Brassica oleracea var. capitata L.* сорта Надежда (а), *Raphanus sativus L.* сорта Ладушка (б) и 40-суточной *Lactuca sativa L.* сорта Московский парниковый (в), выращенных под флуоресцентными пленками с различным максимумом длин волн люминесцентного излучения: □ – 447-2,0 (447 нм), ■ – 612-0,5 (612 нм), ▨ – ФЕ-0,1 (615 нм), ▩ – 619-0,5 (619 нм), ▪ – 626-0,1 (626 нм), ▫ – 630-0,1 (630 нм)

Таблица 2 – Содержание эндогенных ИУК и АБК в *Lactuca sativa L.* сорта Московский парниковый под немодифицированной (ПЭВД) и флуоресцентными пленками с различным максимумом длин волн люминесцентного излучения

Возраст растений, сутки	Содержание эндогенных гормонов, нг/растение							
	Свободная ИУК				Свободная АБК			
	ПЭВД	ФЕ-0,1	612,02	619-0,2	ПЭВД	ФЕ-0,1	612,02	619-0,2
9	следы	2.93 ± 0.29	1.29 ± 0.14	1.46 ± 0.13	0.88 ± 0.35	0.44 ± 0.02	0.62 ± 0.06	0.18 ± 0.03
19	0.19 ± 0.01	0.47 ± 0.09	2.04 ± 0.32	0.53 ± 0.08	0.26 ± 0.05	0.18 ± 0.03	следы	следы
29	0.47 ± 0.08	следы	0.06 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.84 ± 0.20	0.62 ± 0.15	0.79 ± 0.03	0.52 ± 0.09
39	следы	1.17 ± 0.29	5.94 ± 0.32	11.68 ± 2.12	6.17 ± 0.93	0.31 ± 0.07	0.09 ± 0.01	следы

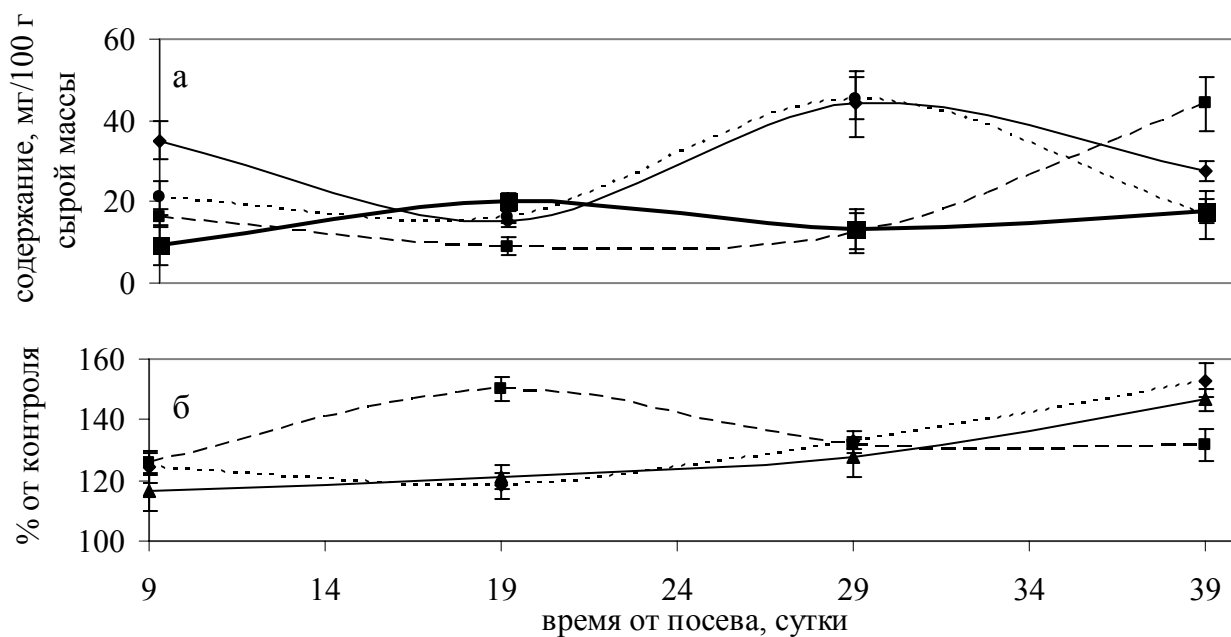


Рисунок 5 – Динамика содержания АК (а) и площади поверхности листьев (б) *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками с различным максимумом длин волн люминесцентного излучения: —■— — контроль, ···◆··· — 612-0,2 (612 нм), - -■- - ФЕ-0,1 (615 нм), —●— — 619-0,2 (619 нм)

Это указывает на то, что природа эффекта стимулирования продуктивности растений узкополосным красным люминесцентным излучением низкой интенсивности является более сложной, чем предполагается в настоящее время (Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989; Карасев, 1995; Kosobryukhov et al., 2000).

### 5.3. Влияние на продуктивность растений в защищенном грунте изменения интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок

Величина физиологических ответов у различных видов сельскохозяйственных растений в зависимости от интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок значительно отличается (Minich et al., 2001, Минич и др. 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010). У опытных растений *Brassica oleracea* var. *capitata* относительно контроля отметили одинаковую закономерность изменения продуктивности в зависимости от интенсивности люминесценции флуоресцентных пленок (рис. 6а).

Максимальное повышение продуктивности капусты наблюдали под пленками ФЕ-0,05 и ФЕ-0,5, т.е. с минимальной и с максимальной интенсивностью люминесценции (табл. 1). В диапазоне увеличения интенсивности люминесцентного излучения пленок, сопряженного с повышением в них концентрации люминофора от 0.05 до 0.30 % масс., наблюдали определенную закономерность адаптации растений к изменению светового фактора – уменьшение закладки листовых примордий, ингибирование развития поверхности листьев и роста стебля в толщину, т.е. увеличение интенсивности люминесценции пленок в данном диапазоне ведет к уменьшению продуктивности капусты под ними ( $r = - 0.96$ ).

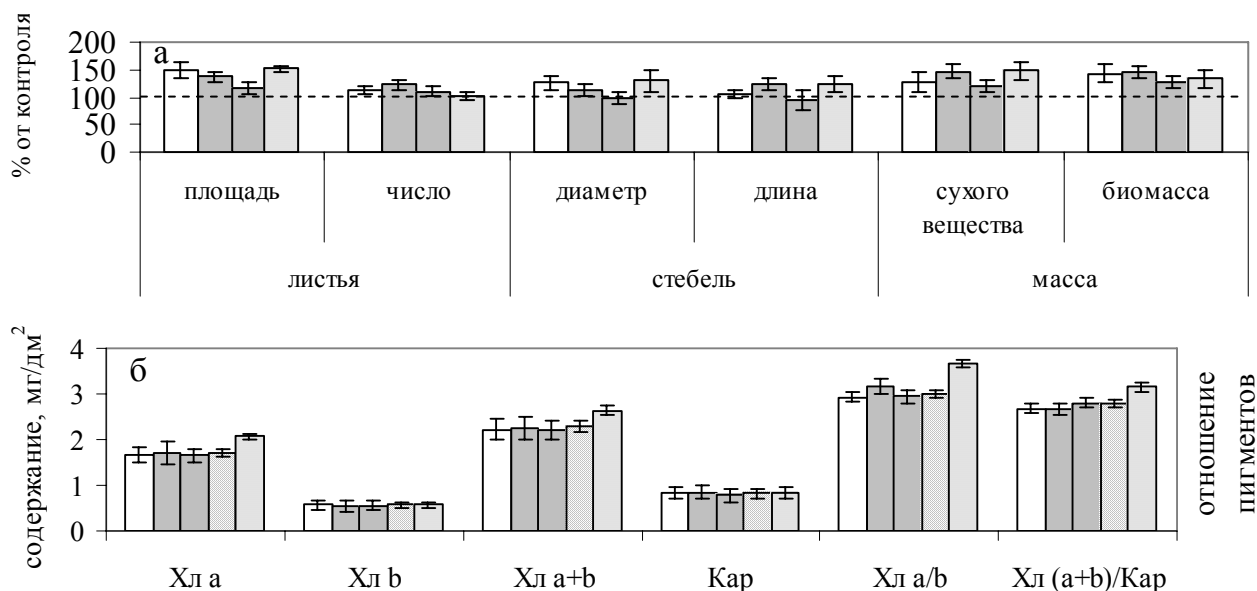


Рисунок 6 – Продуктивность (а) и содержание фотосинтетических пигментов (б) в листьях 30-суточной *Brassica oleracea* var. *capitata* L. сорта Надежда под пленками: □ – ФЕ-0,05, ■ – ФЕ-0,1, ▨ – ФЕ-0,3, ▩ – ФЕ-0,5

Такая закономерность сопряжена с уменьшением PPFD внутри сооружений данных экосистем. Под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,5, обладающей максимальной интенсивностью люминесценции, экосистема имеет минимальную PPFD из-за ее пониженной светопрозрачности, а основной вклад в уменьшение PPFD вносит рассеивание света (табл. 1). Известно, что в продуктивности растений искусственных экосистем эффективность рассеянных лучей выше, чем направленных (Panagopoulos et al., 1990; Тихомиров и др., 2000; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2008). Интенсивность люминесцентного излучения пленок и доля рассеянных лучей в данной экосистеме максимальны, что является главными факторами повышения продуктивности капусты под пленкой ФЕ-0,5. Это приводит к изменению протекания как низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений (Красновский, 1975; Воскресенская, 1987), так и высокоэнергетических.

Такое заключение подтверждается увеличением уровня Хл a и соотношения Хл a/b и Хл (a+b)/Кар в листьях капусты под данной пленкой (рис. 6б), что является по данным, представленным М.К. Ебрахимом (2005), адаптивным изменением в содержании светособирающего белкового комплекса растений. Вероятно, что повышение продуктивности капусты в пленочных экосистемах с интегральным светопропусканием флуоресцентных пленок равным или ниже 88,4 %, когда на рассеяние и отражение полимерной матрицей приходится более одной трети солнечных лучей, а увеличение интенсивности ФАР за счет люминесцентного излучения пленок составляет 0,0148 % и более, зависит от протекания низко- и высокоэнергетических реакций. Такой результат позволяет объяснить различия представленных в литературе данных по влиянию люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на фотосинтетическую продуктивность растений защищенного грунта – об отсутствии изменений

(Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989) и об увеличении соотношения Хл *a/b* (Kosobryukhov et al., 2000; Карасев, 2002; Астафурова и др., 2003).

Для *Raphanus sativus* установили две различные тенденции влияния интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на её продуктивность. В годы, в которые наблюдали интенсивный рост и развитие корнеплодов и листовой поверхности редьки (2000-2002, 2005-2006) отметили максимум повышения продуктивности растений под пленкой ФЕ-0,1 с интенсивностью люминесцентного излучения 7.2 мВт/м<sup>2</sup>. В ряду экосистем, укрытых флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5, установили отрицательную корреляцию увеличения продуктивности от повышения интенсивности их люминесцентного излучения ( $r = -0.99$ ) (рис. 7а).

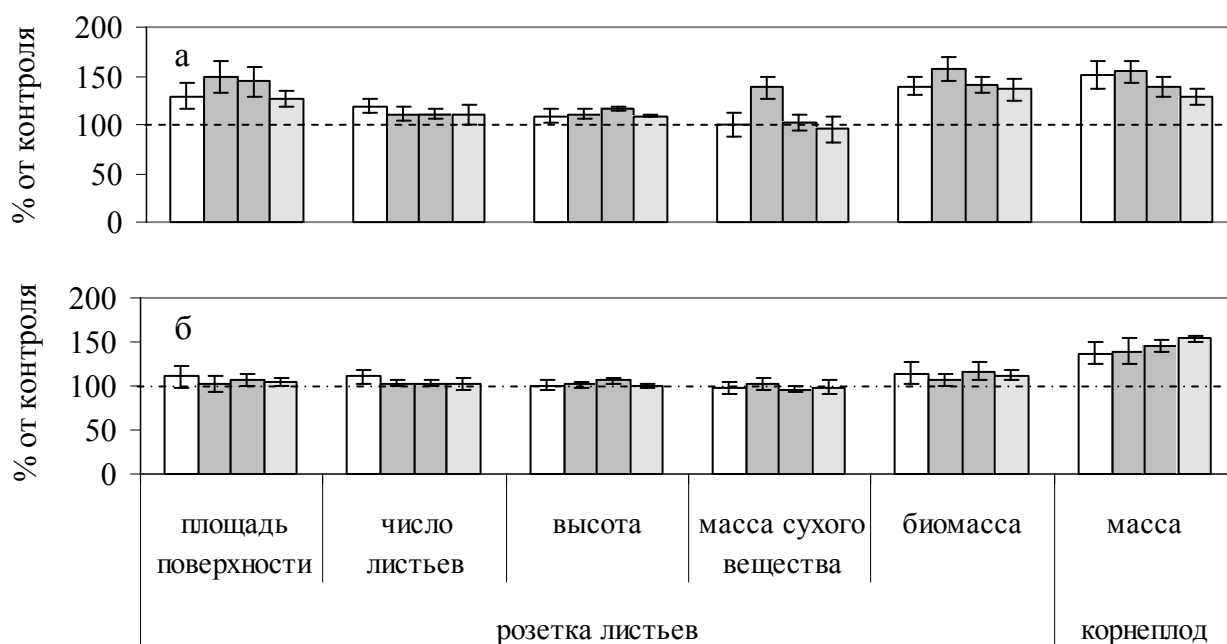


Рисунок 7 – Продуктивность 30-суточной *Raphanus sativus* L. сорта Ладушка под флуоресцентными пленками: □ – ФЕ-0,05, ■ – ФЕ-0,1, ▨ – ФЕ-0,3, ▩ – ФЕ-0,5 (среднее значение 2000-2002, 2005-2006 годов (а), 2004, 2007-2008 (б))

В годы, в которые в опыте увеличение массы корнеплодов не сопровождалось относительно контроля достоверными изменениями в развитии надземной части растений, выявили прямую зависимость увеличения продуктивности корнеплодов от повышения интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в исследуемом диапазоне ( $r = 0.95$ ) (рис. 7б).

Такие две отличающиеся закономерности изменения продуктивности редьки в зависимости от интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок определяются различным радиационным режимом соответствующих годов. Это подтверждает наше предположение, что для повышения продуктивности корнеплодов и зеленой массы редьки необходима минимальная среднесуточная энергетическая экспозиция УФ излучения 160 Дж/см<sup>2</sup>д, а суммарная месячная – 4.9 кДж/см<sup>2</sup>. Вероятно, при прохождении солнечного света с данной интенсивностью УФ излучения через флуоресцентную пленку ФЕ-0,1, характеризующуюся определенным

комплексом фотофизических свойств, в защищенном грунте под ней создается наиболее оптимальный световой режим, что позволяет максимально активизировать продукционных процесс у редьки.

В 2004, 2007-2008 годах среднесуточная энергетическая экспозиция УФ излучения составляла не более 133 Дж/см<sup>2</sup>д, а суммарная месячная – не более 4.1 кДж/см<sup>2</sup>. Такая экспозиция УФ излучения во флуоресцентной пленке ФЕ-0,1 возбуждает люминесценцию по интенсивности ниже, чем в другие исследованные годы. Способность пленки ФЕ-0,5 интенсивнее люминесцировать по сравнению с пленкой ФЕ-0,1 за счет большего содержания в ней люминофора обеспечивает более благоприятный световой режим в данной экосистеме. Это указывает на то, что интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентных пленок вносит основной вклад в изменение ростовых процессов растений и продуктивности в целом.

Максимум продуктивности *Lactuca sativa* отметили под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,1. Установили уменьшение продуктивности салата с увеличением интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок (рис. 8а), которая отрицательно коррелировала с изменением площади поверхности листьев ( $r = -0.98$ ) (Минич и др., 2008). Достоверные отличия продуктивности в опыте относительно контроля наблюдали на 12-14 сутки, а максимум – на 19-20 сутки вегетации. Изменение продуктивности салата сопряжены с изменениями уровня ростовых веществ и АК (рис. 8б, табл. 3). Минимальное содержание АК в листьях опытных и контрольных растений салата отметили в период максимальной активизации развития листовой поверхности, что подтверждается данными (Чупахина, 1997). Повышенный уровень ИУК и пониженное содержание АБК в салате относительно контроля отметили под флуоресцентными пленками с начала вегетации растений, их содержание зависело от интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок. У 9-суточных растений содержание ИУК отрицательно коррелировало с увеличением интенсивности люминесценции флуоресцентных пленок ( $r = -0.93$ ), что отразилось на росте и развитии растений – максимальное увеличение продуктивности в данный период отметили у растений под пленкой ФЕ-0,1.

Таблица 3 – Содержание эндогенных ИУК и АБК в *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под немодифицированной (ПЭВД) и флуоресцентными пленками с различной интенсивностью люминесцентного излучения с максимумом 615 нм

Возраст растений, сутки	Содержание эндогенных гормонов, нг/растение							
	Свободная ИУК				Свободная АБК			
	ПЭВД	ФЕ-0,1	ФЕ-0,3	ФЕ-0,5	ПЭВД	ФЕ-0,1	ФЕ-0,3	ФЕ-0,5
9	следы	2.93 ± 0.29	2.34 ± 0.59	0.26 ± 0.35	0.88 ± 0.35	0.44 ± 0.02	следы	следы
19	0.19 ± 0.01	0.47 ± 0.09	1.06 ± 0.01	1.17 ± 0.16	0.26 ± 0.05	0.18 ± 0.03	следы	следы
29	0.47 ± 0.08	следы	следы	следы	0.84 ± 0.20	0.62 ± 0.15	0.35 ± 0.03	0.26 ± 0.07
39	следы	1.17 ± 0.29	0.15 ± 0.02	0.29 ± 0.02	6.17 ± 0.93	0.31 ± 0.07	0.75 ± 0.16	0.09 ± 0.01

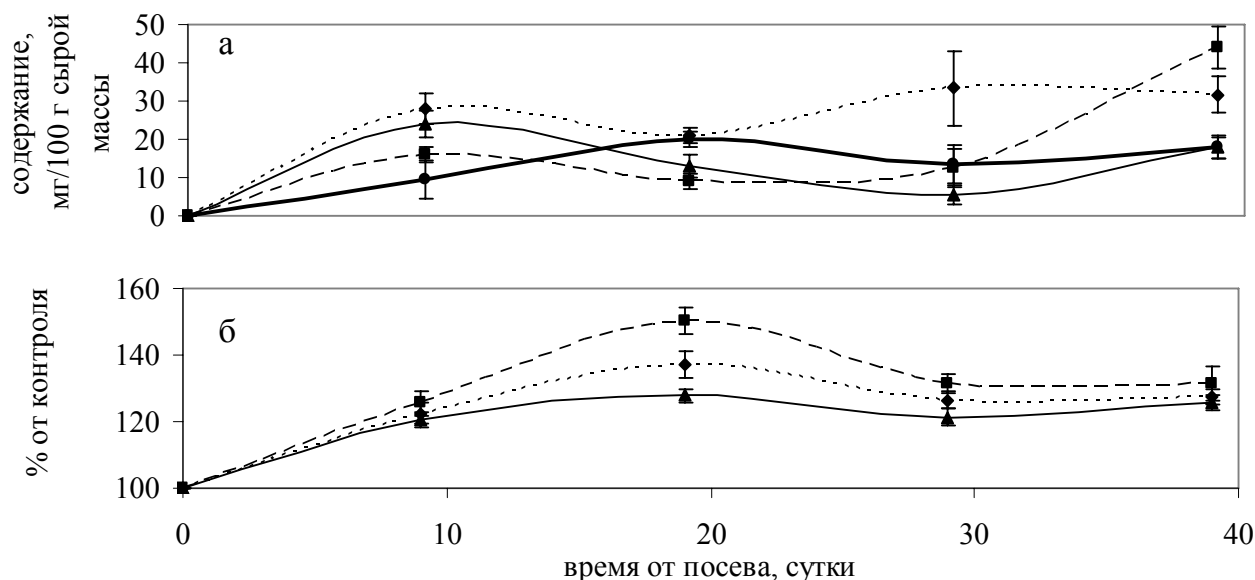


Рисунок 8 – Динамика содержания АК (а) и площади поверхности листьев (б) *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под —■— — немодифицированной пленкой, флуоресцентными пленками ···♦··· — ФЕ-0,1, - -■- - ФЕ-0,3, —■— — ФЕ-0,5

В возрасте 19 суток отметили положительную корреляцию ( $r = 0.98$ ). Такое изменение, вероятно, связано с тем, что люминесцентное излучение флуоресцентных пленок большей интенсивности (ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5) вызывает торможение ответных реакции растений, т.е. оптимальным для роста и развития растений салата является интенсивность люминесцентного излучения, генерируемая флуоресцентной пленкой ФЕ-0,1. В этот же период (9-19 суток) отметили минимальное накопление АБК у опытных растений. Можно полагать, что уровень ИУК и АБК, вовлеченных в систему трансдукции светового сигнала (Карначук и др., 2001), зависит от работы регуляторных систем салата, на которые воздействует люминесцентное излучение флуоресцентных пленок.

У салата, капусты и редьки отметили общую закономерность, являющуюся одним из факторов повышения их продуктивности под флуоресцентными пленками – интенсивное развитие корневой системы, что сопряжено с ферментативной активностью аборигенной почвенной микрофлоры (рис. 9).

На протяжении всей вегетации растений в почве под флуоресцентными пленками установили увеличение активность каталазы в 1.2-1.6 раза относительно контроля (рис. 9б). Образование кислорода образцами почвы контроля и опытов характеризовалось двумя пиками подъема на 9-13 и 21 сутки, максимальная концентрация кислорода 3.9-4.1 мл/г отмечена в почве экосистемы, укрытой флуоресцентной пленкой ФЕ-0,1 (Иваницкий, Минич и др., 2011). Исходная численность гетеротрофных бактерий в почве составляла 100-110 тыс. кл/г (рис. 9а), затем отметили повышение численности изучаемых микроорганизмов в 3-11 раз под флуоресцентными пленками. Максимальная их численность в почве всех экосистем была отмечена в моменты увеличения активности каталазы. Такая интенсификация активности аборигенной микрофлоры почвы способствует в начальный период вегетации ускоренному росту и развитию корневой системы салата в опыте по отношению к контролю.



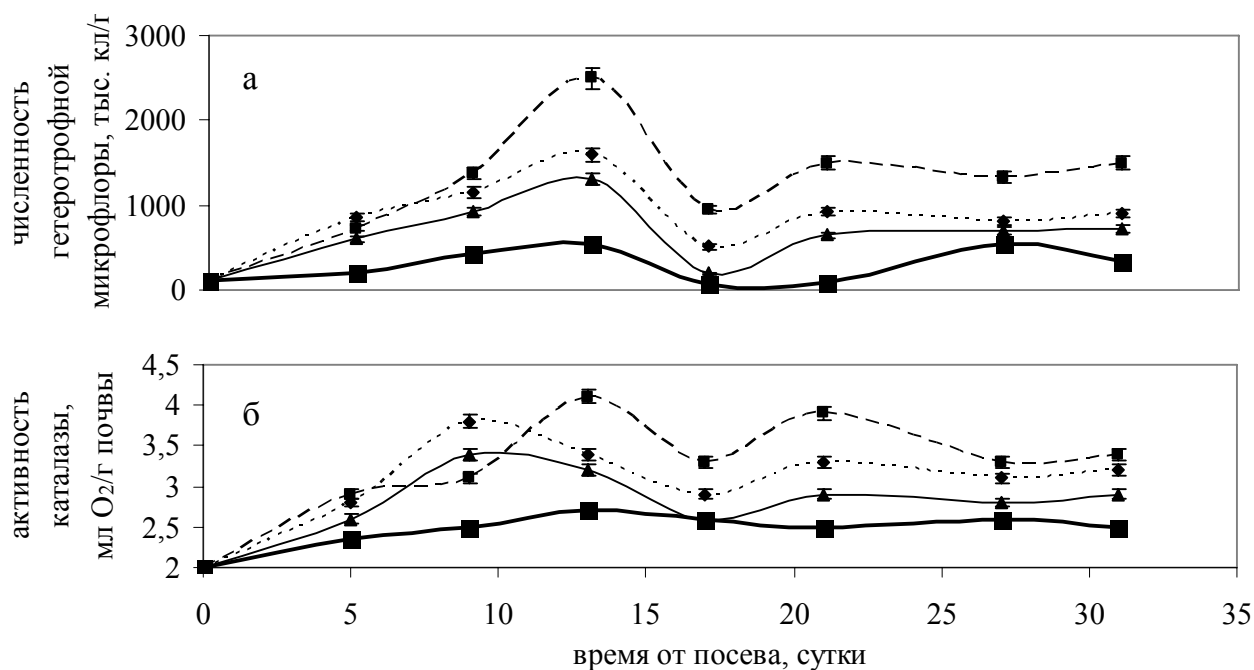


Рисунок 9 – Динамика численности гетеротрофных бактерий (а) и активности каталазы (б) в почве при выращивании *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под пленками: —■— — немодифицированной, - -■- - ФЕ-0,1, ····◆··· — — ФЕ-0,3, —▲— — ФЕ-0,5

Динамика активности каталазы и динамика увеличения численности гетеротрофных бактерий под пленкой ФЕ-0,1 коррелировали с изменением массы сухого вещества корней ( $r = 0.80$  и  $r = 0.78$  соответственно).

Полученный нами результат подтверждают литературные данные, в которых указывается на определяющее значение фотофизических свойств пленок, в изменении микроклимата в теплицах и, как следствие, микробиологических и энзиматических параметров почвы, роста и развития корневой системы растений (Scora et al., 2008). В наших исследованиях солнечный свет, прошедший через флуоресцентные пленки, повышает температуру верхних слоев почвы на 1-2 градуса. Это положительно влияет на микробиологическую активность почвы, как следствие на рост и развитие корней растений под флуоресцентными пленками и на их продуктивность в целом (рис. 10).

Результаты показывают, что динамика активности аборигенной микрофлоры почвы опосредованно сопряжена с динамикой люминесцентного излучения флуоресцентной пленки, которое участвует в регуляции продуктивности растений, в том числе и обмена веществ. Пики увеличения численности гетеротрофных бактерий и активности каталазы в почве приходятся на 3-5-е сутки после максимальной экспозиции люминесцентного излучения флуоресцентных пленок (УФ излучения, возбуждающего люминесценцию люминофора в пленке).

Таким образом, впервые экспериментально установлено, что на повышение продуктивности капусты, редьки и салата влияет интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентных пленок (Minich et. al., 2001; Минич и др., 2003, 2004, 2008). Интенсификация ростовых процессов сопряжена с изменениями уровня эндогенных фитогормонов, АК и активности

аборигенной микрофлоры почвы. Величина изменений продуктивности растений и влияние на нее интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок определяются радиационным режимом и видовой принадлежностью сельскохозяйственных культур.

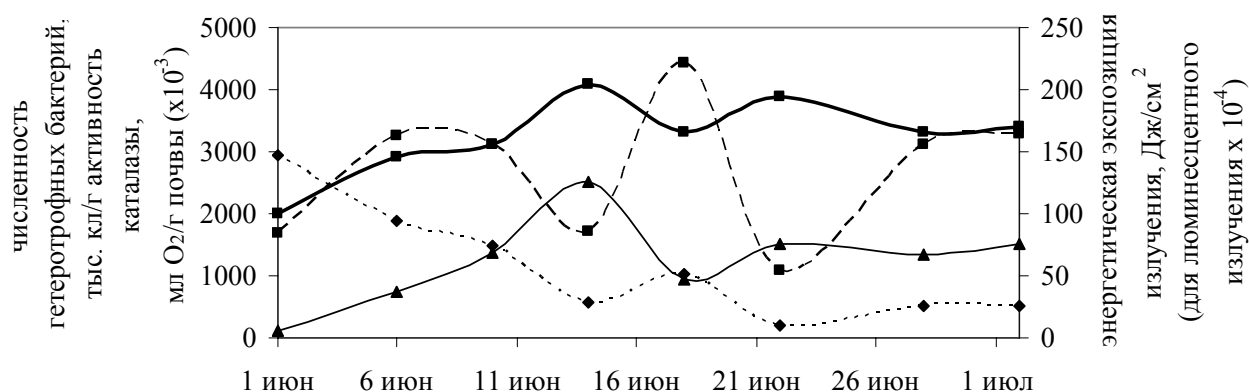


Рисунок 10 – Динамика (—■—) активности каталазы и (—■—) численности гетеротрофных бактерий в почве, (---■---) УФ-излучения Солнца и (---◆---) люминесцентного излучения флуоресцентной пленки ФЕ-0,1 при выращивании *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый в регионе Томска в 2010 году

#### 5.4. Роль люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в продуктивности растений в защищенном грунте

Исследования на *Cucumis sativus* L. сорта Примадонна показали, что при выращивании под флуоресцентной пленкой 619-0,2 относительно контроля у огурца повышается урожайность в среднем на 20 % (Минич и др., 2009а). Прирост плодов огурцов в опытной экосистеме по сравнению с контролем происходит в фазу начала плодоношения за счет более интенсивного развития репродуктивных органов и в фазу начала старения растений. Замедление процессов старения, приводящее к удлинению вегетации, увеличивает сроки репродуктивной фазы растений в опыте, что способствует дополнительному увеличению их урожайности по отношению к контролю. Изменение урожайности огурца сопряжено с накоплением АК в листьях, а с момента массового образования завязей – в плодах. Пики увеличения численности плодов огурца приходятся на 2-4-е сутки после максимальной экспозиции люминесцентного излучения флуоресцентных пленок, что указывает на его ведущую роль в активации процессов жизнедеятельности растений под флуоресцентными пленками (рис. 11).

### 6. ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И СОРТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Для растений семейства *Solanaceae* под флуоресцентными пленками установили видовую и сортовую особенности роста, развития и плодоношения (табл. 4) (Головацкая, Минич и др., 2002; Минич и др., 2009а). Относительно контроля под флуоресцентными пленками для исследуемых видов и сортов семейства Пасленовые выявлена общая закономерность – удлинение сроков

вегетации растений в среднем на 14 суток, интенсивное развитие репродуктивных органов и повышенный уровень в плодах АК (табл. 4).

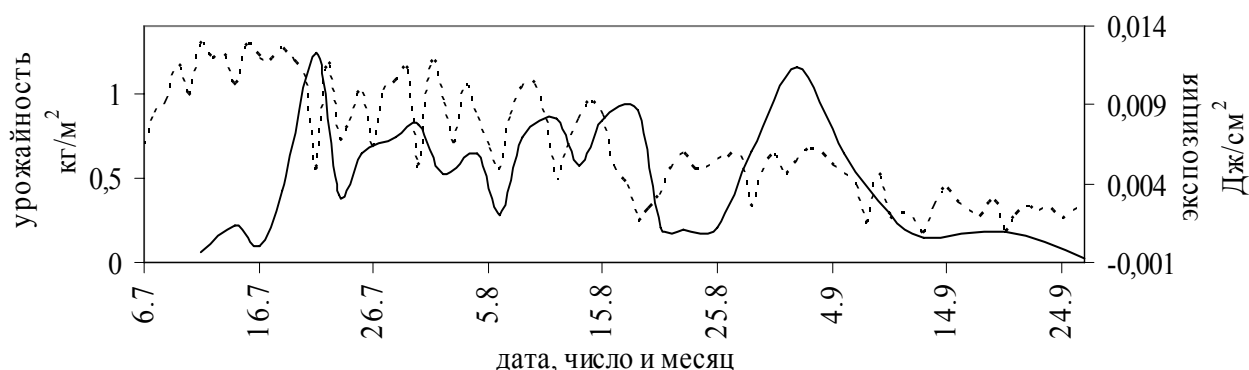


Рисунок 11 – Динамика (---) люминесцентного излучения и (—) продуктивности *Cucumis sativus* L. сорта Примадонна, выращенного в регионе Томска в период с 30 мая по 26 сентября 2008 года под флуоресцентной пленкой 619-0,2

Таблица 4 – Урожайность, содержание АК и углеводов в плодах различных видов и сортов растений семейства Solanaceae под флуоресцентными пленками

Вид растения	Сорт растения	Тип флуоресцентной пленки	Разница показателей растений под флуоресцентной и немодифицированной пленками, %			
			Кол-во плодов	Масса плодов	Урожайность	АК
Томат	Джина	619-0,2	104.8 ± 6.8	111.9 ± 1.2	117.3 ± 7.4	108.1 ± 4.1
	Ля-ля-фа	619-0,2	100.0 ± 2.2	130.8 ± 4.1	130.7 ± 8.2	112.1 ± 6.2
	Земляк	ФЕ-0,1	120.2 ± 5.2	101.8 ± 6.8	120.2 ± 5.4	117.9 ± 3.9
	Лавина	ФЕ-0,1	74.5 ± 12.1	134.3 ± 8.9	100.0 ± 5.2	116.1 ± 4.8
	Агата	ФЕ-0,1	166.7 ± 14.1	87.1 ± 6.2	144.9 ± 7.5	112.2 ± 5.2
Сладкий перец	Гогошара	ФЕ-0,1	110.2 ± 8.1	90.4 ± 2.6	97.5 ± 8.2	106.6 ± 3.0
	Миусский	ФЕ-0,1	124.0 ± 12.0	110.3 ± 6.0	133.1 ± 10.8	108.4 ± 5.0
	Подарок Молдовы	ФЕ-0,1	112.8 ± 7.1	112.5 ± 4.5	126.9 ± 7.3	107.8 ± 3.3
	Калифорнийское чудо	ФЕ-0,1	110.8 ± 5.7	114.5 ± 7.3	126.9 ± 8.2	105.9 ± 3.1
	Слоненок	ФЕ-0,1	128.8 ± 10.3	99.1 ± 5.5	130.1 ± 9.9	110.0 ± 4.9
	Богатырь	619-0,2	147.5 ± 12.2	100.4 ± 4.9	148.1 ± 14.3	109.5 ± 4.4
Баклажан	Алмаз	ФЕ-0,1	145.4 ± 11.6	100.9 ± 6.7	146.7 ± 13.7	---
		619-0,2	145.5 ± 15.2	100.4 ± 8.1	146.1 ± 10.3	---
	Барон	ФЕ-0,1	131.5 ± 7.9	99.7 ± 5.8	131.2 ± 7.8	---
		619-0,2	126.2 ± 8.0	101.0 ± 5.3	127.3 ± 9.1	---
		626-0,2	122.4 ± 6.8	100.6 ± 6.2	123.0 ± 8.4	---

Исследования по изменению продуктивности молодых растений семейства *Cucurbitaceae*, предназначенных для пересадки в открытый грунт показали, что рост и развитие растений под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,05 зависит от индивидуальных морфогенетических особенностей вида и сорта овощной культуры (Минич и др., 2009а). Общей закономерностью развития растений семейства Тыквенные под флуоресцентными пленками является более интенсивный рост стебля в толщину (рис. 12).

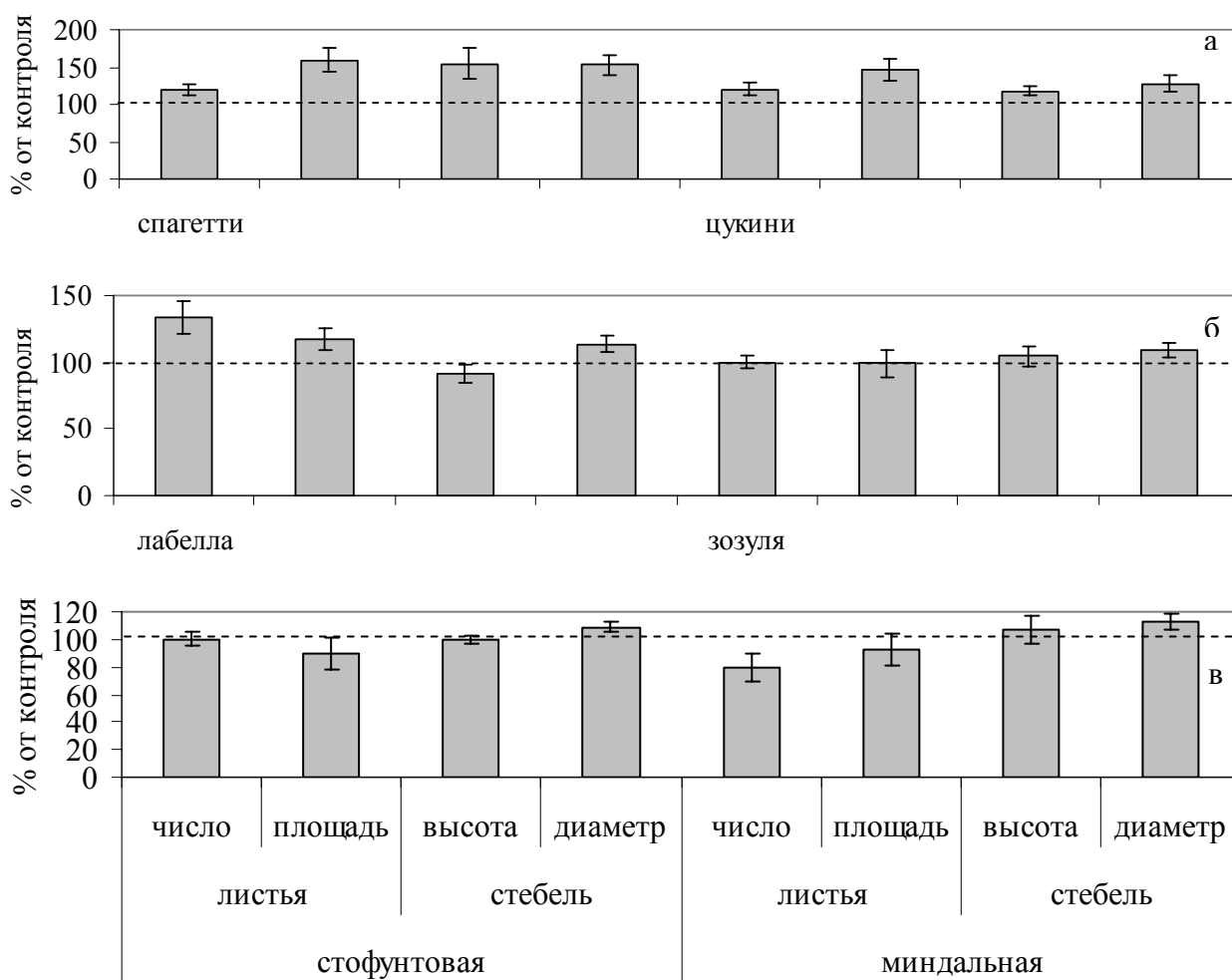


Рисунок 12 – Продуктивность 21-суточных *Cucurbita pepo* L. var. *Giraumons* Duns сортов Цукини и Спагетти (а), *Cucumis sativus* L. сортов Лабелла и Зозуля (б), *Cucurbita pepo* L. сортов Миндальная и Стофунтовая (в), выращенных в регионе Томска под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,05

Урожайность различных гибридов  $F_1$  *Cucumis sativus* значительно различается и зависит от способа выращивания растений и типа используемой флуоресцентной пленки (табл. 5). Общей закономерностью развития исследуемых гибридов огурцов под флуоресцентными пленками является интенсивный рост боковых побегов и развитие листовых пластинок. При семенном способе выращивания гибридов огурца развитие главного побега опытных растений происходит идентично контрольным растениям или наблюдается его ингибирование, при рассадном способе – удлинение главного побега в опыте за счет увеличения числа ярусов. У всех гибридов огурца под флуоресцентными пленками независимо от их типа, способа выращивания растений и изменения продуктивности отметили удлинение сроков их вегетации на 14-16 суток по сравнению с контролем, накопление в плодах АК (кроме гибрида Манул) и отсутствие изменений в уровне ФСП в листьях.

Для большинства видов и сортов капусты при выращивании под флуоресцентными пленками отметили повышение продуктивности, величина которого зависит как от вида и сорта растений, так и от типа флуоресцентной пленки. Общих закономерностей изменения продуктивности капустных

овощных растений под флуоресцентными пленками от видовой и сортовой принадлежности не выявили (Рогозин, Минич и др., 1998, 1999; Minich et al., 2001; Минич и др., 2001; Силантьева, Минич и др., 2003; Минич и др., 2003).

Таблица 5 – Урожайность, содержание АК и углеводов в плодах партенокарпических гибридов F<sub>1</sub> *Cucumis sativus* L. при выращивании в защищенном грунте в регионе Томска под флуоресцентными пленками в период с апреля по сентябрь

Гибрид огурца F <sub>1</sub>	Тип используемой флуоресцентной пленки	Разница показателей растений под флуоресцентной и немодифицированной пленкой, %			
		Кол-во плодов	Масса плода	Урожайность	АК
Примадонна	619-0,2	124.3 ± 7.7	97.0 ± 6.1	120.4 ± 6.6	178.0 ± 4.1
	ФЕ-0,05*	116.2 ± 6.9	94.8 ± 5.2	115.3 ± 5.9	154.2 ± 4.8
Зозуля	619-0,2	101.2 ± 5.8	95.7 ± 7.0	98.8 ± 6.7	136.1 ± 7.3
	ФЕ-0,05*	122.2 ± 9.4	96.9 ± 8.0	119.3 ± 8.0	110.2 ± 2.2
Маринда	619-0,2	113.3 ± 7.1	93.0 ± 8.8	105.4 ± 5.2	101.7 ± 5.5
	ФЕ-0,05*	117.5 ± 8.9	98.6 ± 5.3	116.9 ± 7.3	110.1 ± 2.5
	ФЕ-0,05	150.8 ± 9.1	99.9 ± 7.9	150.7 ± 10.4	111.3 ± 3.4
Манул	ФЕ-0,05*	77.8 ± 4.4	90.0 ± 10.8	82.1 ± 2.9	103.0 ± 6.1

\* Примечание – использовали рассадный способ выращивания

У большинства сортов **столовых корнеплодов *Raphanus sativus* var. *Raticula* L.** под флуоресцентными пленками относительно контроля наблюдали повышение продуктивности на 8-11 %. Установили общую закономерность – увеличение уровня АК от 9 до 34 %. Для *Raphanus sativus* L. увеличение массы корнеплодов отметили под всеми флуоресцентными пленками, которое сопровождается накоплением АК в корнеплодах. Исключение составили экосистемы под флуоресцентными пленками с максимумом 630 нм, в которых достоверных изменений продуктивности не выявили.

У 20-суточного *Lactuca sativa* сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками отметили увеличение продуктивности в 1.15-1.50 раза в зависимости от типа пленки и времени выращивания. К 40 суткам установили уменьшение продуктивности растений вследствие перехода их в репродуктивную фазу развития, что сопряжено с изменением уровня АК (Головацкая, Минич и др., 2002; Минич и др., 2008).

## 7. ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ ПРИ СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ И ДРУГИХ ТИПОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЕНОК

### 7.1. Продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентной и гидрофильной пленками

Для 4-х исследуемых гибридов F<sub>1</sub> *Cucumis sativus* в опыте отметили интенсивное развитие побега, сопровождавшееся более быстрым формированием ярусов, удлинением междоузлий, развитием листовых пластинок и формированием плодов. Это привело к сокращению срока начала плодоношения и повышению урожайности растений в опытной теплице (за счет увеличения числа плодов на растениях), которая определялась гибридной

принадлежностью огурца. К моменту ликвидации растений урожайность в опыте превышала контроль у гибридов Виллина, Миракл, Валентина и Татьяна соответственно на 86, 45, 16 и 17 %.

## 7.2. Продуктивность растений в защищенном грунте под окрашенными флуоресцентными пленками

Для *Brassica oleracea var. capitata* (L.) Pers. под окрашенными флуоресцентными пленками отметили ингибирование развития листовой поверхности и роста стебля в толщину по сравнению с растениями, выращенными под немодифицированной пленкой: под флуоресцентными пленками с красными красителями – на 5-10 %, с синим красителем – на 18-30 % (рис. 13).

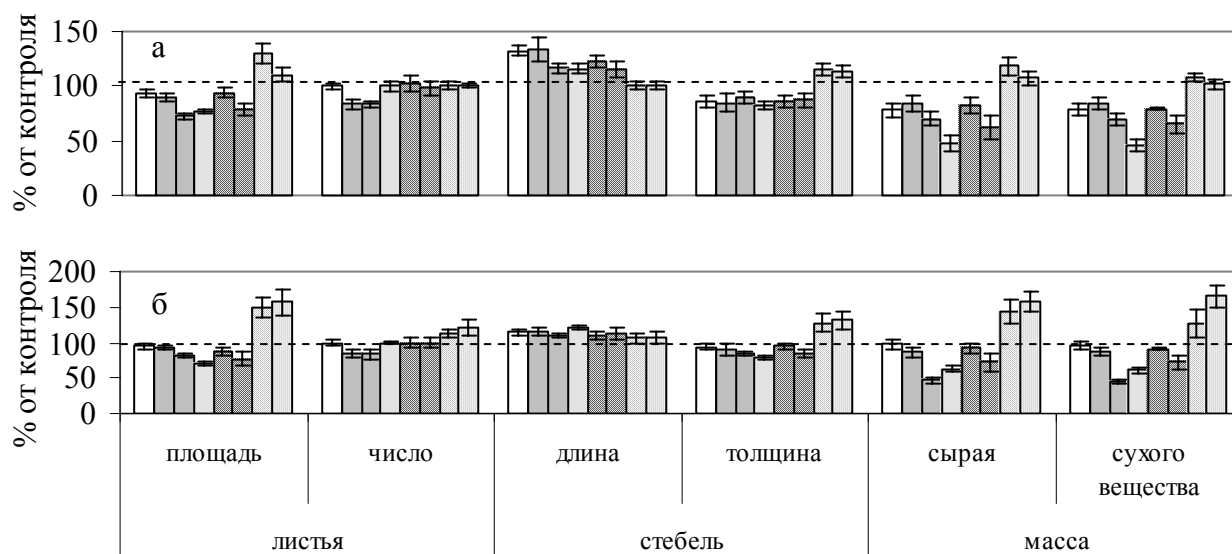


Рисунок 13 – Продуктивность 30-суточной *Brassica oleracea var. capitata* L. сортов Точка (а) и Надежда (б), выращенных под пленками: □ – ФЕ-К1, ■ – ФЕ-К2, ▨ – ФЕ-С, ▩ – 447-С, ▪ – П-1, ▫ – С, ▧ – ФЕ-0,05, ▨ – 447-2,0

Изменения продуктивности растений под флуоресцентными пленками с красителями сходны с изменениями под окрашенными пленками, не содержащими люминофоров, и кардинально отличаются от изменений под флуоресцентными пленками без красителей. Это указывает на то, что основная роль в изменении регуляции ростовых процессов растений под ними принадлежит красителям, т.е. такие пленки являются не флуоресцентными, а фотоселективными. Под всеми пленками, содержащими красители, растения капусты были тонкими и вытянутыми по сравнению с растениями, выращенными под флуоресцентными пленками без красителей и в контроле. Такой габитус растений показывает, что уменьшение продуктивности растений под пленками с красителями связано с недостатком ФАР (Клешнин, 1955) из-за их пониженной светопрозрачности (табл. 1). Это подтверждается значениями PPFD – под окрашенными пленками она ниже, чем под немодифицированной и флуоресцентными пленками соответственно на 14.4-25.6 % и на 11.6-25.1 %.

Уменьшение освещенности растений в сооружениях защищенного грунта, огражденных пленками с красителями, приводит к изменениям в содержании

ФСР. В листьях растений, выращенных под пленками с красными красителями, по сравнению с контролем отметили в среднем на 10 % уменьшенный уровень Хл *a* и повышенное содержание Хл *b*, а у растений под пленками с синим красителем – повышенный уровень Хл *a*.

Таким образом, окрашивание флуоресцентных пленок красителями приводит к значительному снижению их светопрозрачности. Применение таких пленок в качестве ограждений культивационных сооружений в регионе средней полосы России не способствуют оптимизации световых условий защищенного грунта и увеличению продуктивности растений под ними.

## **8. ПРОДУКТИВНОСТЬ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ПЛЕНКАМИ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ**

В естественных условиях является проблемным выяснение конкретных значений каждой из сторон солнечной радиации для роста и развития растений, так как световой режим часто бывает ниже оптимального за счет постоянно изменяющихся свойств атмосферы. Исследования в контролируемых условиях позволяют более точно изучать потенциальные свойства растений, выработанные в природной обстановке, и учитывать их при разработке теории и практики оптимизации продуктивности (Шульгин, 1973; Тихомиров и др., 1991, 2000; Berninger, 1994).

### **8.1. Рост, развитие и продуктивность *Arabidopsis Ler*, *hy3* и *hy4* при адаптации к УФ-А излучению в составе комбинированного светового потока**

С начальных этапов онтогенеза у *Arabidopsis* всех исследуемых линий отметили ингибирующее действие УФ-А излучения на ростовые процессы растений, причем с увеличением интенсивности УФ-А излучения ингибирующее действие проявляется сильнее. У растений *Ler*, *hy4* и *hy3* на КМС прорастание семян, распрямление изгиба гипокотилия и раскрытие семядолей наблюдали на 1-2 суток позже по сравнению с растениями соответствующих линий на БС, что способствовало удлинению вегетации *Arabidopsis* на КМС до 7-11 суток.

Адаптация всех линий *Arabidopsis* на экспозицию УФ-А светом сопровождалась формированием меньшего размера листовых пластинок, длины главного и боковых цветоносных побегов. Для *Arabidopsis thaliana Ler* на КМС площадь поверхности листьев и длина главного цветоносного побега относительно контроля в среднем меньше в 2-4 раза, для растений *hy3* – в 3-8 раз, для растений *hy4* – соответственно в 2-14 раза и в 1.5-3 раза.

При соотношении УФ-А лучей и БС 1:360 наблюдали формирование большего числа семян в стручках всех линий *Arabidopsis* и увеличение семенной продуктивности *hy4*, что связано с его дефектом по структуре *CRY1*. Повышение доли УФ-А радиации ингибирует процессы формирования, роста и развития репродуктивных органов, как следствие приводит к уменьшению реальной семенной продуктивности растений *Ler* на КМС-2 и КМС-3 – в 2.3 и в 2.8 раза, *hy4* – соответственно в 2.0 и в 2.5 раза (рис. 14).

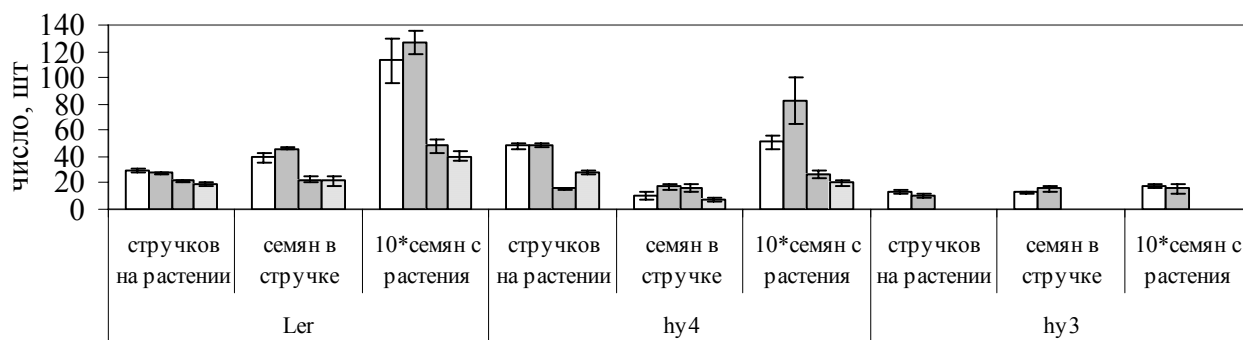


Рисунок 14 – Реальная семенная продуктивность *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler*, *hy4* и *hy3* на момент окончания вегетации в зависимости от условий освещения: □ – БС, ■ – КМС-1, ▨ – КМС-2, ▩ – КМС-3

Облучение УФ-А светом *Arabidopsis Ler* и *hy4* понижает уровень ИУК и усиливает накопление АБК и АК, причем увеличение интенсивности УФ-А излучения в световом потоке приводит к понижению соотношения ИУК/АБК (табл. 6) и увеличению уровня АК, что является защитной реакцией растений в ответ на УФ-А облучение и отражается в ингибировании их ростовых реакций и семенной продуктивности (Arrigoni, De Tullio, 2002; Endres, Tenhaken, 2009).

Таблица 6 – Содержание эндогенных АБК и ИУК в растениях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler* и *hy4* в зависимости от условий освещения

Вариант освещения растений	Возраст растений, сутки	Содержание гормонов, нг/растение			
		Свободная ИУК		Свободная АБК	
		<i>Ler</i>	<i>hy4</i>	<i>Ler</i>	<i>hy4</i>
БС	21	1.26 ± 0.12	следы	1.54 ± 0.10	0.62 ± 0.03
	28	5.55 ± 0.17	6.89 ± 1.72	следы	0.54 ± 0.04
	35	27.68 ± 0.61	2.53 ± 0.13	6.25 ± 0.33	следы
КМС-2	21	1.37 ± 0.07	0.17 ± 0.03	1.26 ± 0.12	0.46 ± 0.02
	28	0.28 ± 0.02	0.05 ± 0.01	2.09 ± 0.21	0.68 ± 0.05
	35	6.92 ± 0.31	следы	10.45 ± 0.50	5.72 ± 0.23
КМС-3	21	0.83 ± 0.6	3.54 ± 0.17	1.87 ± 0.07	0.68 ± 0.03
	28	1.04 ± 0.07	0.05 ± 0.01	3.20 ± 0.31	следы
	35	0.28 ± 0.02	следы	0.83 ± 0.14	15.26 ± 1.98

Для *Arabidopsis Ler*, *hy3* и *hy4* наличие в световом спектре УФ-А лучей в соотношении с БС 1:360 не приводит к изменениям уровня ФСП по сравнению с растениями, выращенными на БС. Повышение интенсивности УФ-А излучения до 1:180 способствует увеличению соотношения Хл *a/b* и Хл (*a+b*)/Кар у растений *Ler*, а у мутанта *hy4*, дефектному по *CRY1*, понижению за счет уменьшения уровня Хл *a*. Это указывает на возможность участия криптохрома в адаптации растений к УФ-А излучению. В условиях КМС-3 облучения на начальных этапах онтогенеза у растений *Ler* и *hy4* происходит накопление Хл и Кар.

Таким образом, результаты исследований в условиях светокультуры подтверждают полученные нами в естественных условиях данные об ингибирующем влиянии на продуктивность растений УФ-А излучения.



Уменьшение интенсивности УФ-А лучей в световом потоке способствует активации роста и развития растений, увеличению их биомассы и повышению продуктивности, что достигается в защищенном грунте использованием флуоресцентных пленок в качестве укрытий культивационных сооружений.

### 8.2. Рост, развитие и продуктивность *Arabidopsis Ler*, *hy3* и *hy4* под флуоресцентной пленкой с максимумом люминесцентного излучения 447 нм

У *Arabidopsis* исследуемых линий под флуоресцентной пленкой 447-2,0 с момента образования настоящих листьев отметили формирование всех органов на 1-2-е суток раньше, чем под немодифицированной пленкой. В опыте наблюдали интенсивный рост розеточных листьев и увеличение площади ассимилирующей поверхности, не связанные с изменением уровня ФСП в листьях растений. У растений *Ler* и *hy3* не отметили изменений в развитии репродуктивных органов и их реальной семенной продуктивности, у мутанта *hy4* в опыте – увеличение.

### 8.3. Рост, развитие и продуктивность *Arabidopsis Ler*, *hy3* и *hy4* под флуоресцентной пленкой с максимумом люминесцентного излучения 615 нм

У растений *Ler* и *hy4* под флуоресцентной пленкой отметили увеличение (у мутанта *hy3* уменьшение) продуктивности зеленой массы и семенной продуктивности по сравнению с растениями данных линий, выращенными под немодифицированной пленкой, что связано с изменением содержания в них эндогенных фитогормонов (табл. 7).

Полученные нами в светокультуре результаты показывают, что прошедший через флуоресцентные пленки свет, оказывает регуляторное действие на состояние гормонального баланса растений, меняя соотношение ростовых веществ, тем самым изменяет скорость ростовых реакций, что отражается на продуктивности растений. Различные ответные ростовые реакции *Arabidopsis Ler* и мутантов *hy4* и *hy3*, имеющих дефект по структуре *CRY1* и *PHYB* соответственно, на люминесцентное излучение указывают на участие фитохромов и криптохромов в регуляции морфогенеза и продуктивности растений под флуоресцентными пленками.

Таблица 7 – Содержание гормонов в растениях *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Ler*, *hy4* и *hy3* под немодифицированной (контроль) и флуоресцентной ФЕ-0,1 (опыт) пленками на КМС-4

Линии <i>Arabidopsis</i>		Содержание гормонов нг/растение			
		свободная ИУК	свободная АБК	З	ЗР
<i>Ler</i>	контроль	0.63 ± 0.10	0.67 ± 0.23	3.48 ± 1.38	0.09 ± 0.05
	опыт	9.03 ± 2.97	0.37 ± 0.04	11.45 ± 1.71	0.11 ± 0.07
<i>hy4</i>	контроль	1.18 ± 0.36	4.11 ± 1.31	0.36 ± 0.09	0.88 ± 0.47
	опыт	следы	0.93 ± 0.36	0.03 ± 0.00	0.58 ± 0.06
<i>hy3</i>	контроль	3.82 ± 1.32	0.11 ± 0.04	0.23 ± 0.02	0.01 ± 0.00
	опыт	0.67 ± 0.22	0.03 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.04 ± 0.02

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных нами результатов исследований показывает, что воздействие солнечного излучения, проходящего через флуоресцентные пленки, на морфогенез и продуктивность растений является сложным явлением, затрагивающим экологические, физиологические, биохимические и микробиологические процессы. На основании обобщения результатов проведенных исследований и литературных данных нами составлена схема влияния солнечного света, прошедшего через флуоресцентные пленки, на морфогенез и продуктивность растений (рис. 15).

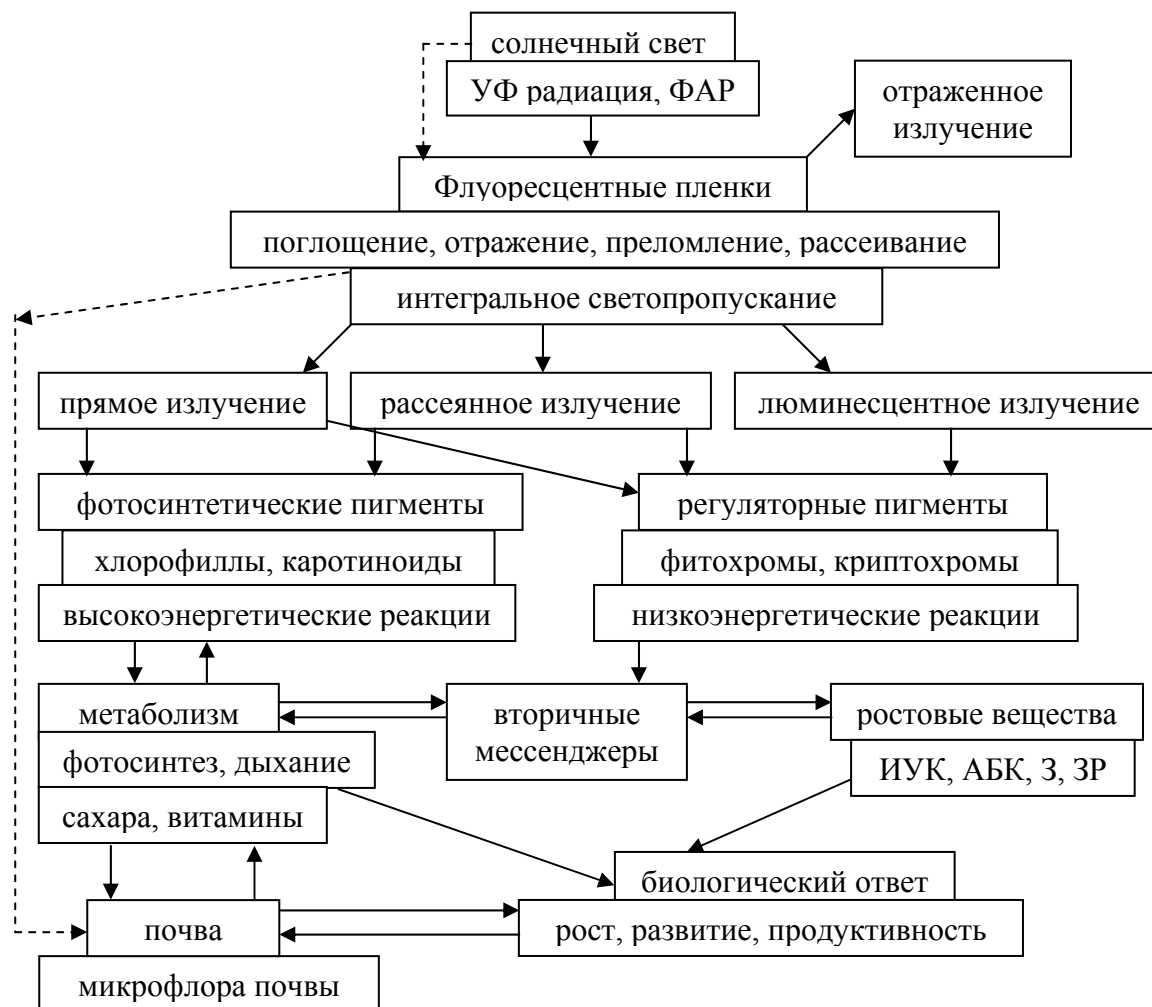


Рисунок 15 – Схема влияния солнечного излучения на продуктивность растений в защищенном грунте под флуоресцентными пленками: → – существующие пути, - -> – возможные пути.

Экологические аспекты определяются совокупностью изменяющихся абиотических факторов внешней среды – температурой воздуха, качеством и интенсивностью солнечного излучения, зависящих от состояния атмосферы, времени года, географической широты. УФ излучение со среднедневной энергетической экспозицией менее 99-160 Дж/см<sup>2</sup>д (в зависимости от культуры) не способствует возбуждению люминесцентного излучения флуоресцентных пленок оптимальной интенсивности, обеспечивающей изменение протекания низкоэнергетических реакций в растениях и меняющих их морфогенез и

продуктивность в целом.

Наряду с солнечным излучением световой режим внутри культивационных сооружений определяют фотофизические свойства флуоресцентных пленок, которые зависят от типа и содержания используемого для их модификации люминофора. Его дисперсный состав, распределение в полимерной матрице, способность поглощать, отражать и рассеивать солнечный свет, а также интенсивно и продолжительно люминесцировать в определенном диапазоне длин волн определяют совокупность излучения в защищенном грунте под флуоресцентными пленками. Повышение продуктивности растений под ними определяется способностью таких пленок уменьшать интенсивность УФ радиации за счет частичного его поглощения, изменять соотношение прямых и рассеянных лучей, падающих на растения, и люминесцировать в узком диапазоне длин волн красной или синей области спектра. Основным фактором в изменении продуктивности растений под флуоресцентными пленками является интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентных пленок.

Наличие и величина ответных ростовых процессов растений на люминесцентное излучение флуоресцентных пленок определяется спецификой их морфогенетических особенностей. У различных видов растений, относящихся к одному семейству, выявлены общие закономерности роста, развития и продуктивности в защищенном грунте под флуоресцентными пленками, связанные с изменением морфометрических и некоторых биохимических параметров.

Регуляция морфогенеза растений происходит за счет влияния люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на фитохромную и криптохромную систему, что приводит к изменению протекания низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений (Красновский, 1975; Воскресенская, 1987). Под флуоресцентными пленками изменяется уровень ростовых веществ и АК, что способствует ускоренному росту и развитию всех исследованных культур на начальном этапе онтогенеза, причем активизируется развитие как надземной части растений, так их корневой системы. Это влияет на деятельность аборигенной микрофлоры почвы, в частности, увеличивает уровень гетеротрофных бактерий и активность каталазы, что интенсифицирует обмен веществ и отражается на продуктивности растений в целом.

## **ВЫВОДЫ**

1. Установлено, что лимитирующим фактором продуктивности растений под флуоресцентными пленками с максимумами люминесцентного излучения 447, 612, 615, 619, 626 и 630 нм является температура воздуха. При оптимальном температурном режиме продуктивность растений под флуоресцентными пленками регулируется особенностями светового режима, создаваемого изменяющимися факторами внешней среды и спецификой фотофизических свойств пленок.
2. Впервые установлено, что повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками на 2/3 определяется их люминесцентным

излучением, на  $1/3$  – уменьшением ими интенсивности УФ радиации в солнечном излучении за счет частичного его поглощения и изменением соотношения рассеянного и прямого излучения падающего на растения.

3. Определено, что величина физиологических ответов растений не зависит от длины волны люминесцентного излучения флуоресцентных пленок в диапазоне максимумов 447, 612, 615, 619 и 626 нм, а определяется их интенсивностью, связанной с энергетической экспозицией УФ радиации солнца. Впервые установлено, что для повышения продуктивности растений под флуоресцентными пленками минимальной является суммарная среднедневная энергетическая экспозиция УФ излучения солнца 99-160 Дж/см<sup>2</sup>д.
4. Установлено, что повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками происходит за счет их ускоренного роста на начальном этапе онтогенеза, интенсивного развития листовой поверхности и репродуктивных органов, изменения уровня эндогенных фитогормонов, аскорбиновой кислоты и активности аборигенной микрофлоры почвы.
5. Установлено, что сельскохозяйственные растения, относящиеся к одному семейству, проявляют под флуоресцентными пленками общие закономерности изменения продуктивности, наличие и величина изменений определяются их видовой и сортовой спецификой.
6. Выявлено участие фитохромов и криптохромов в регуляции морфогенеза растений под флуоресцентными пленками, сопряженного с изменением уровня эндогенных ИУК, АБК, зеатина и зеатинрибозида. Повышение продуктивности растений происходит за счет влияния люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на протекание низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений.
7. Впервые установлено, что совместное использование флуоресцентных и гидрофильных полиэтиленовых пленок в качестве двухслойного покрытия культивационных сооружений улучшает условия жизнедеятельности растений и повышает их продуктивность.
8. Впервые установлено, что окрашенные флуоресцентные пленки по своим фотофизическим свойствам являются фотоселективными и при недостатке ФАР их использование в практике защищенного грунта приводит к понижению продуктивности растений.

### **Список основных работ, опубликованных по теме диссертации**

#### ***Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК***

1. **Минич А.С.** Способ измерения интенсивности люминесценции фотокорректирующих полиэтиленовых пленок сельскохозяйственного назначения / А.С. Минич, В.С. Райда, Р.А. Майер и др. // Пластические массы. – 1992. – № 6. – С. 59–60.
2. **Минич А.С.** Лабораторный метод определения срока службы люминофора в фотокорректирующих пленках / А.С. Минич, В.С. Райда // Пластические массы. – 1998. – № 5. – С. 34.
3. Райда В.С. Технология производства светокорректирующих полиэтиленовых пленок для сельского хозяйства / В.С. Райда, **А.С. Минич**, Е.О. Коваль и др. // Химическая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 56–58.

4. Raida V.S. Absorption of UV radiation by polyethylene films with addition of luminophores based on europium compounds / V.S. Raida, E.O. Koval, **A.S. Minich** et al. // International Polymer Science and Technology. – 2001. – Vol. 28. – № 11. – P. 57–59.

5. Райда В.С. Исследование взаимного влияния стабилизаторов и фотолуминофоров на основе комплексных соединений европия в светокорректирующих полиэтиленовых пленках / В.С. Райда, С.Д. Долматова, **А.С. Минич** и др. // Пластические массы. – 2002. – № 11. – С. 37–40.

6. Головацкая И.Ф. Физиолого-биохимические особенности роста и продуктивности овощных культур при выращивании под светокорректирующими пленками / И.Ф. Головацкая В.С. Райда, **А.С. Минич** и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2002. – № 5. – С. 47–51.

7. **Минич А.С.** Биологическое тестирование светокорректирующих пленок в условиях закрытого грунта при выращивании белокочанной капусты / А.С. Минич, И.Б. Минич, В.С. Райда и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 3. – С. 112–115.

8. **Минич А.С.** Влияние метеоусловий на эффективность использования светокорректирующих пленок для ограждения закрытого грунта при выращивании растений в условиях региона г. Томска / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2003. – Вып. 4 (36). Сер. Естественные и точные науки. – С. 39–44.

9. **Минич А.С.** Биологическое тестирование светокорректирующих пленок при выращивании редьки в закрытом грунте / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2004. – Вып. 6 (43). Сер. Естественные и точные науки. – С. 36–39.

10. **Минич А.С.** Исследование возбуждаемой солнечным излучением флуоресценции дисперсных фотолуминофоров на основе соединений европия и светокорректирующих полиэтиленовых пленок / А.С. Минич, А.Е. Иваницкий, В.С. Райда и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2004. – Вып. 6 (43). Сер. Естественные и точные науки. – С. 40–44.

11. **Минич А.С.** Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова и др. // Физиология растений. – 2006. – Т.53, № 6. – С. 863–868.

12. **Минич А.С.** Влияние УФ-А и красного люминесцентного излучения низкой интенсивности на рост и развитие *Arabidopsis thaliana* / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2006. – Вып. 6 (57). Сер. Естественные и точные науки. – С. 73–79.

13. **Минич А.С.** Синтез аскорбиновой кислоты и морфогенез *Arabidopsis thaliana* при адаптации к УФ-А излучению / А.С. Минич, И.Б. Минич, О.В. Шайтарова и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2009. – Вып. 6 (84). – С. 126–131.

14. **Минич А.С.** Использование фотолуминесцентной и гидрофильной пленок для повышения продуктивности огурца посевого в защищенном грунте / А.С. Минич, И.Б. Минич, О.В. Шайтарова и др. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 1 (2). – С. 97–101.

15. **Минич А.С.** Определение вклада люминесцентного излучения полиэтиленовых пленок с фотолуминофорами на основе соединений европия в увеличение продуктивности растений в защищенном грунте / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2010. – Вып. 3 (93). – С. 22–26.

16. **Минич А.С.** Особенности роста растений и продуктивность у гибридов огурца при выращивании под фотолуминесцентной и гидрофильной пленками / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленьчукова и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – №1. – С. 81–85.

### **Патенты РФ**

17. Патент 2047623 РФ, МПК<sup>6</sup> C08L23/04, C08K5/56. Полимерная композиция для получения пленок / **А.С. Минич**, В.С. Райда, Р.А. Майер и др.; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма «Сиалго», ТОО «Тэком». – Оpubл. 10.11.95. Бюл. № 31.
18. Патент 2047624 РФ, МПК<sup>6</sup> C08L23/04, C08K5/56. Полимерная композиция для получения пленок / **А.С. Минич**, В.С. Райда, Р.А. и др.; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма «Сиалго», ТОО «Тэком». – Оpubл. 10.11.95. Бюл. № 31.
19. Патент 2178429 РФ, МПК<sup>7</sup> C08L23/04. Полимерная композиция / **А.С. Минич**, В.С. Райда, Э.А. Майер; заявитель и патентообладатель Институт химии нефти СО РАН. – Оpubл. 20.01.02. Бюл. № 2.
20. Заявка 2010107523 РФ, МКИ<sup>7</sup> C 08L23/04. Полимерная композиция / **А.С. Минич**, В.С. Райда, А.Е. Иваницкий и др. (Россия): ООО «Томскнефтехим» (Россия). – заявл. 01.03.10; положит. решение о выдаче патента 03.06.11 // URL: <http://www.fips.ru>.

### **Статьи в других изданиях**

21. **Минич А.С.** Разработка рецептур композиций ПЭВД, обладающих люминесцентными свойствами / А.С. Минич, В.С. Райда // Труды 4-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1990 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1990. – С. 38.
22. **Минич А.С.** Исследование технологических и эксплуатационных свойств композиций ПЭВД с люминофорами / А.С. Минич, В.С. Райда, Э.Н. Грозная и др. // Труды 5-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1991 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1991. – С. 48–49.
23. **Минич А.С.** Разработка методов определения оптических свойств пленок типа «Полисветан» / А.С. Минич, В.С. Райда, А.П. Баталов // Там же. – С. 166–167.
24. **Минич А.С.** Технология получения и эксплуатационные свойства фотокорректирующих полиэтиленовых пленок типа «Полисветан» для покрытия теплиц и парников / А.С. Минич, В.С. Райда, Э.Г. Поле // Труды Всесоюзного научно-практического семинара «Полимеры в овощеводстве и садоводстве», 9-11 октября 1991 г., Нальчик. – М.: Агрополимер, 1991. – С. 36–37.
25. **Минич А.С.** Метод ускоренных испытаний фотостойкости люминофоров в фотокорректирующих пленках / А.С. Минич, В.С. Райда // Труды 6-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1992 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1992. – С. 53–54.
26. **Минич А.С.** Методики определения размера частиц люминофоров, используемых в композициях ПЭВД / А.С. Минич, В.С. Райда, С.Н. Богдан // Там же – С. 52.
27. **Минич А.С.** Влияние состава люминофоров на основе комплексных соединений РЗЭ на свойства фотокорректирующих композиций ПЭВД / А.С. Минич, В.С. Райда // Там же. – С. 52–53.
28. **Минич А.С.** Стабилизация фотокорректирующих полиэтиленовых пленок / А.С. Минич // Труды 8-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1994 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1994. – С. 27.
29. **Минич А.С.** Влияние способа получения композиций ПЭВД с люминофором на свойства изготавливаемых из них пленок / А.С. Минич, В.С. Райда // Труды 9-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1995 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1995. – С. 38–39.
30. **Минич А.С.** Влияние типа люминофора в фотокорректирующих полиэтиленовых пленках на продолжительность срока их эксплуатации и хранения / А.С. Минич, В.С. Райда, В.С. Клепикова // Труды 10-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК», май 1995 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1996. – С. 66.
31. **Минич А.С.** Результаты сельскохозяйственных испытаний фотокорректирующей полиэтиленовой пленки / А.С. Минич, В.С. Райда, В.С. Клепикова и др. // Там же. – С. 65.

32. **Минич А.С.** Светокорректирующие теплоудерживающие пленки для выращивания сельскохозяйственных культур в условиях закрытого грунта / А.С. Минич, В.С. Райда, Р.А. Майер // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Химия в интересах успешного развития региона»*. Иркутск. – Иркутск: 1998. – С. 36–37.
33. **Минич А.С.** Проблемы и перспективы производства и применения светокорректирующих полимерных пленок / А.С. Минич, В.С. Райда, Э.А. Майер // *Сборник статей «Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства»* / Под. ред. В.С. Райды. – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1998. – С. 5–17.
34. Рогозин В.И. Опыт использования светокорректирующих пленок на агробиостанции Томского государственного университета / В.И. Рогозин, **А.С. Минич**, В.С. Райда // Там же. – С. 50–56.
35. Рогозин В.И. Испытания светокорректирующей полиэтиленовой пленки по выращиванию рассады капусты на агробиостанции ТГПУ / В.И. Рогозин, **А.С. Минич** // *Труды Всероссийской научно-практической конференции «Сибирская школа молодого ученого»*, 21–23 декабря 1998 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 1999. – Т. 5. – С. 64–67.
36. **Минич А.С.** Биологическое тестирование пленок для закрытого грунта с различными фотофизическими свойствами / А.С. Минич, И.Б. Минич, А.Е. Иваницкий и др. // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. – 2000. – Вып. 2 (18). Сер. Естественные и точные науки. – С. 70–73.
37. Минич И.Б. Об опыте использования светокорректирующих пленок для закрытого грунта на агробиостанции / И.Б. Минич, **А.С. Минич**, В.И. Рогозин // *Труды Международного конгресса «Наука, образование, культура на рубеже тысячелетий»*, 20–22 декабря 1999 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, ТГПУ, 2000. – Т. 1. – С. 167–171.
38. Кутявина О.В. Биологическое тестирование светокорректирующих полиэтиленовых пленок, выпускаемых ОАО «Полимер» / О.В. Кутявина, И.Б. Минич, **А.С. Минич** // *Материалы V Всероссийской конференции «III Сибирская школа молодого ученого»*, 22–23 декабря 2000 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2001. – Т. 1. – С. 39–42.
39. Семенов О.М. Выращивание рассады белокочанной и цветной капусты под светокорректирующей полиэтиленовой пленкой / О.М. Семенов, М.В. Гончарик, **А.С. Минич** и др. // Там же. – С. 57–61.
40. Маховикова О.И. Влияние метеоусловий на жизнедеятельность рассады капусты сорта «Надежда» при выращивании под светокорректирующими пленками / О.И. Маховикова, И.Б. Минич, **А.С. Минич** и др. // *Материалы V Общероссийской конференции «Наука и образование»*, 23–26 апреля 2001 г., Томск. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2003. – Т. 1. – С. 297–300.
41. Силантьева А.Д. Жизнедеятельность рассады капусты сортов «Надежда» и «Точка» под светокорректирующими пленками, выпускаемыми предприятиями Западной Сибири / А.Д. Силантьева, И.Б. Минич, **А.С. Минич** и др. // Там же. – С. 336–340.
42. Minich I. Biological test of adjusting light films / I. Minich, **A. Minich**, R. Karnachuk et al. // *5<sup>th</sup> Korea-Russia International Symposium on Science and Technology*, 26 June – 3 July 2001. Tomsk. – Tomsk: TPU, 2001. – Vol. 2. – P. 77–80.
43. Акимов А.В. Принцип подбора стабилизаторов для светокорректирующих пленок / А.В. Акимов, Е.О. Коваль, **А.С. Минич** и др. // *Труды Международной IX конференции «Деструкция и стабилизация»*, 16–20 апреля 2001 г., Москва. – М.: РАН, 2001. – С. 4–5.
44. Raida V.S. Fluorescent polymer films – filter-solar radiation converters intended to regulate plant growth and development / V.S. Raida, **A.S. Minich**, A.E. Ivanitsky et al. / *Ninth joint international symposium on atmospheric and ocean optics / Atmospheric physics. Part II: laser sensing and atmospheric physics*, 2–5 July 2002, Tomsk, Russia. – Bellingham, Washington: Proceedings of SPIE. – 2003. – Vol. 2057. – P. 197–200.

45. **Минич А.С.** Морфогенез и фитогормоны *Arabidopsis thaliana* при адаптации к селективному свету / А.С.Минич, И.Б. Минич, Р.А. Карначук и др. // Труды Международной конференции «Проблемы физиологии растений Севера», 15-18 июня 2004 г., Петрозаводск. – Петрозаводск: 2004. – С. 85.

46. Belan B.D. Determination of energy irradiance of vegetation by the luminescent radiation of light-correcting films at solar radiation excitation / B.D. Belan, A.I. Fedorov, **A.S. Minich** et al. // The 7<sup>th</sup> international conference «Atomic and molecular pulsed lasers», 12-16 September 2005, Tomsk. – Tomsk: IAO SB RSA, 2005. – P. 101.

47. **Минич А.С.** Продуктивность огурца в закрытом грунте под модифицированными пленками / А.С. Минич И.Б. Минич, Н.С. Зеленчукова // Материалы Международной научно-практической конференции «Регуляция продукционного процесса сельскохозяйственных растений», Орёл. – Орёл: Изд-во Орлов. гос. ун-та, 2005. – С. 41–48.

48. **Минич А.С.** Морфогенез *Arabidopsis thaliana* на комбинированном свете с УФ-А составляющей / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленчукова и др. // Труды Международной конференции «Современная физиология растений: от молекул до экосистем». Ч. 1, 18-24 июня 2007 г., Сыктывкар. – Сыктывкар: Изд-во СГУ, 2007. – С. 319–320.

49. **Минич А.С.** Фотоморфогенез *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh дикого типа и мутанта *hy4* при адаптации к УФ-А излучению / А.С. Минич, И.Б. Минич, Н.С. Зеленчукова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов», 29 ноября 2007 г., Ярославль. – Ярославль: Изд-во ЯГУ, 2007. – С. 57–62.

50. **Минич А.С.** Защита растений салата от УФ радиации в защищённом грунте и повышение продуктивности за счёт использования светокорректирующих плёнок / А.С. Минич И.Б. Минич, О.В. Шайтарова // Сборник статей IV Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России», февраль 2008 г., Пенза. – Пенза: Изд-во РИО ПГСХА, 2008. – С. 299–301.

51. **Минич А.С.** 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 и др. // Труды Международной научной конференции «Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений», 6-10 октября 2008 г., Екатеринбург. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. – С. 284–285.

52. **Минич А.С.** Влияние стратификации на морфогенез и семенную продуктивность *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh Ler, *hy3* и *hy4* / А.С. Минич, И.Б. Минич, О.В. Шайтарова и др. // Там же. – С. 286–287.

53. **Минич А.С.** Изменения в морфогенезе и синтезе аскорбиновой кислоты *Arabidopsis thaliana* при облучении УФ-А светом низкой интенсивности / А.С. Минич, И.Б. Минич, О.В. Шайтарова и др. // Труды Международной научной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях крайнего Севера», 7-11 июня 2009 г., Апатиты, Мурманская обл. – Апатиты: 2009. – С. 233–234.

54. **Минич А.С.** Фотофлуоресцентная пленка нового поколения – эффективный материал для выращивания растений в защищенном грунте / А.С. Минич, И.Б. Минич, О.В. Шайтарова и др. // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов». Ч. 2, 18-20 ноября 2009 г., Минск. – Минск: Изд-во ООО «Мэджик», ИП Вараксин, 2009. – С. 297–299.

55. Иваницкий А.Е. Исследование свойств фотолюминесцентных пленок при возбуждении солнечным излучением / А.Е. Иваницкий, В.С. Райда, **А.С. Минич** и др. // Труды Международной научно-технической конференции «Люминесцентные процессы в конденсированных средах» – LUMSOS 2009, 17-20 ноября 2009 г., Харьков. – Харьков: 2009. – С. 24–25.



56. Головацкая И.Ф. Регуляторная роль смешанного светопотока в росте и развитии растений / И.Ф. Головацкая, Р.А. Карначук, **А.С. Минич** и др. // Материалы VIII Международного симпозиума «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования», Т. 1, 22-26 июня 2009 г., Москва. – М.: РУДН, 2009. – С. 315-317.

57. Иваницкий А.Е. Исследование флуоресцентных свойств фотолюминесцентной пленки с добавкой органического фотолуминофора в условиях биологического тестирования / А.Е. Иваницкий, В.С. Райда, **А.С. Минич** и др. // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии». Т. 2, 26-30 апреля 2010 г., Севастополь. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. 2010.– С. 83–86.

58. Иваницкий А.Е. Определение интенсивности флуоресценции полимерных светокорректирующих пленок для сельского хозяйства / А.Е. Иваницкий, **А.С. Минич**, В.С. Райда и др. // Труды XXIV Съезда по спектроскопии. Т. 2, 28 февраля – 5 марта 2010 г. Троицк. – Троицк: Изд-во Тривант, 2010. – С. 333–335.

59. Иваницкий А.Е. Влияние люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на процессы активации жизнедеятельности микрофлоры почвы / А.Е. Иваницкий, **А.С. Минич**, В.С. Райда и др. // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы биологической физики и химии», 26-30 апреля 2011 г., Севастополь. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. 2011.– С. 32–34.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту профессору Карначук Р.А. (Национальный исследовательский Томский государственный университет) за поддержку и консультативную помощь.

Автор выражает благодарность за оказание помощи в проведении исследований доц. Головацкой И.Ф. (Национальный исследовательский Томский государственный университет), доц. Райде В.И., доц. Иваницкому А.Е., доц. Минич И.Б., доц. Зеленьчуковой Н.С., аспиранту Шайтаровой О.В., магистрантам Пермяковой Н.Л. и Батраковой К.А. (Томский государственный педагогический университет), науч. сотр. Филатову Д.А. (Институт химии нефти СО РАН, Томск), науч. сотр. Ивлеву Г.А. (Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск), руководителю центра исследований и разработок Ковалю Е.О. и советнику по научной работе Майеру Э.А. (ООО «Томскнефтехим», Томск), фермеру Борзунову М.П. (Томск), доктору Кушнержу Я.С. (Вроцлавский университет, Польша).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ФАР	- фотосинтетически активная радиация
БС	- белый свет
КС	- красный свет
СС	- синий свет
УФ	- ультрафиолетовый
ИК	- инфракрасный
КМС	- комбинированный свет, состоящий из БС и УФ-А излучения
<i>CRY</i>	- названия генов дикого типа
<i>cry1</i>	- фоторецептор криптохром 1
<i>phyB</i>	- фоторецептор фитохром В
<i>Ler</i>	- дикий тип <i>Landsberg erecta</i>
<i>hy4</i>	- названия мутантных генов
АК	- аскорбиновая кислота
ИУК	- $\beta$ -индолилуксусная кислота
АБК	- абсцизовая кислота
З	- зеатин
ЗР	- зеатин рибозид
ИФА	- иммуноферментный анализ
МПА	- мясопептонный агар
PPFD	- плотность фотосинтетического фотонного потока
Хл	- хлорофилл
Кар	- каротиноиды
ИОА	- институт оптики атмосферы
ФЕ	- комплекс нитрата европия с 1,10-фенантролином
ЛА	- комплекс нитрата лантана с 1,10-фенантролином
ОСИ	- оксисульфид иттрия, активированный европием и висмутом
ФВИ	- фосфат-ванадат иттрия, активированный европием
ФСП	- фотосинтетические пигменты
ПЭВД	- полиэтилен высокого давления
ФЕ-0,1	- флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора ФЕ

- ФЕ-0,3 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.3 % масс. люминофора ФЕ
- ФЕ-0,5 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.5 % масс. люминофора ФЕ
- 626-0,1 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора КТЦ-626
- 630-0,1 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора КТЦ-630
- 630-0,3 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.3 % масс. люминофора КТЦ-630
- 619-0,5 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.5 % масс. люминофора Л-43
- 619-0,2 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0.2 % масс. люминофора ФВИ
- 447-2,0 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 2.0 % масс. люминофора ФЛ-447
- 612-0,2 - флуоресцентная пленка, содержащая в своем 0.2 % масс. люминофора ОСИ
- ЛА-0,05 - пленка, содержащая в своем составе 0.05 % масс. комплекса нитрата лантана с 1,10-фенантролином
- ФЕ-К1 - пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора ФЕ и 0.2 масс. красного красителя П-1
- ФЕ-К2 - пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора ФЕ и 0.2 масс. красного красителя АЕ-38
- ФЕ-С - пленка, содержащая в своем составе 0.1 % масс. люминофора ФЕ и 0.2 масс. синего красителя
- 447-С - пленка, содержащая в своем составе 2.0 % масс. люминофора ФЛ-447 и 0.2 масс. синего красителя
- П-1 - пленка, содержащая в своем составе 0.2 масс. красного красителя П-1
- С - пленка, содержащая в своем составе 0.2 масс. синего красителя