

Т.К. Головко, И.В. Далькэ,
Е.Е. Григорай, А.В. Буткин, Г.Н. Табаленкова

**ОВОЩЕВОДСТВО
ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА
НА СЕВЕРЕ**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ**

Сыктывкар 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ
КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОВОЩЕВОДСТВО
ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА НА СЕВЕРЕ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Сыктывкар
Издательство ИБ Коми НЦ УрО РАН
2017

УДК 653.1/.8:631.544-027.21/.22(470.1)
ББК 41.2.
О 32

Овощеводство защищенного грунта на Севере: теоретические и практические аспекты / Т. К. Головки, И. В. Далькэ, Е. Е. Григорай, Г. Н. Табаленкова, А. В. Буткин. – Сыктывкар : ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. – 156 с.

В книге обобщены результаты многолетних исследований агробиологических вопросов овощеводства защищенного грунта. В центре внимания оптимизация светового режима выращивания и получения товарной продукции тепличных овощей в осенне-зимний период на Севере. Приведены экспериментальные данные о динамике роста, ассимиляционной активности и эффективности использования световой энергии посевами листового салата, огурца и томатов в условиях современных производственных теплиц. Показано, что правильный выбор светового режима с учетом физиологического состояния и биологических потребностей растений является ключевым элементом интенсификации технологии светокультуры, получения качественной, биологически ценной и экологически чистой продукции. Разработаны и испытаны на практике приемы и режимы досвечивания с учетом экономической составляющей затрат на электроэнергию.

Книга предназначена для широкого круга читателей – научных работников, студентов, специалистов в области сельского хозяйства и овощеводства, разработчиков осветительных систем для культивирования растений.

Библ. 209 назв. Ил. 32. Табл. 59.

Ответственный редактор
д-р биол. наук, профессор Т.К. Головки

Рецензенты
д-р биол. наук А.А. Кособрюхов,
д-р биол. наук, проф. И.Г. Тараканов

ISBN 978-5-9909731-3-8

© ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Круглогодичное обеспечение населения северных регионов России свежими овощами и зеленой продукцией является важной социально-экономической задачей. Однако из-за сезонности, низкой урожайности и качества спрос на эту продукцию удовлетворяется далеко не полностью (Малхасян, 2007). Решение проблемы возможно путем создания современного агропромышленного производства защищенного грунта. Условия защищенного грунта позволяют контролировать основные факторы среды – температуру, влажность, концентрацию CO_2 , минеральное питание – и оптимизировать их в соответствии с биологическими потребностями культивируемых растений (Tiwari, 2003). В скандинавских странах разработана программа устойчивого развития производства овощей в условиях закрытого грунта (Тараканов, 2005; Van Echtelt, 2007). Опыт северных стран Европы с высокоразвитым тепличным производством показывает, что привозная продукция не является доминирующей в продажах. Население отдает предпочтение овощам местного производства, несмотря на более высокую по сравнению с привозными цену. Покупателей привлекает свежая продукция лучшего качества и возможность проявить лояльность к местному производителю.

На мировом рынке количество тепличной продукции ежегодно увеличивается на 10%. В последнее время отечественный тепличный сектор также переживает значительный подъем после упадка в 1990-х гг. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, площадь зимних теплиц в России в начале 2014 г. составила 1.88 тыс. га, средняя урожайность овощей – 28 кг/м² (Полякова и др., 2015). Создание современного агропромышленного производства на базе защищенного грунта в северных регионах России позволит значительно увеличить производство необходимой северянам качественной овощной продукции и снизить зависимость от импорта. Важнейшим элементом технологии производства овощных в закрытом грунте является создание оптимальной световой среды для культивируемых растений. Следует отметить, что северные регионы РФ существенно отличаются от южных территорий по продолжительности фотопериода, количеству и качеству естественной радиа-

ции. Так, например, поступление фотосинтетически активной радиации (ФАР) в декабре-феврале составляет 110-220 кал/см² (Световые зоны РФ), поэтому тепличные комплексы нуждаются в оснащении современными системами досвечивания, без чего практически невозможно получение товарной продукции.

Овощеводство защищенного грунта на Севере имеет длительную историю развития. Бурное промышленное освоение северных земель и северного морского пути в довоенный период привело к созданию тепличных хозяйств на Крайнем Севере (города Мончегорск, Норильск, Воркута и др.). Большую роль в создании научной базы северного овощеводства сыграли работы НИИ Полярного земледелия, позже переименованного в НИИ сельского хозяйства Крайнего Севера (г. Норильск). Внедрение методов гидропонного выращивания овощей позволило избавиться от необходимости использования грунтосмесей, уменьшить распространение болезней, снизить затраты на производство овощной продукции (Берсон, 1964).

К середине 60-х гг. прошлого столетия площадь теплиц в Коми достигла 35 тыс. м², а утепленного грунта превышала 20 тыс. м² (Овощи в Коми..., 1968). Большое распространение получили также парники. Средняя урожайность овощей в теплицах составляла 19.7 кг/м². Наиболее крупным тепличным хозяйством являлся специализированный совхоз «Тепличный» (г. Воркута), имевший 15.3 тыс. м² зимних теплиц и 10 тыс. м² утепленного грунта. В теплицах в основном выращивали огурцы, в утепленном грунте – лук и зеленые культуры. Остальные площади защищенного грунта приходились на совхозы «Большая Инта», «Железнодорожный», «Ухта» и «Сыктывкарский». Совхоз «Сыктывкарский» располагал 4.2 тыс. м² зимних теплиц и 1.2 тыс. м² весенних пленочных теплиц. Средняя урожайность огурцов в зимних теплицах составляла 21 кг/м². В условиях светокультуры первые плоды получали уже в первой декаде декабря – через 10 недель после высева семян. Для освещения чаще всего использовали лампы накаливания мощностью 60 Вт в комбинации с лампами ДС-40. Досвечивание применяли в основном для получения рассады.

В настоящее время крупнейшим производителем овощей закрытого грунта в Республике Коми является тепличный комбинат «Пригородный» (создан в 1976 г.). Он располагает современными зимними теплицами общей площадью 12 га. В ассортименте 17 видов овощных культур, основные площади заняты под огурцом и томатами, функционирует салатная линия. В производственных теплицах имеются автоматические системы управления микроклиматом, применяются системы капельного полива, увлажнения и под-

кормки растений. Досвечивание растений обеспечивается натриевыми лампами высокого давления ДНаЗ-600 Вт/REFLUX (Россия).

Правильный выбор светового режима с учетом физиологического состояния и биологических потребностей растений является ключевым элементом интенсификации технологии светокультуры, получения качественной растительной продукции с повышенным содержанием полезных для здоровья веществ, устранения дефицита производства полноценной экологически чистой продукции. Вместе с тем, максимальное удовлетворение потребностей растений в лучистой энергии, способствуя повышению урожайности, может привести к удорожанию продукции и потере рентабельности. В этом смысле актуальным остается известный афоризм «Агротехника без биологии слепа, без механизации мертва, но все решает неумолимая экономика». Эти слова принадлежат знаменитому отечественному овощеводу В.И. Эдельштейну (1881-1965 гг.). При выборе режима освещения светокультуры нельзя не учитывать экономическую составляющую (плата за электроэнергию для осветительного оборудования). Стоимость электрической энергии, которая составляет 1/3, а то и половину стоимости продукции, должна быть компенсирована эффективностью ее применения в досвечивании растений и высоким уровнем технологии выращивания тепличных овощей.

В России и за рубежом проводятся теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию технологии светокультуры и интенсификации защищенного грунта (Леман, 1976; Тараканов и др., 1982; Протасова и др., 1990; Тихомиров и др., 2000; Пильщикова, 2000; Марковская и др., 2000; Шульгин, 2001; Кособрухов, 2001; Астафурова и др., 2001; Велит и др., 2004; Андреев, 2003; Гавриш и др., 2005; Аутко и др., 2006; Король, 2011; Demers et al., 1998; Dorais, 2003; Hao, Papadopoulos, 1999; Koivisto, Novi-Pekkanen, 2008; Ferreira et al., 2010; Elings et al., 2012). Большое внимание уделяется разработке современных тепличных светильников и осветительных установок с высокой светоотдачей (Тепличное освещение..., 2013). Однако несмотря на значительный интерес и практическую значимость, вопросы повышения эффективности производства тепличных овощей в зимний период на Севере разработаны недостаточно, наблюдается отставание в области фотобиологических и физиологических исследований.

В настоящей работе обобщены результаты многолетних (2007-2017 гг.) исследований теоретических и практических вопросов овощеводства защищенного грунта в северных условиях. Современное тепличное хозяйство ООО «Пригородный», где проводились наблюдения и основные эксперименты, располагается в черте г. Сыктыв-

кар (61°43'24" с.ш., 50°47'6" в.д). Климат этого региона характеризуется низкими температурами зимой и невысокими – летом, неустойчивой погодой в течение всего года. Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца (июль) составляет +16.6 °С, самого холодного (январь) – минус 15.1 °С. Зима продолжительная и довольно суровая, длится около пяти месяцев – с конца октября до конца марта. Весна затяжная и прохладная, с частыми возвратами холодов. Лето короткое, умеренно теплое, наступает с третьей декады мая и продолжается около трех месяцев. Осень характеризуется ранними заморозками, оживлением атмосферной циркуляции, увеличением повторяемости сплошной облачности и сокращением часов солнечного сияния. Северное положение города обуславливает световой режим. С конца мая по середину июля наблюдаются «белые» ночи. Продолжительность светлой части суток в июне достигает 20 ч. Осенне-зимний период (октябрь-февраль) характеризуется низким поступлением солнечной радиации (Приложение 1). Продолжительность светового дня в декабре около 5 ч. Это ограничивает возможности овощеводства защищенного грунта без применения искусственного освещения.

С использованием современных методов и подходов нами исследованы агробиологические и физиологические закономерности продукционного процесса основных тепличных культур в осенне-зимнем обороте при различных режимах освещения (Буткин и др. 2011; Григорай и др., 2011, 2012; Далькэ и др., 2013). Получены экспериментальные данные о динамике роста, ассимиляционной активности и использовании световой энергии посевами листового салата, огурца и томатов, биологической ценности овощной продукции. На этой основе разработаны и предложены оригинальные режимы и приемы культивирования, позволяющие повысить урожайность и экономическую эффективность тепличного производства на Севере (Далькэ и др., 2014; Григорай и др., 2012, 2015).

Авторы признательны А.А. Кособрюхову, Н.В. Пильщиковой, И.Г. Тараканову, И.А. Шульгину, которые ознакомились с представленными в монографии материалами и дали ценные замечания. Особую благодарность выражаем генеральному директору ООО «Пригородный» Г.Ф. Низовцеву и специалистам тепличного комплекса за понимание и помощь в работе.

Глава 1 АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Продуктивность является интегральным результатом всех функций растительного организма, зависит от генотипических особенностей и физиолого-биохимических свойств видов и сортов, их взаимодействия со средой. Первоосновой формирования биологической продуктивности служит фотосинтез, представляющий собой сложный процесс поглощения, преобразования и запасаания солнечной энергии в химических связях органического вещества (рис. 1). Субстратом для образования продуктов фотосинтеза – ассимилятов – являются диоксид углерода и вода ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$). В ходе первичных реакций фотосинтеза на свету синтезируются НАДФН и АТФ, которые затем используются для образования углеводов в реакциях фотосинтетического метаболизма углерода.

Данные многочисленных экспериментальных работ и их теоретический анализ привели к представлению о продуктивности как конечном результате сложной фотосинтетической деятельности растений, которая начинается с процесса фотосинтеза и через последующую цепь процессов превращения вещества и энергии реализуется в формировании урожая. Теоретические представления о фотосинтетической продуктивности растений сформировались к середине 50-х гг. прошлого столетия (Ничипорович, 1956, 1982, 1988).

Отправной точкой для создания количественной теории служили два базовых положения: 1) растительная биомасса на 90-95% состоит из углерода, водорода и кислорода – элементов, усваиваемых растением в процессе фотосинтеза и запасаемых в продуктах ассимиляции; 2) фотосинтез фитогенозов – сложно организованный в пространстве и вре-

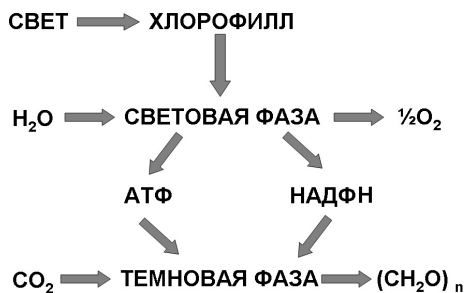


Рис. 1. Общая схема фотосинтеза.

мени иерархический процесс. Пространственная шкала его организации простирается от 10^{-27} (молекулярный уровень) до 10^5 м³ (уровень ценоза), а временная – от 10^{-15} (поглощение и миграция энергии) до 10^4 с (образование продуктов фотосинтеза) (Мокроносов и др., 2006). Важно подчеркнуть, что каждому уровню организации свойственны свои внутренние механизмы регуляции.

В приемлемых условиях фотосинтетический аппарат растений обеспечивает реализацию генетически детерминированной программы роста и развития, используя энергию солнечной радиации и другие ресурсы (СО₂, вода, минеральные элементы). Фотосинтез и рост рассматриваются как сопряженные процессы (Мокроносов, 1981, 1988). Энергетическое обеспечение ростовой функции со стороны фотосинтеза является неременным условием роста. Интеграция фотосинтеза и роста на уровне целого растения осуществляется через систему донорно-акцепторных отношений (Мокроносов, 1982, 1988). Между донором и акцептором формируются временные промежуточные фонды ассимилятов, которые могут использоваться на рост в течение разного времени – от нескольких часов до месяцев. Фонды обеспечивают частичную автономность функции фотосинтеза и роста. Возможен ограниченный рост без фотосинтеза за счет запасных субстратов предшествующего фотосинтеза. Так происходит рост в ночные часы, таким путем формируются проростки, использующие запасы семени, и др.

Наряду с фотосинтезом за обеспечение ростовых процессов энергией и необходимыми метаболитами ответственно дыхание (Головкин, 1999). Дыхание осуществляется во всех живых клетках и тканях, оно присутствует и в зеленых листьях на свету. Поставляемые дыханием энергия и метаболиты используются растением на новообразование и поддержание структур живой биомассы. В среднем за сутки в дыхании целого растения окисляется 40-60% от ассимилированного в процессе фотосинтеза углерода.

Производительными фотосинтезирующими системами, формирующими реальные урожаи, являются фито- и (агро)ценозы (Ничипорович, 1956, 1988; Тооминг, 1984). Их продуктивность зависит не только от интенсивности ассимиляции углекислого газа (в расчете на единицу площади листовой поверхности). Для оптимального осуществления фотосинтетической деятельности и высокой продуктивности фитоценозы должны отвечать ряду требований и, в первую очередь, иметь оптимальный размер листовой поверхности (Ничипорович, 1982; Шевелуха, 1992). Способность фитоценозов эффективно поглощать свет зависит от площади листьев, приходящейся на единицу площади фитоценоза. Этот показатель получил название «индекс листовой поверхности» или «листовой индекс» (ЛИ,

$\text{м}^2/\text{м}^2$). В полевых условиях скорость роста посева зависит от величины ЛИ. В области значений ЛИ до 3 продуктивность фитоценоза возрастает линейно с увеличением этого показателя. С увеличением ЛИ усиливается поглощение света фитоценозом, повышается ассимиляция CO_2 . Посевы с суммарной площадью листьев около $4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ способны поглощать 90-93% поступающей фотосинтетически активной радиации (ФАР). Поэтому для агроценозов большинства культур оптимальная площадь листьев составляет примерно $4\text{-}5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (Ничипорович, 1988). Чрезмерное увеличение площади листьев может отрицательно сказаться на накоплении урожая из-за усиления ценотического взаимодействия растений, конкуренции за свет, влагу, минеральные элементы, увеличения затрат на поддержание сформированной биомассы. Объективной мерой продуктивности служит показатель КПД ФАР (Шульгин, 2002). У высокопродуктивных современных сортов в благоприятных условиях водоснабжения и высокой обеспеченности элементами минерального питания (особенно азотом) средняя за вегетацию величина КПД ФАР составляет 4-5%, а в период максимальных приростов может достигать 8-10%. При недостаточной агротехнике и плохих погодных условиях недобор урожая обычно обусловлен невысокими значениями ЛИ, меньше 3. Фотосинтетическая активность растений коррелирует с долей листьев в биомассе растения (Bondada, 2001). Значения имеют также скорость ее формирования и продолжительность работы (Ничипорович, 1982). Размер и динамика развития листовой поверхности определяются агротехническими, климатическими и биологическими факторами, что особенно актуально для короткого северного лета (Швецова, Болотова, 1984; Швецова, 1987).

Теория фотосинтетической продуктивности дает представление об уровнях организации фотосинтезирующих систем и связях между ними, о соотношении фотосинтетической деятельности с размерами и качеством урожая, рациональных направлениях и принципах оптимизации продукционного процесса (Ничипорович, 1982; Тооминг, 1984; Гуляев и др., 1989; Полуэктов, 1991; Гуляев, 1996; Образцов, 2001; Табаленкова, Головки, 2010). Продуктивность растений зависит от разницы между ассимиляцией и дыхательными потерями. Считается, что высокая продуктивность достигается при оптимальном соотношении фотосинтеза и дыхания на уровне целого растения, поэтому в модели продукционного процесса было предложено ввести дыхание (McCree, 1970; Thornley, 1977; Семихатова, 1982; Тооминг, 1984). Изучение функциональных связей дыхания с процессами жизнедеятельности растений, определение дыхательных затрат на рост и поддержание привело к оценке роли дыхания в формировании продуктивности и накоплении урожая (Куперман, 1984; Головки, 1988, 1999).

Важную роль играет вертикальная структура агроценоза (Тооминг, 1984). У многоярусных посевов она должна быть такой, чтобы приходящая ФАР поглощалась не только максимально полно, но и распределялась на возможно большую площадь листьев (Шульгин, 2004). Другими словами, нижерасположенные листья получали бы достаточно света для осуществления положительного газообмена и имели положительный баланс углерода, дабы оставаться как можно дольше донорами ассимилятов для интенсивно растущих и запасающих органов. В растениях должно поддерживаться определенное соотношение между функциями и структурами, что достигается в процессе их адаптации к постоянно изменяющимся условиям среды.

Сельскохозяйственные растения прошли длительный путь селекции. С улучшением агротехнологий и обеспеченности растений необходимыми ресурсами для роста и развития все большее значение для повышения урожайности приобретают процессы распределения ассимилятов в хозяйственно-ценные органы и снижения затрат на формирование других частей растений (Evans, 1975; Частная физиология..., 2005). Это приводит к изменению морфологии и структуры растений, укрупнению репродуктивных органов, урожай которых чаще всего является основной целью выращивания культуры. По мнению А.Т. Мокроносова (1981) и данным других авторов (Dwelle, 1985; Чиков, 1987; Киризий, 2004; Гончарова, 2009; Табаленкова, Головки, 2010), интенсивность фотосинтеза листа в значительной степени зависит от потребности акцептора в ассимилятах. Более того, акцептор контролирует не только функциональную активность листа, но и скорость его старения. Следовательно, можно полагать, что функциональное взаимодействие в донорно-акцепторной системе является одним из важных факторов формирования активного фотосинтетического аппарата. Листья экспортируют в плоды не только продукты фотосинтеза, но также другие органические вещества и минеральные элементы, воду, причем в оптимальных условиях наиболее активно транспорт идет в интенсивно растущие плоды. Активная акцептирующая функция растущих плодов, их аттрагирующая способность играют определяющую роль в формировании продуктивности многих культур.

Таким образом, можно заключить, что продуктивность – интегральный результат всех функций растительного организма – зависит от генотипических особенностей и физиолого-биохимических свойств видов и сортов, их взаимодействия со средой. Фотосинтетическая деятельность растений является основной предпосылкой и важнейшим фактором формирования продуктивности.

Глава 2 СВЕТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ

Солнце является основным источником лучистой энергии на нашей планете. В солнечной радиации различают, главным образом, интенсивность, спектральный состав и продолжительность в течение суток (Шульгин, 1973). Интенсивность солнечной радиации на земной поверхности зависит от высоты солнцестояния и, следовательно, географической широты, времени года и суток. Влияние также оказывают облачность, прозрачность атмосферы и ряд других факторов.

Солнечное излучение (радиация), достигающее поверхности Земли, состоит из электромагнитных колебаний разной длины волны – от 290 до 10^5 нм (Larcher, 2003; Шульгин, 2004). Коротковолновая радиация (менее 290 нм) поглощается озоновым слоем стратосферы и содержащимся в воздухе кислородом. Предел длинноволновых лучей ограничивается концентрацией водяных паров и углекислого газа в атмосфере. Примерно 45% входящей солнечной радиации падает на область 400-700 нм. Эта область спектра используется растениями для осуществления процесса фотосинтеза и носит название фотосинтетически активной радиации (ФАР). Листья растений, произрастающих в естественных условиях, поглощают в среднем 75-80% падающей ФАР. Летом в полуденные часы максимум поглощения приходится на более коротковолновые синие лучи (490 нм), утром и вечером, особенно в осенне-весенние месяцы, максимум перемещается в оранжево-красную часть спектра (670-680 нм) (Шульгин, 1973). Благодаря этому даже при сильном изменении спектрального состава солнечной радиации лист способен поглощать около 80% падающей ФАР. Свет под пологом обогащен зелеными лучами вследствие поглощения красных и синих лучей листьями верхних ярусов. На фотосинтез расходуется в среднем 2-4% поглощенной листом энергии, остальная энергия тратится на транспирацию и теплопередачу.

Соотношение отдельных участков спектра в солнечном излучении зависит от высоты солнца над горизонтом. По мере ее увеличения доля видимого и ультрафиолетового излучения возрастает.

Наибольшее значение для растений как фототрофных организмов имеет видимая человеческим глазом часть спектра – фотосинтетически активная радиация (Шульгин, 1973; Губарь, Войцехович, 1980; Тараканов и др., 1982, 2002; Spalding, Folta, 2005). Помимо того, что свет является движущей силой важнейшего физиологического процесса – фотосинтеза, он оказывает значительное регуляторное и формообразовательное влияние на растение. Свет является внешним индуктором, приводящим к экспрессии светозависимых генов, которые включают программы фотоморфогенеза растений. Фотоморфогенез – процесс управления светом развития организма – существует у большинства растений. Многочисленные исследования показали, что путем изменения спектрального состава оптического излучения можно регулировать обмен веществ, рост и развитие растений (Клешнин, 1954; Воскресенская, 1975, 1988; Тихомиров и др., 2000; Urbanaviciūtė et al., 2007). При регуляторном действии видимого излучения в растениях осуществляются важные морфофизиологические процессы – зеленение, формирование вегетативных и генеративных органов, синтез биологически активных веществ. Свет контролирует активность основного фотосинтетического фермента – рибулесобифосфат карбоксилазы (Рубиско) и ряда других ферментов цикла Кальвина (Эдвардс, Уокер, 1986; Мокроносов и др., 2006). Спектральный состав света модифицирует гормональный статус растений, оказывает влияние на рост и фотосинтетическую активность (Карначук, Головацкая, 1998; Карначук и др., 2001).

В восприятии спектрального состава света участвуют фоторецепторные пигменты. В настоящее время известны три класса фоторецепторов: фитохромы, криптохромы и фототропин (Физиология..., 2005; Quail et al., 1995; Briggs, Olney, 2000; Chentao, Dror, 2003), установлены их молекулярная структура и механизмы функционирования (Batschauer, 1999; Christie, 2007). Фитохромы – фитохромобилиновые пигменты, осуществляющие переход из одной формы в другую в ответ на восприятие красного (660 нм) и дальнего красного (730 нм) света. Благодаря этому растения адаптируют свой рост и развитие к изменению световых условий среды. На основании сигналов фитохромной системы растение изменяет стратегию роста, приступает к цветению, завершает активный рост и готовится к смене сезона года. Два других типа фоторецепторов – криптохромы и фототропин – воспринимают синий свет и ближнюю ультрафиолетовую область спектра (УФ-А) (Briggs, Olney, 2001; Quail, 2002). Некоторые авторы (Головацкая, 2005) полагают, что благодаря наличию криптохромов растения могут различать неэффективные для фотосинтеза лучи зеленой части спектра.

Морфогенетические эффекты разных частей спектра являются следствием влияния света на гормональный баланс растений, активность и направленность метаболизма (Карначук и др., 2001, 2008). Синий свет (400-500 нм) тормозит рост побегов и приводит к формированию низкорослых растений, стимулирует переход к цветению растений короткого дня, замедляет развитие растений длинного дня (Брызгалов, 1983; Карначук, Головацкая, 1998; Карначук и др., 2001, 2008). Синий свет регулирует ширину устьиц, движение листьев, оказывает тормозящее действие на рост стеблей (Воскресенская, 1966; Аверчева и др., 2009). Синий свет и ультрафиолетовая часть спектра стимулируют деление клеток, однако тормозят их рост растяжением. Показано, что на синем свете даже низкой интенсивности формируются «световые» хлоропласты с хорошо развитой гранальной структурой, усиливается фотодыхание, активируется синтез белков (Воскресенская, 1966, 1975, 1979). Накоплению белка способствует активация синтеза органических кислот и аминокислот. Синий свет увеличивает по сравнению с красным включение углерода в азотистые соединения, особенно аспарагиновую кислоту (Воскресенская, 1966, 1979). В работе (Аверчева, 2010) показано, что под влиянием синего света активировался синтез фотосинтетических белков. Установлено, что при выращивании растений на синем свете снижалась скорость роста как надземной, так и подземной части (Якушенкова и др., 2001). У растений перца на синем свете тормозился рост листьев и побегов. Это объясняется тем, что на синем свете в листьях образуется значительно больше ингибиторов роста (абсцизовой кислоты, оксикоричных кислот и др.) по сравнению с растениями, выращенными на красном и зеленом свете, что приводит к формированию укороченных стеблей и более толстых листьев (Протасова, 1987). При выращивании китайской капусты с использованием светодиодного светильника с испусканием света в области красной и синей полос в соотношении 7:1 показано угнетение синтеза сахаров и существенное изменение роста, морфогенеза и онтогенеза растений (Аверчева и др., 2009; Аверчева, 2010). Эффекты синего света зависят от его соотношения с другими частями спектра ФАР. Рекомендуется использовать следующее соотношение 0.3:0.2:0.5 соответственно синего, зеленого и красного в спектре ФАР искусственных источников для культивирования растений (Протасова, Кефели, 1982). Показаны различия между листьями растений, произрастающих в поле и в ростовой камере, в спектрах поглощения, действия и величине квантового выхода (McCree, 1970).

Наибольшее значение в жизни растения имеют красные (720-600 нм) и оранжевые (620-595 нм) лучи. Они являются основны-

ми поставщиками энергии для фотосинтеза и влияют на процессы, связанные с изменением скорости роста и развития растения. Красный свет способствует интенсивному росту листьев и осевых органов (Андреев, 2003; Ключникова и др., 1987). Отсутствие или низкая интенсивность в спектре искусственных источников красной области задерживает переход растения к цветению, приводит к формированию неполноценных генеративных органов (Клешнин, 1954; Леман, 1976; Бойко, 1986; Федюнькин, 1988; Тихомиров и др., 1991). По имеющимся в литературе данным (Lin, Jolliffe, 1996) интенсивность и спектральный состав света влияют на качество продукции и сроки хранения овощей. Так, например, развивающиеся при высокой интенсивности света в пологе плоды огурца содержали больше хлорофилла и дольше хранились после уборки, оставаясь зелеными. Красный свет ускорял образование хлорофилла при низкой освещенности (осень), но не был эффективным, когда интенсивность света была достаточно высокой (весенние эксперименты). Этот факт был подтвержден зимними экспериментами с использованием натриевых ламп высокого давления. Добавка красного света в условиях низкой интенсивности изменяла соотношение красный/дальний красный свет, что оказывало регуляторное воздействие на синтез хлорофилла в кожее плодов. Красный свет снижал скорость деградации хлорофилла и во время старения листьев (Tucker, 1981).

На зеленом свету (500-600 нм) формируются вытянутые осевые органы, тонкие листья с меньшим числом клеток и хлоропластов, низкой скоростью фотосинтеза на единицу площади листа, что снижает продуктивность растений (Головацкая, 2005).

Биологическое действие на растения оказывает также ультрафиолетовое (280-380 нм) и инфракрасное (750-4000 нм) излучение. Озоновый слой препятствует проникновению губительной для биосферы УФ-С радиации и значительно снижает поступление ближней УФ-В (280-315 нм) и УФ-А (315-400 нм) радиации. Но даже ближняя УФ-радиация потенциально опасна для живых организмов, так как способна повреждать биологически важные макромолекулы и структуры. Она может вызывать деструкцию клеточных структур, подавлять рост и снижать продуктивность растений (Jordan, 1996; Кравец и др., 2008). Имеется множество данных о том, что повышенные дозы УФ-В-радиации отрицательно влияли на урожайность сельскохозяйственных культур (Kakani et al., 2003; Koti et al., 2004; Ермаков, Канап, 2005; Канап, Осипов, 2008). Вместе с тем, УФ-В радиация повышает холодостойкость растений, способствуют процессу их закалывания (Зуев, Абдуллаев, 1982; Брызгалов, 1983). В определенных дозах ультрафиолетовые лучи (315-380 нм) задерживают вытягивание стебля, благоприятствуют нако-

плению поглощающих УФ защитных веществ – каротиноидов, фенолов (Шахов и др., 1962; Caldwell, 1981).

В средней полосе России зимой излучение с длиной волн короче 306-312 нм практически отсутствует, и лишь летом в полдень граница ультрафиолетового излучения понижается до 295 нм. В теплицах и парниках, покрытых стеклом, растения даже летом получают только длинноволновые ультрафиолетовые лучи с нижней границей около 340-360 нм (Гусев, Гликман, 1981).

Инфракрасное излучение оказывает морфогенетические и термические эффекты, длинноволновая радиация – термические (Larcher, 2003). Ближнее ИК-излучение оказывает сильное формирующее действие на растения, которое проявляется, главным образом, в растяжении осевых органов (стебель, подсемядольное колено). Не все растения одинаково реагируют на длинноволновое излучение (700-1100 нм): одни слабо (томаты), другие сильно (огурцы), что мешает их выращиванию в теплицах (Тараканов и др., 2002).

Спектральный состав солнечного излучения зависит от высоты стояния солнца над горизонтом. Когда солнце находится низко (летом в начале и конце дня, зимой весь день), в его излучении преобладает инфракрасное и красное излучение, летом в середине дня – синее, фиолетовое и ультрафиолетовое (Клешнин, 1954; Эдельштейн, 1962; Леман, 1976).

В естественных условиях физиологически активное излучение содержится в прямой и рассеянной солнечной радиации. Прямая солнечная радиация доходит до поверхности Земли в виде параллельных лучей, идущих непосредственно от Солнца. В прямых лучах Солнца (при высоте Солнца над горизонтом от 30 до 70°) физиологически активное излучение составляет около 40% (Larcher, 2003). Рассеянная радиация падает на Землю после отражения и рассеивания ее молекулами газов в воздухе, пылинками, капельками воды и кристаллами льда, находящимися в атмосфере (Гусев и др., 1981; Зуев, Абдуллаев, 1982). Для растений более благоприятен спектральный состав рассеянного излучения, около 50-60% которого составляет физиологически активное излучение. Elings с соавт. (2012) сравнили эффекты прямого и диффузного света на фотосинтез и продуктивность томатов, культивируемых в теплицах зимой и летом. По данным этих авторов, на диффузном свете урожайность томатов в начале июня возросла на 8-11%. Прибавка сохранялась вплоть до ноября благодаря повышению фотосинтеза ценоза.

В практике выращивания растений учитывают суммарную радиацию, включающую оба вида солнечной радиации (Тараканов и др., 1982). Однако число часов, когда прямое солнечное излучение падает на листья, значительно меньше общей продолжительности

светлого периода суток. Кроме того, прямая радиация используется лишь частью листьев (к листьям, находящимся в тени и в глубине кроны, прямая радиация не доходит).

В теплицах спектральный состав излучения, получаемый растениями, во многом определяется свойствами стекла (Гусев и др., 1981). Обыкновенное оконное стекло пропускает преимущественно красное и желтое излучение. Значительно больше задерживается излучение коротковолновой части спектра. В теплицу через кровлю попадает менее 70% солнечной радиации. Большое значение имеют светопрозрачность и чистота кровли. Принято считать, что увеличение освещенности теплицы на 1% означает повышение урожайности на 1%. Загрязнение стекла может снизить освещенность в два раза и более.

По требованию к освещенности, обуславливающей получение товарной продукции, овощные растения делят на три группы (Клешнин, 1954; Леман, 1976; Физиология сельскохозяйственных..., 2000; Андреев, 2003). Растениям короткого дня для перехода к генеративному развитию требуется светлого периода не более 12 и не менее 8 ч в сутки. Такая длина дня способствует более быстрому наступлению цветения и плодоношения. К группе короткодневных относятся огурец, некоторые сорта томатов и фасоли, баклажан, перец и другие культуры преимущественно южного происхождения. Томат является по своему происхождению южным растением, однако, отдельные сорта могут расти и плодоносить при длине дня 15-16 ч в сутки (Шульгин, 2001). Растения длинного дня, наоборот, ускоряют цветение при длине дня 14-17 ч в сутки, но наибольший урожай они дают при коротком дне. В эту группу входят салат, редис, шпинат.

Астрономическая длина дня в пределах России сильно варьирует в зависимости от географической широты, времени года, высоты над уровнем моря (Шульгин, 2004). На юге длина дня колеблется от 10 до 14 ч. На Крайнем Севере (за Полярным кругом) зимой света практически нет, а летом стоит непрерывный день. Длина светлого периода суток летом в средней полосе достигает 16-17 ч, зимой она уменьшается до 6-7 ч. Однако длина дня, используемая растением для накопления органических веществ в процессе фотосинтеза, значительно меньше астрономической. Летом она составляет около 14 ч, а зимой не более 3 ч в сутки. Объясняется это тем, что утром и вечером у растений при недостаточной освещенности затраты органического вещества на дыхание превышают его накопление. Для фотопериодической реакции растению необходима значительно меньшая освещенность, чем это требуется для накопления органического вещества. Отсюда следует, что длина дня, оказывающая фотопериодическое действие, равна или больше астрономической.

В группу наиболее требовательных к свету растений входят томаты, огурец, фасоль, цветная капуста (рассада), кабачок, баклажан, перец. При низкой освещенности можно выращивать лук на перо, свеклу на лист, петрушку на зелень. Растения, удовлетворяющиеся средней освещенностью – редис, укроп, шпинат (Тараканов, Малхасян, 1991). По данным (Тараканов, Ван, 2009), адаптация к условиям низкой освещенности представителей рода *Brassica* затрагивала структурные и функциональные перестройки, обеспечивающие, в первую очередь, относительное увеличение светособирающей поверхности листьев при более экономном расходовании продуктов фотосинтеза на их рост за счет уменьшения удельной поверхностной плотности листьев (УППЛ) и повышенного содержания фотосинтетических пигментов. По мнению С.Ф. Ващенко с соавт. (1984), в средней полосе России требовательные и удовлетворяющиеся средней освещенностью растения нельзя выращивать в культивационных сооружениях без дополнительного облучения с октября по январь. Растения третьей группы можно выращивать круглый год, но в зимние месяцы урожаи будут значительно ниже.

Зимой в теплицах средней полосы и на севере России естественная освещенность недостаточна для выращивания растений и получения товарной продукции (Приложение 1). Длина дня слишком мала, в два-три раза короче, чем летом, а освещенность в 50-100 раз меньше. В осенне-зимний период естественная освещенность в теплицах крайне невелика. По нашим данным, даже в ясный солнечный полдень она не превышает 10-15 Вт/м², а в облачные дни в несколько раз ниже. Значительно, на 35-40%, ослабляет поступление света в теплицу наличие изморози на поверхности стекла. Для уменьшения затрат на отопление и повышения степени светоотражения внутри теплицы часто применяют светоотражающие тепло-энергосберегающие экраны, которые могут снижать поступление света в теплицу на 75-80%. Кроме того, в спектральном составе излучения недостаточно необходимых растений сине-фиолетовых и длинноволновых ультрафиолетовых лучей.

Натриевые лампы высокого давления широко применяются в качестве искусственного источника света для культивирования растений в зимних теплицах. Они наиболее эффективно (26-30%) превращают электрическую энергию в энергию, пригодную для фотосинтеза. Их спектр благоприятен для фотосинтеза. Однако эти лампы дают существенно меньше синего и дальнего красного света по сравнению с солнечным светом (Протасова и др., 1990). Они характеризуются высоким соотношением красный/дальний красный свет и очень небольшой долей (6%) сине-фиолетового света в спектре излучения. Зеленый и желтый свет составляют 40% излучения. По-

казано, что красный свет содействует поддержанию качества плодов огурца. Высокая интенсивность красного света может стимулировать плодообразование, тогда как синий свет позволяет получить более компактные растения, оптимизировать их архитектуру. Menard с соавт. (2006) установили, что добавление синего света внутрь ценоза ускоряло рост и продуктивность растений огурца и томатов.

Для сравнения источников излучения можно использовать различные единицы измерения светового потока (Приложение 2) и пересчетные коэффициенты уровня ФАР от различных источников естественного и искусственного излучения (Приложение 3).

Многочисленные опыты показали, что без дополнительного искусственного облучения в зимнее время в теплицах нельзя получить товарную продукцию. На Севере, где приход естественной радиации в зимний период в теплицы чрезвычайно низок, даже такие мало-требовательные к свету культуры, как листовый салат, не дают товарной продукции без досвечивания (Буткин и др., 2011). Применение досвечивания активировало фотосинтетическую деятельность растений, усиливало рост листовой поверхности и накопление биомассы высокого качества (Далькэ и др., 2013). В Финляндии, например, досвечивание тепличных культур осуществляется с ноября по февраль, когда уровень естественного освещения экстремально низкий (Novi-Pekkanen, Tahvonen, 2008). Культивирование томатов и огурцов с использованием искусственного освещения производится на 25% всех площадей защищенного грунта. Досвечивание также применяется для увеличения урожайности и качества многих овощных и орнаментальных растений.

В Канаде (Квебек, Horticultural Research Centre of Laval University) в конце 80-х гг. прошлого столетия была начата важная исследовательская программа по досвечиванию овощных культур (Dogaïs, 2003). Исследовали влияние интенсивности и суточной продолжительности досвечивания на рост рассады и продуктивность растений. В зависимости от времени года растения получали дополнительно от 1 до 35 моль/м²сут. (от 20 до 800 Дж/см²сут.) световой энергии. В результате была доказана эффективность применения досвечивания и теперь практически все канадские овощеводы применяют этот прием. Более 10% валовой продукции огурца и 15% томатов получают в зимнее время с использованием дополнительной досветки.

Эффективность дополнительного освещения снижается, когда увеличивается интенсивность природного освещения, но возрастает при повышении концентрации CO₂. Оптимальное досвечивание овощных культур должно варьировать в соответствии с суммарным за сутки поступлением света (зависит от региона, времени года),

стоимости электричества и потребности в тепле. В Канаде (Квебек) в условиях двуслойных пленочных теплиц лампы обеспечивают 25-41% потребности в тепле. Реально они дают 25% тепла при освещенности 120 мкмоль/м²с и 16-часовом фотопериоде. Лампы располагают на 1 м выше отопительной системы над рядами. В Финляндии 50% ламп располагают сверху над рядами и 50% – между рядами, что компенсирует короткий фотопериод зимой. Лампы обычно отключают, когда солнечная радиация достигает 240-300 Вт/м² и ее приход за сутки составляет 1200 Дж/см².

В Канаде поступление солнечной радиации за сутки варьирует в течение года от 3.9 до 21 (Онтарио) и от 2.3 до 22.8 МДж/м² (Британская Колумбия). Дополнительный свет может быть использован для поддержания фотосинтеза растений большую часть года (с сентября по март) и в облачные дни. Досвечивание интенсивностью 100 мкмоль/м²с (20 Вт/м² ФАР) в течение 16 ч в сутки обеспечивает дополнительное поступление 1.15 МДж/м² световой энергии и увеличивает снабжение растений световой энергией соответственно на 70, 84 и 143% в Онтарио, Квебеке и Британской Колумбии в декабре и 25, 26 и 33% для этих же регионов в марте (Papadopoulos et al., 2002). **На практике обычно используется правило, что снижение света на 1% снижает продуктивность в среднем на 1%. Несмотря на простоту, 1%-ное правило подтверждено на томатах и других культурах (Heuvelink, Dorais, 2003; Heuvelink et al., 2006). По данным Marcelis с соавт. (2006), повышение освещенности на 1% приводит к увеличению продуктивности овощных культур, формирующих плоды, на 0.7-1.0%.**

Положительное влияние искусственного освещения на рост, продуктивность и качество урожая томатов (Demers et al., 1998), огурца (Нао, Papadopoulos, 2005) и сладкого перца (Demers, Gosselin, 1999) хорошо документировано. Показано, что оптимальная продолжительность досвечивания составляет от 14 до 20 ч в зависимости от культуры, сорта и региона.

По данным (Turcotte, Gosselin, 1989), увеличение продолжительности досвечивания до 18 ч повышало количество CO₂, ассимилированного за сутки, и снижало дыхательный период. В результате улучшения углеродного баланса скорость роста и урожайность повышались. С увеличением фотопериода лист становился толще. Оптимальный фотопериод для огурца: 18-20 ч досвечивания с 4-6-часовой продолжительностью темного периода.

Растения огурца образуют 3.4 и 4.3 г сухой массы в расчете на 1 МДж/м² при концентрации CO₂ 364 и 620 ppm соответственно (Nederhoff, 1994; Nederhoff, Vegter, 1994). В целом, дополнительное освещение увеличивает относительную скорость роста, накопле-

ние биомассы и количество плодов, снижает абортивность завязей. Устанавливаемая световая мощность для огурца варьирует от 120 (Квебек) до 200 Вт/м² (Финляндия). Зимой в Квебеке при досвечивании огурца интенсивностью ФАР до 300 мкмоль/м²с наблюдали усиление вегетативного роста (число листьев, толщина листьев, длина стебля, содержание сухого вещества) и увеличение урожайности в три раза. Время получения первого урожая сокращалось на 19 дней. При высоком уровне суммарного за сутки освещения (30 моль/м² или выше) период вегетативного роста сокращался в 1.7-2.4 раза по сравнению с освещенностью 5.5-10 моль/м². При использовании ФАР интенсивностью 180-200 мкмоль/м²с в течение круглого года урожайность культуры возрастала на 70-80% по сравнению с использованием природного света (Blain et al., 1986). При высокой освещенности больше сухого вещества (ассимилятов) было транспортировано в плоды (Marcelis, 1991). Досвечивание при 200 мкмоль/м²с увеличивало устьичную проводимость и нетто-фотосинтез, когда уровень природного света падал ниже 280 мкмоль/м²с (Turcotte, Gosselin, 1989).

Повышение концентрации CO₂ в атмосферном воздухе способствует усилению диффузии CO₂ в лист и, соответственно, ассимиляционной активности. Вследствие ингибирования фотодыхания gross-фотосинтез увеличивается с повышением концентрации CO₂ даже при низкой освещенности. Повышение атмосферной CO₂ положительно влияет на эффективность использования света (LUE – light use efficiency), выраженную в моль CO₂/моль поглощенных фотонов. Например, LUE томатов увеличивалось на 6-15% при увеличении концентрации CO₂ на 100 ppm. **Комбинация повышения концентрации CO₂ с досвечиванием тепличных культур зимой в северных регионах оказывала синергический эффект на LUE (Heuvelink, Dorais, 2003).** Увеличение концентрации CO₂ от 350 до 1000 ppm (от 0.035 до 0.1%) повышало фотосинтез культуры на 33 и 43% при интенсивности ФАР 350 и 1500 мкмоль/м²с соответственно. На слабом свету повышение концентрации CO₂ способствовало образованию большего количества плодов у томатов (Nederhoff, 1994). Однако скорость появления листьев и соцветий, а также распределение биомассы не зависели от концентрации CO₂. Распределение ассимилятов больше зависит от запроса на ассимиляты акцепторных органов, чем от их доступности. Для овощных культур, образующих плоды, удвоение атмосферной концентрации CO₂ увеличивало урожайность на 11-32%. Чтобы получить преимущество от использования повышенной освещенности, концентрацию CO₂ в теплице рекомендуют поддерживать в пределах 700-1000 мкмоль/моль (0.07-0.1%).

В опытах Klaring с соавт. (2012) было установлено, что в зимний период в условиях Центральной Европы затенение растений огурца в первые пять недель роста оказывало последствие на урожайность культуры. Каждый 1% снижения ФАР приводил к сокращению листовой поверхности растений на 0.4% и снижению потенциального нетто-фотосинтеза на 0.46%. При затенении отмечали снижение содержания сухого вещества, крахмала и сахаров в листьях. В течение последующих двух недель на полном свете фотосинтез растений полностью восстанавливался, площадь листьев увеличивалась до 3.3 м²/м², что вполне достаточно для оптимального фотосинтеза ценоза. Продуктивность растений, подвергнутых затенению, была несколько ниже в период первых сборов, но потери урожая возрастали в последующие несколько недель и составили примерно 0.8 кг/м² на каждые 1 моль/м² день. Урожайность огурца снижалась с 11 до 9 кг/м² с уменьшением прихода ФАР от 5.3 до 2.3 мкмоль/м²сут. Скорость фотосинтеза листьев, измеренная при ФАР 600 мкмоль/м²с, снижалась у затененных растений с 17 до 12 мкмоль СО₂/м²с, однако через 16 дней после прекращения затенения его эффект на нетто-фотосинтез не проявлялся, во всех вариантах опыта скорость фотосинтеза составляла в среднем 14 мкмоль СО₂/м²с.

В теплице лампы традиционно монтируют над ценозом (верхнее освещение). В этом случае чем ниже от верхушки расположены листья, тем меньше света они получают. Экспериментально было установлено, что нижние листья способны фотосинтезировать более активно, если их лучше обеспечивать световой энергией (Rodriguez, Lambeth, 1975; Grodzinski et al., 1999; Novi-Pekkanen, Tahvonen, 2008). Изменение структуры падающего светового потока, например, за счет бокового освещения позволяет повысить продуктивность растений в ценозе (Леман, 1976). Высокие скорости фотосинтеза можно также получить при относительно невысоких освещенностях, одновременно облучая обе поверхности листа. На практике возникают сложности в правильном расположении неподвижных источников освещения и выборе угла падения света на листовую поверхность (Тихомиров и др., 2000). В теплице повысить эффективность использования световой энергии можно за счет установки дополнительно к верхнему освещению ламп в междурядьях. Применение такого приема на огурцах способствовало улучшению качества продукции, уменьшению доли нестандартных плодов в урожае (Нови-Пекканен, Tahvonen, 2008).

В последние годы интерес к проблеме досвечивания внутри ценоза (interlighting) проявляют не только ученые, но и производ-

ственники, занимающиеся культивированием овощей в условиях защищенного грунта. Преимущества применения этого приема показаны в опытах на сладком перце, томатах, огурце (Novi et al., 2004; Heuvelink, Dorais, 2003; Heuvelink et al., 2006; Григорай и др., 2011, 2012; Далькэ и др., 2014). Novi-Pekkanen с соавт. (2004) установили, что досвечивание внутри ценоза повышало урожайность огурца за счет увеличения массы и количества плодов. При этом улучшается качество продукции. У плодов усиливалось накопление хлорофиллов и кожица приобретала темно-зеленую окраску. В опытах, проведенных Novi-Pekkanen и Tahvonon (2008) в разные сезоны года (лето, осень-зима, весна), были испытаны несколько режимов досвечивания внутри ценоза, отличающихся по соотношению света, поступающего от натриевых ламп сверху и установленных внутри ценоза. Наибольшая урожайность (45-49 кг/м²) была получена в весеннем обороте, наименьшая (23-26 кг/м²) – в осенне-зимнем. Во все сезоны года применение приема досвечивания внутри ценоза способствовало повышению урожая и его качества. Особенно заметная разница в урожае проявлялась в первые недели сбора огурцов. Несмотря на увеличение затрат электрической энергии, наблюдалась тенденция к повышению эффективности ее использования на создание урожая. Так, в целом за год величина этого показателя составляла 120 и 127-130 г плодов на кВт/ч соответственно при верхнем освещении и при дополнительном освещении внутри ценоза.

В опытах, проведенных Pettersen с соавт. (2010), исследовали эффект трех световых режимов на фотосинтетическую активность, площадь листьев и урожайность огурца сорта Euphorbia. В первом варианте растения получали свет от ламп, смонтированных над ценозом, во втором и третьем вариантах были добавлены лампы, установленные внутри ценоза. Лампы внутри ценоза обеспечивали 65 и 33% освещения. Средняя скорость нетто-фотосинтеза листьев во втором варианте увеличивалась в 1.4 раза, в третьем – на 13%. Каждое растение во втором и третьем вариантах еженедельно давало дополнительно около 300 г плодов, что на 10% больше, чем в первом варианте (2.9 кг), в основном за счет повышения фотосинтетической активности листьев среднего и нижнего ярусов.

Как уже отмечалось выше, недостаток света ускоряет старение листа. Улучшение освещения листьев вигны (овощная фасоль) путем досвечивания внутри ценоза задерживало их старение (Frantz et al., 2000). Ху с соавт. (1997) обнаружили, что ассимиляционная способность листьев томата снижалась по мере старения и нижние листья характеризовались очень низкой скоростью нетто-фотосин-

теза. По данным Асоок с соавт. (1978), листья верхней трети ценоза томата составляли 23% листовой поверхности и ассимилировали до 65% всего поглощенного ценозом CO_2 . Улучшение обеспеченности светом листьев внутри ценоза огурца повышало продуктивность культуры на 20% (Hovi-Pekkanen et al., 2004).

Применение новых технологий освещения в теплицах, использование режима «interlighting» при культивировании огурца зависит в значительной степени от себестоимости продукции, в первую очередь, затрат на электроэнергию. В работе (Koivisto, Hovi-Pekkanen, 2008) сравнивали экономичность традиционной технологии (лампы над ценозом) и двух вариантов «interlighting»: слабый interlighting (верхние лампы обеспечивают поступление 76% света, лампы внутри ценоза – 24%) и сильный interlighting (верхние лампы покрывают 52%, лампы внутри ценоза – 48% света). Экономическое преимущество досвечивания внутри ценоза имело место только в периоды, когда количество природного света было низким (осенне-зимний и весенний периоды). Применение «interlighting» требует высококвалифицированного менеджмента. Подсчитано, что снижение урожайности на 11% приводит к потере прибыли (делает производство нерентабельным). Шоковое влияние внешних факторов (снижение цены на продукцию, повышение цены на электричество и др.) может сильнее сказаться на технологии, основанной на применении «interlighting», чем на традиционной технологии. Однако даже при 50%-ном изменении этих факторов технология «interlighting» в условиях Финляндии оставалась сравнительно более прибыльной, чем верхнее освещение. Авторы отметили значение географических условий. «Interlighting» более эффективен в северных широтах по сравнению с регионами, расположенными ближе к экватору, где приход солнечной радиации существенно больше.

Таким образом, обобщение имеющихся данных показывает, что низкий уровень естественного освещения в зимних теплицах является основным фактором, ограничивающим продуктивность овощных культур. Оптимизация светового режима с помощью искусственного освещения, применение различных технологий досвечивания требуют экспериментального изучения реакции растений на световой фактор в каждом регионе, особенно в северных широтах, относящихся к первой световой зоне.

Глава 3

ТЕПЛИЧНАЯ КУЛЬТУРА ЛИСТОВОГО САЛАТА И НЕКОТОРЫХ ЗЕЛЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Салат – одна из основных зеленных культур, широко используемых населением многих стран. Выращивание разных форм салата в производственных масштабах берет начало во второй половине XIX в. В настоящее время различные виды салата культивируются на всех континентах. Мировое производство салата составляет 22 млн. т, а его посевы занимают свыше 1 млн. га. Лидером по производству салата является Китай, в США сосредоточено 22% мирового производства, Западной Европе – около 13% (Моу, 2008). В Северной Европе значительное количество салатной продукции выращивают в защищенном грунте с применением источников искусственного освещения.

3.1. Биологические особенности салата при выращивании в условиях искусственного освещения

Салат относится к классу двудольных растений, сем. Астровые (*Asteraceae*), или Сложноцветные (*Compositae*). Систематика растений салата неоднократно пересматривалась в процессе изучения рода *Lactuca*, однако в мире до сих пор нет общепринятой его классификации.

Карл Линней упорядочил многообразие известных форм и выделил две разновидности: салат листовой (*Lactuca sativa*) и салат кочанный (*Lactuca romana*) (цит. по: Моу, 2008). Листья *L. sativa* не образуют кочана, а листья *L. romana* собраны в плотный или рыхлый кочан. Из разновидностей культурного салата наибольшее распространение получил салат листовой (*L. sativa* var. *crispa*). Отличительной особенностью возделываемых сортов *L. sativa* является то, что растения собраны в лежащую, полуприподнятую или прямо вверх направленную розетку. Пластинка листа цельная или в разной степени рассеченная, с гладким цельным или зубчато-надрезанным и курчавым краем. Форма и величина листовой пластинки очень разнообразны, как и окраска листьев, изменяющаяся от свет-

ло- до темно-зеленой с различными оттенками (серо-желто-зеленая, с красновато-бурой или коричневой пигментацией).

Ценность салата в том, что он пригоден для использования в пищу в сыром виде, поэтому все содержащиеся в нем питательные вещества полностью сохраняются. Хорошо известны целебные и диетические свойства салата. Он характеризуется сравнительно высоким накоплением желтых пигментов – каротиноидов, проявляющих антиоксидантные свойства. Биомасса салата содержит витамины, растворимые сахара, органические кислоты и необходимые для поддержания здоровья человека микроэлементы. По данным (Vidrih et al., 2009), среди зеленных овощей листовая салат, наряду с арагоном и рукколой, характеризуется высоким содержанием α -линоленовой кислоты (C18:3). Потребление 100 г салата покрывает 13% суточной потребности человека в этой предельно ненасыщенной жирной кислоте, важной для поддержания здоровья.

Салат отличается сравнительно быстрым ростом листовой поверхности и накоплением надземной биомассы, представляющей хозяйственный интерес. Однако, по сравнению с такими овощными культурами, как лук и красная свекла, салат характеризуется более низкой эффективностью запасаения углерода в биомассе из-за значительных дыхательных затрат на поддержание листовой поверхности (Tei et al., 1996). Возможно, из-за нарушения баланса между дыханием и фотосинтезом ценоз *L. sativa* хуже адаптировался к снижению освещенности в опытах, моделирующих затенение (Frantz, Bugbee, 2005). Интерес к салату в последнее время возрос и как к культуре, пригодной для выращивания в замкнутых системах жизнеобеспечения (Ушакова и др., 2010; Головки и др., 2010). Разработаны модели, позволяющие предсказывать эффекты света, температуры и уровня азотного питания на рост и состав биомассы салата (van Herten, 1994; Seginer, 2003). Показано, что скорость роста салата зависит от соотношения азотного питания и освещенности (de Pinheiro Henriques, Marcelis, 2000). Чем выше уровень азотного питания, тем больше света необходимо растениям, в противном случае неиспользованный в ростовых процессах азот будет накапливаться в продукции в нитратной форме. Важно отметить также значение концентрации CO_2 в среде для регуляции фотосинтеза и роста растений салата. По данным работы (Gerbaud, Andre, 1999), культивирование летних растений салата при повышенной (1950 ppm) в шесть раз по сравнению с атмосферной концентрации CO_2 приводило к снижению скорости фотосинтеза и уменьшению площади листьев на 25%, тогда как реакция зимних растений была положительной, по-видимому, вследствие их исходно более низкой фотосинтетической активности.

Скорость накопления биомассы фитоценоза связана с поглощением ФАР. Листовой салат и другие зеленные культуры в условиях теплицы образуют низкорослые посевы, поглощающие до 90% падающего света (Тихомиров и др., 2000). Основная часть радиации поглощается фотосинтетическими пигментами – хлорофиллами и каротиноидами. На длинноволновую область УФ-радиации приходится максимум поглощения фенольных соединений. Поэтому при разработке световых режимов выращивания растений, особенно с применением искусственных источников света, особое значение приобретает выявление закономерностей изменения продуктивности и качества урожая в зависимости от уровня освещения и спектрального состава излучения.

Однако, несмотря на необходимость расширения площадей закрытого грунта, вопросы оптимизации светового режима выращивания салата и других зеленных культур в зимних теплицах на Севере остаются до конца не разработанными.

3.2. Культивирование салата и других листовых овощных растений в условиях зимних теплиц

В опытах, проведенных на базе производственных теплиц в ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар), использовали девять видов широко распространенных зеленных культур: салат листовой (*Lactuca sativa* L., сорта Лифли и Афицион), базилик (*Ocimum basilicum* L., сорт Рубин), руккола (*Eruca sativa* Mill. или *Brassica eruca* L., сорт Рокет), кинза или кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L., сорт Бородинский), укроп пахучий (*Anethum graveolens* L. сорт Гренадер), петрушка кудрявая (*Petroselinum crispum* Mill., сорт Итальянский гигант), сельдерей (*Apium graveolens* L., сорт Афина), мята перечная (*Mentha piperita*) и шнит-лук (*Allium schoenoprasum* L.). Модельной культурой служили растения салата листового.

Растения выращивали в пластиковых горшочках диаметром и высотой 5 см, дно которых имеет специальную перфорацию. Горшочки устанавливали на проточных лотках с уклоном 2%. Для получения высококачественной продукции зеленных культур использовали заправленный верховой торф Класманн-Дейлманн ТС1 фирмы «Klasmann-Deilmann» (Литва) в смеси с агроперлитом в соотношении 1.6:1.0. Для выращивания салата использовали верховой торф низкой степени разложения собственной заготовки с добавлением 10% опилок, доведенный до pH 5.5. При совместном использовании линии под салат и зеленные применяли верховой торф фракции 0-20 мм торфоперерабатывающего предприятия «Пельгорское-М»

(Россия). При приготовлении рассадной смеси для обогащения элементами питания применяли заправку удобрением «Акварин-12» (1 кг на 1 м³ торфяного субстрата).

Рассаду салата и зеленных культур выращивали в рассадном отделении. Посев семян производили сеялкой для посева в кассеты **Urbinati Nursery Technology (Италия): салата – по три, других зеленных культур по 80-100 шт. на горшочек.** После посева плотно установленные кассеты увлажняли через систему мелкодисперсного капельного полива. Растения салата в рассадном отделении выращивали 14 сут., другие культуры – 16-18 сут. Сосуды с рассадой устанавливали на культивационные желоба, расположенные на откатных столах. На 1 м² площади стола размещали 44 сосуда с растениями салата или 82 сосуда с растениями других видов зеленных овощей.

При выращивании рассады поливы производили чистой водой с рН 5.5-6.0. Минеральные элементы поступали из питательного раствора следующего состава (мг/л): N – 181, P – 44, K – 351, Ca – 96, Mg – 40; рН – 6.0-6.2. Для стимулирования роста корневой системы раз в неделю в циркулирующий питательный раствор добавляли препарат «Нарцисс-С». Температуру питательного раствора поддерживали в пределах 16-18 °С. Относительная влажность воздуха в теплице варьировала в зависимости от времени года в пределах от 40 до 75%. Концентрация СО₂ в весенне-летний период составляла 380-400 ppm, в зимний находилась на уровне 300-340 ppm. Для защиты растений от вредителей использовали энтомофаги.

Полный цикл выращивания салата от всходов до уборки урожая в зимнее время составлял в среднем 40 дней. При этом 14 дней растения находились в рассадном отделении, а остальное время на культивационных столах.

В качестве источника света использовали натриевые лампы ДНаЗ-400Вт/REFLUX (Россия) или ртутные лампы ДРиЗ-400Вт/REFLUX (Россия). Как уже отмечалось, свет натриевых ламп обогащен «желтыми», ртутных – «синими» лучами (рис. 2). Освещенность варьировали установкой различного количества ламп в ряду над столом.

В декабре-январе 2016-2017 гг. был проведен опыт по выращиванию салата при досвечивании светодиодными лампами «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversaLED» (производитель ООО «ГК «СЭТ», г. Пермь), которые благодаря комплексу светоизлучательных диодов характеризуются узкополосным спектром с выделенными пиками излучения при 445, 633, 668 и 739 нм.

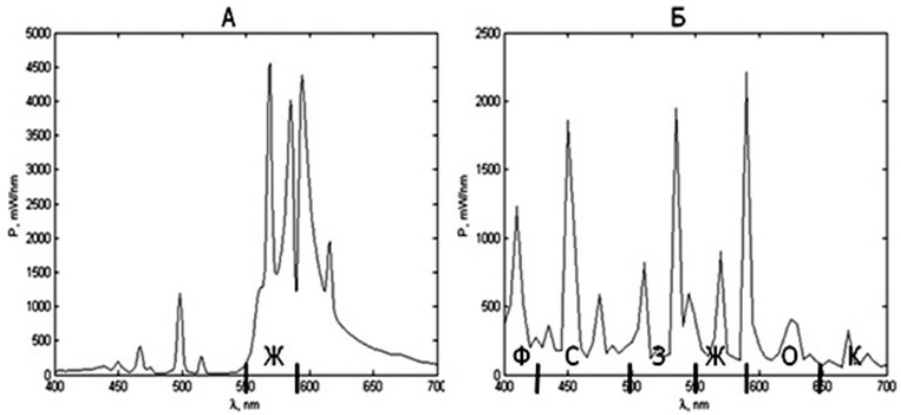


Рис. 2. Спектральная характеристика источников света: натриевые лампы ДНаЗ-400Вт/REFLUX (А) и ртутные лампы ДРиЗ-400Вт/REFLUX (Б).

3.3. Морфофизиологические и продукционные показатели листового салата при разных режимах искусственного освещения

Листовой салат в условиях теплицы формирует низкорослые посевы высотой 18-25 см, листовую структуру которых можно условно рассматривать как одноярусную. Салатная продукция представляет собой вегетативную массу с высоким содержанием воды, на ее долю приходится около 95%. В данной главе представлены и обобщены результаты опытов по влиянию интенсивности, продолжительности досвечивания и качества света на продукционный процесс и урожайность салата при культивировании в теплицах в зимний период.

3.3.1. Влияние интенсивности светового потока

В опытах по изучению влияния интенсивности освещения на показатели продукционного процесса лампы типа ДНаЗ-400Вт/REFLUX располагали на высоте 1 м в два ряда в количестве шести, восьми и 10 ламп над каждым столом размером 5.5×1.8 (м²) (варианты I, II и III соответственно). Интенсивность ФАР на уровне растений измеряли квантовым датчиком Li-190 SA (LICOR, Inc, США) два-три раза в течение каждого цикла культивирования. Продолжительность искусственного освещения во всех вариантах составляла 16 ч в сутки. Вариант I является типовым для хозяйства (рис. 3). Лампы обеспечивают освещенность на уровне растений, равную 7.5 клк, что эквивалентно 34 Вт/м² или 150 мкмоль/м²с ФАР.

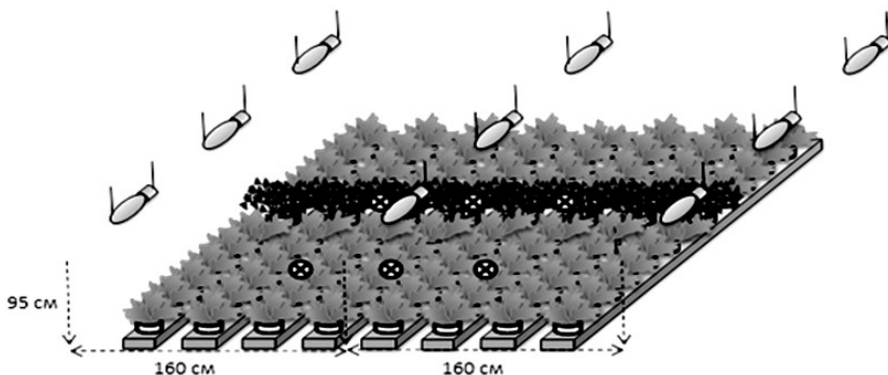


Рис. 3. Типовая схема расположения натриевых ламп (ДНа3-400Вт/REFLUX) на салатной линии. Количество ламп обеспечивает интенсивность ФАР на уровне ценоза, равную 150-160 мкмоль/м²с (около 34 Вт/м²).

Поступление ФАР к растениям прямо зависело от количества используемых источников света: шесть ламп обеспечивали ФАР на уровне растений около 150 мкмоль/м²с, при установке 10 источников растения получали в среднем на 35% больше света (табл. 1). Увеличение количества источников света способствовало более равномерному поступлению ФАР к растениям и не оказывало влияния на температурный и влажностный режим растений.

Листовая поверхность ценоза салата формировалась довольно быстро и к уборке достигала значительных размеров – 10-15 м²/м² (табл. 2). Величина листового индекса (ЛИ) лучше освещенных ценозов была почти на 30% больше. УППЛ (отношение сухой массы листьев к их площади) является важным показателем, характеризующим мощность развития фотосинтетического аппарата растений. Величина УППЛ молодых растений была довольно низкой и во всех вариантах опыта составляла 16 г/м², к уборке она возрастала в 1.6-

Таблица 1

Поступление фотосинтетически активной радиации (ФАР), температура (Т) и относительная влажность воздуха (ОВВ) на уровне посева салата в зависимости от количества источников света

Вариант	Количество ламп	ФАР, Вт/м ²	ФАР, мкмоль/м ² с	Т, °С	ОВВ, %
I	6	34±1	156±6	23±1	51±6
II	8	43±2	198±8	24±2	51±6
III	10	51±2	236±7	23±1	59±3

Таблица 2

**Содержание фотосинтетических пигментов
и структурные параметры листьев салата при разной освещенности**

Вариант	Пигменты, мг/ г сухой массы		Хл а/б	ССК, %	ЛИ, м ² /м ²	УППЛ, г/м ²
	Хл (а+б)	Каротиноиды				
20 дней после всходов (пять дней от начала опыта)						
I	7.93±0.15	2.13±0.07	4.43±0.25	43	1.0±0.04	16±1
II	6.17±0.29	1.82±0.05*	4.71±0.34	37	1.1±0.06	16±1
III	6.93±0.14	1.98±0.05	4.63±0.16	39	0.9±0.06	16±1
34 дня						
I	7.54±0.33	1.87±0.08	3.93±0.10	46	8.6±0.7	18±1
II	7.07±0.29	1.82±0.05	4.01±0.15	45	8.2±0.6	28±1
III	7.25±0.14	1.77±0.07	3.74±0.21	47	9.4±0.5	26±1
43 дня						
I	6.27±0.38	1.32±0.08	3.21±0.09	53	10.1±0.6	29±1
II	7.33±0.53	1.66±0.14	3.49±0.08	47	13.3±1.5	29±1
III	6.48±0.31	1.45±0.09	3.32±0.15	48	14.9±1.1*	25±1

Примечание: ССК – светособирающий комплекс, ЛИ – листовой индекс, УППЛ – удельная поверхностная плотность листа. *Обозначения:* I, II, III – 150, 200, 250 мкмоль/м²с ФАР соответственно, * различия по сравнению с вариантом I статистически значимы на уровне α 0.05.

1.8 раз и достигала 25-29 г/м² (табл. 3). Важно отметить, что с помощью УППЛ растение адаптирует структуру листьев в фитоценозах для эффективного использования световой энергии (Тооминг, 1984). Оптимальная величина УППЛ обеспечивает максимальный газообмен листьев. Величина УППЛ зависит от вида, возраста и условий произрастания растений. Показано, что она варьирует в широких пределах (от 2 до 100 г/м²), положительно коррелирует со скоростью нетто-фотосинтеза и накоплением фитомассы (Беденко, Колмейченко, 2005). Пороговая (минимальная) величина УППЛ для большинства сельскохозяйственных растений составляет 5-8 г/м² (Каллис и др., 1974). У тепличной культуры молодых растений салата сорта Афицион этот показатель был вдвое выше пороговой ве-

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях салата сорта Лифли при различных световых режимах культивирования, мг/г сухой массы

Варианты	Хл (а+б)	Хл а/б	ССК, %	Каротиноиды	Хл/Кар
I	6.22±0.63	2.42±0.29	64	1.26±0.08	4.9±0.3
II	7.89±0.51	3.00±0.41	55	1.81±0.15	4.4±0.2
III	7.29±0.71	3.52±0.10	49	1.76±0.17	4.1±0.2

Примечание: варианты I, II и III соответствуют интенсивности ФАР 150, 200 и 250 мкмоль/м²с.

личины и к уборке урожая возрастал в среднем на 40%. По данным (Tei et al., 1996), величина УППЛ зрелых растений салата сорта Саладин, выращиваемого в апреле-мае на открытых участках овощеводческой научно-исследовательской станции в Англии, составляла около 40 г/м², а ЛИ достигал 13 м²/м². Причем только 50% листовой поверхности получала прямой солнечный свет.

В расчете на единицу сухой биомассы листья салата сорта Афицион содержали хлорофиллов в среднем 6.5-7.7 мг/г (табл. 2). Количество каротиноидов было примерно в четыре раза меньше. Существенных различий в накоплении фотосинтетических пигментов у растений, выращиваемых при разной освещенности, выявлено не было. Следует отметить, что доля хл *b* в фонде зеленых пигментов возрастала по мере роста и развития растений, о чем свидетельствует снижение величины соотношения хл *a*/хл *b* в среднем на 30%. Как известно, весь хл *b* входит в состав светособирающих комплексов фотосистем. Расчеты показали, что доля хлорофиллов, принадлежащих ССК, возрастала в среднем на 20%. При этом величина ССК в варианте с низкой освещенностью была заметно выше, чем в варианте с большей освещенностью.

Интенсивность CO₂-газообмена листьев измеряли непосредственно в месте произрастания растений с помощью портативной фотосинтетической системы ADC LCPPro⁺ (ADC BioScientific Ltd., Англия).

Листья молодых растений салата не отличались по фотосинтетической активности (рис. 4). В области ФАР 150-250 мкмоль/м²с (заданной вариантами опыта) интенсивность видимого фотосинтеза (Фв) листьев составляла в среднем 8-10 мкмоль CO₂/м²с, а в области светового насыщения была в 1.7-2.0 раза выше. С возрастом проявлялось влияние световых условий культивирования на способность листьев ассимилировать CO₂. При высокой освещенности скорость Фв была достоверно выше у листьев растений, культивируемых в лучших световых условиях. Наиболее сильно эти различия проявлялись в области ФАР, насыщающей фотосинтез. Листья растений варианта III были способны ассимилировать CO₂ со скоростью 10-12 мкмоль/м²с, тогда как у листьев растений варианта I величина этого показателя была в 1.7 раза ниже. Эта закономерность сохранялась и в области действующей ФАР, но разница была немного меньше. Следует отметить, что ближе к завершению цикла культивирования скорость Фв листьев салата была почти вдвое ниже, чем у молодых растений.

Судя по наклону начального участка световой кривой Фв ($\text{tg } \alpha = 0.040-0.047$), для восстановления одного моля CO₂ листья молодых

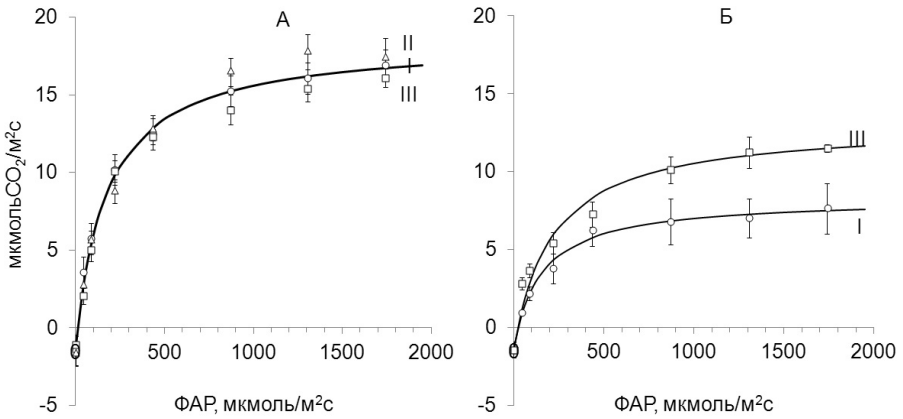


Рис. 4. Зависимость скорости CO₂-газообмена листьев растений салата сорта Афицион от освещенности. Кривые описаны уравнением Михаэлиса-Ментен: $P_n = R_d + aI/(1+b)$, где P_n – **нетто-фотосинтез**, R_d – **скорость темнового дыхания**, I – **интенсивность радиации**, a и b – константы. А – обобщенная кривая для листьев молодых растений, Б – кривые для листьев зрелых растений, культивируемых при интенсивности ФАР 150 (I), 200 (II) и 250 (III) мкмоль/м²с.

растений салата использовали в среднем 20 моль квантов ФАР, тогда как листьям зрелых растений ($tg = 0.020-0.023$) требовалось вдвое больше световой энергии. Это обусловлено онтогенетическими факторами снижения фотосинтетической активности листьев (Мокроносков, 1981) и изменением соотношения фотосинтеза и дыхания. Скорость темнового дыхания (Дт) листьев варьировала в диапазоне 1.1-1.8 мкмоль CO₂/м²с. С возрастом растений величина соотношения Дт/Фв возрастала сильнее у слабо освещенных растений, главным образом, из-за снижения Фв. Доля дыхания от Фв в листьях молодых растений составляла 20-25%, зрелых – 30-40%. При этом у растений, получавших меньше света, эта закономерность проявлялась сильнее, чем у растений, выращенных при более высоком световом довольствии.

Х.Г. Тооминг (1984), анализируя световую кривую CO₂-газообмена листьев, выделил и обосновал две кардинальные точки: 1) интенсивность радиации приспособления (ИРП) – плотность потока ФАР, при которой КПД газообмена максимален, и 2) интенсивность газообмена листа в ценозе при ИРП. Для листьев салата величина ИРП составляла 60-80 мкмоль/м²с ФАР, что в 2.5-3.5 раза ниже ФАР на уровне ценоза. С возрастом растений ИРП листьев увеличивалась на 25-30%. У молодых растений скорость Фв листьев при ИРП составляла около 4 мкмоль CO₂/м²с, что в три-четыре раза ни-

же, чем при насыщающей Фв освещенности, и в два раза ниже, чем при ФАР в эксперименте. У листьев зрелых растений скорость Фв при ИРП была в 1.3-1.5 раз ниже, чем у молодых. Скорость Фв листьев растений варианта I была ниже по сравнению с листьями варианта III как при ИРП, так и при интенсивности ФАР в эксперименте.

Увеличение освещенности оказывало положительный эффект на относительную скорость роста (ОСР) растений и продуктивность ценоза салата (рис. 5).

Расчеты показали, что за цикл выращивания на столах (28 суток) к ценозам поступило от 290 (вариант I) до 430 (вариант III) моль ФАР/м². Условия освещения не оказали заметного влияния на эффективность запасаения световой энергии в биомассе растений (количество образовавшейся биомассы в расчете на единицу световой энергии). Величина коэффициента эффективности составляла (г сухой массы/моль ФАР): 0.84 ± 0.05 (вариант I), 0.88 ± 0.06 (вариант II) и 0.88 ± 0.05 (вариант III), что эквивалентно 4.1, 4.5 и 4.5 г сухой массы/МДж соответственно.

По данным литературы (Wheeler et al., 2008), коэффициент эффективности для высокопродуктивной культуры салата в коммерческих теплицах составлял 0.8 г сухой массы/моль ФАР при среднем приросте сухой биомассы около 13 г/м². В полевых опы-

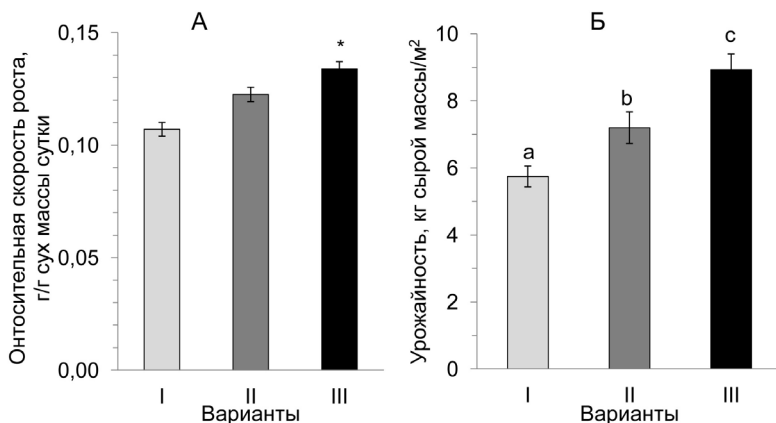


Рис. 5. Относительная скорость роста (А) и урожайность сорта Афицион (Б), культивируемого при различной освещенности. Обозначения: I, II и III – интенсивность ФАР 150, 200 и 250 мкмоль/м² с соответственно; * различия статистически значимы по сравнению с I; символы a, b, c обозначают однородность групп данных и статистическую значимость различий между вариантами опыта (ANOVA, тест Дункана, Р-величина < 0.05).

тах коэффициент эффективности запасаения световой энергии ценозами салата составлял 2.4 г сухой массы/МДж (Tei et al., 1996). В замкнутых биологических системах эти показатели были вдвое ниже (Wheeler et al., 2008).

Полученные нами результаты свидетельствуют о высокой эффективности запасаения энергии в биомассе салата сорта Афицион. Создание оптимальных световых условий обеспечивает высокие темпы накопления сухой биомассы растений в производственных теплицах. Сокращение цикла культивирования салата позволяет избежать значительных дыхательных затрат на поддержание уже созданной биомассы.

Сходные результаты были получены нами и в трех вариантах опыта на растениях салата сорта Лифли. У 30-дневных растений содержание хлорофиллов в листьях в среднем составляло около 7 мг/г сухой массы, а фонд каротиноидов был в 4.5 раза меньше (табл. 3). С увеличением освещенности наблюдалось уменьшение доли хлорофиллов, входящих в состав светособирающих комплексов. Величина ССК листьев растений варианта I была в 1.3 раза больше по сравнению с вариантом III.

Растения салата, выращиваемые при повышенной освещенности, характеризовались большей фотосинтетической активностью (рис. 6). Скорость фотосинтеза листьев 30-дневных растений варианта III была на 40% выше по сравнению с листьями растений стандартного варианта I и составляла около 8 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. По данным литературы, скорость Фв зрелых листьев салата варьирует от 10 до 16 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (Santos et al., 2010), но может достигать 20

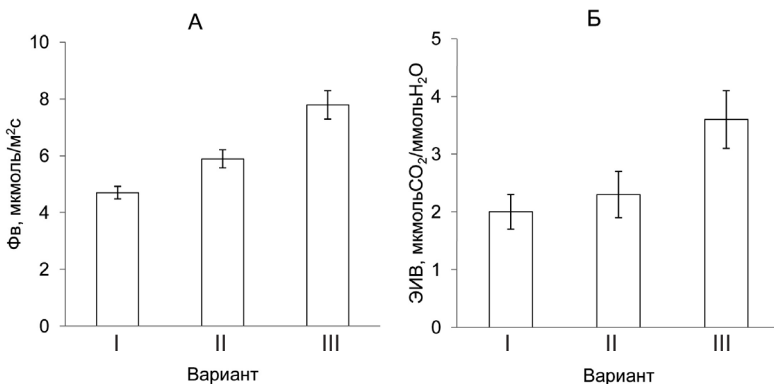


Рис. 6. Скорость видимого фотосинтеза (А) и эффективность использования воды (Б) в листьях салата сорта Лифли, культивируемого при интенсивности ФАР 150 (I), 200 (II) и 250 (III) мкмоль/м²с.

мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (He et al., 2001). При культивировании салата на желобах, в которых непрерывно циркулирует вода с растворенными минеральными солями, водный обмен растений практически не лимитирован. Интенсивность транспирации во всех вариантах опыта была довольно высокой и составляла в среднем 3 мкмоль $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$. Условия освещения повлияли на эффективность использования воды растениями (ЭИВ, отношение скорости ассимиляции к скорости транспирации). Выявлено увеличение этого показателя от 2.0 до 3.5 мкмоль $\text{CO}_2/\text{ммоль H}_2\text{O}$ с улучшением условий освещения растений. Увеличение ЭИВ при высокой освещенности коррелировало с повышением скорости Фв листьев салата. Поскольку с током воды в растения поступают минеральные элементы, то повышение ЭИВ косвенно может свидетельствовать и об увеличении эффективности усвоения минеральных элементов из питательного раствора при оптимизации световой среды выращивания. Это предположение также подтверждается данными о накоплении биомассы. Полученные нами величины ЭИВ листьев салата, культивируемого в условиях закрытого грунта, сопоставимы с данными, приводимыми в работе (Santos et al., 2010).

Растения салата сорта Лифли и Афицион имели сходную динамику накопления биомассы. Сырая надземная масса 30-дневной культуры салата сорта Лифли составляла 40-55 г/сосуд или 13-18 г/растение (табл. 4). Масса подземной части не превышала 8% массы целого растения. При уборке (40-дневные растения) доля ее снижалась до 5%. Следует отметить, что в течение последних 10 дней культивирования (до уборки) растения накапливали больше биомассы, чем за весь предыдущий (30-дневный) период (рис. 7). С началом интенсивных приростов эффект освещенности проявлялся сильнее. Растения, получавшие больше света, росли и накапливали биомассу быстрее. Урожай надземной сырой массы растений при высокой освещенности (вариант III) был почти вдвое больше по сравнению со стандартным режимом освещения (вариант I) и составил около 9 кг/м². Заметно (в 1.4 раза) увеличилась продуктивность

Таблица 4

**Продуктивность 30-дневной культуры салата сорта Лифли
в зимний период (январь-февраль)**

Вариант	Сырая масса, г/сосуд		Сухая масса, г/сосуд
	Надземная	Подземная	Надземная
I	38.8±4.8	3.1±0.7	1.7±0.2
II	52.5±4.5	4.6±0.8	2.1±0.2
III	58.8±6.0	5.4±1.1	2.6±0.2

Обозначения: I, II, III – 150, 200 и 250 мкмоль/м²с ФАР соответственно.

растений и в варианте II. Следует отметить, что повышение продуктивности салата было обусловлено увеличением роста листовой пластинки в ширину при более или менее постоянной длине листа.

Таким образом, в опытах с культивированием растений под лампами типа ДНаЗ нами выявлено влияние освещенности на фотосинтетическую деятельность и урожайность тепличной культуры двух сортов листового салата (Афицион и Лифли). Увеличение интенсивности ФАР давало заметную прибавку в урожае. Повышение интенсивности освещения позволяет получить стандартное количество биомассы (в среднем 5 кг/м^2), сократив продолжительность культивирования на столах почти на неделю.

3.2.2. Влияние продолжительности освещения на продукционный процесс салата

Поступление света к фитоценозу можно варьировать путем изменения продолжительности досвечивания. Фотопериод (продолжительность дня) является одним из основных факторов регуляции роста и развития растений. Мы исследовали показатели продукционного процесса растений салата сорта Лифли, выращиваемых при интенсивности ФАР $150 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ и продолжительности фотопериода 16 или 24 ч. Опыты проводили в декабре и январе, когда продолжительность светового дня составляла около 6 ч.

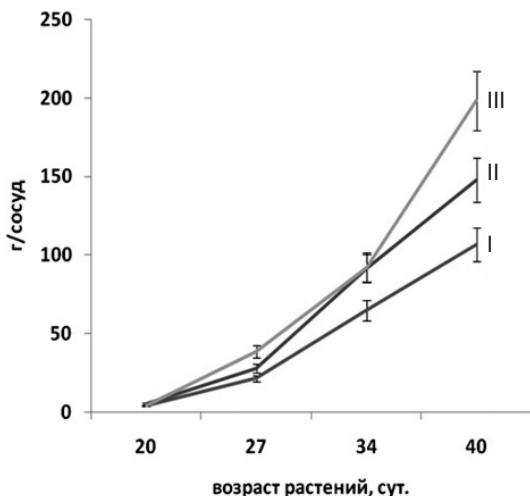


Рис. 7. Динамика накопления сырой надземной массы растениями салата сорта Лифли, культивируемых в зимний период при интенсивности ФАР 150 (I), 200 (II) и 250 (III) мкмоль/м²с.

Круглосуточное освещение салата лампами ДНаЗ-400Вт/REFLUX не оказало существенного влияния на функциональные характеристики листьев растений. При увеличении продолжительности освещения от 16 до 24 ч/сут. отмечена тенденция к снижению накопления хлорофиллов и уменьшению доли хлорофиллов, принадлежащих светособирающим комплексам (табл. 5). Скорость фотосинтеза листьев 30-дневных растений составля-

Таблица 5

Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сухой массы) в листьях салата сорта Лифли, культивируемого при разной продолжительности освещения и интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с

Вариант	Фотопериод, ч	Хл (a+b)	Хл a/b	ССК, %	Каротиноиды	Хл/Кар
1	16	6.22±0.63	6.22±0.63	64	1.26±0.08	4.9±0.3
2	24	5.33±0.58	7.89±0.51	59	1.01±0.13	5.3±0.2

ла в среднем 12-15 мкмоль CO₂/м²с, а интенсивность транспирации не превышала 2.5 ммоль H₂O/м²с.

Анализ динамики накопления биомассы показал, что в первые две недели выращивания на столах при разной продолжительности освещения достоверной разницы между вариантами опыта не отмечалось (рис. 8). В последующем растения, получавшие больше света, росли и накапливали биомассу быстрее. К уборке урожая масса растений при круглосуточном освещении была в среднем на 40% выше по сравнению с растениями, получавшими свет от ламп в течение 16 ч. При круглосуточном освещении урожайность культуры в декабре составляла около 180 г сырой массы/сосуд или 7.9 кг/м², в январе была чуть выше – 8.6 кг/м², тогда как при стандартной продолжительности освещения (16 ч) – не превышала 5.5 кг/м². По накоплению биомассы освещаемые круглосуточно растения не уступали растениям, культивируемым при высокой освещенности продолжительностью 16 ч в сутки.

Расчеты показали, что во время культивирования на столах в зависимости от продолжительности освещения к фитоценозам поступало ФАР в количестве от 40 до 60 МДж/м². Условия освещения повлияли на урожайность, но не на эффективность запасаения световой энергии в биомассе растений. Величина коэффициента эффективности составляла 6.2 и 6.9 г сухой массы/МДж соответственно для вариантов с продолжительностью освеще-

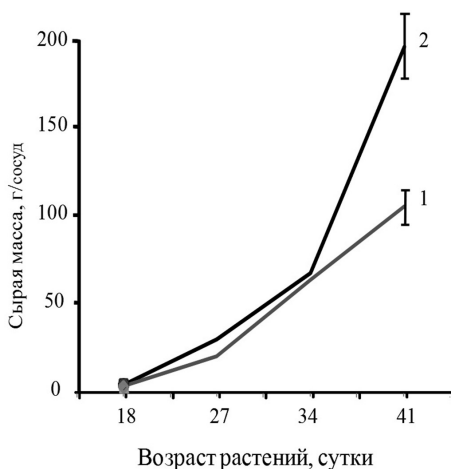


Рис. 8. Динамика накопления сырой биомассы салата сорта Лифли (г/сосуд), культивируемых под натриевыми лампами при продолжительности освещения 16 (1) и 24 (2) ч в сутки и ФАР 150 мкмоль/м²с.

ния 24 и 16 ч. Необходимо также отметить, что увеличение длительности освещения, а следовательно и поступления ФАР к растениям, приводило к повышению выхода продукции первой и второй категории качества.

Таким образом, увеличение продолжительности освещения с 16 до 24 ч при интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с компенсировало недостаток света для формирования урожая и позволяло получить больше качественной продукции.

3.3.3. Влияние спектрального состава света на морфофизиологические и продукционные показатели зеленных растений

Максимумы поглощения фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) лежат в области 400-700 нм. Однако биологическое действие ФАР не ограничивается только фотосинтезом. Как известно, лучи сине-фиолетовой части спектра оказывают заметное влияние на скорость роста, развития и направленность метаболизма растений.

Мы провели сравнительное изучение некоторых показателей продукционного процесса зеленных растений, выращиваемых под натриевыми лампами типа ДНаЗ-400Вт/REFLUX и ртутными лампами типа ДриЗ-400Вт/REFLUX, которые имеют максимумы излучения при 550-600 и 450 нм соответственно. Интенсивность потока ФАР к растениям составляла около 150 мкмоль/м²с.

Данные табл. 6 свидетельствуют о слабой реакции пигментного фонда растений на обогащение света синими лучами. Не выявлено достоверных изменений в содержании и соотношении хлорофиллов и каротиноидов у культур и сортов, существенно отличающихся по накоплению пигментов. Так, листья листового салата сорта Грандо содержали в три раза больше хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с сортом Афицион. Однако влияния спектрального состава света на пигментный фонд у обоих сортов не отмечено. Среди исследованных культур наибольшее количество пигментов имели листья укропа, петрушки, сельдерея и кинзы. Пигментный аппарат этих культур либо не реагировал на различия в спектральном составе света, либо проявлялась тенденция к повышению содержания пигментов (кинза, руккола) под действием ртутных ламп.

При выращивании под натриевыми лампами урожайность зеленных культур составляла от 1.0 (базилик, укроп) до 6-7 кг/м² (щавель, салат). Использование для освещения ртутных ламп в большинстве случаев приводило к снижению продуктивности растений (табл. 7).

Отрицательный эффект был наиболее выражен у растений рукколы и салата. Урожайность салата сорта Грандо снижалась почти

Таблица 6

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях зеленных культур, выращиваемых под ртутными (ДРиЗ) и натриевыми (ДНаЗ) лампами (мг/г сырой массы)

Культура	Вариант	Хл (а+б)	Каротиноиды	Хл а/б
Укроп	ДРиЗ	2.07 ± 0.07	0.44 ± 0.02	4.1 ± 0.5
	ДНаЗ	1.91 ± 0.08	0.42 ± 0.02	4.0 ± 0.1
Сельдерей	ДРиЗ	1.79 ± 0.09	0.34 ± 0.02	3.3 ± 0.1
	ДНаЗ	1.79 ± 0.13	0.38 ± 0.03	3.7 ± 0.1
Кинза	ДРиЗ	1.98 ± 0.13	0.43 ± 0.01	4.0 ± 0.7
	ДНаЗ	1.63 ± 0.06	0.38 ± 0.01	4.2 ± 0.3
Петрушка	ДРиЗ	1.98 ± 0.11	0.39 ± 0.02	3.4 ± 0.1
	ДНаЗ	1.98 ± 0.15	0.43 ± 0.04	3.5 ± 0.1
Бasilik	ДРиЗ	1.21 ± 0.04	0.25 ± 0.01	3.3 ± 0.1
	ДНаЗ	1.15 ± 0.03	0.23 ± 0.01	3.2 ± 0.3
Руккола	ДРиЗ	1.32 ± 0.06	0.19 ± 0.01	2.9 ± 0.3
	ДНаЗ	1.00 ± 0.04	0.18 ± 0.02	3.5 ± 0.1
Кресс-салат	ДРиЗ	1.38 ± 0.05	0.23 ± 0.04	3.7 ± 0.3
	ДНаЗ	1.45 ± 0.04	0.31 ± 0.01	5.0 ± 0.1
Щавель	ДРиЗ	0.93 ± 0.01	0.18 ± 0.01	3.7 ± 0.5
	ДНаЗ	1.00 ± 0.03	0.19 ± 0.01	3.1 ± 0.4
Салат Афицион	ДРиЗ	0.34 ± 0.02	0.08 ± 0.00	3.5 ± 0.2
	ДНаЗ	0.35 ± 0.04	0.08 ± 0.01	4.5 ± 0.7
Салат Грандо	ДРиЗ	1.31 ± 0.02	0.26 ± 0.01	3.3 ± 0.1
	ДНаЗ	1.25 ± 0.06	0.26 ± 0.01	3.5 ± 0.1

на 40%. В наших опытах доля синих лучей в общем потоке ФАР от ламп типа ДРиЗ составляла примерно 35-40%. Наилучшие результаты были получены в опытах на салате при добавлении к красному свету синего в соотношении 0.9:0.1 (Urbonavičiūtė et al., 2007). По имеющимся в литературе сведениям, синий свет влияет на гормональный баланс растений, способствует накоплению ингибиторов роста (Протасова, 1987). Торможение роста листовой поверхности полезно для растений, формирующих запасующие органы, например, редиса. У зеленных культур хозяйственно-полезной является

Таблица 7

Урожайность зеленных культур при выращивании под ртутными (ДРиЗ) и натриевыми (ДНаЗ) лампами

Культура	Сырая надземная биомасса, кг/м ²	
	ДРиЗ	ДНаЗ
Сельдерей	2.64	2.27
Петрушка	1.67	2.24
Руккола	2.34	3.68
Укроп	1.01	1.16
Кресс салат	4.19	4.76
Салат Афицион	4.98	6.90
Салат Грандо	3.81	6.54
Бasilik	1.32	1.55
Кинза	2.32	2.37
Щавель	6.38	6.41

ся вся надземная биомасса, представленная в основном листьями. Полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что усиленный режим досвечивания синими лампами зеленных культур нецелесообразен вследствие подавления накопления полезной биомассы.

Таким образом, культивирование растений под ртутными лампами, свет которых обогащен синими лучами, не оказало положительного действия на формирование продуктивности и приводило к снижению урожайности некоторых культур, особенно салата.

3.4. Биохимический состав и пищевая ценность биомассы зеленных растений защищенного грунта в зимний период

Важной характеристикой зеленных растений, культивируемых в защищенном грунте в зимних условиях, является пищевая ценность получаемой свежей массы, что существенно для жителей северных регионов. Зеленные растения являются сравнительно дешевым источником большой группы биологически активных соединений, положительно воздействующих на процессы жизнедеятельности человека. Тем не менее, в структуре валовой продукции овощеводства в России зеленные культуры все еще занимают незначительную долю (Андреев, 2003; Малхасян, 2007). Причинами ограниченного выращивания зеленных культур являются узкий ассортимент листовых зеленных овощей, консерватизм культуры питания, недостаток информации о пищевых и лечебных свойствах разных видов и сортов. Чтобы восполнить этот пробел, нами был проведен анализ содержания биологически полезных веществ в биомассе зеленных растений, культивируемых в условиях защищенного грунта в зимнее время.

Количество ФАР, поступающей к растениям в условиях закрытого грунта влияет на синтез органических веществ, рост и накопление биомассы. Основным продуктом фотосинтеза являются углеводы. Они играют роль исходного материала в пластическом и энергетическом обмене всех растительных тканей. Результаты исследований показали, что освещенность не оказала существенного влияния на накопление углеводов в надземной части салата. Во всех вариантах опыта с сортом Афицион содержание углеводов составляло около 120 мг/г сухой массы, что эквивалентно 0.7 г/100 г сырой массы (рис. 9А). Это сопоставимо с величинами, приводимыми в работе (Urbonavičiūtė et al., 2007).

В составе растворимых сахаров у салата преобладали моносахара (в среднем 70%) – рибоза, фруктоза, глюкоза. Дисахара составляли от 16 до 28% фонда растворимых углеводов и были представлены преимущественно сахарозой. На долю олигосахаров (раффиноза, мелибиоза) приходилось 6-9%. Известно, что сахароза является основным транспортным углеводом, а в форме олигосахаров осуществляется запасание углерода. Моносахара – рибоза, фруктоза, глюкоза – являются исходными соединениями для многих биосинтезов и субстратом для дыхания.

Хотя улучшение световых условий культивирования не отразилось заметно на сумме сахаров, изменялось соотношение разных классов сахаров. У растений, получающих больше света, снижалось содержание моносахаров и увеличивалось количество ди- и олигосахаров (рис. 9Б). Величина соотношения моно-/дисахара составляла 4.6 и 2.2 в листьях растений салата, культивируемых при ФАР 150 и 250 мкмоль/м²с соответственно.

По содержанию растворимых сахаров салат занимает промежуточную позицию среди других исследованных зеленных культур (табл. 8). Наибольшее количество растворимых углеводов содержалось в биомассе кинзы, наименьшее – в биомассе базилика. У всех культур, за исключением кинзы, в пуле сахаров доминировали моносахара (65-90%), у кинзы преобладали дисахара (70%).

Несмотря на углеводную направленность метаболизма, зеленные культуры являются важным источником азотсодержащих соединений. Содержание общего азота в сухой биомассе зеленных

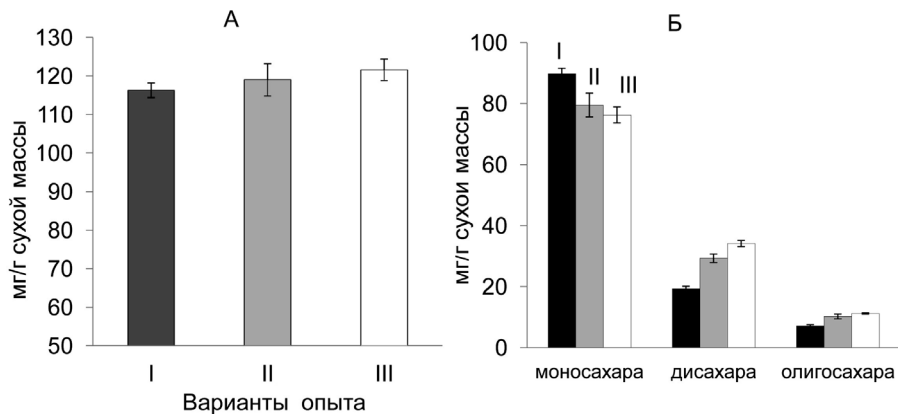


Рис. 9. Суммарное содержание растворимых сахаров (А) и отдельных классов сахаров (Б) в надземной части салата сорта Афицион, культивируемого при интенсивности ФАР 150 (I), 200 (II), 250 (III) мкмоль/м²с.

Таблица 8

Содержание растворимых углеводов в биомассе зеленных культур

Вид	Моносахариды	Дисахариды	Трисахариды	Сумма углеводов
	мг/г сырой массы			
Салат Афицион	6.1±0.4	1.4±0.2	Отсутствуют	7.5±0.5
Лук	3.4±0.4	1.7±0.2	Отсутствуют	5.1±0.5
Руккола	7.1±0.9	0.7±0.1	Отсутствуют	7.8±0.9
Кинза	8.4±0.7	21.1±0.7	0.8±0.2	30.3±1.2
Бasilик	1.6±0.2	0.20±0.02	Отсутствуют	1.8±0.2
мг/г сухой массы				
Салат Афицион	93.2±6.2	21.8±3.1	Отсутствуют	115.1±8.7
Лук	46.3±5.1	23.4±2.2	Отсутствуют	69.8±6.2
Руккола	71.7±10.1	6.8±0.7	Отсутствуют	78.6±9.4
Кинза	71.9±6.3	179.9±5.5	7.2±1.6	259.1±10.2
Бasilик	24.0±3.3	2.9±0.3	Отсутствуют	27.0±3.1

культур составляло 3-4%. Основная его часть (40-70%) была представлена азотом аминокислот.

В составе белков надземной массы зеленных культур выявлено 17 аминокислот (табл. 9). Наибольшим накоплением аминокислот характеризовался шнит-лук, существенно меньше аминокислот содержалось в биомассе базилика и кинзы. Содержание незаменимых аминокислот составляло 44-49% от суммы всех аминокислот. В наибольшем количестве в надземной массе зеленных культур обнаружены дикарбоновые (аспарагиновая, глутаминовая) и моноаминокарбоновые (лейцин, изолейцин, глицин, валин, аланин) кислоты, в сумме составляющие 57-66% всех аминокислот. Наиболее богата дикарбоновыми кислотами надземная масса рукколы (36%), моноаминокарбоновыми (лейцин, изолейцин, глицин, валин, аланин) – базилика (36%). Интересно отметить, что руккола отличалась более высоким, в два раза по сравнению с другими культурами, содержанием пролина.

В опытах с растениями салата сорта Афицион показано, что условия светового режима не оказали существенного влияния на содержание аминокислот в биомассе (табл. 10). Содержание аминокислот в единице сухой массы составляло 14-16%, а в пересчете на сырую массу – менее 1%.

Биомасса зеленных растений содержит необходимые для жизнедеятельности человека макро- и микроэлементы (табл. 11). Среди макроэлементов превалировал калий, микроэлементов – железо и марганец. Следует отметить богатство биомассы кальцием, цинком и бором.

Таблица 9

Содержание белковых аминокислот в надземной части зеленных культур, мг/г сухой массы

Аминокислота	Салат	Руккола	Шнит-лук	Мята	Базилик	Кинза
Аспаргиновая	19.9±3.2	17.8±2.8	22.5±3.6	20.6±3.2	15.7±2.5	16.7±2.7
Треонин	10.4±1.6	9.4±1.5	11.5±1.8	10.0±1.6	7.7±1.2	8.0±1.2
Серин	9.5±1.4	9.9±1.4	11.2±1.6	10.0±1.4	7.6±1.1	8.3±1.2
Глутаминовая	31.2±4.1	32.7±4.2	42.1±5.5	28.0±3.6	19.7±2.6	22.0±2.9
Пролин	9.7±3.0	16.7±5.2	10.4±3.2	9.4±2.9	7.4±2.2	6.5±2.0
Глицин	11.6±1.7	10.6±1.6	13.0±1.9	11.7±1.8	9.6±1.4	9.2±1.4
Аланин	13.6±2.6	13.5±2.6	18.9±3.6	14.3±2.7	11.2±2.1	11.2±2.1
Цистин	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы
Валин	12.5±1.7	11.7±1.6	13.8±1.9	12.8±1.8	10.5±1.5	10.1±1.4
Метионин	Следы	Следы	1.0	Следы	0.5	0.2
Изолейцин	9.4±1.0	8.2±0.9	11.0±1.2	9.2±1.0	8.0±0.9	7.4±0.8
Лейцин	17.8±2.3	14.9±1.9	19.3±2.5	18.5±2.3	15.4±1.9	14.8±1.9
Тирозин	13.7±2.4	13.1±2.3	11.6±2.0	8.5±1.5	4.9±0.9	10.7±1.9
Фенилаланин	9.8±1.5	8.4±1.3	12.0±1.9	10.2±1.6	10.4±1.6	8.7±1.3
Гистидин	3.9±0.7	3.8±0.7	5.1±0.9	3.6±0.6	3.3±0.6	3.8±0.7
Лизин	11.7±1.9	14.0±2.3	17.4±2.8	13.6±2.2	10.1±1.6	11.8±1.9
Аргинин	10.3±1.9	10.1±1.9	13.3±2.6	10.1±1.9	7.7±1.5	9.3±1.8
Сумма аминокислот	195.0±8.7	194.8±9.4	234.1±10.5	190.5±8.3	149.7±6.5	158.7±6.9

Нами не выявлено количественных и качественных изменений в составе биомассы растений салата сорта Афицион, культивируемых при трех уровнях освещенности в зимний период (табл. 12). Однако наблюдалась тенденция уменьшения концентрации макро- и микроэлементов на фоне незначительного повышения концентрации углерода при улучшении световой среды. Скорее всего, это связано с проявлением «эффекта разбавления» при повышении накопления биомассы. Как было показано, повышение интенсивности ФАР приводило к увеличению урожайности салата на 30-35%, что приводило к увеличению потребления растениями минеральных элементов. Вынос азота, калия, фосфора и кальция с урожаем при интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с составлял около 15, 30, 3.3 и 4.2 г/м², а при ФАР 250 мкмоль/м²с – 21, 36, 3.8 и 4.9 г/м² соответственно.

Растения и продукты их переработки являются незаменимым источником антиоксидантов в диете человека. К основным классам веществ растительного происхождения, проявляющих антиоксидантную активность, относят токоферолы, каротиноиды, аскорбиновую и липоевую кислоты, а также большое количество веществ, объединенных под общим названием растительные фенолы (Зенков и

Таблица 10

Содержание белковых аминокислот в биомассе салата сорта Афицион, культивируемого при разной интенсивности ФАР, мг/г сухой массы

Аминокислота	Вариант		
	I	II	III
Аспаргиновая	18.6±3.0	21.1±3.4	17.8±2.8
Треонин	7.0±1.1	7.8±1.2	6.5±1
Серин	7.6±1.1	8.4±1.2	7.3±1
Глутаминовая	33±4.3	38.7±5	32.3±4.3
Пролин	7.1±2.2	8.7±2.7	7.4±2.3
Глицин	7.1±1.1	7.9±1.3	6.4±1
Аланин	7.8±1.5	9.8±1.9	8±1.5
Цистин	Следы	0.7	Следы
Валин	6.3±0.9	6.9±1	6.2±0.9
Метионин	Следы	0.2	0.2
Изолейцин	4.5±0.5	5.1±0.6	4.3±0.5
Лейцин	10.2±1.3	11.4±1.5	9.3±1.2
Тирозин	1.7±0.3	1.8±0.4	1.6±0.3
Фенилаланин	5.8±0.9	6.4±1	5.1±0.8
Гистидин	2.3±0.4	2.6±0.5	2.3±0.4
Лизин	12.2±2	13.4±2.1	12.5±2
Аргинин	6.1±1.2	7.5±1.4	6.1±1.2
Сумма аминокислот	137.3±6.2	158.3±7.1	134.0±6.0

Обозначения: I, II и III – интенсивность ФАР 150, 200 и 250 мкмоль/м²с соответственно.

др., 2001, 2003; Vemerris, Nicholson, 2006). Употребление в пищу растений, накапливающих антиоксидантные вещества, является одним из эффективных способов коррекции и профилактики поврежденных биологических структур, вызываемых окислительным стрессом.

Зеленные культуры служат важным источником антиоксидантов, способных нейтрализовать активные формы кислорода и продукты их взаимодействия с органическими молекулами и оксидом азота. Ранее нами было показано, что именно фенольные соединения обуславливают большую часть антиоксидантной составляющей экстрактивных веществ из биомассы зеленных культур (Головкин и др., 2010). Следует добавить, что пищевая ценность растительных фенолов не ограничивается их антиоксидантными свойствами. Они обладают адаптогенной, иммуномодулирующей, гепатопротекторной, противоопухолевой, Р-витаминной активностью и другими терапевтическими свойствами (Зенков и др., 2003).

По содержанию фенолов в надземной массе зеленные культуры располагаются в следующем убывающем порядке: базилик > мята > кинза > руккола > салат > шнит-лук (рис. 10).

Таблица 11

Содержание элементов минерального питания в сухой надземной массе

Вид	мг/г										мг/кг			
	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Mn	Cu	Mo	B	Co		
Салат	5.9±1.8	71±29	9.8±3	3±0.9	0.6±0.2	17±3	127±37	70±21	1.9±0.4	0.8±0.3	19±6	0.07		
Руккола	4.6±1.4	42±17	22±7	3.5±1	0.9±0.4	13±3	58±16	29±9	1.7±0.3	2.4±1.0	22±7	н/о		
Лук	6.1±1.8	52±21	17±5	3.7±1.2	0.2±0.1	18±4	63±17	30±10	1.9±0.4	1.2±0.5	16±5	н/о		
Мята	7.0±2.1	65±26	13±4	5.9±1.8	0.5±0.2	25±5	92±25	51±15	3.6±0.7	1.6±0.6	17±5	н/о		
Базиллик	10.0±3.0	74±29	19±6	4.7±1.4	0.8±0.3	46±9	125±30	100±30	5.5±1.1	0.7±0.2	25±8	0.06		
Кинза	4.3±1.3	51±21	5±1.5	2.4±0.7	0.5±0.2	22±5	62±17	53±16	3.3±0.7	1.7±0.7	34±10	н/о		

Обозначение: н/о – не обнаружен.

Таблица 12

Элементный состав сухой надземной массы салата сорта Афицион

Вариант	мг/г										мг/кг			
	N	C	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Mn	Al	Cu	B		
I	50±5	336±33	11.0±3.0	100±40	14±4	3.0±0.9	1.2±0.5	20±4	200±60	34±9	2.7±0.5	22±7		
II	50±5	341±35	9.8±2.9	90±40	13±4	3.0±0.9	0.8±0.3	19±4	180±50	48±11	2.3±0.5	17±5		
III	47±5	345±35	8.5±2.6	80±30	11±3	2.6±0.8	0.8±0.3	16±3	120±40	25±6	2.1±0.4	15±4		

Обозначения: I, II и III – интенсивность ФАР 150, 200 и 250 мкмоль/м² соответственно.

Поскольку среди листовых овощных растений наибольшей популярностью у населения пользуется салат, нами была исследована возможность повышения биологической ценности биомассы данной культуры путем кратковременного облучения растений ультрафиолетовой радиацией (Захожий и др., 2015). УФ-излучение (100-400 нм) – электромагнитное излучение, занимающее диапазон между фиолетовой границей видимого излучения и рентгеновским излучением. До поверхности Земли достигает так называемый ближний ультрафиолет (УФ А+В, 280-400 нм). В природных условиях УФ улавливается растениями, участвует в регуляции их роста и метаболизма. Поступающий к растениям в теплице естественный солнечный свет, как известно, практически лишен коротковолновых лучей. УФ-радиация отсутствует и в спектре искусственных светильников типа ДНаЗ. Высокие интенсивности УФ-радиации потенциально опасны для растений: повреждают биомолекулы, вызывают окислительный стресс, ингибируют фотосинтез, тормозят рост, снижают урожайность. Потеря урожайности у чувствительных видов и сортов сельскохозяйственных культур при двукратном повышении естественного уровня УФ составляет 10% и более. Низкие интенсивности УФ, наоборот, могут активировать фотоморфогенез, способствуют повышению устойчивости растений, накоплению в биомассе биологических ценных соединений, например, веществ фенольного метаболизма. Нами ставилась задача выяснить возможность управления качеством получаемой салатной продукции без потери в урожайности.

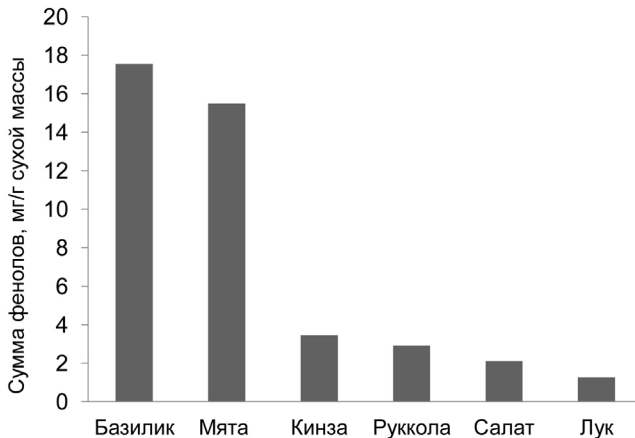


Рис. 10. Содержание соединений фенольной природы в надземной части зеленных культур.

Опыты проводили в апреле-мае 2013 г. в производственных теплицах ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар). Растения трех сортов салата Афицион, Скороход и Барбадос культивировали конвейерным способом на проточной линии в горшочках с известкованным торфом при естественной освещенности и плотности ценоза 130 растений/м². Начиная с 25 дня после всходов, растения ежедневно экспонировали под лампами ЛЭР-40 М (Россия). Интенсивность УФ-Б радиации (280-315 нм) составляла 2.7 ± 0.2 Вт/м². Время экспозиции возрастало с 2 мин в начале опыта до 15 мин к окончанию эксперимента (табл. 13). Растения в контроле произрастали в тех же условиях, без облучения УФ лампами. Пробы на анализ отбирали перед снятием урожая (на 37 день после всходов). Урожайность надземной массы салата варьировала в пределах 4.3-5.1 кг/м² в зависимости от сорта.

Подобранные нами дозы и схема облучения не оказали заметного влияния на урожайность, но приводили к повышению содержания в листьях каротиноидов и соединений фенольной природы (табл. 14). Содержание растворимых фенольных соединений определяли спектрофотометрически с использованием реактива Фолина-Дениса. В качестве стандарта применяли галловую кислоту.

Суммарное содержание полифенолов в листьях контрольных растений составляло от 9 до 13 мг/г сухой массы или от 40 до 58 мг/100 г сырой массы. У получавших УФ растений содержание полифенолов возрастало на 18-25% и коррелировало с увеличением антиоксидантной активности. Следует отметить статистически значимое увеличение содержания флавоноидов у двух сортов салата с красноокрашенными листьями (Барбадос и Скороход). Содержание антоцианов в листьях (в пересчете на цианидин 3-гликозид) составляло от 5.6 до 8.0 мг/100 г сырой массы, что на 30-40% выше, чем у растений в контроле. Таким образом, результаты опытов показали возможность управления накоплением биологически активных соединений и качеством салатной продукции в тепличных условиях.

Важную роль в антиоксидантной защите играет аскорбиновая кислота (витамин С). Наибольшим ее накоплением отличались рас-

Таблица 13

Схема опыта по обработке растений листового салата УФ-излучением с применением светильника на основе ламп ЛЭР-40 М

Возраст растений, дни	0-24	25	26	27-34	35-38
Продолжительность экспозиции УФ, мин/день	0	2	4	10	15
Суммарная доза УФ-А за весь период экспозиции, кДж	0	0.2	0.6	7.8	13.9
Суммарная доза УФ-Б за весь период экспозиции, кДж	0	0.3	1.0	12.3	22.0
Суммарная доза УФ (А+Б) за весь период экспозиции, кДж	0	0.5	1.6	20.1	35.9

Таблица 14

**Влияние УФ-радиации на накопление фенольных соединений
и антирадикальную активность экстрактивных веществ листьев салата**

Сорт Вариант	Афицион		Барбадос		Скорород	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Сумма фенолов, мг/г сухой массы	9.2±0.2	10.9±0.1	12.5±0.1	15.7±0.2	13.0±0.1	16.2±0.4
Антоцианы, мг/г сухой массы	Следы	Следы	1.23±0.01	1.64±0.02	0.82±0.03	1.14±0.03
Антирадикальная активность ЕС ₅₀ , мг/см ³	0.67	0.56	0.50	0.40	0.48	0.37

тения базилика и рукколы (табл. 15). В биомассе салата содержание витамина С гораздо ниже.

Биологическую активность проявляют также пигменты зеленых растений – хлорофиллы и каротиноиды (Lila, 2004). Они стимулируют обмен веществ, улучшают деятельность сердечно-сосудистой системы. По нашим данным, среди исследованных зеленых культур наибольшим накоплением каротиноидов и хлорофиллов отличались мята, кинза, базилик.

Исходя из норм физиологической потребности человека в пищевых веществах (Нормы физиологических потребностей..., 2008), следует, что все изученные зеленые культуры способны удовлетворить суточную потребность населения в каротине и, в значительной степени, в витамине С, микро- и макроэлементах (табл. 16).

Важным показателем качества продукции зеленных культур служит накопление в биомассе неорганического (нитратного) азота. Высокое содержание нитрат-иона в тканях безвредно для растений. Однако, попадая с растительной пищей в организм человека, нитраты восстанавливаются до нитритов, которые нарушают снабжение клеток кислородом и вызывают их повреждение. Допустимой суточной дозой потребления нитратов считается 300-320 мг (пример-

Таблица 15

**Содержание биологически полезных веществ в зеленой продукции,
мг/100 г сырой массы**

Культура	Хлорофиллы	Каротиноиды	Аскорбиновая кислота	Незаменимые аминокислоты
Салат	83	20	4.0	560
Мята	135	34	30	890
Шнит-лук	52	11	48	748
Кинза	139	32	96	866
Базилик	100	21	130	500
Руккола	82	18	267	798

Таблица 16

Содержание нутриентов в 100 г сырой надземной массы зеленных культур, % от рекомендованной суточной нормы

Нутриент	Суточная норма, мг*	Базилик	Мята	Кинза	Руккола	Салат	Шнит-лук
Витамин С	90	147	33	107	297	4	54
Фенолы**	250	39	54	18	14	5	4
β-каротин	5	126	204	192	108	120	66
Кальций	1000	11	11	7	26	6	12
Фосфор	800	7	8	7	7	4	6
Магний	400	7	13	8	10	4	7
Калий	2500	17	22	27	20	17	15
Натрий	1300	0.3	0.4	0.6	0.8	0.3	0.1
Железо	10	7	8	8	7	8	5
Цинк	12	2.1	1.8	2.5	2.6	0.8	0.1
Медь	1	3.1	3.2	4.4	2.0	1.1	1.4
Марганец	2	28	22	35	17	21	11

Примечание: * суточная норма дана согласно: «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации». МР 2.3.1.2432-08 от 18 декабря 2008 г.; ** сумма фенолов, включая флавоноиды.

но 3-4 мг/кг массы тела). В странах Европейского союза ПДК нитратов в зимней и летней продукции салата составляют 4500 и 3500 мг/кг сырой массы соответственно (цит. по: **Seginer, 2003**). Накопление нитратов различными видами растений обусловлено генетически, но также зависит от минерального питания, освещенности, температуры и ряда других внешних факторов. Зеленные листовые овощи относят к культурам, способным накапливать значительные количества нитрат-иона в вакуолях клеток. Наши данные показывают, что при заданных режимах выращивания с использованием светильников типа ДНаЗ содержание нитратов в салате и других зеленных растениях не превышало ПДК.

Таким образом, данные об урожайности и накоплении полезных веществ в биомассе зеленных культур свидетельствуют о перспективности их выращивания в условиях защищенного грунта для пополнения рациона питания человека в зимний период.

3.5. Опыт культивирования салата с использованием светодиодных источников

До последнего времени производственные теплицы оснащались преимущественно светильниками на базе натриевых и/или ртутных ламп с максимумами излучения в области 550-600 и 450 нм. Се-

годня все больший интерес проявляется к внедрению систем освещения, выполненных на основе светоизлучающих диодов, технические характеристики которых позволяют регулировать параметры светового режима в широком диапазоне (Глади́н, 2012; Коновалова и др., 2015). Для выращивания салатно-зеленных культур предложены облучатели с комбинацией красных и синих светодиодов. Доля излучения в красной части спектра (630-690 нм) у этих светильников составляет 65-95%, в синей (430-470 нм) – остальные 5-35% (Емелин и др., 2015).

Использование в растениеводстве светоизлучающих диодов с высоким уровнем светоиспускания и разного спектрального состава выявило разнообразную и не всегда однозначную реакцию видов и сортов растений на узкополосное облучение (Olle, Viršile, 2013). Показано, что светоизлучающие диоды могут модулировать рост, развитие и морфогенез растений, влияют на структуру и активность фотосинтетического аппарата, общий метаболизм, накопление и состав биомассы (Аверчева и др., 2009, 2010; Тараканов, Яковлева, 2011; Коновалова и др., 2015; Munner et al., 2014).

В ноябре-январе 2016-2017 гг. нами был проведен опыт по культивированию листового салата сорта Афицион в производственной теплице с применением светодиодных светильников «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversaLED». Светильники мощностью 185 Вт в количестве 20 шт. были предоставлены производителем (ООО ГК СЭТ, г. Пермь) и установлены на высоте 1.5 м над столами для выращивания растений на площади 64 м². Лампы данного типа включают комплекс светоизлучательных диодов и характеризуются узкополосным спектром с выделенными пиками излучения при 445, 633, 668 и 739 нм. Соотношение диапазонов красный:синий равнялось 3.4, что примерно вдвое выше по сравнению с используемыми в хозяйстве натриевыми лампами высокого давления типа ДНаЗ-600Вт/REFLUX. Светодиодные светильники включались автоматически в 5 ч и выключались в 21 ч (продолжительность досвечивания 16 ч). Освещенность на уровне растений составляла в декабре 80-90 мкмоль квантов /м²с, в январе в полуденные часы при ясном небе могла достигать 100-120 мкмоль квантов/м²с. За первый цикл выращивания (ноябрь-декабрь) растения под светодиодными светильниками получили 240 моль квантов/м², что эквивалентно 50 МДж/м² световой энергии. Сформированные ценозы салата имели листовой индекс около 6 м²/м². Такая площадь листьев способна перехватывать и усваивать до 95% падающего света. Листовые пластинки имели нормальную форму, плотность и размеры. В конце оборота надземная масса свежесобранного салата в каждой по-

Таблица 17

**Содержание органических веществ, минеральных элементов и нитрата
в сырой массе надземной части салата сорта Афицион (декабрь-январь),
мг/100 г**

Углеводы	275±12	Азот	145±17
β-каротин	1.4±0.2	Калий	290±11
Лютеин+зеаксантин	1.7±0.3	Фосфор	32± 1
Сумма полифенолов	24.2±0.2	Кальций	44±1
Нитраты	350-450	Магний	13±4

ступающей в продажу упаковке (горшочек с тремя растениями) составила в среднем 66-69 г, урожайность с 1 м² – около 2.3 кг. Расчеты показали, что на моль потраченной световой энергии растения синтезировали около 0.6 г сухой массы, а КПД ФАР составил 3%. Вдвое более низкая продуктивность салатной линии под светодиодными светильниками была обусловлена, прежде всего, низким уровнем освещенности. Интенсивность ФАР на уровне растений в опыте с LED освещением была в 1.5-1.7 раз ниже, чем в варианте I с натриевыми лампами (стандартное освещение салатной линии, принятое в хозяйстве). Кроме того, недостаточной оказалась и продолжительность досвечивания.

О качестве и биологической ценности произведенной при низкой освещенности салатной продукции свидетельствуют данные табл. 17. Порция салата весом 100 г обеспечивает не более 10-15% суточной потребности человека в минеральных элементах и фенольных соединениях. Концентрация нитратов в биомассе растений под светодиодными светильниками в декабре-январе практически не превышала ПДК. Согласно (Единые санитарно-эпидемиологические..., 2010), допускается содержание нитратов в свежем салате, выращенном в условиях защищенного грунта с октября по март, не более 4500 мг/кг.

Таким образом, результаты опытов показали возможность получения товарной продукции салатной линии в наиболее темное время (ноябрь-январь) при использовании в качестве светильников светодиодных ламп «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED».

**3.6. Агробиологические и физиологические основы
повышения эффективности и продуктивности салатной линии
в зимних теплицах в условиях первой световой зоны**

Опыт культивирования салата в теплицах ООО «Пригородный» без применения искусственного облучения показал, что начиная с середины октября и по середину февраля растения не способны

сформировать товарную массу, болеют и погибают. Интенсивность солнечной радиации на широте г. Сыктывкара в ноябре-январе в 20-60 раз ниже, чем в летнее время, и составляет 13-32 мкмоль/м²с или 3-7 Вт/м². Внутри теплицы эти величины еще ниже. Приход радиации за сутки (количество облучения) в декабре-январе не превышает 0.45 моль/м² (10 Дж/см²).

Период, в течение которого не удастся вырастить растения в теплице без дополнительного освещения, именуемый «мертвым сезоном», продолжается 115-120 дней. Следует отметить, что в этот период даже 12-14-часовое досвечивание салата натриевыми лампами интенсивностью ФАР 150 мкмоль квантов/м²с не позволяет получить качественную продукцию. Чтобы компенсировать дефицит естественного освещения с октября по май необходимо применение комбинированного освещения: естественное (солнечное) облучение + искусственное облучение лампами. Применение светильников позволяет увеличить интенсивность освещения до оптимальных для фотосинтетической деятельности растений значений, а также оптимизировать поступление ФАР к растениям за счет регулирования суточной продолжительности искусственного освещения. Поскольку интенсивность солнечного облучения и продолжительность светового дня имеют различные значения в течение года, то и показатели искусственного освещения должны быть дифференцированы по времени. Из двух способов регулирования искусственной освещенности (изменение интенсивности и продолжительности досвечивания) на практике чаще используют последний прием – удлиняют или укорачивают продолжительность работы источников искусственного света.

Мы рассчитали примерную продолжительность освещения в теплицах, необходимую в осенне-зимне-весенний период для получения товарной продукции, основываясь на использовании стандартной интенсивности ФАР 150-160 мкмоль/м²с (35 Вт/м²). В июне-августе растениям салата достаточно естественного облучения. В сентябре необходимо начинать использовать искусственное освещение продолжительностью 12 ч (табл. 18). С учетом резкого снижения поступления естественной радиации продолжительность искусственного освещения к декабрю следует довести до 20 ч. С марта ее можно сокращать и к концу мая полностью отменить.

На рис. 11 и в табл. 19 обобщены данные, характеризующие формирование световой среды растений, выращиваемых на широте г. Сыктывкара в условиях защищенного грунта в разные периоды года. Расчеты проведены для типичного по метеорологическим показателям года.

Таблица 18

**Параметры искусственного досвечивания салата
в теплице ООО «Пригородный» (первая световая зона)**

Месяц	Продолжительность, ч	Суточное поступление ФАР от светильников		
		Вт/м ²	Дж/см ²	моль/м ²
Сентябрь	12	408	147	6.7
Октябрь	16	544	197	9.0
Ноябрь	18	612	220	10.2
Декабрь	20	680	245	11.3
Январь	20	680	245	11.3
Февраль	20	680	245	11.3
Март	18	612	220	10.2
Апрель	16	544	197	9.0
Май	12	408	147	6.7

Для выращивания салата необходимо поддерживать в теплице минимальное значение суммарной за сутки ФАР не ниже 12 моль/м², что эквивалентно 250 Дж/см². В период ноябрь-январь доля искусственного излучения в суммарном излучении составляет более 90%, в феврале и октябре – около 70%, в марте – 54%. В остальные месяцы года доминирует солнечная радиация.

Результаты опытов показали, что увеличение потока ФАР к агроценозу от 150 мкмоль/м²с (стандартная интенсивность искусственного освещения, применяемая в хозяйстве на салатной линии) до 250 мкмоль/м²с оказывало положительный эффект на продукционный процесс. Интенсификации продукционного процесса происходила за счет повышения скорости фотосинтеза, роста листовой поверхности и увеличения относительной скорости роста. Низкая освещенность приводит к потере урожайности и качества продукции, как это наблюдалось в опытах с использованием светодиодных ламп.

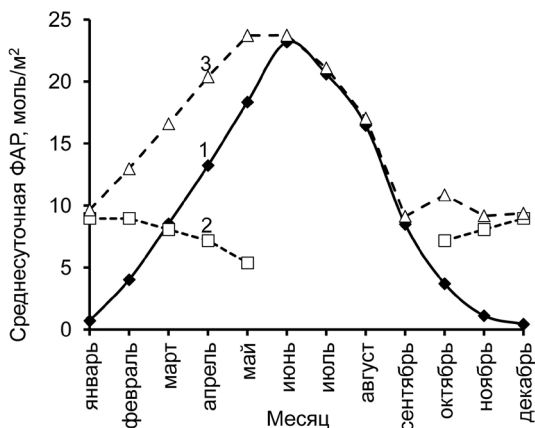


Рис. 11. Годовая динамика средней за сутки фотосинтетически активной радиации в теплице: 1 – приход ФАР за счет естественной (солнечной) радиации, 2 – искусственного света, 3 – комбинированного освещения.

Таблица 19

**Фактические данные по солнечному освещению и досвечиванию салата
в ООО «Пригородный» за 2006-2007 гг.**

Параметры	Месяц									
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль
Продолжительность досвечивания, ч	16	18	20	20	20	18	16	12	0	0
Среднесуточное количество ФАР от искусственного источника	<u>197</u> 9.1	<u>220</u> 10.1	<u>245</u> 11.3	<u>245</u> 11.3	<u>245</u> 11.3	<u>220</u> 10.1	<u>197</u> 9.1	<u>147</u> 6.8		
Среднесуточное количество ФАР солнечное	<u>77</u> 3.5	<u>23</u> 1.1	<u>9</u> 0.4	<u>15</u> 0.7	<u>87</u> 4.0	<u>185</u> 8.5	<u>287</u> 13.2	<u>398</u> 18.3	<u>503</u> 23.1	<u>447</u> 20.6
Суммарное среднесуточное количество ФАР	<u>274</u> 12.6	<u>243</u> 11.2	<u>253</u> 11.6	<u>260</u> 12.0	<u>332</u> 15.3	<u>405</u> 18.6	<u>484</u> 22.3	<u>545</u> 25.1	<u>503</u> 23.1	<u>447</u> 20.6
Доля искусственного облучения в суммарном, %	71	90	97	94	74	54	41	27	0	0

Примечание: значения в числителе – Дж/см², в знаменателе – моль/м².

Круглосуточное освещение натриевыми лампами, обеспечивающими поступление 150 мкмоль/м²с ФАР, позволяет повысить продуктивность и выход стандартной продукции (первой и второй категории качества). При продолжительности освещения до 16 ч урожайность салата была в среднем в 1.5 раза ниже. При этом основная часть продукции (до 80%) была отнесена к категории «нестандарт».

Как показали результаты наших исследований в условиях первой световой зоны, повышение интенсивности искусственного освещения вдвое (от стандартного уровня) позволяет в зимнее время существенно сократить продолжительность цикла культивирования за счет интенсификации производственного процесса. Сокращение оборота является важным резервом повышения эффективности производства овощей закрытого грунта, так как позволяет увеличить количество циклов выращивания салата за год и, в первую очередь, в зимний период.

Полученные в наших экспериментах результаты согласуются с аналитическими данными (рис. 12). В результате анализа многолетних данных по продуктивности салата (2006-2010 гг.) и условиям культивирования установлены две важные закономерности. Выявлены зависимость продолжительности цикла культивирования, необходимого для получения товарной продукции (в днях), от количества энергии, поступающей к растениям (рис. 12А) и зависимость продуктивности салата от суммарной облученности ФАР (комбинированного естественного и искусственного освещения) (рис. 12Б). Продолжительность цикла культивирования уменьшается с увели-

чением облученности салата. Чтобы получить салат со стандартной массой при облученности около 10-12 моль/м²сут. необходимо выращивать растения в среднем 35-40 дней, тогда как увеличение облученности в 2.0-2.5 раза позволяет сократить продолжительность цикла культивирования до 25-30 дней. В целом, кривая имеет характер обратной зависимости. Изменение продуктивности салата с увеличением облучения имеет вид кривой с насыщением. В области 10-15 моль/м² сутки урожайность салата возрастает прямо пропорционально повышению облучения. При облучении свыше 17-20 моль/м² рост урожайности практически прекращается.

В зимние месяцы (декабрь-январь) урожайность при стандартном режиме искусственного освещения (интенсивность ФАР 150 мкмоль/м²с и продолжительность 18-20 ч) составляет в среднем

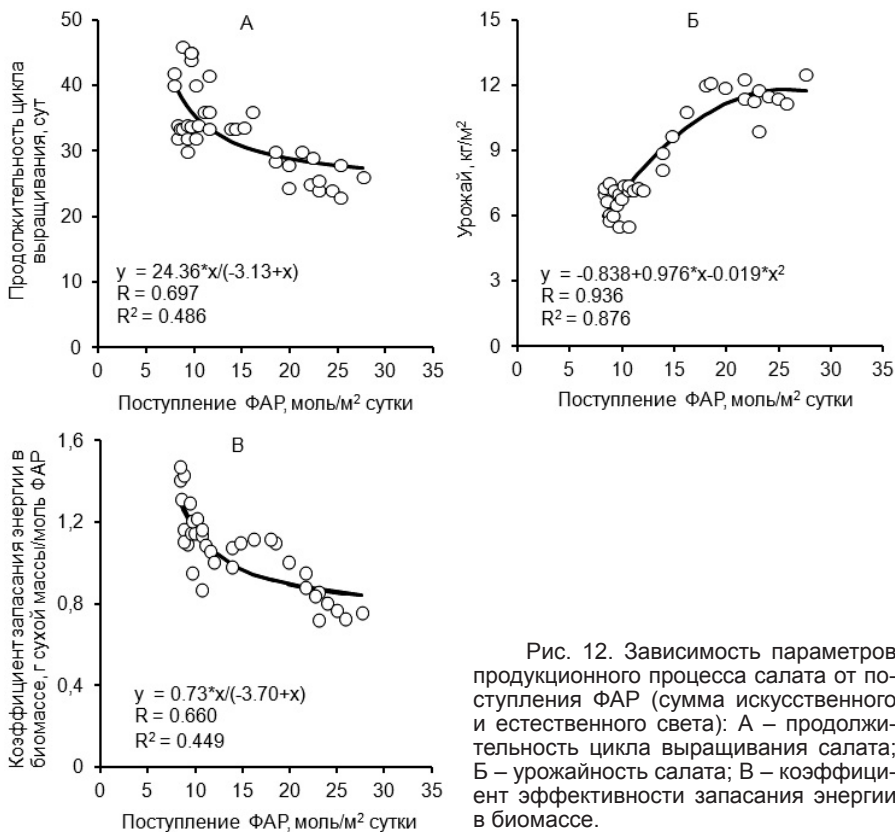


Рис. 12. Зависимость параметров продукционного процесса салата от поступления ФАР (сумма искусственного и естественного света): А – продолжительность цикла выращивания салата; Б – урожайность салата; В – коэффициент эффективности запаса энергии в биомассе.

6 кг/м². При увеличении облученности ФАР в 1.5 раза (до 15 моль/м²сут.) в марте-апреле продуктивность увеличивается до 10 кг/м². Этот рост обусловлен в основном увеличением прихода солнечной радиации. В области облученности 18-20 моль/м²сут. (400 Дж/см²) и выше продуктивность салата стабилизируется на уровне 11-12 кг/м².

С увеличением поступления ФАР в летний период снижается эффективность запасаения энергии в биомассе (отношение количества созданной биомассы к количеству поступившей за этот период энергии ФАР) (рис. 12В). Это можно объяснить увеличением дыхательных затрат на поддержание все возрастающего количества биомассы. Ранее мы отмечали высокую дыхательную активность листьев салата. При культивировании в зимних условиях (температура в среднем 20-25 °С) скорость выделения СО₂ листьями салата в темноте превышала 1 мкмоль/м²с, что эквивалентно 120 мкмоль/г ч. В летний период наблюдается значительное повышение температуры воздуха в помещении теплиц, что также увеличивает дыхательные затраты. И наконец, увеличение надземной биомассы салата происходит в основном за счет роста листовой поверхности, формирование которой требует значительных затрат на рост и поддержание. Нами установлено, что при интенсификации продукционного процесса индекс листовой поверхности ценоза салата может достигать 15 м²/м², что приводит к усилению ценотического взаимодействия.

В практических руководствах по защищенному грунту утверждается, что повышение освещенности на 1% позволяет повысить урожайность культуры на 1%. Наши опыты и расчеты показали, что утверждение о наличии прямой зависимости продуктивности салата от поступления ФАР к растениям соответствует действительно-

Таблица 20

Зависимость прироста продуктивности K_1 от прироста освещенности K_2
(по данным за 2006-2010 гг.)

Показатель	Месяц							
	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Коэффициент роста продуктивности, K_1	1.00	1.07	1.16	1.10	1.43	1.80	1.81	1.68
Коэффициент роста освещенности, K_2	1.00	1.04	1.07	1.36	1.67	1.99	2.24	2.07
Отношение K_1/K_2	1.00	1.03	1.08	0.81	0.85	0.90	0.80	0.81
Суточная облученность, моль/м ²	11.2	11.7	12.0	15.3	18.6	22.3	25.1	23.1
Дж/см ²	243	253	260	332	405	484	545	503

Примечание: за единицу принимали облученность 11.2 моль/м² (эквивалентно 258 Дж/см²).

сти только в области низких значений ФАР, характерных для зимних месяцев. По мере роста освещенности за счет солнечной радиации величина соотношения этих показателей уменьшается (табл. 20). Снижение величины соотношения K_1/K_2 в весенне-летний период согласуется с теоретическими представлениями и экспериментальными данными о продукционном процессе растений (Тооминг, 1984). Одной из основных причин этого явления в фитоценозе салата следует считать усиление взаимозатенения листьев в результате разрастания вегетативной массы и увеличения потребности в энергии и субстрате для поддержания биомассы.

3.7. Экономическая оценка производства листовых овощей в зимних условиях

В опытах на салате при использовании разных режимов искусственного освещения было установлено, что повышение интенсивности облучения позволяет в зимние месяцы увеличить накопление биомассы и сократить продолжительность цикла культивирования. Чтобы оценить последствия применения новых (отличающихся от стандартного) технологических режимов культивирования листового салата, анализировали их экономическую эффективность. Для проведения расчетов и выводов по ним использовали показатели и терминологию, применяемые на тепличных комбинатах России, в частности, в ООО «Пригородный», где и были проведены наши опыты.

Экономическую эффективность рассчитывали за календарный год. Это связано с ярко выраженной сезонностью овощеводства защищенного грунта. Минимум валового производства листовых овощей и максимум затрат на их выращивание приходится на зимние месяцы. Максимальная урожайность и минимальные затраты характерны для летнего периода. В течение календарного года салат выращивали в 10 оборотах, а опыты с режимами освещенности проводили в зимнем обороте, поэтому анализ экономической эффективности выполнили как на основе экспериментальных, так и с применением расчетных данных. Для оценки и сопоставления экономической эффективности световых режимов в качестве контроля использовали фактические результаты производства культуры салата на салатно-зеленой линии в ООО «Пригородный» за 2007-2010 гг. Условия выращивания салата в эти годы соответствовали световому режиму варианта 1 (интенсивность облучения $150 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ ФАР, продолжительность искусственного освещения 16 ч). Салат выращивался на площади 800 м^2 в одном обороте. Количество обо-

ротов (циклов) за год составило 10. Продолжительность оборотов салата в году варьировала от 25 до 45 сут., из них рассадный период на рассадных столах составлял 12-14 дней, вегетационный период на столах с проточными желобами – 13-33 дня.

В анализе экономической эффективности использовали показатели, которые являются либо постоянными, либо переменными при проведении опытов с разными световыми режимами. Переменными показателями, влияющими на доходную часть, являлись урожайность (кг/м²), товарность (%), валовое производство (центнеры или количество упаковок-сосудов по три растения в каждом); расход электроэнергии на освещение (кВт/ч). Остальные показатели условно считались постоянными. Другими словами, они не зависели от условий и результатов опытов со световыми режимами.

Рассмотрим подробнее переменные показатели.

1. Урожайность (продуктивность) салата определяется на основании результатов влияния света на накопление надземной массы растениями салата, выращенного под лампами ДНаЗ в разных условиях освещения. Продуктивность определяли на одно растение салата и через плотность посадки находили показатель продуктивности с единицы площади (табл. 21).

2) Товарность салата определяли как отношение реализованного салата к произведенному салату и выражали в процентах. В реализованный салат включали упаковки **I и II категории, отбраковывали** поврежденные и отличающиеся по цвету растения. Данные по товарности приведены в табл. 22.

3) Валовое производство салата определяли за календарный год по 10 оборотам, в том числе по шести оборотам с января по июнь и по четырем – с сентября по декабрь. Результаты опытов с разными световыми режимами, проведенные на одном обороте, проецировали по изменениям показателей урожайности на остальные девять, поэтому валовое производство салата для опытных режимов является

Таблица 21

Продуктивность салата при различных режимах освещенности (по данным опытов 2008 г.)

Вариант	Освещенность				Масса салата, г/сосуд	Плотность посадки, шт./м ²	Продуктивность салата за оборот, кг/м ²
	Продолжительность досветки, ч	Вт/м ²	клк	мкмоль/м ² с			
1	16	34	7.5	150	106	44	4.66
2	24	34	7.5	150	197	44	8.70
3	16	44	10	200	148	44	6.51
4	16	58	14	250	198	44	8.71

Таблица 22

Товарность салата при различных режимах досветки

Вариант режима		Освещенность			Товарность, %			
		Условия опыта			Категории			Нестандартная
		Час	клк	мкмоль/м ² с	I	II	I и II	
1	А	16	7.5	150	40	40	80	20
	Б	16			81	19	100	0
2	А	24	7.5	150	81	19	100	0
	Б	24			100	0	100	0
3	А	16	10	200	100	0	100	0
	Б	16			100	0	100	0
4	А	16	14	250	100	0	100	0
	Б	24			100	0	100	0

Обозначения: А и Б – опыты 2007 и 2008 г. соответственно.

ся расчетным показателем. Валовое производство определяли в ве-
совом и количественном выражении как среднее валовое производ-
ство за 2007-2010 гг., умноженное на отношение продуктивности с
единицы площади расчетного режима (n) к продуктивности с едини-
цы площади контрольного режима (n = 1).

4) Расход электроэнергии. Основная доля электроснабжения
при производстве салата приходится на освещение растений с по-
мощью ламп ДНаЗ-400Вт. ООО «Пригородный» имеет дифференци-
рованный учет электроэнергии в течение суток с тремя тарифами
(табл. 23), поэтому важно знать не только продолжительность, но
и время включения и выключения источников искусственного ос-
вещения. После обработки результатов опытов определили объемы
электропотребления и стоимость израсходованной на досвечивание
электроэнергии по опытным режимам.

Анализ эффективности производства салата на четырех экспе-
риментальных режимах провели, используя данные по эффективно-
сти производства салата за 2009 г. в ООО «Пригородный». Как вид-
но из табл. 24, с учетом всех затрат прибыль от реализации всей
произведенной салатной продукции составила 1125 тыс. руб. Про-
дукция с 1 м² площади теплицы, занятой под салатом, составила

Таблица 23

Тарифы на электроэнергию в 2009 г.

Диапазон суток, ч	Наименование диапазона	Тариф, руб./кВт·ч
23 ⁰⁰ -7 ⁰⁰	Ночной	2.690
7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	Полупиковый	3.127
9 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	Пиковый	4.425
12 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	Полупиковый	3.127

Таблица 24

Эффективность производства салата (по данным за 2009 г.)

Наименование	Единица измерений	Затраты и доходы		
		Всего	в том числе, руб.	
			Упаковка	м ²
Площадь оборотная	м ²	8000		
Производство	ц упаковка	472.3 314850		
Урожайность	кг/м ²	5.9		
Товарность	%	98.95		
Реализация продукции	ц упаковка	467.3 311533		
Производственные затраты	тыс. руб.	5574	17.7	696.75
ФОТ	тыс. руб.	589	1.87	73.63
Семена	тыс. руб.	69	0.22	8.63
Минеральные удобрения	тыс. руб.	294	0.93	36.75
Средства защиты	тыс. руб.	339	1.08	42.38
Амортизация	тыс. руб.	178	0.57	22.25
Ремонтный фонд	тыс. руб.	40	0.13	5.00
Теплоснабжение	тыс. руб.	848	2.69	106.0
Электроснабжение	тыс. руб. кВт·ч	2005 637865	6.37 2.03	250.53 79.73
Водоснабжение	тыс. руб.	42	0.13	5.25
Услуги авто МТП	тыс. руб.	27	0.09	3.38
Накладные расходы	тыс. руб.	590	1.87	73.75
Прочие затраты	тыс. руб.	553	1.76	69.13
Производственные затраты реализованной продукции	тыс. руб.	5516	17.7	689.5
Коммерческие расходы	тыс. руб.	245	0.79	30.63
Полные затраты	тыс. руб.	5761	18.49	720.13
Выручка от реализации продукции	тыс. руб.	6886	22.10	860.75
Прибыль	тыс. руб.	1125	3.61	140.63
Рентабельность	%	19.5	19.5	19.5

5.9 кг. На ее производство было затрачено 720.13 руб., а выручка от реализации была на 140.63 руб. больше. В среднем каждая проданная упаковка (три растения) приносила доход, равный 3.6 руб. Таким образом, рентабельность салатной линии равнялась 19.5%.

Проведенные расчеты и анализ их результатов показал, что рентабельность производства салата сильно варьировала в зависимости от режима выращивания культуры. Стандартный режим (продолжительность досвечивания – 16 ч, освещенность 150 мкмоль/м²с ФАР) оказался убыточным (рентабельность составила –9.5%). С увеличением освещенности до 200 и 250 мкмоль/м²с ФАР рентабельность возросла и составила соответственно +26.1 и +53.3%. По-

вышение рентабельности в вариантах 3 и 4 (табл. 22) было обусловлено в основном увеличением урожайности за счет интенсификации фотосинтеза, увеличения листовой поверхности и скорости накопления биомассы.

Наибольшую рентабельность (+70.7%) показал режим культивирования салата при круглосуточном освещении с интенсивностью ФАР 150 мкмоль/м²с (табл. 21). Столь высокая рентабельность была обусловлена не только повышением урожайности, но и разницей в тарифах на электроэнергию в ночные и дневные часы (табл. 23). Эти данные свидетельствуют о возможности оптимизации расходов на выращивание растений за счет использования разницы в тарифах. Изменение режима искусственного освещения путем переноса «периода темноты» с 22-6 на 15-23 ч позволяет экономить средства на покупку электроэнергии и получать больше урожая без потери качества продукции.

Итак, нами исследовано влияние интенсивности и качественного состава света на фотосинтетическую продуктивность зеленных растений в условиях закрытого грунта. На модельном объекте – листовом салате – показано, что увеличение потока ФАР к агроценосу в зимний период приводило к интенсификации продукционного процесса за счет повышения скорости фотосинтеза, роста листовой поверхности и увеличения относительной скорости роста. При повышении освещенности в 1.5 раза по сравнению с контролем (150 мкмоль/м²с) продуктивность растений возрастала в 1.7 раза. За три недели культивирования при повышенной освещенности растения салата формировали такое же количество биомассы, что и за четыре недели роста при стандартной интенсивности света. Увеличение продолжительности освещения (вплоть до круглосуточного) при интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с способствовало увеличению продуктивности зеленных культур, но не оказывало влияния на эффективность запасаения световой энергии в биомассе. Количественные определения содержания биологически ценных веществ свидетельствуют о том, что выращивание листовых овощей в защищенном грунте с использованием искусственных источников излучения обеспечивает получение в зимнее время на Севере свежей продукции высокого качества. В условиях светокультуры зеленные растения способны накапливать в значительных количествах биологически полезные вещества: антиоксиданты, витамины, минеральные элементы.

В целом, полученные результаты позволяют дать физиологическое и экономическое обоснование оптимизации световой среды и внедрения режимов, обеспечивающих высокую урожайность и пищевую ценность салата и зеленных культур в зимних теплицах первой световой зоны на Севере.

Глава 4 ТЕПЛИЧНАЯ КУЛЬТУРА ОГУРЦА

Огурец известен в культуре более 5000 лет. В 2014 г. по данным FAO (<http://www.fao.org>), мировое производство огурцов превысило 70 млн. т, что составило примерно 6% всей овощной продукции. Крупнейшими производителями данного овоща являются Китай, Турция, Иран, Россия, ведущими экспортерами – Мексика, Испания, Нидерланды.

Плоды огурца являются востребованным населением продуктом питания. В России огурцы лидируют по занимаемой площади (до 70%) теплиц в осенне-зимнем обороте. Плоды закрытого грунта немногим уступают по качеству огурцам, выращенным в открытом грунте. Примерно 94-96% массы свежих плодов составляет вода. Они содержат полезные для человека минеральные элементы, витамины, ферменты, органические кислоты, эфирные масла, сахара, клетчатку. Количество сахаров составляет около 2% сухой массы, а содержание витамина С варьирует в пределах 10-12 мг% (Санникова и др., 2012). На 1 кг массы плодов приходится менее 100 ккал, поэтому их рекомендуют для включения в низкокалорийные диеты, улучшения пищеварения, профилактики и лечения ряда заболеваний.

4.1. Биологические особенности огурца в условиях искусственного освещения

Огурец (*Cucumis sativus* L., сем. Cucurbitaceae) – однолетнее травянистое растение тропического происхождения. Листья у растений огурца очередные, цельные, пятиугольной формы (Тараканов и др., 1982). Первые листья меньше по размеру, с менее расчлененной пластинкой по сравнению с листьями, появляющимися позже. На нижней стороне листа четко выделяются листовые жилки, по черенку проходят девять сосудистых пучков (Круг, 2000). Окраска листьев зеленая с темными или светлыми оттенками. Налив плодов обеспечивают ассимиляты из листьев плодородного слоя.

По мере роста и развития растений доля листьев в общей биомассе огурца сильно меняется. В период вегетативного роста до начала цветения и плодоношения на листья приходится до 70% биомассы (Акимова и др., 2000). Начиная с фазы плодоношения, относительная масса листовой поверхности снижается вдвое. В основном это связано с увеличивающейся плодовой нагрузкой на растение и его старением (Гавриш и др., 2005а, б). Важной биологической особенностью индетерминантных форм огурца является способность к длительному росту и образованию новых листьев.

Продуктивность огурца, его устойчивость к болезням и вредителям во многом зависят от функционирования корневой системы, ее мощности и поглотительной активности. Корневая система огурца стержневого типа, состоит из главного корня и многочисленных боковых корней первого и последующего порядков. В период наиболее интенсивного роста (до начала плодоношения) доля корней в общей массе растения составляет около 10% (Боос, 1974). С переходом растений к плодоношению рост корней сильно тормозится и начинается их частичное отмирание. По данным (Круг, 2000), у молодых растений огурца доля корней в биомассе может достигать 30-50%, у старых составляет всего 5-15%. Появление плодов, являющихся более сильными акцепторами, приводит к перераспределению потока ассимилятов. Смена донорно-акцепторных отношений и направленности движения продуктов фотосинтеза приводит к снижению активности и истощению корневой системы (Борисов, Крылов, 2001). В условиях современных теплиц минеральное питание культуры осуществляется путем подачи питательного раствора практически к каждому растению в необходимом количестве. Это позволяет оптимизировать объем и массу корней. Корневая система огурца чувствительна к недостатку кислорода в среде обитания (Палкин, 1986). Оптимальная объемная масса субстратов для культуры огурца составляет 0.4-0.6 г/см³ (Гавриш и др., 2005а). При высокой концентрации питательного раствора и на засоленных почвах деятельность корневой системы подавляется, они повреждаются и могут отмирать. Огурец – растение теплолюбивое, его корни способны поглощать воду и минеральные элементы при температуре от 17 до 28 °С. Оптимальной считается температура почвы 19-22 °С (Андреев, 2003).

Стебель большинства сортов огурца ползучий, лианообразного типа, ветвящийся, достигает длины 1.5-2.0, иногда 3.0 м. Ветвление стебля и рост боковых побегов начинается из пазух нижних листьев, затем пробуждаются к росту пазушные почки у выше расположенных листьев. Гбридам огурца присуще саморегулирование

ответвления. Ветвление тормозится из-за доминирования верхушечной почки (апикальное доминирование). Прищипка верхушечной почки главного стебля активизирует формирование боковых побегов (Тараканов и др., 1982).

Цветки огурца имеют пятираздельную, чашевидную или боковидную, густоволосистую чашечку. Окраска венчика ярко-желтая. Женские цветки располагаются чаще всего по одной в пазухе листа. Однако имеются формы, у которых формируется до 10 и более завязей в одном узле. У гермафродитных цветков завязь полунижняя или нижняя, пестик окружен пятью тычинками (Тараканов и др., 2002). Цветение растений огурца начинается с нижних цветков, постепенно продвигаясь вверх, от главного к боковым побегам. Скороспелые сорта огурца начинают цвести через 25-35 дней после появления всходов, среднеспелые – через 35-40, среднепоздние – через 40-50, позднеспелые – через 55 дней и более. Цветки раскрываются на два-три дня. К восприятию мужской пыльцы рыльца женских цветков готовы за один-два дня до их раскрытия. Пыльца созревает за один-два дня до начала цветения растений и способна к прорастанию в течение трех дней. Завязи огурца сначала растут в длину, а затем в ширину и достигают технической спелости спустя 7-12 дней. Семя огурца имеет типичное для всех тыквенных культур строение. Большую часть семени занимают семядоли зародыша, которые содержат питательные вещества (Мещеров, Боос, 1967).

Большинство известных форм огурца относится к перекрестно-опыляющимся энтомофильным растениям. Вместе с тем имеются партенокарпические формы, которые часто культивируются в теплицах. Партенокарпические гибриды не расходуют продукты фотосинтеза на формирование семян, образуют больше плодов, что способствует повышению урожайности (Жученко, 2004). Проявлению партенокарпии благоприятствуют пониженные температуры (17-18 °C), особенно ночные. Образование бессемянных плодов огурца стимулируют высокая освещенность и короткий световой день. Такое же влияние оказывают повышение содержания CO_2 и высокий уровень минерального питания (Гавриш и др., 2005).

Продуктивность огурца зависит от генетических особенностей и внешних условий в период вегетации. Среди комплекса факторов обычно выделяют три группы: абиотические, биотические и антропогенные (Тараканов, Мухин, 2002). К абиотическим относятся климатические (температура, освещенность, длина дня, спектральный состав света, влажность воздуха, CO_2 и др.) и почвенные (минеральное питание, почвенная влага и аэрация). К биотическим факторам относят взаимовлияние растений в посеве, полезную и вред-

ную микрофлору (грибы, бактерии, вирусы), вредителей растений и энтомофаги, применяемые в биологической защите растений. Антропогенные факторы включают методы выращивания, формирования растений (пасынкование, прищипка), воздействие на растения машинами, химическими соединениями и т.д. Условия среды влияют на скорость роста и развития, накопление биомассы, урожайность и качество получаемой продукции. Характер реакции растений на факторы внешней среды меняется в течение онтогенеза растения (Тараканов, 1994).

Огурец – растение южного происхождения, по фотопериодической реакции относится к растениям короткого дня. Однако в большинстве случаев цветение не зависит от длины дня и может наблюдаться в любых световых условиях. Освещенность оказывает сильное влияние на рост и развитие огурца. Свет высокой интенсивности ускоряет рост стебля, листьев, развитие и цветение огурца (Персон, 1996). Огурец хорошо отзывается на дополнительное освещение в условиях защищенного грунта. В рассадный период огурцу требуется интенсивность света не менее 18-20 Вт/м², а в период плодоношения – около 25 Вт/м² (Ващенко и др., 1984; Delia et al., 1982). Слабая освещенность вызывает вытягивание стебля, уменьшение площади листьев, снижение в них содержания хлорофилла. При недостатке света на листьях огурца могут появляться некротические пятна. Меняется структура листа, в мезофилле наблюдается сильное развитие губчатой паренхимы, слой столбчатых клеток уменьшается (Боос, Сидюкова, 1977). Снижается интенсивность фотосинтеза листьев, уменьшается число устьиц на нижней стороне листа (Примак и др., 1978).

В дневное время на свету рост растений огурца менее интенсивный, основной прирост побегов и плодов происходит в темное время суток. Чем выше интенсивность света днем, тем сильнее проявляются ростовые реакции в темноте. Это объясняется накоплением запасов ассимилятов днем и их расходом на рост ночью (Шевелуха, 1992).

Вертикальное распределение радиации в агрофитоценозе зависит прежде всего от количества листьев, их расположения, площади листовой поверхности. Верхние листья, как правило, получают больше света, чем нижние. Благодаря явлению фототропизма возникает так называемая «листовая мозаика», способствующая оптимальному использованию света при фотосинтезе (Пильщикова, 2000). Растения огурца чувствительны к изменению освещенности. Резкий переход от низкой освещенности к высокой и наоборот может вызвать нарушение водообмена, привести к растрескиванию стебля огуречного растения (Юрина, 1985).

Огурец – требовательная к теплу культура (Тараканов и др., 1982). Температура влияет прежде всего на скорость роста и развития растения, плодообразование, качество и количество урожая, заболеваемость растений (Гавриш и др., 2005а). Минимальная температура для прорастания семян огурца составляет 10-12 °С, оптимальная – 25-30 °С. Для вегетативного роста растений огурца требуются более высокие температуры, чем для прорастания, выше 15 °С (Ващенко и др., 1984), поэтому на значительной территории России он культивируется в защищенном грунте. Для получения компактной рассады огурца разработан прием кратковременного снижения температуры в конце ночного периода (ДРОП-воздействие) (Марковская и др., 2000; Икконен и др., 2015). Высокую требовательность к теплу огурец проявляет в период цветения–плодоношения. Огурец чувствителен к резким перепадам температуры и значительно снижает плодоношение в нестабильных условиях (Борисов, Крылов, 1998).

Тепличная культура огурца довольно требовательна к обеспечению влагой (Тараканов и др., 1982). Средний расход воды составляет примерно 300 мл на образование 1 г сухого вещества. Потребность в воде выше в период интенсивного роста растений, чем в начале и конце вегетации. Важным условием получения высоких урожаев является повышенная относительная влажность воздуха. При выращивании рассады влажность воздуха должна быть на уровне 70%, от посадки до плодоношения – 75-80%, в период плодоношения – 85-90% (Пичугина, 1977).

Растения используют углекислый газ атмосферы для фотосинтеза и кислород для дыхания. В атмосферном воздухе содержится примерно 0.03% по объему или 300 ppm углекислого газа. Недостаток CO₂, особенно при выращивании в условиях малообъемной культуры, можно восполнить за счет углекислотных подкормок. Этот прием широко используется в тепличном производстве. Считается, что на повышенную концентрацию углекислого газа лучше откликаются растения с недетерминированным типом роста. Повышение концентрации CO₂ в атмосфере приводит к увеличению содержания диоксида углерода в листе, что снижает сопротивление карбоксилированию и способствует повышению интенсивности фотосинтеза (Гуляев, 1996; Пухальская, 2001; Кособрюхов, 2001, 2009).

Экспериментально доказано, что удвоение концентрации CO₂ в воздухе может увеличить урожайность на 30-40% вследствие повышения интенсивности фотосинтеза, увеличения содержания углеводов в листе и скорости роста растений при одновременном снижении интенсивности дыхания (Гуляев, 1996; Пухальская, 2001). Фотосинтетическая активность листьев в условиях обогащенной угле-

кислым газом атмосферы может повышаться у огурцов на 28%, а прибавка урожая на 1 г усвоенного CO_2 для огурца составляет 11 г.

Для выращивания большинства тепличных культур оптимальной является концентрация CO_2 в пределах 0.1-0.13%. Более низкие концентрации рекомендуются для получения рассады и при культивировании салата. Концентрации CO_2 выше 0.2% могут привести к повреждениям листьев и органов плодоношения (Жогородова, Шульцева, 1979). При высоком содержании CO_2 в воздухе теплиц устьица закрываются, растения меньше транспирируют и ассимилируют.

Важен режим подкормки углекислым газом. Некоторые авторы (Кособрюхов, 2001, 2009) рекомендуют использовать для повышения продуктивности огурца периодическое (в течение нескольких часов) повышение CO_2 . На практике подкормку CO_2 начинают с восходом солнца (или включением искусственного освещения) и завершают за 2-3 ч до наступления темноты и прекращения фотосинтеза (Гавриш и др., 2005а).

Потребность растений в минеральных элементах определяется их биологическими особенностями, обменом веществ, интенсивностью накопления сухой массы, последовательностью роста отдельных органов, условиями выращивания. Огурец отличается сравнительно высокой требовательностью к условиям питания, особенно в период интенсивного роста вегетативных органов и в начале плодоношения (Глунцов и др., 1987). По данным литературы (Рябых и др., 1985) вынос питательных веществ с урожаем в условиях защищенного грунта составляет: N – 2.1, P_2O_5 – 0.1, K_2O – 4.1, MgO – 0.6, CaO – 1.9 кг/т плодов. Культура огурца отзывчива к внесению азотных удобрений, но молодые растения чувствительны к повышенному содержанию аммиака. Признаки азотного голодания могут встречаться у огурца на всех этапах развития растений – от всходов до созревания. При недостатке света плоды огурца могут накапливать повышенные дозы нитратов, превышающие ПДК: для огурцов в открытом грунте – 150 мг/кг, для огурцов защищенного грунта – 400 мг/кг (Нормативные документы..., 1988). Тепличная культура огурца потребляет больше калия, чем азота, поэтому зимой при недостаточном освещении рекомендуют увеличивать обеспеченность растений калием (Рекомендации..., 1987). При недостатке калия в растении накапливается аммиачный азот, что оказывает токсическое действие на листья. Они теряют окраску, появляются светло-желтые пятна, распространяющиеся между основными жилками к центру. Фосфор положительно влияет на рост и развитие растений, ускоряет переход от одной фазы в другую. Недостаток фосфора замедляет рост побегов и листьев (Глунцов и др., 1987).

При фосфорном голодании молодые листья приобретают темно-зеленую окраску, старые становятся серо-зелеными. Кальций стимулирует рост корней, укрепляет стебель, слабо передвигается по растению. При его недостатке листья становятся мелкими, междоузлия укорачиваются. Магний способствует увеличению прироста корневой системы, влияет на процесс фотосинтеза, активизирует биохимические процессы, оказывает влияние на обмен углеводов и органических кислот в растении. Он входит в состав хлорофилла. Недостаток магния у культуры огурца проявляется на более старых листьях в виде хлороза (Физиология..., 2000). Растения огурца хорошо отзываются на некорневые подкормки. Некорневая подкормка растений огурца во время вегетации чаще всего применяется при признаках недостатка магния, железа и ряда других микроэлементов (Мельников, 2002).

В настоящее время в большинстве тепличных хозяйств для культивирования огурца используют систему малообъемного выращивания (Гавриш и др., 2005а). Малообъемная гидропоника, по сравнению с почвенной культурой, имеет ряд преимуществ (Лебл, 1984). Она позволяет регулировать параметры корнеобитаемой среды, условия минерального питания, применять систему капельного полива, способствует улучшению фитосанитарных условий. В результате применения данной технологии существенно повышается урожайность, производительность труда и технологический уровень производства.

Получение продукции огурца и повышение эффективности тепличного производства невозможно без учета биологических потребностей растений и знания их функциональных особенностей. С середины прошлого века усилия ученых были направлены на изучение зависимости роста и развития растений от температуры, условий минерального и воздушного питания. В настоящее время ставится задача более полного использования потенциала тепличной культуры огурца путем оптимизации световой среды и интенсификации продукционного процесса.

Низкий уровень естественного освещения в зимних теплицах является основным фактором, ограничивающим продуктивность огурца – ведущей овощной культуры тепличного производства. Хотя огурец не проявляет чрезмерных требований к освещенности (это скорее умеренно светолюбивое растение), на низком свету рост и формирование урожая плодов тормозятся. Затенение даже на ранних этапах онтогенеза (рассада) сказывается потерей продуктивности в период формирования плодов. Оптимизация светового режима с помощью искусственного освещения, применение различных технологий досвечивания требуют экспериментального изучения реак-

ции растений на световой фактор в каждом регионе, особенно в северных широтах, относящихся к первой световой зоне. Следует отметить, что к началу наших исследований (2006-2007 гг.) вопросы оптимизации светового режима огурца и других овощных культур при выращивании в зимних теплицах на европейском северо-востоке России оставались слабо разработанными, а сведения об эффективности применения досвечивания внутри ценоза в отечественной литературе практически отсутствовали.

4.2. Культивирование огурца в зимних теплицах ООО «Пригородный»

Выращивание огурца осуществляется в современных блочных теплицах производства «Агрисовгаз» (Россия), которые представляют собой остекленные оцинкованные сооружения высотой до нижнего пояса фермы 4 м. Они оснащены системой отопления для поддержания необходимой температуры и конвекции воздуха. В верхней части теплицы имеется также система зашторивания, позволяющая сберегать тепло и отражать свет внутрь теплицы. Периметр теплицы имеет двойное остекление для увеличения теплосбережения сооружения. Нижняя плоскость теплицы представлена выровненной песчаной поверхностью с внутренней системой отвода дренажных вод, укрытая белым полипропиленовым полотном.

Для регулирования микроклимата в теплицах используется климатический компьютер «SERCOM» (Нидерланды), в функции которого входит регулирование температурного режима, поддержание необходимой влажности и концентрации углекислого газа. Полив растений осуществляется при помощи растворного узла «VO-COM». Непосредственно в галерее установлены баки дневного запаса воды и емкости с маточными растворами минеральных удобрений, а также смонтирована система водоподготовки, позволяющая увлажнять воздух теплицы и снижать температуру воздуха. Подача углекислого газа осуществляется с котельной, где после сгорания природного газа отработанные газы проходят очистку на катализаторе, охлаждаются и по магистральной трубе подаются в теплицу. Температурный режим в воздухе теплицы и корневой зоне растений регулируется при помощи четырех контуров системы отопления. При этом каждый контур работает отдельно по заданному алгоритму, исходя из погоды, условий внутри теплицы и заданного фотопериода. Дополнительные сведения об условиях культивирования огурца в производственной теплице в зимнем обороте представлены в Приложении 4.

Натриевые лампы высокого давления (ДНаЗ-600Вт/REFLUX), необходимые для поддержания требуемой освещенности, подвешивали на высоте 3.8 м от поверхности, на которой находился субстрат. Светильники были представлены в разделенном варианте, дроссели с ЭПУ были закреплены на стойке теплицы, а лампы с цоколем и защитным козырьком – в междурядье над растениями.

В опытах использовали огурец (*Cucumis sativus* L., Zeres DVR F1 – гибрид F1 Церес, оригинатор Monsanto Holland B.V., США). Голландский сорт огурца Церес включен в Государственный реестр РФ для культивирования на садово-огородных участках, приусадебных и мелких фермерских хозяйствах и для выращивания в светокультуре в зимних теплицах. Сорт партенокарпический, салатный. В плодоношение вступает через 40 дней после всходов. Растение индетерминантное, сила роста и ветвистость средняя, женского типа цветения, число женских цветков в узле один-три. Лист крупный, зеленый, слабоморщинистый, по краю – слабоволнистый. Зеленец удлиненно-цилиндрической формы с короткой шейкой, гладкий, темно-зеленый, ребристость средняя. Масса зеленца 300-400 г, длина 36 см, диаметр 5.0-5.5 см, вкусовые качества плодов хорошие.

Для выращивания рассады огурца использовали минераловатные кубики «Delta» размером 100×100×65 мм («GRODAN»). Рассаду выращивали на столах в течение 18-19 сут. Растения обеспечивали минеральным питанием. Концентрация элементов в растворе составляла (мг/л): NO₃ – 218, P – 50, S – 107, NH₄ – 22, K – 218, Ca – 203, Mg – 70, Fe – 2.5, Mn – 0.8, Zn – 0.33, B – 0.33, Cu – 0.15, Mo – 0.05; pH – 5.5. В период появления второго настоящего листа рассаду обрабатывали 0.25%-ным раствором «Нарцисс Н» из расчета 100 мл на растение. Рассаду выращивали под лампами ДНаЗ-400Вт/REFLUX при интенсивности ФАР порядка 90-100 мкмоль/м²с.

Рассаду переносили в производственную теплицу на 19-20 день (фаза трех-четырех настоящих листьев). В качестве субстрата для выращивания огурца использовали базальтовую гидрофильную минеральную вату компании «GRODAN» марки «Vital» размером 1000×200×75 мм, которую укладывали на полипропиленовое покрытие. Маты раскладывали в два ряда, на каждый мат выставляли по четыре растения. Плотность размещения растений в теплице варьировала в пределах 2.2-2.8 шт./м². Высота шпалерной проволоки составляла 3.2 м от поверхности субстрата.

При выращивании огурца применяли схему внесения элементов минерального питания (Приложение 5). Концентрацию макро- и микроэлементов в питательном растворе повышали на 5-25% при

переходе растений к цветению и плодоношению. Корректировку минеральных элементов в питательном растворе осуществляли два раза в месяц.

Полив осуществляли в зависимости от фазы развития растений, температурного и влажностного режима субстрата. Растения поливали исходя из веса мата. Объем дренажа составлял около 20% от объема общего полива. Снижение веса мата за период между началом и окончанием полива составляло 8-10%. Контроль параметров электропроводности (Es), pH и объема дренажа проводили ежедневно. Маты запитывали за три дня до размещения на них рассады.

Сразу после размещения рассады осуществляли полив из расчета 150 мл/растение. Минеральное питание растений осуществляли одновременно с поливом. Кратность и объем полива для каждого растения программировали с учетом фазы развития и объема дренажа. Концентрацию CO₂ в воздухе регулировали автоматически. В рассадный период подачу CO₂ не производили. После переноса рассады в производственную теплицу поддерживали концентрацию CO₂ около 400 ppm (0.04%). Растения в фазе шести листьев экспонировали при 550 ppm. В фазе цветения концентрацию CO₂ в воздухе теплицы повышали до 750 ppm, а в период плодоношения поддерживали при 1000 ppm (0.1%). Следовательно, до плодоношения растения культивировали при концентрации CO₂ в 1.5 ниже, чем в период плодоношения.

Температурный режим на протяжении выращивания контролировался в зависимости от фазы развития растений с учетом фотопериода и температуры внешней среды (Приложение 4). Температуру воздуха в теплице во время искусственного освещения поддерживали равной 23-24 °С, после выключения ламп она снижалась на 2-4 °С. Температура питательного раствора была не менее 22 °С.

Влажность воздуха в теплице поддерживали при помощи системы отопления, форточной вентиляции и системы зашторивания. Принцип поддержания оптимальной влажности основывался на сохранении постоянства транспирации с поверхности листа и поддержания оптимального индекса листового аппарата. При недостаточной влажности закрывали экраны, температура в системах отопления опускалась до минимально возможной. При избыточной влажности экраны открывали, температуру теплоносителя в системе отопления увеличивали и, в крайнем случае, переводили форточную вентиляцию в режим проветривания. Относительную влажность воздуха до начала цветения поддерживали на уровне 65-75%, в период налива и плодоношения – 80-82%.

Первые сборы проводили в конце октября–начале ноября. В первые две недели сбора плоды не имели достаточной массы. В даль-

нейшем осуществляли сбор плодов со средней массой 350-400 г и длиной 34-36 см. Сборы огурцов проводили ежедневно. К товарной относили стандартную и нестандартную продукцию. В категорию стандартной продукции включали плоды длиной до 36 см, диаметром до 5.5 см и изгибом до 1.5 см на 10 см длины плода. Искривленные и переросшие плоды попадали в категорию нестандартной продукции.

4.3. Характеристика световых и температурных условий в опытах с культивированием огурца при разных режимах искусственного освещения в зимних теплицах

Освещенность, температуру и влажность воздуха в теплице измеряли с помощью агрометеорологического регистрирующего устройства Li-1400 (Li-Cor, США) с набором датчиков. В отдельных случаях освещенность измеряли с помощью люксметра Digital Lux Meter AR813 (Китай). Поскольку большинство измерений проводились с помощью квантового датчика, то интенсивность ФАР выражалась в мкмоль квантов/м²с. Прямые определения интенсивности ФАР с помощью квантового датчика Li-190 SA и освещенности люксметром AR813 показали, что коэффициент пересчета кЛК в мкмоль/м²с (ФАР) варьировал в пределах 14-16.

При проведении измерений характеристик световой среды руководствовались рекомендациями, изложенными в работах (Тихомиров и др., 2000; Шульгин, 2001) и инструкциями производителей оборудования. Датчики измерительных приборов располагали на разных ярусах ценоза и ориентировали параллельно горизонтальной поверхности.

Искусственные источники света (лампы) существенно отличаются по световым характеристикам от солнечного света. Конвертацию поступления ФАР от разных источников освещения можно провести с помощью коэффициентов, представленных в Приложении 3.

Применяемые нами схемы и режимы освещения позволили получить более полное представление о формировании светового поля и эффективности использования световой энергии в продукционном процессе тепличной культуры огурца в осенне-зимнем обороте на Севере. Схема первой серии опытов (2007-2008 гг.) включала три варианта освещенности. Растения выращивали под натриевыми лампами высокого давления (ДНаЗ-600Вт/REFLUX). Светильники располагали над ценозом на высоте 3.8 м от пола теплицы. В зависимости от уровня задаваемой освещенности на 100 м² пло-

щади ценоза приходилось 23, 34 и 46 светильников, что обеспечивало удельную мощность 138, 204 и 276 Вт/м² соответственно. Количество ламп подбирали таким образом, чтобы достичь двукратного различия в интенсивности приходящей на горизонтальную поверхность (полипропиленовое покрытие) ФАР между крайними вариантами опыта (табл. 25).

Площадь опытных деленок в каждом варианте опыта была не менее 250 м², на которых размещалось порядка 100 растений. Растения получали искусственное освещение 19 ч в сутки (Приложение 4). Значительная часть времени работы ламп приходилась на ночной период суток, что было обусловлено экономической целесообразностью. Выбор продолжительности досвечивания основывался на многолетнем опыте культивирования разных сортов огурца в тепличном хозяйстве «Пригородный» и данных литературы (Turcotte, Gosselin, 1989). Заданный режим освещения в вариантах 1 и 3 обеспечивал приход ФАР от светильников в количестве, равном соответственно 8.2 и 16.4 моль/м² за сутки, что эквивалентно 1.85 и 3.7 МДж/м² за сутки.

Во второй серии опытов использовали комбинированное освещение (табл. 26). Растения выращивали под натриевыми лампами ДНаЗ и ртутными лампами типа ДРиЗ. Светильники располагали над ценозом в соотношении 2:1 (ДНаЗ:ДРиЗ) и включали одновременно. Лампы ДНаЗ были включены в течение суток 19 ч, а продолжительность работы ламп ДРиЗ составляла в зависимости от варианта опыта от 19 до 2 ч в сутки. Лампы ДНаЗ обеспечивали интенсивность ФАР около 120 мкмоль/м²с (как варианте 1 первой серии опытов). При включении всех ламп (ДНаЗ+ДРиЗ) интенсивность ФАР составляла 180-190 мкмоль/м²с. В первом приближении приход ФАР за сутки от всех светильников в варианте 4 составлял около 13 моль/м², а в варианте 7 был примерно в 1.5 раза меньше.

Схему третьей серии опытов реализовали в осенне-зимних оборотах 2009-2012 гг. Для освещения использовали натриевые лампы высокого давления ДНаЗ-600 Вт/REFLUX. Светильники подвешивали на высоте 3.8 м над рядами на расстоянии 2.5 м друг от друга

Таблица 25

Схема первой серии опытов (2007-2008 гг.)

Вариант	Интенсивность ФАР			Продолжительность освещения, ч/сут.
	мкмоль/м ² с	Вт/м ²	Дж/ м ² с	
1	120	27	27	19
2	190	42	42	19
3	240	54	54	19

Таблица 26

Схема второй серии опытов (2008-2009 гг.)

Вариант	Лампы		Продолжительность освещения, ч/сут.	
	ДНаЗ	ДРиЗ	ДНаЗ	ДРиЗ
4	+	+	19	19
5	+	+	19	12
6	+	+	19	6
7	+	+	19	2

(рис. 13). Лампы меньшей мощности (ДНаЗ-250 Вт/REFLUX) размещали на таком же расстоянии в междурядьях, не используемых для ухода за растениями и вывоза продукции. Высота расположения междурядных ламп по мере роста растений увеличивалась от 60-70 до 110 см.

Технология светокультуры огурца предусматривала постепенное включение и выключение ламп. Лампы над ценозом включали в промежутки времени от 22 до 24 ч и выключали с 14 до 17 ч. Период темноты продолжался от 17 до 22 ч. Свет от верхних ламп поступал в течение 19 ч, от ламп внутри ценоза – 16 ч (декабрь) и 14 ч (январь-февраль). В опыте, проведенном в ноябре-феврале

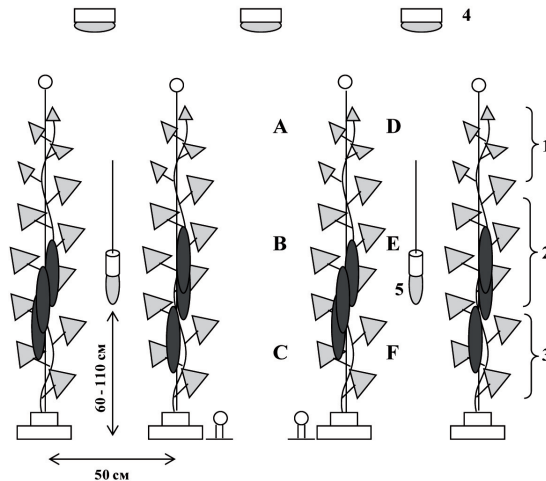


Рис. 13. Выращивание огурцов в третьей серии опытов (2009-2012 гг.) *Обозначения:* 1, 2, 3 – ярусы листьев, верхний (1-7 листья), средний (8-15 листьев) и нижний (16-20 листьев), 4 – основные верхние лампы, 5 – дополнительные лампы в междурядьях; А, В, С – внешняя сторона ряда (без боковых ламп), D, E, F – внутренняя сторона с лампами в междурядьях.

2011-2012 гг. освещение включали с 21 до 01 ч, сначала верхние лампы, затем лампы внутри ценоза. Выключение освещения осуществляли с 14 до 17 ч, начиная с источников света внутри ценоза. Период темноты длился с 17 до 21 ч. Режим освещения обеспечивал поступление ФАР к растениям в количестве около 15 моль/м² сутки, в том числе 17-20% от ламп в междурядьях.

Светильники в теплицах являются мощным источником инфракрасного излучения. При их близком расположении возможно нарушение функционирования листьев из-за нагрева, поэтому во всех опытах, и особенно в серии опытов с размещением ламп в междурядьях, с помощью датчиков 1404-104 (Li-Cor, Inc., США) регистрировали температуру поверхности листьев.

Исследования вертикального профиля освещенности и температуры поверхности листьев разного яруса были выполнены нами в начале фазы плодоношения (конец октября–ноябрь) на растениях огурца, культивируемых под лампами ДНаЗ-600Вт/REFLUX при трех уровнях освещенности – 120, 190 и 240 мкмоль/м²с (варианты 1, 2 и 3 соответственно). К этому времени на растении было сформировано 18-20 листьев, а высота ценоза составляла немногим более 2 м. Как показали многочисленные определения (не менее 100 измерений для каждого варианта опыта), температура листьев разного яруса при включенных светильниках различалась незначительно (табл. 27) и была в среднем на 4 °С выше температуры воздуха, которую поддерживали на уровне 24 °С.

В то же время во всех вариантах опыта четко проявлялся вертикальный градиент изменения освещенности (табл. 27). Листья верхнего яруса (первый-седьмой листья, считая от верхушки) освещались в 1.2-1.3 раза лучше листьев среднего яруса (8-15 листья) и в

Таблица 27

Освещенность и температура листьев разного яруса в ценозах огурца

Варианты	Ярусы листьев		
	Верхний	Средний	Нижний
	ФАР, мкмоль/м ² с		
1	120±3	112±3	61±3
2	190±9	157±6	92±4
3	240±8	164±5	91±1
	Температура, °С		
1	29.0±0.03	28.9±0.02	28.7±0.02
2	26.5±0.15	28.1±0.06	28.6±0.04
3	29.0±0.03	29.1±0.02	29.3±0.01

Примечание: здесь и далее варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом.

1.8-2 раза лучше листьев, расположенных в основании плети (16-20 листья). Как и ожидалось, все листья растений варианта 1 были освещены в 1.5 раза слабее листьев растений варианта 3, культивируемых при наибольшей интенсивности света.

Сбор данных о температуре и освещенности листьев огурца в опытах с использованием досвечивания внутри ценоза проводили в 2009-2011 гг. Изучение световой среды в ценозе показало, что при данном режиме листья среднего и нижнего ярусов на стороне, где размещались межрядные лампы, получали почти вдвое больше световой энергии (табл. 28, рис. 14). Градиент освещенности от верхних листьев к нижним был сильнее выражен на стороне без дополнительного освещения. Лампы над ценозом обеспечивали интенсивность ФАР на уровне листьев верхнего яруса около 200 мкмоль/м²с. От ламп внутри ценоза освещенность листьев среднего яруса увеличивалась на 60 мкмоль/м²с и достигала 110 мкмоль/м²с. Листья нижнего яруса получали свет интенсивностью около 70 мкмоль/м²с. Освещенность листьев противоположной стороны была примерно вдвое ниже. Несмотря на улучшение световой среды при использовании межрядных ламп, неравномерность освещения листьев растений оставалась довольно высокой.

В декабре 2009 г. был собран обширный материал, характеризующий освещенность и температуру совокупности листьев ценоза с межрядными лампами (табл. 29). Объем выборки по каждому из параметров включал более 340 измерений, охватывал разные ярусы и время суток. Интенсивность ФАР на уровне разных листьев ценоза варьировала значительно. Имело место существенное смещение медианного значения выборки относительно среднего значения, что указывает на характер распределения данных в массиве, отличаю-

Таблица 28

Освещенность листьев (мкмоль ФАР/м²с) растений огурца при размещении дополнительных ламп внутри ценоза (данные опыта 2011 г.)

Показатели	A	B	C	D	E	F
Количество значений	169	141	153	127	156	135
Медиана	172	51	36	196	100	72
Среднеарифметическое значение	180	50	37	236	111	69
Стандартная ошибка среднего арифметического значения	4	2	1	10	4	2
Коэффициент вариации, %	28	44	42	50	45	40

Примечание: А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F – сторона ряда с лампами в междурядьях; А, D – листья верхнего яруса; В, E – листья среднего яруса; С, F – листья нижнего яруса.

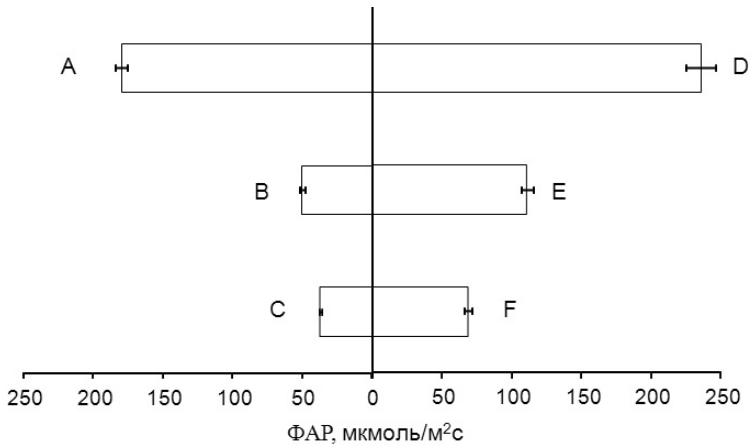


Рис. 14. Вертикальный профиль распределения света в ценозах растений огурца при размещении дополнительных ламп внутри ценоза (2011 г.). A-F – как в табл. 28.

щийся от нормального. Это обусловлено неоднородностью светового поля в разных слоях ценоза (табл. 28, рис. 14). Освещенность листьев ценоза составляла в среднем около 100 мкмоль/м²с, что эквивалентно примерно 23 Дж/м²с. Однако учитывая характер распределения данных в выборке, корректнее использовать для характеристики освещенности листьев ценоза медианное значение, которое примерно на 20% ниже среднеарифметической величины. Хотя температура отдельных листьев ценоза при включенных верхних и межрядных лампах могла различаться в 1.5 раза, медианное и среднее значения были практически одинаковыми – около 27 °С.

Применение межрядных ламп улучшает условия для воздушно-го питания листьев наиболее продуктивного среднего слоя ценоза.

Таблица 29
Освещенность (ФАР) и температура листьев (Тл) ценоза огурца (декабрь 2009 г.)

Параметры	ФАР, мкмоль/м ² с	Тл, °С
Количество измерений	343	343
Минимум	17	21.1
Медиана	78	27.8
Максимум	474	31.6
Среднеарифметическое значение	103	26.9
Стандартное отклонение	85	2.5
Стандартная ошибка среднего арифметического значения	5	0.1

Таблица 30

Освещенность и температура листьев среднего яруса ценоза огурца в светлый (Тл₁) и темный (Тл₂) периоды суток (декабрь 2009)

Параметры	ФАР, мкмоль/м ² с	Тл ₁ , °С	Тл ₂ , °С
Количество измерений	69	69	20
Минимум	20	22.4	24.4
Медиана	64	26.7	25.1
Максимум	97	28.0	25.3
Среднее значение	60	26.1	25.0
Стандартное отклонение	21	1.6	0.3
Стандартная ошибка среднего	3	0.2	0.1

Учитывая тот факт, что завязывание, формирование и налив плодов происходит в основном в среднем слое ценоза, мы акцентировали внимание на характеристике световой среды и температуре листьев среднего яруса растений огурца (табл. 30). В выборку включены данные как для листьев, обращенных к межрядным лампам, так и для листьев противоположной стороны. Как и ожидалось, медианная и средняя величины освещенности и температуры листьев среднего яруса были довольно близки и хорошо отражали медианные тенденции для всех листьев ценоза. Освещенность листьев среднего яруса составляла в среднем 60-65 мкмоль/м²с (13-14 Дж/м²с). Следует также отметить, что после отключения светильников и наступления темного периода, изменение температуры листьев было незначительным, а разброс между максимальными и минимальными значениями нивелировался.

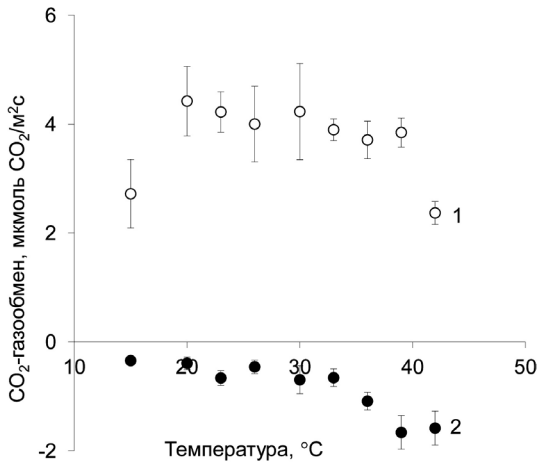


Рис. 15. Интенсивность CO₂-газообмена листьев огурца при разной температуре в диапазоне от 15 до 42 °С: 1 – видимый фотосинтез, 2 – темновое дыхание.

Чтобы выявить возможное влияние температуры на газообмен листьев огурца, мы исследовали зависимость видимого фотосинтеза от температуры при освещенности, близкой к максимальным значениям, наблюдаемым в теплице. Как видно на рис. 15, у листьев огурца зона температурного опти-

ческого фотосинтеза находится в диапазоне 20-30 °С. При температуре выше 30 °С интенсивность фотосинтеза снижается. Темновое дыхание отрицательно и слабо зависит от температуры. Разброс между максимальными и минимальными значениями нивелировался.

мума Φ_v , в котором скорость видимого поглощения CO_2 не меньше 80% от максимальной, довольно широкая и охватывает температурный диапазон от 20 до 38 °С. В этом диапазоне температура статистически значимо не влияет на скорость нетто-фотосинтеза огурца. При супероптимальных температурах 15 и 42 °С скорость Φ_v была в 1.5 раза ниже, чем в зоне температурного оптимума. Темновое дыхание листьев огурца с ростом температуры изменялось по классическим законам, увеличиваясь практически экспоненциально в диапазоне температуры от 15 до 40 °С. Величина температурного коэффициента Q_{10} в диапазоне температуры от 20 до 30 °С составила 1.8. Результаты изучения температурной зависимости CO_2 -газообмена согласуются с представлениями об огурце как теплолюбивой культуре и показывают, что температура листьев в ценозе не выходила за пределы, вызывающие депрессию фотосинтеза.

Учитывая реальные свето-температурные условия, мы провели двухфакторный дисперсионный анализ данных в диапазоне температуры 23-33 °С и освещенности от 0 до 200 мкмоль/м²с ФАР. Расчеты показали, что в заданных условиях на CO_2 -газообмен листа статистически значимо влияет только освещенность.

Таким образом, представленные в настоящем разделе данные свидетельствуют о неоднородности световых условий функционирования листьев растений, обусловленной архитектурой ценоза огурца. Интенсивность ФАР на уровне разных листьев ценоза варьировала значительно. При освещении растений светильниками, расположенными сверху, световая среда в многослойном ценозе характеризуется выраженным градиентом снижения освещенности в направлении от верхних листьев к нижним. Листья продуктивного яруса получали в 1.5-2.0 раза меньше света, чем листья на верхушке растения. Применение межрядных ламп улучшало условия для воздушного питания листьев наиболее продуктивного среднего слоя ценоза. Температура листьев при работающих межрядных лампах составляла 26-28 °С, что благоприятно для CO_2 -газообмена этой теплолюбивой культуры.

4.4. Фотосинтез и продукционные показатели огурца при разных режимах искусственного освещения

Наблюдения за ростом и развитием растений проводили в течение всего оборота. Для изучения накопления биомассы два-три раза в течение оборота отбирали по пять-шесть растений каждого варианта опыта, разделяли по органам и взвешивали. Содержание сухого вещества в растительном материале определяли после высушивания

ния до постоянного веса. Урожай (кг/м²) учитывали по сборам плодов за весь период оборота.

Для определения площади листовой поверхности образцы листьев фотографировали с масштабной линейкой. Фотоснимки обрабатывали с помощью программы Image Tools (UTHSCSA, 1995-2002). УППЛ рассчитывали как соотношение их массы к площади. Индекс листовой поверхности (ЛИ, м²/м²) находили как произведение площади листьев одного растения и числа растений на 1 м² ценоза.

Интенсивность CO₂-газообмена и транспирации листьев разного яруса измеряли непосредственно в месте произрастания растений с помощью портативной фотосинтетической системы ADC LCP⁺ (ADC BioScientific Ltd., Англия). Квантовый выход фотосинтеза определяли по углу наклона начального участка световой кривой фотосинтеза. Параметры кардинальных точек световой кривой находили как описано в работе (Тооминг, 1984). Для более полного анализа полученные кривые аппроксимировали уравнением Михаэлиса-Ментен с изменениями (Кайбейянен, 2009).

4.4.1. Влияние интенсивности освещения на фотосинтез листьев и морфофизиологические показатели огурца в осенне-зимнем обороте

В данном разделе представлены результаты, полученные в опытах с выращиванием огурца под лампами ДНаЗ-600Вт/REFLUX при трех уровнях освещенности – 120, 190 и 240 мкмоль/м²с (варианты 1, 2 и 3 соответственно). Продолжительность освещения растений лампами во всех вариантах опыта составляла 19 ч.

Рост растений. Условия освещения не оказали существенного влияния на динамику роста и развитие растений в вариантах 1-3. По жизненной форме огурец является лианой, поэтому рост стебля наблюдался в течение всего оборота, а среднесуточный прирост составлял около 8-9 см. К концу оборота его длина достигала 10 м (рис. 16А). За оборот (18 недель) каждое растение сформировало в среднем 120 листьев (рис. 16Б) и создало около 4 кг сырой надземной биомассы (рис. 16В).

В течение первой половины оборота содержание сухого вещества в надземной биомассе растений составляло 7-8% (рис. 16Г), к концу оборота несколько повышалось, особенно у растений, получивших больше света (варианты 2 и 3).

К началу интенсивного плодоношения сырая масса растения достигала 1.74-1.87 кг (табл. 31). При этом массовая доля листовых пластинок не превышала 25%. На долю черешков листьев и стебля приходилось в среднем 35%, плодов – около 30% биомассы. Отпад

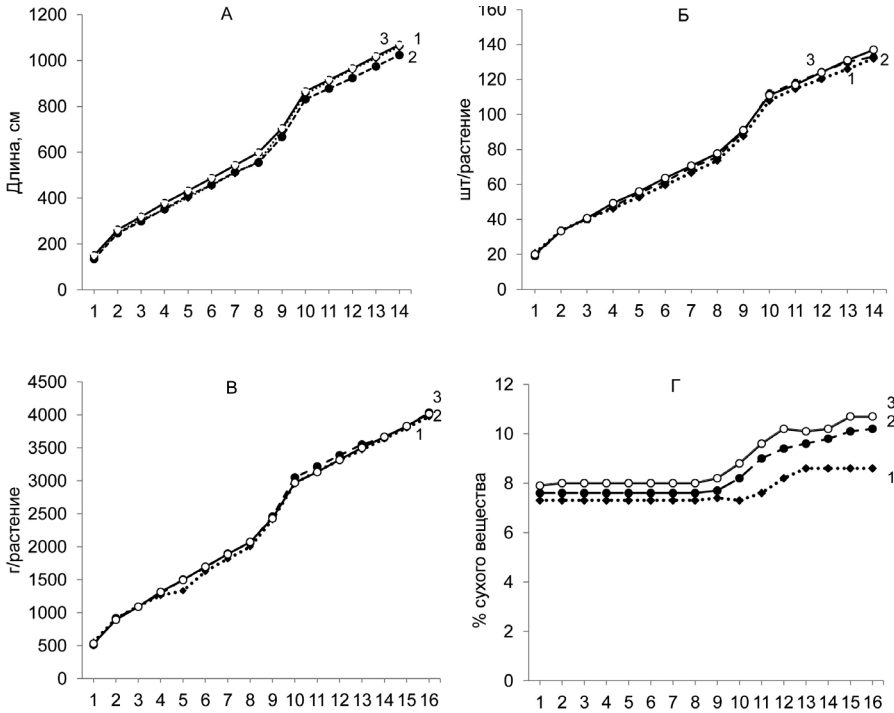


Рис. 16. Динамика роста стебля (А), формирования листьев (Б), накопления сырой надземной биомассы (В) и содержание сухого вещества (Г) в надземной биомассе растений огурца в осенне-зимнем обороте (данные 2007-2008 гг.). *Обозначения:* 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом; цифрами на оси абсцисс отмечены сроки отбора проб с периодичностью пять-восемь дней, начиная с конца октября до начала марта.

(пожелтевшие и отмирающие части, в основном листья) составлял 10-15% сырой массы растения.

Иную картину представляло распределение сухой биомассы (табл. 32). В сухой биомассе растения доминировали листовые пластинки, их доля достигала около 40%. Листовые пластинки отличались высоким содержанием сухого вещества, причем у листьев верхнего яруса этот показатель был в 1.5 раза больше, чем у нижних.

Площадь листовой поверхности растения составляла в среднем около 200 дм² (табл. 33). С учетом густоты стояния растений величина листового индекса ценоза в период начала плодоношения (но-

Таблица 31

Влияние освещенности на накопление и распределение сырой массы растений огурца (ноябрь 2007 г.)

Варианты	Листья	Черешки	Стебли	Плоды	Опад	Целое растение
г/растение						
1	405±81	309±46	289±52	479±95	256±22	1738±347
2	475±95	311±49	310±59	583±117	192±25	1871±374
3	469±75	267±48	323±68	646±142	163±30	1868±410
% от целого растения						
1	23	18	17	27	15	100
2	25	17	16	32	10	100
3	25	14	17	35	9	100

Примечание: варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом.

Таблица 32

Влияние освещенности на накопление и распределение сухой массы растений огурца (ноябрь 2007 г.)

Варианты	Листья	Черешки	Стебли	Плоды	Опад	Целое растение
г/растение						
1	39.2±7.8	10.2±1.5	19.1±3.4	18.6±3.7	23.5±2.0	111±22
2	46.8±9.4	9.7±1.5	21.3±4.1	24.3±4.9	24.6±3.2	127±25
3	50.4±8.1	8.2±1.5	32.9±6.9	26.1±5.7	14.6±2.7	132±29
% от целого растения						
1	35.4	9.2	17.3	16.8	21.3	100
2	36.9	7.6	16.8	19.2	19.5	100
3	38.1	6.3	24.9	19.7	11.0	100

Примечание: 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом.

Таблица 33

Влияние светового режима на показатели листовой поверхности огурца (данные 2007-2008 гг.)

Варианты	Площадь листьев, дм ² /растение		Листовой индекс, м ² /м ²		УППЛ*, г/дм ²	
	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март
1	224	209	4.9	4.6	0.18±0.01	0.33±0.01
2	190	206	4.2	4.1	0.24±0.01	0.34±0.01
3	195	185	4.3	4.1	0.26±0.02	0.52±0.04

Примечание: варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом; * приведены средние значения УППЛ для всех имеющихся на растении листьев.

ябрь) равнялась в среднем около 4.5. Основная часть (75-80%) листовой поверхности ценоза приходилась на листья среднего и нижнего ярусов.

Как уже отмечалось, исследуемый нами гибрид огурца Церес F1 – культура с недетерминированным типом роста, по жизненной форме – стелющаяся лиана. Появление молодых листьев и отмирание стареющих листьев нижнего яруса происходит непрерывно. Согласно технологии, при культивировании огурца на растении оставляли 22-24 листа (с наступлением плодоношения – 18-20 листьев), удаляя периодически нижние. В результате в течение плодоношения листовой индекс ценоза поддерживался на более или менее постоянном уровне.

Величина УППЛ в первом приближении характеризует мощность фотосинтетического аппарата. У огурца этот показатель зависит от освещенности, положения листьев на побеге и возраста растений (рис. 17, табл. 33).

УППЛ листьев верхнего яруса во всех вариантах опыта была выше, чем листьев среднего и нижнего ярусов. Разница в величине УППЛ между верхушечными листьями и листьями нижнего яруса в варианте с наибольшей освещенностью достигала 100%, а в варианте с низкой и средней освещенностью составляла 40 и 20% соответственно. Величина УППЛ листьев заметно увеличивалась с возрастом растений. Так, например, если в ноябре (фаза начала плодоношения) УППЛ варьировала в пределах 0.18-0.26 г/дм², то в начале марта перед завершением оборота величина этого показателя была в 1.5-2.0 раза больше (табл. 33).

Пигментный комплекс листьев. Для характеристики накопления фотосинтетических пигментов образцы листьев среднего яруса отбирали три раза в течение цикла культивирования: в ноябре (на-

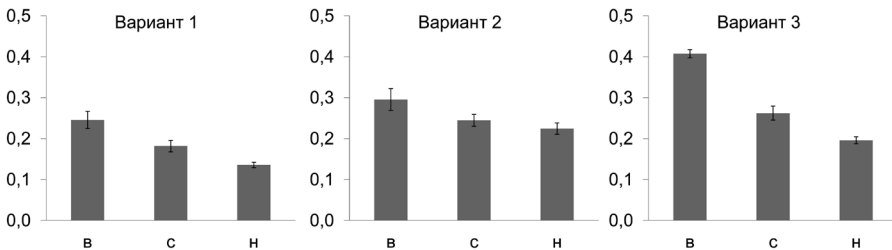


Рис. 17. УППЛ (г/дм²) верхнего (в), среднего (с) и нижнего (н) ярусов растений огурца в фазе начала плодоношения (ноябрь): варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом.

чало плодоношения), январе (интенсивное плодоношение) и начале марта (за неделю до ликвидации оборота). Как видно из данных табл. 34, содержание хлорофиллов и каротиноидов зависело от возраста растений и интенсивности освещения. Листья растений, получавших меньше света, накапливали больше хлорофиллов. Так, в январе листья растений варианта 1 содержали на 40% больше зеленых пигментов по сравнению с вариантом 3. Концентрация хлорофиллов в листьях среднего яруса растений варианта 3 составляла около 13 мг/г сухой массы, а в расчете на единицу поверхности (УППЛ = 0.25 г сухой массы/дм²) немногим более 3 мг/дм².

Содержание хлорофиллов снижалось с возрастом растений. Листья среднего яруса растений варианта 2 в ноябре содержали на 35% больше хлорофилла, чем в марте. К концу цикла культивирования заметно уменьшалось соотношение Хл а/б, что свидетельствует о более медленном разрушении фонда Хл б, тогда как относительное содержание Хл а уменьшалось. К концу оборота заметно снижалось и содержание каротиноидов. Уменьшение концентрации фотосинтетических пигментов в листьях является признаком деградации фотосинтетического аппарата растений.

В ноябре нами были получены сравнительные данные о содержании хлорофиллов и каротиноидов в листьях верхнего, среднего и нижнего ярусов у растений вариантов 2 и 3 (табл. 35). Существенная разница в накоплении фотосинтетических пигментов была выявлена только у листьев верхнего яруса. Верхние листья растений варианта 3 содержали почти вдвое меньше хлорофиллов по сравнению с вариантом 2. Листья среднего и нижнего ярусов этих растений достоверно не отличались по накоплению пигментов.

СО₂-газообмен листьев. Скорость видимого поглощения СО₂ (Фв) листьев является интегральной характеристикой ассимиляционной

Таблица 34

Динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях среднего яруса растений огурца, культивируемых при различной освещенности, мг/г сухой массы

Варианты	Ноябрь, 2007			Январь, 2008			Март, 2008		
	Хл (а+б)	Хл а/б	Каротиноиды	Хл (а+б)	Хл а/б	Каротиноиды	Хл (а+б)	Хл а/б	Каротиноиды
1	Не опр.	Не опр.	Не опр.	21.8±0.7*	3.1±0.1	3.7±0.2*	12.9±1.3	3.0±0.1	2.2±0.2
2	17.4±3.7	3.0±0.1	2.9±0.6	14.0±1.1	3.1±0.1	2.5±0.2	11.1±1.0	2.6±0.1	1.7±0.2
3	16.0±4.1	3.1±0.1	2.7±0.2	13.5±0.8	3.2±0.1	2.4±0.1	8.2±0.7	2.8±0.2	1.4±0.1

Примечание: * разница между вариантом 1 и вариантами 2 и 3 статистически значима при α 0.05 ($P < 0.05$); варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

Таблица 35

**Содержание фотосинтетических пигментов в листьях разных ярусов,
мг/г сухой массы (ноябрь 2007 г.)**

Варианты	Верхний ярус		Средний ярус		Нижний ярус	
	Хл (а+б)	Кароти- ноиды	Хл (а+б)	Кароти- ноиды	Хл (а+б)	Кароти- ноиды
2	18.4±2.1*	3.3±0.4	17.4±3.6	2.9±0.6	17.9±2.1	2.8±0.3
3	9.5±0.8	1.8±0.2	16.0±4.1	2.7±0.2	16.8±2.3	2.8±0.5

Примечание: варианты 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом; * разница между вариантом 2 и вариантом 3 статистически значима при α 0.05 ($P < 0.05$).

активности растений. Определения CO_2 -газообмена листьев продуктивных ярусов (средний и нижний) огурца в ноябре (начало плодоношения) показали, что их ассимиляционная активность варьировала в зависимости от освещенности и положения в ценозе в пределах 1-5 мкмоль CO_2 /м²с (рис. 18).

Наибольшую фотосинтетическую активность (5 мкмоль CO_2 /м²с, что составляет примерно 8 мг CO_2 /дм²ч) демонстрировали листья в варианте 2 (ФАР 190 мкмоль/м²с). Листья нижнего яруса всех световых вариантов фотосинтезировали одинаково слабо, менее 2 мкмоль CO_2 /м²с. Это обусловлено значительным градиентом снижения уровня освещенности в пологе, о чем свидетельствует величина коэффициента корреляции Пирсона между интенсивностью

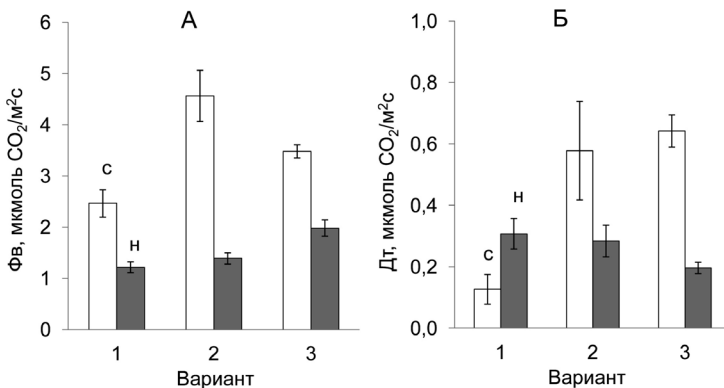


Рис. 18. Интенсивность видимого фотосинтеза (А) и дыхания (Б) листьев среднего (с) и нижнего (н) ярусов ценоза растений, культивируемых при интенсивности ФАР 120 (1), 190 (2) и 240 (3) мкмоль/м²с. Температура листа во время определения газообмена 25 °С. Коэффициент корреляции Пирсона между ФАР и Фв составил 0.81, Р-величина 0.048 (14-19.11.2007 г.)

ФАР и Фв. Скорость фотосинтеза листьев среднего яруса в вариантах 2 и 3 была на 30-40% выше по сравнению с вариантом 1, где интенсивность падающей ФАР была наименьшей. Скорость темнового дыхания (Дт) листьев среднего яруса в вариантах 2 и 3 с лучшими световыми условиями была почти в пять раз выше по сравнению с вариантом 1, но не достигала 1 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (1.6 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2\text{ч}$ или 6.4 мг $\text{CO}_2/\text{г ч}$). Дыхание листьев нижнего яруса всех световых вариантов было довольно близким, 0.25-0.30 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (эквивалентно 0.4 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2\text{ч}$). Следует отметить, что в варианте 1 листья нижнего яруса характеризовались более интенсивным, чем листья среднего яруса, темновым выделением CO_2 . В целом, дыхание листьев составляло от 5 до 25% Фв, при этом доля дыхания от Фв у листьев нижнего яруса была выше, чем у листьев среднего яруса.

В январе (фаза интенсивного плодоношения) листья среднего яруса, где происходит завязывание и интенсивный налив плодов, ассимилировали CO_2 со скоростью 6-7 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (рис. 19). При этом существенной разницы по скорости Фв листьев среднего яруса между световыми вариантами выявлено не было.

Нами была изучена динамика изменения компонентов CO_2 -газообмена листьев среднего яруса в осенне-зимнем обороте 2007-2008 гг. Как видно на рис. 20, в самом начале фазы плодоношения (ноябрь) фотосинтетическая активность листьев была в 1.5-2.0 раза ниже, чем в период интенсивного плодоношения (январь-февраль), когда скорость Фв достигала 6-8 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Интенсивность Дт листьев среднего яруса во всех вариантах была существенно ниже в ноябре, чем в последующие месяцы, и не превышала 1 мкмоль $\text{CO}_2/$

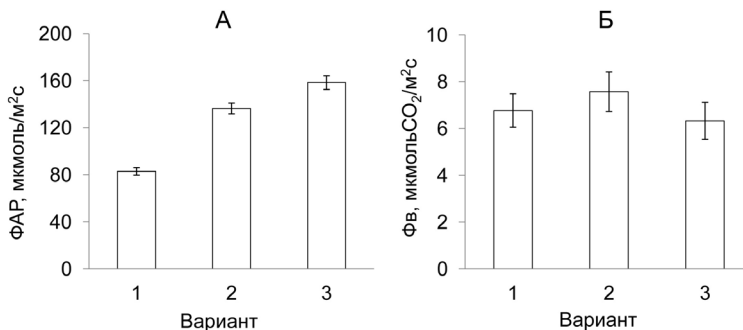


Рис. 19. Освещенность (А) и интенсивность видимого фотосинтеза (Б) листьев среднего яруса растений огурца, культивируемых при ФАР 120 (1), 190 (2) и 240 (3) мкмоль/м²с. Температура листа во время определения газообмена 29 °С. (24.01.2008 г.).

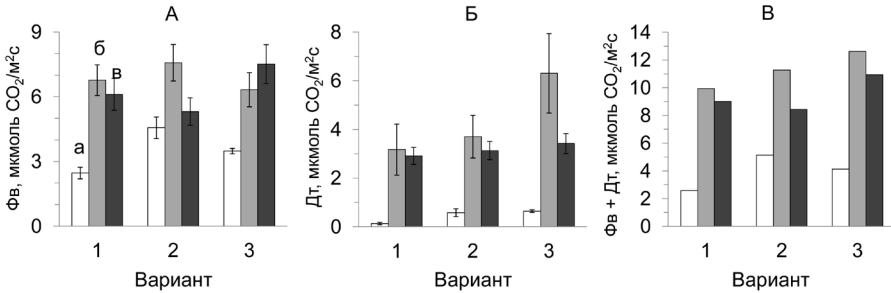


Рис. 20. Интенсивность видимого фотосинтеза (А), дыхания (Б) и истинного фотосинтеза (В) листьев среднего яруса растений в ноябре 2007 г. (а), январе 2008 г. (б) и начале марта 2008 г. (в). Температура листьев среднего яруса во время определения газообмена 25-29 °С; интенсивность ФАР на уровне листовых пластинок: 80-100 мкмоль/м²с (вариант 1), 120-140 мкмоль/м²с (вариант 2), 160-170 мкмоль/м²с (вариант 3).

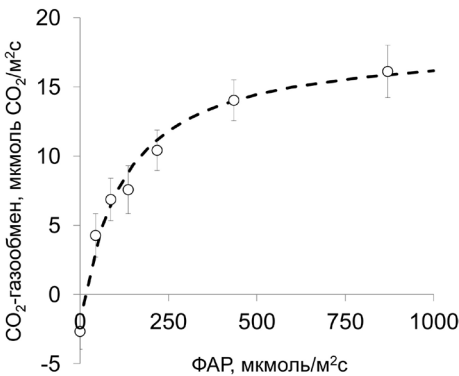


Рис. 21. Зависимость скорости CO₂-газообмена листьев среднего яруса растений огурца от освещенности. Данные 28-29.01.2008 г., вариант 2. Результаты описаны уравнением: CO₂-газообмен = d + ax/(x + b). Параметры уравнения: a = 20.69±1.36, b = 113±25, d = -2.43±0.79, P-величина для a, b, d < 0.003. Параметры касательной из начала координат к рассчитанной зависимости: ИРП 59 мкмоль/м²с; Фв при ИРП 4.7 мкмоль CO₂/м²с; угол наклона начального участка световой кривой фотосинтеза в диапазоне ФАР 0-150 мкмоль/м²с 0.082±0.012, P-величина < 0.001.

м²с. В январе-марте дыхательная активность листьев среднего яруса в вариантах 1 и 2 составляла около 3 мкмоль CO₂/м²с, а в варианте 3 достигала 6 мкмоль CO₂/м²с. Если принять, что дыхание листьев в темноте и на свету различается не сильно, то реально поглощение CO₂ (Фв + Дт) изменялось от 3-5 мкмоль CO₂/м²с в начале плодоношения (ноябрь) до 8-12 мкмоль CO₂/м²с в период интенсивного плодоношения (январь-март).

Изучение световой зависимости Фв проводили в конце января и в марте на листьях среднего яруса (рис. 21). Полученные кривые хорошо описываются уравнением Михаэлиса-Ментен с изменениями (Кайбейнтен, 2009). Скорость Фв возрастала почти линейно с увеличением интенсивности ФАР до 100-120 мкмоль/м²с.

Судя по углу наклона начального участка световой кривой, на ассимиляцию 1 моля CO_2 требовалось около 12 молей квантов. Наклон кривой уменьшался по мере повышения освещенности. Насыщение фотосинтеза светом в ноябре наблюдалось при интенсивности ФАР свыше $500 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$. В области светового насыщения листья молодых растений огурца способны поглощать CO_2 со скоростью $15\text{-}17 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$, что в два-три раза больше величин F_v , наблюдаемых в ценозе. К концу оборота проявлялась тенденция к снижению способности листьев ассимилировать CO_2 . Скорость F_v в области насыщения составляла $9\text{-}11 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (рис. 22).

Показатели индуцированной флуоресценции хлорофилла. Изучение параметров индуцированной флуоресценции хлорофилла *a* ФСII позволяет оценить потенциальную и реальную фотохимическую активность ФСII, что дает полезную информацию об условиях функционирования фотосинтетического аппарата (Гольцев и др., 2014). Листья среднего яруса во всех световых вариантах опыта с огурцом характеризовались высокими значениями показателя F_v/F_m – максимального квантового выхода ФСII (табл. 36). Этот показатель отражает потенциальную квантовую эффективность ФСII и может быть использован как индикатор фотохимической активности

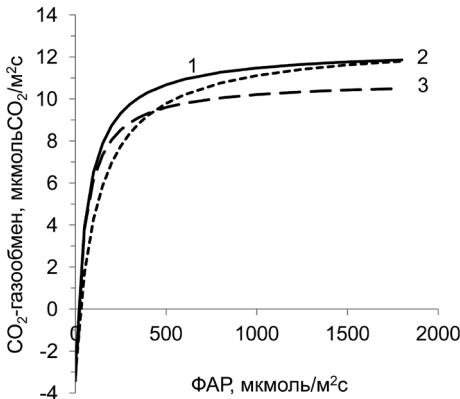


Рис. 22. Зависимость скорости CO_2 -газообмена листьев среднего яруса растений огурца от освещенности. Обозначения: 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и $240 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ от натриевых ламп высокого давления, установленных над ценозом. Данные получены 3-5 марта 2008 г. (завершение оборота).

фотосинтетического аппарата. Значения F_v/F_m в большинстве случаев превышали 0.8 отн. ед., что типично для фотосинтетического аппарата функционально активных листьев в оптимальных условиях среды. Величина реального квантового выхода (Y) дает представление об эффективности использования растениями света определенной интенсивности и спектрального состава. Оценив данный показатель, можно сделать вывод о количестве реакционных центров ФСII, свободных от электронов и способных воспринимать световую энергию. Измерения показали, что величина Y слабо зависела от освещенности и в варианте 1 на всем

Таблица 36

Реальный (Y) и максимальный (Fv/Fm) квантовый выход ФСII листьев огурца

Вариант	Ноябрь, 2007 г.		Январь, 2008 г.		Март, 2008 г.	
	Y	Fv/Fm	Y	Fv/Fm	Y	Fv/Fm
1	0.769±0.003	0.795±0.003	0.769±0.003	0.804±0.001	0.757±0.003	0.812±0.003
2	0.753±0.004	0.792±0.004	0.743±0.003	0.814±0.001	0.726±0.004	0.807±0.005
3	0.762±0.003	0.812±0.003	0.740±0.003	0.812±0.002	0.719±0.005	0.804±0.006

Примечание: варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

протяжении оборота составляла 0.76-0.77 отн. ед. Близкие значения (0.75-0.76 отн. ед.) были зарегистрированы и у листьев растений в вариантах 2 и 3, получающих больше света. В январе и марте листья этих растений характеризовались более низкими (на 5%) значениями Y, чем листья растений варианта 1. Полученные величины Y указывают на низкую «загруженность» ФСII.

Таким образом, данные о скорости фотосинтеза и оценка показателей фотохимической активности ФСII свидетельствуют о том, что во всех вариантах опыта реализация потенциала фотосинтеза листьев огурца в зимнем обороте ограничивалась недостатком световой энергии.

4.4.2. Накопление элементов минерального питания в растениях огурца, культивируемых при разной интенсивности света

Правильное сочетание условий светового и минерального питания является ключевым элементом интенсификации и экологизации технологий тепличного производства, способствует повышению урожайности и качества растительной продукции. Элементы минерального питания необходимы для формирования структуры и поддержания активности растительных клеток. Многие из них участвуют в метаболизме в качестве кофакторов или активаторов ферментных реакций. Технология выращивания огурца в теплице обеспечивала доставку питательного раствора индивидуально к каждому растению. Результаты наших исследований показали, что минеральный статус листьев зависел от возраста и уровня освещенности ценоза (табл. 37). В начале плодоношения (ноябрь) при высокой интенсивности света в листьях достоверно повышалось содержание калия и кальция. В варианте 3 концентрация калия в биомассе листьев была в 1.7 раза, а кальция почти в четыре раза больше по сравнению с вариантом 1. В то же время с улучшением световых условий заметно снижалось содержание азота и магния. Наиболее стабильным оставалось содержание фосфора.

Таблица 37

Содержание макроэлементов в листьях растений огурца, культивируемых при разной освещенности (данные 2007-2008 гг.)

Вариант	N		K		P		Ca		Mg	
	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март
мг/г сухой массы										
1	46	32	33	29	8	8	23	65	4	8
2	54	31	40	23	9	5	39	59	6	9
3	33	27	54	23	9	6	86	41	2	5
г/растение										
1	1.8	1.8	1.3	1.6	0.3	0.5	0.9	3.7	0.2	0.5
2	2.5	2.8	1.9	2.0	0.4	0.4	1.8	5.2	0.3	0.8
3	1.7	3.0	2.7	2.6	0.5	0.7	4.3	4.6	0.1	0.5

Примечание: стандартное отклонение от средней величины составляло $\pm 15-20\%$. Варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

Ближе к завершению цикла культивирования (март) у всех световых вариантов растений отмечали снижение, в среднем в 1.5-1.7 раза, концентрации азота и калия в листьях. Тенденция к снижению содержания фосфора отмечалась в вариантах 2 и 3, где освещенность была выше. При более низкой освещенности его содержание не изменялось. Концентрация магния возрастала во всех вариантах. Неоднозначный характер носили изменения концентрации кальция: при низкой освещенности его концентрация в листьях возрастала, а при высокой, наоборот, снижалась.

Листья огурца накапливали в сравнительно больших количествах натрия, железо и марганец (табл. 38). Содержание цинка и алюминия в биомассе листьев было на порядок ниже. С возрастом растений концентрация всех изученных микроэлементов, за исключением марганца, снижалась. Наиболее сильно эта тенденция проявлялась у цинка, его концентрация в биомассе листьев уменьши-

Таблица 38

Содержание микроэлементов в листьях растений огурца, культивируемых при разной освещенности, мг/кг сухой массы

Вариант	Na		Zn		Fe		Mn		Al	
	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март	Ноябрь	Март
1	280	260	40	18	90	190	110	220	13	11
2	370	300	68	19	170	150	160	200	15	9
3	420	140	37	16	100	80	110	160	15	12

Примечание: стандартное отклонение от средней величины составляло $\pm 25-30\%$; варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

лась к концу оборота в два-три раза. Повышение освещенности от 120 до 190 мкмоль/м²с (варианты 1 и 2) оказывало положительный эффект на накопление большинства микроэлементов. Однако при более высокой освещенности (вариант 3) концентрация микроэлементов в листьях растений была ниже. Содержание алюминия в листьях огурца сравнительно невысоко и влияние освещенности на его накопление проявлялось слабо.

Следует отметить, что представленные данные (табл. 37 и 38) характеризуют содержание макро- и микроэлементов в средней пробе из всех листьев растения. Интересно проследить закономерности накопления минеральных элементов в зависимости от положения листьев на растении. Как видно из данных табл. 39, листья разных ярусов существенно отличались по накоплению элементов минерального питания. В начале фазы плодоношения у всех световых вариантов имел место выраженный градиент концентрации макро- и микроэлементов по направлению от верхушки к основанию растения. В целом, более молодые листья верхнего яруса содержали в 1.5 раза и более меньше минеральных элементов, чем листья нижнего яруса, расположенные ближе к поглощающим питательный раствор корням растения. Наиболее сильные различия проявлялись в накоплении кальция и марганца.

Черешки и стебли не только не уступали, но и в ряде случаев превосходили листья по содержанию минеральных элементов (табл. 40). Они накапливали больше калия и натрия. По содержанию азота черешки и листовые пластинки сопоставимы. Однако

Таблица 39

**Содержание минеральных элементов в листьях
в зависимости от их ярусного положения
и световых условий культивирования растений**

Вариант	Ярусы	мг/г сухой массы					мг/кг сухой массы					
		N	K	P	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Mn	Cu	B
1	Верхний	38	30	7	18	4	320	36	99	64	4	18
	Средний	46	35	10	61	8	290	52	130	160	6	36
	Нижний	40	39	11	92	10	320	57	130	210	7	34
2	Верхний	39	29	7	26	4	200	32	87	83	5	20
	Средний	38	29	8	48	6	160	38	120	130	5	26
	Нижний	45	32	9	80	10	220	55	200	210	7	40
3	Верхний	34	25	7	22	3	180	40	95	67	4	16
	Средний	42	32	9	48	6	230	46	100	130	6	28
	Нижний	38	34	10	95	11	280	50	200	240	7	43

Примечание: стандартное отклонение от средней величины составляло $\pm 25-30\%$; варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

Таблица 40

Элементный состав надземных органов растений огурца, культивируемых при разной освещенности, мг/г

Вариант	Части растения	N	K	P	Ca	Mg	Na
1	Листья	32	29	8	66	9	0.3
	Черешки	48	120	4	37	3	0.8
	Стебли	30	69	11	10	2	0.8
2	Листья	31	23	5	59	10	0.2
	Черешки	41	93	3	39	4	0.9
	Стебли	30	67	9	10	2	0.9
3	Листья	27	23	6	41	4	0.1
	Черешки	37	107	9	36	4	0.5
	Стебли	31	63	8	10	2	0.8

Примечание: стандартное отклонение от средней величины составляло $\pm 25-30\%$; варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

фосфора, кальция и магния существенно больше в листовых пластинках, чем в черешках. Содержание азота и фосфора в стеблях примерно такое же, как и в листовых пластинках.

К концу плодоношения основная часть минеральных элементов, потребленных растением, заключалась в листьях и стеблях (табл. 41). Существенная доля минеральных элементов, депонированных в стебле, обусловлена их проводящей функцией и возросшим вкладом в общую биомассу растения. В черешках листьев заключалось в три-пять раз меньше минеральных элементов, чем в стебле.

Следует отметить, что условия освещения в период культивирования огурца оказали влияние на фонд минеральных элементов и его распределение по органам растения (рис. 23). С улучшением световых условий в листьях локализовалось больше азота, калия и кальция. Плоды, наоборот, накапливали меньше минеральных элементов, особенно фосфора. Интенсивность освещения растений заметно повлияла на относительное содержание фосфора и кальция в стеблях. Во всех вариантах стебли содержали почти половину потребленного растениями калия, тогда как основная доля азота и кальция локализовалась в листьях.

Таблица 41

Распределение фонда минеральных элементов в надземной части растений (вариант 2, ФАР 190 мкмоль/м²с), %

Элемент	Листья	Черешки	Стебли	Плоды
Азот	41.8	6.6	32.0	19.6
Калий	21.6	10.6	49.6	18.2
Фосфор	24.8	2.8	49.2	23.2
Кальций	80.5	6.5	10.7	2.3

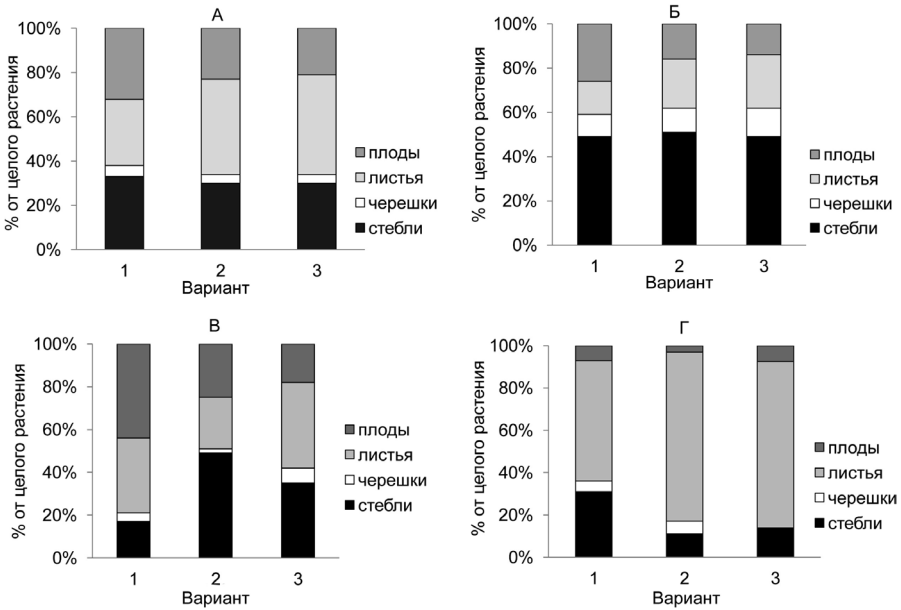


Рис. 23. Распределение азота (А), калия (Б), фосфора (В) и кальция (Г) в растениях огурца в конце оборота. *Обозначения:* варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

По соотношению элементов в листовой пластинке и черешке можно оценить условия питания растений. Чем больше величина данного показателя, тем выше эффективность использования растением тех или иных минеральных элементов. Как видно из данных табл. 42, наименьшее значение показателя характерно для калия, так как черешки листьев значительно превосходят листовые пластинки по содержанию этого элемента (табл. 40).

Таблица 42

Соотношение элементов минерального питания в листовых пластинках и черешках листьев среднего яруса растений огурца в конце оборота (март)

Вариант	N	K	P	Ca	Mg
1	0.7	0.2	2.0	1.8	2.9
2	0.7	0.2	1.5	1.5	2.5
3	0.7	0.2	0.7	1.1	1.1

Примечание: варианты 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом.

По содержанию азота черешки и листовые пластинки более сопоставимы. Однако фосфора, кальция и магния существенно больше в листовых пластинках, чем в черешках. Отчетливо проявлялась тенденция к снижению величины соотношения этих элементов в листьях и черешках с увеличением светового довольствия растений, тогда как в отношении азота и калия такая закономерность не наблюдалась.

По нашим данным, в 1 кг свежих плодов содержалось в среднем 2.4 г азота, 1.8 г калия, 0.3 г фосфора, примерно столько же кальция и вдвое меньше магния. Если принять, что содержание сухого вещества в плодах варьирует в пределах 5-7%, то минеральные элементы вносят заметный вклад в сухую биомассу – около 10%.

Таким образом, нами установлено, что выращивание тепличной культуры огурца на питательном растворе при разной освещенности оказывало влияние на накопление и использование растениями элементов минерального питания. Улучшение световых условий приводило к значительному повышению концентрации калия и кальция на фоне снижения содержания азота и магния в листьях. Листья верхнего яруса содержали меньше минеральных элементов, чем листья нижнего яруса. С возрастом растений концентрация большинства минеральных элементов в листьях снижалась. Выявлены различия между органами растений по накоплению минеральных элементов.

4.4.3. Влияние комбинированного освещения натриевыми и ртутными лампами на морфофизиологические и продукционные показатели огурца

В процессе фотосинтеза энергия света (электромагнитная энергия) преобразуется в энергию химических связей. Энергия, которую несут частицы света (фотоны или кванты), зависит от длины волны: чем ближе максимумы волн друг другу, тем больше их энергия. Поэтому синий свет обладает большей энергией (около 50 ккал/энштейн), чем красные лучи (40 ккал/энштейн) (Мокроносов и др., 2006). Однако избыточная энергия фотона синего не может эффективно использоваться для совершения полезной работы и рассеивается в виде тепла. Следует иметь в виду, что синие лучи, кроме непосредственного участия в фотосинтезе, способны оказывать влияние на рост и направленность метаболизма растений (Воскресенская, 1966, 1979).

Мы провели сравнительное изучение основных функциональных и продукционных показателей растений огурца, выращиваемых под натриевыми лампами типа ДНаЗ-600Вт/REFLUX при досвечивании ртутными лампами типа ДРиЗ-600Вт/REFLUX, которые имеют максимумы поглощения в области 550-600 и 450 нм

соответственно. Растения получали свет от натриевых и ртутных ламп, соотношение которых равнялось 2:1, причем ртутные лампы работали 19 ч (вариант 4), 12 ч (вариант 5), 6 ч (вариант 6) и 2 ч (вариант 7). Когда ртутные лампы отключали, то растения (варианты 5-7) освещались только натриевыми лампами, обеспечивающими интенсивность ФАР на горизонтальной поверхности матов около 120 мкмоль/м²с.

В опытах с использованием ртутных ламп не выявили заметных изменений в росте и развитии растений огурца. Сформированные под натриевыми лампами (варианты 1-3) и с добавлением света ртутных ламп (варианты 4-7) ценозы огурца не отличались существенно по показателям листовой поверхности и фотосинтетической активности. Растения варианта 4, получавшие свет ртутных ламп в течение всего фотопериода, не отличались от растений вариантов 2 и 3 по величине УППЛ (рис. 24). УППЛ растений вариантов 5-7 имела тенденцию к снижению по сравнению с вариантами 2-4, но была выше, чем у растений варианта 1, культивируемых под натриевыми лампами при низкой освещенности.

Сравнительные определения CO_2 -газообмена листьев среднего яруса в фазу начала плодоношения показали, что скорость Фв листьев растений, получавших дополнительно свет ртутных ламп, составляла в среднем 3.5 мкмоль CO_2 /м²с, что эквивалентно 5.5 мг CO_2 /дм²ч или 22-24 мг CO_2 /г сухой массы в час (рис. 25). Это сопоставимо с растениями, культивируемыми под натриевыми лампами (варианты 1-3).

Досвечивание ртутными лампами приводило к снижению содержания пигментов в листьях верхнего яруса (варианты 5-7) (табл. 43), однако у нижерасположенных листьев этот эффект не наблюдался. Во всех вариантах опытов доля

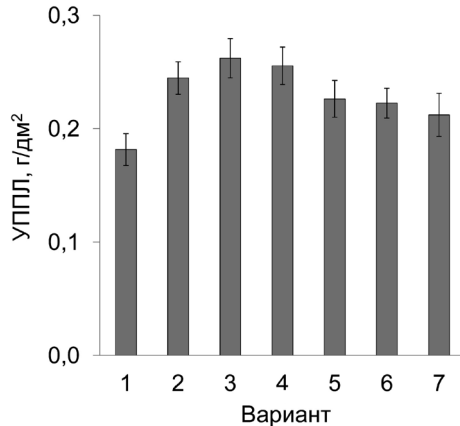


Рис. 24. Величина УППЛ растений огурца в фазе начало плодоношения, культивируемых при разных световых условиях (данные 12-16.11.07). Обозначения: 1, 2, 3 – растения, выращиваемые при интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с под натриевыми лампами ДНаЗ; 4-7 – растения, выращиваемые при досвечивании ртутными лампами ДРиЗ в течение 19, 12, 6 и 2 ч соответственно (объяснения в тексте).

хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу, у листьев верхнего яруса составляла 55-58%, нижнего – 62-65%.

Растения, получающие дополнительно к натриевым свет ртутных ламп, не отличались существенно от растений, выращиваемых исключительно под натриевыми лампами, по содержанию элементов минерального питания. В фазу начала плодоношения (ноябрь) в листьях растений, получающих свет ламп, содержащих больше синих лучей, концентрация азота составляла в среднем 5%, калия и кальция – 4-5%, а фосфора и магния – 0.7-0.8%. К концу оборота концентрация азота и калия снижалась, кальция – возрастала, а фосфора и магния изменялась в меньшей степени. Листья растений, досвечиваемых ртутными лампами, накапливали больше микроэлементов – цинка и молибдена. В фазу начала плодоношения содержание цинка достигало 100 мкг/г сухой массы, тогда как у растений,

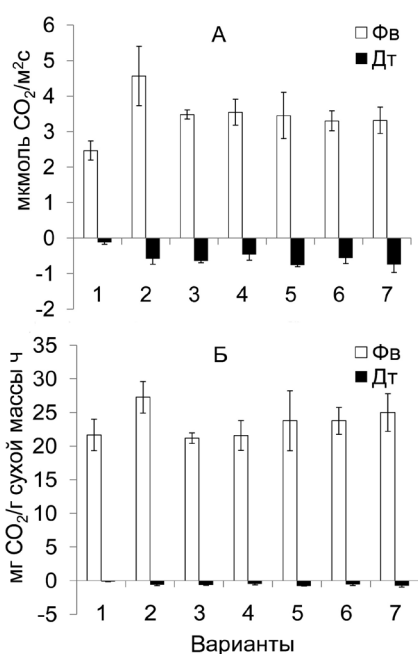


Рис. 25. Скорость CO₂-газообмена листьев огурца среднего яруса в расчете на единицу площади (А) и сухую биомассу (Б). Обозначения как на рис. 24; измерения выполнены 12-16.11.07 при реальной интенсивности освещения (ФАР) в ценозах.

культур, культивируемых под натриевыми лампами, не превышало 70 мкг/г сухой массы. В конце оборота различия нивелировались. Такие же закономерности были обнаружены в отношении молибдена. Максимальные величины содержания Мо (1.2 мкг/г сухой массы) имели листья растений в вариантах 5-7.

Досвечивание ртутными лампами не оказывало существенно влияния на метаболизм растений в целом. Об этом свидетельствует тот факт, что величина соотношения С/Н в листьях растений значимо не отличалась от варианта с освещением лампами ДНаЗ и была довольно стабильной (7.4-7.7). При этом содержание углерода в листьях составляло 37-38%, а азота варьировало в узких пределах – 4.8-5.4%.

Таким образом, досвечивание растений ртутными лампами не оказало значимого эффекта на морфофизиологические показатели листьев и состояние фотосинтетического аппарата.

Таблица 43

**Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сухой массы)
в листьях растений огурца при досвечивании ртутными лампами,
ФАР 190 мкмоль/м²с**

Вариант	Ярусы					
	Верхний		Средний		Нижний	
	Хл (a+b)	Каротиноиды	Хл (a+b)	Каротиноиды	Хл (a+b)	Каротиноиды
4	17.3±1.3	3.2±0.4	19.1±1.9	3.3±0.4	18.2±3.7	2.9±0.5
5	10.4±1.5*	1.9±0.3*	18.5±1.5	3.1±0.2	16.7±2.3	2.7±0.4
6	11.1±1.1*	2.2±0.1*	22.1±1.7	3.5±0.1	16.8±0.7	2.5±0.2
7	11.6±0.9*	2.1±0.2*	17.9±1.2	2.7±0.2	13.2±1.9	2.0±0.4

Примечания: варианты 4, 5, 6, 7 – растения, выращиваемые при досвечивании ртутными лампами ДРиЗ в течение 19, 12, 6 и 2 ч соответственно; * разница между вариантом 4 и вариантами 5, 6 и 7 статистически значима при α 0.05 ($P < 0.05$).

4.4.4. Показатели продукционного процесса растений огурца при досвечивании внутри ценоза

Поглощение и усвоение света растениями зависит от площади листовой поверхности, мощности светового потока и его распределения внутри ценоза. При освещении растений светильниками, расположенными сверху, световая среда в ценозе характеризуется значительным градиентом снижения освещенности в направлении от верхних листьев к нижним. Листья верхнего яруса освещались в 1.2-1.3 раза интенсивней листьев среднего яруса и почти в два раза лучше листьев, расположенных в основании плети.

Одним из способов улучшения воздушного питания листьев среднего и нижнего ярусов, где происходит завязывание, формирование и налив плодов, является досвечивание внутри ценоза, что требует дополнительной затраты энергетических ресурсов. Поэтому одной из основных задач нашей работы было исследовать физиолого-биохимические показатели тепличной культуры огурца и оценить эффективность использования света при дополнительном размещении ламп внутри ценоза.

Как было показано в разделе 4.3 (табл. 28, рис. 14), листья среднего и нижнего ярусов на стороне, где размещались межрядные лампы, получали почти вдвое больше света. Градиент освещенности от верхних листьев к нижним был сильнее выражен на стороне без дополнительного освещения. Однако, несмотря на улучшение световой среды при использовании межрядных ламп, неравномерность освещения листьев растений оставалась довольно высокой.

Концентрация пигментов в листьях увеличивалась от верхушки к основанию плети почти в два раза. При этом листья среднего

Таблица 44

Содержание пигментов (мг/г сухой массы) в листьях растений огурца при досвечивании внутри ценоза (декабрь, оборот 2009-2010 гг.)

Показатели	Ярусы				
	Верхний (A+D)	Средний (E)	Нижний (F)	Средний (B)	Нижний (C)
Хлорофилл а	4.4 ± 0.5	5.6 ± 0.4	7.4 ± 1.6	5.7 ± 0.1	7.8 ± 0.8
Хлорофилл б	1.2 ± 0.2	1.5 ± 0.1	2.3 ± 0.5	1.7 ± 0.1	2.4 ± 0.2
Хлорофилл (а+б)	5.6 ± 0.6	7.2 ± 0.5	9.7 ± 0.2	7.4 ± 0.2	10.2 ± 1.0
Каротиноиды	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.8 ± 0.4	1.3 ± 0.1	1.8 ± 1.2
ССК, %	48	47	51	50	51

Примечание: А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F – сторона ряда с лампами в междурядьях.

яруса со стороны, освещаемой межрядными лампами (E), не отличались от листьев противоположной стороны, где лампы отсутствовали (B), по содержанию хлорофиллов. Концентрация хлорофиллов в них составляла 7.2-7.4 мг/г сухой массы. Доля хлорофиллов в ССК листьев среднего яруса, освещаемых межрядными лампами, составляла около 47% и была заметно ниже по сравнению с противоположной стороной (табл. 44).

Выявленные закономерности в той или иной мере проявлялись во все годы проведения опытов с применением досвечивания внутри ценоза, несмотря на то, что растения в разных оборотах могли отличаться по накоплению в листьях пигментов и величине УППЛ (табл. 45). Анализ показал, что листья верхнего яруса, получающие свет от верхних ламп, характеризовались более высокими значениями УППЛ по сравнению с листьями среднего и нижнего ярусов, досвечиваемых межрядными лампами.

Таблица 45

Содержание хлорофиллов и удельная поверхностная плотность листьев огурца при досвечивании внутри ценоза (декабрь-январь)

Ярусы	Хл (а + б), мг/дм ²		Хл (а + б), мг/г сухой массы		УППЛ, г/м ²	
	2009 г.	2011 г.	2009 г.	2011 г.	2009 г.	2011 г.
Верхний (A+D)	1.8±0.2	3.3±0.1	5.6±0.6	8.5±0.3	36±2	30±2
Средний (B)	1.7±0.1	2.7±0.2	7.4±0.2	15.1±1.6	26±2	17±1
Нижний (C)	1.7±0.2	2.4±0.3	10.2±1.0	15.9±1.6	27±2	17±1
Средний (E)	1.7±0.1	4.2±0.2	7.2±0.5	14.9±0.5	26±2	23±3
Нижний (F)	1.7±0.2	3.1±0.4	9.7±2.0	13.7±1.7	27±2	20±1

Примечание: А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F – сторона ряда с лампами в междурядьях.

Таблица 46

Элементный состав сухой массы огурца (февраль 2009 г.)

Части растения	Ярус	N	C	K	P	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Mn
		мг/г							мг/кг		
Лист	1	40±4	402±20	34.6	7.6	22.6	4.5	0.31	62±12	240±70	79±24
	2	40±4	370±40	26.6	5.4	63.7	7.9	0.26	42±8	103±29	140±40
	3	35±4	330±30	29.6	6.9	100.6	12.6	0.30	45±9	130±40	180±50
Черешки	1	50±5	277±28	150.8	8.4	15.7	2.3	0.67	37±7	74±21	30±9
	2	49±5	262±26	140.5	7.3	29.7	2.9	0.72	28±6	86±24	38±12
	3	56±6	244±24	118.3	7.9	35.4	4.4	0.57	24±5	31±9	36±11
Стебли	1	36±4	360±40	104.9	10.1	7.8	2.3	0.71	40±8	54±15	22±7
	2	32±3	370±40	81.7	9.4	8.4	2.2	0.62	39±8	50±20	27±8
	3	35±3	360±40	77.6	10.2	11.3	2.9	0.76	41±8	53±15	29±9

Следует отметить, что листья верхнего яруса составляли менее 25% площади листовой поверхности целого растения, тогда как на продуктивные средний и нижний ярусы приходилось соответственно 30-35 и 40-45% листовой поверхности.

В опытах с досвечиванием внутри ценоза нижние листья растения огурца характеризовались более высоким накоплением магния, кальция и марганца, тогда как верхние содержали больше железа и цинка (табл. 46). Отмечалась тенденция снижения концентрации азота и углерода в листьях от верхнего к нижнему ярусу. По сравнению с листьями стебли и черешки содержали существенно больше калия, натрия, но меньше кальция, магния и микроэлементов (Zn, Fe, Mn). По содержанию азота стебли уступали черешкам. Наименьшая концентрация углерода была обнаружена в черешках. Соотношение C/N в листьях равнялось в среднем 9.5, в черешках – около 5.0, в стеблях – 10.5.

CO₂-газообмен листьев огурца зависел от их положения на растении и освещенности. Величина Фв при освещении лампами, установленными сверху, снижалась от листьев верхнего к листьям нижнего яруса (рис. 26).

Анализ результатов опытов, проведенных с досвечиванием внутри ценоза на светокультуре огурца в осенне-зимних оборотах, показывает, что Фв листьев верхнего яруса во время фотопериода, когда все светильники включены, составляла 8-10 мкмоль CO₂/м²с (табл. 47). Листья среднего и нижнего ярусов, расположенные на стороне, обращенной к междурядным лампам, фотосинтезировали интенсивней противоположных листьев. Особенно это проявлялось в конце фотопериода (16-19 ч) при постепенном отключении ламп. При отключении всех ламп (20-24 ч) регистрировали выделение CO₂ из листьев. В первом опыте скорость дыхания (Дт) листьев огурца

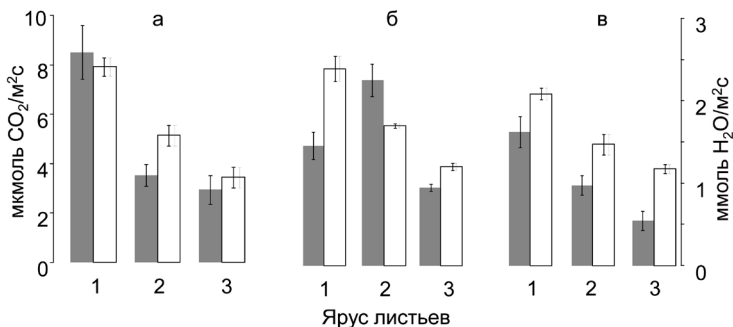


Рис. 26. Скорость нетто-фотосинтеза (темные столбцы) и транспирации (светлые столбцы) листьев верхнего (1), среднего (2) и нижнего (3) ярусов в условиях верхнего освещения (а) и при досвечивании внутри ценоза (б, в). Сторона ряда с лампами (б) и без них (в) (данные за февраль 2009 г., оборот 2008-2009 гг.).

варьировала в зависимости от их положения на стебле в пределах 0.7-1.4 мкмоль CO₂/м²с. У листьев верхнего яруса доля Дт составляла 25-30% от Фв, тогда как у листьев нижнего яруса этот показатель был существенно выше, особенно в опыте 2.

Кривые зависимости Фв листьев разного яруса от освещенности аппроксимировали уравнением Михаэлиса-Ментен (рис. 27). В области насыщающей ФАР скорость фотосинтеза листьев варьировала в пределах 7-12 мкмоль CO₂/м²с в зависимости от яруса и условий освещения (табл. 48).

Доля дыхания составляла у листьев верхнего и среднего ярусов 6-9%, а у листьев нижнего яруса – 13-15% от максимальной скорости фотосинтеза. У листьев среднего и нижнего ярусов со сторо-

Таблица 47

Скорость CO₂-газообмена листьев огурца в разное время суток, мкмоль CO₂/м²с

Ярусы	Опыт 1 (2008-2009 гг.)			Опыт 2 (2010-2011 гг.)		
	8-11 ч	16-19 ч	20-24 ч	8-11 ч	16-19 ч	20-24 ч
Верхний (А)	8.6±0.9	8.8±1.0	-1.4±0.6	11.3±1.5	8.8±0.6	-4.0±0.4
Средний (В)	5.3±0.5	1.6±0.3	-1.4±0.3	5.9±1.4	1.4±0.4	-4.8±0.5
Нижний (С)	3.0±0.3	-1.3±0.2	-0.8±0.4	1.3±0.5	-2.8±0.6	-2.0±0.3
Верхний (D)	7.5±1.0	2.2±0.2	-1.4±0.6	11.3±1.6	6.3±1.2	-0.9±0.2
Средний (Е)	3.2±0.5	1.1±0.2	-1.0±0.7	5.4±0.7	9.2±1.3	-2.2±0.1
Нижний (F)	5.5±0.5	0.3±0.2	-0.7±0.2	3.0±0.6	5.8±0.5	-2.5±0.4

Примечание: А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, Е, F – сторона ряда с лампами в междурядьях; А, D – листья верхнего яруса; В, Е – листья среднего яруса; С, F – листья нижнего яруса.

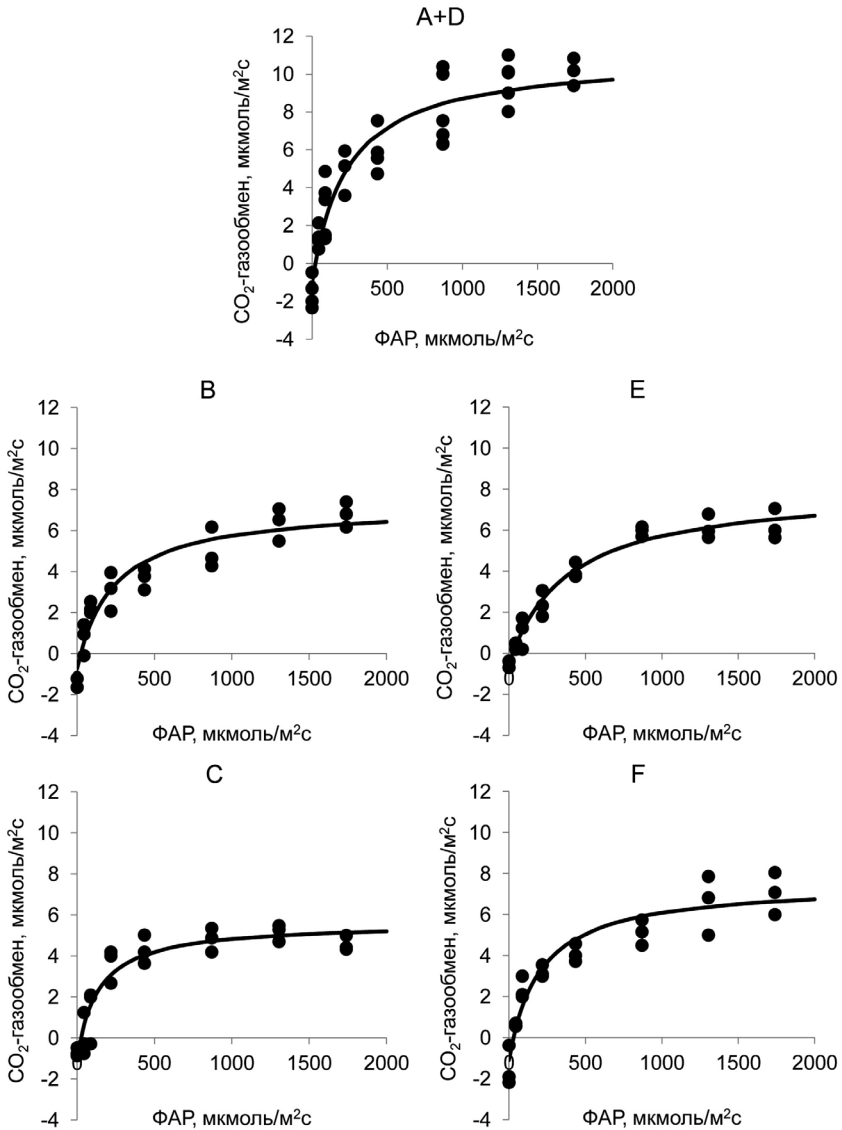


Рис. 27. Зависимость скорости CO₂-газообмена листьев верхнего (A+D), среднего (B, E) и нижнего (C, F) ярусов огурца от освещенности. Результаты описаны уравнением Михаэлиса-Ментен [$F_v = D_T + (a \times \text{ФАР}) / (b + \text{ФАР})$]; A, E, F – листья со стороны ряда без ламп; D, E, F – листья, освещаемые межрядными лампами.

Таблица 48

Параметры световой кривой CO_2 -газообмена листьев огурца при досвечивании внутри теплицы (ноябрь 2009 г.)

Ярусы	a, мкмоль $\text{CO}_2/\text{m}^2\text{c}$	b, мкмоль/ m^2c	Дт, мкмоль $\text{CO}_2/\text{m}^2\text{c}$	tg α	ИРП, мкмоль/ m^2c	$\Phi_{\text{ИРП}}$ мкмоль $\text{CO}_2/\text{m}^2\text{c}$
Верхний (А+D)	12.0±0.7	232±65	-0.97±0.57	0.030±0.004	93	2.43
Средний (B)	8.0±0.6	233±77	-0.74±0.50	0.017±0.004	102	1.69
Нижний (C)	6.6±0.5	137±42	-1.01±0.43	0.020±0.003	88	1.58
Средний (E)	8.6±0.4	378±76	-0.54±0.24	0.013±0.002	126	1.62
Нижний (F)	8.6±0.6	202±60	-1.09±0.48	0.020±0.004	111	1.98

Примечание: a – максимальная скорость фотосинтеза, b – интенсивность ФАР, при которой скорость фв составляет 50% от максимальной; tg α – угол наклона начального (линейного) участка световой кривой; ИРП – интенсивность радиации при способлении; $\Phi_{\text{ИРП}}$ – фв при ИРП; А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F – сторона ряда с лампами в междурядьях.

ны, освещаемой межрядными лампами, проявлялась тенденция повышения максимальной скорости фотосинтеза и интенсивности ФАР, при которой скорость фотосинтеза составляет 50% от максимальной. Величина угла наклона (tg α) начального (линейного) участка кривой была максимальной у хорошо освещаемых верхних листьев и заметно снижалась у листьев среднего и нижнего ярусов. Судя по полученным данным, для ассимиляции моля CO_2 верхним листьям требуется немногим более 30 молей квантов света, а листьям среднего и нижнего ярусов – от 50 до 70 молей квантов света.

Оценивая эти величины, следует иметь в виду, что светильники обеспечивали за сутки приход на 1 m^2 горизонтальной поверхности около 15 молей ФАР. Это означает, что они могли обеспечить энергией ассимиляцию 0.3 молей CO_2 , что эквивалентно 13.2 г CO_2 или образованию порядка 9 г восстановленного углерода (CH_2O)_n – субстрата, используемого на рост и дыхание.

Фонд неструктурных углеводов в получавших больше света листьях верхнего яруса был представлен преимущественно крахмалом (табл. 49). Листья среднего и нижнего ярусов, обращенные к межрядным лампам, накапливали в два-четыре раза больше крахмала по сравнению с листьями противоположной стороны, где лампы отсутствовали по техническим причинам. Максимум накопления крахмала у этих листьев отмечали ближе к концу периода досвечивания (14 ч).

Таблица 49

Содержание неструктурных углеводов (мг/г сухой массы) в листьях огурца при досвечивании внутри ценоза (декабрь, 2009 г.)

Показатель	Время, ч	Верхний (A+D)	Средний (E)	Нижний (F)	Средний (B)	Нижний (C)
Растворимые углеводы	7.30	27.0±2.2	16.0±8.6	13.1±0.4	19.1±1.9	8.0±3.6
	14.00	25.2±1.0	11.6±2.1	10.6±4.7	6.0±2.0	5.9±0.4
	21.00	17.0±7.0	7.3± 0.8	3.8±0.7	14.3±1.8	7.0±0.2
Крахмал	7.30	250±34	70±10	44±7	33±5	10±2
	14.00	242±16	130±14	70±28	27±9	16±3
	21.00	196±20	66±13	41±2	17±1	18±3

Примечание: А, В, С – сторона ряда без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F – сторона ряда с лампами в междурядьях.

Сходные тенденции наблюдали и у листьев на стороне ряда без ламп. В листьях верхнего яруса очень высокий уровень содержания крахмала поддерживался практически в течение всего суточного цикла. Более выраженная динамика фонда неструктурных углеводов в листьях среднего и нижнего ярусов обусловлена тем, что они являются донорами субстрата, необходимого для формирования плодов.

На рис. 28 приведены данные об изменении относительного содержания моно- и дисахаров, формирующих фонд растворимых углеводов в листьях. По сравнению с крахмалом, концентрация растворимых углеводов существенно меньше. Максимум накопления дисахаров в листьях среднего и нижнего ярусов отмечали ближе к концу периода экспозиции к искусственному свету (14-17 ч). После периода темноты, который длился с 17 до 21 ч, количество дисахаров сильно падало (в 2.0-2.5 раза).

Динамика содержания дисахаров в листьях верхнего яруса отличалась от листьев среднего и нижнего ярусов. Их количество в верхушечных листьях повышалось в течение темного периода. Фонд моносахаров изменялся в противоположной дисахарам манере. Следует отметить сходство динамики сахаров в листьях, расположенных на стороне с межрядными лампами, и на противоположной стороне, где лампы внутри ряда отсутствовали.

В табл. 50 приведены данные о накоплении и распределении биомассы у огурца, культивируемого с применением ламп в междурядьях. Уже в начале декабря сырая масса растений достигала 2.5 кг. Растения почти на две недели раньше, чем в варианте с верхним освещением, начинали цвести и формировать плоды. Доля плодов в сырой надземной массе составляла более 50%. Зеленцы при-

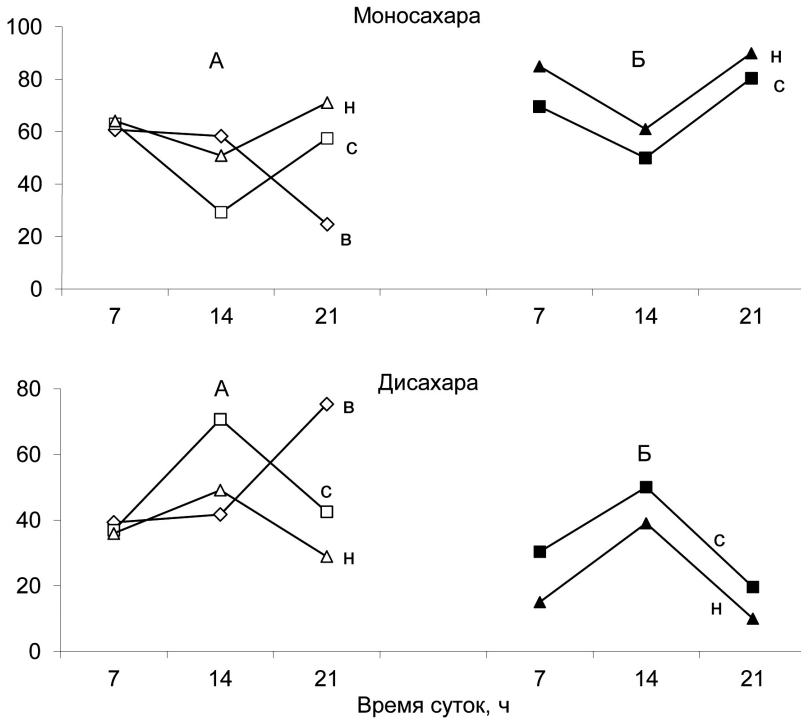


Рис. 28. Динамика относительного содержания (в % от суммы сахаров) моно- и дисахаров в листьях растений огурца, культивируемых с досвечиванием внутри ценоза; А – сторона ряда с лампами в междурядьях, Б – сторона без ламп; в, с, н – листья верхнего, среднего и нижнего ярусов.

Таблица 50
Накопление и распределение биомассы в растениях огурца при досвечивании внутри ценоза (декабрь, 2009 г.)

Часть растения	Биомасса, г/растение			Сумма, г	% от целого растения
	Верхний	Средний	Нижний		
Листья	93.5	168.4	136.0	397.9	15.8
Черешки	35.2	81.3	86.7	203.2	8.1
Стебли	48.9	54.0	414	516.9	20.6
Зеленцы	–	84.0	–	84.0	3.3
Плоды	–	–	1311.6	1311.6	52.2
Целое растение				2510.6	

Примечание: прочерк – при отборе проб плоды и зеленцы отсутствовали.

существовали в среднем, а плоды – в нижнем ярусе растений. По сравнению с плодами, на листовые пластинки приходилось в три раза меньше биомассы.

Таким образом, оптимизация светового поля внутри ценоза путем размещения светильников в междурядьях, не используемых для технических целей, способствует улучшению световых условий для функционирования листьев среднего и нижнего ярусов и приводит к повышению их фотосинтетической активности, накоплению дополнительного фонда углерода, необходимого для обеспечения роста плодов. Суммарное за сутки поступление ФАР к растениям при досвечивании внутри ценоза составляло в среднем 15 моль/м^2 , в том числе 17-20% за счет межрядных ламп.

4.5. Урожайность и эффективность использования световой энергии культурой огурца в зимних теплицах на Севере

Вопросы оптимизации светового режима и повышения эффективности использования световой энергии при формировании урожая светокультуры являются ключевыми для развития овощеводства защищенного грунта. Данные литературы свидетельствуют о перспективности разработки и усовершенствования технологии применения искусственного освещения с целью повышения урожайности овощных культур в условиях защищенного грунта (Тараканов и др., 1982; Протасова, 1987; Тихомиров, 1994; Тихомиров, Шарупич, 1991; Тихомиров и др., 2000; Астафурова и др., 2001; Велит и др., 2004; Аутко и др., 2006). Особую актуальность эта проблема приобретает в северных регионах, отличающихся низким поступлением солнечной радиации в осенне-зимний период (октябрь-февраль) и особенно в ноябре-январе, когда суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность даже при безоблачном небе составляет $34\text{-}58 \text{ МДж/м}^2$ (Приложение 1).

Нами впервые были проведены исследования светового поля тепличных растений огурца в условиях различных режимов искусственного освещения в осенне-зимнем обороте на европейском северо-востоке России. Установлено, что при размещении натриевых ламп высокого давления (ДНаЗ-600Вт/REFLUX) над рядами растений листья среднего и нижнего ярусов получали в 1.5-2.0 раза меньше света по сравнению с верхушечными листьями. Увеличение интенсивности потока ФАР к растениям за счет размещения большего количества ламп над ценозом способствовало улучшению световых условий для фотосинтеза листьев. Вместе с тем, освещение растений светильниками, расположенными сверху, не позволяет добиться

ся значительного уменьшения градиента освещенности в направлении от верхних листьев к нижним. В результате листья продуктивного среднего и нижнего слоев ценоза функционируют в условиях недостатка световой энергии. В период начала плодоношения огурца (ноябрь) во всех вариантах опытов с расположением светильников над рядами растений листья среднего и нижнего ярусов фотосинтезировали в 1.5-2.0 раза слабее листьев, расположенных ближе к верхушке. Режим верхнего освещения не обеспечивает листьям продуктивных ярусов сформированного ценоза огурца достаточным количеством световой энергии, необходимой для реализации потенциальных возможностей фотосинтетического аппарата. Опыты с перераспределением света внутрь ценоза путем установки светильников в междурядьях показали, что в северных условиях это является эффективным способом создания световой среды, обеспечивающей лучшие условия для воздушного питания листьев среднего и нижнего ярусов. Листья среднего и нижнего ярусов, расположенные на стороне, обращенной к междурядным лампам, получали больше света и фотосинтезировали интенсивней противоположных листьев. Следовательно, регулируя распределение ФАР в ценозе и освещенность листьев во внутренних слоях ценоза можно оказывать прямое воздействие на фотосинтетическую продуктивность.

Исследованный сорт огурца Церес F1 можно отнести к умеренно светолюбивым растениям, способным эффективно использовать энергию ФАР низкой интенсивности благодаря морфофизиологической пластичности. Адаптивные реакции к недостатку света проявлялись в накоплении хлорофиллов (табл. 34) и снижении УППЛ (табл. 33, рис. 17). Анализ кривой зависимости фотосинтеза от освещенности (рис. 21 и 27) выявил, что листья светокультуры огурца способны ассимилировать CO_2 со скоростью 50% от максимальной при сравнительно низкой интенсивности ФАР – менее 20% от полной солнечной. Х.А. Тоомигом (1984) введено понятие интенсивности радиации приспособления (ИРП), характеризующей освещенность листьев в ценозе, при которой соотношение фотосинтеза и дыхания листа оптимально и, следовательно, эффективность запасаения энергии повышается. Если применить этот показатель к листьям фитоценоза огурца, сформированного в условиях искусственного освещения, то оказывается, что величина ИРП составляет в среднем около 80-100 мкмоль/м²с или 16-20 Вт/м². Для большинства выращиваемых в поле сельскохозяйственных культур этот показатель, по крайней мере, в два-три раза выше (Тоомиг, 1984).

Эффективность использования света растениями можно также оценить по соотношению скорости поглощения CO_2 листьями и по-

ступающей к ним ФАР (моль CO_2 /моль ФАР) (Nederhoff, 1994). На световой кривой Фв эта величина соответствует тангенсу угла наклона линейного участка. В обороте 2009-2010 гг. среднее значение tg угла наклона начального участка световой кривой для листьев верхнего, среднего и нижнего ярусов составило 0.026 ± 0.007 моль CO_2 /моль ФАР (табл. 29) или 4.9 ± 1.3 г CO_2 /МДж ФАР. В области ИРП средняя величина соотношения CO_2 /ФАР составила 0.018 ± 0.002 моль CO_2 /моль ФАР или 3.5 ± 0.5 г CO_2 /МДж ФАР. Полученные величины входят в диапазон значений эффективности использования света от 3 до 10 г CO_2 /МДж ФАР, приводимых для огурца, перца и томата, выращенных при интенсивности ФАР, равной 450 мкмоль/м²с (Nederhoff, 1994). У растений огурца, культивируемых при более высокой освещенности и концентрации CO_2 в воздухе теплицы около 1%, этот показатель увеличивался до 18 г CO_2 /МДж ФАР.

Интенсивность света влияет на минеральное питание растений. Более высокая транспирация на интенсивном свете может приводить к накоплению минеральных элементов в листьях и плодах. Например, применение дополнительного освещения при выращивании лилий приводило к накоплению в листьях азота, фосфора, калия, кальция и магния (Treder, 2004). Нами установлено, что выращивание тепличной культуры огурца при разной освещенности в условиях не лимитирующего снабжения минеральным питанием оказывало определенное влияние на накопление и использование растениями минеральных элементов. Улучшение световых условий приводило к повышению концентрации калия и кальция на фоне снижения содержания азота и магния в листьях (табл. 37). Листья верхнего яруса содержали меньше минеральных элементов, чем листья нижнего яруса (табл. 39). С возрастом растений концентрация большинства минеральных элементов в листьях снижалась (табл. 37, 38). В опытах с досвечиванием внутри ценоза нижние листья огурца характеризовались более высоким накоплением магния, кальция и марганца, тогда как верхние содержали больше железа и цинка (табл. 46). Отмечалась тенденция снижения концентрации азота и углерода в листьях от верхнего к нижнему ярусу.

Значительная часть азота листьев участвует в создании структуры фотосинтетического аппарата. Азот входит в состав хлорофилла, пигмент-белковых комплексов фотосистем, структурных белков и ферментов углеродного метаболизма. Отношение скорости фотосинтеза к содержанию азота является хорошим индикатором эффективности использования азота при фотосинтезе (ЭИА) (Hirose, 1987; Кошкин, 2010). Из табл. 51 видно, что в начале плодоношения ве-

Таблица 51

Скорость фотосинтеза (Фв) и эффективность использования азота при фотосинтезе (ЭИА) в листьях верхнего (а), среднего (б) и нижнего (в) ярусов растений огурца, культивируемого при разной освещенности

Вариант	Фв, мг CO ₂ /дм ² ч*			ЭИА, г CO ₂ /г N ч		
	а	б	в	а	б	в
1	11.3±2.1	5.1±0.5	5.5±0.3	1.13±0.22	0.61±0.06	1.05±0.06
2	13.4±0.7	5.5±0.9	4.6±0.9	1.14±0.06	0.60±0.09	0.46±0.09
3	19.4±3.6	8.4±1.4	6.2±0.4	1.40±0.26	0.77±0.13	0.82±0.05

Примечание: варианты 1, 2, 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с; * величины Фв пересчитаны из мкмоль CO₂/м²с с учетом УППЛ.

личина данного показателя варьировала от 0.5 до 1.4 г CO₂/(гN ч) в зависимости от освещенности растений и положения листьев в ценозе. В целом, молодые и лучше освещаемые листья верхнего яруса характеризовались более высокой величиной ЭИА по сравнению с листьями нижних ярусов. У зрелых листьев, расположенных в глубине ценоза, величина ЭИА была почти вдвое ниже. Хотя листья растений, культивируемых в лучших световых условиях, фотосинтезировали интенсивней, значительных отличий между световыми вариантами 1-3 по показателю ЭИА не выявлено.

В зависимости от освещенности растения огурца к концу оборота сформировали от 0.8 до 1.1 кг сухой надземной биомассы в рас-

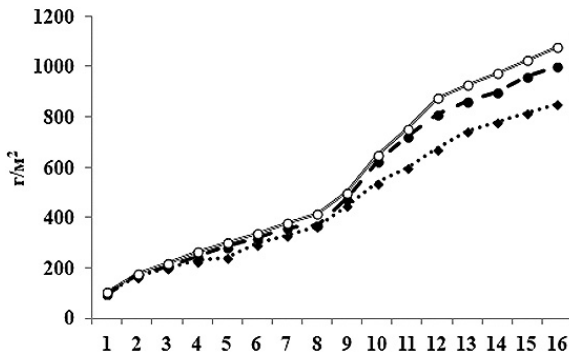


Рис. 29. Динамика накопления сухой надземной биомассы ценозом растений огурца в осенне-зимнем обороте 2007-2008 гг. *Обозначения:* 1, 2 и 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с от ламп ДНаЗ, установленных над ценозом; цифрами на оси абсцисс отмечены сроки отбора проб с периодичностью пять-восемь дней, начиная с 25 октября до конца оборота (начало марта).

Таблица 52

**Содержание основных минеральных элементов
в сухой надземной биомассе огурца в конце оборота культуры**

Вариант	г/растение					г/м ²				
	N	P	K	Ca	Σ	N	P	K	Ca	Σ
1	4.2	0.7	7.3	6.2	18.4	10.5	1.8	18.3	15.5	46.1
2	5.5	1.8	8.0	6.6	22.9	13,7	4.5	20.0	16.5	54.7
3	5.8	1.5	8.5	5.9	21.7	14.5	3.8	21.2	14.8	54.3

Примечание: варианты 1, 2, 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с.

чете на 1 м² (рис. 29). Вынос основных макроэлементов с надземной биомассой варьировал от 46 (вариант 1) до 55 г/м² (варианты 2 и 3) (табл. 52). Наименьший вклад в суммарный вынос давал фосфор, наибольший – калий.

Важной характеристикой минерального питания растений служит эффективность использования поглощенных элементов (ЭИП) на формирование плодов. Улучшение световых условий культивирования при использовании верхних светильников способствовало повышению фотосинтетической активности листьев и, как следствие, увеличению продуктивности огурца. Средняя урожайность в вариантах 1, 2 и 3 составила соответственно 35.5, 45.7 и 50.0 кг/м². Другими словами, повышение освещенности в 1.5-2.0 раза приводило к возрастанию урожая огурцов на 30%.

В 1 кг плодов содержалось в среднем 2.4 г азота, 1.8 г калия, 0.3 г фосфора, примерно столько же кальция и вдвое меньше магния. По нашим подсчетам вынос основных минеральных элементов (азота, калия и фосфора) с урожаем огурцов в варианте 1 составил соответственно 85, 64 и 11 г. С улучшением световых условий культивирования вынос минеральных элементов возрастал пропорционально увеличению урожайности (в среднем на 30%).

К завершению оборота в надземных органах растений огурца сохранилось значительное количество минеральных элементов. Наши расчеты показали, что величина соотношения массы плодов, полученных с единицы площади ценоза (кг/м²), и количества содержащегося во всей биомассе элемента минерального питания (г/м²) изменялась в зависимости от световых условий (табл. 53). С улучшением световых условий возрастала величина ЭИП и уборочного индекса (отношение урожая плодов к надземной массе растений).

Запрос на ассимиляты является важным фактором регуляции фотосинтеза донорных листьев (Мокроносов, 1982; Холупенко и др., 2003; Но, 1992). Как правило, у детерминантных монокарпических видов растений (например, зерновые культуры) с началом

Таблица 53

**Эффективность использования элементов минерального питания (ЭИП)
и величина уборочного индекса (Кхоз) огурца,
культивируемого при разной освещенности**

Вариант	ЭИП			Кхоз
	N	P	K	
1	170	760	100	10
2	190	920	130	13
3	190	790	130	14

Примечание: варианты 1, 2, 3 соответствуют интенсивности ФАР 120, 190 и 240 мкмоль/м²с.

процесса формирования репродуктивных органов и накопления хозяйственно-полезной биомассы рост биомассы вегетативных органов сильно тормозится. Это связано с тем, что репродуктивные органы благодаря высокой аттрагирующей способности ориентируют поток ассимилятов на себя (Алиев и др., 1996; Гладун и др., 1998; Табаленкова, Головкин, 2010).

Наши исследования динамики фотосинтетической активности листьев среднего яруса в течение оборота светокультуры огурца (рис. 25) выявили усиление скорости Фв во время интенсивного плодобразования (январь). Эти данные свидетельствуют о роли донорно-акцепторных отношений в регуляции интенсивности фотосинтеза листьев у недетерминантных форм растений, таких как огурец.

«Гибридное освещение» натриевыми лампами в сочетании со ртутными в соотношении 2:1 не оказало существенного действия на фотосинтетический аппарат растений, возможно, из-за сравнительно невысокого уровня освещенности (интенсивность ФАР под натриевыми и ртутными лампами не превышала 190 мкмоль/м²с. Однако «комбинированное» освещение ценоза натриевыми и ртутными лампами приводило к заметному снижению урожайности при длительности суточной работы ртутных ламп, равной 19 ч (вариант 4). Урожайность плодов в этом варианте составила 38.3 кг/м². По сравнению с вариантом 2 (интенсивность ФАР 190 мкмоль/м²с, средняя урожайность 45.7 кг/м²) недобор урожая в варианте 4, где третья часть натриевых ламп была заменена на ртутные, составлял около 15%. Следует иметь в виду, что синие лучи, кроме непосредственного участия в фотосинтезе, могут оказывать влияние на скорость роста и развития, направленность метаболизма растений. В литературе имеются сведения об увеличении устойчивого сопротивления листьев под действием синего света (Воскресенская, 1966). В зеленой клетке синие лучи могут также влиять на белки, участвующие в фо-

тосинтезе и фотоморфогенезе (Воскресенская, 1988; Карначук, Головацкая, 1998).

При менее длительной работе ртутных ламп (12, 6 и 2 ч в вариантах 5, 6 и 7 соответственно) отрицательный эффект на продуктивность практически не проявлялся. Так, урожайность вариантов 5 и 6 составляла в среднем 41-42 кг/м². Вариант 7 более сопоставим с вариантом 1, так как растения этого варианта получали ФАР порядка 120 мкмоль/м²с от натриевых ламп в течение 19 ч, а досвечивание ртутными лампами составляло всего 2 ч. Урожайность в варианте 7 равнялась около 37.5 кг/м², тогда как в варианте 1 – 35.5 кг/м².

Приняв условно, что количество поступающего к растениям за сутки света в варианте 3 равно 100% и свет от натриевых и ртутных ламп более или менее выровнен по количеству ФАР, можно исследовать зависимость урожайности от освещенности для вариантов 1-7. В области используемых режимов ФАР экспериментальные точки хорошо описываются линейной (рис. 30А) и логарифмической (рис. 30Б) функциями. На наш взгляд, логарифмическая зависимость более предпочтительна, так как кривая пересекает ось абсцисс, что имеет биологический смысл.

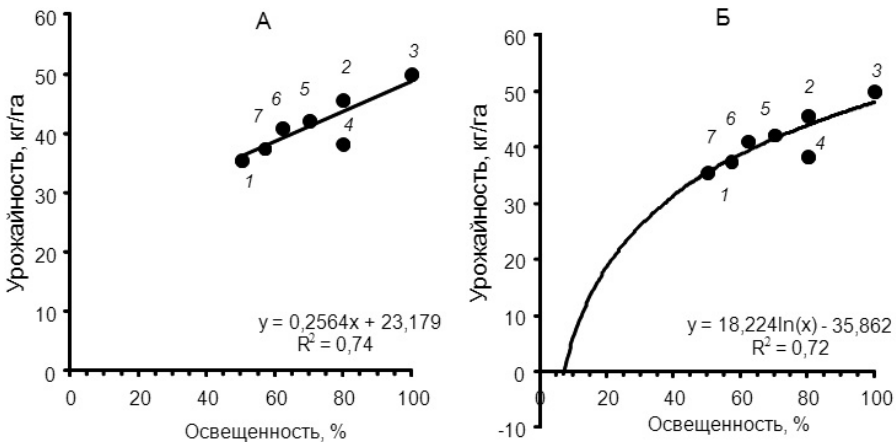


Рис. 30. Моделирование зависимости урожайности огурца от суточной обеспеченности световой энергией линейной (А) и логарифмической (Б) функцией. Цифрами 1-7 обозначены варианты опыта. Обеспеченность световой энергией представлена в процентах; за 100% принято суточное количество световой энергии, поступающее от светильников в варианте 3 (освещенность 240 мкмоль /м²с в течение 19 ч в сутки, что эквивалентно 16.4 моль/м²).

Согласно модели, для получения урожая 20 кг/м^2 необходимо обеспечить ценоз ФАР интенсивностью не менее $55 \text{ мкмоль/м}^2 \text{ с}$ (12.5 Вт/м^2) при досвечивании натриевыми лампами 19 ч в сутки. В наших опытах максимальная освещенность составляла $240 \text{ мкмоль/м}^2 \text{ с}$ (вариант 3), что эквивалентно 54 Вт/м^2 . При этом за оборот (около 4 мес.) с каждого м^2 площади, занятой светокультурой огурца, получали около 50 кг товарной продукции. По мнению некоторых авторов (Тихомиров и др., 2000), для получения товарной продукции огурца в зимнее время следует обеспечить интенсивность ФАР не менее 100 Вт/м^2 .

В опытах с использованием дополнительных модулей досвечивания внутри ценоза освещенность листьев среднего и нижнего ярусов зависела от наличия ламп в междурядьях (табл. 28, рис. 14). Судя по величине ИРП и интенсивности поступающей к листьям ФАР, листья верхнего яруса были максимально адаптированы к освещенности около $100 \text{ мкмоль/м}^2 \text{ с}$ и, следовательно, получали «избыток» световой энергии, что выражалось в накоплении крахмала (табл. 49). Листья на верхушке растения более молодые, получают почти вдвое больше света, интенсивней фотосинтезируют и не испытывают значительной плодонагрузки как донорные листья среднего и нижнего ярусов, поэтому повышение освещенности этих листьев вызывает значительное накопление крахмала в их хлоропластах. Следовательно, существует опасность ингибирования фотосинтеза верхних листьев «по принципу обратной связи» (Мокроносов, 1981).

Донорные листья среднего и нижнего ярусов могли эффективно использовать ФАР интенсивностью $100\text{-}130 \text{ мкмоль/м}^2 \text{ с}$. Такую освещенность для листьев среднего яруса обеспечивает размещение дополнительных ламп внутри ценоза. Лучше освещенные листья среднего и нижнего ярусов ассимилировали интенсивней листьев противоположной стороны, где по техническим причинам лампы отсутствовали.

Величина листового индекса сформированного ценоза гибрида огурца F_1 Церес составляла $5.5\text{-}6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Известно, что ценозы с таким ЛИ могут поглощать до 90% поступающей к ним ФАР. У светокультуры огурца основная часть листовой поверхности (около 70%) была локализована в среднем и нижнем ярусах ценоза, где листья вдвое крупнее. Полученные данные сопоставимы с величинами ЛИ, приводимыми для огурца другими авторами (Galvani et al., 2000).

В наших опытах с досвечиванием внутри ценоза за сутки к листьям растений поступало ФАР в количестве 15 моль/м^2 , причем 17-20% ФАР обеспечивали межрядные лампы. В Голландии в осенне-зимний период верхние лампы обеспечивают поток ФАР к це-

нозу огурца на уровне 16 моль/м² за сутки, а досвечивание внутри ценоза позволяет снизить суммарный поток ФАР до 10 моль/м² за счет уменьшения мощности или количества верхних ламп (Trouwborst et al., 2011). **Продуктивность светокультуры при этом не снижается** вследствие более объемного и равномерного распределения светового потока по ассимилирующей поверхности растений. Следует однако иметь в виду, что ежесуточно растения в теплицах Голландии получали дополнительно до 5 моль/м² ФАР за счет прихода солнечной радиации. Следовательно, общий приход ФАР составлял 20 моль/м² в сутки. Наши опыты на тепличной культуре огурца были проведены в регионе, относящемся к первой световой зоне, где зимой приход естественной ФАР в теплицы на порядок ниже, чем на широте Голландии.

В Финляндии источники, размещаемые в ценозе, обеспечивают поступление 24-48% всей световой энергии. Из-за короткого фотопериода в зимнее время 50% ламп располагают над рядами и 50% – между рядами. Лампы обычно отключают, когда интенсивность солнечной радиации достигает 240-300 Вт/м² и за сутки ее приход составляет 1200 Дж/см².

При интерлайтинге (размещение светильников внутри ценоза) в зависимости от мощности используемых ламп, листья среднего яруса получают на 70-150 мкмоль/м²с ФАР больше, чем при верхнем освещении (Novi-Pekkanen, Tahvonen, 2008; Pettersen et al., 2010). Общий приход ФАР к ценозу составляет 40-50 моль/м² за сутки (в три раза больше, чем в наших опытах), что позволяет более полно реализовать потенциал продуктивности светокультуры и получать до 180 кг/м² плодов огурца за осенне-зимний оборот. Результаты наших опытов и приведенные выше данные других авторов свидетельствуют о наличии прямой связи между интенсивностью применяемого искусственного света и продуктивностью зимней культуры огурца в теплице.

Оптимизация геометрии светового поля, его объемное распределение является важным фактором повышения продуктивности и эффективности использования ФАР ценозом. Средняя урожайность светокультуры огурца в наших экспериментах с досвечиванием растений внутри ценоза в первом опыте (оборот 2009-2010 гг.) составила 51.7 кг, во втором (2011-2012 гг.) – 49.5 кг/м² и не уступала варианту 3 (режим усиленного освещения сверху), где был получен максимальный урожай 50 кг/м². За сутки к ценозу огурца в варианте 3 поступало 16.4 моль/м² ФАР, тогда как в опытах с досвечиванием внутри ценоза поступление ФАР не превышало 15 моль/м², причем 17-20% ФАР обеспечивали межрядные лампы меньшей мощно-

сти. Следовательно, такая же урожайность в опытах с досвечиванием была получена при меньших затратах энергии (на 10%). По данным (Pettersen et al., 2010; Trouwborst et al., 2011), перераспределение части света внутри ценоза давало прибавку урожая 7-10%, что сопоставимо с нашими результатами.

Следует также отметить, что улучшение световой среды внутри ценоза способствовало более раннему началу сбора огурцов (почти на две недели) и сокращению продолжительности оборота на неделю. Положительный эффект на урожайность и высокая товарность продукции обеспечивали рентабельность производства на уровне 37% (Григорай и др., 2012). Полученные нами данные позволяют рассматривать досвечивание в ценозе как эффективный прием интенсификации светокультуры огурца в зимних теплицах на Севере. Результаты показывают снижение себестоимости огурца на 12% в сравнении с сопоставимыми по мощности системами верхнего досвечивания. Средняя за неделю продуктивность огурца возрастала на 15% (с 2.3 до 2.7 кг/м²), а товарность продукции повысилась на 2.4%.

Прием досвечивания внутри ценоза обеспечивает возможность использования системы «интерплантинга» (высадка новых растений в рядах функционирующей культуры). Применение этого приема на практике существенно повышает экономическую эффективность использования каждого квадратного метра площади теплицы за счет получения дополнительной продукции.

Наши расчеты (табл. 54) показывают, что в опытах с досвечиванием внутри ценоза за оборот продолжительностью 120-130 дней поступление ФАР на единицу площади ценоза составляло около 1900

Таблица 54

Эффективность использования ФАР тепличной культурой огурца при различных режимах освещения (в расчете на 1 м² ценоза)

Вариант	Урожай плодов, кг	Сухая масса плодов, г	Сухая надземная масса, г	Общая сухая масса, г	КЭ _{ФАР} , г/ моль	КЭ _{ФАР} , г/ МДж
Лампы над ценозом; приход ФАР (моль): за сутки – 16.4 за оборот – 2130	50.0	2500	1100	3600	$\frac{1.17}{1.69}$	$\frac{5.8}{8.4}$
Лампы над ценозом и в междурядьях; приход ФАР (моль) за сутки – 15.3 за оборот – 1880	50.5	2520	1000	3520	$\frac{1.34}{1.87}$	$\frac{6.8}{9.4}$

Примечание: КЭ в числителе – в расчете на плоды, в знаменателе – на всю биомассу.

моль. Средняя величина коэффициента эффективности использования поступающей ФАР на накопление массы плодов огурца ($KЭ_{ФАР}$) составила 1.34 г сухой или 26.9 г сырой массы/моль ФАР, что эквивалентно 135 г сырой массы/МДж. Значения $KЭ_{ФАР}$ для светокультуры огурца Церес в опытах с использованием верхнего освещения натриевыми лампами (вариант 3) были несколько ниже, соответственно 1.17 г сухой или 23 г сырой массы на моль ФАР, что эквивалентно 115 г сырой массы/МДж. Таким образом, перераспределение части энергии ФАР внутрь ценоза способствовало повышению эффективности ее использования растениями на образование биомассы.

Согласно результатам исследования (Тихомиров и др., 2000), урожайность 70-дневного ценоза огурца, сформированного при облученности верхними лампами 100 Вт/м² ФАР, составляла 28 кг/м², величина $KЭ_{ФАР}$ равнялась около 60 г сырой массы/МДж. По данным других авторов (Nederhoff, Vegter, 1994), растения огурца, культивируемые при интенсивности ФАР 364 и 620 мкмоль/м²с, накапливали 3.4 и 4.3 г сухой массы/МДж соответственно (или 68 и 86 г сырой массы/МДж). В полевых условиях при среднесуточной дозе ФАР 4.4 МДж/м² и приросте плодов 0.43 г сырой массы/м²сут. этот показатель составлял 79 г сырой массы/МДж (Ferreira et al., 2010). По нашим данным (Далькэ и др., 2013), величина $KЭ$ запасаения энергии в биомассе листового салата при выращивании в условиях зимних теплиц на Севере с использованием искусственного освещения интенсивностью 150-230 мкмоль/м²с составляла в среднем 0.86 г сухой массы/моль ФАР или около 17 г сырой массы/моль ФАР (85 г сырой массы /МДж).

Мы рассмотрели эффективность использования света тепличной культурой огурца в осенне-зимнем обороте по отношению к урожаю плодов. Существенную часть сформированной растениями биомассы составляют листья, черешки и стебли (рис. 16, 29). Суммарная сырая масса надземной части растения (включая опад) составила около 4 кг/растение, а в расчете на 1 м² площади посева – около 10 кг. Содержание сухого вещества в надземной массе варьировало в пределах 8-10%. С учетом всей накопленной сухой биомассы, включая плоды, величина коэффициента эффективности использования поступающей ФАР ($KЭ_{ФАР}$) возрастает в среднем на 30%.

Эффективность использования световой энергии ценозом огурца можно определить по отношению количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза или сформированного урожая плодов, к количеству использованной радиации. Для этого необходимо знать калорийность биомассы. Для плодов огурца в литературе

приводятся величины порядка 0.10-0.16 ккал/г сырой массы (Санникова и др., 2012). Расчеты показывают, что эффективность запасаения энергии в биомассе урожая составляет 4-6%. Такие величины характерны для высокопродуктивных ценозов, работающих в оптимальных условиях (Тооминг, 1984; Шульгин, 2004).

В целом, полученные результаты позволяют заключить, что в условиях нелимитирующего минерального питания и снабжения водой при обеспечении оптимального температурного режима и повышенного уровня CO_2 основным фактором, ограничивающим продуктивность тепличной культуры огурца, является свет (рис. 31).

В области использованных нами режимов освещения интенсивность ФАР определяет скорость фотосинтеза и образование фонда ассимилятов, снабжение процессов роста и поддержания уже существующей биомассы восстановленным углеродом и энергией. Повышение интенсивности светового потока и распределение света внутри ценоза способствуют интенсификации продукционного процесса путем более полной реализации фотосинтетической функции растений.

Итак, в осенне-зимнем обороте на Севере продуктивность тепличной культуры огурца прямо зависела от освещенности. Двукрат-

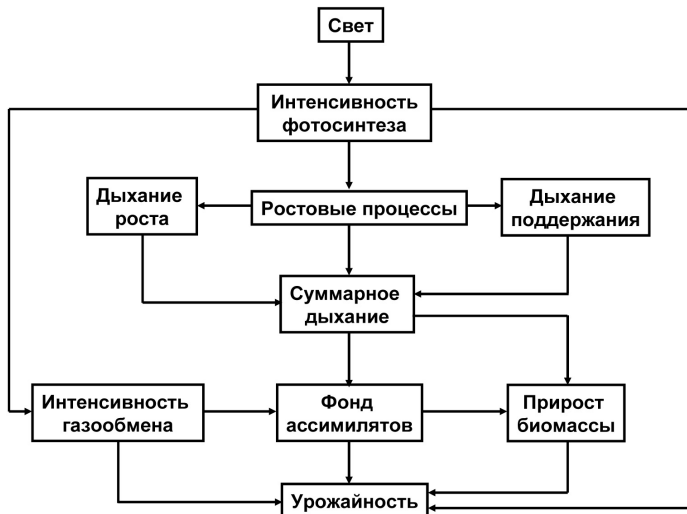


Рис. 31. Теоретически обобщенная схема продукционного процесса огурца в осенне-зимнем обороте. Стрелками показано влияние ведущего фактора – света – на функциональные составляющие, обеспечивающие реализацию потенциала продуктивности культуры.

ное повышение интенсивности ФАР от источников света, расположенных над рядами, приводило к увеличению урожайности на 30% по сравнению со стандартным режимом 120 мкмоль/м² с. Оптимизация светового поля внутри ценоза путем размещения светильников в междурядьях на высоте 60-110 см способствует повышению фотосинтетической активности листьев среднего и нижнего ярусов, образованию в листьях дополнительного субстрата для налива плодов и ускорению темпов накопления урожая.

Глава 5 ТЕПЛИЧНАЯ КУЛЬТУРА ТОМАТА

Томат является одной из наиболее популярных и любимых населением овощных культур. Он был завезен в Европу испанцами в середине XVI в. из Южной Америки, где растет в диком виде. Долгое время томат разводили в садах как экзотическое декоративное растение, его желтые цветки и красные плоды были украшением цветников. В России томат появился значительно позже, в XVIII в. Овощной продовольственной культурой это растение было признано благодаря русскому ученому-агроному А.Т. Болотову (1738-1833 гг.). Он первым стал выращивать томаты, разводя рассаду в парниках, и предложил дозаривать снятые плоды в теплых помещениях. Большой вклад в изучение биологии томата внес В.И. Эдельштейн (1881-1965 гг.).

Сейчас томат, по данным FAO (<http://www.fao.org>), занимает первое место в мире среди овощных культур (более 5 млн. га), в том числе и в защищенном грунте (60% всей площади). В 2014 г. в мире было произведено 170.7 млн. т томатов, более четверти из них подверглось переработке. В странах восточной и северной Европы томат занимает 70-90% тепличной площади. Россия находится на восьмом месте по площадям и на 11 – по производству томатов. В 2014 г. в России было произведено 2.8 млн. т томатов на площади 118 тыс. га (<http://www.fao.org>). Доля защищенного грунта в площадях производства томатов пока невысока. Из 3 тыс. га теплиц на его долю приходится 15-20% площади в зимне-весеннем обороте и 70-80% – в летне-осеннем. В нашей стране в защищенном грунте томат занимает второе место после огурца.

Томат признан ценной овощной культурой благодаря высокому содержанию в его плодах биологически активных веществ. Плоды томата содержат витамины B1, B2, B3, PP, K, C, а также каротиноиды (провитамин A), органические кислоты, минеральные элементы (особенно железо, калий), пектиновые вещества. Томаты и томатный сок применяются для профилактики и лечения авитаминозов, малокровия, болезней печени и сердечно-сосудистой системы, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, нарушения обмена веществ.

5.1. Биологические особенности томата

Томат (*Solanum lycopersicum* Mill.) – многолетнее (в культуре однолетнее) прямостоячее или стелющееся, до 3 м высотой, растение из семейства пасленовых (Solanaceae). Листья прерывисто-перисторассеченные, довольно крупные, до 35 см длиной и 28 см шириной. Соцветия пазушные или отстоящие от листьев. Цветки до 2 см шириной, обоеполые или раздельнополые. Венчик зеленовато-желтый, с пятью-девятью зубцами, равный чашечке. Тычинки с крупными пыльниками, окружающие конусом столбик, завязь двух- или многогнездная. Плоды – ягоды 1-10 см в диаметре, различной формы, красные, желтые или почти белые. Семена около 1.5-2.0 мм в диаметре.

В мире существует несколько сотен сортов томата, различающихся по строению стебля, листьев, генеративных органов, форме и окраске плодов, скороспелости, урожайности и устойчивости к внешним факторам. Томат является требовательным к теплу растением. Оптимальная температура для прорастания семян +20-25 °С, при температуре +10 °С всхожесть семян не превышает 6-10%. Для роста и развития оптимальная температура +20-25 °С, при температуре ниже +15 °С томат не цветет, а при +10 °С рост растений приостанавливается. Повышенная температура также неблагоприятна. При температуре выше +32 °С пыльцевые зерна не прорастают, замедляется фотосинтез, тормозится рост. Выращивают томаты в открытом и закрытом грунте. В открытом грунте томаты возделываются преимущественно как рассадная культура. В южных районах высаживают 30-35-дневную рассаду, в северных – 70-80-дневную. Сорта томата отличаются по требовательности к теплу. Сорта, выведенные в северных районах страны, характеризуются повышенной холодостойкостью и меньшей жаростойкостью по сравнению с сортами южной селекции. При правильном закаливании рассады томат способен выдерживать кратковременное похолодание (от +3 до 0 °С), но даже непродолжительные отрицательные температуры (-0.5...-1.0 °С) пагубно действуют на растение. При заморозках почти все сорта погибают. При благоприятных температурных условиях и наличии влаги семена томата прорастают на третьи-четвертые сутки после посева. Недостаток тепла, особенно при посеве в открытый грунт, приводит к задержке прорастания на две-три недели. У семян после набухания вначале появляется корешок, затем начинает расти подсемядольное колено, которое изгибается в виде петельки, пробивает почву и по мере роста выносит семядоли на поверхность почвы, после чего всходы выпрямляются и раскрываются.

ся семядольные листья. Дальнейший рост растения идет за счет точки роста стебля. В течение двух-трех недель после всходов преобладает рост корневой системы, семядольные листья увеличиваются медленно. При пониженных температурах в рассадных сооружениях этот период более длителен. Первый настоящий лист образуется через 6-10 сут. Повышенная температура в этой фазе ускоряет появление настоящих листьев и способствует вытягиванию (израстанию) подсемядольного колена, что нежелательно. Последующие листья образуются через 5-6 сут., а дальше быстрее – через каждые 3-5 сут. Во время появления первого и второго настоящих листьев сеянцы в защищенном грунте пересаживают, что способствует развитию более мощной корневой системы и рассады лучшего качества.

После пересаживания, когда растения приживутся и начнут интенсивно расти, появляются новые листья и закладываются органы плодоношения. Бутоны закладываются после образования трех-четырех настоящих листьев. В месячном возрасте растения томата имеют четыре-пять листьев. Одновременно с ростом листьев идет рост стеблей и корней. Когда молодое растение сформирует достаточно развитую корневую систему, начинается интенсивный рост надземной массы. Наиболее быстрый рост рассады наблюдается перед высаживанием ее в грунт. Чем выше качество рассады и лучше сохранена корневая система при высаживании, тем быстрее растения приживаются и начинают расти. Цветочные кисти закладываются над седьмым-девятым настоящим листом у раннеспелых сортов и над 12-14-м листом у позднеспелых. Длительность периода от появления всходов до начала цветения колеблется в больших пределах: у раннеспелых через 40-50 сут., среднеспелых – 51-70, позднеспелых – 71-90 сут. С началом плодоношения вегетативный рост не прекращается. Темпы развития зависят от температуры окружающей среды, особенно это проявляется при выращивании томата в открытом грунте. Томат относится к самоопыляемым растениям, в одном цветке которого имеются мужские и женские органы. Самоопылению благоприятствует то обстоятельство, что восприимчивое рыльце находится внутри конуса пыльников, а цветок занимает висячее положение. Пыльца томата диаметром 21-24 мкм. Слияние спермия с яйцеклеткой происходит через 35-50 ч после опыления. Цветение начинается с первой кисти и идет снизу вверх. Вторая кисть в это время находится в стадии бутонизации и зацветает только через 6-15 сут. Третья кисть цветет примерно через неделю после второй, четвертая – через неделю после третьей и т.д. В каждой кисти первыми раскрываются нижние два цветка, за ними попарно раскрываются сидящие выше. От начала до массового цвете-

ния кисти (75% раскрывшихся цветков) проходит от двух до шести суток. Рыльце цветка становится восприимчивым к пыльце почти одновременно с созреванием пыльников и способно воспринимать пыльцу через 9-12 сут. после фазы окрашенного бутона. Несмотря на то, что томат самоопыляется, далеко не каждый цветок дает завязь, из которой впоследствии образовался бы плод. Это зависит от условий, в которых проходят фазы цветения и плодообразования. При неблагоприятных условиях (засуха, резкие перепады температуры и др.) часто наблюдается массовое опадение бутонов и цветков. Случай массового опадения цветков можно наблюдать в теплицах при осенне-зимнем обороте, т.е. в условиях укороченного дня и низкой освещенности. С момента оплодотворения начинается рост плода, а по достижении свойственного сорту размера – созревание. От начала цветения до созревания первых плодов раннеспелых сортов проходит 35-45 сут. Для томата среднеспелых (46-65 сут.) и позднеспелых сортов данный период увеличивается до 66-85 сут. В процессе созревания плодов появляется белесоватый оттенок кожицы, мякоть становится светло-зеленой с бледно-розоватым оттенком, оболочка семян затвердевает (молочная спелость). Затем покраснение распространяется на кожицу и мякоть плода, вызывая изменение наружной окраски в бурый цвет (бурая, или бланжевая спелость), а потом в розовый и красный (розовая и полная, или биологическая, красная спелость). Семенные камеры плода при этом наполняются клеточным соком, в который погружены семена, плод становится сочным и мягким. Длительность вегетационного периода сортов томата может значительно изменяться в зависимости от погодных условий почвенно-климатической зоны, способов и технологии выращивания. Это различие может достигать 20-30 сут. Вегетационный период (от появления всходов до созревания плодов) у разных сортов сильно варьирует и составляет у ультраскороспелых сортов 85-90 сут., раннеспелых – 91-105, среднеранних – 106-110, среднеспелых – 111-115, среднепоздних – 116-120, позднеспелых – более 120 сут. У одного и того же сорта вегетационный период на юге короче, чем на севере, благодаря лучшей обеспеченности теплом. Выращивание растений в защищенном грунте позволяет контролировать температурный режим, полностью исключить опасность заморозков, которые томат не переносит.

Томаты в зимних теплицах в средней полосе России выращивают в зимне-весеннем обороте (с декабря по июль), при этом сбор урожая начинают в апреле и заканчивают в июле. В продленном обороте томаты культивируют практически круглый год, с декабря по ноябрь, а сборы урожая осуществляют с апреля по ноябрь. При лет-

не-осеннем обороте растения выращивают с июня по декабрь, сбор урожая начинают в первых числах сентября и продолжают до декабря. Распространенность этого оборота связана с тем, что в июне заканчивается зимне-весенняя культура огурца и в зимних теплицах освобождаются площади, которые используют для выращивания томата. Урожайность в зимне-весеннем обороте составляет 10-15 кг/м², в продленном – 25-30 (а при малообъемном способе выращивания до 35-50 кг/м²), в летне-осеннем обороте – 10-11 кг/м². В настоящее время в зимних теплицах хозяйства переходят на продленный оборот, применяемый при малообъемной гидропонике.

Как уже неоднократно отмечалось, свет является одним из основных факторов, лимитирующих рост и развитие растений в защищенном грунте. Томат очень требователен к освещенности. Растения томата нуждаются в высокой интенсивности света, предпочитают прямую солнечную, а не рассеянную радиацию. Чем лучше освещение, тем скорее закладывается цветочная кисть и раньше наступает плодоношение. Для формирования генеративных органов, бутонов и цветков освещенность должна быть выше 5-6 тыс. лк (около 25 Вт/м²). При низкой интенсивности света соцветие закладывается гораздо выше, чем обычно (над 10-13-м листом и выше), количество листьев между соцветиями увеличивается, часто происходит полная редукция соцветия. Это наблюдается при выращивании рассады в короткие зимние дни, когда освещенность в средней полосе страны составляет 3-7 тыс. лк. Соцветия, сформированные в таких условиях, имеют небольшое количество бутонов и цветков, которые практически не завязывают плодов. Выращивать в это время рассаду можно только при искусственном досвечивании. Оптимальной для томата считается освещенность 400 мкмоль/м²с ФАР и более. При непрерывном освещении плохо развивается листовая пластинка, на ней появляются хлорозные пятна, рост растений задерживается. В условиях полярного дня этого не наблюдается, что объясняется колебанием в течение суток освещенности и особенно температуры. Томат слабо реагирует на длину дня, но очень отзывчив на суммарную энергию света. Оптимальная длина дня для него 14-16 ч. При выращивании томата в зимних теплицах с применением способа малообъемной гидропонной технологии на минеральной вате растения полностью обеспечиваются водой и необходимым минеральным питанием. В процессе роста потребность растения в воде неодинакова, достигает максимума во время налива плодов. Для томатного растения большое значение имеет влажность воздуха, оказывающая ощутимое влияние на оплодотворение цветка. Оптимальная ее величина 60-70%. При высоких показателях (80-90%) пыль-

ца слипаются и перестает высыпаться из пыльцевых мешков. При низкой влажности воздуха (50-60%) пыльца, попавшая на рыльце пестика, не прорастает. Высокая влажность воздуха повышает вероятность появления грибковых заболеваний томата.

Томат весьма отзывчив на применение удобрений. Больше всего он потребляет калия, особенно в период плодоношения. Важен калий и на первых этапах развития растения при недостатке света. Азот нужен растению для формирования вегетативных органов, особенно в период от всходов до цветения. В это время надо контролировать дозы азотного питания, чтобы предотвратить излишнее нарастание вегетативной массы и опадение нижних соцветий. Внесение азота увеличивают только после завязывания плодов на первых соцветиях. Особое значение имеет правильное соотношение между калием и азотом в течение всего времени роста и развития томата. По сравнению с азотом и калием, потребление фосфора растением невысокое. Кроме этих основных элементов, томат усваивает в довольно большом количестве магний и другие микроэлементы.

Особое значение для жизнедеятельности растений имеет газовый состав атмосферы. Корни томата чувствительны к наличию кислорода в среде, он необходим для дыхания. Дефицит кислорода возникает при переувлажнении или уплотнении почвы, образовании корки. Листьям для фотосинтеза нужен углекислый газ. В теплицах, где выращивают томаты, применяют углекислотные подкормки, чтобы повысить концентрацию CO_2 в три-пять раз выше атмосферной. Углекислотные подкормки положительно влияют на плодообразование, позволяют резко поднять общую и особенно раннюю продуктивность культуры. Наибольший эффект от углекислотных подкормок наблюдается при достаточной освещенности. Зимой при недостатке света и избытке CO_2 в ночное время возможно появление на листьях хлорозных и некротических пятен.

5.2. Технология культивирования растений томатов в условиях защищенного грунта (на примере ООО «Пригородный»)

В настоящее время культура томата в ООО «Пригородный» занимает 2.12 га, средняя урожайность за последние несколько лет (2014-2016 гг.) составила 40 кг/м². Томаты выращиваются в теплицах производства компании «Агрисовгаз». Микроклимат поддерживается климатическим компьютером «Sercom», капельный полив осуществляется поливочным компьютером «Vocosm». Для обогрева используются системы подлоткового, шатрового, надпочвен-

ного, подсустратного отопления и ростовых труб. Теплицы имеют систему углекислотной подкормки отходящими газами котельной, верхний энергосберегающий и светоотражающий экран.

Из множества сортов, рекомендуемых для разных типов оборота в защищенном грунте, предпочтение было отдано гибридам Макарена F1, Старбак F1, Торреро F1 и Таймыр F1. Эти сорта отличаются стабильной урожайностью и хорошим качеством плодов.

Посев семян томата проводят в начале декабря в кассеты размером 41×61 см. Каждая кассета содержит 240 ячеек. Для выращивания рассады используют минераловатные кубики и зародыши (пробки) производства «Волга Рост» (Ульяновск, Россия). После посева кассеты накрывают пленкой, температуру в теплице поддерживают на уровне 25-26 °С. При появлении 40-50% всходов пленку поднимают на высоту 12-18 см, формируя над растениями парничок. Температуру в теплице снижают до 24 °С. Досвечивание рассады осуществляют круглосуточно в течение первых трех суток, затем фотопериод уменьшают до 19 ч. Освещение в рассадном отделении представлено светильниками с лампами ДНаЗ-400Вт/REFLUX. Установленная мощность составляет 130 Вт/м².

Чтобы получить устойчивые и длительно плодоносящие растения томата с хорошо развитой корневой системой, пригодные для продленного оборота, осуществляют прививку гибридов Макарена и Старбак (привой) на гибрид Максифорт (подвой). Семена подвоя и привоя высевают 24 и 28 ноября соответственно. На момент прививки диаметр стеблей подвоя и привоя должен быть примерно одинаковым, около 1.5 мм. Предварительно за пару дней до прививки растения сортируют по толщине стебля, одновременно удаляя лишние растения подвоя. За сутки до проведения прививки растения обильно поливают и проводят подкормку. Процедуру прививки проводят на рассеянном свете, затем кассеты с привитыми растениями накрывают парничком (высота 30-40 см) из тонкой прозрачной пленки. Высокую относительную влажность под укрывной пленкой поддерживают с помощью системы мелкодисперсного опрыскивания растений. Температура в парничке около 23 °С. Пленку на парничке приподнимают спустя четверо суток, чтобы проветрить растения перед началом досвечивания. Влажность и температуру снижают постепенно, давая растениям возможность адаптироваться к окружающей среде. Спустя неделю после прививки парничок полностью открывают и продолжают выращивание рассады в обычном режиме.

Ведение взрослой культуры томата осуществляют с применением минераловатного субстрата (Извол Универсал, г. Белгород), ис-

пользуют также кокосовый органический субстрат (Коколэнд, Шри-Ланка). Рассаду в возрасте 42-45 дней выносят в теплицу и выставляют возле отверстия на матах. Посадку рассады на мат для укоренения проводят, когда у 80% растений начинается цветение первой кисти. Плотность размещения растений в теплице 2 шт./м², на каждое растение приходится около 3.4 л минераловатного субстрата. Характеристика питательного раствора и его корректировка в зависимости от возраста растений приведена в Приложении 6.

В теплице при пролете 9.6 м применена четырех- и пятирядная система размещения растений. При этом расстояния между шпалерной проволокой составляют 0.96 и 1.2 м соответственно. После размещения растений на матах сутки поддерживают температуру, равную 20 °С. Затем дневную температуру снижают до 16-17 °С, а ночную поддерживают на уровне 12-14 °С в зависимости от естественной освещенности в дневное время. В период массового плодоношения дневная температура составляет от 23 до 27 °С, ночная – 15-16 °С, а «предночная» – 13-14 °С. Поддержание влажности в теплице производят, соблюдая стратегию минимально возможных температур на контурах отопления и используя вентиляцию теплицы.

Уход за растениями включает уборку нижнего листа (не более трех в течение недели), равномерное размещение надземной части растений на шпалере, приспускание стеблей по мере вертикального роста. После появления четвертой кисти оставляют второй побег на каждом втором растении, а после появлений шестой кисти – на всех оставшихся. Прищипку растений перед окончанием оборота проводят в два этапа. Сначала на 30 неделе прищипывают каждый второй побег, а затем на 36-37 неделе прищипывают оставшиеся побеги. На первых восьми кистях используют кистедержатели. У крупноплодных гибридов томата проводят нормирование кистей до четырех плодов. Углекислотную подкормку растений начинают в фазу цветения и продолжают до конца оборота. В период цветения концентрацию CO₂ повышают до 550 ppm, с началом плодоношения – до 650 ppm, в период массового плодоношения – до 800 ppm, что более чем в 2.5 раза превышает естественную атмосферную.

На посадках томата используется биологическая защита растений. Обследование теплицы проводят ежедневно во время сбора плодов и ухода за растениями, раз в неделю обследование проводит специалист по мониторингу. Профилактические мероприятия включают выпуск энтомофагов (Макролофус, Амблисеиус Кукумерис, Амблисеиус Свирски) сразу с началом появления всходов. В период выращивания рассады выкладку биоматериала осуществляют каждые четыре дня.

Применяемая схема минерального питания томата учитывает фазу развития растений (Приложение 6). После расстановки рассады на матах производят полив из расчета 200 мл/растение (ЕС 4.0; рН 5.5). После посадки в маты полив осуществляют ежедневно в течение трех дней по 250 мл/растение (ЕС 3.5; рН 5.5). Это способствует быстрому укоренению. Для наращивания корневой системы полив растений прекращают на несколько дней, а после выхода на дренаж продолжают из расчета 180 мл/растение (ЕС 2.8-3.0; рН 5.5). В солнечный день ЕС снижают на 0.3 ед. Утренние поливы составляют 210-220 мл/растение (ЕС 3.2; рН 5.5). Добавление ночных поливов производят при усушке матов более чем на 10% за ночь или при суточном приходе радиации свыше 2500 Дж. В летний период на 100 л маточного раствора добавляли 1 кг CaCl₂.

5.3. Фотосинтез и продуктивность растений томата в защищенном грунте

В опытах использовали растения сорта Старбак, которые были перенесены в теплицу из рассадного отделения и высажены на постоянное место в начале второй декады января. Растения выращивали при естественной освещенности, досвечивания не применяли. Определение микроклиматических условий инструментальными методами показало, что в полуденные часы температура воздуха в теплице варьировала от 21 до 25 °С, а относительная влажность воздуха составляла в среднем 60% (табл. 55). Световой режим растений томатов поддерживался за счет естественной инсоляции. Покрытие теплицы и внутренние конструкции снижали поступление ФАР в два раза. В ясный солнечный день освещенность в теплице достигала 500 мкмоль/м²с ФАР, в малооблачные и облачные дни была существенно ниже. Статистика метеорологических

Таблица 55

Микроклиматические условия в теплице при выращивании растений томата без досвечивания (март)

Облачность	Интенсивность ФАР, мкмоль квантов/м ² с		Температура воздуха, °С	ОВВ, %
	Снаружи	В теплице		
Сильная	248±29	124±1	21±1	63±1
Отсутствует	888±121	437±62	25±1	58±6
Слабая	523±15	254±11		

Примечание: квантовый датчик располагали на поверхности пола в теплице и над поверхностью почвы снаружи теплицы.

Таблица 56

**Поступление и распределение солнечной ФАР в ценозе растений томата
(март 2017 г.)**

Ярус листьев	Наличие плодов	Интенсивность ФАР, мкмоль/м ² с	
		Со стороны междурядий	Внутри ряда
Верхний	–	489±24	399±22
Средний	+	261±16	148±11
Нижний	+	96±7	24±3

наблюдений по г. Сыктывкару показывает наличие значительного количества облачных дней (Архив наблюдений за период 2010-2017 г. URL: <https://rp5.ru>). В марте, например, облачность составляет около 50%.

При естественном режиме освещения листья верхнего яруса получали в 2.5 раза больше света, чем листья среднего яруса (табл. 56). Интенсивность ФАР на уровне листьев нижнего яруса внутри ряда была на порядок меньше, чем верхнего яруса. Листья всех ярусов (особенно нижние), расположенные ближе к краю полога (междурядьям), получали больше света, чем листья внутри полога.

Содержание сухого вещества в листьях составляла около 10%, а их удельная поверхностная плотность находилась в пределах 0.14-0.17 г/дм². Суммарная площадь листьев в расчете на растение не превышала 70 дм². Учитывая, что на 1 м² теплицы размещалось два растения, листовой индекс ценоза в этот период был равен примерно 1.4 м²/м².

Довольно низкие значения УППЛ и сравнительно высокое накопление зеленых пигментов (табл. 57), особенно хлорофилла б, свидетельствуют о недостаточном снабжении растений светом. Следу-

Таблица 57

**Содержание фотосинтетических пигментов
в листьях среднего яруса тепличных растений томата (март 2017 г.)**

Дата	Хл а	Хл б	Хл (а+б)	Хл (а/б)	Каротиноиды	Хл/ каротиноиды
мг/г сырой массы						
09.03	2.26±0.20	0.90±0.05	3.16±0.25	2.5 ± 0.3	0.44±0.05	7.2 ± 1.0
29.03	1.67 ± 0.14	0.71 ± 0.06	2.38 ± 0.20	2.3 ± 0.3	0.32 ± 0.02	7.4 ± 0.8
мг/г сухой массы						
09.03	18.08±1.30	7.22±0.43	25.30±1.66	2.5 ± 0.3	3.55±0.29	7.2 ± 1.0
29.03	15.85 ± 1.37	6.76 ± 0.60	22.61 ± 1.97	2.3 ± 0.3	3.06 ± 0.23	7.4 ± 0.8
мг/дм ²						
09.03	2.53±0.07	1.01±0.01	3.54±0.07	2.5 ± 0.3	0.50±0.02	7.2 ± 1.0
29.03	2.46 ± 0.09	1.05 ± 0.03	3.51 ± 0.12	2.3 ± 0.1	0.48 ± 0.02	7.4 ± 0.4

ет также отметить низкую долю каротиноидов в фонде фотосинтетических пигментов. Каротиноиды поглощают свет в сине-фиолетовой области солнечного спектра. В облачные дни, как известно, превалирует рассеянная радиация. Содержание растворимых углеводов в образцах листовых пластинок среднего яруса листьев составляло около 40 мг/г сухой массы, в черешках было несколько выше (табл. 58).

В фазу начала плодоношения надземная сырая и сухая массы растения томата составляли 312 и 26 г соответственно. На листовые пластинки и черешки приходилось примерно 50% сырой или 60% сухой надземной массы растения. Стебли составляли около 40% сырой или 35% сухой массы. Доля генеративных органов не превышала 5%.

Для оценки потенциальной ассимиляционной способности томата, культивируемого при естественной освещенности без применения искусственных источников света, определение CO_2 -газообмена и транспирации листьев проводили в широком диапазоне освещенности – от 0 до 1500 мкмоль/м²с ФАР. Как видно на рис. 32, скорость видимого фотосинтеза листьев увеличивалась с повышением интенсивности света. Переход к положительному газообмену, когда скорость фотосинтетического поглощения CO_2 листьями начинает превышать выделение образуемой при дыхании CO_2 , осуществлялся при интенсивности ФАР 25-30 мкмоль /м²с. Скорость нетто-фотосинтеза увеличивалась почти линейно по мере повышения интенсивности ФАР до 400-500 мкмоль/м²с. Насыщение фотосинтеза листьев светом наблюдали при 800-1000 мкмоль квантов/м²с ФАР. Скорость фотосинтеза листьев в условиях высокой освещенности достигала 30 мг CO_2 /г сухой массы ч или в пересчете на единицу площади листа около 3 мкмоль CO_2 /м²с. Следует заметить, что при культивировании томата без применения светильников для дополнительного освещения интенсивность ФАР в теплице вдвое меньше, чем снаружи, и даже в ясный солнечный день значительно ниже 800 мкмоль квантов/м²с. Следовательно, фотосинтетическая деятельность листьев осуществлялась при существенном дефиците

Таблица 58

**Содержание растворимых углеводов
в сухой массе листьев среднего яруса растений тепличного томата, мг/г**

Дата	Часть листа	Растворимые углеводы		
		Моносахара	Дисахара	Сумма сахаров
09.03.17	Черешок	42.4±4.1	8.2±2.4	50.6±3.2
09.03.17	Пластинка	17.7±2.3	19.2±1.7	36.9±2.2
29.03.17	Пластинка	24.5±1.4	18.1±0.8	42.6±0.9

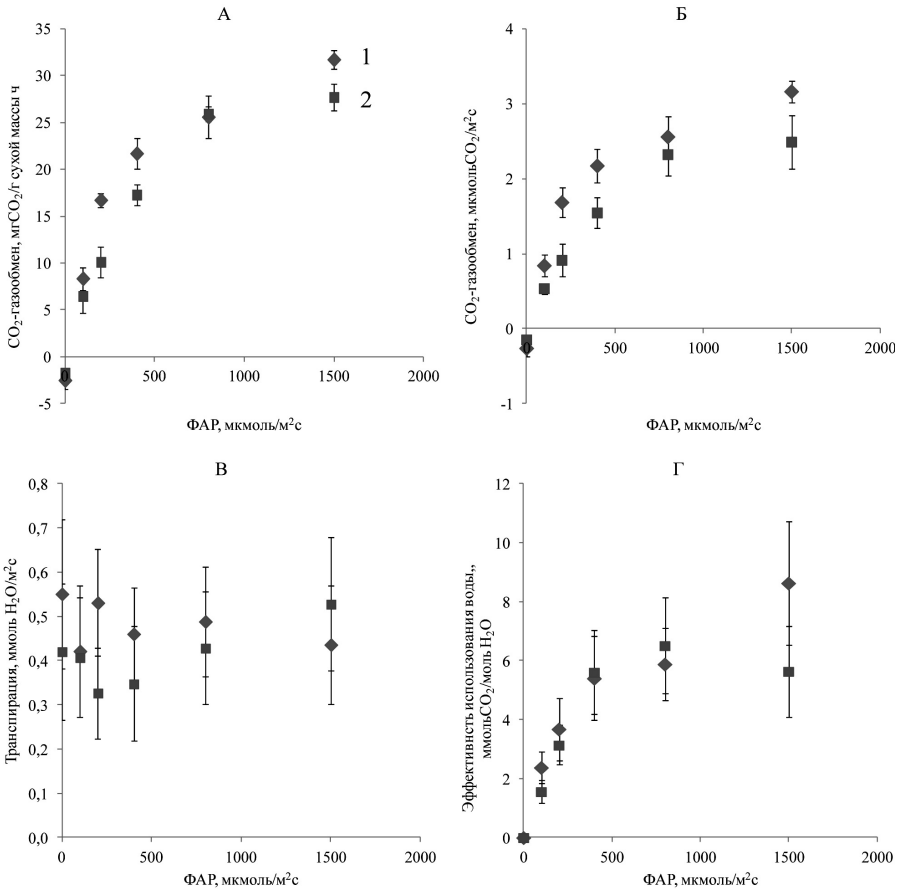


Рис. 32. Зависимость CO_2 -газообмена (А, Б), транспирации (В) и эффективности использования воды при фотосинтезе от интенсивности света у листьев томата. Данные получены в первой (1) и последней (2) декадах марта 2017 г. на растениях томата сорта Старбак, культивируемых в теплице при естественном освещении (без досвечивания искусственными источниками света).

световой энергии. Другими словами, реальная скорость нетто-фотосинтеза листьев среднего яруса растений томата в теплице в 1.5-2.0 раза ниже величин, наблюдаемых в области светового насыщения. Следует заметить, что по имеющимся в литературе данным, максимальная скорость фотосинтеза листьев томата составляла 25-30 $\mu\text{mol}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{c}$ (Kotiranta, 2013; Thwe et al., 2014), а средние значения находились в пределах 8-10 $\mu\text{mol}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{c}$ (Wu et al., 2014). В наших опытах эти величины были почти на порядок ниже.

В расчете на единицу хлорофилла (ассимиляционное число, АЧ) скорость видимого фотосинтеза листьев томата в теплице составляет около 0.6 мг CO_2 /(мг Хл ч). АЧ характеризует ассимиляционную активность единицы хлорофилла. Известно, что величина этого показателя видо- и сортоспецифична, зависит от многих факторов (свет, температура, уровень минерального питания, доступность влаги) (Golovko, Tabalenkova, 2014). У большинства полевых культур значения АЧ варьируют в пределах 1-5 мг CO_2 /(мг Хл ч) (Куренкова, 1998). Тот факт, что у тепличного томата величина АЧ была почти на порядок ниже, обусловлен недостатком света. Низкое поступление световой энергии (20-30% от полной солнечной) ограничивает ассимиляцию CO_2 . Чтобы компенсировать недостаток света, растения вынуждены накапливать больше хлорофилла б, входящего в состав светособирающих комплексов. Об этом свидетельствуют полученные нами данные о соотношении Хл (а/б) (табл. 57). У листьев томата этот показатель не превышал 2.5, тогда как у хорошо освещаемых растений его величина обычно не ниже 3.5. Содержание растворимых сахаров в листьях составляло около 4% (табл. 58).

О недостаточном освещении косвенно может свидетельствовать также динамика формирования урожая плодов в течение удлиненного оборота (табл. 59). Максимум плодоношения наблюдался в наиболее светлый и солнечный период (июнь-июль). Так, по многолетним данным, продолжительность солнечного сияния в июле составляет 292 ч, тогда как в марте и апреле в 3.0 и 1.7 раз меньше. Снижение продуктивности в сентябре-октябре обусловлено не только старением растений. В этот период значительно сокращается световой день и резко (в пять раз) падает продолжительность солнечного сияния.

Контроль водного режима – важная составляющая обеспечения нормальной ассимиляции листьев. В условиях теплиц растения получают воду в достаточном количестве. Однако на транспирацию могут влиять высокая влажность и слабое движение воздуха. Оптимальной для томатов считается относительная влажность воздуха

Таблица 59

Урожайность томата по годам и месяцам, кг/м²

Годы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма
1996	–	0.7	2.3	4.5	5.4	4.5	3.36	2.1	0.54	23.40
2009	–	0.7	3.1	5.3	6.4	5.2	4.8	3.86	1.1	30.46
2012	0.08	3.2	4.65	6.72	7.72	6.51	4.53	2.97	1.09	37.47
2016	0.19	4.19	7.65	7.02	7.69	6.71	4.46	3.16	0.01	41.08

Примечание: прочерк обозначает отсутствие данных.

60-70%. По нашим данным, интенсивность транспирации листьев тепличного томата составляла в среднем $0.5 \text{ ммоль H}_2\text{O/м}^2\text{с}$, что эквивалентно примерно $0.3 \text{ г H}_2\text{O/дм}^2 \text{ ч}$ или $2 \text{ г H}_2\text{O/г}$ сухой массы ч. Такая скорость транспирации поддерживалась в широком диапазоне освещенности, задаваемой при определении $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -обмена листа. Эффективность использования воды возрастала вслед за увеличением скорости нетто-фотосинтеза при повышении интенсивности ФАР.

Таким образом, в первой световой зоне в мае-сентябре возможно получение товарной продукции томата без применения досвечивания. Для получения ранней продукции необходимо использовать искусственное освещение, особенно в дни со сплошной облачностью. Листья растений, сформированных в условиях ограниченного поступления ФАР, характеризуются низкой фотосинтетической активностью и не могут в полной мере реализовать потенциальные способности ассимилировать углерод, о чем свидетельствуют низкие значения скорости нетто-фотосинтеза в области светового насыщения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап развития овощеводства защищенного грунта на Севере связан с вводом в строй тепличных комплексов, оснащенных автоматическими системами регулирования микроклимата, углекислотной подкормки и досвечивания растений. Малообъемная гидропоника позволила оптимизировать и корректировать минеральное питание в соответствии с биологическими потребностями культуры. Обязательным агротехническим приемом стало применение полного искусственного освещения при культивировании растений в осенне-зимний период. Использование современных сортов и гибридов, внедрение комплекса агротехнических мероприятий, основанного на знании биологических потребностей растений, уже сейчас позволяет получать достаточно высокие урожаи листовых овощей, огурцов и томатов.

Наши исследования проводились на базе тепличного хозяйства ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар) в 2007-2017 гг. и были направлены на разработку научных основ оптимизации светового режима культивирования овощных растений. Без этого невозможно повышение эффективности и рентабельности круглогодичного производства продукции в защищенном грунте.

В многолетних опытах были выявлены закономерности формирования продуктивности листовых овощей при искусственном освещении в условиях первой световой зоны в зимнее время. Установлено, что увеличение потока ФАР к агроценозу листового салата приводило к интенсификации продукционного процесса за счет повышения скорости фотосинтеза, роста листовой поверхности и увеличения относительной скорости роста растений. Листья, сформированные при освещенности ФАР 240-250 мкмоль/м²с, ассимилировали на 30% интенсивней листьев растений, получавших в 1.5 раза меньше света. Повышение уровня ФАР от 150 до 250 мкмоль/м²с при 16-часовой продолжительности освещения натриевыми лампами типа ДНаЗ-400Вт/REFLUX приводило к увеличению урожайности салата на 35-40% с выходом 96% продукции первой категории качества. Увеличение продолжительности освещения с 16 до 24 ч при интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с компенсировало недоста-

ток света для формирования урожая и позволяло получить больше качественной продукции.

Установлена зависимость урожайности и продолжительности культивирования салата до получения товарной продукции от суммарного за сутки поступления ФАР к растениям. Показано, что в ноябре-январе оптимизация световых условий обеспечивает формирование за 30-40 дней хозяйственно-полезной биомассы салата в количестве 6-8 кг/м², других листовых овощей – 2-3 кг/м². Количественные определения содержания биологически ценных веществ свидетельствуют о том, что выращивание листовых овощей в защищенном грунте с использованием искусственных источников излучения обеспечивает получение в зимнее время на Севере свежей продукции высокого качества. В условиях светокультуры зеленные растения способны накапливать в значительных количествах биологически ценные вещества: антиоксиданты, витамины, минеральные элементы. Показана возможность управления накоплением веществ, проявляющих витаминную и антиоксидантную активность, путем воздействия на растения низкими дозами ультрафиолетового излучения.

Опытами в производственных условиях доказано, что досвечивание в режиме интенсивной освещенности является высокоэффективным технологическим приемом при выращивании зеленных растений в условиях закрытого грунта. Нами рекомендовано увеличение продолжительности досвечивания с 16 ч до круглосуточно при использовании предельно низкой интенсивности света 150 мкмоль/м²с. Увеличение интенсивности ФАР до 250-260 мкмоль/м²с при продолжительности освещения 16 ч позволяет сократить цикл культивирования салата для получения товарной продукции первой категории качества на 5 сут. В структуре затрат на производство овощной продукции существенную долю (свыше 30%) составляют затраты на электроэнергию. Изменение режима искусственного освещения путем переноса периода темноты с 22-6 на 15-23 ч позволяет экономить средства на покупку электроэнергии за счет дифференцированного тарифа и снизить себестоимость производства без потери качества продукции.

Нами исследованы физиолого-биохимические закономерности продукционного процесса и эффективность светокультуры огурца в осенне-зимнем обороте при разных режимах и способах освещения. Дано агробиологическое и экономическое обоснование режимов досвечивания, обеспечивающих интенсификацию технологии производства огурца в зимних теплицах на Севере. Установлено, что в осенне-зимнем обороте тепличной культуры огурца листья среднего

и нижнего ярусов, обеспечивающие налив плодов, освещены слабее листьев верхушки в 1.3-1.8 раза. При двукратном повышении интенсивности ФАР (от 120 до 240 мкмоль/м²с) путем увеличения количества светильников (натриевые лампы высокого давления мощностью 600 Вт) световое довольствие листьев продуктивных ярусов возрастало в 1.5 раза, а урожайность светокультуры – на 30%: от 35 до 50 кг/м². При размещении ламп внутри ценоза листья продуктивных ярусов получали больше света, что способствовало повышению ассимиляции CO₂, накоплению крахмала, улучшению углеродного баланса и увеличению урожайности. В условиях умеренного суточного поступления ФАР (15 моль/м²) перераспределение 17-20% световой энергии внутрь ценоза обеспечивало урожайность 50-51 кг/м² с высоким качеством плодов. Эффективность запасаения световой энергии в урожае огурца в зимних теплицах на Севере составляла в среднем 120 г сырой или 6 г сухой массы/МДж, а в расчете на всю сформированную надземную биомассу – на 30% больше. КПД ФАР в ценозе огурца составлял 6-8%, что свидетельствует о достижении светокультурой максимального возможного в данных условиях КПД.

На основании полученных данных для производства огурца в зимнее время можно рекомендовать систему верхнего досвечивания натриевыми лампами высокого давления с интенсивностью ФАР не менее 200 мкмоль/м²с. Это обеспечивает реализацию потенциала продуктивности растений в среднем на 50%, повышает эффективность использования сооружений защищенного грунта и рентабельность производства. Использование системы досвечивания, включающей наряду с верхними лампами размещение ламп меньшей мощности внутри ценоза, способствует улучшению воздушного питания листьев среднего и нижнего ярусов. В результате средняя за неделю урожайность огурцов возросла на 17%, на 2.5% улучшилась товарность продукции, а ее себестоимость снизилась на 12% в сравнении с сопоставимыми по мощности системами досвечивания, установленными над ценозом. В зависимости от плодонагрузки и интенсивности естественного освещения можно регулировать продолжительность досвечивания межрядными лампами. Дополнительным преимуществом внедрения приема досвечивания внутри ценоза является возможность использования интерплантинга (высадка растений под пологом огурца до завершения оборота). Сочетание этих двух приемов создает систему, позволяющую максимально эффективно задействовать тепличные сооружения в течение года без прерывания по сборам овощей. Получен патент РФ RU2490868 на «Способ повышения продуктивности и рентабельность выращивания огурца в условиях защищенного грунта на Севере».

Томаты являются одной из наиболее востребованных населением овощных культур. Выращивание растений в защищенном грунте позволяет контролировать температурный режим, полностью исключить опасность заморозков, которые томат не переносит. Производственная практика ООО «Пригородный» свидетельствует об эффективности использования продленного оборота, при котором томаты культивируют практически круглый год, с декабря по ноябрь, а сборы урожая осуществляют с апреля по ноябрь. Следует отметить, что исключение применения искусственного освещения после высадки рассады в производственную теплицу на постоянное место значительно ограничивает рост растений и начало плодоношения. Недостаток естественного освещения на протяжении января-марта следовало бы восполнить досвечиванием лампами. Начиная с мая, благодаря длинному фотопериоду и большому количеству ясных солнечных дней, света в теплице достаточно для нормального роста и развития культуры, о чем свидетельствуют не только функциональные показатели, но и нарастание сборов плодов, максимум которых приходится на июнь-июль.

Приложение 1

**Суммарная солнечная радиация (ФАР) (прямая и рассеянная)
на горизонтальную поверхность при безоблачном небе,
МДж/м² (Агроклиматические ресурсы Коми АССР, 1973)**

Месяц	ФАР	Месяц	ФАР
Январь	58	Июль	856
Февраль	158	Август	653
Март	406	Сентябрь	438
Апрель	603	Октябрь	200
Май	825	Ноябрь	79
Июнь	874	Декабрь	34

Приложение 2

Различные характеристики солнечного света (по: Эдвардс, Уокер, 1986)

Освещенность			Фотосинтетически активная радиация в расчете на 1 м ² с				
Люкс	Фут- свечи	Вт/м ²	Эрг	Дж	Кал	Фотоны	Мкмоль квантов
100 000	10 000	500	5×10 ⁹	500	120	1.3×10 ²¹	2200
Фотометрические измерения		Радиометрические измерения (400-700 нм)			Число квантов (400-700 нм)		

Приложение 3

**Коэффициенты пересчета уровня ФАР (400-700 нм)
от различных источников света
(по: Principles of Radiation Measurement // <http://www.licor.com>)**

Пересчет	Источники света					
	Дневной свет	Металлогалогенная лампа	Натриевые лампы высокого давления	Ртутные лампы	Белые люминесцентные лампы	Лампа накаливания
Для конвертации необходимо перемножить						
Вт/м ² (ФАР) в мкмоль/м ² с (ФАР)	4.6	4.6	5.0	4.7	4.6	5.0
клк в мкмоль/м ² с (ФАР)	18	14	14	14	12	30
клк в Вт/м ² (ФАР)	4.0	3.1	2.8	3.0	2.7	4.0

**Условия культивирования огурца
в производственной теплице в зимнем обороте**

Период	Длительность досвечивания, ч/сут.	Температура воздуха, °С		Температура субстрата, °С
		Лампы включены	Лампы выключены	
Вегетативный рост (до появления шести настоящих листьев)	18	23	20-21	22-23
Начало бутонизации	19	24	20	22
Цветение	19	24	20	22
Плодоношение	19	24	19	22

Характеристика питательного раствора при культивировании огурца (мг/л)

Элементы	Запитывание матов	До цветения	Цветение-плодоношение
NO ₃	220	210	220
P	60	60	60
S	59	61	61
NH ₄	10	20	20
K	230	250	310
Ca	190	168	200
Mg	40	26	50
Fe	2.5	2.5	3.5
Mn	0.8	0.8	1.0
Zn	0.33	0.33	0.7
B	0.33	0.33	0.45
Cu	0.15	0.15	0.20
Mo	0.05	0.05	0.08
Es	2.5	2.8	3.4
pH	5.8	5.5	5.5

**Характеристики питательного раствора и их изменение
в процессе культивирования томата в условиях удлиненного оборота**

Период	N:K	Ca (мг/л)	Mg (мг/л)	P (мг/л)	ЕС раствора	pH
Посев	1.17	180	60	50	2.0	5.2-5.5
Насыщение кубиков	1.16	280	80	50	2.5	5.0-5.5
Рассада	1.16	280	80	50	2.8-3.5	5.2-5.5
Рассада до пересадки в маты	1.19	290	85	60	3.8-4.0	5.0-5.5
Насыщение матов	1.09	285	75	70	3.0	5.0-5.5
1-3 кисть	1.42	210-220	70	50	3.5-3.8	5.2-5.5
3-5 кисть	1.66	230	65	55	3.2-3.5	5.5
5-10 кисть	1.74	230	75	50	3.0-3.3	5.5
Первый сбор	1.86	210	80	50	3.5-3.6	5.5
Период сборов	1.71-1.79	225	75	45	3.0-3.3	5.5
За одну-две недели до прищипывания	1.67	210	90	50	3.0	5.5
После удаления верхушки растения	1.89	225	75	50-45	3.0-3.6	5.5

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Агроклиматические ресурсы Коми АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 136 с.

Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н. и др. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений, 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 17-36.

Аверчева О.В. Физиологические эффекты узкополосного красно-синего освещения (на примере китайской капусты *Brassica chinensis* L): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. – 23 с.

Акимова Т.В., Балагурова Н.И., Титов А.Ф. и др. Зимне-весенняя культура пчелоопыляемого огурца: Биологический подход. – М.: ИПКМГУН, 2000. – 27 с.

Алиев Д.А., Керимов С.Х., Джангиров А.А., Ахмедов А.А. Транспорт и распределение ¹⁴С-ассимилятов у генотипов пшеницы, различных по фотосинтетическим признакам и урожайности // Физиология растений, 1996. – Т. 43. – № 1. – С. 57-61.

Андреев Ю.М. Овощеводство. – М.: Академия, 2003. – 256 с.

Астафурова Т.П., Верхотурова Г.С., Зайцева Т.А. и др. Влияние различного соотношения спектральных участков ФАР на фотосинтетический метаболизм растений огурца // Вестник Башкирского университета. Специальный выпуск, 2001. – № 2 (I). – С. 9-11.

Архив наблюдений за период 2010-2017 г. // <https://rp5.ru>.

Аутко А.А., Гануш Г.И., Долбик Н.Н. Овощеводство защищенного грунта. – Минск: Издательство ВЭВЭР, 2006. – С. 38-55, 201-210.

Беденко В.П., Коломейченко В.В. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность агрофитоценозов озимой пшеницы // Сельскохозяйственная биология, 2005. – № 1. – С. 59-64.

Берсон Г.З., Кудряшов Ю.С. Полярное овощеводство. – М.: Агропромиздат, 1990. – 157 с.

Бойко Л.А. О производственной проверке гипотезы о красном свете низкой интенсивности как сигнале-индукторе для запуска механизма фотопериодизма // Вопросы экологической физиологии растений / Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь, 1986. – С. 10-45.

Боос Г.В. Биологические особенности огурца в условиях закрытого грунта // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. – Л., 1974. – № 31. – С. 234-247.

Боос Г.Ф., Сидюкова Н.Н. Фотосинтетическая активность тепличных огурцов // Бюллетень ВИР, 1977. – № 7. – С. 39-42.

Борисов А.В., Крылов О.Н. О старении растений огурца // Картофель и овощи, 2001. – № 2. – С. 45-46.

Борисов А.В., Крылов О.Н. Огурец и температура // Картофель и овощи, 1998. – № 2. – С. 37-38.

Брызгалов В.А., Советкина В.Е., Савинова Н.И. Овощеводство защищенного грунта. – Л.: Колос, 1983. – С. 114-116.

Буткин А.В., Григорай Е.Е., Головки Т.К. и др. Культивирование салата в условиях защищенного грунта на Севере // Аграрная наука, 2011. – № 8. – С. 24-26.

Ващенко С.Ф., Чекунова З.И., Савинова Н.И. и др. Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1984. – 272 с.

Велит И.А., Бондарь П.И., Сахно Т.В., Кожушко Г.М. Влияние спектрального состава света на содержание пигментов в листьях томата // Физиология и биохимия культурных растений, 2004. – Т. 36. – № 4. – С. 349-354.

Воскресенская Н.П. Принципы фоторегулирования метаболизма растений и регуляторное действие красного и синего света // Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений. – М.: Наука, 1975. – С. 16-36.

Воскресенская Н.П. Фоторегуляторные аспекты метаболизма растений // 38-е Тимирязевское чтение. – М.: Наука, 1979. – 48 с.

Воскресенская Н.П. Фоторегуляторные реакции и их вклад в фотосинтетическую деятельность растений // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: Наука, 1988. – С. 142-163.

Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. – М.: Наука, 1966. – 308 с.

Гавриш С.Ф., Король В.Г., Портышкин Л.П., Юваров В.Н. Гибрид огурца **Р1 Кураж: технология выращивания партенокарпического гибрида**. – М.: НИИОЗГ, 2005а. – 152 с.

Гавриш С.Ф., Король В.Г., Шамшина Л.В. и др. Пчелоопыляемые гибриды огурца для защищенного грунта: особенности и технологии выращивания. – М.: ИП НИИОЗГ, 2005б. – 136 с.

Глади́н Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве // Полупроводниковая светотехника, 2012. – № 2. – С. 60-62.

Гладун И.В., Карпов Е.А., Белозерова О.Л. Распределение ¹⁴C-ассимилятов из метелки и листьев риса в период налива ко-

лоса // Физиология и биохимия культурных растений, 1998. – Т. 30. – № 5. – С. 343-348.

Глунцов Н.М., Дмитриева Л.В, Заболотнова Л.А. и др. Рекомендации по применению удобрений под овощные культуры в защищенном грунте. – М.: ЦИНАО, 1987. – 110 с.

Головацкая И.Ф. Роль криптохрома 1 и фитохромов в регуляции фотоморфогенетических реакций растений на зеленом свете // Физиология растений, 2005. – Т. 52. – С. 822-829.

Головко Т.К. Соотношение фотосинтеза и дыхания в продукционном процессе некоторых видов культурных растений / Фотосинтез и продукционный процесс. – Свердловск, 1988. – С. 118-124.

Головко Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты). – СПб.: Наука, 1999. – 204 с.

Головко Т.К, Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В. и др. Продукционный процесс и пищевая ценность зеленных культур защищенного грунта на Севере // Гавриш, 2010. – № 5. – С. 32-35.

Гончарова Э.В. Физиологическая значимость разных органов растений в функционировании донорно-акцепторной системы в репродуктивный период // Фотосинтез, физиология, онтогенез, экология. – Калининград: Из-во КГТУ, 2009. – С. 235-259.

Гольцев В.Н., Кузманова М.А., Каладжи Х.М., Аллахвердиев С.И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла *a* – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. – Ижевск-Москва, 2014. – 220 с.

Григорай Е.Е., Головко Т.К., Далькэ И.В., Табаленкова Г.Н. Продуктивность культуры огурца при разных режимах досвечивания в условиях защищенного грунта на севере России // Гавриш, 2011. – № 3. – С. 20-24.

Григорай Е.Е., Далькэ И.В., Табаленкова Г.Н., Головко Т.К. Световой режим и продуктивность тепличной культуры огурца при использовании дополнительных источников освещения в междурядьях // Гавриш, 2012. – № 3. – С. 10-13.

Григорай Е.Е., Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головко Т.К. Урожай и накопление минеральных элементов тепличной культурой огурца в зависимости от освещенности // Агрехимия, 2014. – № 2. – С. 63-69.

Губарь Д.В., Войцехович З.В. Изменение параметров световых кривых фотосинтеза после воздействия на растения света повышенной интенсивности // Адаптация физиолого-биохимических систем растения к перемене освещения. Сб. 2. Изменение освещения от слабого к сильному. – Рига, 1980. – С. 12-33.

Гуляев Б.И. Фотосинтез и продуктивность растений: достижения, перспективы исследований // Физиология и биохимия культурных растений, 1996. – Т. 28. – № 1-2. – С. 15-35.

Гуляев Б.И., Рожко И.И., Рогаченко А.Д. и др. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений. – Киев: Наукова думка, 1989. – 152 с.

Гусев М.М., Гликман М.Т., Хавалджи Г.И. Световая среда в сельскохозяйственных зданиях и сооружениях. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 13.

Далькэ И.В., Буткин А.В., Табаленкова Г.Н. и др. Эффективность использования световой энергии и продуктивность тепличной культуры листового салата // Известия ТСХА, 2013. – № 5. – С. 60-68.

Далькэ И.В., Григорай Е.Е., Головки Т.К. Фотосинтетическая продуктивность и эффективность использования световой энергии тепличной культурой огурца при досвечивании внутри ценоза // Известия ТСХА, 2014. – № 5. – С. 13-23.

Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Глава II. Раздел 1. Плодоовощная продукция (Содержание нитратов в свежем салате латуке, выращенном в защищенном грунте с 1 октября по 31 марта) / Утверждены Решением Комиссии таможенного союза от 28 мая 2010 года, № 299.

Емелин А.А., Прикупец Л.Б., Тараканов И.Г. Спектральный аспект при использовании облучателей со светодиодами для выращивания салатных растений в условиях светокультуры // Светотехника, 2015. – № 4. – С. 47-52.

Ермаков Е.И., Канаш Е.В. Современные проблемы УФ-В радиации в экофизиологии и растениеводстве // Сельскохозяйственная биология, 2005. – № 1. – С. 3-17.

Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика). – М., 2004. – Т. I, II. – 1156 с.

Захожий И.Г., Табаленкова Г.Н., Дымова О.В. и др. Продуктивность листового салата и возможность управления накоплением биологически активных соединений в условиях защищенного грунта // Инновации – сельскому хозяйству: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Калининград, 2013. – С. 43-45.

Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньшикова Е.Б. Окислительный стресс: биохимические и патологические аспекты. – М.: Наука, 2001. – 343 с.

Зенков Н.К., Кандалинцева Н.В., Ланкин В.З. и др. Фенольные соединения биоантиоксиданты. – Новосибирск, 2003. – 328 с.

Зуев В.И., Абдуллаев А.Г. Овощеводство защищенного грунта. – Ташкент: Укитувчи, 1982. – 442 с.

Икконен Е.Н., Шибаева Т.Г., Титов А.Ф. Реакция фотосинтетического аппарата листа огурца на кратковременное ежесуточное понижение температуры // Физиология растений, 2015. – Т. 62. – № 4. – С. 528-532.

Кайбеяйнен Э.Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации // Физиология растений, 2009. – Т. 56. – № 4. – С. 490-499.

Канаш Е.В., Осипов Ю.А. Диагностика физиологического состояния и устойчивости растений к действию стрессовых факторов среды (на примере УФ-В радиации) // Методические рекомендации. – СПб.: РАСХН/ГНУ АФИ Россельхозакадемии, 2008. – 35 с.

Каллис А., Сыбер А., Тооминг Х. Связь фотосинтеза и проводимости CO_2 с удельной плотностью листьев и селекция сортов с максимальной продуктивностью // Экология, 1974. – 38.

Карначук Р.А., Головацкая И.Ф. Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава // Физиология растений, 1998. – Т. 45. – № 6. – С. 925-934.

Карначук Р.А., Тищенко С.Ю., Головацкая И.Ф. Эндогенные фитогормоны и регуляция морфогенеза *Arabidopsis thaliana* синим светом // Физиология растений, 2001. – Т. 48. – № 2. – С. 262-267.

Карначук Р.А., Большакова М.А., Ефимова М.В., Головацкая И.Ф. Интеграция сигналов синего света и жасмоновой кислоты в морфогенезе *Arabidopsis thaliana* // Физиология растений, 2008. – Т. 55. – № 5. – С. 665-670.

Киризий Д.А. Фотосинтез и рост растений в аспекте донорно-акцепторных отношений. – Киев: Наукова думка, 2004. – 192 с.

Клешнин А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений. – М.: Наука, 1954. – 456 с.

Клочникова М.П., Плотникова Н.И., Судаков В.Л. Исследование влияния спектрального состава света серийных источников света на урожай томатов и пшеницы // Научно-технический бюллетень по агрономической физике. – Л., 1987. – Вып. 66. – С. 4.

Когородова Н.С., Шульцева Т.П. Производство овощей под стеклом и пленкой // Агротехника. – М.: Колос, 1979. – 312 с.

Коновалова И.О., Беркович Ю.А., Смолянина С.О. и др. Влияние параметров светового режима на накопление нитратов в надземной биомассе капусты китайской (*Brassica chinensis* L.) при выращивании со светодиодными облучателями // Агрехимия, 2015. – № 11. – С. 63-70.

Король В.Г. Агробиологические основы повышения эффективности производства овощей в зимних теплицах: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – М., 2011. – 42 с.

Кособрюхов А.А. Активность фотосинтетического аппарата при периодическом повышении концентрации CO_2 // Физиология растений, 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 8-16.

Кособрюхов А.А. Влияние периодического повышения концентрации углекислоты в атмосфере на CO_2 -газообмен и содержание углеводов в листьях огурца // Вестник Башкирского университета. Специальный выпуск, 2001. – № 2 (I). – С. 47-49.

Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.

Кравец Е.А., Гродзинский Д.М., Гуца Н.И. Влияние УФ-Б облучения на репродуктивную функцию растений *Hordeum vulgare* L. // Цитология и генетика, 2008. – № 5. – С. 9-15.

Круг Г. Овощеводство / Пер. с нем. В.И. Леунова. – М.: Колос, 2000. – 576 с.

Куперман И.А. Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Новосибирск, 1984. – 37 с.

Куренкова С.В. Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги европейского Северо-Востока. – Екатеринбург, 1998. – 114 с.

Лебл Д.О. Малообъемный способ выращивания тепличных культур // Картофель и овощи, 1984. – № 11. – С. 30-31.

Леман В.М. Курс светокультуры растений. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.

Малхасян А.Б. Обоснование и разработка элементов технологий возделывания зеленных культур в условиях нечерноземной зоны Российской Федерации: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – М., 2007. – 42 с.

Марковская Е.Ф., Сысоева М.И., Харькина Т.Г., Шрудило Е.Г. Влияние кратковременного снижения ночной температуры на рост и холодостойкость огурца // Физиология растений, 2000. – Т. 47. – С. 445-448.

Мельников В.Е. Овощеводство защищенного грунта на европейском Севере. – Вологда-Молочное: ВГМХА, 2002. – 120 с.

Мещеров Э.Т., Боос Г.В. Огурцы. – Л.: Колос, 1967. – 88 с.

Мокроносков А.Т. Онтогенетические аспекты фотосинтеза. – М.: Наука, 1981. – 198 с.

Мокроносков А.Т. Донорно-акцепторные отношения в онтогенезе растений // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 235-250.

Мокроносов А.Т. Взаимосвязь фотосинтеза с функцией роста // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: Наука, 1988. – С. 109-120.

Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты / Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Academia, 2006. – 445 с.

Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. – М., 1956. – 93 с.

Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 7-33.

Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: Наука, 1988. – С. 5-28.

Нормативные документы по контролю за содержанием токсиантов в продукции растениеводства. – М.: Агропромиздат, 1988. – 27 с.

Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. МР 2.3.1.2432-08 от 18 декабря 2008 г. – 39 с.

Образцов А.С. Потенциальная продуктивность культурных растений. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 504 с.

Овощи в Коми АССР / Г.З. Берсон, Г.К. Бондарева, Л.Г. Дорохина и др. – Сыктывкар, 1968. – 180 с.

Палкин Ю.Ф. Влияние температуры воздуха и грунта на рост, развитие и продуктивность огурца в контролируемых условиях фитотрона // Агрофизиологические основы овощеводства в пленочных теплицах в Восточной Сибири. – Иркутск, 1986. – С. 64-92.

Персон С. Измерение света и световых единиц / Мир теплиц, 1996. – № 1. – С. 35-36.

Пильщикова Н.В. Роль света в жизнедеятельности культур защищенного грунта // Гавриш, 2000. – № 5. – С. 11-13.

Пичугина З.Т. Выращивание овощей в теплицах. Хабаровск, 1977. – 96 с.

Полякова М.Н., Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А. Фотосинтез и продуктивность у растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света // Сельскохозяйственная биология, 2015. – Т. 50. – № 1. – С. 124-130.

Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.

Примак А.П., Шмапаева Т.Н., Жарикова Н.Г. Влияние интенсивности света на содержание хлорофилла в семядолях и первом ли-

сте огурца // Труды по селекции овощных культур. – М., 1978. – Т. VIII. – С. 110-113.

Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений, 1987. – Т. 34. – Вып. 4. – С. 812-822.

Протасова Н.Н., Кефели В.И. Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляция // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 251-270.

Протасова Н.Н., Уеллс Дж.М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральная характеристика источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений, 1990. – Т. 37. – № 2. – С. 386-396.

Пухальская Н.В. Некоторые аспекты углекислотных подкормок // Гавриш, 2001. – № 5. – С. 8-10.

Рекомендации по применению удобрений под овощные культуры в защищенном грунте. – М.: ЦИНАО, 1987. – 110 с.

Рябых Р.С., Байкова С.И. и др. Технология применения удобрений в тепличных хозяйствах РСФСР. – М., 1985. – 125 с.

Санникова Т.А., Мачулкина В.А., Бочаров В.Н., Киселева Н.Н. Пищевая ценность огурца и кабачка // АгроXXI, 2012. – С. 34-36.

Световые зоны РФ Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию, для овощных культур в защищенном грунте. http://www.gossort.com/zona_svet.html.

Семихатова О.А. Роль исследования дыхания в развитии теории фотосинтетической продуктивности растений // Бот. журн., 1982. – Т. 67. – № 8. – С. 1025-1035.

Табаленкова Г.Н., Головки Т.К. Продукционный процесс культурных растений в условиях холодного климата. – СПб.: Наука, 2010. – 231 с.

Тараканов Г.И., Борисов Н.В., Климов В.В. Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1982. – 280 с.

Тараканов Г.И., Мухин В.Д. Овощеводство. – М.: Колос, 2003. – 472 с.

Тараканов И.Г. Современное состояние и перспективы развития светокультуры растений по материалам V Международного симпозиума по светокультуре растений в Лиллехаммере (Норвегия, 21-24 июня 2005 г.) // Гавриш, 2005. – № 6. – С. 34-38.

Тараканов И.Г., Малхасян А.Б. Фотопериодическая чувствительность сортов укропа разного географического происхождения // Известия ТСХА., 1991. – Т. 6. – С. 98-105.

Тараканов И.Г., Ван Ц.-Х. Трофическая и сигнальная роль света в регуляции морфогенеза корнеплодных растений из рода *Brassica* L. // Физиология растений, 2009. – Т. 56. – № 2. – С. 256-267.

Тараканов И.Г., Яковлева О.С. Влияние красного цвета различных спектральных диапазонов на физиологические особенности и продуктивность растений базилика эвгенольного (*Ocimum gratissimum* L.) // Доклады ТСХА, 2011. – Вып. 283. – Ч. 1. – С. 227-230.

Тепличное освещение // Овощеводство, 2013. – № 2. (Электронный документ). <http://ovoschevodstvo.com/journal/browse/201302/article/853/>). Проверено 27.01.2014.

Тихомиров А.А. Спектры действия и спектральная эффективность фотосинтеза растений при тестовом (кратковременном) и длительном воздействии света // Физиология и биохимия культурных растений, 1994. – Т. 26. – Вып. 4. – С. 352-359.

Тихомиров А.А., Шарупич В.П. Методы оценки фотобиологической эффективности источников облучения для интенсивной светокультуры. – Красноярск, 1991. – 21 с.

Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы // Учебное пособие для ВУЗов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.

Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л., 1984. – 264 с.

Ушакова С.А., Тихомиров А.А., Величко В.В. и др. Сравнительная оценка продуктивности некоторых зеленных культур, возможных представителей звена высших растений биорегенеративных систем жизнеобеспечения // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2010. – Т. 44. – № 3. – С. 42-46.

Федюнькин Д.В. Интенсивная культура растений в искусственных условиях. – Минск: Наука и техника, 1988. – 27 с.

Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 640 с.

Физиология растений / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др. / Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.

Холупенко И.П., Воронкова Н.М., Бурундукова О.Л., Жемчужов В.П. Запрос на ассимиляты определяет продуктивность интенсивных сортов риса в Приморье // Физиология растений, 2003. – Т. 50. – № 1. – С. 123-128.

Частная физиология полевых культур / Под ред. Е.И. Кошкина. – М.: Колос, 2005. – 304 с.

Чиков В.И. Фотосинтез и транспорт ассимилятов. – М.: Наука, 1987. – 192 с.

Шахов А.А., Хазанов В.С., Станко С.А., Остапович Л.Ф. Фотоадаптация и фотореактивация у растений в горах // Бот. журн., 1962. – Т. 47. – № 1. – С. 68-78.

Шевелуха В.С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе. – М.: Колос, 1992. – 594 с.

Швецова В.М. Фотосинтез и продуктивность сельскохозяйственных растений на Севере. – Л.: Наука, 1987. – 95 с.

Швецова В.М., Болотова Е.С. Динамика накопления сухого вещества и формирования листовой поверхности у картофеля сорта Приекульский ранний // Физиологические основы продуктивности картофеля в Коми АССР: Тр. Коми фил. АН СССР. – Сыктывкар, 1984. – № 64. – С. 6-15.

Шульгин И.А. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 251 с.

Шульгин И.А. О световом режиме в теплицах // Гавриш, 2001. – № 5. – С. 27-29.

Шульгин И.А. Радиационные и физиологические параметры продуктивности агрофитоценозов. – М.: Альтекс, 2002. – 56 с.

Шульгин И.А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений: фитометеорологические и эколого-физиологические аспекты. – М.: МГУ, 2004. – 142 с.

Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез C_3 - и C_4 -растений: механизмы и регуляция. – М.: Мир, 1986. – 590 с.

Эдельштейн В.И. Овощеводство. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 440 с.

Юрина О.В. Огурцы. – М.: Московский рабочий, 1985. – 144 с.

Якушенкова Т.П., Лосева Н.Л., Алябьев А.Ю. Свет различного спектрального состава и резистентность проростков яровой пшеницы при действии супероптимальной температуры // Вест. Башкирского ун-та, 2001. – Т. 1. – № 2. – С. 94-96.

Acock B., Charles-Edwards D.A., Fitter D.J., Hand D.W., Ludwig L.J., Warren Wilson J., Withers A.C. The contribution of leaves from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis: an experimental examination of two canopy models // J. Exp. Bot., 1978. – V. 29. – P. 815-827.

Blain J.A., Gosselin A., Trudel M.J. Influence of HPS supplementary lighting on growth and yield of greenhouse cucumber // Hort. Science, 1986. – V. 22. – P. 36-38.

Bondada B.R., Oosterhuis D.M. Canopy photosynthesis, specific leaf weight, and yield components of cotton under varying nitrogen supply // J. Plant Nutr., 2001. – V. 24. – № 3. – P. 469-477.

Briggs W.R., Olney M.A. Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome // Plant Physiol., 2001. – V. 125. – № 1. – P. 85-88.

Caldwell M.M. Plant response to solar ultraviolet radiation / Encyclopedia of Plant Physiology: Physiological Plant Ecology. I. Responses to the physical environment / Eds. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler. – Springer-Verlag, Berlin, 1981. – V. 12A. – P. 169-181.

Chentao L., Dror S. Cryptochrome structure and signal transduction // Annual Review of Plant Biology, 2003. – V. 54. – P. 469-496.

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

de Pinheiro Henriques A.R., Marcelis L.F.M. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): interactive effects of nitrogen and radiance // Annals of Botany, 2000. – V. 86. – P. 1073-1080.

Delia Vecchia P.T., Peterson C.E., Staub J.E. Inheritance of short-day response to flowering in crosses between a *Cucumis sativus* var. *hardwickii* (R.) Alef line and *Cucumis sativus* L. lines // Cucurbit Genet. Coop. Rpt., 1982. – V. 5. – P. 4.

Demers D.A., Dorais M., Wien C., Gosselin A. Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields // Scientia Hort., 1998. – V. 74. – P. 295-306.

Demers D.A., Gosselin A. Supplemental lighting of greenhouse vegetables limitations and problems related to long photoperiods // Acta Horticulture, 1999. – V. 481. – P. 469-473.

Dorais D.M. The use of supplemental lighting for vegetable crop production: light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices // Canadian Greenhouse Conference. – Toronto, Ontario, 2003. – P. 1-8.

Dwelle R.B. Photosynthesis and photoassimilate partitioning // Potato physiology. – New York, 1985. – P. 36-58.

Elings A., Dueck T.A., Meinen E., Kempkes F.L.K. Analysis of the effects of diffuse light on photosynthesis and crop production / Proc. IVth International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation – HortiModel, 2012 // Acta Horticulture, 2012. – V. 957. – P. 45-52.

Evans L.T. Crop and world food supply, crop evolution and the origin of crop physiology // Crop physiology. Some case of histories. – New York: Cambridge Univ. Press, 1975. – P. 1-22.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations // <http://www.fao.org>.

Ferreira R.C., Silva N.F., Bezerra R.S. Effects of photoselective shade nets on the meteorological elements, growth and radiation

use efficiency of cucumber // XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR) (Québec City, Canada – June 13-17, 2010). P. 1-9. (Эл. документ). 2010. – (<http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CS-BE101226.pdf>) // Проверено 27.01.2014.

Frantz J., Bugbee B. Acclimation of Plant Populations to Shade: Photosynthesis, Respiration, and Carbon Use Efficiency // Jour. Am. Soc. Hort. Sci., 2005. – V. 130. – № 6. – P. 918-927.

Frantz J.M., Joly R.J., Michell C.A. Intracranopy lighting influences radiation capture, productivity, and leaf senescence in cowpea canopies // J. Amer. Soc. Hort. Sci., 2000. – V. 125. – P. 694-701.

Galvani E., Escobedo J.F., Cunha A.R., Klosowski E.S. Estimativado indice de area foliare da produtividade de pepino em meio protegido – cultivos de inverno e de verão // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000. – Vol. 4. – № 1. – P. 8-13.

Gerbaud A., Andre M. Down regulation of photosynthesis after CO₂ enrichment of lettuce; relation to photosynthetic characteristics // Biotronics, 1999. – V. 28. – P. 33-44.

Golovko T., Tabalenkova G. Pigments and productivity of the crop plants // Photosynthetic pigments – chemical structure, biological function and ecology / Eds. T.K. Golovko, W.I. Grzeszeski, M.N.V. Prasad, K. Strzalka. – Syktyvkar, 2014. – P. 207-220.

Grodzinski B., Schmidt J.M., Watts B., Taylor J., Bates S., Dixon M.A., Staines H. Regulating plant/insect interactions using CO₂ enrichment in model ecosystems // Adv. Space Res., 1999. – Vol. 24. – № 3. – P. 281-291.

Hao X., Papadopoulos A.P. Supplemental lighting in high-wire cucumber production on raised-troughs // Acta Horticulture, 2005. – V. 691. – P. 209-215.

He J., Lee S.K., Dodd I.C. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviations by root-zone cooling // Journal of Exp. Botany, 2001. – V. 52. – № 359. – P. 1323-1330.

Heuvelink E., Bakkerm M.J., Hogendonk L., Jense J., Kaarsemaker R., Maaswinke R. Horticultural lighting in the Netherlands new developments // Acta Horticulture, 2006. – V. 711. – P. 25-34.

Heuvelink E., Dorais M. Crop growth and yield // Tomato. – CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 2003. – P. 85-144.

Hirose T., Werger M. J. A. Nitrogen use efficiency in instantaneous and daily photosynthesis of leaves in the canopy of a *Solidago altissima* stand // Physiologia Plantarum, 1987. – V. 70. – № 2. – P. 215-222.

Ho L.C. The possible effect of sink demand on photosynthesis // Res. Photosynth., 1992. – V. 4. – P. 729-736.

Hovi-Pekkanen T., Näkkilä J., Tahvonen R. Interlighting improves productivity of year round cucumber // *Scientia Horticulturae*, 2004. – V. 102. – № 3. – P. 283-294

Hovi-Pekkanen T., Tahvonen R. Effect of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber // *Scientia Horticulturae*, 2008. – V. 116. – P. 152-161.

Jordan B.R. The effect of ultraviolet-B radiation on plants: a molecular perspective // *Adv. Bot. Res.*, 1996. – V. 122. – P. 97-162.

Kakani V.G., Reddy K.R., Zhao D., Mohammed A.R. Effects of ultraviolet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) morphology and anatomy // *Annals of Botany*, 2003. – V. 91. – P. 817-826.

Klaring H.-P. Klopotek Y., Schmidt U., Tantau H.-J. Screening a cucumber crop during leaf area development reduces yield // *Annals of Applied Biology*, 2012. – V. 161. – P. 161-168.

Koivisto A., Hovi-Pekkanen T. Interlighting in the production of greenhouse cucumber: economic comparison using the simulation model // *Europ. J. Hort. Sci.*, 2008. – V. 73. – № 4. – P. 177-182.

Koti S., Reddy K.R., Reddy V, Kakani V.R., Zhao D. Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths // *J. Exp. Bot.*, 2004. – V. 56. – № 412. – P. 725-736.

Kotiranta S. The effect of light quality on tomato (*Solanum lycopersicum* L. CV “Efialto”) growth and drought tolerance. – Master’s thesis University of Helsinki Department of Agricultural Sciences Horticulture, 2013. – 84 p.

Larcher W. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress ecology of functional groups. – Berlin: Springer-Verlag, 2003. – 513 p.

Lila M.A. Plant pigments and human health // *Plant pigments and their manipulation* / Ed. K.M. Davies. – CRS Press, 2004. – P. 248-274.

Lin W.C., Jolliffe P.A. Light intensity and spectral quality affect fruit growth and shelf life of greenhouse-grown long English cucumber // *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1996. – V. 121. – № 6. – P. 1168-1173.

Marcelis L.F.M. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber // *J. Exp. Bot.*, 1991. – V. 42. – P. 1387-1392.

Marcelis L.F.M., Broekhuijsen A.J.M., Meinen E., Nijs E.M.F.M., Raaphorst M.J.M. Quantification of the growth response to light quantity of greenhouse grown crops // *Acta Horticulture*, 2006. – V. 711. – P. 97-103.

McCree K.L. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions // *Prediction and*

measurement of photosynthetic productivity. – Wageningen, 1970. – P. 221-229.

Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. Development and physiological responses to tomato and cucumber to additional blue light // *Acta Horticulture*, 2006. – V. 711. – P. 291-296.

Mou. B. Lettuce. *Vegetables I* / Ed. J. Prohens, F. Nuez. – New York: Springer, 2008. – P. 75-116.

Muneer S., Kim E.J., Park J.S., Lee J.H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) // *International Journal of Molecular Sciences*, 2014. – V. 15. – № 3. – P. 4657-4670.

Nederhoff E.M. Effect of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Dissertation. (Summaries in English and Dutch.). – Wageningen Agricultural University. – The Netherlands. Wageningen, 1994. – 213 p.

Nederhoff E.M., Vegter J.G. Photosynthesis of stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouse under various CO₂ concentration // *Annals of Botany*, 1994. – V. 73. – P. 353-361.

Olle M., Viršile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality // *Agricultural and Food Science.*, 2013. – V. 22. – № 2. – P. 223-234.

Papadopoulos A.P., Demers D.A., Theriault J. The Canadian greenhouse vegetable industry with special emphasis on artificial lighting // *Acta Horticulture*, 2002. – V. 580. – P. 29-33.

Pettersen R.I., Torre S., Gislerød H.R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber // *Scientia Horticulturae*, 2010. – V. 125. – № 2. – P. 77-81.

Principles of Radiation Measurement // <http://www.licor.com>.

Quail P.H., Boylan M.T., Parks B.M., Short T.W., Xu Y., Wagner D. Phytochromes: photosensory perception and signal transduction // *Science*, 1995. – V. 268. – P. 675-680.

Quail P.H. Phytochrome photosensory signalling networks // *Nature Rev. Mol. Cell Biol.*, 2002. – № 3. – P. 85-93.

Rodriguez B.P., Lambeth V.N. Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture // *J. American Society of Horticultural Science*, 1975. – № 100. – P. 694-697.

Santos C.M., Goncalve E.R., Endres L., Araujo Gomes T.C., Jadovski C.J., Nascimento L.A., Santos E.D. Photosynthetic measurements in lettuce submitted to different agroindustrial residue composting //

Pesquisa Applicada & Agrotecnologia, 2010. – V. 3. – № 3. – P. 103-110.

Seginer I.A. Dynamic Model for Nitrogen-stressed Lettuce // *Annals of Botany*, 2003. – V. 91. – № 6. – P. 623-635.

Spalding E.P., Folta K.M. Illuminating topics in plant photobiology // *Plant Cell Environ.*, 2005. – V. 28. – № 1. – P. 39-53.

Tei F., Scaife A., Aikman D.P. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency // *Annals of Botany*, 1996. – V. 78. – № 5. – P. 633-643.

Thornley J.H.M. Growth, maintenance and respiration, a re-interpretation // *Ann. Bot.*, 1977. – V. 41. – № 176. – P. 1191-1202.

Tiwari G.N. *Greenhouse Technology for Controlled Environment* // Alpha Science, 2003. – 544 p.

Treder J. Fresh and dry weight of plants of two oriental lily cultivars “Simplon” and “Star gazer” as influenced by fertilization and growing medium // *Folia Universitate Agriculturae Stetinensis Szczecin*, 2004. – № 236. – P. 223-226.

Trouwborst G., Schapendonk A., Rappoldt K., Pot S., Hogewoning S.W., Ieperen W. The effect of intracanopy lighting on cucumber fruit yield – Model analysis // *Scientia Horticulturae*, 2011. – V. 129. – P. 273-278.

Tucker D.J. Phytochrome regulation of chlorophyll and proteins of leaf senescence in cucumber and tomato // *Plant Sci. Lett.*, 1981. – V. 23. – P. 103-108.

Turcotte G., Gosselin A. Influence of continuous and discontinuous supplemental lighting on the daily variation in gaseous exchange in greenhouse cucumber // *Scientia Horticulturae*, 1989. – V. 40. – № 1. – P. 9-22.

Urbonavičiūtė A., Pinho P., Samuolienė G., Duchovskis P., Vitta P., Stonkus A., Tamulaitis G., Žukauskas A., Halonen L. Effect of short – wavelength light on lettuce growth and nutritional quality // *Sodininkystė ir daržininkystė*, 2007. – V. 26. – № 1. – P. 157-165.

Van Echtelt E. Sustainable use of artificial lighting in horticulture // **Cutting the costs: towards energy efficient controlled environments: Scientific meeting Proceedings of the UK Controlled Environment Users’ Group.** – Aberystwyth: UK Controlled Environment Users’ Group, 2007. – Vol. 18. – P. 22-26.

Van Herten E.J. Validation of dynamic lettuce growth model for greenhouse climate control // *Agricultural systems*, 1994. – V. 45. – № 1. – P. 55-72.

Vermerris W., Nicholson R. Phenolic Compounds and their Effects on Human Health // *Phenolic Compound Biochemistry* / Ed. by

W. Vermerris, R. Nicholson. – Springer Netherlands, 2006. – P. 235-255.

Vidrih R., Filip S., Hribar J. Content of higher fatty acids in green vegetables // Czech J. Food Sci., 2009. – V. 27. – Special Issue. – P. 125-129.

Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Stutte G.W., Yorio N.C., Ruffe L.M., Sager J.C., Prince R.P., Knott W.M. Crop productivities and radiation use efficiencies for bioregenerative life support // Advances in Space Research, 2008. – Vol. 41. – № 5. – P. 706-713.

Wu Q., Su N., Shen W., Cui J. Analyzing photosynthetic activity and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings exposed to different light qualities // Acta Physiol Plant., 2014. – V. 36. – P. 1411-1420.

Xu H.L., Gauthier L., Desjardins Y., Gosselin A. Photosynthesis in leaves, fruits, stem and petioles of greenhouse-grown tomato plants // Photosynthetica, 1997. – V. 33. – № 1. – P. 113-123.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Агробиологические и физиологические основы продукционного процесса растений	7
Глава 2. Свет и его влияние на процессы жизнедеятельности растений	11
Глава 3. Тепличная культура листового салата и некоторых зеленных растений	24
3.1. Биологические особенности салата при выращивании в условиях искусственного освещения	24
3.2. Культивирование салата и других листовых овощных растений в условиях зимних теплиц	26
3.3. Морфофизиологические и продукционные показатели листового салата при разных режимах искусственного освещения ...	28
3.3.1. Влияние интенсивности светового потока	28
3.3.2. Влияние продолжительности освещения на продукционный процесс салата	36
3.3.3. Влияние спектрального состава света на морфофизиологические и продукционные показатели зеленных растений	38
3.4. Биохимический состав и пищевая ценность биомассы зеленных растений защищенного грунта в зимний период	40
3.5. Опыт культивирования салата с использованием светодиодных источников	49
3.6. Агробиологические и физиологические основы повышения эффективности и продуктивности салатной линии в зимних теплицах в условиях первой световой зоны	51
3.7. Экономическая оценка производства листовых овощей в зимних условиях	57
Глава 4. Тепличная культура огурца	62
4.1. Биологические особенности огурца в условиях искусственного освещения	62
4.2. Культивирование огурца в зимних теплицах ООО «Пригородный»	69

4.3. Характеристика световых и температурных условий в опытах с культивированием огурца при разных режимах искусственного освещения в зимних теплицах	72
4.4. Фотосинтез и продукционные показатели огурца при разных режимах искусственного освещения	79
4.4.1. Влияние интенсивности освещения на фотосинтез листьев и морфофизиологические показатели огурца в осенне-зимнем обороте	80
4.4.2. Накопление элементов минерального питания в растениях огурца, культивируемых при разной интенсивности света	89
4.4.3. Влияние комбинированного освещения натриевыми и ртутными лампами на морфофизиологические и продукционные показатели огурца	94
4.4.4. Показатели продукционного процесса растений огурца при досвечивании внутри ценоза	97
4.5. Урожайность и эффективность использования световой энергии культурой огурца в зимних теплицах на Севере	105
Глава 5. Тепличная культура томата	118
5.1. Биологические особенности томата	119
5.2. Технология культивирования растений томата в условиях защищенного грунта (на примере ООО «Пригородный»)	123
5.3. Фотосинтез и продуктивность растений томата в защищенном грунте	126
Заключение	132
Приложения	136
Список использованной литературы	139

ISBN 978-5-9909731-3-8



Научное издание

Т.К. Головки, И.В. Далькэ, Е.Е. Григорай, Г.Н. Табаленкова, А.В. Буткин

**ОВОЩЕВОДСТВО ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА НА СЕВЕРЕ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

*Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института биологии Коми НЦ УрО РАН*

Оригинал-макет и корректура – Е.А. Волкова
Художник – В.Б. Осипов

Подписано в печать 01.09.2017. Формат 60x90^{1/16}. Бум. офсетная.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 9.75 + цв. вклейка 0.5. Усл. печ. л. 9.75. Тираж 250. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика
в полном соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Коми республиканская типография»
Адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. В. Савина, 81