

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный педагогический университет»

На правах рукописи



Чурсина Наталья Леонидовна

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГУЛЯЦИИ МИКРОКЛИМАТА  
АГРОЭКОСИСТЕМ И ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
КУЛЬТУР ТЕРМИЧЕСКИМИ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ПЛЕНКАМИ

03.02.08 – Экология (биология)

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель  
доктор биологических наук, профессор  
Минич Александр Сергеевич

Томск – 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1. Экологические факторы, влияющие на морфогенез и продуктивность растений .....	13
1.2. Защищенный грунт как способ оптимизации микроклимата для растений .....	19
1.3. Модифицированные полимерные пленочные покрытия защищенного грунта .....	23
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2.1. Объекты исследований.....	29
2.2. Методы и условия выращивания растений .....	29
2.3. Методы проведения исследований растений.....	31
2.3.1. Методы определения морфометрических параметров растений... 31	
2.3.2. Метод определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений.....	32
2.3.3. Метод определения фотосинтетической активности и интенсивности транспирации .....	33
2.3.4. Антроновый метод определения содержания растворимых сахаров .....	33
2.3.5. Определение ионного состава плодов огурца методом капиллярного электрофореза.....	34
2.4. Метод определения численности гетеротрофных бактерий почвы .....	35
2.5. Методы изготовления полиэтиленовых пленок и исследования их фотофизических свойств.....	35
2.6. Методы исследований светового и температурного режимов.....	37
2.7. Статистическая обработка результатов исследований .....	38

3. ВЛИЯНИЕ	ФОТОФИЗИЧЕСКИХ	СВОЙСТВ	ПЛЕНОК	
НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И СВЕТОВОЙ РЕЖИМЫ В СООРУЖЕНИЯХ				
ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА.....				39
3.1.	Интенсивность солнечной радиации и температура воздуха вне теплиц при выращивании растений .....			39
3.2.	Влияние фотофизических свойств термических пленок TF1 и TF2 на микроклимат в сооружениях защищенного грунта.....			44
3.3.	Особенности влияния фотофизических свойств флуоресцентных пленок Л-50, Урожайная, Урожай-2 и гидрофильной пленки Роса на микроклимат в теплицах .....			50
4. МОРФОГЕНЕЗ	И	ПРОДУКТИВНОСТЬ	РАСТЕНИЙ	ПОД
ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ И ТЕРМИЧЕСКИМИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ				
ПЛЕНОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ.....				55
4.1.	Особенности морфогенеза, продуктивности и биохимических параметров <i>Cucumis sativus</i> гибридов F <sub>1</sub> Маринда и Кураж под термическими пленками с фотоселективными свойствами TF1 и TF2.....			55
4.1.1.	Рост, развитие и продуктивность гибридов <i>Cucumis sativus</i> .....			55
4.1.2.	Биохимические параметры листьев и плодов.....			64
4.1.2.1.	Фотосинтетические процессы в листьях гибридов <i>Cucumis sativus</i> .....			64
4.1.2.2.	Ионный состав плодов и содержание растворимых сахаров в плодах .....			75
4.1.3.	Численность гетеротрофных бактерий в почве.....			78
4.2.	Особенности морфогенеза и продуктивности сельскохозяйственных культур под флуоресцентными пленками Л-50, Урожай-2 и Урожайная .....			82
4.2.1.	Рост, развитие и продуктивность <i>Cucumis sativus</i> гибрида Примадонна F <sub>1</sub> под флуоресцентной пленкой Л-50.....			82

4.2.2. Особенности морфогенеза и продуктивности представителей семейства Solanaceae под флуоресцентной полиэтиленовой пленкой Л-50 .....	91
4.2.3. Морфогенез и продуктивность <i>Lactuca sativa</i> под флуоресцентными пленками Л-50, Урожайная и Урожай-2 .....	101
4.3. Морфогенез и продуктивность <i>Cucumis sativus</i> гибрида Валентина F <sub>1</sub> под флуоресцентной пленкой Л-50 и двухслойным покрытием из флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	114
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	116
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	117

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время в мировой экономике делается акцент на получение экологически чистой продукции при максимальном использовании ресурсов сельскохозяйственных культур (Ekebafé et al., 2011). В искусственных агроэкосистемах защищенного грунта (теплицах) для этого применяют различные покрывные модифицированные полимерные пленочные материалы, чаще всего полиэтиленовые (Arboli, 2000; Espí et al., 2000; 2006a; Laverde, 2002; Brown, 2004; Минич, 2011; Max et al., 2012). Улучшение в них микроклимата и повышение продуктивности растений достигается за счет изменения, контроля и регулирования двух важнейших экологических факторов: температурного и светового режимов, состояния которых определяются климатическими условиями региона и фотофизическими свойствами применяемых модифицированных пленок (Brown, 2004; Max et al., 2012; Semida et al., 2013).

Широкое применение в практике тепличных хозяйств нашли фотоселективные полиэтиленовые пленки с термическими свойствами непрозрачные в области ИК излучения (термические пленки) и флуоресцентные полиэтиленовые пленки, люминесцирующие в узком диапазоне видимой (чаще красной) области спектра за счет поглощения части УФ радиации (Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989; Минич, 1995; 2011; Карасев, 1995; Espí et al., 2000; 2006a; Райда, Толстикова, 2001; Астафурова и др., 2003; Brown, 2004; Max et al., 2012; Binnemans, 2009; Semida et al., 2013).

Термические пленки в дневное время при максимуме ИК излучения в солнечной радиации способствуют понижению температуры, а в ночное время при уменьшении температуры воздуха снижают потери тепла, излучаемого нагретым за день почвой и растительными объектами теплиц (Espí et al., 2006a; Semida et al., 2013). Уменьшение резких перепадов температур воздуха в дневное и ночное время суток под ТП позволяет оптимизировать микроклимат, что способствует интенсификации вегетативного развития растений и повышению их

продуктивности (Marcelis, Hofman-Eijer, 1993; Espí et al., 2006a; Del Amor et al., 2008; Ekebafé et al., 2011).

Под флуоресцентными пленками регуляция морфогенеза и продуктивности растений происходит за счет уменьшения ими интенсивности УФ излучения, а в видимой области – за счет люминесцентного излучения и увеличения доли рассеянных лучей (Минич, 2011). Такой комплекс изменений светового режима влияет на регуляторную систему растений, меняет протекание низкоэнергетических реакций, уровень фитогормонов, активизирует их ростовые процессы и продуктивность (Kusnetsov et al., 1989; Минич и др., 2003; 2006; Астафурова и др., 2003; Минич, 2011).

Сотрудниками ИСЭ СО РАН (г. Томск) разработаны две новые полиэтиленовые термические пленки (Zakharov et al., 2012). Их получают нанесением слоев субнаномикронной толщины наночастиц металлов на основе соединений меди (TF1) или меди и серебра (TF2) на поверхность немодифицированных пленок магнетронным напылением. Совместно сотрудниками ООО «Томскнефтехим» и ФГБОУ ВО ТГПУ разработана флуоресцентная пленка Л-50 (Патент РФ №2435363 С1, 2011). Принципиальным ее отличием от уже известных флуоресцентных пленок является способность сохранять исходную интенсивность люминесцентного излучения более 3 лет.

Данные пленки предложены авторами для создания новых агроэкосистем с улучшенным микроклиматом. Однако экспериментальные доказательства оптимизации в них микроклимата, повышения продуктивности растений за счет регулирования температурного и светового режимов и эффективности применения таких агроэкосистем не приведены или представлены частично.

**Цель работы** – определение особенностей изменения микроклимата за счет регулирования светового и температурного режимов полиэтиленовыми термическими пленками TF1 и TF2 и флуоресцентной пленкой Л-50 для управления ростовыми процессами и продуктивностью растений в агроэкосистемах защищенного грунта.

Для достижения цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Провести исследование особенностей изменения микроклимата агроэкосистем, морфогенеза и продуктивности *Cucumis sativus* гибридов Маринда и Кураж F<sub>1</sub> термическими пленками TF1 и TF2.

2. Изучить особенности изменения микроклимата агроэкосистем под флуоресцентной пленкой Л-50 и провести исследования его влияния на рост, развитие и продуктивность основных тепличных культур по сравнению с применяемыми на практике флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2.

3. Провести сравнительную оценку изменения ростовых процессов и продуктивности *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub> за счет оптимизации светового режима двух агроэкосистем: с двухслойным покрытием при использовании флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса и однослойным покрытием из флуоресцентной пленки Л-50.

**Научная новизна.** Впервые показано, что повышение продуктивности *Cucumis sativus* гибридов Маринда и Кураж F<sub>1</sub> под полиэтиленовой термической пленкой TF1, модифицированной нанесением на ее поверхность наночастиц на основе соединений меди методом магнетронного напыления, определяется спецификой светового и температурного режимов агроэкосистем: практически полным отсутствием прямых УФ лучей, изменением интенсивности ФАР, снижением температуры воздуха и почвы днем и уменьшением потерь тепла ночью за счет пониженного светопропускания пленкой ИК излучения.

Показано, что продуктивность основных сельскохозяйственных культур под флуоресцентной пленкой Л-50 выше, чем при использовании широко применяемых на практике флуоресцентных пленок. Это определяется особенностью микроклимата – специфической способностью пленки Л-50 не менять исходную интенсивность люминесцентного излучения со временем. Сохранение оптимального светового режима в течение всего срока вегетации растений по сравнению с известными флуоресцентными пленками в большей степени способствует активации их ростовых процессов за счет интенсивного формирования ассимилирующей поверхности, репродуктивных органов, корневой системы и удлинения срока активного плодоношения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Результаты исследований вносят вклад в разработку теоретических основ регулирования продуктивности растений в агросистемах защищенного грунта оптимизацией светового и температурного режима за счет применения новых по составу и фотофизическим свойствам модифицированных полиэтиленовых пленок.

Показана эффективность применения полиэтиленовой термической пленки TF1 и полиэтиленовой флуоресцентной пленки Л-50 в тепличных хозяйствах для повышения продуктивности различных сельскохозяйственных культур и получения ранних урожаев.

Полученные результаты используются в учебном процессе ФГБОУ ВО ТГПУ при чтении курсов «Экология», «Биологические основы сельского хозяйства», «Физиология растений».

**Методология и методы диссертационного исследования.** Методология базировалась на общепринятых схемах экспериментальных исследований по изучению влияния на продуктивность растений изменения светового и температурного режимов в пленочных агроэкосистемах защищенного грунта. Работа выполнялась с использованием современных физико-химических методов исследований, приборов и оборудования.

**Степень разработанности темы.** Исследования светового и температурного регулирования продуктивности растений в пленочных агроэкосистемах защищенного грунта ведутся с середины 20 века, когда вместо стекла стали применять вначале ацетилцеллюлозную, а затем полиэтиленовую пленку (Brown, 2004; Espí et al., 2006). Одним из направлений оптимизация микроклимата и повышения эффективности агроэкосистем защищенного грунта является разработка и использование укрывных модифицированных полимерных пленочных материалов со специфическими фотофизическими свойствами (Brown, 2004; Hammama et al., 2007; Dienel et al., 2010). В настоящее время учеными многих стран интенсивно ведутся работы по улучшению этих свойств (Патент РФ №2435363 С1, 2011; Zakharov et al., 2012; Max et al., 2012; Semida et al.,

2013). Их результаты могут позволить создавать агроэкосистемы с наиболее оптимальным использованием солнечной энергии и ресурсов растений.

**Степень достоверности результатов исследования.** Достоверность результатов исследований подтверждается использованием методик, принятых в данной области и опубликованных в научной литературе, с получением данных на приборах аккредитованной лаборатории агроэкологии кафедры биологии растений и биохимии ТГПУ (аккредитация РОСС. RU 0001.516054). Обработка результатов исследований проводилась принятыми в биологической статистике методами, включающими предварительный анализ данных на «выбросы», на «нормальность» распределений средствами электронных таблиц Microsoft Excel.

**Внедрение результатов исследований** было осуществлено при выращивании различных видов сельскохозяйственных культур в фермерском хозяйстве М.П. Борзунова (г. Томск) и на агробиологической станции ТГПУ.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Изменения морфогенеза и продуктивности *Cucumis sativus* гибридов Маринда и Кураж F<sub>1</sub> под полиэтиленовыми термическими пленками, модифицированными нанесением на их поверхность наночастиц на основе соединений меди (TF1) и меди и серебра (TF2) методом магнетронного напыления, определяются особенностями микроклимата агроэкосистем, создаваемого спецификой пропускания пленками солнечного излучения в УФ, ФАР и ИК областях спектра. Под пленкой TF1 происходит оптимизация микроклимата, что способствует стимуляции ростовых процессов и увеличению продуктивности *Cucumis sativus* исследуемых гибридов, под пленкой TF2 – ухудшению светового и температурного режимов и снижению продуктивности.

2. Оптимизация микроклимата, интенсификация ростовых процессов и увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур под полиэтиленовой флуоресцентной пленкой Л-50, модифицированной 0,2 % масс.фосфат-ванадатом иттрия, активированного европием, определяются изменениями в интенсивности и спектральном составе солнечной радиации как общими для флуоресцентных пленок – увеличением рассеянных лучей, уменьшением интенсивности УФ

излучения и люминесцентным излучением, так и специфической ее особенностью – способностью сохранять исходную интенсивность люминесцентного излучения с максимумом длины волны 619 нм в течение всего срока вегетации растений.

**Личный вклад соискателя.** Автор с 2006 года принимал участие в планировании и проведении экспериментальных исследований. При непосредственном участии автора совместно с научным руководителем был сделан выбор и обоснование научной тематики исследований, определены методы исследований. Результаты научных исследований были получены при проведении экспериментов совместно с соавторами. Лично автором непосредственно были проведены сбор данных, их обработка, в том числе статистическая, и интерпретация полученных результатов исследований, представленных в диссертационной работе.

**Связь темы диссертации с научными программами и договорными исследованиями.** Работа выполнена в ходе:

1) выполнения программы «Полимерные композиционные материалы – избирательные фильтры-преобразователи электромагнитного излучения и их применение в биологических исследованиях, сельском хозяйстве и медицине» в рамках совместного проекта между ИХН СО РАН (г. Томск), ТГУ, ТГПУ, ООО «Томскнефтехим», ОАО «Полимер» (г. Кемерово);

2) в ходе реализации Договора между ТГПУ и ООО «Томскнефтехим» № 93-781-07 от 19 июля 2007 года «Исследование фотофизических свойств и проведение биологических испытаний фотофлуоресцентных пленок ПЭВД для сельского хозяйства» (гос. регистр. № 01200005038);

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационных исследований были представлены в докладах на следующих конференциях: XIV Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (19–23 апреля 2010 г., Томск); VII Международная научно-техническая конференция «Актуальные вопросы биологической физики и химии» (26–30 апреля 2011 г., Севастополь.); I Всероссийский фестиваль науки: Всероссийская с международным участием конференция студентов, аспирантов и

молодых ученых «Наука и образование» (25–29 апреля 2011 г., Томск); VII Съезд Общества физиологов России «Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий» (4–10 июля 2011 г., Нижний Новгород); VI Съезд Российского фотобиологического общества (15–22 сентября 2011 г., пос. Шепси); Всероссийская научно-практическая конференция «Экологические проблемы природопользования» (1–2 декабря 2011 г., Томск);

– VIII Международная научно-техническая конференция «Актуальные вопросы биологической физики и химии» (23–27 апреля 2012 г., Севастополь); Молодежная Всероссийская школа-семинар с международным участием (9–12 октября 2012 г., Томск); I Международная Интернет-конференция «Современные тенденции в сельском хозяйстве» (15–17 октября 2012 г., Казань); Всероссийская научная конференция, посвященная памяти профессора Р.А. Карначук и 90-летию со дня основания кафедры «Физиология растений и микроорганизмов – взгляд в будущее» (2–5 апреля 2013 г., Томск); IX Международная научно-техническая конференция «Актуальные вопросы биологической физики и химии» (22–26 апреля 2013 г., Севастополь); Международная научно-практическая конференция, посвященная 20-летию Томского сельскохозяйственного института - филиала ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет «Модернизация аграрного образования: технологический аспект» (29–30 октября 2013 г., Томск); 16-я всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы» (24 апреля 2014 г., Томск); Международная научная конференция и школа молодых ученых «Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий» (19–25 мая 2014 г., Калининград); VIII Съезд общества физиологов растений России. Всероссийская научная конференция с международным участием и школа для молодых ученых «Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий» (21–26 сентября 2015 г., Петрозаводск); Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием «Биотехнология, биоинформатика и геномика растений и микроорганизмов» (26–28 апреля 2016 г., Томск).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликована 21 работа, в том числе 4 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук (в том числе 1 статья в зарубежном журнале, индексируемом Web of Science), 17 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав (обзор литературы, описание материалов и методов исследований, 2 глав с изложением результатов исследований и их обсуждением), заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка использованных источников и литературы, включающего 238 источников (в том числе 148 на иностранных языках). Работа изложена на 141 странице машинописного текста и иллюстрирована 39 рисунками и 18 таблицами.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю профессору А. С. Миничу (Томский государственный педагогический университет), без которого защита диссертационной работы была бы невозможной. Отдельная благодарность доценту И. Б. Минич (Томский государственный педагогический университет) за помощь в организации и проведении экспериментов, за ценные советы и поддержку. Также автор благодарит за помощь, оказанную при проведении исследований данной работы, доцента А. Е. Иваницкого (Томский государственный педагогический университет), аспиранта Е. С. Буценко (Томский государственный педагогический университет), научных сотрудников Д. А. Филатова и Е. А. Рождественского (Институт химии нефти СО РАН, Томск), Г. А. Ивлева (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН), О. Г. Бендер (Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН), доцента Ю. А. Чурсина (Томский политехнический университет).

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Экологические факторы, влияющие на морфогенез и продуктивность растений

Растения – это сложные самоорганизующиеся, саморегулирующиеся и саморазвивающиеся адаптивные системы, все элементы которых друг с другом функционально связаны, друг друга обуславливают и во все фазы роста и развития взаимодействуют с окружающей средой (Haferkamp, 1988; Третьяков и др., 2005; Tedeschi et al., 2011). В естественных и сельскохозяйственных условиях растения имеют определенные экологические требования и их рост и развитие зависят от абиотических (физических) и биотических (биологических) факторов (Decoteau, 1998; Haferkamp, 1988). На рост и развитие растений влияет одновременно совокупность факторов, но наиболее высокий урожай может быть получен лишь при условии, когда каждый фактор жизни растений будет находиться в оптимальном диапазоне (закон оптимума, минимума и максимума). Поэтому особенно важно знать, что сельскохозяйственные культуры должны быть выращены в среде, которая отвечает этим требованиям, так как от этого будет зависеть достижение высоких потенциалов урожайности (Тооминг, 1984; Decoteau, 1998; [http://agronomiy.ru/zakoni\\_zemledeliya.html](http://agronomiy.ru/zakoni_zemledeliya.html)).

Среди множества факторов жизни растений одними из главных и сильно лимитирующих продуктивность растений являются солнечный свет и температура (Wittwerl, Castilla, 1995; Franklin, 2009).

Растения используют лучистую энергию Солнца как источник энергии для осуществления многочисленных процессов жизнедеятельности. (Шульгин, 1973; Neff et al., 2000; Franklin, 2009). Свет является не только основным источником энергии для фотосинтеза, но и сигналом роста и развития растений, поэтому представляет собой важный экологический фактор, который служит индикатором окружающей среды для растений. На разнообразные процессы жизнедеятельности растений оказывают влияние изменения интенсивности, направления,

продолжительности и качества света. (Neff et al., 2000; Devlin et al., 2007; Thomas, 2006; Yang et al., 2017). В частности, спектральные изменения света оказывают сильное воздействие на анатомические, физиологические, морфологические и биохимические параметры растений. Спектр солнечного света включает в себя приблизительно 4 % УФ излучения (280–400 нм), 44 % ВС (380–760 нм) и 52 % ИК излучения (760–3000 нм) (Moore et al., 2003; INTERNATIONAL STANDARD ISO 21348, 2007).

Исследования показывают, что УФ-излучение несет много энергии, и культурные растения чрезвычайно чувствительны к уровню УФ-А и УФ-В радиации. УФ-В излучение, на которое делается основной акцент, представляет собой фактор, который влияет на метаболизм и морфогенетику растений, оказывает повреждающее действие на липиды, аминокислоты, пигменты, фотосинтетические процессы и реакции, ведет к сокращению накопления сухого веса, нарушает дыхание и фиксацию  $\text{CO}_2$ , что в целом приводит к подавлению роста, развития и снижению продуктивности (Teramura et al., 1983; Teramura, Sullivan, 1991; Middleton, Teramura, 1993; Teramura, Sullivan, 1994; Teramura, Ziska, 1996; Rozema et al., 1997; Krizek et al., 1997; Krizek et al., 1998; Sicora et al., 2006; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2010) Однако действие УФ-В радиации не всегда отрицательно и ответ растений зависит от таксономической принадлежности и условий роста (Stapleton, 1992; Cybulski, Peterjohn, 1999; Kittas et al., 2006). УФ-А излучение имеет энергию ниже, чем УФ-В, и в жизни растений отмечается, как его угнетающее влияние, так и влияние, приравняемое к действию видимых лучей и фактору, необходимому для протекания процессов фотоморфогенеза. (Дубров, 1963; Middleton, Teramura, 1993; Krizek et al., 1997; Krizek et al., 1998).

ВС практически соответствует ФАР, которая имеет наибольшее значение для физиологических процессов растений. Она не только выполняет энергетическую роль в фотосинтезе, но и оказывает значительное регуляторное влияние на процессы формирования, роста и развития растений (Шульгин, 1993; Kami et al., 2010). Известно, что фотосинтетические реакции являются

высокоэнергетическими, поэтому содержание в клетках растений пигментов, аккумулирующих энергию для их протекания, велико. В отличие от энергетического обмена индивидуальное развитие растений контролируется светом через фоторегуляторные низкоэнергетические реакции. Такие реакции осуществляются с помощью очень малого количества пигментов (фоторецепторов), поглощающих ничтожную часть падающего солнечного излучения. Фоторецепторы усиливают световой сигнал через активацию вторичных цитоплазматических посредников, вызывающих другую клеточную активность, включая регуляцию экспрессии генов. Таким образом они контролируют все фазы развития растений и осуществляют трансформацию светового сигнала в физиологический ответ (Красновский, 1975; Воскресенская, 1987; Jiao et al., 2007; Paul, Khurana, 2008). Это явление известно как фотоморфогенез, заключающийся в том, что рост и формообразовательные процессы растений зависят от спектрального состава и интенсивности света, в значительной степени в областях ближнего и дальнего КС и СС. Эти процессы не зависят от фотосинтеза и играют огромную приспособительную роль, стимулируя прорастание семян, растяжение листа, рост стебля, цветение, клубнеобразование, синтез и накопление биохимических веществ, клеточное дыхание (Шульгин, 1973; Конев, 1979; Neff et. al., 2000; Кулаева, 2001; Devlin et al., 2007).

Различные ответы растений требуют разнообразного набора фоторецепторов для управления ими. Эти регуляторные фоторецепторы состоят из поглощающего свет пигмента (хромофора), связанного с молекулой белка-эффектора (апопротеина) и представлены КС/ДКС фитохромами (PHYA–E), СС/УФ-А криптохромами (CRY1, CRY2 и CRY3), фототропинами (PHOT1 и PHOT2) и ZTL (Zeitlupe) и, по литературным данным мало изученными, фоторецепторами УФ-В – UVR8 и зеленой области спектра (Kendrick, Kronenberg, 1994; Neff et. al., 2000; Devlin et al., 2007; Kami et al., 2010; Головацкая, Карначук, 2015).

Основной фоторегуляторной системой служит фитохромная система, которая контролирует процесс деэтиоляции, регулирует деление клеток, способствует открыванию устьиц, развитию и вращению хлоропластов, росту и

движению листьев, ингибирует удлинение гипокотилия и стебля (Casal, 2000; Devlin et al., 2007; Jiao et al., 2007; Paul, Khurana, 2008; Kami et al., 2010). Фитохром является наиболее изученным из фоторецепторов и существует в виде двух взаимопревращающихся форм –  $P_r$  и  $P_{fr}$ . Под действием КС на  $P_r$  возникает функционально активная и достаточно стабильная форма  $P_{fr}$ , которая поглощает дальний КС и восстанавливает изначальную химическую структуру. Таким образом, при попеременном облучении КС и дальним КС фитохром претерпевает циклические фотохимические изменения, переходя из нормального состояния в активированное и наоборот (Mohr, 1995; Neff et al., 2000; Rockwell et al., 2006). Фотообратимость фитохрома в активную форму инициирует соответствующие ростовые и формообразующие процессы (Кулаева, 2001; Mohr, 1995).

Другим классом фоторецепторов являются криптохромы, которые поглощают свет в синей и УФ-А областях спектра. Криптохромы работают вместе с фитохромами для опосредования фотоморфогенетических ответов, таких как деэтиоляция, фотопериодический контроль цветения, ингибирование удлинения гипокотилия, междоузлий, накопление антоцианов, прорастание семян, измеряют длительность света и определяют корректность циркадных часов и регулирование экспрессии генов (Somers et al., 1998; Casal, 2000; Lin, Shalitin, 2003).

Третий класс фоторецепторов, фототропины, также поглощают СС/УФ-А. Они опосредуют такие реакции фотодвижения, как фототропизм, движение хлоропластов, открывание устьиц и управляют рядом процессов, которые оптимизируют эффективность фотосинтеза и способствуют росту растений (Casal, 2000; Christie, 2007).

Общепризнано, что присутствующие в высших растениях и действующие в некоторых случаях на разных этапах развития хорошо изученные основные фоторецепторы и фоторецепторы, которые требуют еще исследований, функционируют совместно для осуществления фотоморфогенетических программ, протекающих под влиянием света (Casal, 2000). Поэтому понимание различных механизмов их действия и роли в развитии растений позволит манипулировать этими процессами и успешно контролировать рост сельскохозяйственных культур,

где максимизация урожайности имеет первостепенное значение (Neff et. al., 2000; Devlin et al., 2007).

ИК излучение содержит минимальную энергию и участвует косвенно в процессе фотосинтеза и других реакциях растений. ИК излучение поглощается клетками растений, но энергия, что оно содержит, слишком мала, чтобы возбуждать электроны. Большая часть этой энергии непосредственно преобразуется в тепло. Значительное количество ИК излучения поглощается парами воды, CO<sub>2</sub> и другими газами в атмосфере (Hopkins, 1999; Moore et al., 2003;). Тем не менее, оно отвечает за температуру и делает пригодными условия для нормального роста растений. Поэтому правильный баланс ИК излучения имеет важное значение особенно для микроклимата сооружений защищенного грунта (Hemming et al., 2006).

Температура является основным фактором, влияющим на скорость развития растений (Hatfield, Prueger, 2015). Она оказывает влияние на фотосинтез, поглощение воды и питательных веществ, транспирацию, дыхание и активность ферментов, что, в свою очередь, определяет прорастание, цветение, жизнеспособность пыльцы, скорость созревания и старения, урожайность, качество и продолжительность урожая. Различные виды растений реагируют по-разному на температуру на протяжении всего жизненного цикла. Каждый вид имеет определенный диапазон максимальных и минимальных температур, в пределах которых происходит рост, и оптимальную температуру, при которой рост растений происходит наиболее быстрыми темпами. Темпы роста замедляются по мере повышения или снижения температуры выше или ниже оптимального и прекращаются, когда растения подвергаются воздействию максимальной (потолочной) или минимальной температур (Haferkamp, 1988; Hatfield et al., 2011; Hatfield, Prueger, 2015). Например, высокая температура вызывает нарушение работы фотосинтетического аппарата, приводит к дефициту воды и, как следствие, питательных веществ. Холодные температуры задерживают начало весенней вегетации, ограничивая движение воды к корням и уменьшая проницаемость мембран на их поверхности, влияют на раскрытие устьиц и тем

самым на фотосинтез, и все это в конечном итоге оказывает негативное влияние на продуктивность растений (Berry, Bjorkman, 1980; Haferkamp, 1988; Decoteau, 1998).

Вегетативное развитие (скорость появления узлов и листьев) ускоряется с повышением температуры до оптимальных значений, характерных для каждого вида, и обычно имеет более высокий температурный оптимум, чем репродуктивное развитие. Кроме этого, температура растения может значительно отличаться от температуры воздуха, и может быть теплее или холоднее, чем воздух в условиях стресса или при условиях почвенной воды (Hatfield et al., 2011). Поэтому температура почвы играет такое же большое значение, что и температура воздуха. Она оказывает прямое воздействие на рост и развитие микроорганизмов, распад органических остатков, прорастание семян, развитие корней, а также поглощение воды и питательных веществ корнями. (Decoteau, 1998).

Важно понимать, что влияние температуры обусловлено уровнем других факторов окружающей среды, например, таких, как лучистая энергия и влажность (Laude, 1974; Haferkamp, 1988). Помимо этого, требования к температуре, как правило, основаны на ночной температуре, что является важным при посевах в прохладный сезон и в условиях рискованного земледелия (Decoteau, 1998).

Таким образом, все растения имеют определенные экологические требования. Неблагоприятные условия окружающей среды могут оказывать негативное влияние на рост и развитие растений, что в результате приведет к снижению урожайности. Чтобы максимизировать продуктивность сельскохозяйственных культур, важно понимать, как эти факторы окружающей среды влияют на рост и развитие. Контроль ответов и адаптаций к изменениям факторов позволяет выявить потенциальные возможности в росте и развитии растений, а также повысить их урожайность и продуктивность, главным образом у сельскохозяйственных культур (Fankhauser, Chory, 1997). В таких случаях среда может быть искусственно модифицирована для удовлетворения требований культур, например, защищенным грунтом (Decoteau, 1998).

## **1.2. Защищенный грунт как способ оптимизации микроклимата для растений**

В настоящее время тревожит ситуация постоянно увеличивающегося мирового населения. Эти условия влекут за собой загрязнение окружающей среды и дефицит экологически безопасных пищевых ресурсов (Yazdani et al., 2007; Ekebafе et al., 2011). Главная роль в предоставлении поставки безопасного продовольствия отводится сельскому хозяйству. В течение XX столетия основной акцент сельскохозяйственного развития во всем мире был сделан на увеличение производительности единицы земли, используемой для получения урожая, и особое внимание уделялось концепции ускорения роста растений. Практика увеличения урожаев за короткие промежутки времени за счет злоупотребления удобрениями и пестицидами повлекли за собой загрязнение воды и почвы, ухудшение качества сельскохозяйственных продуктов и ослабление производительной способности земли. (Katsoulas, Kittas, 2008; Bhat et al., 2009; Ekebafе et al., 2011). Поэтому в настоящее время главная цель современного сельского хозяйства состоит в максимизировании урожаев при использовании имеющихся земельных площадей, не угрожая окружающей среде. В результате фермеры вынуждены более эффективно использовать факторы, главным образом лимитирующие производительность культур, таких как освещение, температура, плодородие земли, вода и т.д. (Katsoulas and Kittas, 2008; Max et al., 2012).

Улучшить рост и повысить урожайность растений позволяет культивирование в защищенном грунте путем поддержания благоприятной среды для растений. Многими исследователями изучалось влияние условий защищенного грунта на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур (Challa, Schapendonk, 1984; Bakker et al., 1987; Ellis et al., 1990; Pearson, 1992). Было показано, что в защищенном грунте температура оказывает значительное влияние на сроки роста и урожая сельскохозяйственных культур (Pearson, 1992), а свет является основным фактором, определяющим развитие растений. Скорость фотосинтеза будет снижаться при низкой интенсивности ФАР, и, обычно

считается, что потеря света приведет к пропорциональной потере урожая (Challa, Schapendonk, 1984; Papadakis et al., 2000). Поэтому, учитывая те научные обоснования, что урожайность культур будет зависеть от реакций растений на воздействие окружающей среды (Ellis et al., 1990; Decoteau, 1998), культивирование в защищенном грунте играет важную роль в сельском хозяйстве. Защищенный грунт является фактически единственной системой растениеводства, которая позволяет изменять условия окружающей среды, создавать благоприятную и контролируемую среду по сравнению с внешними климатическими условиями при минимальных эксплуатационных расходах (Papadopoulos, Demers, 2003; Bot et al., 2005; Katsoulas and Kittas, 2008; Beyhan et al., 2013). Например, таким образом может снижаться или изменяться освещенность, скорость воздуха, температура и влажность, повышаться концентрации углекислого газа. Каждое из этих изменений будет оказывать свое собственное влияние на рост, производительность и качество урожая (Bakker, 1995).

В качестве одной из составляющих защищенного грунта наиболее представительным является тепличное производство, которое быстро развивается и стало еще популярнее. Первые теплицы были спроектированы и построены в Европе так, чтобы обеспечивать защиту посевов от неблагоприятных климатических условий, получать урожай вне сезона или круглогодично и выращивать экзотические растения, не свойственные данному климату. В настоящее время теплицы становятся фабрикой интенсивного растениеводства, которая позволяет не только поддерживать благоприятную среду для растений, но и изменять микроклимат и оказывать значительное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур (Cockshull, 1985; Bakker, 1995; Jensen, Malter, 1995; Decoteau, 1998; Katsoulas and Kittas, 2008; Radojević et al., 2014; Hassanien et al. 2016).

Поскольку долгое время единственным материалом для покрытия первых теплиц служило стекло, производство ограничивалось промышленно развитыми странами умеренных широт северного полушария (Duncan, Walker, 1975; Papadopoulos, Demers, 2003; Germing, 1986; Albright, 2002). Быстрое развитие

растениеводства защищенного грунта во всем мире началось с 1950-х годов, когда в качестве покрытия была внедрена полиэтиленовая пленка. По оценкам, за годы начала XXI тысячелетия площадь, покрываемая теплицами, неуклонно возрастала во всем мире на 20 % в год (Papadopoulos, Demers, 2003; Espí et al., 2006a). К примеру, в начале 80-х годов площадь защищенного грунта в Китае составляла около 10000 га, а к 2002 году достигла почти 2 млн. га, что сделало Китай страной с наибольшей площадью теплиц во всем мире (Jiang et al., 2004). Сегодня теплицы в основном сосредоточены в двух географических районах. Почти 80 % площадей тепличных хозяйств мира находятся на Дальнем Востоке (особенно в Китае, Японии и Корее) и примерно 15 % в Средиземноморье (Espí et al., 2006a).

Одними из основных ключевых факторов в управлении условиями внутри теплицы является выбор покрытия и его фотофизических свойств. Покрытие определяет количество, качество и тип прохождения (прямой или рассеивающий) поступающей лучистой энергии и, тем самым, в значительной степени температурный режим. Помимо этого, важно учитывать местный климат, культивируемые требования возделываемых культур, продолжительность воздействия опасных погодных явлений, безопасность при использовании и экономические аспекты.

По экологическим и финансовым причинам снижение потребления энергии в защищенном грунте становится все более важным, и тепличная промышленность ищет концепции с низким уровнем энергопотребления без какого-либо или минимального сокращения роста, урожайности и качества овощных культур (Pearson, 1992; Pearson et al., 1995; Khattak, Pearson, 1997; Bot, 2001; Katsoulas, Kittas, 2008). Для повышения энергетической эффективности теплиц используют покрытия, отвечающие требованиям определенного климатического региона, направленные на манипулирование условиями внутри сооружений защищенного грунта или просто на стимулирование роста культур. Например, отражение ИК излучения материалом при выращивании сельскохозяйственных культур в тропических и субтропических регионах позволяет снизить чрезмерное солнечное излучение, в то время как в прохладном и умеренном климате в осенне-весенний

период уместна задержка ИК волн, где основными проблемами могут быть дополнительное отопление и освещение (Bot, 2001; Hemming, 2006a; Max et al., 2012). Другие модификации покрытий могут использоваться для прогнозирования и увеличения урожаев, получения лучшего качества продукции или более продолжительного выращивания (Gruda, 2005; Max et al., 2012).

Таким образом, независимо от климатической зоны и культивируемых культур целью тепличного хозяйства является создание значительно более благоприятных условий для выращивания растений. Это позволяет выращивать культуры в тех местах или в периоды, когда климатические условия неблагоприятно влияют или даже препятствуют росту и получению урожая.

Существует несколько способов оптимизации микроклимата в защищенном грунте. Первое направление связано с достижением оптимальных условий выращивания в теплице посредством контроля с помощью компьютера. Все показатели (температура, освещенность, влажность, концентрация CO<sub>2</sub> и т.д.) в теплице регулируются автоматически, учитывая условия окружающей среды, структуру теплицы, вид и состояние культуры. Реализация такой эффективной системы возможна и экономически оправдана при больших тепличных комплексах, прибыльность которых возрастает с увеличением размера. Помимо этого, производители сталкиваются с проблемами сокращения выбросов в атмосферу при сжигании топлива, выделения удобрений в грунтовые воды, выбросов пестицидов и т. д. (Critten, Bailey, 2002; Montero et al., 2011; Radojević et al., 2014).

Другое направление изменения условий внутри теплиц, особого внимания из которых требует регулирование светового и температурного режимов, осуществимо путем использования различных типов покрытий защищенного грунта, в том числе модифицированных полимерных пленок (Brown, 2004; Gruda, 2005; Binnemans, 2009; Max et al., 2012). Ассортимент полимерных сельскохозяйственных пленок для защищенного грунта постоянно расширяется. Они отличаются по своим физико-химическим свойствам, так как используются для их получения различные типы полимеров и модифицирующих добавок, что

позволяет удовлетворять потребности тепличных производств в различных климатических регионах.

### **1.3. Модифицированные полимерные пленочные покрытия защищенного грунта**

На протяжении веков стекло было единственным материалом, используемым для покрытия теплиц. В зонах умеренного климата и во многих северных странах Европы стекло остается самым важным облицовочным материалом для теплиц до настоящего времени. Ранние теплицы требовали значительных деревянных и более поздние – металлических конструкций, чтобы удерживать относительно тяжелые стекла. Это уменьшало пропускание света. Современные теплицы имеют большие стекла с уменьшенным обрамлением более прочных материалов для увеличения уровня освещенности. Пропускание ФАР составляет от 71 до 92 % в зависимости от типа стекла, а срок службы составляет 25 лет и более. Однако стекло негибкое, тяжелое, легко ломающееся (если не закаленное) и дорогое. Поэтому многие производители отдают предпочтение полимерным пленкам, которыми в настоящее время покрыто более 90 % теплиц по всему миру (Briassoulis et al., 1997; 1997a; Von Elsner et al., 2000; 2000a; Gruda, 2005; Waaijbergen, 2006).

После успеха применения полиэтиленовой пленки было внедрено в практику широкое разнообразие полимерных пленок. Использование полимерных материалов в качестве покрытий теплиц имеет ряд значимых преимуществ, таких, как более низкие затраты на материал, характеризующийся большей гибкостью, меньшей толщиной и массой, что позволяет облегчить несущие каркасные конструкции теплиц и упрощение монтажа из-за большей площади пленочных листов, чем у стекла (Heurn, Post. 2004).

В настоящее время более 80 % доли на международном рынке занимают пленки из полиэтилена высокого давления (ПЭВД), этиленвинилацетата (ЭВА) и сополимеров этилена и бутилакрилата (ЭБА) с толщиной от 80 до 220 мкм. Последние не пользуются популярностью в отечественном сельском хозяйстве из-

за высокой стоимости. Другими используемыми полимеры являются поливинилхлорид (ПВХ), линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), полиэфир и полипропилен (ПП) (Brown, 2004; Espí et al. 2006a; Max et al., 2012).

Потребность в пленочных материалах для тепличных хозяйств постоянно растет, также возрастают предъявляемые к ним требования: срок службы, деформируемость, легкость, прочность, способность предотвращать образование конденсата, увеличение коэффициента пропускания ФАР, способность преобразовывать излучение УФ и ИК диапазона, включая теплосбережение и предохранение от перегрева (Brown, 2004; Espí et al. 2006a; Max et al., 2012; Max et al., 2012). Все эти свойства можно придать полимерным пленкам.

Все чаще используются пленки, модифицированные различными добавками. Такие модификации направлены на увеличение срока службы материала, предотвращение капельной конденсации на внутренних поверхностях, уменьшение прилипания частиц грязи и пыли, проницаемость или блокировку УФ излучения, улучшение пропускания ФАР, отражение или поглощение ИК (эффект охлаждения или улучшение изоляции), повышение рассеивания света (Espí et al. 2006a; Max et al., 2012).

Ведущая роль в тепличных хозяйствах мира принадлежит полиэтиленовым пленкам (Castro, 1987; Arboli, 2000; Brown, 2004). Это обусловлено низкой стоимостью пленок, несложной технологией производства, возможностью изготовления широкоформатных полотен, экологической чистотой, а также возможностью модификации полиэтилена и введения различных добавок (Brown, 2004; Espí et al. 2006a; Max et al., 2012). Пропускание ФАР составляет 85–87 %, пленка прозрачна для ультрафиолета, пропускает кислород и CO<sub>2</sub>. Недостатками полиэтилена являются недостаточно высокая атмосфероустойчивость, особенно к воздействию УФ-излучения, поэтому без добавления стабилизаторов срок эксплуатации составляет всего несколько месяцев. Способность образовывать конденсацию и накопление на своей поверхности электростатического заряда, который притягивает пыль, может приводить к снижению ее прозрачности до 24 %. Пленка растягивается, поэтому на сооружениях защищенного грунта она

провисает. Использование пленки в два слоя с воздушным слоем между ними позволяет создавать изоляцию от тепла и холода и повышать прочность конструкции (Jensen, Malter, 1995; Papadakis et al., 2000; Pollet, Pieters, 2002; Max et al., 2012).

Наиболее важными факторами окружающей среды в теплице, на которые могут влиять фотофизические свойства покрытия теплиц, являются ФАР и температура воздуха (Papadopoulos, Hao, 1997a; 1997б; Kittas, Baille, 1998).

Практически все модификации полиэтиленовых пленок, связанные с передачей солнечного излучения, играют доминирующую роль, как в энергетическом балансе теплиц, так и в урожайности культур, а исследования использования пленок для регулирования роста урожая и развития растений в сооружениях защищенного грунта привлекают обширное внимание (Al-Helal, Abdel-Ghany, 2011; Holcman, Sentelhas, 2012; Max et al., 2012) В связи с этим, одним из современных направлений в модификации полиэтиленовых пленок являются фотоселективные пленки с термическими свойствами (термические пленки) и пленки со свойствами коррекции УФ и видимой областей спектра (флуоресцентные пленки) (Max et al., 2012). Такие пленки способны избирательно пропускать, отражать, поглощать, рассеивать и генерировать свет в определенных областях спектра, изменяя в нем соотношение интенсивности излучения по разным длинам волн (Райда, Толстикова, 2001; Brown, 2004; Espí et al., 2006a).

Результаты испытаний, проведенных в теплицах с огурцами, томатами и баклажанами (Papadopoulos, Hao, 1997a; 1997б; Erhioui et al., 2002; Cemek et al., 2005), показывают, что теплицы, покрытые пленками с улучшенными изоляционными свойствами и сниженным коэффициенте пропускания ФАР, приводят к повышению урожайности в весенний период. В ранний сезон (весенний) выращивание в холодном и умеренном климате, более высокие температуры, особенно ночью, являются более решающими для формирования урожайности, чем уменьшение ФАР, вызванное применяемым покрытием. Это может быть особенно актуально для континентального климата с выраженными суточными амплитудами температуры и частым присутствием ночей с высокими

потерями тепла за счет низких наружных температур. В результате, как урожай, так и качество продукции могут быть снижены в тепличных условиях выращивания. В частности, в таких условиях ответ растений показан на примере ухудшения устьичной проводимости (транспирации, ассимиляции  $\text{CO}_2$ ) и фотосинтетической активности в целом (Medina et al., 2002). Такие выводы подчеркивают важность разработки пленок для покрытия теплиц с улучшенной способностью сохранять тепло внутри теплиц, но без значительного снижения пропускания ФАР (Swinkels et al., 2001; Max et al., 2012).

Одним из примеров пленок, обладающих такими качествами, являются термические пленки. (Espí et al., 2006; 2006a). Преимуществом термических пленок является создание благоприятного микроклимата в теплицах в основном за счет контроля и регулирования тепла блокированием, главным образом, ближнего ИК излучения (Espí et al., 2000; Espí et al., 2006). Данные пленки в дневное время суток при максимуме ИК излучения в солнечной радиации способствуют понижению температуры, а в ночное время суток при уменьшении температуры воздуха пленки снижают потери тепла, излучаемые нагретым за день почвой и растительными объектами теплиц (Espí et al., 2006; Semida et al., 2013). Отсутствие резких перепадов температур воздуха в дневное и ночное время суток в защищенном грунте позволяют уменьшить риск перегрева растений или их гибели от заморозков (в теплицах на солнечном обогреве). (Marcelis, Hofman-Eijer, 1993; Espí et al., 2006; Del Amor et al., 2008; Ekebafe et al., 2011).

Известно, что культуры, выращенные в сооружениях защищенного грунта покрытых термическими пленками, имеют большее вегетативное развитие, более ранние и обильные урожаи (Espí et al., 2006). Однако недостатком таких пленок является использование добавок минерального типа (чаще ими служит кальцинированный каолин), которые ускоряют фотодеграцию пленки, увеличивают помутнение и снижают интенсивность ФАР (Von Elsner, 2005; Hemming et al., 2006; Espí et al., 2006; 2006a; Max et al., 2012). Поэтому существует потенциал для разработок, усовершенствований и дальнейшего исследования материалов, изменяющих прохождение ИК-излучения (Hemming et al., 2006a).

Еще одной модификацией полиэтиленового покрытия, направленного на регуляцию морфогенеза и продуктивности растений в защищенном грунте, является флуоресцентная пленка (Щелоков, 1986; Kusnetsov et al., 1989; Головацкая и др., 2002; Минич А.С. и др., 2003, 2010; Карасев, 1995, 2002; Райда, Толстикова, 2001; Raida et al., 2002; Gonzalez et al., 2003; Астафурова и др., 2003; Zhang et al., 2005; Espí et al., 2006a; Binnemans, 2009; Минич, 2011). Флуоресцентные пленки поглощают часть УФ радиации, преобразуя ее в узкополосное излучение видимого спектра низкой интенсивности, при этом под пленками увеличивается доля рассеянного света относительно прямых лучей (Минич, 2011). Такое комплексное изменение радиационного режима в теплицах под флуоресцентными пленками способствует оптимизации микроклимата, что приводит к интенсификации роста, развития и увеличению продуктивности основных сельскохозяйственных культур (Kusnetsov et al., 1989; Карасев, 1995, 2002; Kosobryukhov et al., 2000; Головацкая и др., 2002, 2012; Минич и др., 2003, 2010; Минич, Пермякова и др., 2009; 2012; Minich, Permyakova et al., 2011; Минич 2011), в том числе за счет изменения активности аборигенной почвенной микрофлоры (Сваровская и др., 2007; 2008; Svarovskaya et al., 2007; 2008; 2008a; Филатов и др., 2010; 2011б; Minich, Permyakova et al., 2011; Filatov et al., 2011a; Минич 2011).

Однако, имеется ряд публикаций, в которых показано не только положительное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур применения термических и флуоресцентных пленок, но и отрицательное или отсутствие их влияния (Kusnetsov et al., 1989; Gonzalez et al., 2003; Espí et al., 2006a; Минич, 2011; Minich, Chursina et al., 2016). Такой результат связан с особенностями фотофизических свойств исследуемых пленок, определяется климатическими факторами, видовой, сортовой и гибридной принадлежностью выращиваемых растений.

Для зоны рискованного земледелия Сибирского региона томскими учеными были разработаны и изготовлены термические пленки с нанесением на их поверхность наночастиц соединений металлов меди и серебра методом магнетронного распыления (Zakharov et al. 2012), а также флуоресцентная пленка,

модифицированная фосфат-ванадатом иттрия, активированного европием (Патент РФ № 2435363 С1, 2011). Исследования фотофизических свойств данных пленок, изменения под ними микроклимата в теплицах и влияние его на продуктивность растений в настоящее время не изучены.

Таким образом, при создании новых по составу и фотофизическим свойствам модифицированных полиэтиленовых пленок, в том числе термических и флуоресцентных, необходимо их обязательное биологическое тестирование в разных географических регионах на различных, в первую очередь, наиболее широко выращиваемых сельскохозяйственных культурах.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Объекты исследований

В качестве объектов исследования в защищенном грунте использовались овощные культуры из семейства тыквенные (Cucurbitaceae) – огурец посевной (*Cucumis sativus* L.), из семейства пасленовые (Solanaceae) – томат (*Solanum lycopersicum* L., или *Lycopersicon esculentum* Mill.), баклажан (*Solanum melongena* L.) и перец стручковый, или овощной (*Capsicum annuum* L.), из семейства Астровые (Asteraceae), или Сложноцветные (Compositae) – латук посевной, или салат (*Lactuca sativa* L.).

Для исследований были выбраны, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, гибриды F<sub>1</sub> *Cucumis sativus* Валентина, Примадонна, Маринда и Кураж, гибрид *Solanum lycopersicum* Ля-ля-фа F<sub>1</sub> и сорт Джина, гибрид *Solanum melongena* Барон F<sub>1</sub> и сорт Алмаз, *Capsicum annuum* сорта Богатырь, *Lactuca sativa* сорта Московский парниковый.

### 2.2. Методы и условия выращивания растений

Исследования морфогенеза и продуктивности *Cucumis sativus* гибридов F<sub>1</sub> Валентина и Татьяна проводились с апреля по октябрь 2006 года, гибрида F<sub>1</sub> Примадонна – с мая по сентябрь в 2008 года, гибридов F<sub>1</sub> Маринда и Кураж – с мая по октябрь 2013 года.

Исследования морфогенеза и продуктивности *Solanum lycopersicum* проводились с апреля по сентябрь 2008 года, *Solanum melongena* и *Capsicum annuum* – с марта по сентябрь 2008 года, *Lactuca sativa* – с 01 июня по 10 июля 2010 года.

Гибриды огурца (в 2008 и 2013 годах) и салат выращивались в защищенном грунте на агробиологической станции Томского государственного педагогического университета (АГБ ТГПУ, г. Томск, 56°28'29.55"С, 84°58'39.17"В). Для гибридов F<sub>1</sub>

Кураж и Маринда исследования проводились в трех одинаковых теплицах площадью 18 м<sup>2</sup>, для гибрида F<sub>1</sub> Примадонна – в двух теплицах площадью 24 м<sup>2</sup>. Растения салата выращивались в сооружениях защищенного грунта размером 1 м<sup>2</sup> по описанной в литературе методике (Minich et al., 2001; Минич и др., 2003, 2004). Использовался семенной способ выращивания растений. Семена салата и гибридов огурца высевались непосредственно в гряды из почвы, для огурцов по схеме 3 растения на 1 м<sup>2</sup>. Полив осуществлялся водопроводной водой методом капельного орошения. Все сооружения защищенного грунта обеспечивались теплом посредством солнечного обогрева без дополнительного отопления.

Гибриды огурца (в 2006 году), баклажана, перца овощного и томата выращивались рассадным способом в крестьянском хозяйстве М.П. Борзунова в теплицах площадью 1100 м<sup>2</sup> (г. Томск, 56°49'55.80"С, 85°02'61.40"В). Использовалась рассада с близкими морфометрическими параметрами, выращенная под немодифицированной полиэтиленовой пленкой. В ранний весенний период использовался дополнительный обогрев для поддержания оптимальной температуры воздуха внутри теплиц.

Для покрытия контрольных теплиц применялись немодифицированные пленки, для опытных теплиц – модифицированные пленки. В качестве модифицированных пленок использовались флуоресцентные пленки, преобразующие УФ излучение в красную область спектра, и термические пленки, обладающие ИК- и УФ-экранирующими свойствами, а также гидрофильная пленка, препятствующая образованию мелкокапельного конденсата.

В качестве грунта использовалась почвенная смесь из чернозема и перегноя в соотношении 1:1, при выращивании салата – смесь равных частей чернозема, перегноя и торфа. В течение вегетативного периода дополнительно вносились азотные, фосфорные и калийные удобрения в одинаковых количествах под каждое растение в соответствии с агротехническими требованиями для конкретной сельскохозяйственной культуры (Тараканов и др., 1982; Брызгалов и др., 1983; Ващенко и др., 1984; Ченыкаева, Спиридонова, 1993; Гавриш и др., 2003, 2005).

### **2.3. Методы проведения исследований растений**

В защищенном грунте в онтогенезе у растений отмечались основные фенологические фазы периодов роста: прорастание семян, всходы, появление семядолей, первого и последующих настоящих листьев, формирование стебля, образование завязей, цветение, появление плодов. В динамике без повреждения растений проводился ряд измерений морфометрических параметров, определялось содержание фотосинтетических пигментов в листьях, растворимых сахаров и ионов в составе плодов. Интенсивность фотосинтеза и интенсивность транспирации гибридов огурца определялись в разные фенологические фазы вегетации растений: в начале формирования боковых побегов, в начале цветения, в начале и в середине массового плодоношения.

#### **2.3.1. Методы определения морфометрических параметров растений**

В ходе онтогенеза у растений огурца определялись количество листьев и площадь ассимилирующей поверхности, длина и диаметр стебля, подсчитывалось число завязей, цветков и плодов.

Для определения площади ассимилирующей поверхности растений использовалась бумажная проекция листьев с сохранением масштаба. Измерения площади поверхности проекций листьев проводились с использованием программы по определению площади сложных фигур «AreaS» 2.1, разработанной на технологическом факультете при ФГОУ ВПО «Самарской государственной сельскохозяйственной академии». Работа программы основана на сканировании двух фигур, площадь, одной из которых известна (шаблон), их сравнением с последующим расчетом площади другой фигуры. Погрешность определения площади не превышает 0,001 %, так как оценивается вся площадь листа, с учетом неровности края листовой пластинки. Для определения площади фигур с помощью программы «AreaS» были использованы следующие оборудование и программное обеспечение: ПК, сканер, графический редактор с возможностью сканировать

изображения (IrfanView). (Пермяков А.Н., URL: [www.ssaa.ru](http://www.ssaa.ru)). Все используемые программы являются бесплатными для некоммерческого использования.

Подсчет количества листьев, завязей, цветков, и плодов проводился арифметическим счетом.

Диаметр стебля определялся с помощью микрометра МК 0-25 мм ГОСТ 6507 в середине междоузлия.

Длина главного стебля огурца измерялась от корневой шейки до верхушки самого длинного настоящего листа.

При достижении технической спелости плодов проводился их сбор одновременно в опытных и контрольных культивационных сооружениях. Продуктивность растений в ходе онтогенеза и урожайность на конец вегетации определялись измерением веса всех снятых плодов с 1 м<sup>2</sup>.

### **2.3.2. Метод определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений**

Определение содержания Хл и Кар проводилось на спектрофотометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды) и на UV-VIS спектрофотометре UV-2600 Shimadzu (Shimadzu Corporation, Япония) (Шлык, 1971; Полевой и др., 1978). Навеска свежих листьев известной площади (S), гомогенизировалась и экстрагировалась 100 %-ым ацетоном. Гомогенизированный раствор центрифугировался в течение 5 мин при скорости 8 тыс. оборотов/мин. Экстракт отделялся декантацией, объем доводился ацетоном до 4 мл и исследовался на спектрофотометре в кварцевой кювете (толщина рабочего слоя 1 см). Проводилось измерение оптической плотности экстракта при следующих длинах волн: 440,5 нм, 644 нм, 662 нм, 720 нм. По формулам Хольма-Веттштейна для 100 %-ого ацетона из значений экстинкций при перечисленных выше длинах волн вычислялись концентрации пигментов (Шлык, 1971; Полевой и др., 1978).

### **2.3.3. Метод определения фотосинтетической активности и интенсивности транспирации**

Определение интенсивности фотосинтеза и транспирации гибридов огурца проводилось в разные фенологические фазы вегетации растений. Для измерения интенсивности фотосинтеза и транспирации листовой поверхностью растений, устьичной проводимости, концентрации углекислого газа в межклетниках использовался портативный инфракрасный газоанализатор Li-6400, LI-COR (Inc., Lincoln, NE, USA) с открытой системой. Источником света служила система светодиодов (6400-02B LED), обеспечивающая освещенность в  $1000 \mu\text{моль}/\text{м}^2 \text{ с}$ . Температура внутри камеры поддерживалась специальной системой теплообмена с электрическим нагревателем и воздушным охлаждением, которая обеспечивала стабильную температуру  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ . В листовой камере скорость потока  $\text{CO}_2$  составляла  $400 \mu\text{моль}/\text{с}$ , а его содержание –  $400 \mu\text{моль}/\text{моль}$ . Все измерения проводились в полдень. Относительная влажность в камере составляла  $65 \pm 5 \%$ .

Мезофильная проводимость рассчитывалась как отношение интенсивности фотосинтеза к концентрации углекислого газа в межклетниках (Ludlow, Jarvis, 1971).

Эффективность использования воды (WUE) высчитывалась как отношение интенсивности фотосинтеза к интенсивности транспирации (Ludlow, Jarvis, 1971).

### **2.3.4. Антроновый метод определения содержания растворимых сахаров**

Для определения растворимых сахаров в свежих плодах растений огурца использовался антроновый метод (Ермаков и др., 1972). Оптическая плотность растворов определялась при 610 нм на спектрометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды) в кварцевых кюветах (толщина рабочего слоя 1 см) относительно контрольного раствора, в котором вместо сахаров добавлялась вода. Содержание сахаров в пробах определялось по калибровочной кривой,

построенной по глюкозе. Для этого готовились 100 мл раствора, содержащего 1 г глюкозы, и затем методом разбавления получались остальные растворы.

Количество сахаров в исследуемом объекте (X, %) вычислялось по формуле:

$$X = \frac{a \times V}{m} \times 100 \%,$$

где X – содержание растворимых сахаров на 1 г сырого вещества, % сырой массы;

a – содержание сахаров, найденное по калибровочной кривой, г/мл;

V – объем вытяжки, полученной из навески, см<sup>3</sup>;

m – масса навески, г

### **2.3.5. Определение ионного состава плодов огурца методом капиллярного электрофореза**

Ионно-катионный состав плодов огурца определялся системой капиллярного электрофореза "КАПЕЛЬ 105" (ООО ЛЮМЭКС, Россия). Анализ катионного состава проводился по стандартной методике с использованием бензимидазольного буфера: (C(БИА) = 20 ммоль/л, C(винной к-ты) = 4 ммоль/л, C(18-краун-6) = 2 ммоль/л). Условия съемки: ввод пробы гидродинамический 30 мбар 5 с, напряжение +13 кВ, длина капилляра 60/50 см, внутренний диаметр капилляра 75 мкм, термостатирование при 20 °С, детектирование при 267 нм. Анализ анионного состава вели с использованием хроматного буферного раствора по стандартной методике ООО "ЛЮМЭКС": (C(CrO3) = 5 ммоль/л, C(диэтанолamina) = 20 ммоль/л, C(ацетилтриметиламмонийбромида) = 1,65 ммоль/л). Условия съемки: ввод пробы гидродинамический 30 мбар 10 с, напряжение -17 кВ, длина капилляра 60/50 см, внутренний диаметр капилляра 75 мкм, термостатирование при 20 °С, детектирование при 254 нм. Перед анализом водные вытяжки фильтровались через мембранный фильтр МФАС Б4 (Владипор) и разбавлялись дистиллированной

водой до концентрации, попадающей в линейный диапазон градуировочных кривых. Обработка полученных электрофореграмм проводилась с использованием ПО Мультихром V 1.52y. Концентрации искомых ионов определялись по индивидуальным градуировочным кривым, построенным с использованием метода внешнего стандарта (Komarova, Kamentsev, 2006).

#### **2.4. Метод определения численности гетеротрофных бактерий почвы**

Численность микрофлоры изучалась на примере гетеротрофных бактерий, растущих на МПА. Динамика численности гетеротрофных бактерий в почве теплиц под контрольной и опытными пленками определялась через установленный промежуток времени в ходе проведения эксперимента. После тщательного перемешивания почвы образцы отбирались в стерильные пробирки стерильным шпателем. Пробы отбирались в 5–7 разных местах, объединялись в одну, навески анализировались сразу после отбора проб. Микрофлора выделялась методом предельных разведений на агаризованные селективные среды в 5 повторностях. Засеянные чашки термостатировались 5–7 суток при 30–35 °С, затем производился подсчет числа колоний и клеток в колониях (Звягинцев, 1991).

#### **2.5. Методы изготовления полиэтиленовых пленок и исследования их фотофизических свойств**

Все пленки были изготовлены при одинаковых технологических параметрах из одной и той же партии ПЭВД марки 15803-020 (ГОСТ16337-77, 1977). Для предотвращения деструкции, приводящей к уменьшению их светопропускания и механической прочности, все пленки были стабилизированы светостабилизатором Тинувин-622 (Ciba, Швейцария) в количестве 0,2 % масс. в соответствии с рекомендациями (Минич, 1994; 1995; Райда и др., 2002б).

Пленки шириной рукава 1,5 м изготавливались методом экструзии с раздувом на пленочных линиях УРП-1500 (Россия) (ГОСТ 16337-77, 1977). На ООО

«Томскнефтехим» (г. Томск) были изготовлены флуоресцентная пленка Л-50, разработанная сотрудниками ООО «Томскнефтехим» и ФГБОУ ВО ТГПУ (Патент №2435363 С1, 2011), и пленка, служившая контролем при ее исследовании и для изготовления термических пленок (толщина 120 мкм).

На ОАО «Полимер» (г. Кемерово) были изготовлены флуоресцентные пленки Урожайная (толщина 120 и 150 мкм), Урожай-2 (толщина 120 мкм), гидрофильная пленка Роса (толщина 100 мкм) и пленка, служившая контролем (толщина 150, 120 и 100 мкм) для пленок Урожайная, Урожай-2 и Роса.

Композиция для получения флуоресцентных пленок готовилась методом «опудривания» гранул ПЭВД порошкообразным люминофором с гранулометрическим составом 5–30 мкм (для равномерного распределения частиц люминофора в полимерной матрице пленок и исключения ее физико-механических повреждений). Навеска гранулированного ПЭВД с точностью дозирования по ГОСТ 16337 и навеску порошкообразного люминофора с точностью дозирования  $\pm 0,01$  г смешивалась в смесителе периодического действия по ГОСТ 16349 в течение 10–15 минут (Райда и др., 1999).

Термические пленки получались нанесением на поверхность контрольной полиэтиленовой пленки наночастиц металлов на основе соединений меди (TF1) и соединений меди и серебра (TF2) методом магнетронного напыления (Zakharov et al., 2012). Используемые в исследованиях термические полиэтиленовые пленки были разработаны сотрудниками института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (Томск, Россия).

Пропускание ИК радиации термическими пленками рассчитывались по ИК-спектрам, полученным на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 (ThermoScientific, USA) в диапазоне 400–3000 см<sup>-1</sup>.

Спектральное пропускание пленками в области ФАР, УФ-А и УФ-В излучения рассчитывалось по данным, полученным на спектрофотометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды) и UV-VIS спектрофотометре UV-2600 Shimadzu (Shimadzu Corporation, Япония) (Raida et al., 2003).

Интегральное пропускание в областях ВС, ФАР и УФ излучения рассчитывалось по данным, полученным на UV-VIS спектрофотометре Shimadzu UV-2600 (Shimadzu Corporation, Japan) с интегрирующей сферой (Raida et al., 2003).

Относительная интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентной пленки определялась по методике (Минич и др., 1992).

Спектры люминесценции флуоресцентных пленок были получены на спектрофотометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды). В качестве источника возбуждения люминесценции использовали УФ-А излучение от лампы PL-S 9W/08 Black Light (Philips, Нидерланды).

Фотостабильность люминофора в флуоресцентных пленках определяли по описанной в литературе методике (Минич, Райда, 1998).

## **2.6. Методы исследований светового и температурного режимов**

В качестве показателей контроля метеорологических условий в период проведения эксперимента использовались результаты собственных наблюдений за температурой воздуха и данные Гидрометцентра г. Томска по температурному режиму и состоянию облачности для светлого времени суток (URL: <http://gp5.ru>).

Температура воздуха и почвы в каждой теплице и температура воздуха вне теплиц измерялась регистрирующим устройством в автоматическом режиме с помощью датчиков температуры DS18S20 (Maxim integrated, USA). Температура почвы определялась для верхнего слоя на глубине 3 см.

Значения суммарной солнечной радиации в диапазоне 280–2300 нм предоставлялись сотрудниками станции высотного зондирования Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск, Россия, 56°28'33.41"С, 85° 2'46.39"В). Измерения проводились на пиранометре М-115 (СССР), УФ пиранометре UVB-1 (YES – Yankee Environmental System, Inc., USA), спектрофотометре Brewer MKIV (Brewer, Canada) по методикам, описанным в литературе (Белан, Складнева, 2000; Складнева, Белан, 2007).

Изменения светового режима в телицах под модифицированными пленками относительно контроля устанавливались на основе данных интенсивности солнечного излучения и фотофизических свойств пленок.

## **2.7. Статистическая обработка результатов исследований**

Статистическая обработка экспериментальных результатов проводилась с помощью программы «Microsoft Excel». Оценка достоверности результатов исследований проводилась при 95 %-ом уровне надежности (уровень значимости – 0,05). В таблицах и рисунках для растений с двухсторонним доверительным интервалом приведены средние арифметические значения результатов экспериментов с 1 м<sup>2</sup>. Для овощных культур минимальная площадь насаждений составляла 18 м<sup>2</sup> (18 повторностей), для салата – 4 м<sup>2</sup> (4 повторности).

### 3. ВЛИЯНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И СВЕТОВОЙ РЕЖИМЫ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

#### 3.1. Интенсивность солнечной радиации и температура воздуха вне теплиц при выращивании растений

Район Томска относится к региону рискованного земледелия из-за неблагоприятных климатических условий. Основными абиотическими факторами внешней среды, определяющими эти условия, являются низкие средние температуры воздуха (таблица 1) и пониженная интенсивность солнечной радиации (таблица 2, рисунки 1–4) из-за малого количества ясных дней, особенно в весенний и осенний периоды (Белан и др., 1999; 2005; Белан, Складнева, 2000; Складнева, Белан, 2007).

Таблица 1 – Температурный режим в Томске в 2006, 2008, 2010 и 2013 годах

Период	Температура воздуха вне теплиц, °С											
	2006			2008			2010			2013		
	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.
Май	8,7	28,1	-4,6	11,2	30,6	-1,6	7,3*	27,9*	-3,3*	6,6	20,0	-2,0
Июнь	19,4	31,3	6,4	16,3	29,1	5,2	15,3	30,7	5,0	14,0	27,7	1,4
Июль	18,5	30,3	9,7	19,5	29,5	10,7	16,4	29,9	6,9	19,1	29,3	7,7
Август	12,6	24,0	-0,6	14,9	29,3	2,0	15,6*	29,4*	6,6*	16,7	26,1	3,1
Сентябрь	10,1	28,8	-2,0	8,2	24,0	-1,6	8,9*	31,3*	-3,4*	8,4	24,5	0,6
<i>Примечание:</i> * – в данный период исследования не проводились												

Интенсивность солнечной радиации в период исследований варьировалась в зависимости от года и периода исследований. Интенсивность излучения в различные месяцы определялась высотой солнца над горизонтом, длиной светового дня, облачностью и прозрачностью атмосферы (Шульгин, 1972; Decoteau, 1998; Белан и др., 1999; 2005; Белан, Складнева, 2000; Складнева, Белан, 2007).

Таблица 2 – Радиационный режим в Томске в диапазоне 290–3200 нм в 2006, 2008, 2010 и 2013 годах.

Год	Период	Среднее значение интенсивности излучения, Вт/м <sup>2</sup>		Суммарная энергетическая экспозиция, Дж/см <sup>2</sup>	
		Световой день	Максимум (с 12:00 до 14:00)	Среднедневная	За период
2006	Май	311	565	1885	58440
	Июнь	300	515	1908	57243
	Июль	328	537	1962	60826
	Август	316	505	1727	53536
	Сентябрь	262	282	1163	34903
	<b>итого</b>				<b>264948</b>
2008	Май (с 08.05)	362	653	2163	51911
	Июнь	346	607	2194	65830
	Июль	404	747	2475	76735
	Август	326	522	1778	55132
	Сентябрь	202	352	942	28248
	<b>итого</b>				<b>277856</b>
2010	Май*	268	456	1584	49091
	Июнь	317	577	2013	58369
	Июль	302	566	1855	55659
	Август*	274	469	1486	46068
	Сентябрь*	184	333	851	25535
	<b>итого</b>				<b>185632</b>
2013	Май	229	399	1352	41908
	Июнь	316	555	2006	58173
	Июль	338	575	2071	62125
	Август	249	461	1353	41951
	Сентябрь	192	329	897	26923
	<b>итого</b>				<b>231080</b>

*Примечание:* \* – в данный месяц исследования не проводились

За весь период исследований (май-сентябрь) суммарная энергетическая экспозиция вне теплиц составила 0,27 МДж/см<sup>2</sup>, 0,28 МДж/см<sup>2</sup>, 0,19 МДж/см<sup>2</sup> и 0,23 МДж/см<sup>2</sup> в 2006 2008, 2010 и 2013 годах соответственно, что находится в диапазоне разброса средних значений для Томска по данным наблюдений TOR-станции лаборатории климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН (г. Томск). Исключение составила энергетическая экспозиция сентября 2006 года, превышающая среднегодовые показатели на 20–25 %.

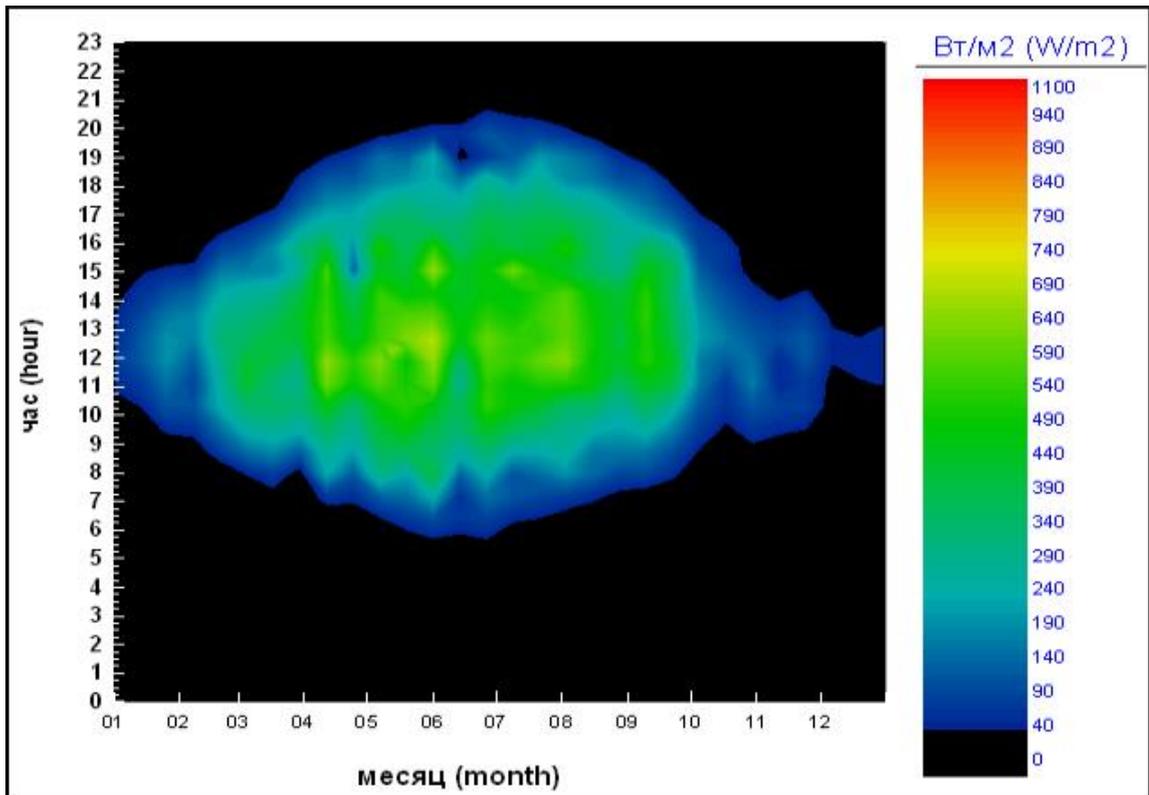


Рисунок 1 – Интенсивность солнечного излучения в 2006 году в Томске  
(URL: <http://lop.iao.ru/RU/tor/eye1993>)

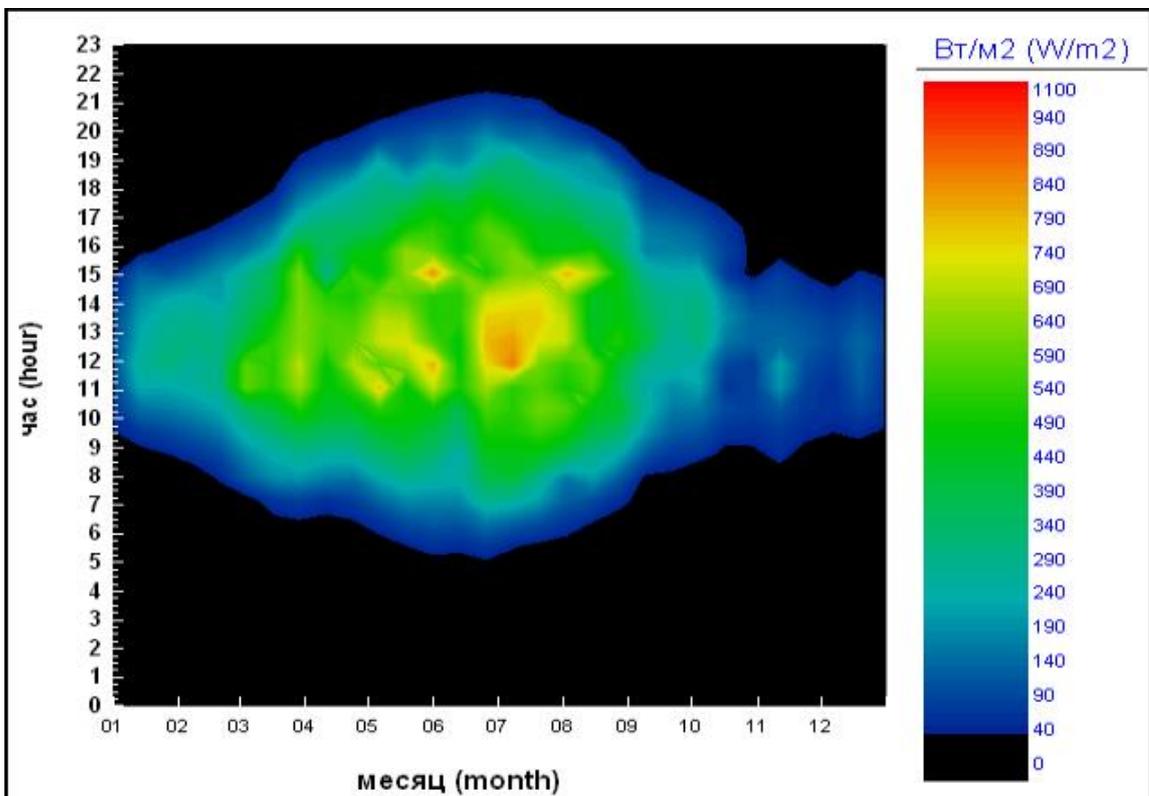


Рисунок 2 – Интенсивность солнечного излучения в 2008 году в Томске  
(URL: <http://lop.iao.ru/RU/tor/eye1993>)

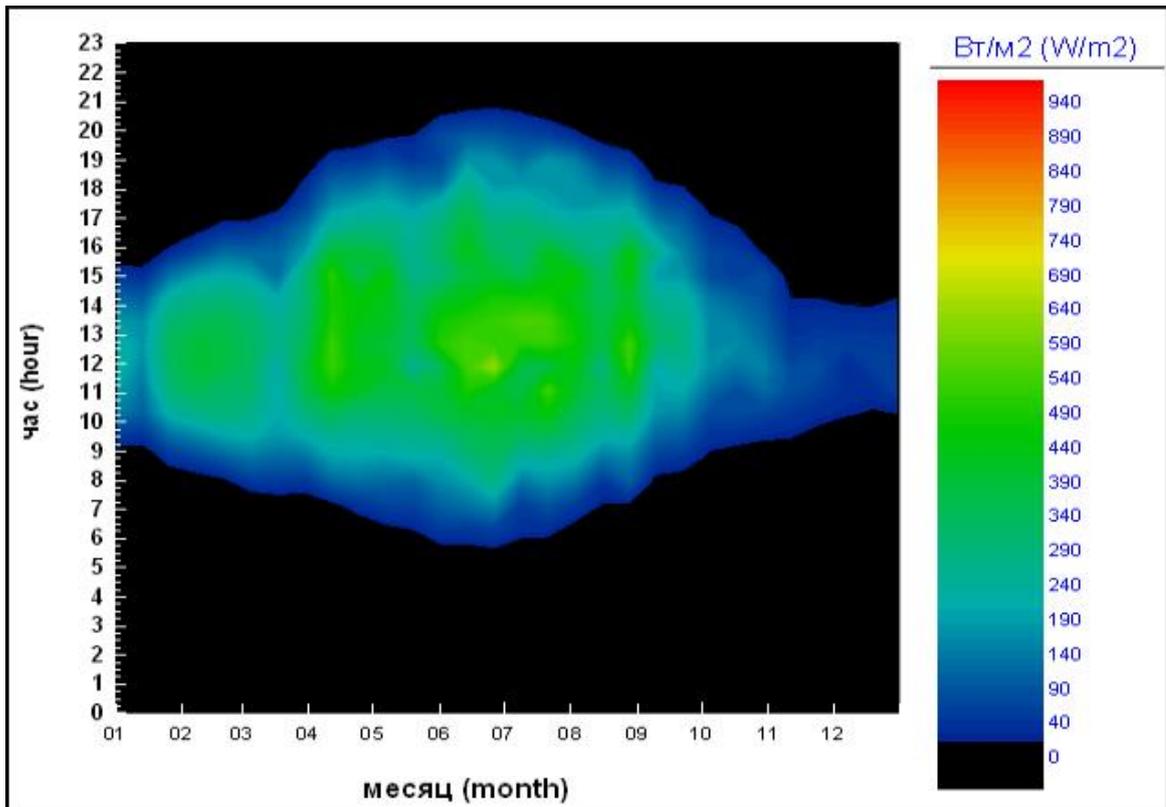


Рисунок 3 – Интенсивность солнечного излучения в 2010 году в Томске  
(URL: <http://lop.iao.ru/RU/tor/eye1993>)

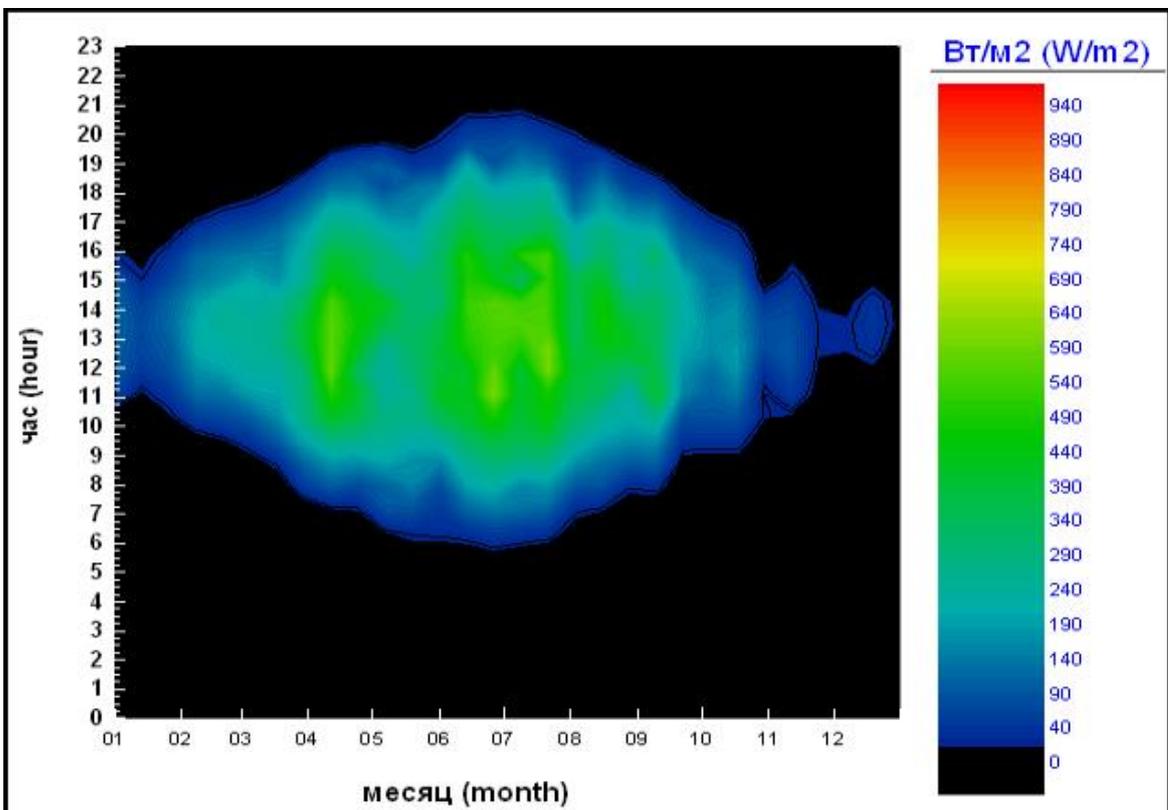


Рисунок 4 – Интенсивность солнечного излучения в 2013 году в Томске  
(URL: <http://lop.iao.ru/RU/tor/eye1993>)

В 2006 году в мае, августе и сентябре наблюдались отрицательные температуры, которые не оказали влияния на рост растений, так как в условиях исследования в этот период использовались теплицы с дополнительным обогревом.

В 2008 году наблюдалась наибольшая интенсивность солнечного света вне теплиц за все годы наблюдений (таблица 2, рисунок 2). Значения в полдень достигали максимума  $747 \text{ Вт/м}^2$  в июле, что на 30 % больше средневенной интенсивности июля 2013 года, в котором наблюдалась наименьшая интенсивность. В мае 2008 года отметили благоприятный температурный режим, что позволило снять первый урожай гибридов огурца раньше, чем в последующий год исследований (таблицы 6, 10).

2010 год характеризуется максимальными амплитудами температур в летние месяцы – в период проведения исследований (июнь-июль), т.е. температурный режим, как и световой, находился в оптимуме.

В мае 2013 года среднесуточная температура была на  $3,8 \text{ }^\circ\text{C}$  ниже средней (URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29430.htm>). Низкая интенсивность солнечного излучения в 2013 году, приведшая к минимальной энергетической экспозиции, частично была скомпенсирована благоприятным температурным режимом сентября. Отсутствие отрицательных температур позволило проводить эксперимент до начала октября без использования дополнительного отопления теплиц и максимально продлить сроки вегетации растений (глава 4, таблица 5).

Таким образом, температурный и световой режимы вне теплиц в период проведения исследований характеризовались близкими показателями к среднегодовым значениям. Основные отличия морфогенеза и продуктивности растений были обусловлены особенностями микроклимата теплиц (неодинаковой интенсивностью солнечной радиации и варьированием температурного режима), которые определялись различием фотофизических свойств исследуемых пленок.

### 3.2. Влияние фотофизических свойств термических пленок TF1 и TF2 на микроклимат в сооружениях защищенного грунта

Обе термические пленки имеют меньшую проницаемость в УФ-А, УФ-В, ВС, ФАР, ИК-А и ИК-В областях спектра по сравнению с нетермической пленкой (таблица 3).

Таблица 3 – Фотофизические свойства нетермической пленки (контроль) и термических пленок TF1 и TF2 (материал – ПЭВД, толщина – 120 мкм)

Области спектра, нм	Пропускание, %		
	контроль	TF1	TF2
Интегральное пропускание света, %			
290-400(УФ-А + УФ-В)	89,0 ± 1,0	69,8 ± 3,1	62,0 ± 7,3
290-315 (УФ-В)	82,9 ± 3,6	59,0 ± 4,9	40,0 ± 8,2
315-400 (УФ-А)	77,6 ± 3,2	51,4 ± 2,9	28,3 ± 2,5
380-710(ФАР)	84,5 ± 1,9	61,2 ± 2,5	43,4 ± 5,8
360-450 (фиолетовый)	86,9 ± 0,9	64,8 ± 1,5	51,4 ± 3,0
450-500 (синий)	88,5 ± 0,3	67,9 ± 0,6	56,0 ± 0,6
500-570 (зеленый)	89,2 ± 0,2	70,8 ± 1,3	60,4 ± 2,6
570-591 (желтый)	89,5 ± 0,1	73,8 ± 0,3	67,9 ± 1,1
591-610 (оранжевый)	89,6 ± 0,1	74,1 ± 0,1	70,4 ± 0,5
610-710 (красный)	89,9 ± 0,2	71,6 ± 1,7	69,9 ± 2,5
Прямое пропускание излучения, %			
290-315 (УФ-В)	53,4 ± 4,3	0,3 ± 0,1	27,9 ± 1,1
315-400 (УФ-А)	60,1 ± 3,8	11,9 ± 0,9	34,2 ± 3,7
760-1400 (ИК-А)	81,1 ± 1,6	36,5 ± 6,7	12,3 ± 4,6
1400-3000 (ИК-В)	80,5 ± 6,0	41,2 ± 6,1	14,6 ± 5,4
Соотношение пропускания света в областях спектра			
УФ <sub>инт</sub> /УФ <sub>пр</sub> /ФАР <sub>инт</sub> /ИК <sub>пр</sub>	1,46 / 1,00 / 1,57 / 1,42	6,57 / 1,00 / 10,16 / 6,34	1,90 / 1,00 / 2,25 / 0,44
УФ <sub>инт</sub> /ФАР <sub>инт</sub> /ИК <sub>пр</sub>	1,03 / 1,10 / 1,00	1,03 / 1,06 / 1,00	4,37 / 5,17 / 1,00
<i>Примечания:</i>			
УФ <sub>инт</sub> – пропускание пленками интегрального УФ излучения;			
УФ <sub>пр</sub> – пропускание пленками прямого УФ излучения;			
ФАР <sub>инт</sub> – пропускание пленками интегральной ФАР;			
ИК <sub>пр</sub> – пропускание пленками прямого ИК излучения.			

Пленка TF1 является практически непроницаемой для прямых УФ лучей. Интегральное светопропускание в УФ области спектра составляет 78 % от

контроля, максимальное снижение проницаемости на 34 % приходится на УФ-А излучение, УФ-В – на 29 %. Значительные различия интегрального и прямого пропускания УФ излучения показывают, что основная часть прямых УФ лучей рассеивается. Проницаемость пленки TF2 для прямых УФ лучей за счет модификации уменьшается в 2 раза по сравнению с контрольной пленкой, но выше относительно пленки TF1 (в 3 раза для УФ-В излучения). Интегральное светопропускание УФ радиации меньше на 30 % по сравнению с нетермической пленкой: в УФ-В области – на 52 %, в УФ-А – на 63 %. Это указывает на то, что по сравнению с пленкой TF1 пленка TF2 в меньшей степени рассеивает поглощенное УФ излучение, а соотношение прямых и рассеянных лучей под ней сдвинуто в сторону прямой радиации.

Интегральное светопропускание ФАР пленки TF1 составляет 72 % от контроля, но оно практически в 2 выше пленки TF2. Относительно контроля для термических пленок снижение данного показателя характерно в каждом диапазоне длин волн видимого света. Минимальная прозрачность в области ФАР пленок TF2 и TF1 характерна в диапазоне длин волн 360–450 нм – соответственно меньше контроля на 41 и 25 %.

Прозрачность пленки TF1 в области ИК излучения практически в 2 раза ниже нетермической пленки. Пленка TF2 имеет минимальную проницаемость для ИК излучения, по сравнению с контролем прозрачность в ИК-А области ниже в 6,6 раза, в ИК-В – в 5,5 раза.

Известно, что баланс облучения в разных диапазонах длин волн оказывает значительное влияние на чувствительность растений к УФ-В радиации, а уровень ФАР важен при восстановлении повреждения растений от УФ-В лучей (Krizek, 2004). Модифицирование пленок приводит к изменению соотношения пропускания солнечного света в различных областях спектра. Под пленкой TF1 соотношение  $УФ_{инт}/УФ_{пр}/ФАР_{инт}/ИК_{пр}$  меняется в основном за счет низкой проницаемости для прямых УФ лучей. Отношение интегрального пропускания УФ радиации и ФАР к прямым ИК лучам ( $УФ_{инт}/ФАР_{инт}/ИК_{пр}$ ) практически идентично соотношению под контрольной пленкой, только незначительно уменьшается доля

ФАР за счет более сильного поглощения пленкой TF1 области спектра с длинами волн 360–570 нм. Под пленкой TF2 изменение соотношения диапазонов радиации определяется в основном сильным экранированием ИК радиации и уменьшением интенсивности ФАР.

Таким образом, особенностями фотофизических свойств термической пленки TF1 являются практически полное блокирование пропускания прямой УФ радиации и уменьшение интенсивности интегрального УФ излучения за счет его отражения и рассеивания. По сравнению с контролем она обладает в 2 раза меньшей способностью пропускать ИК излучение, но также в 2 раза лучше сохранять его в теплице. Интенсивность солнечного излучения под пленкой TF1 будет ниже относительно контроля, однако будет сохраняться близкое к ней соотношение интенсивностей в УФ, ФАР и ИК диапазонах.

Основной особенностью фотофизических свойств термической пленки TF2 является значительное уменьшение пропускания ИК излучения. Можно предположить, что такое свойство будет способствовать не только сохранению тепла в теплице, но и блокированию его поступления и медленному нагреванию воздуха и почвы в ней. Кроме того, под пленкой TF2 практически в 2 раза уменьшится интенсивность ФАР, а в солнечном свете будет увеличена доля прямого УФ излучения по отношению к ФАР и ИК радиации.

Результаты исследования в теплицах показали, что ежедневная передача солнечного излучения и температуры сильно зависят от модификации пленки. Изменения температуры воздуха и почвы в опытных теплицах относительно контроля определяются особенностями фотофизических свойств термических пленок, в том числе специфичной проницаемостью ИК излучения.

Исследования показали, что днем в теплице под пленкой TF1 по сравнению с контрольной теплицей температура воздуха и почвы была ниже на 0,2 и 1,7 °С соответственно, а ночью – выше на 1,6 и 1,9 °С, что согласуется с данными по применению других термических пленок (Brown, 2004; Espí et al., 2006; 2006a; Yang et al., 2012; Max et al., 2012). Такой результат объясняется способностью термической пленки TF1 относительно нетермической пленки почти в 2 раза

меньше пропускать тепловые лучи, что днем приводит к понижению температуры внутри теплицы, а ночью снижает потери тепла.

В теплице под пленкой TF2 в дневное время суток наблюдали пониженную температуру почвы по сравнению с контролем на  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а по сравнению с теплицей под пленкой TF1 – на  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это подтверждает сделанное нами предположение и связано с тем, что уровень ИК излучения не позволяет нагреваться почве из-за низкой прозрачности термической пленки TF2 для прямых тепловых лучей. В дальнейшем при появлении зеленой массы растений незначительная часть тепловых лучей, прошедшая через термическую пленку TF2, поглощается в основном листовой поверхностью растений и рассеивается в виде тепла. Это определяет повышение температуры воздуха в теплице под пленкой TF2 по сравнению с контролем на  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а с теплицей под пленкой TF1 – на  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В ночное время суток в теплице под пленкой TF2 относительно контроля температура воздуха и почвы была выше на  $1,0$  и  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно, но меньше, чем в теплице под пленкой TF1 на  $0,7$  и на  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно. Причиной является низкая прозрачность термической пленки TF2 в области ИК излучения. Вследствие этого днем поверхность почвы нагревалась менее всего, а ночью тепло почвы лучше сохранялось.

Сравнение температур воздуха и почвы в теплицах под термическими пленками показывает, что двукратное снижение проницаемости ИК радиации пленкой TF1 относительно контроля является оптимальным для установления в теплице благоприятного температурного режима. Уменьшение проницаемости тепловых лучей в  $5,5\text{--}6,5$  раз, характерное для пленки TF2, является нежелательным, так как недостаток ИК радиации не способствует оптимизации температурного режима в теплице.

Проницаемость ФАР у обеих термических пленок меньше контроля, причем у пленки TF1 она выше, чем у пленки TF2. Достоверные отличия проницаемости термических пленок между собой характерны только в диапазоне  $380\text{--}610\text{ нм}$  (сине-оранжевая область спектра). При этом красная составляющая солнечного излучения в теплицах под обеими термическими пленками одинакова. Таким

образом, в теплице под пленкой TF2 относительно теплицы под пленкой TF1 меняется соотношение синей и красной частей ФАР в сторону уменьшения доли синих лучей.

Однако даже при двукратном снижении интенсивности излучения в отдельных областях видимого спектра под термическими пленками интенсивности светового потока достаточно для нормального протекания физиологических процессов растений. Так, при максимальной интенсивности ФАР за пределами теплиц 329–575 Вт/м<sup>2</sup> (таблица 2) в теплицы проникает свет с интенсивностью минимум в 169 Вт/м<sup>2</sup> (с учетом светопропускания ФАР пленки TF2), что является оптимальным для роста и развития гибридов огурца (Тихомиров и др., 1991). По литературным данным оптимальная интенсивность ФАР для морфогенеза огурцов составляет 36–60 Вт/м<sup>2</sup> (Abdel-Ghany et al., 2012; Alsadon et al., 2016). Таким образом, снижение ФАР в теплицах термическими пленками TF1 и TF2 не является лимитирующим показателем.

Кроме ФАР и ИК радиации фактором, определяющим морфогенез и продуктивность растений под термическими пленками TF1 и TF2, является изменение в УФ области спектра. Ингибирующее действие на рост, развитие и продуктивность гибридов огурца УФ лучей (Teramura et al., 1983; Krizek et al., 1997; Tsormpatsidis et al., 2010) под пленкой TF1 сведено к минимуму за счет практически полного экранирования прямой УФ-В радиации и значительного снижения интенсивности УФ-А излучения. Это происходит вследствие отражения и рассеивания УФ радиации пленкой, на что указывает показатель ее интегрального светопропускания в данном диапазоне длин волн. Пройдя через термическую пленку TF1, около 70 % УФ радиации (интегральной) проникает в теплицу и ее интенсивность в полдень колеблется в зависимости от периода исследований. Такой интенсивности УФ радиации (в первую очередь рассеянной УФ-А радиации) под пленкой TF1 достаточно для оптимального протекания физиологических процессов растений (Тихомиров и др., 1991, 2000).

Таким образом, после прохождения солнечного света через термическую пленку TF1, модифицированную нанесением на поверхность нетермической

пленки наночастиц соединений меди, приводит к снижению интенсивности в УФ, ФАР и ИК диапазонах (таблица 3). При этом интенсивность светового потока не падает ниже оптимальных значений, необходимых для роста и развития гибридов огурца. Изменение соотношения диапазонов солнечной радиации в сторону уменьшения доли УФ лучей и увеличения доли ИК излучения под пленкой TF1 позволяет улучшить микроклимат в теплице.

Освещенность растений под термической пленкой TF2 является достаточной для протекания ростовых и фотосинтетических процессов. Однако частичная замена соединений меди на соединения серебра в модификаторе приводит к максимальному экранированию ИК радиации пленкой TF2. При этом в солнечном свете, прошедшем через такую пленку, увеличивается доля прямых УФ лучей (таблица 3), что не способствует оптимизации температурного и светового режимов в теплице.

Таким образом, под термическими пленками TF1 и TF2 в теплицах уменьшается интенсивность УФ, ФАР и ИК радиации и меняется их соотношение. Снижение облученности растений УФ радиацией при увеличении доли тепловых лучей пленкой TF1 способствует оптимизации микроклимата в теплицах. Следствием этого является активация роста, развития и плодоношения гибридов огурцов (таблица 6).

Изменение соотношения интенсивностей УФ, ФАР и ИК радиации пленкой TF2 за счет уменьшения в 5,5–6,5 раз способности пропускать тепловые лучи относительно нетермической пленки и увеличения в световом потоке УФ радиации не позволяет оптимизировать микроклимат теплиц, приводя к ингибированию ростовых и продукционных процессов гибридов огурцов (таблица 6).

### **3.3. Особенности влияния фотофизических свойств флуоресцентных пленок Л-50, Урожайная, Урожай-2 и гидрофильной пленки Роса на микроклимат в теплицах**

При облучении УФ светом флуоресцентные пленки Л-50, Урожай-2 и Урожайная люминесцируют в красной области спектра с максимумами излучения при длинах волн 619 нм (Л-50) и 615 нм (Урожай-2 и Урожайная) соответственно, аналогичным люминесцентным излучениям введенных в их состав люминофоров (таблица 4, рисунки 5, 6).

Показатели фотофизических свойств контрольных пленок достоверно не изменяются в пределах толщин от 100 до 150 мкм.

Относительная интенсивность люминесцентного излучения люминофора ФВИ в флуоресцентной пленке Л-50 составляет 12,6 %, ФЕ – от 26,8 до 40,1 %. Неорганический люминофор ФВИ в пленке сохраняет способность люминесцировать более 3 лет, а органический ФЕ – около 4–5 месяцев, что согласуется с литературными данными (Минич, Райда, 1990, 1992; Минич, 1996; Иваницкий и др., 2009, 2010, 2010а; Минич, 2011).

Различная интенсивность люминесцентного излучения флуоресцентных пленок и их фотостабильность определяются в данном случае разным типом и содержанием люминофоров, используемых для модифицирования пленок, а также толщиной пленок (Райда и др., 2003). Этим же объясняется способность флуоресцентных пленок в различной степени поглощать УФ свет, служащий источником возбуждения люминесценции люминофоров в пленках (Райда и др., 2001, 2001а, 2002, 2002а). Поглощение части УФ радиации, а также ее рассеивание частицами люминофора во флуоресцентных пленках способствует уменьшению пропускания ими УФ-В и УФ-А излучения – на 8–28 % и на 7–20 % соответственно.

Таблица 4 – Состав и фотофизические свойства полиэтиленовых пленок, используемых для покрытия теплиц: контрольной (контроль), флуоресцентных (Урожайная, Урожай-2 и Л-50) и гидрофильной (Роса)

Характеристика пленок*	Наименование пленок							
	Контроль			Л-50	Урожайная		Урожай-2	Роса
Толщина пленок, мкм	100	120	150	120	120	150	120	100
Тип введенного в пленку люминофора	Нет			ФВИ	ФЕ		нет	
Основной максимум в спектре люминесценции, нм	---			619	615		---	
Содержание люминофора в пленке, % масс.	Нет			0,20	0,05		0,10	нет
Относительная интенсивность люминесценции, %		нет		12,6 ± 0,1	26,8 ± 1	28,7 ± 1,3	40,1 ± 0,8	нет
Фотостабильность люминофора в пленке, месяц	---			> 36	4	4	5	---
Содержание гидрофильной добавки, % масс.	нет							0,20
Пропускание излучения в области ФАР, %	78,5 ± 0,7	78,6 ± 0,8	78,7 ± 0,8	78,2 ± 0,2	77,9 ± 0,8	77,5 ± 0,8	76,4 ± 0,7	78,5 ± 0,6
Пропускание излучения, % в областях, нм:								
290–330	65,6	65,4	65,1	60,4	54,3	53,7	46,7	65,3
320–400	70,6	70,4	70,0	65,4	61,0	60,7	56,8	70,3
Интегральное светопропускание, %	90,6 ± 0,2	90,6 ± 0,2	90,6 ± 0,2	90,2 ± 0,1	90,3 ± 0,1	90,3 ± 0,1	90,1 ± 0,1	90,5 ± 0,3
*Примечание: пленки стабилизированы введением в состав 0,2 % масс. светостабилизатора «Тинувин-622»								

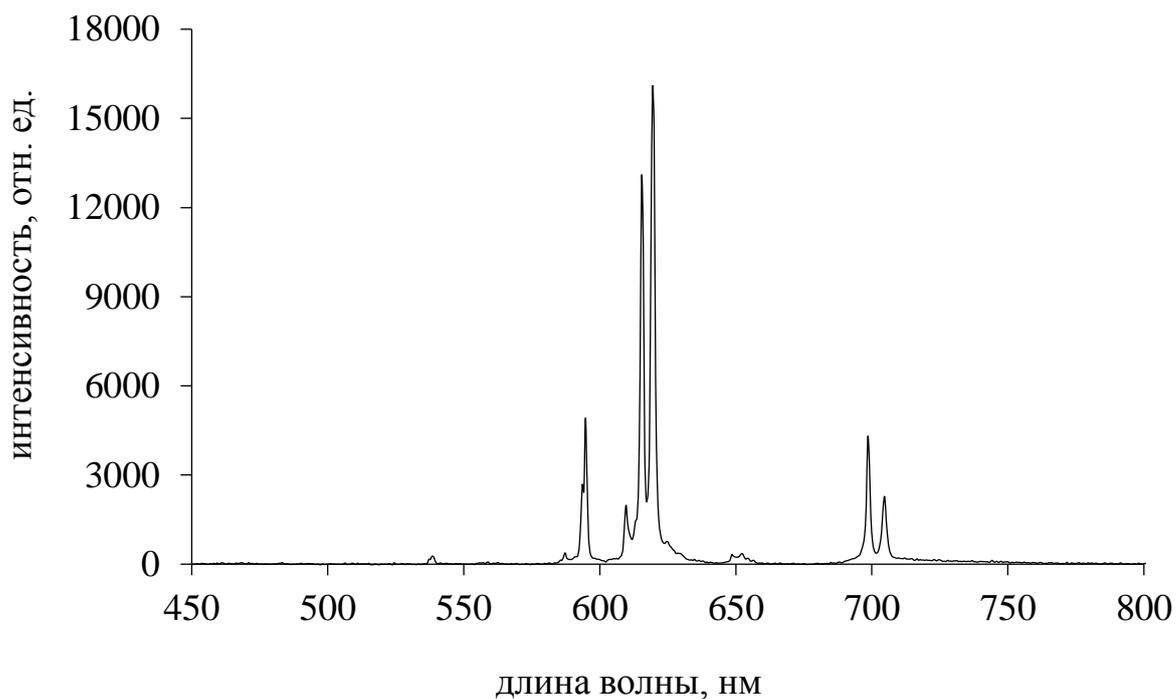


Рисунок 5 – Спектр люминесценции флуоресцентной пленки Л-50, содержащей фотолуминофор ФВИ

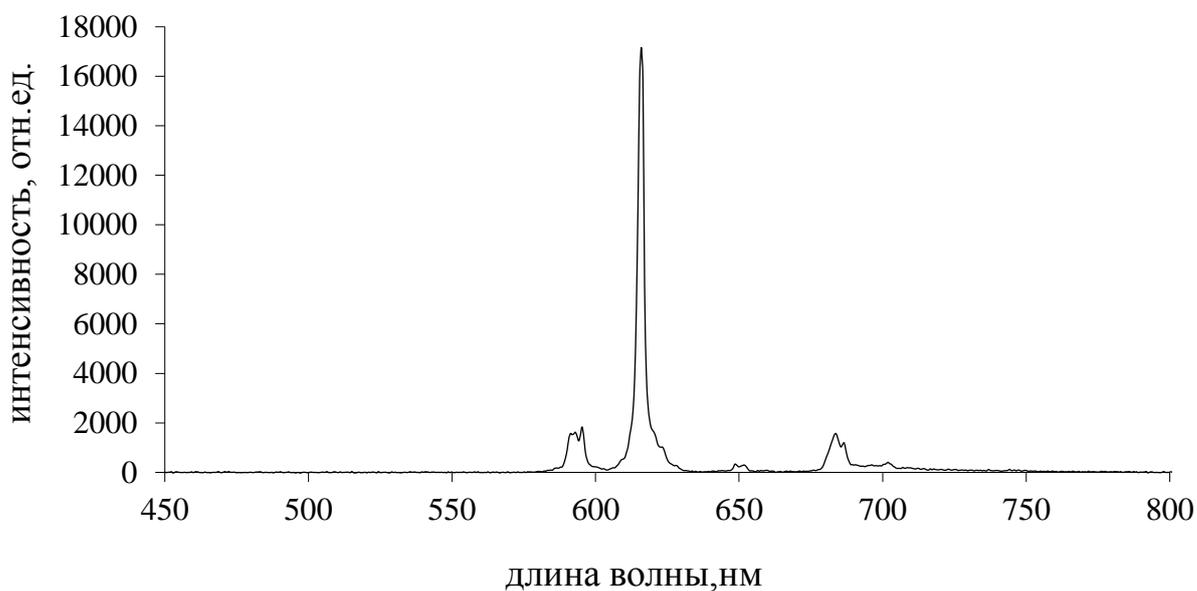


Рисунок 6 – Спектр люминесценции флуоресцентной пленки, содержащей фотолуминофор ФЕ

Сравнительный анализ фотофизических свойств контрольных и флуоресцентных пленок показывает, что введение люминофоров в состав контрольных пленок не приводит к достоверным изменениям в пропускании излучения в области ФАР. Исключение составляет флуоресцентная пленка

Урожай-2, для которой отметили уменьшение данного показателя на 2,8 %. Это согласуется с опубликованными данными, в которых показано, что светопропускание в диапазоне ФАР флуоресцентными пленками, содержащими в своем составе неорганические люминофоры в количестве до 0,3 % масс. и органические в количестве 0,05 % масс, практически не меняется по сравнению с контрольной пленкой (Райда и др., 2002, 2002а, 2003, 2004; Минич, 2011).

Из полученных данных фотофизических свойств пленок следует, что уменьшение интенсивности прямой УФ радиации под флуоресцентными пленками по сравнению с контрольной пленкой связаны с ее рассеиванием и поглощением (возбуждает люминесценцию люминофора в пленке) частицами люминофора в полимерной матрице (Минич и др., 2010а). На это указывает интегральное светопропускание флуоресцентных и контрольных пленок, которые по значениям сопоставимы. Близкие значения показателей определяются тем, что рассеянная частицами люминофора солнечная радиация в основном проходит через флуоресцентные пленки, а не отражается ею. Это приводит к изменению соотношения рассеянного и прямого света под флуоресцентными пленками в сторону повышения доли рассеянной радиации (Минич и др., 2010а; Минич, 2011).

Таким образом, по своим фотофизическим характеристикам флуоресцентные пленки Л-50, Урожайная и Урожай-2 близки к уже известным образцам, используемым в тепличных хозяйствах (Минич, 2011). Исходя из этого, можно предположить, что оптимизация микроклимата теплиц под исследуемыми флуоресцентными пленками будет схожей с изменениями под другими флуоресцентными пленками – в основном за счет изменения светового режима: уменьшения интенсивности УФ излучения, увеличения рассеянных лучей и влияния низкоинтенсивного люминесцентного излучения (Минич и др., 2010а; Минич, 2011).

Исследования показали, что применение флуоресцентных пленок Л-50, Урожайная и Урожай-2 на практике приводит к изменениям светового и температурного режима теплиц на солнечном обогреве (без дополнительного отопления). Под флуоресцентными пленками в ранневесенний период,

сопровождающийся низкими положительными или отрицательными значениями температуры воздуха вне теплиц, отметили повышенную температуру верхних слоев почвы относительно контроля. В опытных теплицах на глубине до 3 см температура почвы была выше приблизительно на 2 градуса, что отразилось на повышении температуры воздуха. Такой результат изменения теплового режима в теплицах под модифицированными пленками на солнечном обогреве по литературным данным обусловлен изменением микробиологических и энзиматических параметров почвы, активным ростом и развитием корневой системы растений, на которые в основном влияют фотофизические свойства пленок (Scora et. al., 2008).

Таким образом, под исследуемыми флуоресцентными пленками влияние солнечного света на морфогенез и продуктивность растений определяется комплексом изменений светового и температурного режима под ними. По полученным нами и литературным данным (см. глава 4) такие изменения определяются поглощением части УФ радиации, увеличением доли рассеянных лучей, наличием дополнительного люминесцентного излучения и изменением температуры верхних слоев почвы (Minich, Permyakova et al., 2011; Минич, 2011; Пермякова и др., 2013; Пермякова и др., 2013а).

Введение в состав контрольной пленки гидрофильной добавки не приводит к достоверным изменениям ее фотофизических свойств, но уменьшает возможность образования на поверхности пленки мелкокапельного конденсата. Во время эксплуатации такой пленки вода конденсируется на ее поверхности и стекает сплошным слоем, что по литературным данным улучшает микроклимат теплиц и способствует повышению продуктивности растений (Pieters, 1996; Pollet, Pieters, 2000; Brown, 2004; Zhou C., Zhou X., 2004).

## **4. MORFOГЕНЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ПОД ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ И ТЕРМИЧЕСКИМИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ПЛЕНОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

### **4.1. Особенности морфогенеза, продуктивности и биохимических параметров *Cucumis sativus* гибридов F<sub>1</sub> Маринда и Кураж под термическими пленками с фотоселективными свойствами TF1 и TF2**

#### **4.1.1. Рост, развитие и продуктивность гибридов *Cucumis sativus***

Результаты исследований показали, что применение пленок TF1 и TF2 способствовало формированию микроклимата внутри теплиц отличающегося от микроклимата контрольной теплицы, что привело к изменениям роста и развития *Cucumis sativus* исследуемых гибридов.

В начале вегетационного периода растений метеорологические условия вне теплиц были неблагоприятными, сопровождались резкими перепадами температуры воздуха в дневное и ночное время. Пленка TF1 способствовала формированию более благоприятного микроклимата в теплице по сравнению с контролем за счет меньшей потери тепла, что позволило сократить резкие колебания температуры дня и ночи. Особенно это благоприятно отразилось в начальный период вегетации, когда ночные температуры были отрицательными (до минус 1,8 °С). Более благоприятные условия в теплице под пленкой TF1 способствовали появлению всходов у обоих гибридов на 2-е суток раньше и в дальнейшем к их более быстрому росту и развитию, чем в контрольной теплице. Так, появление первого настоящего листа у обоих гибридов под пленкой TF1 было отмечено на 11 сутки от посева, в то время как под пленкой TF2 эта фаза роста была отмечена на 14 сутки, а у контрольных растений – на 16 сутки от посева (таблица 5).

Таблица 5 – Фенологические фазы *Cucumis sativus* гибридов F<sub>1</sub> Кураж и Маринда, выращенных под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Фенологические фазы растений и агротехнические мероприятия		Время от посева, сутки					
		Маринда			Кураж		
		контроль	TF1	TF2	Контроль	TF1	TF2
Всходы	единично	8	6	8	8	6	8
	массово	9	7	9	9	7	9
Раскрытие семядолей	единично	10	8	10	10	8	10
	массово	11	9	11	11	9	11
Настоящие листья							
первый	единично	16	11	14	16	11	14
	массово	17	13	16	17	13	16
второй	единично	18	16	18	18	16	18
	массово	20	17	20	20	17	20
третий	единично	22	21	22	22	21	22
	массово	25	22	23	25	22	23
четвертый	единично	24	23	24	24	22	24
	массово	27	25	27	27	24	27
пятый	единично	27	25	27	27	25	27
	массово	29	28	28	29	27	28
десятый	единично	38	34	37	36	32	36
	массово	39	36	39	37	33	37
Формирование боковых побегов	единично	31	29	29	29	28	29
	массово	32	30	32	31	30	32
Образование завязей и цветение	единично	33	31	32	33	29	32
	массово	34	32	33	34	30	33
Формирование габитуса растений		47					
Плоды пикули	единично	46	43	46	46	44	46
	массово	47-48	44	48-49	47-50	45	47
Плоды корнишоны	единично	49	46	50	50	45	47
	массово	50	47-48	51	51	46-47	49-50
Плоды зеленцы	единично	51	48	51	51	47	50
	массово	52	49	52	52	48	51
Первый сбор плодов		54	50	53	53	50	50
Массовое плодоношение		57	55	57	57	55	55
Ликвидация растений		134					

В начале вегетации у обоих гибридов под пленкой TF1 по сравнению с контрольными растениями отметили активное развитие главного побега,

сопровождается интенсивным формированием ярусов и развитием ассимилирующей поверхности (как за счет образования большего числа листьев, так и увеличения размеров листовых пластинок) (рисунки 7–12).

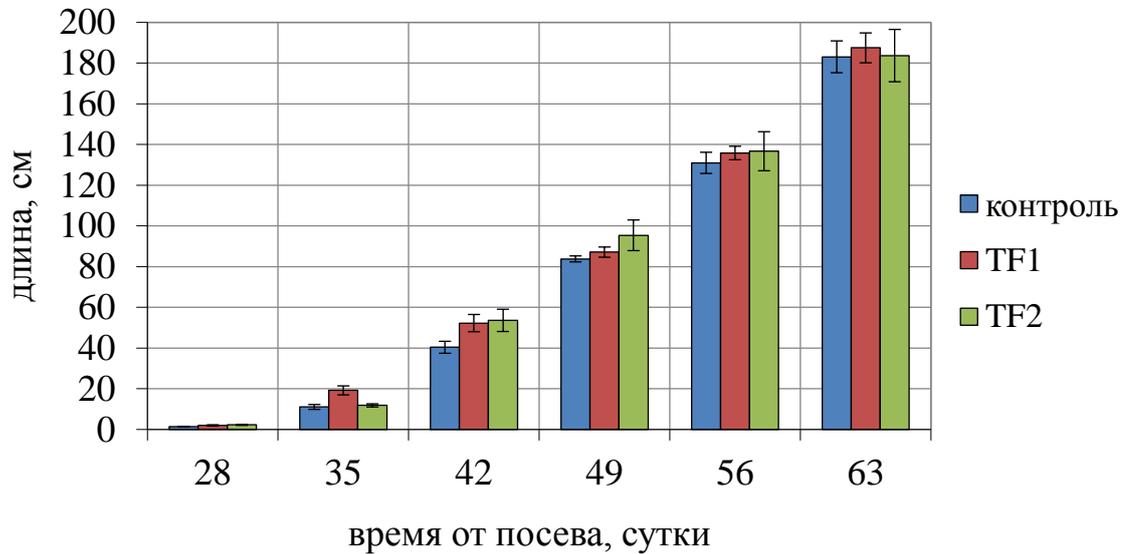


Рисунок 7 – Динамика длины главного побега *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

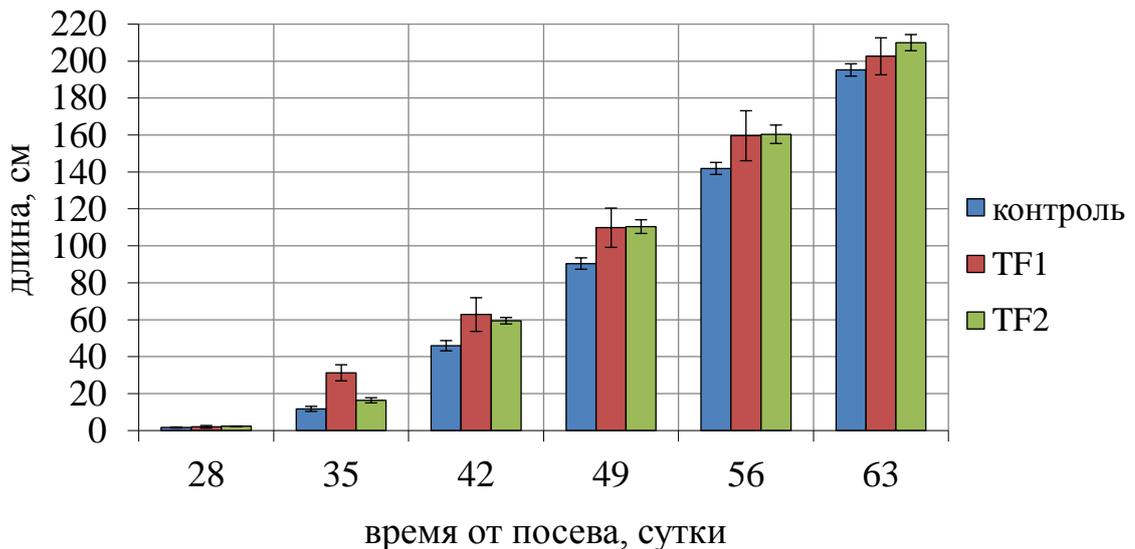


Рисунок 8 – Динамика длины главного побега *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

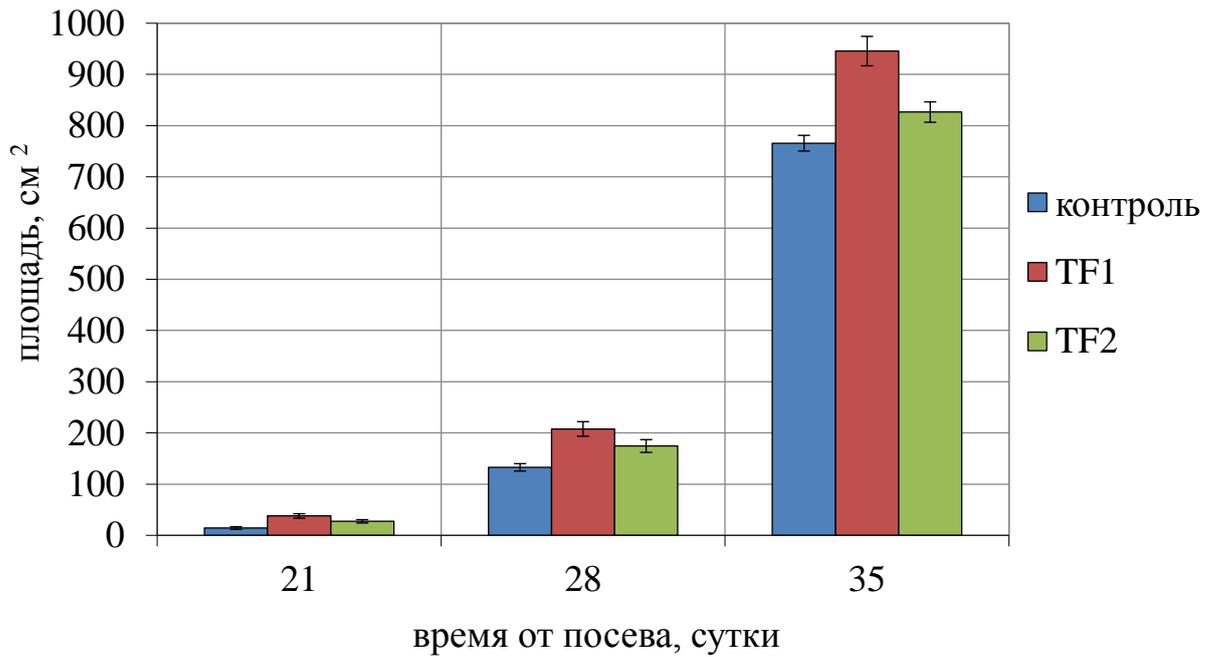


Рисунок 9 – Площадь поверхности листьев *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

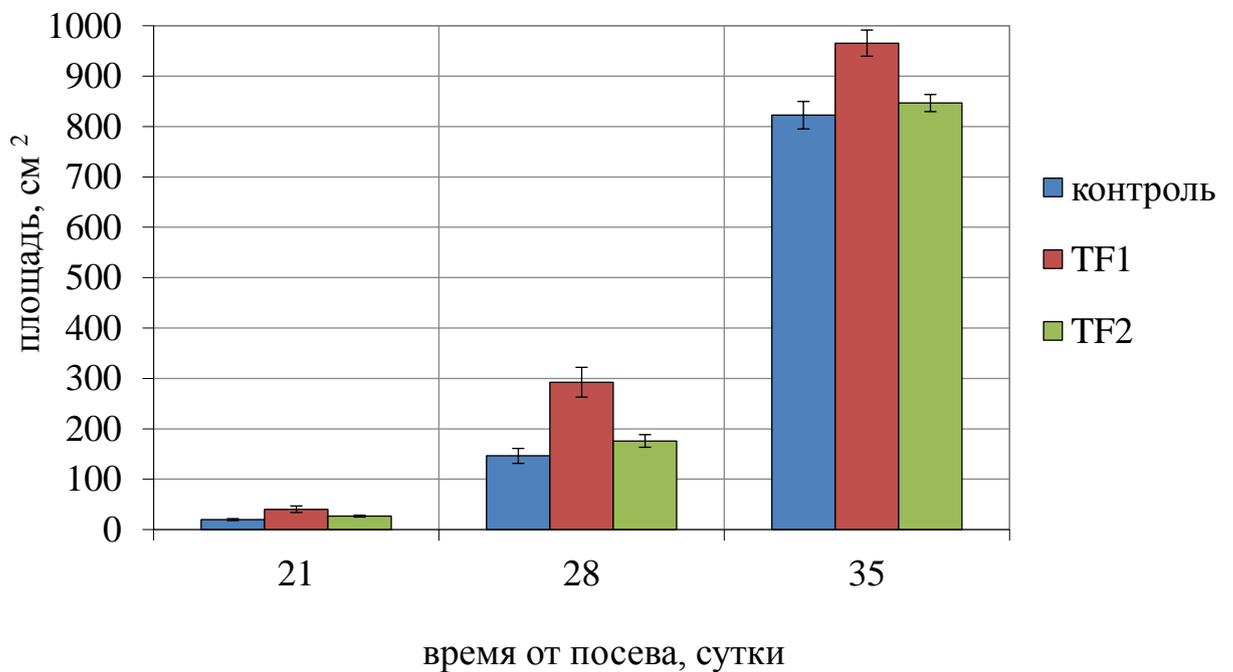


Рисунок 10 – Площадь поверхности листьев *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

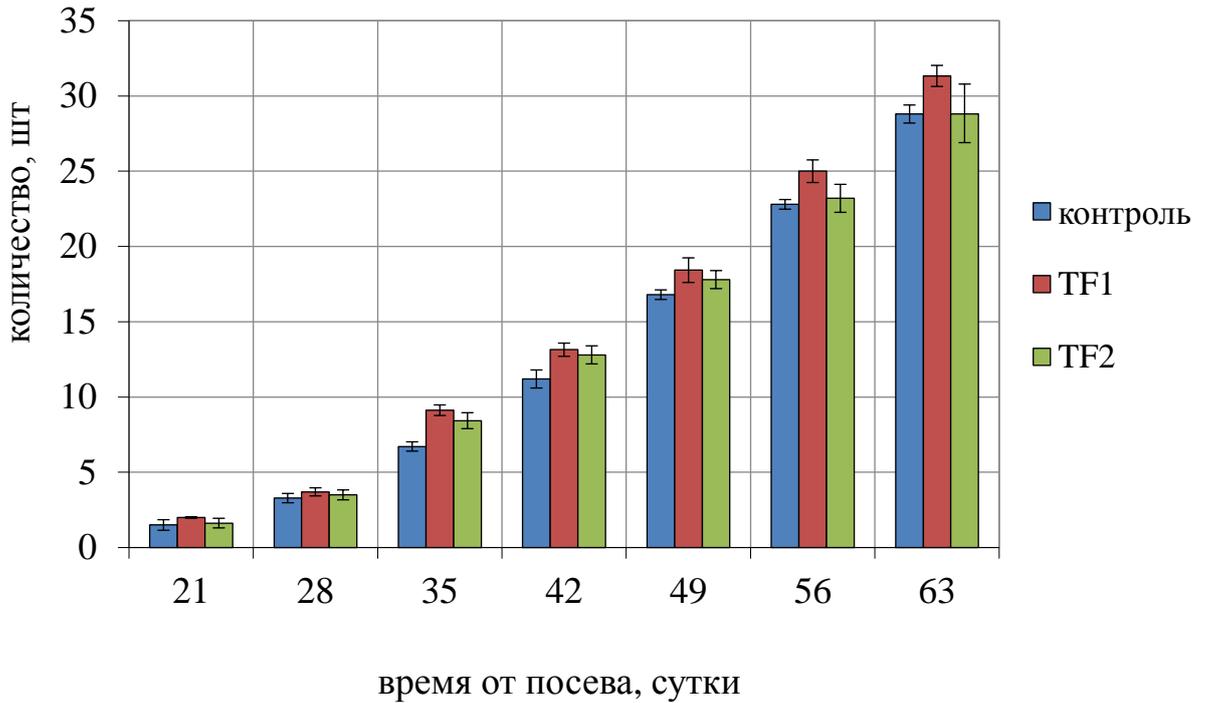


Рисунок 11 – Динамика количества листьев на главном побеге *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

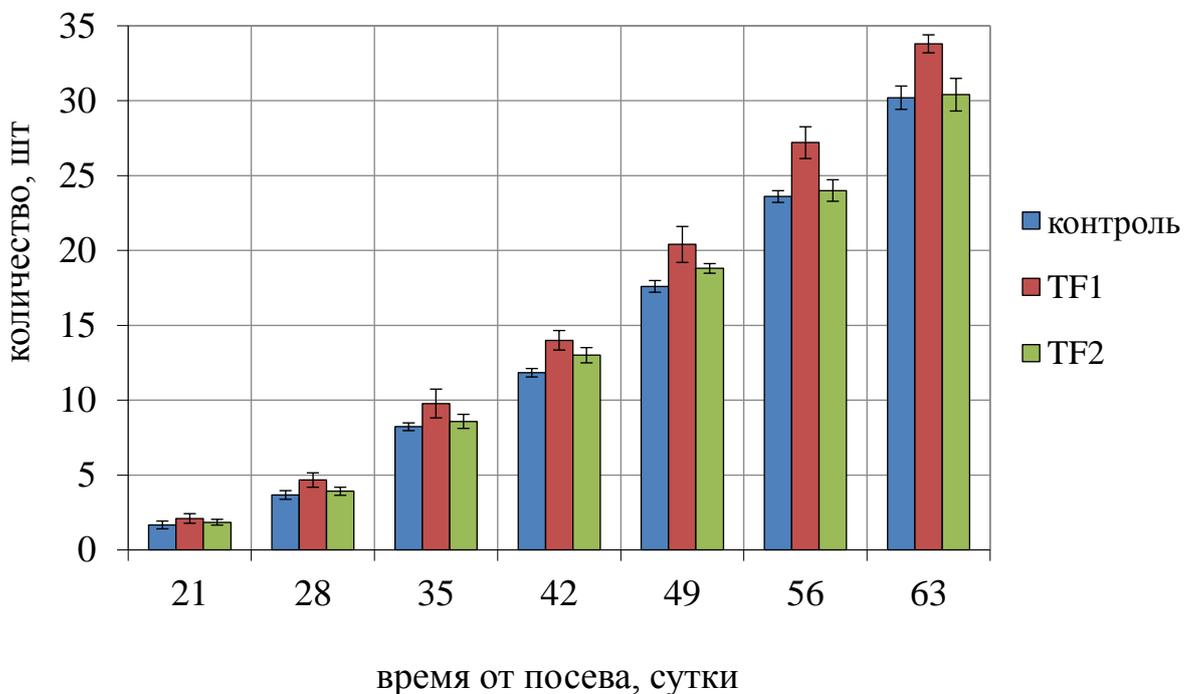


Рисунок 12 – Динамика количества листьев на главном побеге *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Такой результат может быть связан как со способностью пленки TF1 сохранять тепло (Espí et al., 2000), так и значительно уменьшать интенсивность УФ-А радиации и практически полностью блокировать поступление УФ-В радиации в теплицу (Krizek et al., 1997). Было показано, что увеличение УФ-В и УФ-А в спектральном диапазоне оказывает негативный фотобиологический эффект на рост и развитие растений (Teramura, Sullivan, 1994; Krizek et al., 1997; Sicora et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2010), в том числе на *Cucumis sativus*, имеющий чрезвычайную чувствительность к уровням УФ-А и УФ-В радиации (Krizek et al., 1997).

Для гибридов под пленкой TF2 относительно контроля весь период вегетации растений наблюдали идентичные по срокам смены фенологических фаз (таблица 5). Однако интенсивность роста и развития вегетативной массы растений значительно различалась. В начальный период вегетации растений за счет сглаживания неблагоприятных температурных колебаний вне теплиц пленкой TF2 из-за ее способности максимально задерживать ИК излучение, у обоих гибридов наблюдалось более интенсивное развитие листовой поверхности (рисунки 9, 10). По сравнению с контролем увеличение площади поверхности листьев у растений под пленкой TF2 связано только с изменением размера листовых пластинок, а не их числа (рисунки 11, 12). В дальнейшем различия в развитии гибридов огурца, вероятно, было связано с различиями в спектральном составе (качестве) излучения под контрольной и TF2 пленками (Caldwell et al., 1994), в первую очередь в области ФАР.

Интенсивный рост и развитие зеленой массы растений в теплице под термической пленкой TF1 способствовали более раннему сроку начала формирования репродуктивных органов (таблица 5), имевших достоверные отличия от контрольных до момента формирования растений (рисунки 13, 14). Это в дальнейшем привело к увеличению их продуктивности по сравнению с контролем (таблица 6).

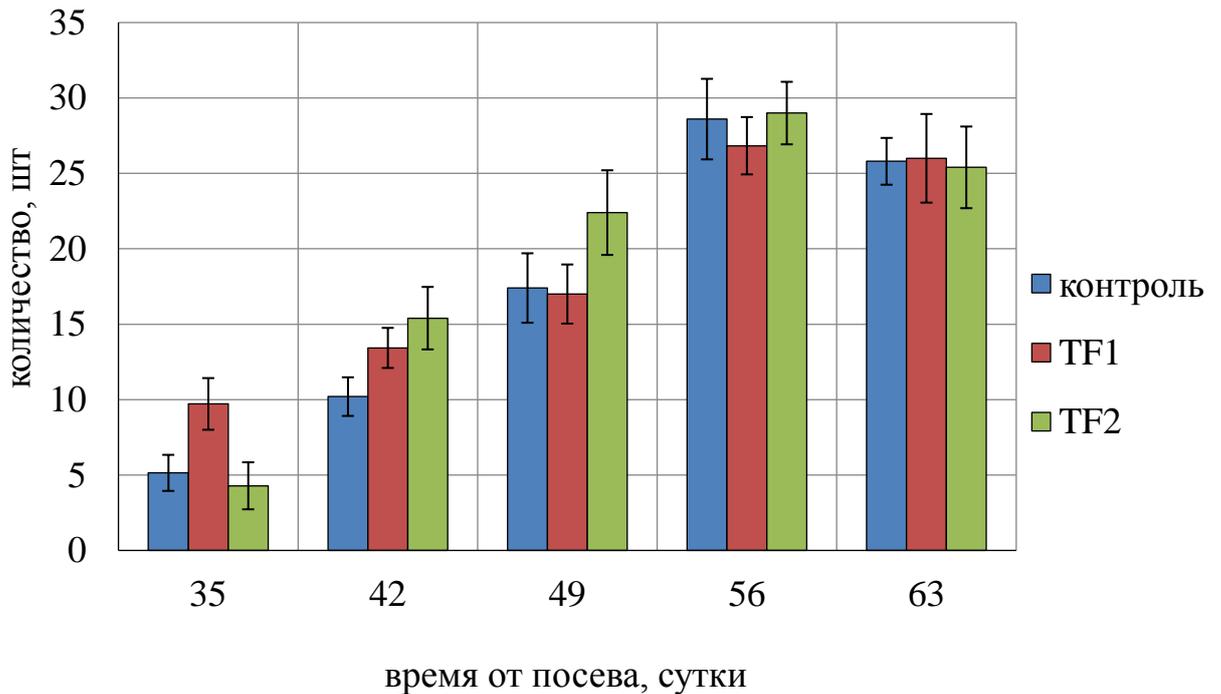


Рисунок 13 – Динамика количества завязей *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

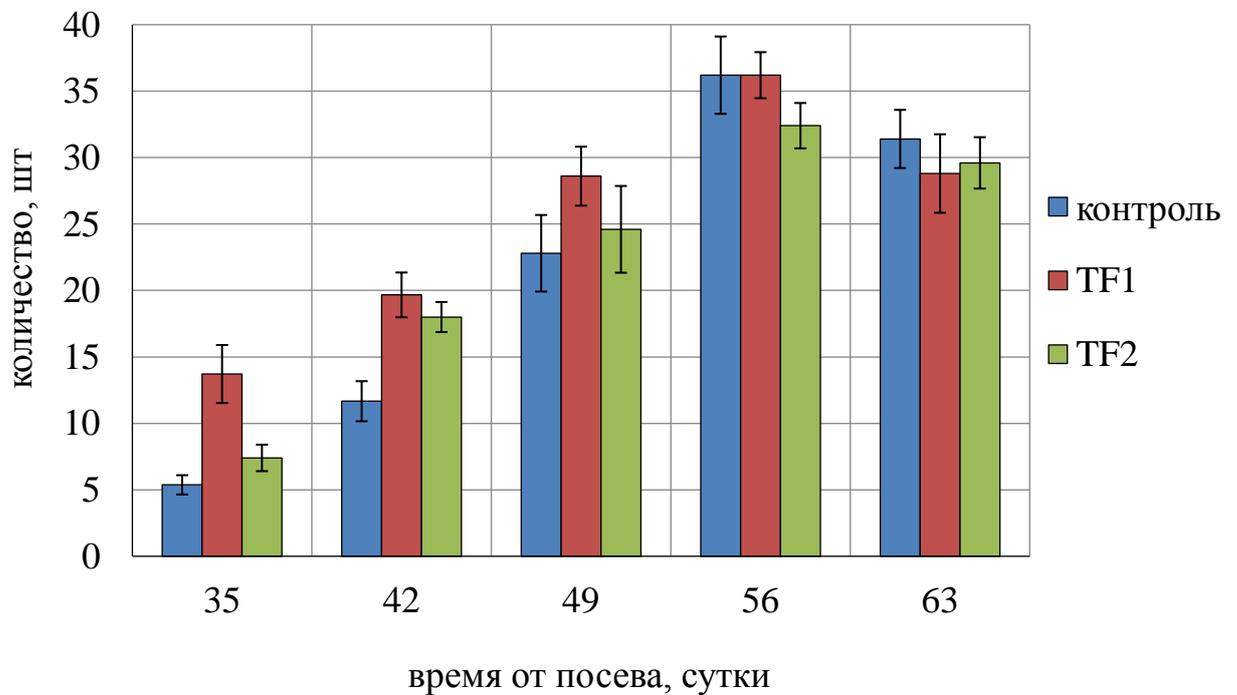


Рисунок 14 – Динамика количества завязей *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Таблица 6 – Продуктивность *Cucumis sativus* гибридов F<sub>1</sub> Маринда и Кураж, выращенных под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Дата сбора урожая (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)					
	Маринда			Кураж		
	контроль	TF1	TF2	контроль	TF1	TF2
12.07.2013 (50)	0,00	0,28 (-)	0,00 (-)	0,00	0,48 (-)	0,06 (-)
19.07.2013 (57)	1,03	1,84 (177,73)	0,807 (77,66)	0,65	1,97 (301,3)	0,97 (147,67)
26.07.2013 (64)	2,97	3,95 (133,13)	2,37 (80,00)	3,21	5,99 (186,12)	3,36 (104,60)
02.08.2013 (71)	6,65	7,66 (115,28)	5,14 (77,28)	6,63	9,93 (149,61)	6,10 (92,00)
09.08.2013 (78)	9,63	11,56 (120,10)	7,49 (77,84)	9,85	14,29 (144,99)	9,25 (93,81)
16.08.2013 (85)	13,12	14,90 (113,55)	9,82 (74,86)	12,4	17,53 (141,26)	11,58 (93,37)
23.08.2013 (92)	16,01	18,53 (115,76)	11,67 (72,68)	14,46	20,05 (138,75)	13,85 (95,78)
30.08.2013 (99)	19,16	21,91 (114,35)	14,06 (73,37)	17,36	23,68 (136,43)	16,01 (92,26)
05.09.2013 (105)	21,45	24,07 (112,23)	15,40 (71,79)	18,86	25,69 (136,21)	17,53 (92,93)
12.09.2013 (112)	23,80	26,53 (111,46)	16,74 (70,31)	2,54	27,93 (135,94)	18,84 (91,69)
19.09.2013 (119)	24,63	27,71 (112,48)	17,85 (72,46)	21,42	29,07 (135,74)	19,68 (91,89)
26.09.2013 (126)	25,18	28,46 (113,02)	18,46 (73,29)	22,11	30,01 (135,7)	20,42 (92,35)
03.10.2013 (133)	на конец вегетации					
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	25,49	28,97 (113,62)	18,81 (73,79)	22,4	30,40 (135,69)	20,68 (92,31)
Кол-во плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	366,00	364,09 (96,22)	237,00 (62,64)	282,00	372,90 (132,23)	240,69 (85,35)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	69,65	79,56 (114,23)	79,37 (113,96)	79,46	81,52 (102,59)	85,93 (108,14)

Увеличение продуктивности для обоих гибридов под пленкой TF1 наблюдали с момента начала плодоношения. Первые плоды у обоих гибридов огурца сняли в теплице под термической пленкой TF1 на 50 сутки вегетации растений. В контрольной теплице сбор плодов огурца начали на 3 суток позже. Максимальные различия в продуктивности растений под пленкой TF1 и в контроле приходились на начало массового плодоношения (57 сутки), в дальнейшем различия снижались и к моменту ликвидации культуры (133 сутки) под пленкой TF1 по отношению к контролю увеличение урожайности гибрида Маринда составило 13,6 %, гибрида Кураж – 35,7 %.

Относительно контроля повышение урожайности гибрида Маринда под пленкой TF1 происходило за счет увеличения массы плодов, а гибрида Кураж – за счет увеличения численности плодов.

Продуктивность гибрида Маринда под пленкой TF2 была ниже контрольных растений с начала плодоношения. Для данного гибрида минимальные различия в продуктивности растений под пленкой TF2 и в контроле приходились на 64 сутки (таблица 6).

Продуктивность гибрида Кураж под пленкой TF2 с момента достижения технической спелости первыми плодами и в начале массового плодоношения была выше, чем у растений под контрольной пленкой. В дальнейшем (с 71 суток) продуктивность данного гибрида под пленкой TF2 снизилась, что привело к уменьшению его урожайности на 7,7 %. Для гибрида Маринда в отличие от гибрида Кураж снижение продуктивности происходило с начала плодоношения и составило 26,2 %. Это указывает на то, что разница в урожайности опытных и контрольных растений определяется не только микроклиматом, создаваемым пленками, но гибридной принадлежностью огурца.

## 4.1.2. Биохимические параметры листьев и плодов

### 4.1.2.1. Фотосинтетические процессы в листьях гибридов *Cucumis sativus*

Активация ростовых процессов и увеличение продуктивности обоих гибридов огурца под термической пленкой TF1 относительно контроля (Minich, Chursina et al., 2016) связаны с увеличением интенсивности фотосинтеза растений. Результаты исследований фотофизических свойств термических пленок показывают, что интенсивность ФАР под пленкой TF1 снижается по отношению к контролю, но находится в оптимуме для роста и развития гибридов огурца (таблица 3). Это указывает на то, что единственным определяющим фактором в увеличении интенсивности фотосинтеза под данной пленкой ФАР не является.

Результаты исследований, в которых рассмотрена чувствительность растений к УФ излучению показывают, что увеличение уровня УФ-А и особенно УФ-В радиации влияет на анатомические и морфологические характеристики растений, в частности может привести к нарушению устьичного сопротивления, повреждению пигментов, липидов, аминокислот, а также сложных систем ферментов фотосинтетического аппарата (Tevini, Teramura, 1989; Teramura et al., 1991; Teramura et al., 1991a; Caldwell et al., 1995; Dai et al., 1995; Feng et al., 2003; Sicora et al., 2006), и в целом процесса фотосинтеза (Teramura, Sullivan, 1994; Teramura, Ziska, 1996; Jansen et al., 1998; Sicora et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2010). Нарушение фотосинтетической эффективности приводит к снижению роста растений, уменьшению площади листьев, ингибированию накопления общей биомассы (Teramura, 1983; Krizek et al., 1997; Tsormpatsidis et al., 2010). Наши результаты указывают, что важно соотношение УФ, ФАР и ИК в световом потоке, за счет чего относительно контроля в теплицах под термическими пленками изменяется световой и температурный режимы. Так под пленкой TF1 растения значительно меньше подвергаются воздействию УФ излучения, особенно УФ-В, а низкая проницаемость для тепловых лучей способствует сохранению тепла внутри теплицы. Это приводит к меньшей разнице температуры воздуха и почвы днем и

ночью, что согласуется с данными (Marcelis, Hofman-Eijer, 1993; Espí et al., 2006; 2006a; Del Amor et al., 2008; Ekebafé et al., 2011; Semida et al., 2013). Следствием этого является интенсификация фотосинтетических и ростовых процессов обоих гибридов и увеличение их продуктивности.

У обоих гибридов весь период наблюдений под пленкой TF1 отмечали более интенсивный фотосинтез относительно контроля (рисунки 15, 16).

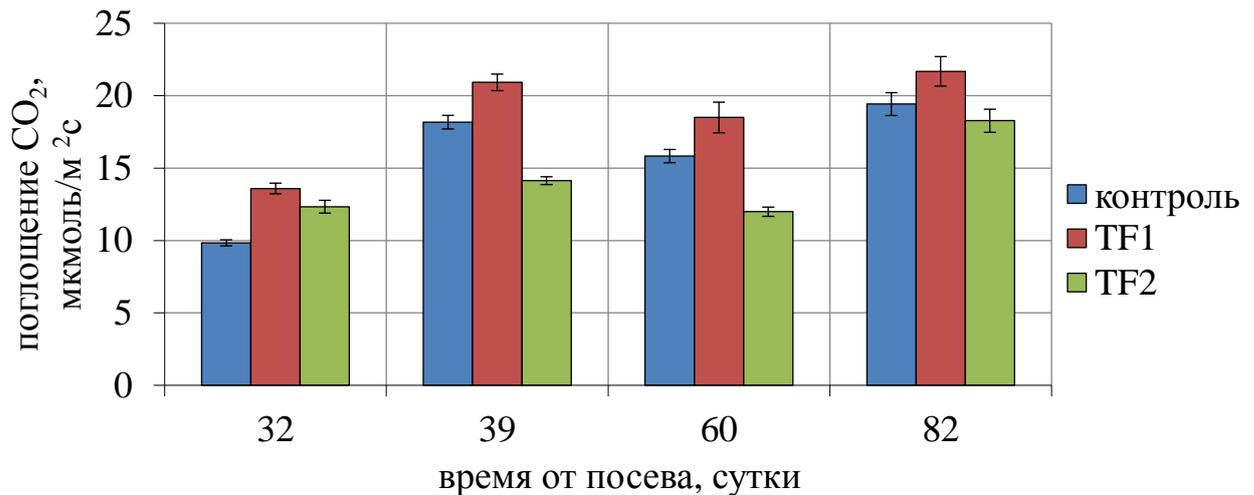


Рисунок 15 – Интенсивность фотосинтеза в листьях *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

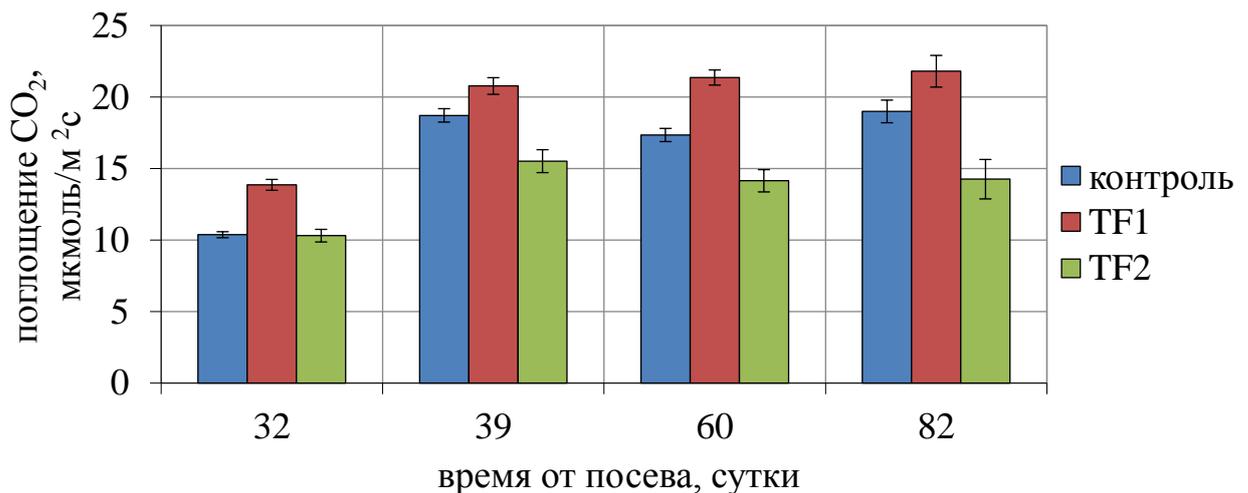


Рисунок 16 – Интенсивность фотосинтеза в листьях *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Это может определяться низкой проницаемостью пленки TF1 для УФ радиации, ингибирующей фотосинтетические процессы, а также пониженной прозрачностью для ИК излучения, что оптимизировало температурный режим в теплице.

Для гибрида Маринда под пленкой TF2 в момент начала формирования боковых побегов (32 сутки) интенсивность фотосинтеза была выше контроля, а для гибрида Кураж достоверных отличий не выявили. В дальнейшем с переходом растений в фазу цветения интенсивность фотосинтеза обоих гибридов под пленкой TF2 была самой низкой, что может быть обусловлено пониженной интенсивностью ФАР под обеими термическими пленками.

В начале цветения (39 сутки) у гибридов произошло увеличение и стабилизация поглощения CO<sub>2</sub>. В контроле интенсивность фотосинтеза гибрида Маринда выросла на 85 %, под пленкой TF1 – на 54 %, под пленкой TF2 – на 15 %, для гибрида Кураж – на 80, 50 и 51 % соответственно. Это согласуется с литературными данными, в которых указывается на повышение интенсивности фотосинтеза в листьях растений, достигающих максимума ко времени цветения и зависящее от протекания внутренних процессов, связанных с развитием растений (Гюббенет, 1951).

Небольшое снижение ассимиляции углекислоты в начале массового плодоношения (60 сутки) у гибрида Маринда, возможно, связано с незначительным снижением температуры воздуха в это время. Для гибрида Кураж в данный период развития изменений в интенсивности фотосинтеза не выявили, что может указывать на его большую устойчивость к снижению температуры. Следствием этого явилась повышенная продуктивность данного гибрида в этот период относительно контроля под обеими термическими пленками (таблицы 7, 8).

Динамика изменения интенсивности транспирации в процессе развития у обоих гибридов имела сходный характер, хотя в начале формирования боковых побегов (32 сутки) величина транспирации существенно отличалась (рисунки 17, 18).

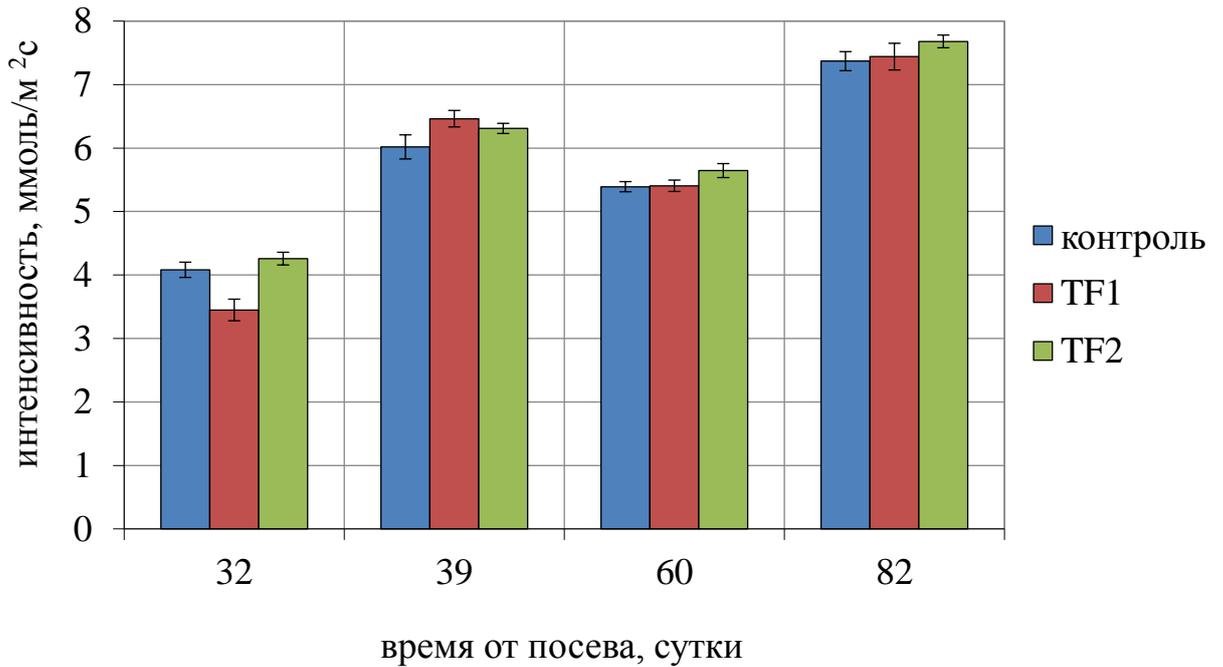


Рисунок 17 – Интенсивность транспирации в листьях *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

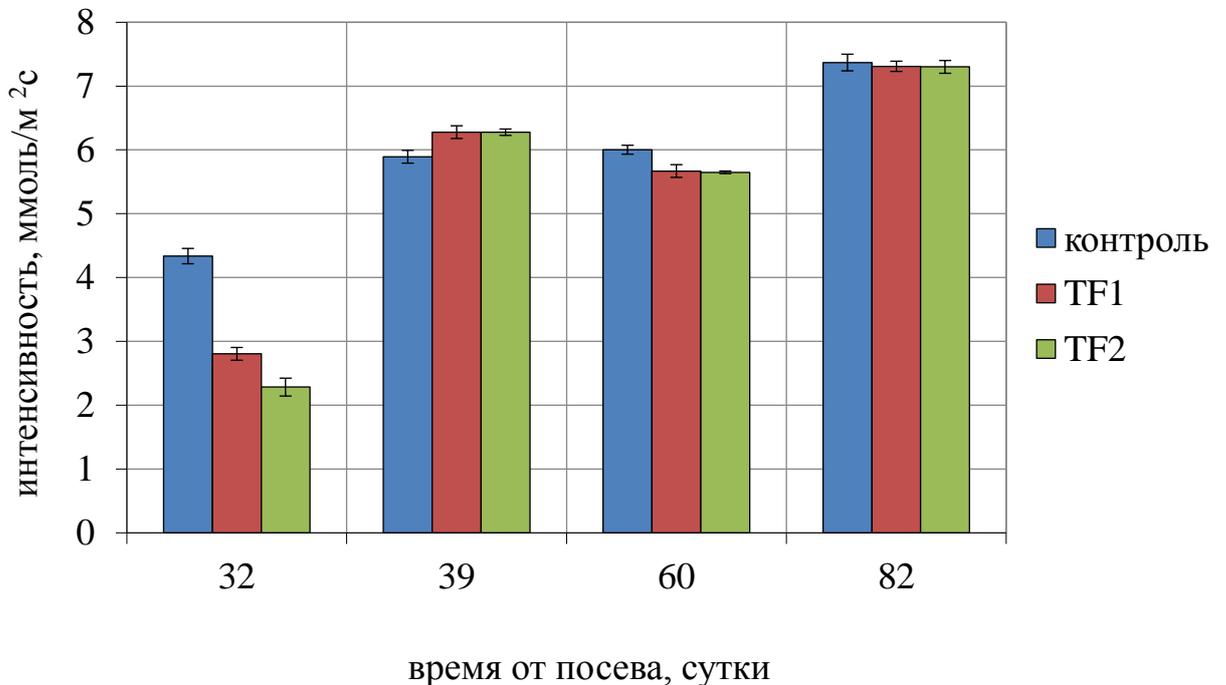


Рисунок 18 – Интенсивность транспирации в листьях *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

В начале формирования боковых побегов (32 сутки) у гибрида Маринда минимальную интенсивность транспирации имели растения под пленкой TF1 – на 15 % ниже контроля. У гибрида Кураж достоверные отличия в интенсивности транспирации так же наблюдали в первую дату наблюдений, при этом максимальные значения имел контроль. Под термическими пленками TF1 и TF2 интенсивность транспирации была ниже на 35 и 47 % соответственно. В остальные даты наблюдений у обоих гибридов отличия между вариантами были либо статистически недостоверными, либо не превышали 5 %.

Известно, что усиление транспирации предшествует наступлению цветения растений (Гюббенет, 1951), поэтому к 39 суткам (при переходе в фазу цветения) интенсивность транспирации выросла. Более высокая интенсивность транспирации листьями обоих гибридов огурца по термической пленкой TF1 при сохранении максимальной интенсивности фотосинтеза способствует развитию репродуктивных органов и повышению урожайности с начала плодоношения.

В момент начала формирования боковых побегов (32 сутки) под пленкой TF1 оба гибрида имели высокие значения интенсивности фотосинтеза и низкие значения транспирации. Известно, что снижение транспирации связано с закрытием устьиц для предотвращения потерь воды растением. Смыкание устьиц препятствует не только испарению воды, но и диффузии углекислого газа в лист (Pemadasa, 1981). Диффузия углекислого газа определяется не только устьичной проводимостью на участке устьица-межклетники, но и мезофильной проводимостью, которая зависит от концентрации углекислоты в межклетниках и активности работы рибулезобифосфаткарбоксилазы (Pemadasa, 1981).

Анализ величин мезофильной и устьичной проводимости показал схожую динамику их изменений, хотя у обоих гибридов под всеми пленками показатели величин достоверно отличаются (таблицы 7, 8).

Таблица 7 – Динамика устьичной и мезофильной проводимости углекислого газа в листьях *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Показатели	Время от посева, сутки	Температура воздуха, °С	Теплица		
			контроль	TF1	TF2
Устьичная проводимость, моль/м <sup>2</sup> с	32	21,3±0,1	0,40±0,01	0,35±0,01	0,49±0,01
	39	23,9±0,2	0,92±0,02	1,14±0,01	0,95±0,02
	60	20,1±0,1	1,54±0,04	1,62±0,03	1,68±0,01
	82	27,2±0,2	1,13±0,02	1,17±0,06	1,27±0,03
Мезофильная проводимость, моль/м <sup>2</sup> с	32	21,3±0,1	0,030±0,003	0,045±0,004	0,038±0,003
	39	23,9±0,2	0,056±0,003	0,065±0,006	0,042±0,006
	60	20,1±0,1	0,046±0,009	0,055±0,008	0,034±0,009
	82	27,2±0,2	0,060±0,003	0,053±0,004	0,055±0,009
Концентрация CO <sub>2</sub> в межклетниках, μмоль/моль	32	21,3±0,1	330,2±2,8	300,3±2,2	324,6±2,6
	39	23,9±0,2	324,2±1,0	321,3±0,8	340,1±1,4
	60	20,1±0,1	345,3±1,2	338,1±3,4	351,2±1,8
	82	27,2±0,2	323,8±2,8	330,6±1,4	330,4±2,8

Таблица 8 – Динамика устьичной и мезофильной проводимости углекислого газа в листьях *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Показатели	Время от посева, сутки	Температура воздуха, °С	Теплица		
			контроль	TF1	TF2
Устьичная проводимость, моль/м <sup>2</sup> с	32	21,3±0,1	0,42±0,01	0,26±0,01	0,18 ±0,01
	39	23,9±0,2	0,86±0,01	1,19±0,01	1,00 ±0,03
	60	20,1±0,1	1,77±0,03	1,90±0,05	2,05±0,04
	82	27,2±0,2	1,17±0,04	1,06±0,01	1,05±0,02
Мезофильная проводимость, моль/м <sup>2</sup> с	32	21,3±0,1	0,031±0,004	0,050±0,004	0,038±0,009
	39	23,9±0,2	0,059±0,006	0,064±0,005	0,046±0,002
	60	20,1±0,1	0,050±0,007	0,064±0,008	0,039±0,009
	82	27,2±0,2	0,058±0,005	0,056±0,007	0,042±0,005
Концентрация CO <sub>2</sub> в межклетниках, μмоль/моль	32	21,3±0,1	329,5±1,8	270,2±4,3	280,1±1,9
	39	23,9±0,2	318,1±2,6	323,2±1,6	336,2±2,7
	60	20,1±0,1	348,1±1,8	332,6±1,1	360,0±1,0
	82	27,2±0,2	326,6±3,3	325,9±2,9	339,7±4,2

На 32 сутки у растений под пленкой TF1 была самая низкая устьичная проводимость, т.е. устьица препятствовали диффузии CO<sub>2</sub> к центрам

карбоксилирования хлоропластов. При этом концентрация  $\text{CO}_2$  в межклетниках у гибридов огурца под пленкой TF1 была самой низкой, что указывает на высокую активность центров карбоксилирования. Наоборот, под пленкой TF2 оба гибрида имели самую высокую концентрацию  $\text{CO}_2$  в межклетниках и, соответственно, низкую активность центров карбоксилирования.

В онтогенезе у растений увеличивалась устьичная проводимость, достигая максимума в момент начала плодоношения (на 60 сутки), а затем снижалась. При этом под всеми пленками максимальные значения устьичной проводимости у гибрида Маринда были ниже, чем у гибрида Кураж.

В процессе роста растений варьирование изменений мезофильной проводимости было значительно меньше, чем устьичной, максимально достигая 1,5–2,0 раз. Сравнение величин мезофильной проводимости обоих гибридов под пленками TF1 и TF2 показало, что наибольшие значения всегда наблюдались под пленкой TF1 (кроме последней даты наблюдений), а наименьшие – под пленкой TF2.

Для обоих гибридов установили снижение мезофильной проводимости во время массового плодоношения растений по отношению к контролю. Это может быть связано с ускоренным старением растений, которое является следствием высокой фотосинтетической активности на ранних этапах роста.

Одним из физиологических показателей, характеризующих эффективность работы ассимиляционного аппарата растений, является эффективность использования воды (WUE), который определяется как отношение фотосинтетической активности к интенсивности транспирации. Этот показатель часто используется для оценки устойчивости растений к водному, солевому (Stepień, Kłobus, 2006) и световому стрессу (Raeini-Sarjaz, Barthakur, 1997).

Было показано, что более интенсивный рост, развитие и плодоношение растений под пленкой TF1 и ингибирование этих процессов под пленкой TF2 (Minich, Chursina et. al., 2016) сопряжены с эффективностью использования воды (WUE) (рисунки 19, 20).

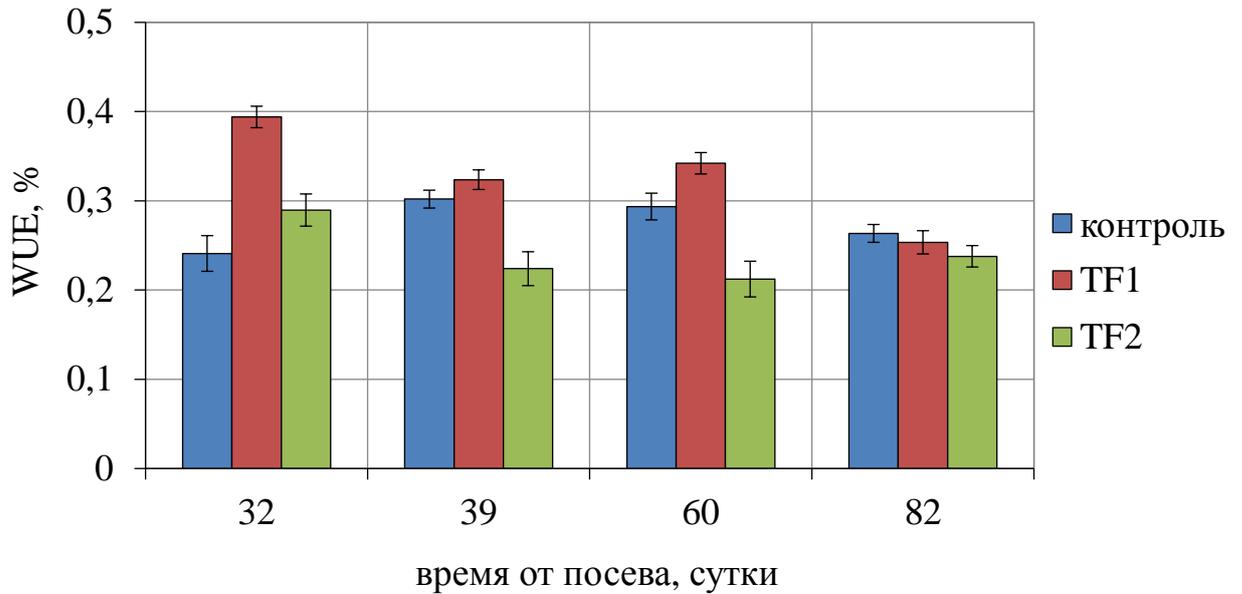


Рисунок 19 – Динамика эффективности использования воды в листьях *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

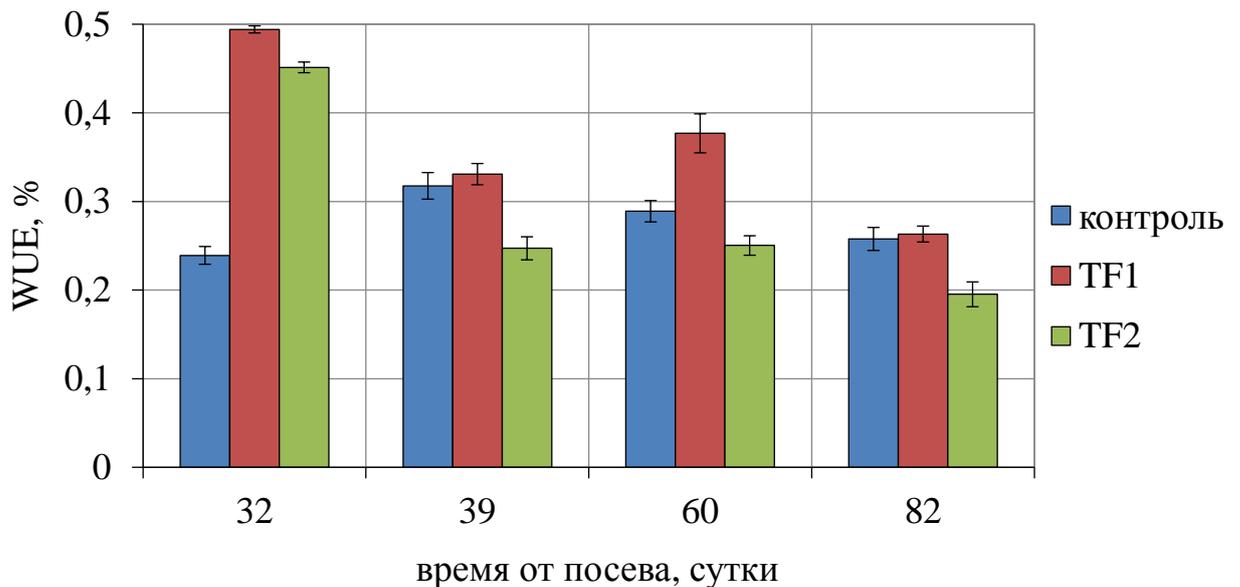


Рисунок 20 – Динамика эффективности использования воды в листьях *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Самые высокие его значения установили под пленкой TF1, под пленкой TF2 этот показатель оставался минимальным. Варьирование значений WUE обусловлено изменением величин фотосинтетической активности или

интенсивности транспирации, возможно обоими параметрами одновременно, что согласуется с данными (Geber, Dawson, 1997).

В фазу начала формирования боковых побегов (32 сутки) WUE листьями гибридов Маринда и Кураж, выращенных в теплицах под термическими пленками TF1 и TF2, была выше, чем в контроле. При этом под пленкой TF1 WUE выше, чем под пленкой TF2.

Однако под пленкой TF2 на 32 сутки у гибрида Маринда различия имели низкую степень достоверности, тогда как в остальных случаях наблюдали значительную разницу, что отразилось на закладке их генеративных органов и раннем плодоношении (таблица 5).

С началом цветения растений (39 сутки) эффективность использования воды растениями под термическими пленками значительно снижалась. На этом основании можно сделать вывод, что под термическими пленками с началом цветения снижение WUE у обоих гибридов определяется, в первую очередь, значительным увеличением устьичной проводимости и транспирации. В дальнейшем WUE под пленкой TF2 была самой низкой, а под пленкой TF1 самой высокой. Это отразилось на закладке вегетативных органов (рисунки 13, 14), подтверждаемое литературными данными, в которых показано определяющее значение в этом процессе водного обмена (Гюббенет, 1951).

Одновременно с измерением интенсивности протекания процессов фотосинтетической деятельности исследовали содержание фотосинтетических пигментов в листьях гибридов.

В листьях гибрида Маринда под пленкой TF2 установили снижение содержания Хл *a* на 9–14 % и Хл *b* – на 13–26 % относительно контроля (рисунок 21), что определяется изменением соотношения УФ/ФАР/ИК в световом потоке (таблица 3).

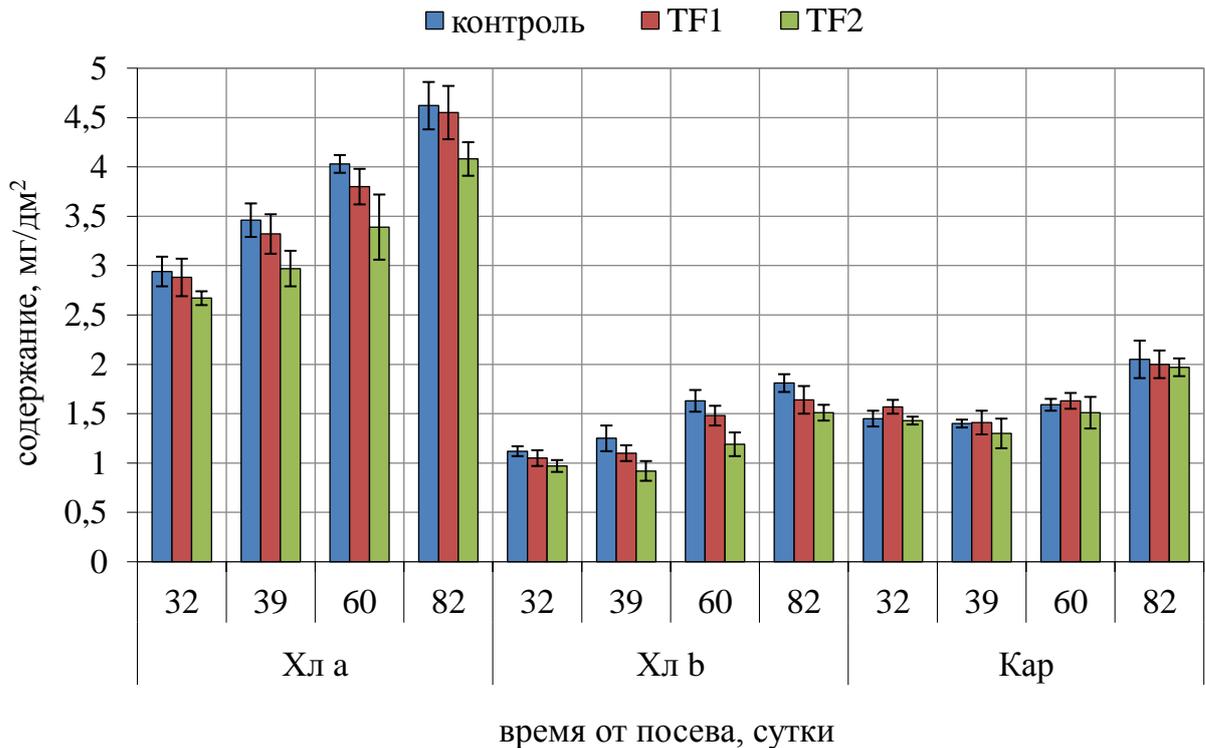


Рисунок 21 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

В свою очередь, уменьшение содержания хлорофиллов при снижении мезофильной проводимости и WUE, приводит к ингибированию интенсивности фотосинтеза, роста, развития и продуктивности данного гибрида (Dai et al., 1995; Feng et al., 2003; Salama et al., 2011).

В листьях гибрида Кураж под пленкой TF1 весь период вегетации относительно контроля отметили повышенное содержание Хл a (на 12–18 %) и Кар (на 10–27 %) (рисунок 22). Повышенное содержание Хл a и Кар в листьях гибрида Кураж под пленкой TF1 является компенсаторным механизмом на значительное уменьшение интенсивности УФ-А, УФ-В и видимой области спектра, особенно в фиолетово-синей (Minich, Chursina et al., 2016), что согласуется с опубликованными данными (Sharma et al., 1998; Gaberscik et al., 2002; Laposi et al., 2002; Salama et al., 2011). Увеличение уровня данных пигментов при повышенной устьичной проводимости и WUE способствует интенсификации фотосинтетических и ростовых процессов и повышению урожайности растений (Dai et al., 1995; Feng et al., 2003; Salama et al., 2011).

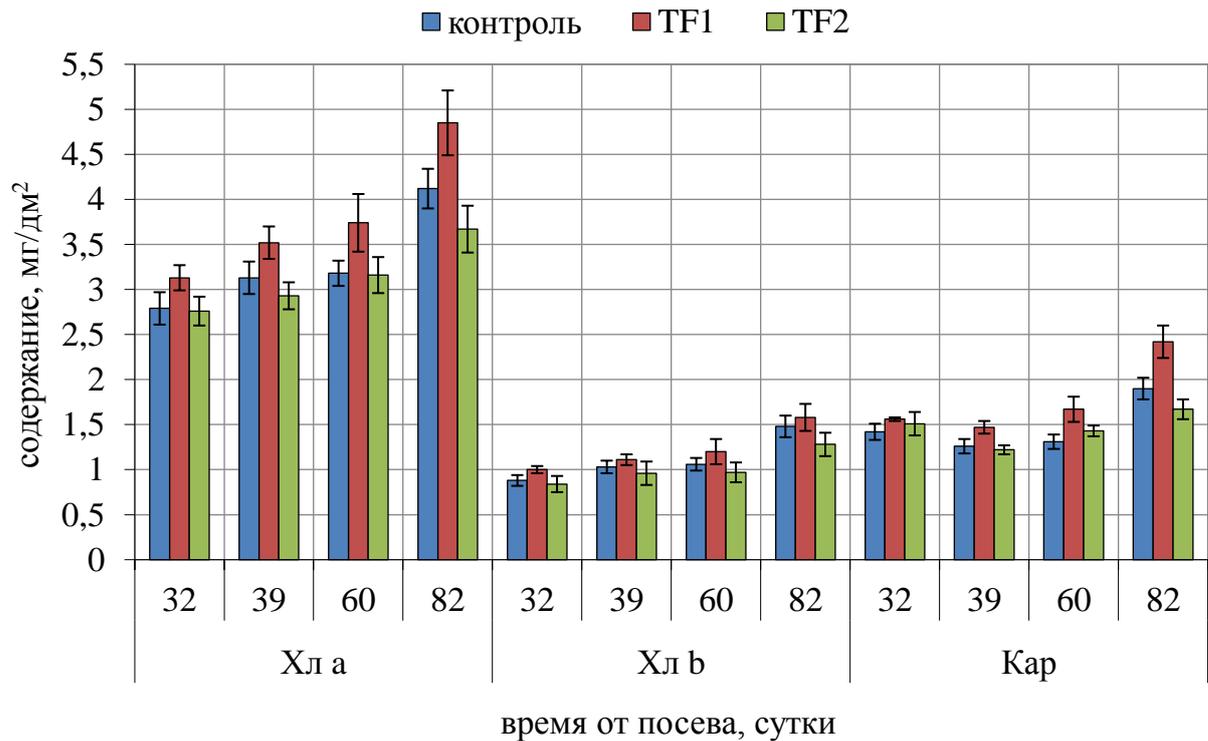


Рисунок 22 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Относительно контроля в листьях гибрида Маринда под пленкой TF1, а у гибрида Кураж под пленкой TF2 достоверных изменений в содержании исследуемых пигментов не установили. Это указывает на то, что у данных гибридов накопление фотосинтетических пигментов определяется не только микроклиматом (световым и температурными режимами) в теплицах, но их гибридной принадлежностью.

Таким образом, применение для покрытия теплиц термической полиэтиленовой пленки TF1, модифицированной нанесением на ее поверхность наночастиц металлов на основе соединений меди, способствует интенсификации фотосинтеза растений огурца посевного гибридов Кураж и Маринда за счет увеличения устьичной проводимости и WUE, а также уровня накопления Хл a и Кар (для гибрида Кураж). Изменения фотосинтетических процессов гибридов под пленкой связаны со значительным уменьшением облученности растений УФ-А, УФ-В и фиолетово-синими лучами, а также с поддержанием пленкой TF1 оптимального баланса в пропускании тепловых лучей в теплицу и удержанием

тепла внутри теплицы. Это приводит к оптимизации микроклимата в теплице и активации роста, развития и повышению урожайности гибридов огурца.

Использование для покрытия теплиц термической полиэтиленовой пленки TF2, модифицированной нанесением на ее поверхность наночастиц металлов на основе соединений меди и серебра, ингибирует фотосинтетические процессы гибридов Кураж и Маринда, значительно уменьшая мезофильную проводимость и WUE, а также содержание хлорофиллов (для гибрида Маринда). Это обусловлено низкой проницаемостью пленки TF2 для ИК излучения и изменением соотношения УФ/ФАР в сторону увеличения УФ составляющей, причем за счет прямых лучей. Следствием этого являются не оптимальные световые и температурные условия выращивания растений в теплице под пленкой TF2, что приводит к угнетению их роста, развития и уменьшению продуктивности.

#### **4.1.2.2. Ионный состав плодов и содержание растворимых сахаров в плодах**

Результаты исследований показали, что содержание растворимых сахаров и динамика их накопления в плодах опытных и контрольных растений у обоих гибридов на протяжении плодоношения достоверно не отличались (рисунки 23, 24). Можно предположить, что создаваемый термическими пленками микроклимат теплиц за счет изменения термического и светового режима не влияет в достаточной степени на биохимические процессы синтеза и накопления сахаров в плодах.

Изменение светового и температурного режимов внутри теплиц за счет применения термических пленок в качестве их покрытий не привело к достоверным изменениям накопления в плодах огурцов большинства исследуемых катионов и анионов по сравнению с контролем. Исключение составляет уровень накопления ионов магния, калия, кальция, нитратов и фосфатов, который сопряжен с микроклиматом в теплицах, гибридными особенностями и урожайностью растений (таблица 9).

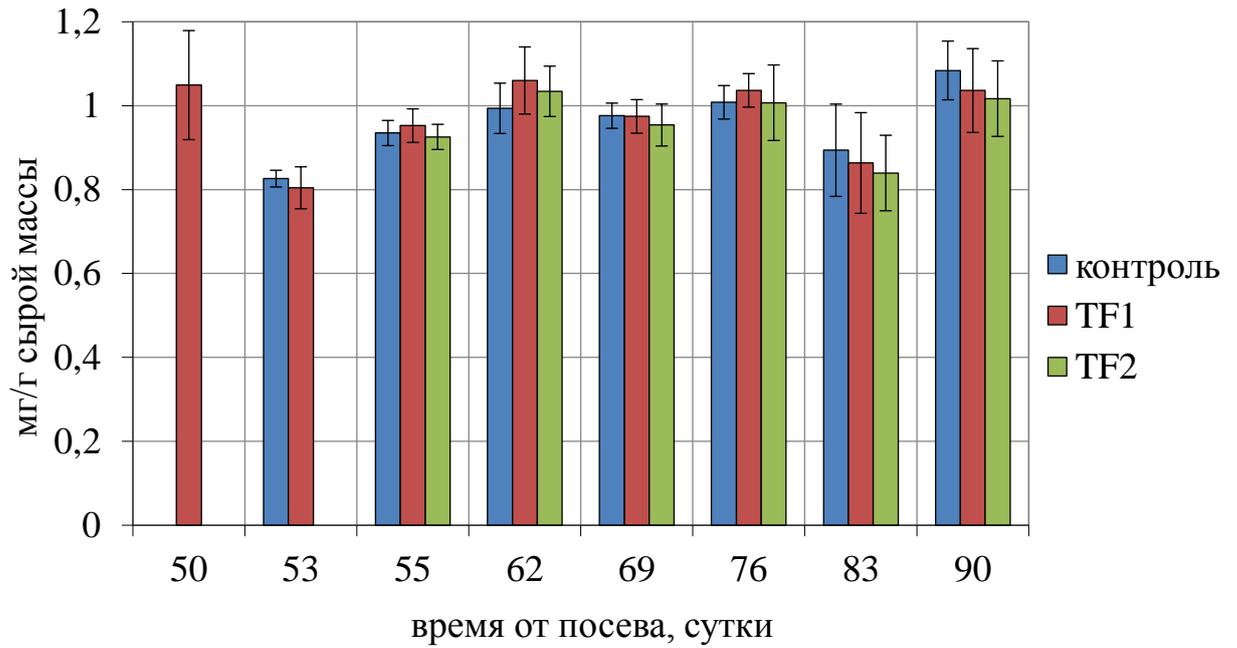


Рисунок 23 – Содержание растворимых сахаров в плодах *Cucumis sativus* гибрида Маринда F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

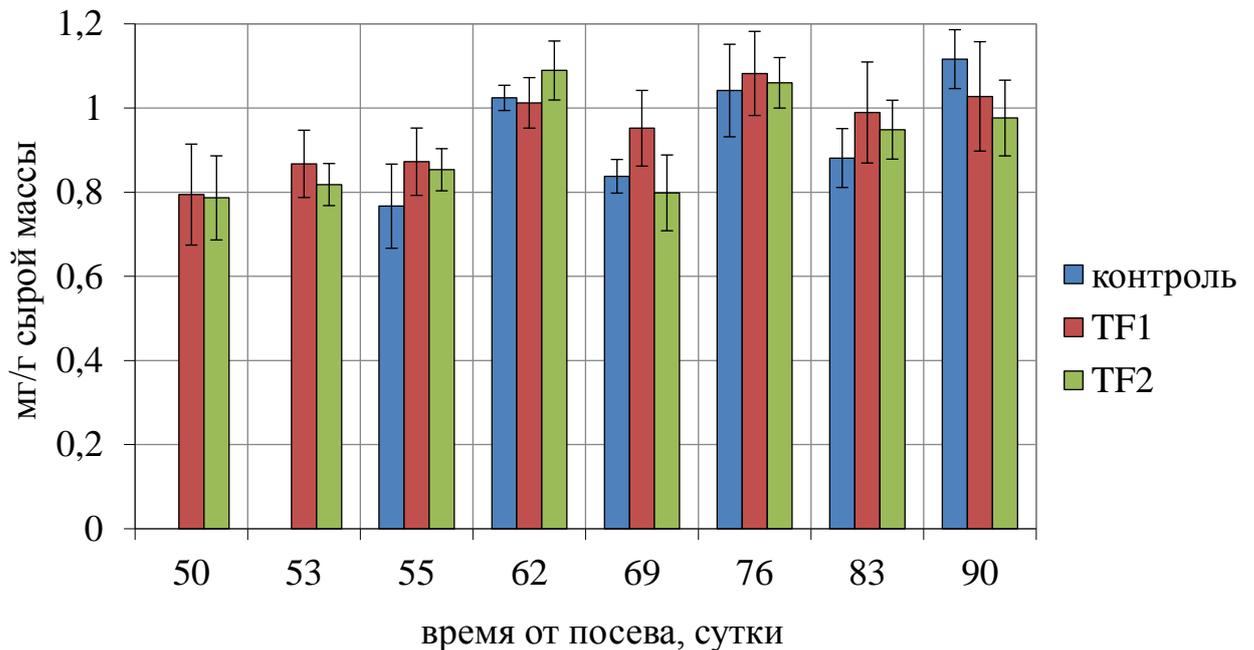


Рисунок 24 – Содержание растворимых сахаров в плодах *Cucumis sativus* гибрида Кураж F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Таблица 9 – Концентрация некоторых анионов и катионов в плодах *Cucumis sativus* гибридов F<sub>1</sub> Маринда и Кураж, выращенных под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

Гибрид огурца	Теплица	Концентрация ионов в плодах, мг/кг				
		калий	магний	кальций	нитрат	фосфат
Маринда	контроль	784,8 ± 13,2	27,7 ± 0,3	116,5 ± 1,7	47,9 ± 0,8	1132,0 ± 84,2
	TF1	740,2 ± 7,2	26,0 ± 0,2	125,2 ± 2,5	37,2 ± 0,2	839,7 ± 54,1
	TF2	802,8 ± 15,1	27,8 ± 0,3	101,8 ± 1,9	36,4 ± 0,2	2222,0 ± 102,7
Кураж	контроль	765,3 ± 12,3	27,4 ± 0,3	124,4 ± 2,0	27,9 ± 0,3	1273,0 ± 51,2
	TF1	770,2 ± 9,6	28,7 ± 0,4	144,7 ± 3,1	80,0 ± 1,2	1168,0 ± 45,1
	TF2	762,8 ± 11,4	27,6 ± 0,2	119,5 ± 1,8	следы	2547,0 ± 109,8

Увеличение урожайности обоих гибридов под пленой TF1 относительно контроля сопровождается накоплением в плодах катионов кальция и уменьшением фосфатов-анионов. Наоборот, снижение урожайности огурцов под пленкой TF2 сопряжено с уменьшением накопления ионов кальция и увеличением уровня фосфат-анионов в плодах.

В литературе представлены данные, указывающие на каталитическую роль ионов калия и кальция в процессах фотосинтеза: к периоду цветения в листьях данные ионы накапливаются по максимуму, а после цветения происходит практически их полное исчезновение из листьев, вероятно, за счет оттока в плоды (Гюббенет, 1951). Имеются также данные, указывающие на стимулирующем действии фосфорнокислых удобрений на процесс цветения, т.е. об активном вовлечении фосфат-анионов в репродуктивный процесс (Гюббенет, 1951). Считается, что при переходе растений в фазу цветения и закладке вегетативных органов идет перераспределение солей во всем растении, и, чем выше WUE, тем больше этот обмен (Гюббенет, 1951). Так как под пленкой TF1 WUE в момент цветения и начала плодоношения был максимальным, то и перераспределение ионов калия и фосфат-ионов было максимальным.

Накопление в плодах нитратов определяется как микроклиматом в теплице, так и гибридом огурца. Относительно контроля у гибрида Маринда под обеими термическими пленками накапливается меньше нитрат ионов. В плодах гибрида Кураж, снятых в теплице под пленкой TF1, уровень нитратов превышает контрольные в 2,9 раза, а под пленкой TF2 обнаружены лишь следы данного аниона. При этом содержание нитратов во всех вариантах не превышало допустимую норму (СанПиН 2.3.2.2871-11).

Для гибрида Маринда снижение уровня катионов калия отметили только в плодах из теплицы TF1, но не установили в плодах из теплицы TF2. Для гибрида Кураж достоверных изменений в содержании катиона калия не выявили. Накопление катионов магния в плодах обоих гибридов из контрольной теплицы и из теплицы TF2 практически идентично, но отличается в плодах из теплицы TF1. В плодах гибрида Кураж относительно контроля отметили повышенный уровень ионов магния, а в плодах гибрида Маринда – наоборот пониженный. Такой результат указывает на то, что накопление ионов калия и магния в плодах определяется в основном гибридной принадлежностью огурца.

Таким образом, изменение микроклимата теплиц под термическими пленками TF1 и TF2 не влияет на обмен и накопление в плодах гибридов огурцов большинства ионов и растворимых сахаров. Уровень содержания ионов магния, калия, кальция, нитратов и фосфатов сопряжен с изменениями микроклимата в теплицах, приводящего к изменениям биохимических и формообразовательных процессов растений, их урожайности, а также связан с гибридными особенностями огурца.

#### **4.1.3. Численность гетеротрофных бактерий в почве**

Рост растений в сельскохозяйственных почвах зависит от многих абиотических и биотических факторов, в том числе и микробиоценоза прикорневой зоны растений (ризосферы), которая является важной рабочей областью для корневой активности и метаболизма (Saharan, Nehra, 2011). Изменение

микроклимата теплицы оказывает влияние не только непосредственно на сами растения, но и на ризосферу. Эту зону населяет значительное количество различных микроорганизмов, имеющих сложные взаимные связи с растениями. (Saharan, Nehra, 2011; Гордеева и др., 2012; Феокистова и др., 2016). Выделение корнями растений в окружающую среду различных органических соединений, являющихся продуктами фотосинтеза и метаболизма, обеспечивает питательными веществами почвенные микроорганизмы. Микроорганизмы, в свою очередь, перерабатывают органические и минеральные соединения, непрерывно синтезируют новые продукты метаболизма, содержащие азот и стимуляторы роста (фитогормоны, витамины и другие биологически активные вещества). Складывающиеся в корнеобитаемом слое почвы условия способствуют регулированию роста, развития и изменению урожайности сельскохозяйственных культур (Hayat et. al., 2010; Fahad et. al., 2015).

Под термическими полиэтиленовыми пленками TF1 и TF2 положительный эффект динамики роста почвенных микроорганизмов отмечен на протяжении всего опыта (рисунок 25). Исходная численность гетеротрофных бактерий в почве определялась в интервале 50–55 тыс. КОЕ/г почвы. Под пленками TF1 и TF2 максимальное содержание гетеротрофов было равно 7000·тыс. КОЕ/г почвы, что на порядок выше по сравнению с их численностью под контрольной пленкой. Вероятно, применение исследуемых пленок сокращает период лаг-фазы и вызывает экспоненциальный рост микроорганизмов в почве прикорневой зоны гибридов огурца за счет изменения термического и светового режима в опытных теплицах. В конце опыта наблюдался общий спад численности микроорганизмов. Это может быть связано с уменьшением среднесуточных температур до +7-+9 °С. Однако, под термическими пленками численность микрофлоры была в 2–3 раза больше по сравнению с контролем.

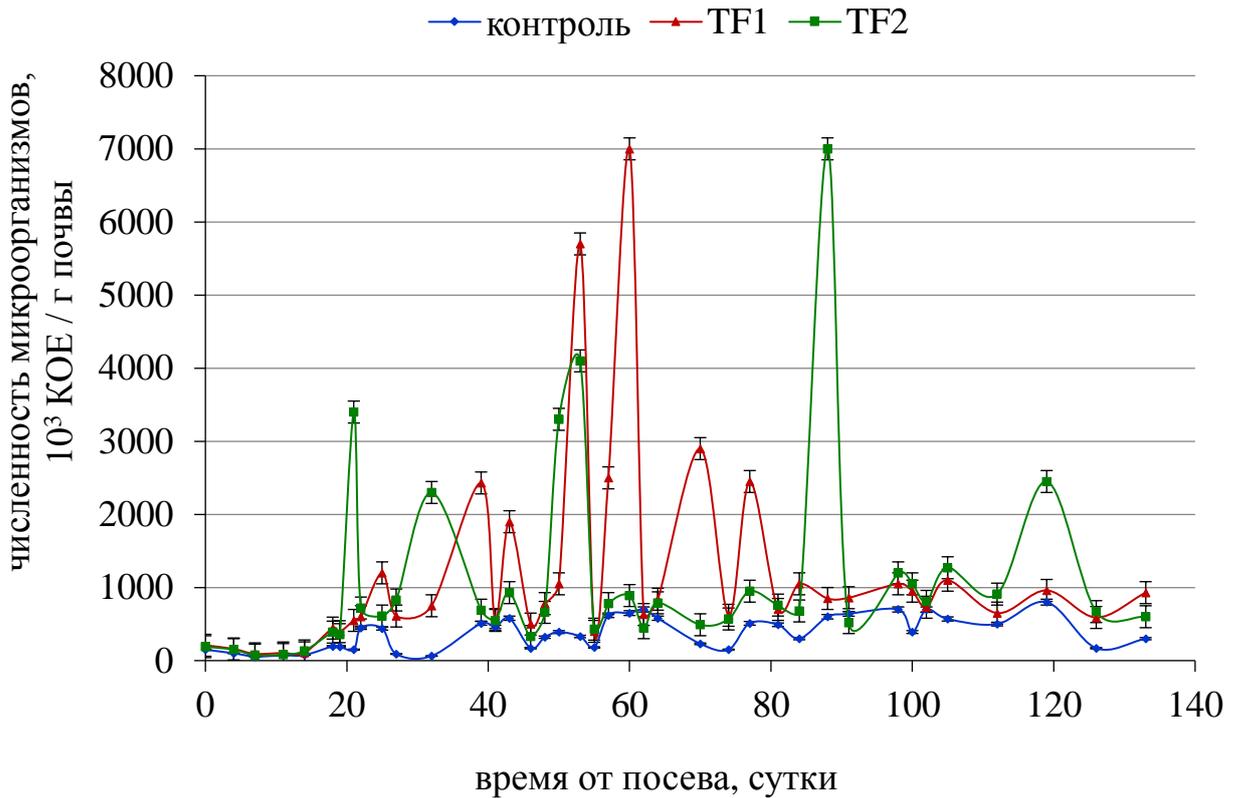


Рисунок 25 – Динамика численности гетеротрофных бактерий в почве под полиэтиленовыми пленками: нетермической (контроль) и термическими TF1 и TF2

В теплице под пленкой TF1 и в теплице под пленкой TF2 с точки зрения развития гетеротрофных бактерий микроклимат стал более благоприятным по сравнению с контрольной теплицей. Однако изменение урожайности относительно контроля в теплицах под пленками TF1 и TF2 имели значительные отличия (таблица 6). Вероятно, это связано с тем, что изменение соотношения УФ/ФАР/ИК излучения под пленкой TF2 привело к ингибированию фотосинтеза, ростовых процессов и, как следствие, к уменьшению урожайности обоих гибридов.

Таким образом, изменение температурного и светового режимов под исследованными термическими пленками способствовало увеличению численности гетеротрофных бактерий. Известно, что микроорганизмы прикорневой зоны растений являются стимуляторами роста растений (Феоктистова и др., 2016). Однако результаты исследований не выявили значимого влияния микроорганизмов на продуктивность *Cucumis sativus*. Определяющим фактором в

изменении продуктивности явились фотосинтетические, возможно фоторегуляторные процессы в растениях, а развитие гетеротрофных бактерий оказало второстепенное влияние – их роль вторична.

Таким образом, изменение микроклимата под исследованными термическими пленками TF1 и TF2 оказало противоположное влияние на рост, развитие и продуктивность гибридов огурца. Использование термической пленки TF1 является эффективным при выращивании огурца посевного гибридов Кураж и Маринда, тогда как применение термической пленки TF2 приводит к ингибированию фотосинтетических и ростовых процессов и, как следствие, к уменьшению урожайности обоих гибридов. Экофизиологические ответы гибридов растений огурца зависят от микроклимата теплиц, который определяется особенностями фотофизических свойств термических пленок, используемых для их покрытия – спецификой проницаемости УФ, ИК и ФАР.

Улучшение микроклимата в теплице под термической пленкой TF1 определяется уменьшением негативного влияния на растения прямых УФ лучей, оптимизацией температурного режима за счет двукратного снижения светопропускания ИК излучения при сохранении интенсивности ФАР в оптимуме. Такие изменения способствует активации фотосинтетических процессов гибридов огурца Кураж и Маринда за счет увеличения устьичной проводимости, интенсивности транспирации и WUE, интенсивного распределения ионов кальция и фосфатов, а также увеличению численности гетеротрофных бактерий почвы. Это приводит к активному развитию роста и развитию обоих гибридов, формирования репродуктивных органов и повышению продуктивности.

Под термической пленкой TF2 изменения светового и температурного режимов в теплицах не способствуют оптимизации микроклимата, следствием чего является угнетение биохимических и формообразовательных процессов гибридов огурца Кураж и Маринда и снижение их плодоношения.

## **4.2. Особенности морфогенеза и продуктивности сельскохозяйственных культур под флуоресцентными пленками Л-50, Урожай-2 и Урожайная**

Использование в качестве покрытий теплиц полиэтиленовых пленок, имеющих различные фотофизические свойства, направлено на изменение условий выращивания сельскохозяйственных культур для их более благоприятной жизнедеятельности. Применяемые для этой цели флуоресцентные пленки по фотофизическим свойствам различаются длиной волны и интенсивностью люминесцентного излучения, а также долей поглощенной УФ радиации и рассеянного излучения (Kusnetsov et al., 1989; Райда, Толстикова, 2001; Brown, 2004; Минич, 2011). Кроме того, интенсивность люминесцентного излучения со временем уменьшается, что связано с разложением люминофора в пленке (Минич, 1998). Поэтому световой режим под разными типами флуоресцентных пленок варьирует, что при их применении в тепличных хозяйствах отражается на изменении морфогенеза и продуктивности растений. В связи с этим нами были проведены исследования изменения микроклимата теплиц и жизнедеятельности в них широко используемых в тепличном хозяйстве культур под новой флуоресцентной пленкой Л-50, разработанной в Томске (Патент РФ № 2435363 С1, 2011) и не изменяющей свою первоначальную интенсивность люминесцентного излучения весь срок эксплуатации. Для сравнения были проведены исследования под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2, используемых в фермерских хозяйствах (Райда, Толстикова, 2001; Головацкая и др., 2002; Астафурова и др., 2003).

### **4.2.1. Рост, развитие и продуктивность *Cucumis sativus* гибрида**

#### **Примадонна F<sub>1</sub> под флуоресцентной пленкой Л-50**

Исследования влияния изменения светового режима на жизнедеятельность *Cucumis sativus* гибрида Примадонна под флуоресцентными пленками Л-50 и Урожайная проводились с 30 мая 2008 года. Весь период исследований

характеризовался положительными температурами воздуха в ночное и дневное время суток (таблица 1), а интенсивность светового потока была выше средних многолетних значений (таблица 2). Вследствие этого не выявили изменений температуры воздуха и почвы в теплицах под контрольной пленкой и под флуоресцентными пленками Л-50 и Урожайная, а различия в морфогенезе и продуктивности растений определялись только световым фактором.

Результаты определения морфометрических параметров растений показали практически идентичное развитие главного побега и листьев нижнего яруса у контрольных и опытных растений (рисунки 26, 27).

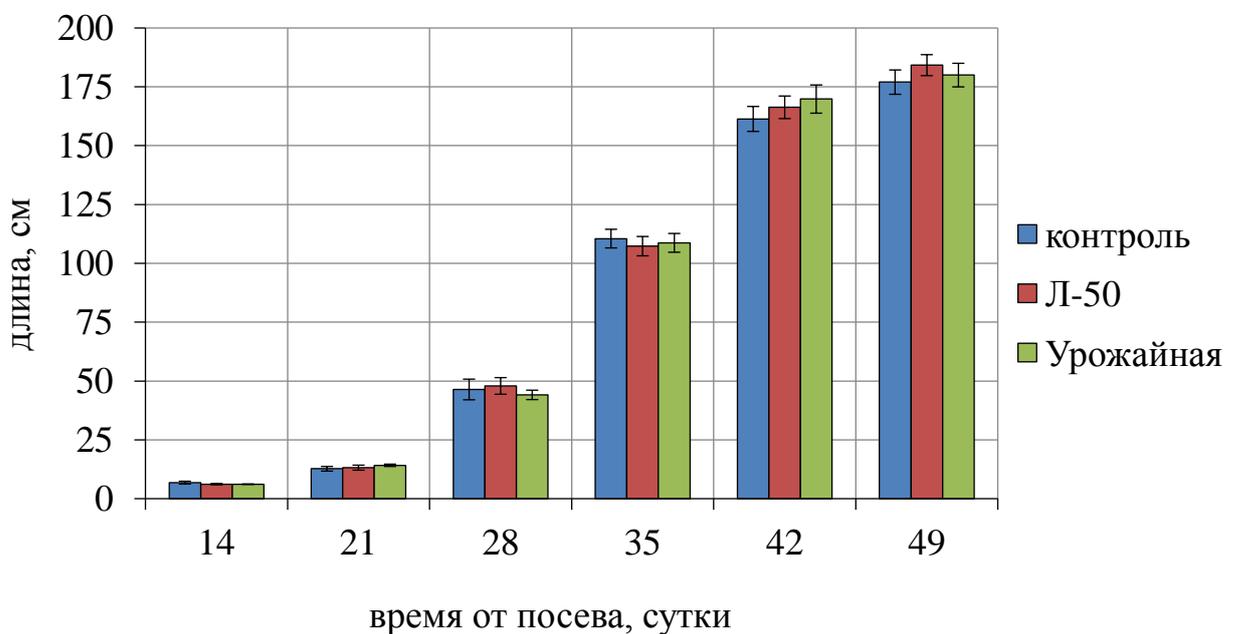


Рисунок 26 – Динамика длины главного побега *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Однако при этом у опытных растений образовывалось больше боковых побегов, что привело на 6 неделе вегетации (42 сутки) к увеличению общего числа листьев в 1,84 раз под пленкой Л-50 и в 1,88 раз под пленкой Урожайная (рисунок 28).

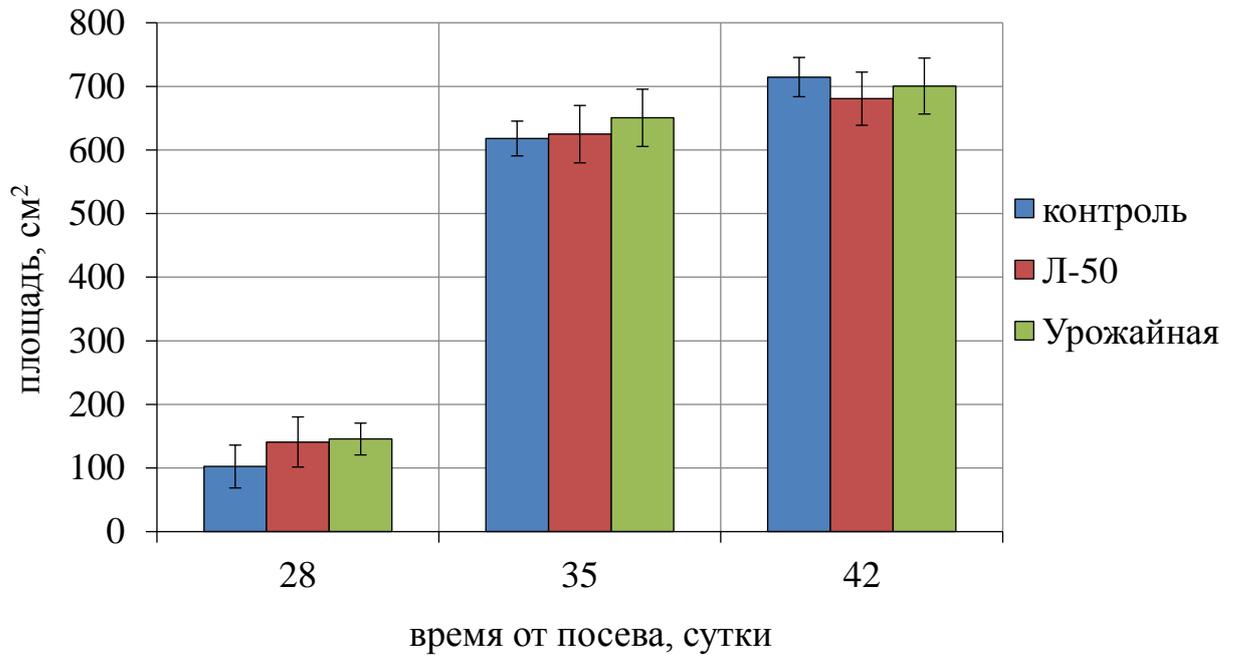


Рисунок 27 – Динамика площади поверхности 6-го листа *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

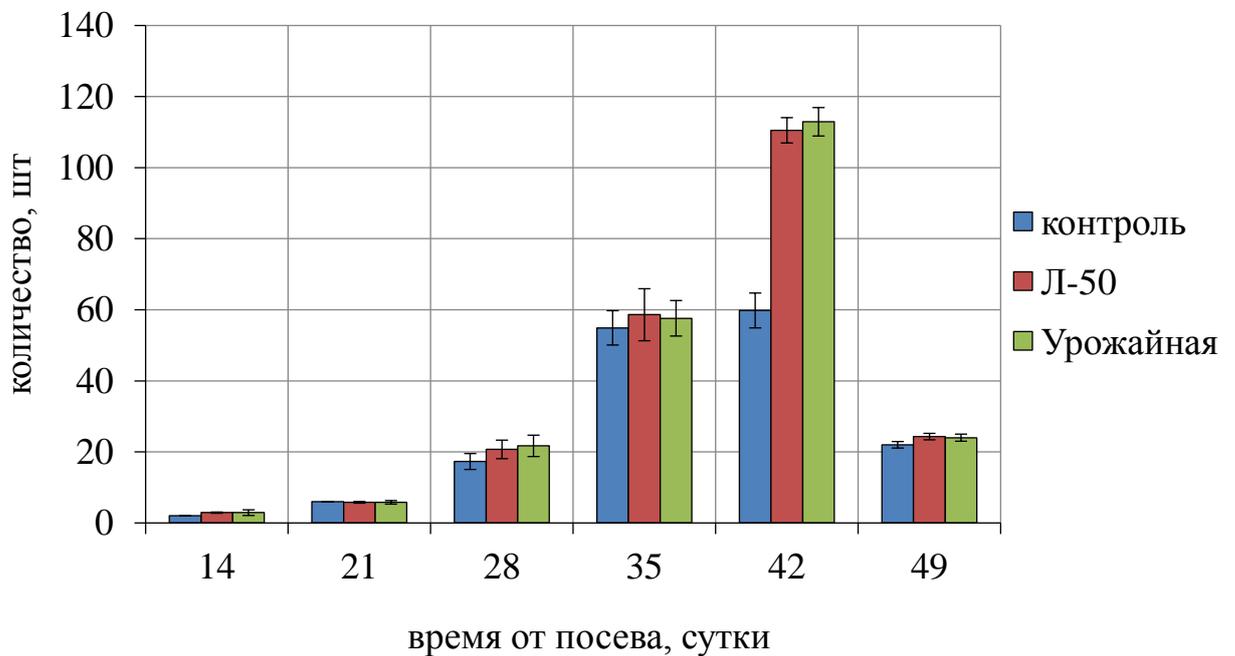


Рисунок 28 – Динамика количества листьев *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Интенсивное развитие боковых побегов у опытных растений повлекло увеличение количества завязей по сравнению с контролем (рисунок 29).

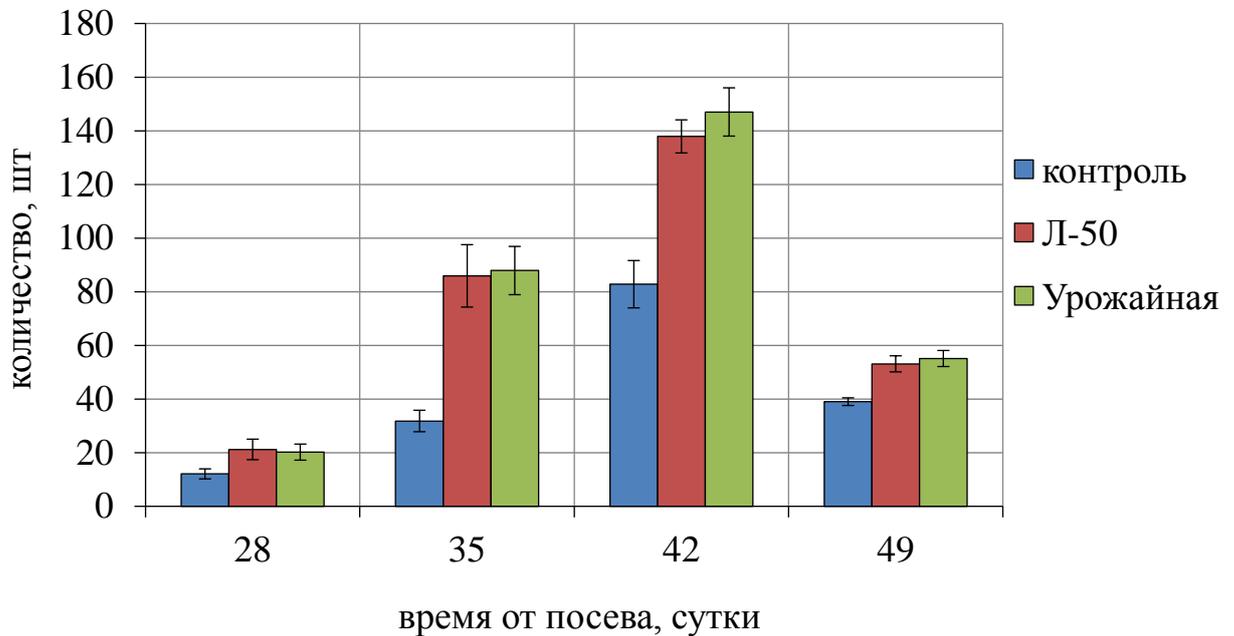


Рисунок 29 – Динамика количества завязей *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

После агротехнического формирования габитуса растений (49 сутки), которое предполагало обрезку боковых побегов, количество завязей у опытных растений осталось достоверно больше в 1,36 раз (под пленкой Л-50) и 1,45 раз (под пленкой Урожайная), что в дальнейшем отразилось на повышении продуктивности.

Таким образом, развитие генеративных органов у гибрида огурца Примадонна происходит значительно интенсивнее под обеими флуоресцентными пленками, причем на начальном этапе онтогенеза интенсивность их формирования выше под пленкой Урожайная. Аналогичная закономерность показана в литературных источниках, в которых отмечается интенсивное развитие генеративных органов растений (цветков, завязей, плодов) под флуоресцентными пленками, люминесцирующими в красной области спектра (Головацкая и др., 2002; Астафурова и др., 2003; Минич И., 2005; Минич и др., 2006).

Техническая спелость плодов в опытной и контрольной теплицах наступила одновременно. Сбор первых плодов начали на 42 сутки вегетации, однако интенсивность, динамика и окончание плодоношения в опыте и контроле различались (таблица 10).

Таблица 10 – Продуктивность *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными Л-50 и Урожайная

Дата сбора урожая (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю) под пленками		
	контроль (ПЭВД)	Л-50	Урожайная
11.07.2008 (42)	0,078 ± 0,07	0,065 ± 0,07 (83,33)	0,092 ± 0,08 (117,95)
18.07.2008 (49)	0,692 ± 0,12	0,812 ± 0,22 (117,3)	0,866 ± 0,18 (125,15)
25.07.2008 (56)	2,524 ± 0,37	3,094 ± 0,23 (122,6)	3,124 ± 0,29 (123,77)
01.08.2008 (63)	4,570 ± 0,22	5,174 ± 0,27 (110,8)	5,023 ± 0,36 (109,91)
08.08.2008 (70)	6,246 ± 0,27	6,840 ± 0,33 (109,5)	6,760 ± 0,25 (108,23)
15.08.2008 (77)	8,046 ± 0,36	9,104 ± 0,29 (113,2)	8,988 ± 0,21 (111,71)
22.08.2008 (84)	8,934 ± 0,33	10,412 ± 0,16 (116,6)	10,105 ± 0,22 (113,11)
28.08.2008 (90)	9,653 ± 0,42	11,275 ± 0,15 (116,8)	10,642 ± 0,27 (110,25)
05.09.2008 (98)	11,282 ± 0,51	13,078 ± 0,20 (114,7)	12,608 ± 0,24 (111,75)
12.09.2008 (105)	11,407 ± 0,44	13,526 ± 0,21 (118,6)	12,798 ± 0,24 (112,19)
26.09.2008 (119)	на конец вегетации		
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	11,407 ± 0,44	13,735 ± 0,25 (120,41)	12,798 ± 0,24 (112,19)
Кол-во плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	212,80 ± 4,50	264,40 ± 3,85 (124,25)	241,31 ± 2,22 (113,40)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	53,60 ± 1,90	51,93 ± 1,80 (96,88)	53,02 ± 1,75 (96,82)

Под пленкой Урожайная максимальная продуктивность наблюдалась в начале плодоношения, что сопряжено и интенсивным формированием

репродуктивных органов растений и хорошо согласуется с имеющимися в литературе данными (Минич, 2011). Однако в дальнейшем она снижалась, относительно продуктивности растений под пленкой Л-50, что связано, по нашему мнению, с уменьшением первоначальной интенсивности люминесцентного излучения пленки Урожайная за счет фотодеградациии люминофора. Под флуоресцентной пленкой Л-50 выявили два пика максимальных различий в плодоношении относительно контрольных растений, что является ее отличительной особенностью по сравнению с применением других типов флуоресцентных пленок, в том числе пленки Урожайная. Первый пик отмечен в самом начале плодоношения (с 42 по 56 сутки – середина июля). Он определяется интенсивным развитием генеративных органов растений в начале вегетации под флуоресцентной пленкой (до 42-х суток). Второй пик максимального различия в продуктивности выявлен в начале старения растений (с 75–80 суток – с середины августа). Повышенная продуктивность гибрида огурца в опыте на данном этапе связана с замедленным старением растений под пленкой Л-50 и более длительным плодоношением, что сопряжено со способностью пленки сохранять первоначальную интенсивность люминесцентного излучения. Замедление процессов старения гибрида огурца под пленкой Л-50 приводит к удлинению сроков их активного плодоношения на 2 недели относительно растений под пленкой Урожайная и контроле, что дополнительно способствует увеличению их продуктивности.

Фотофизические свойства флуоресцентной пленки Л-50 (таблица 4) показывают, что ее основные параметры светопропускания, в том числе интенсивность люминесцентного излучения, близки к другим типам флуоресцентных пленок, модифицированных неорганическими люминофорами (Райда и др., 2001, 2002, 2003, 2004; Raida et al., 2001, 2004). Представленные в литературе данные и наши исследования показывают, что интенсивность люминесцентного излучения люминофора в пленке и его доля в световом потоке, падающего на растения в теплице, ничтожно малы (Иваницкий, и др., 2009, 2010, 2010а; Минич, 2011). Под флуоресцентной пленкой Л-50, как и под пленкой

Урожайная, ПФФП не увеличивается, т.е. люминесцентное излучение люминофора в пленке не повышает ПФФП (Минич, 2011). Изменения ПФФП внутри теплиц под немодифицированной и флуоресцентными пленками находятся в пределах погрешности, обусловленных внешними абиотическими условиями среды – пыленностью атмосферы и пленок, облачностью и пр. Однако морфогенез и продуктивность гибрида огурца в опыте и контроле имеют значительные достоверные различия. По нашему мнению, это связано не с изменениями ПФФП, а с изменениями в световом потоке соотношения интенсивностей радиации различных длин волн. Известно, что флуоресцентные пленки, модифицированные твердыми кристаллами люминофоров, меняют соотношение прямых и рассеянных лучей в сторону увеличения доли рассеянного излучения, за счет поглощения уменьшают интенсивность УФ радиации в световом потоке, а за счет ее преобразования частично увеличивают долю красной области спектра (Минич и др., 2010а). При этом флуоресцентная пленка Л-50 эти свойства сохраняет весь срок эксплуатации (таблица 4), т.е. сохраняет оптимальный световой режим в теплице весь срок вегетации растений, что положительно влияет на рост и продуктивность растений как по сравнению с применением немодифицированной пленки, так и других типов флуоресцентных пленок.

Дополнительным подтверждением нашего предположения является отсутствие изменений в накоплении фотосинтетических пигментов в листьях растений в ходе онтогенеза (рисунок 30).

Отсутствие изменений в уровне Хл и Кар определяется интенсивностью ФАР и ПФФП, являющихся достаточными для нормального протекания фотосинтетических процессов в опытной и контрольной теплицах (таблица 4).

Считается, что для оптимального протекания морфогенеза, в том числе процессов фотосинтеза минимальная суммарная дневная ПФФП должна составлять более 2 моль/м<sup>2</sup> (URL: <https://ppfd.ru>), а в теплицах под всеми исследуемыми пленками ПФФП значительно выше нижнего допустимого предела (Минич, 2011).

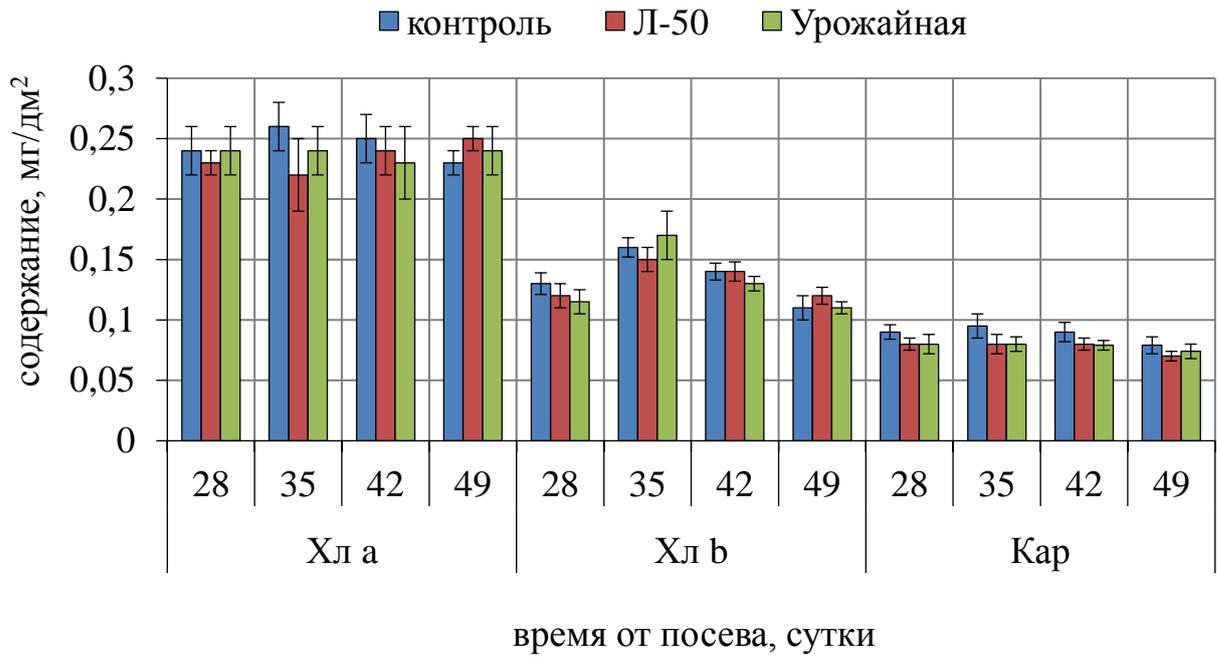


Рисунок 30 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Известно, что излучение низкой интенсивности не активирует процессы фотосинтеза, но оно выступает важнейшим звеном в иницировании биохимических процессов морфогенеза, в том числе является эффективным индуктором формирования фотосинтетического аппарата (Рубин, 1979). Это указывает на то, что изменения светового режима внутри теплиц под флуоресцентной пленкой Л-50, как и под пленкой Урожайная, обусловлены регуляцией протекания низкоэнергетических реакций, отвечающих за индивидуальное развитие растений и контролируемых фоторегуляторными пигментами (Красновский, 1975; Воскресенская, 1987; Минич И., 2005; Минич и др., 2006; Шайтарова, 2011; Минич, 2011). Дополнительно такое заключение подтверждается опубликованными данными, в которых указывается на взаимосвязь динамики продуктивности гибрида огурца под флуоресцентной пленкой Л-50 с изменениями интенсивности УФ излучения солнечной радиации, влияющего на интенсивность его люминесцентного излучения (рисунок 31) (Минич, 2011).

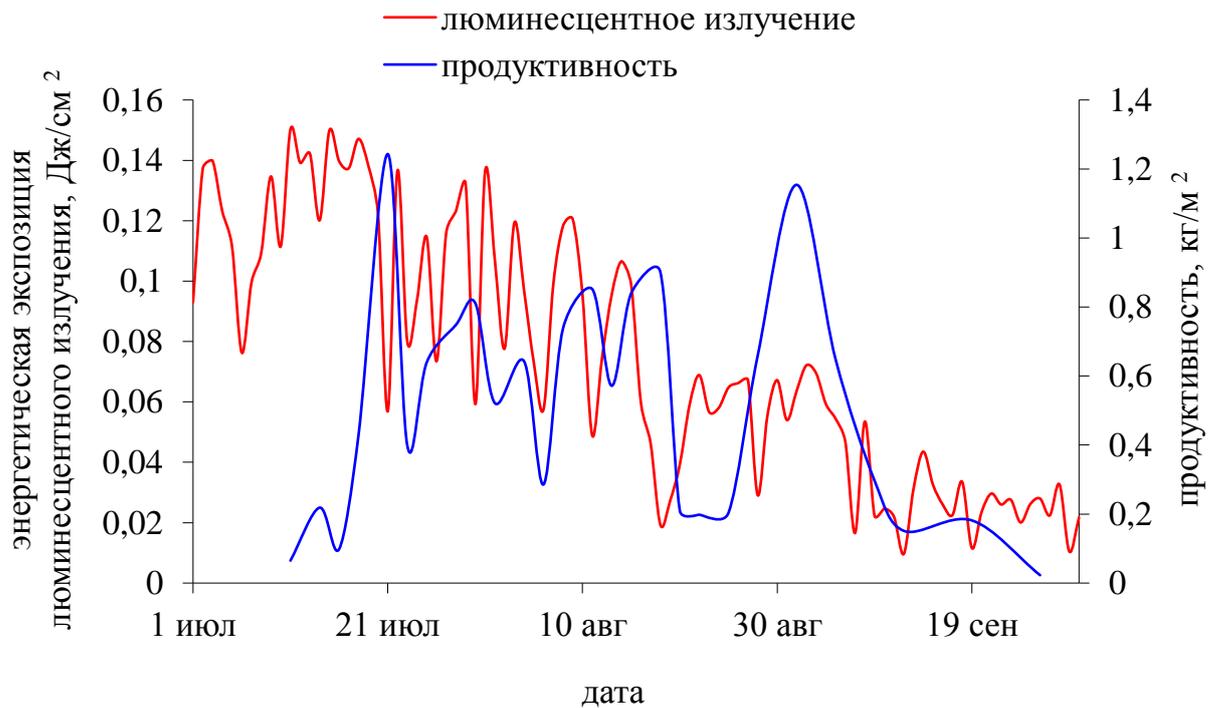


Рисунок 31 – Динамика интенсивности люминесцентного излучения и продуктивности *Cucumis sativus* гибрида Примадонна F<sub>1</sub> под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентной Л-50 (опыт) (Минич, 2011)

Таким образом, в теплице под флуоресцентной пленкой Л-50 происходит изменение светового режима, способствующего на ранних этапах онтогенеза огурца гибрида Примадонна ускоренному росту и развитию, интенсивному формированию репродуктивных органов и более раннему плодоношению, что сходно с динамикой развития под флуоресцентной пленкой Урожайная. На поздних этапах онтогенеза световой режим, создаваемый пленкой Л-50, способствует замедлению процессов старения растений за счет удлинения репродуктивной фазы, что с более ранним плодоношением приводит к увеличению продуктивности гибрида огурца. Изменение светового режима флуоресцентной пленкой Л-50 не влияет на ПФФП и интенсивность ФАР в теплице, но изменяет соотношение интенсивностей излучения различных областей в солнечном спектре, что характерно для всех типов флуоресцентных пленок. За счет частичного поглощения флуоресцентной пленкой Л-50 уменьшается интенсивность УФ радиации, являющегося ингибитором морфогенеза и продуктивности растений при высоких интенсивностях (Дубров, 1963; Panagopoulos et al., 1990; Stapleton, 1992;

Данильченко и др., 2002; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2008; Соловченко, 2009; Шайтарова, 2011). За счет преломления прямых лучей частицами люминофора во флуоресцентной пленке увеличивается доля рассеянных лучей в световом потоке, что положительно влияет на жизнедеятельность растений (Panagoroulos et al., 1990; Тихомиров и др., 2000). В световом потоке под флуоресцентной пленкой Л-50 за счет преобразования поглощенной УФ радиации увеличивается интенсивность красного излучения с длиной волны в максимуме 619 нм, что также положительно отражается на морфогенезе и продуктивности растений (Kusnetsov et al., 1989; Карасев, 1995; Иваницкий и др., 2009, Минич, 2010а; Минич 2011). Отсутствие изменений фотофизических свойств пленки со временем способствует сохранению в теплицах под ней оптимального светового режима весь срок вегетации растений, что является ее специфической особенностью. Такой комплекс изменений светового режима в теплице под флуоресцентной пленкой Л-50, сохраняемый весь срок вегетации растений, интенсифицирует протекание регуляторных реакций, отвечающих за их индивидуальное развитие и активируемых изменениями низкоинтенсивного электромагнитного излучения (Красновский, 1975; Воскресенская, 1987; Минич И., 2005; Минич и др., 2006; 2010; Минич, 2011).

#### **4.2.2. Особенности морфогенеза и продуктивности представителей семейства Solanaceae под флуоресцентной полиэтиленовой пленкой Л-50**

Исследования морфогенеза и продуктивности различных видов сельскохозяйственных культур семейства Solanaceae под флуоресцентной пленкой Л-50, люминесцирующей в красной области спектра с максимумом излучения 619 нм, показали как сходные, так и отличительные ответные реакции растений на изменение светового режима в теплицах по сравнению с немодифицированной и флуоресцентными пленками (таблицы 11, 12) (Минич, Пермякова и др., 2012).

Для всех исследуемых видов растений семейства Solanaceae выявили несколько общих закономерностей, связанных с особенностями их роста, развития

и продуктивности. Под флуоресцентными пленками относительно контроля отметили интенсивное развитие репродуктивных органов, увеличение срока активного плодоношения растений от 14 до 20 суток (в зависимости от вида и сорта) и повышение их продуктивности, при этом максимальные положительные отличия наблюдались под пленкой Л-50. Такой результат связан с особенностью микроклимата внутри теплиц под флуоресцентной пленкой Л-50 и определяется её фотофизическими свойствами (таблица 4). Во-первых, в теплице под флуоресцентной пленкой Л-50, как и всеми другими типами флуоресцентных пленок, за счет поглощения части УФ излучения уменьшается его интенсивность в световом потоке, а также изменяется соотношение прямого и рассеянного излучения в сторону увеличения последнего. По литературным данным солнечное излучение, характеризующее уменьшенной интенсивностью УФ радиации и увеличенной долей рассеянного излучения по сравнению с направленным светом, является более эффективным в продукционном процессе растений (Panagopoulos et al., 1990; Тихомиров и др., 2000; Kittas et al., 2006; Tsormpatsidis et al., 2008; Минич, 2011). Во-вторых, на активацию морфогенеза и увеличение продуктивности растений влияет люминесцентное излучение, генерируемое флуоресцентной пленкой, за счет интенсификации протекания регуляторных низкоэнергетических реакций (Головацкая и др., 2002; Минич И., 2005; Минич и др., 2006; Минич, 2011).

В-третьих, особенностью микроклимата под флуоресцентной пленкой Л-50 является сохранение оптимального светового режима в течение всего срока вегетации растений, так как данная пленка не изменяет свои первоначальные люминесцентные свойства.

Были установлены видовые особенности морфогенеза растений семейства Solanaceae под флуоресцентной пленкой Л-50. Для растений томата, хотя и не выявили отличий в сроках начала цветения и плодоношения, но отметили ингибирование роста главного стебля в длину и активирование его утолщения (на 68–73 сутки вегетации), характерное при выращивании растений под флуоресцентными пленками (таблица 11).

Таблица 11 – Морфометрические показатели *Solanum lycopersicum* сорта Джина и гибрида Ля-ля-фа F<sub>1</sub>, выращенных под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Возраст, сутки	Джина						Ля-ля-фа					
	Высота стебля, см			Диаметр стебля, см			Высота стебля, см			Диаметр стебля, см		
	контр.	Л-50	Урожайная	контр.	Л-50	Урожайная	контр.	Л-50	Урожайная	контр.	Л-50	Урожайная
66	70,00 ±2,32	66,85 ±3,71	67,13 ±2,99	0,93 ±0,07	1,19 ±0,07	1,11 ±0,06	64,70 ±5,05	63,60 ±3,52	65,18 ±4,72	0,82 ±0,12	0,82 ±0,08	0,81 ±0,07
73	84,83 ±2,64	76,12 ±4,49	78,11 ±5,01	1,02 ±0,09	1,29 ±0,09	1,13 ±0,08	85,90 ±3,83	76,80 ±4,36	80,41 ±8,75	0,83 ±0,11	1,14 ±0,06	0,98 ±0,10
80	102,75 ±5,37	89,90 ±6,23	88,15 ±5,48	1,09 ±0,10	1,33 ±0,05	1,25 ±0,05	107,80 ±6,12	88,10 ±9,06	91,55 ±8,65	0,84 ±0,05	1,16 ±0,06	1,05 ±0,07
87	118,20 ±9,59	95,20 ±4,67	97,13 ±4,88	1,10 ±0,11	1,47 ±0,09	1,28 ±0,08	121,60 ±4,91	109,00 ±2,70	114,09 ±3,49	1,00 ±0,07	1,26 ±0,03	1,16 ±0,05
94	126,25 ±13,45	105,40 ±4,25	106,35 ±8,11	1,20 ±0,10	1,50 ±0,05	1,41 ±0,06	137,20 ±7,78	128,30 ±3,69	130,93 ±5,74	1,04 ±0,05	1,32 ±0,08	1,27 ±0,07

Это указывает на то, что под флуоресцентной пленкой микроклимат теплиц способствует ингибированию апикального доминирования и активному делению клеток камбия, который обуславливает утолщение стеблей растений томатов.

У исследуемых сорта и гибрида томата под флуоресцентными пленками наблюдали удлинением срока активного плодоношения на 14 суток, а повышение урожайности определялось увеличением количества плодов (таблица 12).

Таблица 12 – Продуктивность *Solanum lycopersicum* сорта Джина и гибрида Ля-ля-фа F<sub>1</sub>, выращенных под полиэтиленовыми пленками: флуоресцентными Л-50, Урожайная и немодифицированной (контроль)

Дата сбора плодов (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю) под пленками					
	гибрид Ля-ля-фа F <sub>1</sub>			сорт Джина		
	контроль	Л-50	Урожайная	контроль	Л-50	Урожайная
01.08.2008 (118)	0,50 ± 0,04	0,53 ± 0,05 (105,83)	0,54 ± 0,08 (108,00)	0,52 ± 0,08	0,55 ± 0,09 (106,93)	0,57 ± 0,09 (109,62)
04.08.2008 (121)	1,72 ± 0,09	1,91 ± 0,10 (111,21)	1,89 ± 0,09 (119,88)	1,30 ± 0,15	1,41 ± 0,16 (108,42)	1,40 ± 0,16 (107,69)
06.08.2008 (123)	2,29 ± 0,09	2,74 ± 0,10 (119,76)	2,56 ± 0,09 (111,79)	1,86 ± 0,19	2,05 ± 0,25 (110,11)	2,02 ± 0,22 (108,60)
11.08.2008 (128)	2,87 ± 0,10	3,50 ± 0,13 (121,81)	3,21 ± 0,12 (111,85)	2,43 ± 0,15	2,72 ± 0,17 (112,25)	2,67 ± 0,12 (109,88)
18.08.2008 (135)	3,94 ± 0,14	4,91 ± 0,18 (124,87)	4,45 ± 0,17 (112,94)	3,21 ± 0,20	3,64 ± 0,25 (113,40)	3,54 ± 0,27 (110,28)
25.08.2008 (142)	4,79 ± 0,15	6,08 ± 0,23 (127,01)	5,45 ± 0,24 (113,78)	3,92 ± 0,19	4,49 ± 0,20 (114,54)	4,37 ± 0,24 (111,48)
05.09.2008 (153)	5,57 ± 0,25	7,18 ± 0,36 (128,76)	6,37 ± 0,39 (114,36)	4,58 ± 0,22	5,34 ± 0,28 (116,60)	5,12 ± 0,30 (111,79)
18.09.2008 (166)	6,26 ± 0,37	8,18 ± 0,30 (130,62)	7,32 ± 0,25 (116,93)	5,34 ± 0,26	6,26 ± 0,22 (117,23)	6,03 ± 0,36 (112,92)
30.09.2008 (178)	на конец вегетации					
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	6,89 ± 0,44	9,00 ± 0,33 (130,63)	8,13 ± 0,28 (118,00)	5,80 ± 0,25	6,81 ± 0,23 (117,41)	6,57 ± 0,32 (113,28)
Кол-во плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	40,32 ± 1,89	52,69 ± 2,67 (130,68)	47,50 ± 2,11 (117,81)	38,03 ± 3,17	45,06 ± 3,25 (118,46)	43,12 ± 2,93 (118,46)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	170,88 ± 1,97	170,93 ± 2,33 (100,03)	171,20 ± 1,05 (100,19)	152,59 ± 1,10	151,09 ± 2,33 (99,02)	152,45 ± 1,21 (99,91)

При этом максимальные положительные изменения выявили под пленкой Л-50 для гибрида Ля-Ля-Фа, а для сорта Джина эти максимальные положительные отличия были сходными под обеими флуоресцентными пленками. Это указывает

на сортовую и гибридную зависимость продуктивности под флуоресцентными пленками, отмеченную другими авторами (Kusnetsov et al., 1989; Толстиков, 1998; Kosobryukhov et al., 2000).

В листьях томатов обоих сортов под флуоресцентными пленками было отмечено увеличение содержания Хл а и Кар (рисунки 32, 33).

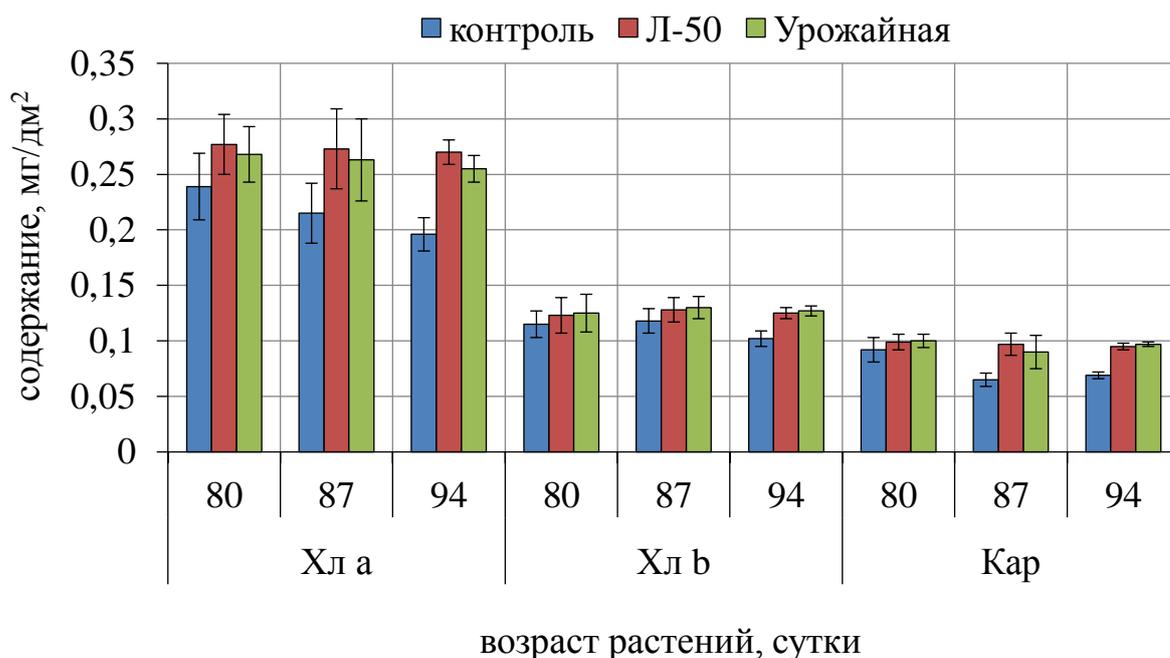


Рисунок 32 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Solanum lycopersicum* сорта Джина, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

При этом у гибрида Джина различия были значимыми только во время массового плодоношения, а у сорта Ля-ля-фа достоверные различия наблюдались в течение всего времени наблюдений. Во время массового формирования плодов (93–95 суток) различия в содержании данных пигментов достигали максимума. В этот период относительно контроля для томата сорта Джина повышение уровня Хл а и Кар составило 38 % под пленкой Л-50 и 30 % и 40 % под пленкой Урожайная. Для томата гибрида Ля-ля-фа различия составили 26 и 31 % под пленкой Л-50 и 22 и 36 % под пленкой Урожайная соответственно.

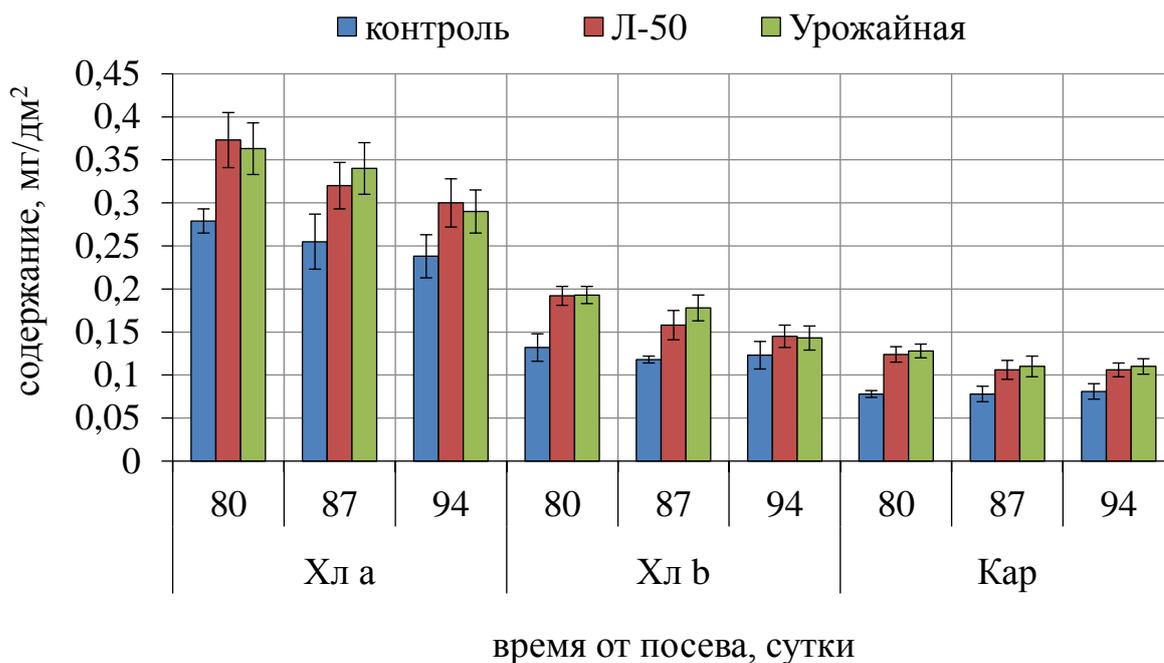


Рисунок 33 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Solanum lycopersicum* гибрида Ля-ля-фа F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Различия в накоплении фотосинтетических пигментов в листьях томатов указывают на их сортовые и видовые особенности, так как такие изменения не характерны для большинства растений, выращиваемых под флуоресцентными пленками (Kusnetsov et al., 1989; Толстиков, 1998; Kosobryukhov et al., 2000).

Аналогично растениям томата повышение продуктивности исследуемых сортов баклажана и перца овощного под флуоресцентными пленками происходило за счет увеличения количества плодов, что сопряжено с интенсивным формированием репродуктивных органов (таблица 13) и не связано с изменением уровня фотосинтетических пигментов в листьях растений, которые не имели достоверных отличий (рисунки 34–36).

Во время онтогенеза под флуоресцентной пленкой Л-50, в отличие от флуоресцентной пленки Урожай-2 наблюдали два пика плодоношения культур, при которых продуктивность баклажана и перца значительно превышала контрольные растения (таблицы 14, 15).

Таблица 13 – Морфометрические показатели *Solanum melongena* сорта Алмаз и гибрида Барон F<sub>1</sub> и *Capsicum annuum* сорта Богатырь, выращенных под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л1-50 и Урожай-2)

Возраст, сутки	Высота растения (стебля), см		Диаметр стебля, см		Кол-во бутонов/м <sup>2</sup> , шт		Кол-во цветков/м <sup>2</sup> , шт		Кол-во плодов/м <sup>2</sup> , шт			
	контр.	Л-50	Ур.-2	контр.	Л-50	Ур.-2	контр.	Л-50	Ур.-2	контр.	Л-50	Ур.-2
Баклажан сорта Алмаз												
66	27,50 ±1,31	28,60 ±1,42	27,71 ±1,46	0,91 ±0,05	0,68 ±0,07	0,49 ±0,05	0,70 ±0,07	0,04 ±0,01	0,10 ±0,01	0,11 ±0,01	--	--
73	35,11 ±3,27	33,41 ±4,72	32,44 ±3,65	1,01 ±0,13	1,71 ±0,12	0,86 ±0,17	1,81 ±0,10	0,15 ±0,03	0,27 ±0,01	0,29 ±0,02	--	0,02 ±0,01
80	46,00 ±3,04	47,70 ±5,03	46,26 ±4,53	1,31 ±0,15	2,25 ±0,21	0,86 ±0,16	2,35 ±0,19	0,36 ±0,07	0,58 ±0,09	0,59 ±0,10	--	0,17 ±0,01
87	58,63 ±2,98	63,42 ±9,28	60,77 ±5,16	1,38 ±0,16	1,09 ±0,18	0,35 ±0,09	0,98 ±0,11	0,98 ±0,21	2,28 ±0,45	2,35 ±0,55	--	0,44 ±0,04
94	65,19 ±5,58	72,22 ±10,46	71,12 ±8,98	1,40 ±0,09	1,78 ±0,33	1,53 ±0,29	1,81 ±0,24	1,05 ±0,24	1,19 ±0,37	1,21 ±0,29	0,09 ±0,01	0,96 ±0,09
Баклажан гибрида F <sub>1</sub> Барон												
66	29,01 ±1,17	30,00 ±1,19	29,50 ±1,18	0,87 ±0,07	0,57 ±0,06	0,44 ±0,04	0,62 ±0,05	0,03 ±0,01	0,09 ±0,01	0,10 ±0,01	--	--
73	39,09 ±4,33	41,45 ±3,55	40,41 ±4,38	1,09 ±0,11	1,67 ±0,16	0,88 ±0,16	1,72 ±0,13	0,16 ±0,05	0,17 ±0,04	0,18 ±0,03	--	0,02 ±0,01
80	48,55 ±5,42	51,05 ±6,67	50,15 ±4,77	1,21 ±0,08	2,33 ±0,33	0,98 ±0,11	2,41 ±0,26	0,43 ±0,06	0,61 ±0,09	0,65 ±0,10	--	0,12 ±0,01
87	61,98 ±5,02	65,67 ±4,33	62,57 ±5,26	1,35 ±0,09	1,01 ±0,22	0,45 ±0,09	0,95 ±0,17	1,02 ±0,19	2,32 ±0,40	2,15 ±0,35	--	0,34 ±0,05
94	72,77 ±6,44	77,03 ±6,33	77,13 ±5,83	1,48 ±0,12	1,97 ±0,39	1,53 ±0,29	2,01 ±0,30	1,11 ±0,21	1,29 ±0,29	1,28 ±0,27	0,07 ±0,01	0,59 ±0,04
Перец овощной сорта Богатырь												
66	28,80 ±1,94	26,16± 1,78	27,41± 1,89	0,55 ±0,07	1,16 ±0,09	0,96 ±0,08	1,18 ±0,08	--	--	--	--	--
73	31,50 ±1,89	28,60 ±1,46	29,44 ±1,75	0,63 ±0,05	2,16 ±0,25	1,68 ±0,15	2,24 ±0,24	--	0,08 ±0,01	0,09 ±0,01	--	--
80	41,14 ±1,64	30,40 ±1,17	29,45 ±1,27	0,71 ±0,04	3,36 ±0,45	2,76 ±0,36	3,42 ±0,41	0,02 ±0,01	0,16 ±0,01	0,19 ±0,01	--	0,11 ±0,01
87	49,20 ±2,73	35,00 ±1,43	37,64 ±1,67	0,81 ±0,04	3,59 ±0,38	2,85 ±0,59	3,60 ±0,37	0,64 ±0,03	0,28 ±0,02	0,31 ±0,03	0,05 ±0,01	0,19 ±0,03
94	58,30 ±1,42	42,60 ±2,86	41,66 ±3,48	0,99 ±0,04	3,89 ±0,50	2,55 ±0,41	3,75 ±0,48	0,45 ±0,05	0,39 ±0,05	0,40 ±0,04	0,24 ±0,03	1,40 ±0,82

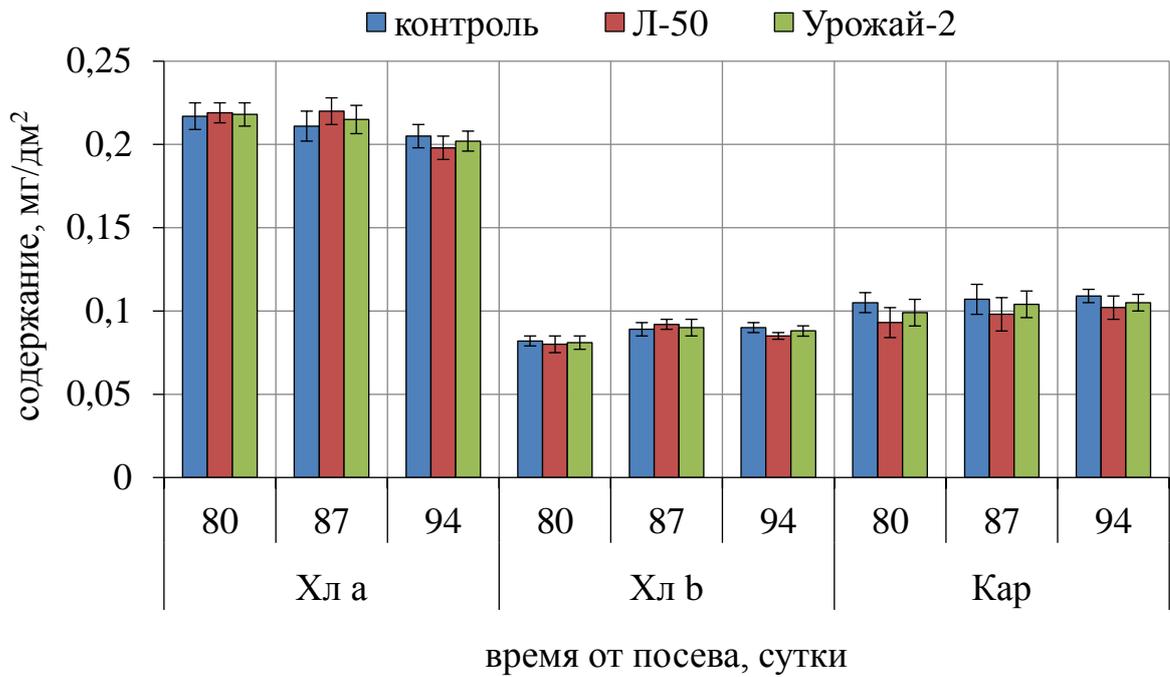


Рисунок 34 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Solanum melongena* сорта Алмаз, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

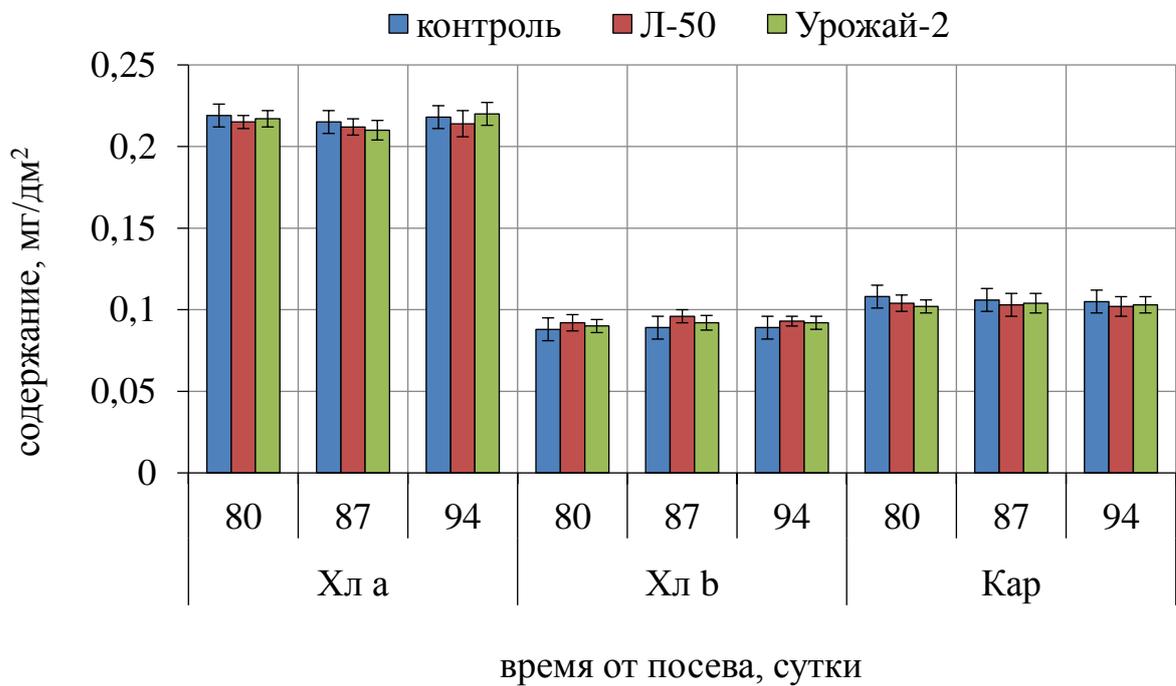


Рисунок 35 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Solanum melongena* гибрида Барон F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными Л-50 и Урожайная

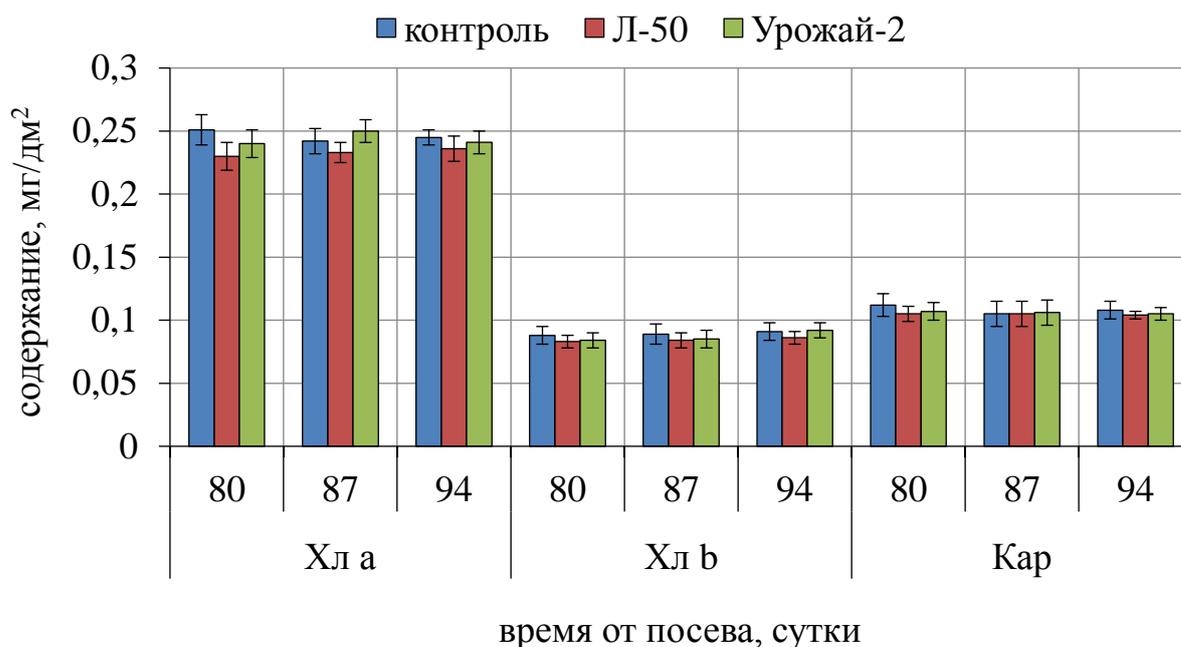


Рисунок 36 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Capsicum annuum* сорта Богатырь, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50 и Урожайная)

Первый пик связан с ускоренным образованием репродуктивных органов и укорочением на 6–7 суток сроков начала плодоношения обоих видов под флуоресцентной пленкой. При этом плоды интенсивнее растут и развиваются, что приводит к более ранней технической спелости плодов (на 2–3 недели раньше).

Второй пик (2–3 недели) определяется удлинением сроков активного плодоношения растений под флуоресцентной пленкой Л-50 на 14 дней (конец августа – начало сентября). Оба пика сопряжены с особенностями микроклимата внутри теплиц под флуоресцентной пленкой Л-50, в том числе способностью света, прошедшего через нее, увеличивать активность почвенной микрофлоры, что отмечено в литературе (Минич, 2011). Это способствует повышению температуры внутри теплиц относительно контроля, что приводит весной к ускоренному росту и развитию растений, а осенью к удлинению сроков активного плодоношения. Под флуоресцентной пленкой Л-50 по сравнению с применением других типов флуоресцентных пленок эти отличия максимальны, что связано с тем, что люминесцентное излучение с сохраняемой первоначальной интенсивностью в большей степени влияют на эти процессы.

Таблица 14 – Продуктивность *Solanum melongena* сорта Алмаз и гибрида Барон F<sub>1</sub>, выращенных под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными Л-50 и Урожай-2

Дата сбора плодов (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю) под пленками					
	сорт Алмаз			гибрид Барон F <sub>1</sub>		
	контроль	Л-50	Урожай-2	контроль	Л-50	Урожай-2
01.08.2008 (95)	0,00	0,10 ± 0,03 (-)	0,25 ± 0,09 (-)	0,00	0,07 ± 0,02 (-)	0,17 ± 0,05 (-)
06.08.2008 (102)	0,00	0,34 ± 0,10 (-)	0,41 ± 0,08 (-)	0,00	0,19 ± 0,07 (-)	0,21 ± 0,07 (-)
22.08.2008 (118)	0,00	0,76 ± 0,19 (-)	0,49 ± 0,06 (-)	0,00	0,50 ± 0,13 (-)	0,38 ± 0,12 (-)
25.08.2008 (121)	0,14 ± 0,04	0,88 ± 0,12 (648,90)	0,57 ± 0,11 (407,14)	0,16 ± 0,03	0,62 ± 0,08 (377,77)	0,48 ± 0,09 (300,00)
31.08.2008 (127)	1,06 ± 0,22	2,63 ± 0,34 (247,29)	2,10 ± 0,29 (198,11)	0,86 ± 0,08	1,69 ± 0,24 (195,37)	1,35 ± 0,20 (156,98)
14.09.2008 (141)	2,60 ± 0,24	3,39 ± 0,18 (130,54)	3,07 ± 0,12 (118,08)	1,86 ± 0,10	2,23 ± 0,13 (119,80)	2,11 ± 0,11 (113,44)
30.09.2008 (157)	на конец вегетации					
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	3,77 ± 0,53	6,23 ± 0,34 (165,25)	5,53 ± 0,26 (146,68)	2,68 ± 0,18	3,42 ± 0,19 (127,32)	3,03 ± 0,17 (113,06)
Кол-во плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	18,27 ± 2,22	29,82 ± 4,53 (163,22)	26,56 ± 2,11 (145,38)	8,45 ± 1,01	10,67 ± 2,95 (126,17)	9,59 ± 3,03 (113,46)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	206,46 ± 1,45	208,94 ± 1,52 (101,20)	208,32 ± 1,39 (100,90)	317,29 ± 2,15	320,11 ± 2,05 (100,92)	316,40 ± 2,15 (99,72)

Таблица 15 – Продуктивность *Capsicum annuum* сорта Богатырь, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными Л-50 и Урожай-2

Дата сбора плодов (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)		
	контроль	Л-50	Урожай-2
04.08.2008 (99)	0,00	0,06 ± 0,01 (-)	0,10 ± 0,02 (-)
18.08.2008 (113)	0,00	0,14 ± 0,03 (-)	0,13 ± 0,03 (-)
25.08.2008 (121)	0,09 ± 0,01	0,18 ± 0,05 (200,00)	0,16 ± 0,06 (177,78)
31.08.2008 (127)	0,43 ± 0,10	1,35 ± 0,55 (313,95)	0,73 ± 0,12 (169,77)
14.09.2008 (141)	2,26 ± 0,13	2,56 ± 0,15 (113,27)	2,21 ± 0,11 (97,79)
30.09.2008 (157)	на конец вегетации		
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	2,51 ± 0,33	3,97 ± 0,35 (158,17)	3,35 ± 0,23 (133,47)
Количество плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	24,70 ± 2,44	38,90 ± 2,57 (157,49)	32,73 ± 2,55 (157,49)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	101,67 ± 1,67	102,09 ± 1,25 (100,41)	102,23 ± 1,21 (100,55)

Таким образом, в теплице под флуоресцентной пленкой Л-50, как и под флуоресцентными пленками Урожай-2 и Урожайная создаваемый микроклимат за счет уменьшения интенсивности УФ излучения, увеличения рассеянных лучей, люминесцентного излучения и повышенной температуры почвы и воздуха в холодный период благоприятствует росту, развитию и продуктивности сельскохозяйственных культур семейства Solanaceae (Минич, 2011). Схожим в морфогенезе и продуктивности для исследуемых видов, гибридов и сортов растений семейства Solanaceae под флуоресцентной пленкой Л-50 является активация ростовых процессов на ранних этапах развития, интенсивное формирование репродуктивных органов. Однако под флуоресцентной пленкой Л-50 оптимальный световой режим сохраняется весь период вегетации растений, что на поздних этапах онтогенеза приводит к удлинению сроков активного плодоношения растений на 2–3 недели и увеличение продуктивности от 17 до 65 % по сравнению с контролем и от 4 до 19 % по сравнению с другими флуоресцентными пленками.

#### **4.2.3. Морфогенез и продуктивность *Lactuca sativa* под флуоресцентными пленками Л-50, Урожайная и Урожай-2**

В теплицах, кроме овощных культур широко культивируются зеленные культуры, в том числе *Lactuca sativa*. В связи с этим нами предпринята попытка изучения влияния измененного флуоресцентными пленками микроклимата теплиц на его морфогенез и продуктивность. Изменение светового режима флуоресцентными пленками Л-50, Урожай-2 и Урожайная способствовало активации роста и развития растений салата (таблица 16).

Первые 10 суток вегетации у контрольных и опытных растений не отметили изменений количества листьев в розетке. Однако под флуоресцентными пленками наблюдали ускоренный рост и развитие листьев, что привело по сравнению с контрольными растениями к увеличению площади ассимилирующей поверхности салата в 1,9–2,5 раза.

Таблица 16 – Морфометрические параметры *Lactuca sativa* сорта Московский парниковый, выращенного под полиэтиленовыми немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50, Урожайная, Урожай-2) пленками

Тип пленки	Возраст растений, сутки	Длина гипокотыля, мм	Высота розетки листьев, см	Кол-во листьев, шт	Площадь поверхности листьев, см <sup>2</sup>	Сырая масса, г			Сухая масса, мг		
						розетки листьев	корней	общая	розетки листьев	корней	общая
контроль	9	11,00 ±1,30	---	2,00 ±0,01	0,45 ±0,09	---	---	0,022 ±0,004	---	---	0,41 ±0,13
	19	---	33,60 ±1,28	5,00 ±0,02	5,00 ±0,29	0,086 ±0,019	0,010 ±0,002	0,096 ±0,020	6,20 ±0,70	0,42 ±0,01	6,62 ±0,69
	29	---	68,91 ±4,20	5,81 ±0,36	54,37 ±7,70	0,944 ±0,128	0,154 ±0,019	1,098 ±0,134	74,04 ±11,67	14,24 ±1,44	88,28 ±11,01
	39	---	160,11 ±7,15	9,52 ±0,30	207,54 ±11,34	5,550 ±0,501	0,400 ±0,065	5,950 ±0,552	479,38 ±27,63	25,80 ±4,05	505,18 ±29,73
Л-50	9	9,40 ±1,22	---	2,00 ±0,01	0,85 ±0,12	---	---	0,046 ±0,005	---	---	1,74 ±0,18
	19	---	43,20 ±2,83	5,00 ±0,03	10,21 ±1,45	0,203 ±0,019	0,018 ±0,007	0,221 ±0,023	15,64 ±1,70	1,52 ±0,06	17,16 ±1,59
	29	---	99,72 ±7,21	10,00 ±0,70	85,18 ±15,83	2,796 ±0,406	0,285 ±0,047	3,081 ±0,421	243,28 ±49,33	30,44 ±6,88	273,72 ±49,13
	39	---	234,01 ±6,84	12,11 ±0,77	636,94 ±65,29	13,400 ±1,264	0,960 ±0,138	14,360 ±1,370	786,26 ±77,53	75,92 ±11,63	862,18 ±86,35
Урожайная	9	7,20 ±1,17	---	2,00 ±0,01	1,05 ±0,10	---	---	0,047 ±0,004	---	---	2,35 ±0,24
	19	---	54,30 ±3,33	5,17 ±0,03	16,88 ±1,85	0,391 ±0,024	0,022 ±0,004	0,413 ±0,020	24,01 ±1,05	1,98 ±0,07	25,99 ±1,06
	29	---	117,17 ±8,03	8,08 ±0,35	91,02 ±15,93	3,451 ±0,212	0,422 ±0,047	3,873 ±0,213	263,11 ±32,17	35,14 ±6,90	298,25 ±34,33
	39	---	280,03 ±6,11	9,00 ±0,13	317,40 ±22,25	10,401 ±0,581	0,433 ±0,112	10,834 ±0,702	535,67 ±45,45	37,27 ±11,63	572,94 ±46,14
Урожай-2	9	4,80 ±1,15	---	2,00 ±0,02	1,13 ±0,11	---	---	0,048 ±0,004	---	---	2,42 ±0,27
	19	---	66,50 ±4,35	6,40 ±0,29	26,97 ±2,11	0,494 ±0,043	0,026 ±0,006	0,520 ±0,046	40,26 ±5,02	2,38 ±0,09	42,64 ±4,89
	29	---	133,70 ±9,49	8,50 ±0,40	99,83 ±16,17	4,192 ±0,283	0,479 ±0,040	4,671 ±0,307	286,36 ±35,95	38,44 ±7,12	324,80 ±24,81
	39	---	311,20 ±6,78	9,20 ±0,27	335,04 ±23,45	10,850 ±0,686	0,480 ±0,059	11,330 ±0,714	542,60 ±47,57	38,68 ±4,23	581,28 ±47,52

В последующем у опытных растений происходило увеличение площади ассимилирующей поверхности как за счет более быстрого роста и развития листовых пластинок, так и увеличения их числа, что было сопряжено с изменениями их сырой и сухой массы. Это привело к увеличению продуктивности салата под флуоресцентными пленками в 1,5–3 раза.

Однако развитие листовой поверхности и корневой системы в опыте различалось и определялось типом используемой флуоресцентной пленки. Под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2, модифицированными люминофором ФЕ и люминесцирующими в области с максимумом 615 нм, максимально интенсивное развитие корневой системы и ассимилирующей поверхности отметили до возраста 30 суток (таблица 16). Площадь ассимилирующей поверхности растений увеличивалась относительно контроля как за счет формирования большего числа листьев в розетке, так и роста и развития листовых пластинок. В данный период для салата под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2 отметили максимальное увеличение продуктивности, как по сравнению с контрольными растениями, так и по сравнению с растениями, выращенными под флуоресцентной пленкой Л-50. В дальнейшем наблюдали прекращение роста и развития корневой системы салата, а площадь поверхности листьев изменялась в основном за счет увеличения размера листовых пластинок.

Под флуоресцентной пленкой Л-50, содержащей люминофор ФВИ и люминесцирующей в области с максимумом 619 нм, как и для растений под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2 в первые три декады отметили активный рост и развитие корневой системы и ассимилирующей поверхности, причем в основном за счет формирования большего числа розеточных листьев. Однако пик интенсивного развития салата пришелся на последнюю декаду вегетации. В данный период в опыте отметили интенсивное формирование корневой системы и листовой поверхности растений, что способствовало максимизации продуктивности салата под флуоресцентной пленкой по сравнению со всеми исследуемыми пленками. Так, на момент ликвидации культуры (39 сутки) под флуоресцентной пленкой Урожайная площадь поверхности листьев, сырая и

сухая массы салата была выше контроля соответственно на 53, 82 и 13 %, под флуоресцентной пленкой Урожай-2 – на 61, 90 и 12 %, а под флуоресцентной пленкой Л-50 – в 3,1, 2,4 и 0,7 раза. Этот факт объясняется тем, что под флуоресцентными пленками Урожай-2 и Урожайная световой режим ухудшается за счет потери люминесцентных свойств, а под флуоресцентной пленкой Л-50 он остается оптимальным весь период вегетации (таблица 4).

По литературным данным активация роста, развития и повышение продуктивности растений под флуоресцентными пленками относительно контроля связывают с изменениями в содержании эндогенных фитогормонов (Минич И., 2005; Минич и др., 2006), а для салата, в частности, с повышением содержания свободной ИУК и уменьшением уровня свободной АБК (Минич, 2011). Считается, что люминесцентное излучение низкой интенсивности, возникающее за счет поглощения и преобразования части УФ-А света флуоресцентными пленками, оказывает регуляторное действие на состояние гормонального баланса растений. При этом интенсифицируется синтез эндогенных стимуляторов роста и деактивируется накопление ингибиторов, что приводит к ускоренному росту, развитию и повышению продуктивности растений под флуоресцентными пленками (Минич И., 2005; Минич и др., 2006; Минич, 2011), не сопровождающийся изменением в содержании фотосинтетических пигментов (Минич, 2011). В наших исследованиях уровень накопления фотосинтетических пигментов в листьях салата достоверно не менялся во всех исследуемых вариантах (рисунок 37).

Результаты исследований показывают, что под исследуемыми флуоресцентными пленками в отличие от теплиц, покрытых контрольной пленкой, у растений салата с начала вегетации активно развивается корневая система, что является одним из факторов повышения их продуктивности. Более активное формирование и рост корней под флуоресцентными пленками связан с микробиологическими параметрами почвы, в том числе с изменениями численности аборигенных гетеротрофных бактерий (рисунок 38).

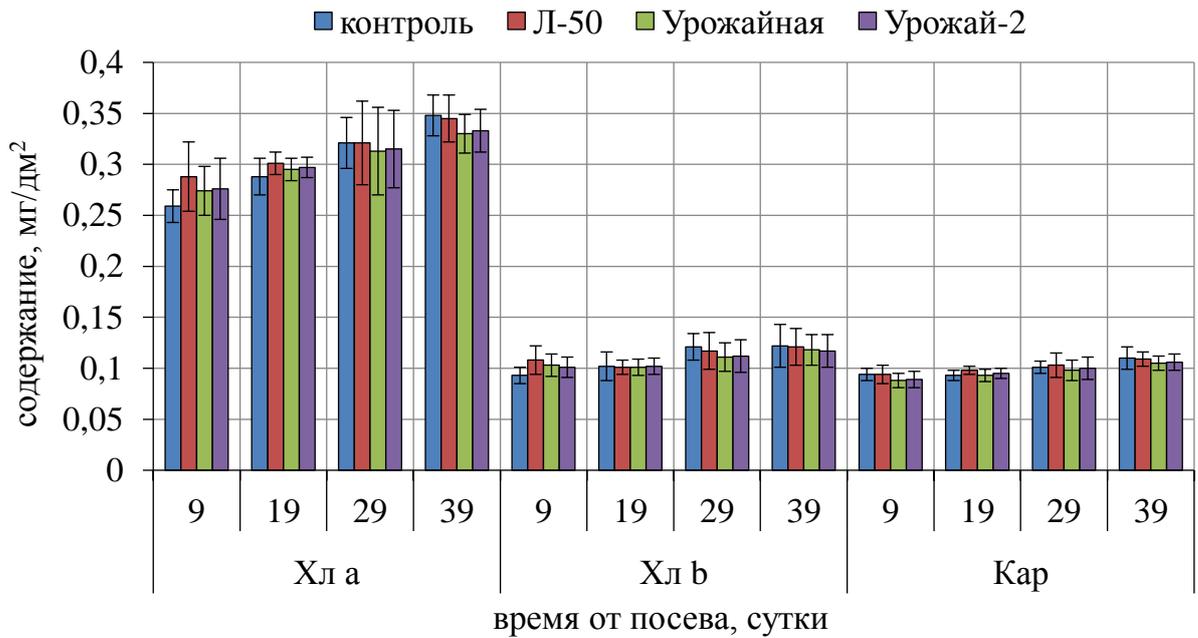


Рисунок 37 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Lactuca sativa* сорта Московский парниковый, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50, Урожайная, Урожай-2)

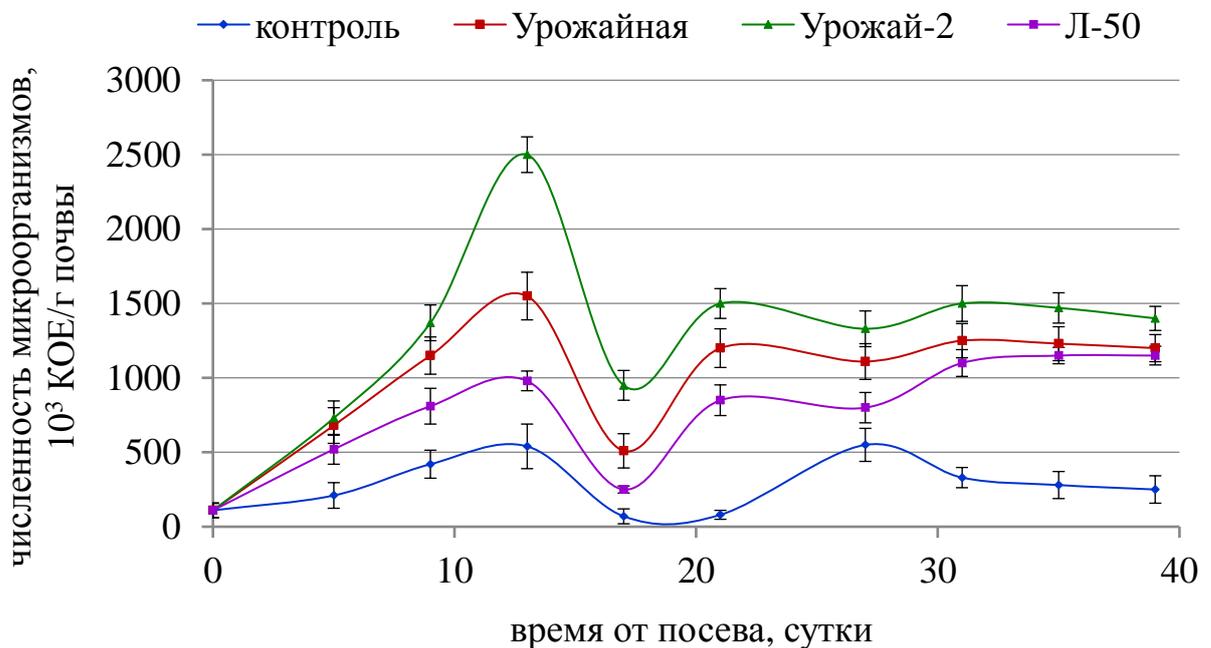


Рисунок 38 – Динамика численности гетеротрофных бактерий в почве под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (Л-50, Урожайная, Урожай-2)

Численность гетеротрофных бактерий в исходной почве контрольной и опытных теплиц была идентичной, она составила 100–110 тыс. КОЕ/г почвы. В

ходе исследований изменения данного показателя микрофлоры почвы значительно различались и зависели от применяемой для покрытия теплиц пленки. Отметим схожую динамику численности гетеротрофных бактерий в почве под флуоресцентными пленками, которая характеризовалась тремя пиками (13-е, 21-е и 31-е сутки), в отличие от почвы из контрольной теплицы, имеющей только два максимума (13-е и 27-е сутки). Опытные образцы почвы по сравнению с контролем характеризовались более высоким содержанием гетеротрофных бактерий, максимальная численность которых в первый пик составила 540, 1550, 2500 и 980 тыс. КОЕ/г почвы, во второй пик – 80, 1200, 1500 и 850 КОЕ/г почвы, в третий пик – 330, 1250, 1500 и 1100 тыс. КОЕ/г почвы соответственно под контрольной пленкой и флуоресцентными пленками Урожайная, Урожай-2, и Л-50. Таким образом, численность гетеротрофных бактерий в почве опытных теплиц была выше, чем в контрольной почве соответственно в 2,9, 4,6 и 1,8 раза (1 пик), в 15,0, 18,8 и 10,6 раза (2 пик) и в 3,8, 4,5 и 3,3 раза (3 пик).

Такой результат связан с повышенной температурой (приблизительно на 2 градуса) верхнего слоя почвы под флуоресцентными пленками, относительно почвы в контрольной теплице, хотя температура воздуха во всех сооружениях защищенного грунта поддерживалась на одном уровне. Это, в свою очередь, определяется особенностями преобразования света исследуемыми флуоресцентными пленками и подтверждает представленные в литературе предположения (Scora et al., 2008; Минич, 2011). По литературным данным за счет особенностей светопропускания модифицированных пленок, используемых для их покрытия, создаются микроклимат теплиц, который влияет на микробиологические параметры почвы, что сопряжено с активацией роста и развития корневой системы растений и продуктивности растений в целом (Scora et al., 2008).

Наиболее интенсивное формирование и развитие корневой системы растений под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2 наблюдали в третьей декаде эксперимента, что приходится на максимум численности гетеротрофных бактерий в почве под ними. В последнюю декаду под данными флуоресцентными

пленками достоверных изменений в развитии корневой системы не выявили. Это приводит к торможению формирования новых листьев в розетке, а увеличение ассимилирующей поверхности и биомассы происходит в основном за счет роста листовых пластинок. Такой результат, по нашему мнению, определяется потерей пленками первоначальных фотофизических свойств, определяемых люминесцентным излучением.

Особенность динамики формирования и развития корневой системы салата под флуоресцентной пленкой Л-50 – интенсификация процессов в последнюю декаду вегетации, что сопряжено с третьим максимумом увеличения численности гетеротрофных бактерий в опытной почве (31-е сутки). В отличие от опытных образцов почвы из теплиц под флуоресцентными пленками Урожайная и Урожай-2 в дальнейшем в почве под флуоресцентной пленкой Л-50 происходит увеличение (хотя и незначительное) численности исследуемых бактерий, что определяется специфической особенностью данной пленки сохранять свои люминесцентные свойства. Это отражается на корневой системе салата, выращиваемого под флуоресцентной пленкой Л-50, продолжением формирования розеточных листьев и их активным ростом и развитием, что приводит к скачку в накоплении биомассы.

Такие различия в развитии корневой системы и в увеличении биомассы растениями салата под разными типами флуоресцентных пленок подтверждают сделанное нами ранее заключение о преобладающем влиянии на эти процессы длины волны и интенсивности люминесцентного излучения, а также способности пленок с разной степенью поглощать УФ радиацию и увеличивать долю рассеянного света (Minich, Permyakova et al., 2011). Такой вывод дополнительно подтверждается литературными данными, в которых указывается на фотолюминесцентную стимуляцию процессов роста и оксигеназную активность почвенной микрофлоры солнечным светом, прошедшим через флуоресцентные пленки, в том числе модифицированных люминофорами Л-50 и ФЕ (Сваровская и др., 2007; 2008; Филатов и др., 2010; 2011; 2011a, 2011b; 2014; Filatov et al., 2011; 2011a; Svarovskaya et al., 2007; 2008; 2008a).

Таким образом, использование флуоресцентных пленок Л-50, Урожайная и Урожай-2 в защищенном грунте приводит к изменению микроклимата теплиц, влияющего на повышение температуры верхнего слоя почвы и на активацию процессов формирования и развития корневой системы *Lactuca sativa* сорта Московский парниковый, что способствует ускоренному росту, развитию надземной части растений и увеличению продуктивности. Наибольшие положительные изменения морфогенеза и продуктивности салата отмечены под флуоресцентной пленкой Л-50, люминесцирующей в области с максимумом излучения 619 нм и обладающей способностью сохранять первоначальный оптимальный световой режим в течение всего срока вегетации растений.

#### **4.3. Морфогенез и продуктивность *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub> под флуоресцентной пленкой Л-50 и двухслойным покрытием из флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса**

В зоне рискованного земледелия, характеризующегося низкими температурами воздуха в весенний и осенний периоды, в теплицах для предотвращения потерь тепла и получения ранних урожаев используют двухслойные пленочные покрытия с воздушной «подушкой». Воздушный зазор между пленками способствует лучшему сохранению тепла внутри теплицы, но при этом уменьшается освещенность растений, так как солнечный свет проходит через два слоя пленок. В хозяйствах с таким двухслойным покрытием теплиц для получения высоких урожаев существует дилемма между снижением интенсивности ФАР, приходящейся на растения, или снижением потерь тепла. Повышение освещенности растений за счет дополнительного освещения приводит к удорожанию продукции и ее неконкурентной способности. Получение более поздних урожаев из-за медленного роста и развития растений на ранних этапах развития за счет недостаточной освещенности также приводит к экономическим потерям. Проблема улучшения светового режима теплиц может быть решена использованием флуоресцентных и гидрофильных пленок. С этой целью в

фермерском хозяйстве М.П. Борзунова (г. Томск) нами была предпринята попытка проведения подобных исследований с использованием флуоресцентных и гидрофильных пленок.

Для исследований контрольную и одну из опытных теплиц покрыли двумя слоями полиэтиленовых пленок, между которыми воздушный зазор составлял 5 см. Внутренний и внешний слой контрольной теплицы покрыли немодифицированной пленкой. У опытной теплицы внутренний слой покрыли гидрофильной пленкой «Роса», а внешний слой – флуоресцентной пленкой «Урожайная». Вторая опытная теплица была покрыта флуоресцентной пленкой Л-50. В теплицы в апреле месяце по стандартной технологии высаживали 25-суточную рассаду растений огурца двух гибридов с близкими морфометрическими параметрами, выращенную под немодифицированной полиэтиленовой пленкой.

Результаты исследования показали, что в опытных теплицах происходит интенсификация роста, развития и плодоношения обоих гибридов огурца относительно растений в контроле. Для опытных растений отметили интенсивное развитие побега и формирование ярусов, сопряженных с удлинением междоузлий, развитием листовых пластинок и формированием репродуктивных органов, что привело к увеличению их продуктивности по сравнению с контролем (таблица 17).

В обеих опытных теплицах техническая спелость плодов наступила раньше на 8 суток (50 сутки) относительно растений в контрольной теплице (58 сутки). Это привело к тому, что в начале плодоношения проявились максимальные различия в продуктивности исследуемого гибрида в опыте и контроле. В дальнейшем различия в продуктивности снизились, что связано с достижением плодами технической спелости в контроле.

При ликвидации культуры продуктивность (урожайность) гибрида в обеих опытных теплицах превышала значения контрольных растений на 16 %. Так как технологические требования определяли сбор плодов при достижении ими технической спелости, то в контроле и опытах собирали плоды гибридов огурцов близкие по размеру и массе (таблица 17).

Таблица 17 – Продуктивность *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль), флуоресцентной Урожайная и гидрофильной Роса, флуоресцентной Л-50

Дата сбора плодов (сутки)	Продуктивность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю) под пленками		
	контроль	Урожайная + Роса	Л-50
10.05.2006 (50)	–	0,13 (–)	0,03 (–)
25.05.2006 (65)	0,46 ± 0,09	1,56 ± 0,09 (339,67)	1,53 ± 0,11 (332,61)
03.06.2006 (74)	0,91 ± 0,12	2,39 ± 0,14 (262,36)	2,26 ± 0,11 (248,35)
13.06.2006 (84)	2,32 ± 0,11	4,63 ± 0,17 (199,14)	4,39 ± 0,35 (189,22)
24.06.2006 (95)	4,01 ± 0,17	6,13 ± 0,35 (152,93)	6,09 ± 0,54 (151,87)
04.07.2006 (105)	5,81 ± 0,23	8,32 ± 0,44 (143,16)	8,25 ± 0,23 (142,00)
13.07.2006 (114)	7,86 ± 0,45	10,53 ± 0,49 (134,00)	10,35 ± 0,55 (131,68)
22.07.2006 (123)	9,53 ± 0,40	11,38 ± 0,40 (119,38)	11,12 ± 0,51 (116,68)
03.08.2006 (135)	12,05 ± 0,38	13,90 ± 0,47 (115,31)	13,50 ± 0,48 (102,03)
12.08.2006 (144)	13,72 ± 0,44	15,65 ± 0,34 (114,07)	15,12 ± 0,25 (110,20)
19.08.2006 (153)	14,92 ± 0,33	17,41 ± 0,32 (116,72)	17,17 ± 0,40 (115,08)
31.08.2006 (165)	16,09 ± 0,40	18,85 ± 0,24 (117,15)	18,64 ± 0,53 (115,85)
09.09.2006 (174)	16,51 ± 0,34	19,25 ± 0,20 (116,63)	19,08 ± 0,43 (115,57)
16.09.2006 (181)	на конец вегетации		
Урожайность, кг/м <sup>2</sup> (% к контролю)	16,76 ± 0,35	19,51 ± 0,22 (116,38)	19,45 ± 0,49 (116,05)
Кол-во плодов, шт/м <sup>2</sup> (% к контролю)	143,25 ± 4,33	167,86 ± 2,33 (117,18)	169,38 ± 2,70 (118,24)
Средняя масса плода, г (% к контролю)	117,02 ± 1,50	116,23 ± 2,05 (99,33)	114,85 ± 1,87 (105,36)

Поэтому увеличение продуктивности опытных гибридов огурца по сравнению с контрольными растениями происходило только за счет увеличения числа плодов (таблица 17).

Результаты наших исследований показывают, что для гибрида Валентина совместное использование флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса или флуоресцентной пленки Л-50 приводит к увеличению продуктивности на 16 %, величина изменения которых близка к данным, полученным при использовании других типов флуоресцентных пленок (Райда, Толстикова, 2001; Головацкая и др., 2002; Астафурова и др., 2003). Такой результат в повышении продуктивности растений может быть связан только с изменением светового режима внутри теплиц, так как температурный режим в холодное время

поддерживался одинаковым за счет дополнительного обогрева теплиц, а при оптимуме температур за счет проветривания. Значительное увеличение продуктивности совместном использовании флуоресцентной и гидрофильной пленки определяется как повышением светопроницаемости за счет стекания воды по стенкам гидрофильной пленки, так и влиянием на растения на начальном этапе онтогенеза флуоресцентной пленки – уменьшением интенсивности УФ излучения, увеличением доли рассеянного света и наличием люминесцентного излучения в красной области спектра. Под флуоресцентной пленкой Л-50 увеличение продуктивности связано с тем, что использовалось однослойное покрытие, которое сохраняло свои первоначальные фотофизические свойства весь период вегетации растений.

Однако эти изменения светового режима не являются лимитирующим фактором в накоплении фотосинтетических пигментов, содержание которых в листьях гибридов огурцов опытных и контрольных теплиц достоверно не изменялось в ходе вегетации (рисунок 39).

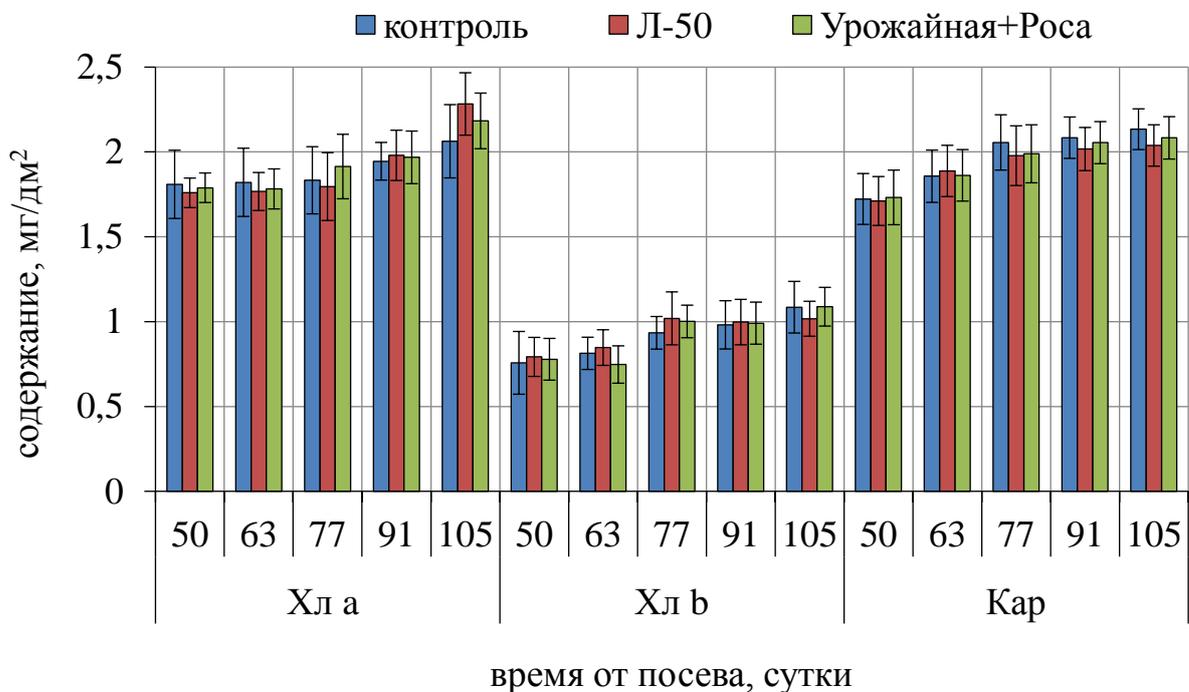


Рисунок 39 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub>, выращенного под полиэтиленовыми пленками: немодифицированными (контроль), флуоресцентной Урожайная и гидрофильной Роса, флуоресцентной Л-50

Это согласуется с данными других исследователей (Астафурова и др., 2003) и показывает, что определяющую роль в активации ростовых процессов и повышении продуктивности гибридов огурцов играют изменения светового режима, определяемые флуоресцентной пленкой.

От реализации огурца населению был определен экономический эффект (без учета издержек на повышенную стоимость гидрофильной и флуоресцентной пленок, а также реализации маринованной продукции).

Реализация свежих огурцов населению была прекращена 20 августа (плоды, собранные в период с 20 августа по 18 сентября, не имели товарную массу и консервировались на территории хозяйства с целью их дальнейшей реализации). Прибыль определялась реализацией дополнительно полученных плодов гибрида огурцов в опытах по отношению к контролю для каждого конкретного срока их продажи (вследствие разницы в цене). К 20 августа фермерским хозяйством от реализации огурца, выращенного при использовании флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса, была получена прибыль в размере 71,55 руб/м<sup>2</sup>, выращенного под флуоресцентной пленкой Л-50 – 69,98 руб/м<sup>2</sup>. Различия в величине прибыли обусловлены изменением продуктивности гибридов в определенные промежутки времени, особенно в момент максимальной закупочной стоимости огурцов. Однако, экономический эффект от продажи огурцов (без учета стоимости материала и затрат на покрытие теплиц), полученный от применения флуоресцентной пленки Л-50 и совместного использования флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса, является близким, что указывает на сходную эффективность их применения.

Качество плодов определялось по содержанию в них углеводов, при этом достоверных отличий в накоплении сахаров в плодах опытных и контрольных растений не установили (таблица 18).

Таблица 18 – Содержание растворимых сахаров в плодах *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub>, выращенных под полиэтиленовыми пленками: немодифицированной (контроль), флуоресцентной Урожайная и гидрофильной Роса, флуоресцентной пленкой Л-50

Вариант теплицы	Содержание сахаров, мг/г сухой массы, в возрасте (сутки)	
	112 сутки	153 сутки
контроль	1,88 ± 0,25	1,93 ± 0,38
Урожайная + Роса	2,09 ± 0,18	1,89 ± 0,43
Л-50	2,04 ± 0,19	1,92 ± 0,40

Таким образом, двухслойное покрытие теплиц, состоящее из гидрофильной пленки Роса и флуоресцентной пленки Урожайная или однослойное покрытие из флуоресцентной пленки Л-50 позволяют целенаправленно улучшать световые условия в теплицах. Использование данных пленок для улучшения светового режима в теплицах является эффективным при культивировании огурца гибрида Валентина, позволяет в условиях региона рискованного земледелия получать на 8 суток более ранний урожай и повысить на 16 % их продуктивность по сравнению с применением немодифицированных пленок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Определено, что специфика микроклимата агроэкосистем под полиэтиленовыми термическими пленками, модифицированными нанесением на их поверхность наночастиц на основе соединений меди (TF1) и меди и серебра (TF2) методом магнетронного напыления, определяется изменениями температурного и светового режимов за счет особенности проницаемости солнечной радиации в УФ, ФАР и ИК диапазонах.

2. Впервые установлено, что улучшение микроклимата агроэкосистем под термической пленкой TF1 определяется уменьшением влияния на растения прямых УФ лучей, сохранением интенсивности ФАР в оптимуме и улучшением температурного режима за счет двукратного снижения пропускания ИК излучения. Такая оптимизация микроклимата способствует активации фотосинтетических процессов *Cucumis sativus* гибридов Маринда и Кураж F<sub>1</sub> за счет увеличения устьичной проводимости, интенсивности транспирации и WUE, интенсивного распределения ионов кальция и фосфатов, что приводит к активному росту и развитию обоих гибридов, ускоренному формированию репродуктивных органов и повышению продуктивности.

3. Впервые установлено, что в агроэкосистеме под термической пленкой TF2 за счет двукратного уменьшения интенсивности ФАР и шестикратного снижения пропускания тепловых лучей при увеличении интенсивности прямого УФ излучения по отношению к ИК и ФАР не происходит оптимизация микроклимата, следствием чего является угнетение биохимических и формообразовательных процессов *Cucumis sativus* гибридов Маринда и Кураж F<sub>1</sub> и снижение их продуктивности.

4. Установлено, что специфика микроклимата агроэкосистем под флуоресцентной пленкой Л-50 определяется не только общими для флуоресцентных пленок изменениями светового режима – уменьшением

интенсивности УФ радиации за счет частичного ее поглощения, увеличением доли рассеянных лучей за счет преломления и рассеивания солнечного излучения, наличия низкоинтенсивного люминесцентного излучения с максимумом длины волны 619 нм, но и ее способностью сохранять исходную интенсивность люминесцентного излучения в течение всего периода вегетации растений. Такой микроклимат агроэкосистем способствует увеличению продуктивности растений за счет активации роста и развития с начала вегетации, а для овощных культур – за счет удлинения репродуктивной фазы, сопряженного с интенсивным формированием генеративных органов, более ранним и продолжительным плодоношением.

5. Установлено, что улучшение световых условий в агроэкостемах за счет применения однослойного покрытия из флуоресцентной пленки Л-50 и двухслойного покрытия из флуоресцентной пленки Урожайная и гидрофильной пленки Роса приводит к близким ответным ростовым процессам и повышению продуктивности *Cucumis sativus* гибрида Валентина F<sub>1</sub>.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать к использованию на практике полиэтиленовую термическую пленку TF1 и полиэтиленовую флуоресцентную пленку Л-50 с целью оптимизации микроклимата агроэкосистем и повышения продуктивности растений в них. Выявленный механизм регулирования роста и развития растений под данными пленками позволяет в перспективе направить дальнейшие исследования на подобное модифицирование других типов полимерных материалов, в том числе полимерных стекол, широко используемых в настоящее время в качестве покрытия агроэкосистем. Это, возможно, позволит создать всесезонные искусственные агроэкосистемы с оптимизированным микроклиматом и существенно повысить продуктивность растений.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

МПА	–	мясопептонный агар
ПЭВД	–	полиэтилен высокого давления
TF1	–	термическая пленка с нанесением на поверхность соединений меди
TF2	–	термическая пленка с нанесением на поверхность соединений меди и серебра
ФВИ	–	фосфат-ванадат иттрия, активированный европием
Л-50	–	флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0,2 % масс. люминофора ФВИ
ФЕ	–	комплекс нитрата европия с 1,10-фенантролином
Урожай-2	–	флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0,1 % масс. люминофора ФЕ
Урожайная	–	флуоресцентная пленка, содержащая в своем составе 0,05 % масс. люминофора ФЕ
ФАР	–	фотосинтетически активная радиация
БС	–	белый свет
КС	–	красный свет
СС	–	синий свет
ВС	–	видимый свет
УФ	–	ультрафиолетовый
ИК	–	инфракрасный
Хл	–	хлорофилл
Кар	–	каротиноиды
WUE	–	эффективность использования воды
ПФФП	–	плотность фотосинтетического фотонного потока
ИУК	–	индолилуксусная кислота
АБК	–	абсцизовая кислота

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Астафурова Т. П. Особенности роста и развития растений огурца при выращивании под светокорректирующими пленками / А. П. Астафурова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 5. – С. 44–48.
2. Белан Б. Д. Особенности многолетней изменчивости характеристик солнечной радиации в Западно-Сибирском регионе / Б. Д. Белан [и др.]. // Оптика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 12, № 3. – С. 275–282.
3. Белан Б. Д. Результаты измерения суммарной солнечной радиации в районе Томска / Б.Д. Белан, Т.К. Сляднева // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 4. – С. 386–391.
4. Белан Б. Д. Синоптический режим Томска 1993-2004 гг. / Б. Д. Белан, Т. М. Рассказчикова, Т. К. Сляднева // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 18, № 10. – С. 887–892.
5. Брызгалов В. А. Овощеводство защищенного грунта / В. А. Брызгалов, В. Е. Советкина, Н. И. Савинова ; под ред. В. А. Брызгалова. – Л. : Колос, 1983. – 352 с.
6. Ващенко С. Ф. Овощеводство защищенного грунта / С. Ф. Ващенко [и др.] ; под ред. С. Ф. Ващенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 272 с.
7. Воскресенская Н. П. Фоторегуляторные реакции и активность фотосинтетического аппарата / Н. П. Воскресенская // Физиология растений. – 1987. – Т. 34. – С. 669–683.
8. Гавриш С. Ф. Гибрид огурца F1 Кураж: технология выращивания партенокарпического гибрида / С. Ф. Гавриш [и др.] – М. : НП «НИИОЗГ», 2005. – 152 с.
9. Гавриш С. Ф. Гибриды огурца для защищенного грунта и технология их выращивания. Методические рекомендации / С. Ф. Гавриш [и др.] – М. : «НП НИИОЗГ», 2003. – 25 с.

10. Головацкая И. Ф. Регуляция роста и развития растений *Brassica oleracea* L. с помощью коррекции солнечного излучения / И.Ф. Головацкая [и др.] // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 151–165.

11. Головацкая И. Ф. Роль зеленого света в жизнедеятельности растений / И. Ф. Головацкая, Р. А. Карначук // Физиология растений. – 2015. – Т. 62, № 6. – С. 776–791.

12. Головацкая И. Ф. Физиолого-биохимические особенности роста и продуктивности овощных культур при выращивании под светокорректирующими пленками / И. Ф. Головацкая [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2002. – № 5. – С. 47–51.

13. Гордеева Т. Х. Формирование микробно-растительных сообществ ризосферы в онтогенезе зерновых культур / Т. Х. Гордеева, С. Н. Масленникова, Т. П. Гажеева // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 81(07). – С. 378–387.

14. Гюббенет Е. Р. Растение и хлорофилл / Е. Р. Гюббенет. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1951. – 246 с.

15. Данильченко О. А. Значение ультрафиолетового излучения в жизнедеятельности растений / О. А. Данильченко, Д. М. Гродзинский, В. Н. Власов // Физиология и биохимия культур. растений. – 2002. – Т. 34, № 3. – С. 187–198.

16. Дубров А. П. Генетические и физиологические эффекты действия ультрафиолетовой радиации на высшие растения / А. П. Дубров. – М. : Наука, 1968. – 251 с.

17. Дубров А. П. Действие ультрафиолетовой радиации на растения / А. П. Дубров. – М. : Изд-во Академия наук СССР, 1963. – 115 с.

18. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, И. Б. Арасимович. – Л.: Колос, 1972. – 456 с.

19. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 231 с.

20. Иваницкий А. Е. Исследование свойств фотолуминесцентных пленок при возбуждении солнечным излучением / А. Е. Иваницкий [и др.] // Материалы

международной научно-технической конференции молодых ученых «Люминесцентные процессы в конденсированных средах» – LUMSOS 2009. Харьков, 17 – 20 ноября 2009 г. – Харьков, 2009. – С. 24–25.

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

22. Иваницкий А. Е. Определение интенсивности флуоресценции полимерных светокорректирующих пленок для сельского хозяйства / А. Е. Иваницкий, [и др.] // Труды XXIV Съезда по спектроскопии. Троицк, 28 февраля – 5 марта 2010 г. – Троицк: Изд-во Тровант, 2010. – Т. 2. – С. 333–335.

23. Карасев В. Е. Новые полимерные светотрансформирующие материалы для солнечной энергетики / В. Е. Карасев // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2002. – № 3. – С. 51–60.

24. Карасев В. Е. Полисветаны – новые полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства / В. Е. Карасев // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 1995. – № 2. – С. 66–73.

25. Конев С. В. Фотобиология / С. В. Конев, И. Д. Волотовский. – Минск : Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1979. – С. 175–192.

26. Красновский А. А. Фоторецепторы растительной клетки и пути светового регулирования / А. А. Красновский // Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений / Под ред. А. Л. Курсанова, Н. П. Воскресенской. – М.: Наука, 1975. – С. 5–15.

27. Кулаева О. Н. Как свет регулирует жизнь растений / О. Н. Кулаева // Соросовский Образовательный Журнал. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 6–12.

28. Лаборатория климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН. Метеопараметры TOR-станции [Электронный ресурс]. URL: <http://lor.iao.ru/RU/tor/eye1993> (дата обращения: 20.03.2017).

29. Минич А. С. Биологическое тестирование светокорректирующих пленок в условиях закрытого грунта при выращивании белокочанной капусты / А. С. Минич [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 3. – С. 112–115.

30. Минич А. С. Биологическое тестирование светокорректирующих пленок при выращивании редьки в закрытом грунте / А. С. Минич [и др.] // Вестник ТГПУ. Сер. Естественные и точные науки. – 2004. – Вып. 6 (43). – С. 36–39.

31. Минич А. С. Влияние состава люминофоров на основе комплексных соединений РЗЭ на свойства фотокорректирующих композиций ПЭВД / А. С. Минич, В. С. Райда // Тезисы докладов 6-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК». – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1992. – С. 52–53.

32. 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 // Тезисы докладов 10-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК». – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1996. – С. 66.

33. 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. Зеленчукова // Вестник ТГПУ. Сер. Естественные и точные науки. – 2006а. – Вып. 6 (57). – С. 73–79.

34. Минич А. С. Использование фотолюминесцентной и гидрофильной пленок для повышения продуктивности огурца посевого в защищенном грунте / А. С. Минич, Н. Л. Пермякова [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 1/1. – С. 97–101.

35. Минич А. С. Лабораторный метод определения срока службы люминофора в фотокорректирующих пленках / А. С. Минич, В. С. Райда // Пластические массы. – 1998. – № 5. – С. 34.

36. Минич А. С. Определение вклада люминесцентного излучения полиэтиленовых пленок с фотолюминофорами на основе соединений европия в

увеличение продуктивности растений в защищенном грунте / А. С. Минич [и др.] // Вестник ТГПУ. – 2010а. – Вып. 3 (93). – С. 22–26.

37. Минич А. С. Особенности роста растений и продуктивность у гибридов огурца при выращивании под фотолюминесцентной и гидрофильной пленками / А. С. Минич [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – № 1. – С. 81–85.

38. Минич А. С. Проблемы и перспективы производства и применения светокорректирующих полимерных пленок / А. С. Минич, В. С. Райда, Э. А. Майер // Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства / Под. ред. В. С. Райды. – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1998. – С. 5–17.

39. Минич А. С. Продуктивность различных видов и сортов растений семейства Solanaceae под флуоресцентными пленками / А. С. Минич, И. Б. Минич, Н. Л. Пермякова // Вестник ТГПУ. – 2012. – Вып. 7. – С. 100–106.

40. Минич А. С. Разработка рецептур композиций ПЭВД, обладающих люминесцентными свойствами / А. С. Минич, В. С. Райда // Тезисы докладов 4-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК». – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1990. – С. 38.

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

42. Минич А. С. Способ измерения интенсивности люминесценции фотокорректирующих полиэтиленовых пленок сельскохозяйственного назначения / А. С. Минич [и др.] // Пластические массы. – 1992. – № 6. – С. 59–60.

43. Минич А. С. Стабилизация фотокорректирующих полиэтиленовых пленок / А. С. Минич // Тезисы докладов 8-го отраслевого совещания «Проблемы и перспективы развития ПО ТНХК». – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та. – 1994. – С. 27.

44. Минич А. С. Физико-химические свойства систем полиэтилен-люминофор на основе аддуктов редкоземельных элементов : дис. ... канд. хим. наук / А. С. Минич. – Томск, 1995. – 211 с.

45. Минич А. С. Экологические и морфофизиологические особенности продуктивности растений под флуоресцентными пленками : дис. ... д-ра биол. наук / А. С. Минич. – Томск., 2011. – 325 с.

46. Минич И. Б. Влияние красного низкоэнергетического люминесцентного излучения на морфогенез и баланс эндогенных гормонов растений : дис. ... канд. биол. наук / И. Б. Минич. – Томск, 2005. – 105 с.

47. Пат. 2435363 С1 Российская федерация, МПК А01 G9/22, С08 J5/18, С09 K5/00. Светокорректирующая полимерная пленка и композиция для ее получения / Климов И. Г., Майер Э. А., Власов А. В., Коваль Е. О., Иваницкий А. Е., Райда В. С. Минич А. С. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Томскнефтехим» (ООО «Томскнефтехим»). – опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 12 с.

48. Пермяков А. Н. Программа по определению площади сложных фигур "AreaS" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ssaa.ru](http://www.ssaa.ru) (Официальный сайт ФГОУ ВПО "Самарская ГСХА") (дата обращения: 30.05.2013 г.)

49. Пермякова Н. Л. Взаимосвязь продуктивности *Lactuca sativa* L., активности гетеротрофных бактерий почвы и спектрального состава света / Н. Л. Пермякова [и др.] // Физиология растений и микроорганизмов – взгляд в будущее : материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора Р. А. Карначук и 90-летию со дня основания кафедры. Томск, 2 – 5 апреля 2013 г. – Томск, 2013. – С. 71–73.

50. Пермякова Н. Л. Влияние красного света низкой интенсивности на морфогенез, продуктивность, биохимический состав *Lactuca sativa* и активность почвенной микрофлоры / Н. Л. Пермякова [и др.] // Труды Томского государственного университета. – Серия биологическая: Современные подходы и методы изучения рационального использования и охраны биоразнообразия. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2013а. – Т. 284. – С. 136–144.

51. Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29430.htm> (дата обращения: 21.10.2016).

52. Полевой В. В. Методы биохимического анализа растений / В. В. Полевой, Г. Б. Максимова. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1978. – 192 с.

53. Райда В. С. Исследование взаимного влияния стабилизаторов и фотолюминофоров на основе комплексных соединений европия в светокорректирующих пленках / В. С. Райда [и др.] // Пластические массы. – 2002б. – № 11. – С. 37–39.

54. Райда В. С. Исследование особенностей преобразования излучения солнца УФ и видимого диапазонов светокорректирующими пленками с люминофорами на основе соединений европия / В. С. Райда [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Вып. 16. – № 12. – С. 1126–1132.

55. Райда В. С. Определение вклада УФ-возбуждающей люминесцентной составляющей светокорректирующих полимерных пленок в проходящее через них солнечное излучение / В. С. Райда [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – № 2–3. – С. 245–251.

56. Райда В. С. Особенности люминесцентных свойств полиэтиленовых пленок с добавками фотолюминофоров на основе соединений европия / В. С. Райда [и др.] // Пластические массы. – 2001а. – № 12. – С. 38–40.

57. Райда В. С. Особенности пропускания света светокорректирующими пленками ПЭВД с люминофорами на основе комплексных соединений европия / В. С. Райда [и др.] // Пластические массы. – 2002. – № 12. – С. 35–39.

58. Райда В. С. Особенности фотофизических свойств светокорректирующих пленок ПЭВД с неорганическими люминофорами / В. С. Райда [и др.] // Пластические массы. – 2002а. – № 12. – С. 39–43.

59. Райда В. С. Поглощение УФ-излучения полиэтиленовыми пленками с добавками фотолюминофоров на основе соединений европия / В. С. Райда [и др.] // Пластические массы. – 2001. – № 3. – С. 31–32.

60. Райда В. С. Проблемы и перспективы использования и применения фотолюминесцентных полимерных пленок / В. С. Райда, Г. А. Толстиков // Мир теплиц. – 2001. – № 7. – С. 62–64.

61. Райда В. С. Технология производства светокорректирующих полиэтиленовых пленок для сельского хозяйства / В. С. Райда [и др.] // Химическая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 56–57.

62. Расписание погоды. Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 25.10.2016).

63. Рогозин В. И. Опыт использования светокорректирующих пленок на агробиостанции Томского государственного университета / В. И. Рогозин, А. С. Минич, В. С. Райда // Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства / Под. ред. В. С. Райды. – Томск: Изд-во. «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1998. – С. 50–56.

64. Рубин Б. А. Проблемы физиологии в современном растениеводстве / Б. А. Рубин. – М.: Колос, 1979. – 302 с.

65. СанПиН 2.3.2.2871-11 от 01.06.2011 г. «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

66. Сваровская Л. И. Биодеструкция углеводов нефти почвенной микрофлорой, активированной фотолюминесцентными пленками / Л. И. Сваровская, Л. К. Алтунина, Д. А. Филатов // Нефтехимия. – 2007. – Т. 47, № 3. – С. 240–245.

67. Сваровская Л. И. Влияние УФ-излучения, прошедшего через светокорректирующие пленки, на ферментативную активность нефтезагрязненных почв / Л. И. Сваровская, Л. К. Алтунина, Д. А. Филатов // Сибирский экологический журнал. – 2008. – Вып. 3. – С. 457–463.

68. Сельское хозяйство России. Законы земледелия и их использование [Электронный ресурс]. URL: [http://agronomiy.ru/zakoni\\_zemledeliya.html](http://agronomiy.ru/zakoni_zemledeliya.html) (дата обращения: 11.02.2015).

69. Складнева Т. К. Радиационный режим в районе Томска в 1995-2005 гг. / Т. К. Складнева, Б. Д. Белан // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20, № 1. – С. 62–67.

70. Соловченко А. Е. Экранирование видимого и УФ-излучения как фотозащитный механизм растений : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А. Е. Соловченко. – М., 2009. – 47 с.
71. Тараканов Г. И. Овощеводство защищенного грунта / Г. И. Тараканов, Н. В. Борисов, В. В. Климов. – М. : Колос., 1982. – 303 с.
72. Тихомиров А. А. Светокультура растений / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.
73. Тихомиров А. А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А. А. Тихомиров, Г. М. Лисовский, Ф. Я. Сидько. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1991. – 168 с.
74. Толстиков Г. А. Полисветан – фоторедуцирующие полимерные материалы для покрытия вегетационных сооружений / Г. А. Толстиков // Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства / Под. ред. В. С. Райды. – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1998. – С. 3–4.
75. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
76. Третьяков Н. Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков [и др.]. – 2-е изд. – М. : КолосС, 2005. – 656 с.
77. Феоктистова Н. В. Ризосферные бактерии / Н. В. Феоктистова [и др.] // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 2. – С. 207–224.
78. Филатов Д. А. Активация биохимических процессов в нефтезагрязненной почве с применением светокорректирующей пленки и гуминовых кислот / Д. А. Филатов [и др.] // Почвоведение – 2011. – № 2. – С. 226–232.
79. Филатов Д. А. Влияние светокорректирующей пленки и гуминовых кислот на биохимическое окисление нефти в почве / Д. А. Филатов [и др.] // Агрохимия. – 2011а. – № 10. – С. 76–82.
80. Филатов Д. А. Действие света, трансформированного светокорректирующей пленкой, на оксигеназную активность микроорганизмов рода *Pseudomonas* / Д. А. Филатов [и др.] // Микробиология. – 2011б. – Т. 80, № 2. – С. 169–174.

81. Филатов Д. А. Метод рекультивации нефтезагрязненных почв с применением светокорректирующих полимерных пленок / Д. А. Филатов [и др.] // Экологический вестник России. – 2014. – № 5. – С. 23–27.

82. Филатов Д. А. Фотолюминесцентная активация углекислого газа с помощью микроорганизмов с применением светокорректирующей пленки / Д. А. Филатов, Л. И. Сваровская, В. С. Овсянникова // В мире научных открытий. – 2010. – № 2–1. – С. 54–60.

83. Фотохимия и электронная архитектура комплексных соединений р- и f-элементов – молекулярно-энергетических антенн светорегулирующих материалов: отчет о НИР (заключительный) / Институт химии нефти СО РАН; коорд. Толстиков Г. А.; испол.: Райда В. С. и др. – Томск, 2005. – 173 с.

84. Ченькаева Е. А. Советы огородникам / Е. А. Ченькаева, А. И. Спиридонова. – М. : Колос, 1993. – 256 с.

85. Шайтарова О. В. Морфогенез, гормональный баланс и продуктивность растений при адаптации к УФ-А излучению : дис. ... канд. биол. наук / О. В. Шайтарова. – Томск, 2011. – 151 с.

86. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М. : Наука, 1971. – С. 154–171.

87. Шульгин И. А. Растение и солнце / И. А. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 252 с.

88. Шульгин И. А. Солнечная радиация и растение / И. А. Шульгин. – Л. : Гидрометеиздат. – 1972. – 178 с.

89. Щелоков Р. Н. Полисветаны и полисветановый эффект / Р.Н. Щелоков // Изв. АН СССР. – 1986. – № 10. – С. 50–55.

90. Эффективный спектр фотосинтеза (ФАР). [Электронный ресурс]. URL: <https://ppfd.ru/viewtopic.php?t=5.html> (дата обращения: 15.06.2016).

91. Abdel-Ghany A. M. Covering materials incorporating radiationpreventing techniques to meet greenhouse cooling challenges in arid regions / A. M. Abdel-Ghany [et al.] // The Scientific World Journal. – 2012. – Vol. 2012 (1–2). – 11 p.

92. Al-Helal A. M. Measuring and evaluating solar radiative properties of plastic shading nets / A. M. Al-Helal, I. M. Abdel-Ghany // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2011. – Vol. 95. – P. 677–683.

93. Albright L. D. Controlling greenhouse environments / L. D. Albright // *Acta Hort.* – 2002. – Vol. 578., Is. 4. – P. 47–54.

94. Alsadon A. A. Growth response of cucumber under greenhouses covered with plastic films / A. A. Alsadon [et al.] // *Journal of Animal & Plant Sciences*. – 2016. – Vol. 26, Is.1. – P. 139–148.

95. Arboli I. M. Plastics as cover for greenhouses and small tunnels / I.M. Arboli // *Plasticulture*. – 2000. – Vol. 1, № 119. – P. 15–25.

96. Bakker J. C. Greenhouse climate control: constraints and limitations / J. C. Bakker // *Acta Hort.* – 1995. – Vol. 399. – P. 15–37.

97. Bakker J. C. The effects of day and night humidity on yield and quality of greenhouse cucumbers / J. C. Bakker, G. W. H. Welles, J. A. M. Van Uffelen // *Journal of Horticultural Science*. – 1987. – Vol. 62, Is. 3. – P. 363–370.

98. Berry J. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants / J. Berry, O. Bjorkman // *Ann. Rev. Plant Physiol.* – 1980. – Vol. 31. – P. 491–543.

99. Beyhan B. Root zone temperature control with thermal energy storage in phase change materials for soilless greenhouse applications / B. Beyhan, H. Paksoy, Y. Daşgan // *Energ Convers Manag.* – 2013. – Vol. 74. – P. 446–453.

100. Bhat N. R. Selection of crops for sustainable utilization of Land and Water resources in Kuwait / N. R. Bhat, M. K. Suleiman, M. Abdal // *World J. of Agric, Sci.* – 2009. – Vol. 5, Is. 2. – P. 201–206.

101. Binnemans K. Lanthanide-based luminescent hybrid materials / K. Binnemans // *Chem. Rev.* – 2009. – Vol. 109, № 9. – P. 4283–4374.

102. Bot G. P. A. Developments in indoor sustainable plant production with emphasis on energy saving / G. P. A. Bot // *Comput. Electron. Agric.* – 2001. – Vol. 30, № 1-3. – P. 151–165.

103. Bot G.P.A. The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply / G.P.A. Bot [et al.] // *Acta Hort. (ISHS)*. – 2005. – Vol. 691. – P. 501–508.

104. Briassoulis D. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: Part 1, general overview / D. Briassoulis [et al.] // *J. Agric. Eng. Res.* – 1997. – № 67. – P. 81–96.

105. Briassoulis D. Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 2: quality assessment / D. Briassoulis [et al.] // *J. Agric. Eng. Res.* – 1997a. – № 67. – P. 171–217.

106. Brown R. P. Polymers in agriculture and horticulture / R. P. Brown // *Rapra Review Reports*. – 2004. – Vol. 15, № 2. – P. 1–92.

107. Caldwell M. M. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants / M. M. Caldwell [et al.] // *Ambio. Stockholm [AMBIO]*. – 1995. – Vol. 24. – № 3. – P. 166–173.

108. Caldwell M. M. Spectral balance and UV-B sensitivity of soybean: a field experiment / M. M. Caldwell, S. D. Flint, P. S. Searles // *Plant, Cell & Environment*. – 1994. – Vol. 17, Is. 3. – P. 267–276.

109. Casal J. J. Phytochromes, cryptochromes, phototropin: photoreceptor interactions in plants / J. J. Casal // *Photochem Photobiol.* – 2000. – Vol. 71, Is. 1. – P. 1–11.

110. Castro R. Plastic materials in agriculture. Application / R. Castro // *Pesca y alimentacion*. – 1987. – № 2. – P. 1–20.

111. Cemek B. Effects of greenhouse covers on growth and yield of aubergine / B. Cemek, Y. Demir, S. Uzun. // *Eur. J. Hort. Sci.* – 2005. – Vol. 70, № 1. – P. 16–22.

112. Challa H. Quantification of effects of light reduction in greenhouses on yield / H. Challa, A. Schapendonk // *Acta Horticulturae*. – 1984. – Vol. 148. – P. 501–510.

113. Christie J. M. Phototropin blue-light receptors / J. M. Christie // *Annual Review of Plant Biology*. – 2007. – Vol. 58. – P. 21–45.

114. Cockshull K. E. Greenhouse climate and crop response / K. E. Cockshull // *Acta Hort.* – 1985. – Vol. 174. – P. 185–292.

115. Critten D. L. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s / D. L. Critten, B. J. Bailey // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2002. – Vol. 112, Is. 1 – P. 1–22.

116. Cybulski W. J. I. Effects of ambient UV-B radiation on the above-ground biomass of seven temperate-zone plant species / W. J. I. Cybulski, W. T. Peterjohn // *Plant Ecology*. – 1999. – Vol. 145, Is. 1. – P. 175–181.

117. Dai Q. Effects of UV-B radiation on stomatal density and opening in rice (*Oryza sativa* L.) / Q. Dai [et al.] // *Annals of botany*. – 1995 – Vol. 76 (1). – P. 65–70.

118. Decoteau D. Plant physiology: environmental factors and photosynthesis greenhouse glazing & solar radiation transmission / D. Decoteau // *Greenhouse Glazing & Solar Radiation Transmission Workshop*, New Brunswick, New Jersey, Rutgers University, Cook College, Center for Controlled Environment Agriculture, October 1998. – p. 6.

119. Del Amor F. M. Effect of photoselective sheet and grafting technique on growth, yield, and mineral composition of sweet pepper plants / F. M. Del Amor, J. López, A. González // *Journal of Plant Nutrition*. – 2008. – Vol. 31, Is. 6. – P. 1108–1120.

120. Devlin P. F. Many hands make light work / P. F. Devlin, J. M. Christie, M. J. Terry // *Journal of Experimental Botany*. – 2007. – Vol. 58, Is. 12. – P. 3071–3077.

121. Dienel T. Spectral-based analysis of thin film luminescent solar concentrators / T. Dienel, C. Bauer, I. Dolamic [et al.] // *Solar Energy*. – 2010. – Vol. 84. – P. 1366–1369.

122. Duncan G. A. Selection of greenhouse covering materials / G. A. Duncan, J. N. Walker // *Trans. ASAE*. – 1975. – Vol. 18. – P. 703–706.

123. Ekebafé L. O. Polymer applications in agriculture / L. O. Ekebafé, D. E. Ogbeifun, F. E. Okieimen // *Nigerian Society for Experimental Biology*. – 2011. – Vol. 23, № 2. – P. 81–89.

124. Ellis R. H. Quantitative relations between temperature and crop development and growth / R. H. Ellis; In: Jackson M. T., Ford-Lloyd B. V., Parry M. L. (Eds) //

Climatic Change and Plant Genetic Resources. – London: Belhaven Press, 1990. – P. 85–115.

125. Erhioui B. M. Greenhouse covering materials and supplemental lighting affect growth, yield, photosynthesis, and leaf carbohydrate synthesis of tomato plants / B. M. Erhioui [et al.] // J. Am. Soc. Hort. Sci. – 2002. – Vol. 127, № 5. – P. 819–824.

126. Espí E. New ultrathermic films for greenhouse covers / E. Espí [et al.] // Journal of Plastic Film & Sheeting. – 2006. – Vol. 22, Is. 1. – P. 59–68.

127. Espí E. Plastic films for agricultural applications / E. Espí [et al.] // Journal of Plastic Film and Sheeting. – 2006a. – Vol. 22, Is. 2. – P. 85–102.

128. Espí E. Thermic films: concepts, compounds and harvest / E. Espí, A. Salmerón, F. Catalina // Revista de Plasticos Modernos. – 2000. – Vol. 80, № 531. – P. 305–316.

129. Fahad S. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment / S. Fahad [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol. 22, Is. 7. – P. 4907–4921.

130. Fankhauser C. Light control of plant development / C. Fankhauser, J. Chory // Annu Rev Cell Dev Biol. – 1997. – Vol. 13. – P. 203–229.

131. Feng H. The effect of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, photosynthesis and stable carbon isotope composition ( $\delta^{13}C$ ) of two soybean cultivars (*Glycine max*) under field conditions / H. Feng, D. J. Allen, D. C. Gitz // Environmental and Experimental Botany. – 2003. – Vol. 49 (1). – P. 1–8.

132. Filatov D. A. Activation of the biochemical processes in an oil-contaminated soil using a light-correcting film and humic acids / D. A. Filatov [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2011. – T. 44, № 2. – C. 204–210.

133. Filatov D. A. The effect of film-corrected light on oxygenase activity of microorganisms of the genus pseudomonas / D. A. Filatov [et al.] // Microbiology (Mikrobiologiya). – 2011a. – T. 80, № 2. – C. 158–163.

134. Franklin K. A. Light and temperature signal crosstalk in plant development / K. A. Franklin // Current Opinion in Plant Biology. – 2009. – Vol. 12, Is. 1. – P. 63–68.

135. Gaberscik A. Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient and enhanced UV-B radiation / A. Gaberscik [et al.] // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2002. – Vol. 66, Is. 1. – P. 30–36.
136. Geber M. A. Genetic variation in stomatal and biochemical limitations to photosynthesis in the annual plant, *Polygonum arenastrum* / M. A. Geber, T. E. Dawson // Oecologia. – 1997. – Vol. 109, Is. 4. – P. 535–546.
137. Germing G. H. The world acreage under greenhouses / G. H. Germing // Chron. Hort. – 1986. – Vol. 26. – P. 11.
138. Gonzalez A. Strawberry and cucumber cultivation under fluorescent photoselective plastic films cover / A. Gonzalez [et al.] // Acta Hort. – 2003. – № 614. – 407–413.
139. Gruda N. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption / N. Gruda // Crit. Rev. Plant Sci. – 2005. – Vol. 24, Is. 3. – P. 227–247.
140. Haferkamp M. R. Environmental factors affecting plant productivity / M. R. Haferkamp; In: White R. S., Short R. E. (eds) // Achieving efficient use of rangeland resources. – Miles City: Fort Keogh Research symposium, 1988. – P. 27–36.
141. Hammama M. Performance evaluation of thin-film solar concentrators for greenhouse applications / M. Hammama, M. K. El-Mansy, S. M. El-Bashir [et al.] // Desalination. – 2007. – Vol. 209. – P. 244–250.
142. Hassanien R. H. E. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses / R. H. E. Hassanien, M. Li, W. Dong Lin // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2016. – Vol. 54. – P. 989–1001.
143. Hatfield J. L. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production / J. L. Hatfield [et al.] // Agronomy Journal. – 2011. – Vol. 103, Is. 2. – P. 351–370.
144. Hatfield J. L. Temperature extremes: effect on plant growth and development / J. L. Hatfield, J. H. Prueger // Weather Clim Extrem. – 2015. – Vol. 10. – P. 4–10.

145. Hayat R. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review / R. Hayat [et al.] // *Annals of Microbiology*. – 2010. – Vol. 60, Is. 4. – P. 579–598.

146. Hemming S. Filtering natural light at the greenhouse covering – Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? / S. Hemming [et al.] // *Acta Hort*. – 2006. – Vol. 711. – P. 411–416.

147. Hemming S. Greenhouse cooling by NIR-reflection / S. Hemming [et al.] // *Acta Hort*. – 2006a. – Vol. 719. – P. 97–106.

148. Heurn E. van. Protected cultivation: Construction, requirements and use of greenhouses in various climates / E. van Heurn, K. van der Post. – Wageningen, The Netherlands: Agrodok 23, Agromisa Foundation, 2004. – 84 p.

149. Holcman E. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads / E. Holcman, P. C. Sentelhas // *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. – 2012. – Vol. 16, № 8. – P. 858–863.

150. Hopkins W. G. Introduction to Plant Physiology / W. G. Hopkins. – 2nd ed. – New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 512 p.

151. INTERNATIONAL STANDARD ISO 21348 – 2007 (E). Space environment (natural and artificial) — Process for determining solar irradiances. First edition. 2007-05-01. – Process for determining solar irradiances. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

152. Jansen M. A. K. Higher plants and UVB radiation: balancing damage, repair and acclimation / M. A. K. Jansen, V. Gaba, B.M. Greenberg // *Trends in Plant Science* – 1998. – Vol. 3, Is. 4. – P. 131–135.

153. Jensen M. H. Protected agriculture – A global review (World Bank Technical Paper) / M. H. Jensen, A. J. Malter / Public Disclosure Authorized. – 1995. – №. 253. – 157 p.

154. Jiang W. J. China's energy-saving greenhouses / W. J. Jiang [et al.] // *Chronica Horticulturae* – 2004. – Vol. 44, Is. 1. – P. 15–17.

155. Jiao Y. Light-Regulated Transcriptional Networks in Higher Plants / Y. Jiao, O. S. Lau, X. W. Deng // *Nature Reviews Genetics*. – 2007. – Vol. 8, Is. 3. – P. 217–230.

156. Kami C. Light-regulated plant growth and development / C. Kami [et al.] // *Current Topics in Developmental Biology*. – 2010. – Vol. 91. – P. 29–66.

157. Katsoulas N. Impact of Greenhouse Microclimate on Plant Growth and Development with Special Reference to the Solanaceae / N. Katsoulas, C. Kittas // *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. – 2008. – Vol. 2, Special Is. 1. – P. 31–44.

158. Kendrick R. E. *Photomorphogenesis in Plants* / R. E. Kendrick, G. H. M. Kronenberg (Eds.). – 2nd ed. – Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands, 1994. – 828 p.

159. Khattak A. M. The effect of light quality and temperature on the growth and development of chrysanthemum cvs. Bright Golden Anne and Snowdon / A. M. Khattak, S. Pearson // *Acta Hort*. – 1997. – Vol. 435. – P. 113–121.

160. Kittas C. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response / C. Kittas, A Baille // *J. Agric. Eng. Res.* – 1998. – Vol. 71, Is. 2. – P. 193–202.

161. Kittas C. Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop / C. Kittas [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2006. – Vol. 110. – P. 30–37.

162. Komarova N. V. Practical guidance on the use of capillary electrophoresis systems «KAPEL» / N. V. Komarova, J. S. Kamentsev. – St. Petersburg : LTD «Veda», 2006. – 212 p.

163. Kosobryukhov A. A. Effect of additional low intensity luminescence radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis / A. A. Kosobryukhov [et al.] // *Biotronics*. – 2000. – № 29. – P. 23–31.

164. Krizek D. T. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UV-B Radiation / D. T. Krizek // *Photochemistry and Photobiology*. – 2004. – Vol. 79, Is. 4. – P. 307–315.

165. Krizek D. T. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cucumber / D. T. Krizek, R. M. Mirecki, S. J. Britz // *Physiologia Plantarum*. – 1997. – Vol. 100, Is. 4. – P. 886–893.

166. Krizek D. T. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce / D. T. Krizek, S. J. Britz, R. M. Mirecki // *Physiol. Plant.* – 1998. – Vol. 103, Is. 1. – P. 1–7.

167. Kusnetsov S. I. «Polisvetan», a high performance material for cladding greenhouses / S. I. Kusnetsov [et al.] // *Plasticulture.* – 1989. – № 3 (83). – P. 13–20.

168. Laposi R. Photosynthesis–ecophysiological properties of beech (*Fagus sylvestris* L) under the exclusion of ambient UV-B radiation / R. Laposi [et al.] // *Proceeding of 7th Hungarian congress on plant physiology. Acta Biologica Szegediensis.* – 2002. – Vol. 46, № 3-4. – P. 243–245.

169. Laude H. M. Effect of temperature on morphogenesis / H. M. Laude; In: K. W. Krietlow and R. H. Hart (eds.) // *Plant morphogenesis as the basis for scientific management of range resources. Proceedings of the workshop of the United States-Australia rangelands panel. Berkeley, CA, U.S, March 29 – April 5, 1971.* – Dep. Agr. Misc. Publ. – 1974. – № 1271. – P. 25–33.

170. Laverde G. Agricultural films: types and applications / G. Laverde // *Journal of Plastic Film and Sheeting.* – 2002. – Vol. 18, № 4. – P. 269–277.

171. Lin C. Cryptochrome structure and signal transduction / C. Lin, D. Shalitin // *Annual Review of Plant Biology.* – 2003. – Vol. 54. – 469–496.

172. Ludlow M. M. Methods for measuring photorespiration in leaves. / Ludlow M. M., Jarvis P. G. // *Plant Photosynthetic Production. Manual of methods* (eds Šesták Z., Čatský J., Jarvis P. G.) : The Hague. – 1971. – P. 294–315.

173. Marcelis L. F. M. Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits / L. F. M. Marcelis, L. R. B. Hofman-Eijer // *Physiologia Plantarum.* – 1993. – Vol. 87, Is. 3. – P. 321–328.

174. Max J. F. J. Greenhouse Cover Technology / J. F. J. Max [et al.] // *Horticultural Reviews.* – 2012. – Vol. 40, № 1. – P. 259–396.

175. Medina C.L. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets / C.L. Medina [et al.] // *Scientia Horticulturae.* – 2002. – Vol. 96, № 1–4. – P. 115–125.

176. Middleton E. M. The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from UV-B damage / E. M. Middleton and A. H. Teramura // *Plant Physiol.* – 1993. – Vol. 103, Is. 3. – P. 741–752.

177. Minich A. S. Morphogenesis and productivity of *Cucumis sativus* L. hybrids under the thermic polyethylene films modified by coating of metals by magnetron sputtering / A. S. Minich, N. L. Chursina [et al.] // *Hort. Sci. (Prague)*. – 2016. – Vol. 43 (2). – P. 59–66.

178. Minich A. S. Vital activity of *Lactuca sativa* and soil microorganisms under fluorescent films / A. S. Minich, N. L. Permyakova [et al.] // *TSPU Bulletin*. – 2011. – № 8 (110). – P. 78–84.

179. Minich I. Biological test of adjusting light films / I. Minich [et al.] // *5ht Korea-Russia International Symposium on Science and Technology*. Tomsk, 26 June – 3 July 2001. – Tomsk: TPU, 2001. – Vol. 2. – P. 77–80.

180. Mohr H. *Plant physiology* / H. Mohr, P. Schopfer. – Berlin: Springer-Verlag, 1995. – 598 p.

181. Montero J. I. *Greenhouse engineering: new technologies and approaches* / J. I. Montero [et al.] // *Acta Hort. (ISHS)*. – 2011. – Vol. 893, Is. 1. – P. 51–63.

182. Moore R. *Botany* / R. Moore, W. D. Clark, D. S. Vodopich. – 2nd ed. – New York, NY: McGraw-Hill companies, Inc., 2003. – P. 136–137.

183. Neff M. M. Light: an indicator of time and place / M. M. Neff, C. Fankhauser, J. Chory // *Genes Dev.* – 2000. – Vol. 14, № 3. – P. 257–271.

184. Panagopoulos I. Effects of ultraviolet radiation and visible light on growth, fluorescence induction, ultraweak luminescence and peroxidase activity in sugar beet plants / I. Panagopoulos, J. F. Bornman, L. O. Björn // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 1990. – Vol. 8, № 1. – P. 73– 87.

185. Papadakis G. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials / G. Papadakis [et al.] // *J. Agric. Eng. Res.* – 2000. – Vol. 77. – P. 7–38.

186. Papadopoulos A. P. Effect of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use / A. P. Papadopoulos, X. Hao // *Sci.Hort.* – 1997a. – Vol. 68. – P. 113–123.

187. Papadopoulos A. P. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use / A. P. Papadopoulos, X. Hao // *Sci. Hort.* – 1997b. – Vol. 70. – P. 165–178.

188. Papadopoulos A. P. Greenhouse horticulture / A. P. Papadopoulos, D.-A. Demers ; In: Katz S. H., Weaver W. W. (eds.) // *Encyclopedia of food and culture*. Charles Scribner's Sons, New York. – 2003. – P. 157–162.

189. Paul L. K. Phytochrome-mediated light signaling in plants: emerging trends / L. K. Paul, J. P. Khurana // *Physiol. Mol. Biol. Plants.* – 2008. – Vol. 14 (1–2). – P. 9–22.

190. Pearson S. A model of the effect of day and night temperature on the height of chrysanthemum / S. Pearson, P Hadley, A. E. Wheldon // *Acta Hort.* – 1995. – Vol. 378, Is. 9. – P. 71–80.

191. Pearson S. Modelling the effect of temperature on the growth and development of horticultural crops // PhD thesis, Reading University. – 1992. – P. 204.

192. Pemadasa M. A. Photocontrol of stomatal movements / M. A. Pemadasa // *Biological Reviews.* – 1981. – Vol. 56, Is. 4. – P. 551–588.

193. Pieters J. G. Condensation and PAR transmittance of greenhouses / J. G. Pieters // *Plasticulture.* – 1996. – № 112. – P. 23–31.

194. Pollet I. V. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, Part 3: Results for glass plates and plastic films / I. V. Pollet, J. G. Pieters // *J. agric. Engng Res.* – 2000. – Vol. 77 (4). – P. 419–428.

195. Pollet I. V. PAR transmittances of dry and condensate covered glass and plastic greenhouse cladding / I. V. Pollet, J. G. Pieters // *Agric. For. Meteorol.* – 2002. – Vol. 110, Is. 4. – P. 285–298.

196. Radojević N. Microclimate Control in Greenhouses / N. Radojević [et al.] // *FME Transactions.* – 2014. – Vol. 42. – P. 167–171.

197. Raeini-Sarjaz M. Water use efficiency and total dry matter production of bush bean under plastic straw mulches / M. Raeini-Sarjaz, N. N. Barthakur // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 1997. – Vol. 87. – P. 75–84.

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

199. Raida V. S. Determination of the contribution from light-transforming polymer films to red portion of transmitted solar radiation due to UV-excited luminescence / V. S. Raida [et al.] // *Atmos. Oceanic Opt.* – 2004. – Vol. 17, № 2–3. – P. 215–220.

200. Raida V. S. Fluorescent polymer films-solar radiation converters intended to regulate plant growth and development / V. S. Raida [et al.] // IX joint international symposium «Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics». Tomsk, 2–5 July 2002. – Tomsk: IAO SB RSA, 2002. – P. 125–126.

201. Raida V. S. Investigation of peculiarities in conversion of the UV and visible sunlight by light transforming films with europium luminophores / V. S. Raida [et al.] // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2003. – Vol. 16, № 12. – P. 1029–1034.

202. Rockwell N. C. Phytochrome structure and signaling mechanisms / N. C. Rockwell, Y. S. Su, J. C. Lagarias // *Annual Review Plant Biology*. – 2006. – Vol. 57. – 837–858.

203. Rozema J. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation / J. Rozema [et al.] // *Trends in Ecology & Evolution*. – 1997. – Vol. 12, Is. 1. – P. 22–28.

204. Saharan B. S., Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review / B. S. Saharan, V. Nehra // *Life Sciences and Medicine Research*. – 2011. – Vol. 21. – P. 1–30.

205. Salama H. M. H. Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants / H. M. H. Salama, A. A. Al Watban, A. T. Al-Fughom // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 18, № 1. – P. 79–86.

206. Scopa A. Greenhouse solarization: effects on soil microbiological parameters and agronomic aspects / A. Scopa [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2008. – Vol. 116. – P. 98–103.

207. Semida W. M. The Influence of Thermic Plastic Films on Vegetative and Reproductive Growth of Iceberg Lettuce ‘Dublin’ / W. M. Semida [et al.] // *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. – 2013. – Vol. 7, Is. 7. – P. 611–616.

208. Sharma P. K. Photochemical and biochemical changes in wheat seedlings exposed to supplementary ultraviolet-B radiation / P. K. Sharma [et al.] // *Plant Science*. – 1998. – Vol. 132, Is. 1. – P. 21–30.

209. Sicora C. UV-B and UV-A Radiation Effects on Photosynthesis at the Molecular Level / C. Sicora [et al.] // *Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences (NAIV)*. – 2006. – Vol. 57. – P. 121–135.

210. Somers D. E. Phytochromes and cryptochromes in the entrainment of the *Arabidopsis* circadian clock / D. E. Somers, P. F. Devlin, S. A. Kay // *Science*. – 1998. – Vol. 282. – P. 1488–1490.

211. Stapleton A. E. Ultraviolet Radiation and Plants: Burning Questions / A. E. Stapleton // *Plant Cell*. – 1992. – Vol. 4, № 11. – P. 1353–1358.

212. Stępień P. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress / P. Stępień, G. Klobus // *Biologia Plantarum*. – 2006. – Vol. 50, Is. 4. – P. 610–616.

213. Svarovskaya L. I. Activation of indigenous micorflora in oil-contaminated soils using photoluminescent films / L. I. Svarovskaya, L. K. Altunina, D. A. Filatov // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2008. – Vol. 44, № 6. – C. 585–589.

214. Svarovskaya L. I. Biodegradation of oil hydrocarbons by soil microflora activated with photoluminescence films / L. I. Svarovskaya, L. K. Altunina, D. A. Filatov // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2008a. – Vol. 10, № 1. – C. 61–66.

215. Svarovskaya L. I. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by soil microflora activated with photoluminescent films / L. I. Svarovskaya, L. K. Altunina, D. A. Filatov // *Petroleum Chemistry*. – 2007. – Vol. 47, № 3. – C. 219–224.

216. Swinkels G. L. A. M. Improvement of greenhouse insulation with restricted transmission loss through zigzag covering material / G. L. A. M. Swinkels, P. J. Sonneveld, G. P. A. Bot // *J. Agric. Eng. Res.* – 2001. – Vol. 79. – P. 91–97.

217. Tedeschi A. Melon crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) grown in a Mediterranean environment under saline–sodic conditions: Part II. Growth analysis // A. Tedeschi, M. Riccardi, M. Menenti // *Agricultural Water Management.* – 2011. – Vol. 98, Is. 9. – P. 1339–1348.

218. Teramura A. H. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation / A. H. Teramura, L. H. Ziska, A. E. Sztein, // *Physiologia Plantarum.* – 1991. – Vol. 83, Is. 3. – P. 373–380.

219. Teramura A. H. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants / A. H. Teramura // *Physiologia Plantarum.* – 1983.– Vol. 58, Is. 3. – P. 415–427.

220. Teramura A. H. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants / A. H. Teramura, J. H. Sullivan // *Photosynthesis Research.* – 1994. – Vol. 39, Is. 3. – P. 463–473.

221. Teramura A. H. Potential impacts of increased solar UV-B on global plant productivity / A. H. Teramura, J. H. Sullivan; Riklis E. (ed.) // *Photobiology.* – New York: Plenum Press, 1991. – P. 625–634.

222. Teramura A. H. Terrestrial plants / A. H. Teramura [et al.] // Chapter 3 in *Environmental effects of ozone depletion.* – Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP), 1991a. – P. 25–32.

223. Teramura A. H. Ultraviolet-B radiation and photosynthesis / A. H. Teramura, L. H. Ziska; Baker R. (ed.) // In *Photosynthesis and the Environment: Advances in Photosynthesis.* – Kluwer, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. – Vol. 5. – P. 435–450.

224. Tevini M. UV-B effects on terrestrial plants / M. Tevini, A. H. Teramura // *Photochemistry and Photobiology.* – 1989. – Vol. 50, Is. 4. – P. 479–487.

225. Thomas B. Light signals and flowering / B. Thomas // *J. Exp. Bot.* – 2006. – Vol. 57, Is. 13. – P. 3387–3393.

226. Tsormpatsidis E. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system / E. Tsormpatsidis [et al.] // *Annals of Applied Biology*. – 2010. – Vol. 156. – Is. 3. – P. 357–366.

227. Tsormpatsidis E. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce «Revolution» grown under polyethylene films / E. Tsormpatsidis [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. – 2008. – Vol. 63. – P. 232–239.

228. Von Elsner B. Interference pigments in photo selective shading paint for greenhouses / B. Von Elsner // *Acta Hort.* – 2005. – Vol. 711. – P. 417-422.

229. Von Elsner B. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements / B. Von Elsner [et al.] // *J. Agric. Eng. Res.* – 2000. – № 75. – P. 1–16.

230. Von Elsner B. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part II, typical designs / B. Von Elsner [et al.] // *J. Agric. Eng. Res.* – 2000a. – № 75. – P.111–126.

231. Waaijenberg D. Design, construction and maintenance of greenhouse structures / D. Waaijenberg // *Acta Hort.* – 2006. – Vol. 710, Is. 1. – P. 31–42.

232. Wittwerl S. H. Protected Cultivation of Horticultural Crops Worldwide / S.H. Wittwerl, N. Castilla // *HortTechnology*. – 1995. – Vol. 5, № 1. – P. 6–23.

233. Yang X. Control of light environment: A key technique for high-yield and high-quality vegetable production in protected farmland / X. Yang [et al.] // *Agricultural Sciences*. – 2012. – Vol. 3, №. 7. – P. 923–928.

234. Yang L. Y. Effects of light quality on growth and development, photosynthetic characteristics and content of carbohydrates in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants / L. Y. Yang [et al.] // *Photosynthetica* September. – 2017. – Vol. 55, Is. 3. – P. 467–477.

235. Yazdani F. Impact of superabsorbent polymer on Yield and Growth Analysis of Soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition / F. Yazdani, I. Allahdadi, G. Akbari // *Pakistan J. Bio. Sci.* – 2007. – Vol. 10, Is. 23. – P. 4190–4196.

236. Zakharov A. N. Properties of low-emission coatings based on Ag and Cu deposited on polymer film by magnetron sputtering/ A. N. Zakharov [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*. – 2012. – Vol. 3, № 5. – P. 433–439.

237. Zhang M. The present situation and development of rare earth polymer luminescent material / M. Zhang [et al.] // *Journal of Taizhou Polytechnical Institute*. – 2005. – № 1. – P. 13–16.

238. Zhou C. Method for evaluating anti-drop property of glazing materials for greenhouse / C. Zhou, X. Zhou // *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2004. – № 6. – P. 193–196.