

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
Российской академии сельскохозяйственных наук

На правах рукописи

Удалова Ольга Рудольфовна

Технологические основы культивирования растений томата в условиях
регулируемой агроэкосистемы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Специальность 06.01.03 - агрофизика

Научный руководитель
кандидат физико –математических наук
Судаков Виталий Леонидович

Санкт Петербург, 2014год

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Современные проблемы культивирования растений томата в условиях регулируемой агроэкосистемы	11
1.1. Методы выращивания растений без почвы	12
1.1.1. Гидропоника.....	13.
Ионитопоника.....	15
1.1.3. Аэропонная культура.....	15
1.1.4. Агрегатопоника.....	15
1.1.5. Хемопоника.....	19
1.2. Питательные растворы для выращивания растений.....	21
1.2.1. Признаки дефицита элементов питания в питательном растворе.....	25
1.2.2. Системы подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду в светокультуре томата.....	29
1.3. Сорты и гибриды растений томата перспективные для выращивания в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	30
1.4. Формирование световой среды в технологиях светокультуры.....	31
1.4.1. Влияние отдельных участков спектра ФАР на процессы фотосинтеза и фотоморфогенеза.....	31
1.4.2. Источники света для светокультуры растений.....	34
1.4.3. Зависимость продуктивности растений томата от спектрального состава и интенсивности облучения.....	38
1.4.4. Вегетационные установки для интенсивной светокультуры растений томата	39
1.5. Влияние фотопериодических условий, температуры и влажности воздуха на рост, развитие и продуктивность растений томата в интенсивной светокультуре.....	44
Глава 2. Объекты и методы исследований.....	48
2.1. Объекты исследований.....	48
2.2. Методы измерения уровней освещенности и облученности растений томата в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	49
2.3. Методы исследований.....	50
2.4. Статистические методы обработки материалов.....	50
Глава 3. Концепция организации специальных культивационных сооружений для круглогодичного выращивания растительной продукции.....	51
Глава 4. Технологические приемы управления продукционным процессом растений томата в регулируемой агроэкосистеме.....	59
4.1 Конструирование корнеобитаемых сред как технологический прием культивирования растений томата в регулируемой агроэкосистеме	59

4.2. Влияние состава питательного раствора на продуктивность растений томата при малообъемном способе выращивания.....	73
4.3 Некорневые обработки как технологический прием управления продукционным процессом растений томата.....	79
4.4. Матричные технологии.....	84
4.4.1. Организация световой среды произрастания растений в матричных технологиях	86
4.4.2. Оптимизация условий жизнеобеспечения корневых систем растений в матричных технологиях.....	90
Глава 5. Испытание сортов и гибридов растений томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	98
5.1. Общие требования к сортам и гибридам растений томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	98
5.2. Отбор сортов и гибридов томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	99
5.3. Направление селекции для культивирования растений томата в условиях регулируемой агроэкосистемы.....	104
Заключение	106
Выводы	107
Список литературы	110

Введение

В связи с освоением отдаленных районов Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера решение вопроса круглогодичного производства свежих овощей непосредственно в регионах с экстремальными природными условиями приобретает неотложный характер. Проблема не может быть решена простым размещением в этих районах традиционных сооружений защищенного грунта, вследствие очень высоких затрат энергии на обогрев традиционных теплиц в осенне – зимний период. Результатом больших теплопотерь являются крайне нестабильные температурные условия внутри культивационного сооружения. Постоянно растущие цены на энергоносители практически исключают возможность внесезонного производства качественных овощей в традиционных тепличных сооружениях, расположенных в районах с экстремальными природными условиями, даже в объемах, необходимых для обеспечения свежими овощами детских садов, больниц и школьных учреждений.

Уровень естественного освещения в культивационных сооружениях в осенне – зимний период абсолютно недостаточен для обеспечения нормального роста и развития растений, и применение искусственного облучения для их досвечивания лишь увеличивает себестоимость производимой тепличной продукции.

Актуальность.

В сложившейся ситуации системный подход к разработке научно обоснованных методов круглогодичного производства овощной продукции во внесезонный период непосредственно в местах ее потребления, в районах с экстремальными природными условиями, становится приоритетным для биологической и сельскохозяйственной науки. Эффективное решение поставленной задачи обеспечит возможность организации стабильного производства разнообразной растительной продукции в условиях прогнозируемого глобального изменения климата и ухудшения экологической обстановки.

Современный уровень научно – технических разработок в области культивирования растений в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС),

дает возможность решения проблемы круглогодичного производства растительной продукции многоцелевого назначения в районах с экстремальными природными условиями. Такое производство, с использованием частных технологий светокультуры различных овощных культур, может быть налажено в специальных культивационных сооружениях (СКС), в помещениях которых поддерживаются комфортные для выращивания растений условия [109,119,130,143,148].

Концепция организации специальных культивационных сооружений для круглогодичного производства томата, учитывая климатические условия их расположения (крайне низкие температуры большую часть года, полярная ночь), предусматривает размещение технологического оборудования в стационарных сооружениях, в которых возможно круглосуточное поддержание температуры $\sim +15\text{C}^0$. Производственная структура и состав вегетационного оборудования предприятий СКС должны обеспечивать максимальную универсальность – возможность выращивания разнообразной овощной продукции во внесезонный период и переориентирование, при необходимости, на производство высокодефицитного сырья для фармацевтической или парфюмерной промышленности, в том числе и экспортируемого из дальнего зарубежья, в остальное время года [54,78,90,103,117,122,127,143,].

Учитывая трудности доставки в районы расположения предприятий СКС оборудования и материалов, необходима разработка технологий культивирования растений, предусматривающих использование только серийного оборудования, значительное снижение объема КС в расчете на одно растение и эффективное решение проблем, связанных с утилизацией отходов, что особенно важно для предприятий расположенных в районах вечной мерзлоты [119,126,128,129].

Анализ результатов опыта выращивания растений с использованием искусственного облучения показывает, что наибольшую производительность с квадратного метра полезной площади культивационного сооружения в условиях регулируемой агроэкосистемы, могут обеспечить ресурсо- и энергосберегающие технологии светокультуры, основанные на результатах изучения влияния на рост

и развитие растений как отдельных физических и биотических факторов окружающей среды, так и их совокупности [10,48,50,52,57,71,81,88,100,108,115,120].

Среди овощных культур, выращиваемых в теплицах во внесезонный период, наибольшее распространение получили огурец и томат, способные обеспечить наиболее высокий выход хозяйственно – ценной продукции с единицы площади при культивировании в условиях искусственного освещения[15,20,26,33,35,67,87,97,123,124,130,131,139,158,170]. Однако для выращивания растений томата необходимы затраты электроэнергии на 30 - 40% больше, чем для культивирования огурца: длительность вегетации томата выше, а продуктивность в светокультуре ниже, чем у огурца.

Вследствие этих биологических особенностей роста и развития, томат во внесезонный период в подавляющем большинстве тепличных комбинатов РФ не выращивают, тем более в районах с экстремальными природными условиями[3,4,14,19,29,30,165].

Для разработки интенсивных технологий светокультуры томата, позволяющих организовать в СКС их круглогодичное производство с минимальными экологическими рисками, необходимо проведение комплексных исследований взаимосвязи между световой средой произрастания растений томата и условиями жизнеобеспечения их корневых систем, а также отбор наиболее перспективных для выращивания в условиях интенсивной светокультуры детерминантных скороспелых и продуктивных сортов и гибридов томата [28, 128]

Цель работы. Целью данной работы является изучение условий максимальной реализации биологического потенциала продуктивности растений томата при выращивании в условиях РАЭС, и разработка основных положений ресурсосберегающих технологий круглогодичного производства томата для районов с экстремальными природными условиями и зон экологического риска.

В соответствии с поставленной целью, определены основные задачи диссертационной работы:

- разработать концепцию организации специальных светонепроницаемых культивационных сооружений (СКС) для круглогодичного производства томата в районах с экстремальными природными условиями;
- изучить динамику поступления водорастворимого органического вещества в питательный раствор при выращивании растений томата методом малообъемной агрегатопоники на корнеобитаемых средах (КС) различного состава и оценить влияние органического вещества на продуктивность культивируемых растений и качество получаемой продукции;
- на основе оптимизации соотношения органической и минеральной компоненты разработать корнеобитаемые среды для культивирования растений томата методом малообъемной агрегатопоники в условиях интенсивной светокультуры;
- изучить влияние разработанных нами дифференцированных по фазам развития растений томата питательных растворов на рост и продуктивность томата при интенсивном культивировании в РАЭС методом малообъемной агрегатопоники при капиллярном способе подачи питательного раствора по плоскому фитилю;
- исследовать эффективность применения обработки растений томата хелатными микроудобрениями для повышения продуктивности и качества получаемой продукции;
- выявить перспективные для культивирования в условиях РАЭС детерминантные сорта и гибриды томата;
- разработать основные элементы технологии интенсивной светокультуры томата, минимизирующей экологические риски, и предназначенной для выращивания растений в специальных культивационных сооружениях, в том числе расположенных в районах вечной мерзлоты.

Научная новизна. Научная новизна выполненной работы заключается в разработке экологически адаптивных технологий круглогодичной светокультуры

растений томата для районов с экстремальными природными условиями, обеспечивающих в условиях РАЭС максимальную продуктивность растений при минимальных затратах материальных и энергетических ресурсов на получение единицы продукции.

Практическая значимость. Результаты проведенных исследований технологических основ интенсивного культивирования томата в РАЭС позволяют организовать предприятия круглогодичного производства томата в регионах с экстремальными природными условиями и в зонах экологического риска, или выращивание овощей в любых районах РФ во внесезонный период. Основные положения разработанной нами технологии могут быть использованы для культивирования в СКС практически любых сельскохозяйственных растений, экономически рентабельного производства сырья для фармацевтической и парфюмерной промышленности, а также использованы для выращивания витаминной продукции в небольших объемах в детских садах, больницах, школах и частных домовладениях

Положения, выносимые на защиту :

- концепция организации специальных светонепроницаемых культивационных сооружений для круглогодичного культивирования растений томата в районах с экстремальными природными условиями
- принципы конструирования корнеобитаемых сред для применения в технологиях интенсивной светокультуры на основе оптимизации соотношения в них органической и минеральной компоненты в зависимости от уровня поступления в питательный раствор органического вещества
- питательные растворы, дифференцированные по фазам развития растений, для выращивания томата методом малообъемной агрегатопоники в условиях светокультуры с подачей питательного раствора в корнеобитаемую среду по плоскому фитиллю

- приемы управления продуктивностью растений томата и качеством получаемой продукции путем обработки хелатными кремнийсодержащими микроудобрениями в условиях РАЭС.

Личный вклад автора. Проведение всех вегетационных опытов выполнено в полном объеме лично автором настоящей работы. Степень участия автора в планировании экспериментов и обсуждении полученных результатов, разработке концепции организации СКС и соответствующего технологического оборудования, эффективных корнеобитаемых сред и питательных растворов для создания технологий светокультуры с минимальными экологическими рисками, а также подбор перспективных для культивирования в условиях РАЭС сортов томата, составляла от 70 до 100 процентов.

Апробация работы. По основным положениям диссертации были сделаны доклады: на международных научно-практических конференциях «Научно – инновационные основы повышения эффективности овощеводства» Минск 2008 и 2010 гг., на Всероссийских конференциях «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям» Москва 2008; Научно-практическом форуме «Безопасность продовольствия России» С-Пб. 2010.

Заочное участие в конференциях с представлением докладов с последующими публикациями: ГНУ ВНИИиЗПЭ, . Курск, 2008; Белгородский НИИСХ, 2010; РУДН, Москва, 2010; Институт повышения квалификации, Тамбов, 2011 г.; Агрофизический НИИ, С-Пб, 2011 г.

Публикации. В период 1999 - 2013 г опубликовано 35 работ из них 30 по теме диссертации, в том числе 5 в изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых журналов ВАК».

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, пяти глав, заключения, выводов и списка литературы. Работа изложена на 128 страницах

текста, содержит 23 таблицы и 6 рисунков. Библиографический список включает 182 наименования.

Автор выражает благодарность кандидатам биологических наук Аникиной Л.М. за помощь в проведении анализа органического вещества в питательном растворе и Хомякову Ю.В. за большую помощь в выполнении биохимического анализа состава плодов томата.

Глава 1. Современные проблемы культивирования растений томата в условиях регулируемой агроэкосистемы.

В связи с широким освоением Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера - регионов с экстремальными природными условиями, неотложный характер приобретает решение вопроса круглогодичного производства свежих овощей непосредственно в местах их потребления. Первостепенной становится задача разработки принципиально новых экологически чистых ресурсо и энергосберегающих агротехнологий защищенного грунта, обеспечивающих круглогодичное производство высококачественной растительной продукции с минимальным содержанием нитратов, тяжелых металлов и других вредных примесей [14,21,34,38,39,52,56,81,85, 92,93,97,107,110,121,125].

Защита окружающей среды в производстве защищенного грунта наиболее полно может быть обеспечена путем разработки безотходных технологий светокультуры - систем культивирования растений в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС). Такие системы, представляющие собой физические модели природных экосистем, могут быть использованы для создания экологически чистого круглогодичного производства растительной продукции в защищенном грунте [168].

Решение задачи организации экономически рентабельного круглогодичного производства овощной продукции в условиях РАЭС, реализующей их потенциальную продуктивность, предусматривает анализ результатов выполненных к настоящему времени разработок в области методов культивирования растений в защищенном грунте - способов выращивания растений без почвы [3,34,48,50,56,]:

- влияния состава почвозаменителей, состава питательных растворов и условий их введения в корнеобитаемую среду на продуктивность растений томата в светокультуре;
- исследование зависимости роста, развития и продуктивности растений томата в условиях РАЭС от светотемпературных условий выращивания;

- эффективности использования специального вегетационного оборудования для интенсивного культивирования растений томата в условиях светокультуры;

- подбор наиболее продуктивных сортов и гибридов томата с учетом наиболее перспективных для культивирования в условиях РАЭС.

Основным критерием использования в дальнейшей работе результатов проведенного анализа является экономическая эффективность их применения в технологиях круглогодичного ресурсо и энергосберегающего производства томата.

1.1 Методы выращивания растений без почвы

Исторически возникновение растениеводства без почвы связано с появлением науки о корневом питании растений и созданием систем культивирования растений, обеспечивающих возможность их выращивания в условиях, где обычным способом это сделать трудно или невозможно. В 1856 г немецкие ботаники Ф. Кноп и Ю. Закс впервые на искусственных питательных смесях вырастили растение от семени до получения новых семян. Разработанный ими метод выращивания растений был назван гидропоникой. Главной проблемой практического применения этого метода являлось недостаточное снабжение корней кислородом и неустойчивая кислотность растворов, вследствие, чего растения быстро погибали. Дальнейшее развитие гидропоники велось в направлении разработки способов выращивания растений, обеспечивающих полноценное снабжение корневой системы растений кислородом и питательными веществами [Ван-Гельмонт (1577-1664), Вудворт (1665-1723), Либих(1803-1873). Сакс-; (1832-1897), Кноп(1817-1901), Герике 1929].

Систематически проводимые сравнительные анализы минерального состава плодов растений, в частности томата, выращенных в почве, в водной, песчаной или гравийной культурах показали, что существенной разницы по содержанию в плодах томата сухих веществ, азота, фосфора, калия и микроэлементов между почвенной и беспочвенной культурами нет. Вкусовые качества плодов томата, содержание в них витамина С, каротина, сахаров и сухих веществ также

существенно не различаются при выращивании их в в почве или беспочвенной культуре, однако отмечено, что растения, выросшие без почвы, раньше начинают плодоносить, плоды обычно крупнее и ровнее, чем выращенные в почве. [4,14,19,21,35]. Вместе с тем, многочисленными исследованиями закономерностей взаимодействия растений с корнеобитаемыми средами установлено, что вследствие изменения физико – химических и биогенных свойств, естественные почвы в интенсивной светокультуре не удовлетворяют потребностям растений. Из-за плохой аэрации корней, низкой фильтрационной способности и высокой плотности естественных почв, продуктивность растений, выращиваемых в светокультуре, при использовании естественных почв, как правило, ниже продуктивности тех же растений, выращиваемых на искусственных почвогрунтах [47, 48,115,131] .

Анализ современных технологий беспочвенного выращивания растений показывает, что основные методы культивирования растений в регулируемых условиях можно разделить на следующие основные группы: гидропонику (корни растений находятся в растворе питательных солей), аэропонику (корни растений находятся в воздухе, в замкнутом объеме, и периодически опрыскиваются питательным раствором), ионитопонику (субстрат состоит из ионообменных материалов), агрегатопонику (корни размещены в твердых инертных, неорганических субстратах – щебне, гравии, керамзите, песке и т.п, в которые периодически подается питательный раствор) и хемопонику (субстратом служат верховой торф, опилки и другие недоступные для непосредственного питания культурных растений органические материалы) [3,16,20, 26,42,54,87,108,116, 131,144,154,157,173].

1.1.1. Гидропоника.

Для этого метода характерно полное отсутствие субстрата. Корневая система растений частично погружена в питательный раствор, находящийся в постоянном движении в режиме рециркуляции и аэрации. Уровень питательного раствора постоянный или переменный. Главной проблемой при использовании технологий гидропоники является недостаточное снабжение корней кислородом.

Периодическая (несколько раз в сутки) аэрация не дает эффекта, так как в прилегающем к корням слое раствора кислород быстро исчерпывается, а его поступление из основной массы раствора происходит слишком медленно по причине крайне низкой скорости диффузии газов в воде. Показано, что корневая система взрослого растения томата, поглощающая за один час в среднем 15—16 мг кислорода, при ее размещении полностью в питательном растворе без дополнительной аэрации, уже через 1,5 – 2 часа начинает испытывать кислородное голодание, при одновременном накоплении в зоне корней повышенной дозы CO₂. Нарушение аэрации и накопление CO₂ приводят к снижению интенсивности поглощения корнями питательных веществ и продуктивности выращиваемых растений. [17,27,40,42,116,150,157].

В 1977 году была разработана технология водной культуры, "Nutrient Film Technique" (NFT -тонкослойная проточная культура), при которой корневая система растений развивается в тонком проточном слое питательного раствора. В технологиях NFT соблюдается режим постоянной аэрации питательного раствора и меры по обеззараживанию раствора в процессе выращивания растений. Прекращение циркуляции питательного раствора на срок более чем на 1- 2 часа, при высоком уровне облученности растений, отрицательно отражается на урожае. Система NFT, позволяющая практически полностью автоматизировать процесс выращивания тепличных культур, в настоящее время является одной из самых ресурсосберегающих и экологически чистых по сравнению с другими тепличными технологиями [15,83,116,162,163,164,165,172,174,176] .

Надёжное устройство для выращивания растений способом водной культуры было разработано Ермаковым Е.И. Устройство состоит из контейнера, внутри которого размещаются специальные подставки, на которые устанавливаются емкости с растениями. Центральная группа корней растений томата находится внизу в слое питательного раствора на дне контейнера, а остальные корни располагаются на поверхности подставки. Над контейнерами размещается увлажнитель для верхнего полива растений. Подача раствора сверху обеспечивает

периодическое обновление раствора на дне контейнера. При отключении насоса растения будут несколько дней обеспечены раствором, находящемся на дне контейнера, не испытывая стресса [50,51,65].

1.1.2. Ионитопоника.

Метод выращивания растений на субстрате из смеси двух синтетических ионообменных смол: катионита КУ-2 и анионита ЭДЭ-ЮП. Перед применением смесь насыщают катионами и анионами минеральных веществ, необходимых растениям, и поэтому полив производят чистой водой. После каждой вегетации субстрат необходимо подвергать регенерации, повторному насыщению катионами и анионами с помощью специальных химических реактивов. Иониты, имея малую величину гранул, обладают высокой влагоемкостью, поэтому корни растений страдают от недостаточной аэрации.

Из-за высокой стоимости ионитного субстрата ионитопоника практического применения в промышленной светокультуре не получила [87,97,116].

1.1.3. Аэропонная культура.

В аэропонной культуре растение закрепляется опорной системой, а корневая система растений развивается в условиях воздушной среды в закрытом пространстве. Питательный раствор подается к корням непрерывно или через короткие промежутки времени так, чтобы корни не успевали высохнуть. Листья и ствол растения изолированы от зоны распыления. Использование метода аэропоникм практически исключает заражение растений болезнями связанными с почвой или почвозаменителями, обычными для защищенного грунта. Использование технологий аэропоники позволяет создавать полностью автоматизированные системы выращивания растений, однако метод из-за невысокой надежности и технологических трудностей в реализации, практического применения в промышленной светокультуре не получил [18,21,46,49,116,144,154,173].

1.1.4. Агрегатопоника

Агрегатопоника является наиболее разработанным и распространенным

методом выращивания растений с использованием почвозаменителей. В технологиях агрегатопоники корневая система растений развивается в среде неорганического (керамзит, гравий, щебень и др.) или синтетического (вермикулит, цеолит и др.) происхождения, соответствующего разработанным общим требованиям к субстратам, предназначенным для использования в качестве КС в интенсивных системах выращивания растений в условиях РАЭС: субстраты должны служить хорошей опорой для растений, обеспечивать эффективную аэрацию корневой системы, благоприятные условия для активного роста, распространения и функционирования корней, иметь высокие поглотительную способность и теплоемкость, обладать достаточной механической прочностью, быть недорогими и общедоступными. Выбранные субстраты не должны выделять токсичные для растений вещества, изменять в значительной степени реакцию раствора, содержать семена сорняков и патогенных организмов.

В связи с быстрыми темпами роста и развития корневой и надземной части растений, большим выносом элементов питания при культивировании растений с использованием методов агрегатопоники, важнейшим требованием к почвозаменителям обуславливающим эффективность их использования в условиях интенсивной светокультуры, является обеспечение хорошей аэрации корневой системы растений [14,15,20,52,54,56,64,70].

Успешная реализация оптимального водно – воздушного режима для корневой системы растений в технологиях агрегатопоники зависит от степени учета физических и гидрофизических свойства используемых корнеобитаемых сред(КС), обычно отождествляемых с соотношением твердой, жидкой и воздушной фаз в увлажненной КС [50,51,56,64,66,146,153]. Подробные исследования физических и гидрофизических свойств наиболее распространенных материалов, используемых в качестве КС (керамзит, вермикулит, торф, полиэтилен, опилки и др.) выполнены в работах Брызгалова, Ермакова и др. [3,20,31,47,50,55,116,146]. Показано, что гидрофизические свойства КС тесно взаимосвязаны с состоянием и доступностью для растений

содержащейся в них влаги, которую можно разделить на три категории : легкодоступную, труднодоступную и недоступную. Именно содержащаяся в КС легкодоступная для растений влага обеспечивает потребности растений в воде и питательных веществах и является основой при разработке эффективных систем питания растений в технологиях интенсивной светокультуры[51,54,64,142,153].

В результате проведенных исследований установлено, что имеющие наибольший объем твердой фазы минеральные КС (от 22 % у керамзита до 55 % у песка) содержат относительно мало легкодоступной растениям влаги. Наименьший объем твердой фазы имеют органические (торф верховой, торфяная плита, торф низинный.) субстраты, содержащие легкодоступную влагу до 25 % от объема КС. Смесь верхового торфа и керамзита характеризуется высокой водоудерживающей способностью при одновременном значительном содержании воздушной фазы (не менее 15% по объему), обеспечивая благоприятные условия жизнеобеспечения корневых систем растений [64,153].

Наиболее современный метод агрегатопоники — выращивание растений на минеральной вате. Торговая марка наиболее распространенной в защищенном грунте минеральной ваты, выпускаемой голландской фирмой "Grodania" имеет название «Гродан». Для выращивания растений применяются плиты из минеральной ваты. На плиту устанавливаются кубики из минеральной ваты, объемом ~1л, с выращенной в них рассадой. К каждому кубику к корневой области подводится капельница для подачи питательного раствора по определенной управляемой норме. Минеральная вата имеет щелочную реакцию (рН 7,5 – 8,5) но, обладая высокой буферной способностью, быстро принимает реакцию используемого питательного раствора [15,35,74,157]. Возможность регулирования концентрации, кислотности, продолжительности подачи ПР при выращивании растений на минеральной вате обеспечивает достаточно высокую продуктивность культивируемых растений.

Основные проблемы технологий с использованием минеральной ваты состоят в том, что за один вегетационный период минеральная вата теряет до 20% объема, и последующая вегетация требует восполнения потерянного субстрата, кроме

того, более двух раз минеральную вату использовать нельзя, также не решена проблема утилизации отработанной минеральной ваты. [116].

Значительное сокращение объемов использования минеральной ваты при выращивании растений реализовано в «бессубстратных» технологиях НАН Беларуси, где общий объем КС не более 1 л на растение. Растения томата выращивают в стандартных гродановых кубиках установленных в специальных технологических рукавах, что исключает развитие зеленых водорослей. Применяют систему капельного полива.

Оптимизация водно - воздушного режима корневой системы растений томата в технологиях НАН Беларуси достигается распределением корней томата в технологическом рукаве - часть корней (воздушная) находится в гродановом кубике, часть - в рабочем растворе технологического рукава. Основными проблемами использования бессубстратной технологии выращивания томата являются высокие требования к защите растений и строгой горизонтальности расположения технологических рукавов [15].

Технологии агрегатопоники включают использование технически сложного оборудования и проведение сложного и длительного комплекса работ в межвегетационный период с целью предотвращения снижения продуктивности растений и распространения болезней. К тому же, при длительном выращивании растений методами агрегатопоники наблюдаются проявления первичного почвообразовательного процесса, развивающегося в гранулированных КС под действием микробиотического комплекса, выделений и разложения корневых систем. Результатом этого процесса является изменение физико-химических свойств гранулированных материалов, накопление в них фитотоксичных веществ фенольной природы и, как следствие, снижение продуктивности выращиваемых растений. Для поддержания урожайности растений разработаны приемы, восстанавливающие свойства КС – регенерация, рассоление, и др. [5,7,9, 20,51,53,146]. Относительно высокая скорость минерализации органических субстратов, приводящая к изменению их физических, физико-химических свойств ограничивает срок использования большинства таких КС 2-3 годами

[20,63].

Используемые в агрегатопонике минеральные и синтетические субстраты недостаточно продуцируют CO₂, растения при интенсивном выращивании испытывают дефицит углекислого газа, поэтому при использовании метода агрегатопоники требуется дополнительное оборудование для подкормки растений углекислым газом (CO₂).

1.1.5. Хемопоника.

В технологиях хемокультуры используют органические материалы : сфагновый мох, древесную кору, опилки и получивший наибольшее распространение верховой торф, обладающий хорошими водно-физическими свойствами [8,15,20,25,29,35,42,61,62,63,70,80,84,116,142,146,166].

Изучение возможности повторного использования верхового торфа в течение более длительного срока показало, что при ежегодном внесении в субстрат свежего торфа в количестве 10 – 20% от первоначального объема за 3 года эксплуатации не происходит значительного снижения его водоудерживающей способности и ухудшения аэрации. [3,6,32,64,95].

Если сравнивать продуктивность растений, полученную при выращивании методами агрегатопоники, хемопоники и гидропоники, то она приблизительно одинакова при использовании любой из вышеперечисленных систем и КС. Несмотря на распространение агрегатопоники на минеральной вате и системы NFT, перспективность выращивания растений методом хемопоники, при использовании органических или органо-минеральных почвогрунтов сохраняется и успешно развивается в направлении применения верхового торфа в смеси с минеральными компонентами - голубой глиной, керамзитом, песком и т.д. Исследования эффективности использования органо-минеральных почвогрунтов в качестве КС в интенсивных технологиях закрытого грунта показали, что в таких КС больше доступной влаги и лучше водопроницаемость. Проведенными исследованиями установлено, что в регулируемых условиях показатели скорости минерализации верхового торфа, изменение его объема и плотности самые низкие среди органических КС, и поэтому верховой торф, по сравнению с основными

органическими смесями, используемыми в защищенном грунте, является наиболее устойчивым к изменению своих свойств. [156, 167]

Для использования в технологиях интенсивной светокультуры томата наибольшее применение нашли детально исследованные Ермаковым Е.И. [48,50,51,53] органо – минеральные КС с использованием верхового торфа. Показано, что добавление к керамзиту торфа в количестве 10% увеличивает удельную поверхность КС в 5-6 раз, вследствие чего образуются КС, обладающие удельной поверхностью близкой к наиболее ценным в сельскохозяйственном отношении естественным почвам. Запас доступной влаги при благоприятном соотношении жидкой и воздушной фаз в таких субстратах составляет ~ 25%. [20,51,61,64]. На основе проведенных исследований разработаны органо – минеральные КС, имеющие близкое к оптимальному соотношение воздушной, водной и твердой фаз - агрофит – стандарт, агрофит модернизированный.

Наряду с применением органо –минеральных субстратов на основе верхового торфа, все большее распространение получает использование в качестве органического субстрата кокосовое волокно – коковит [31,73,141].

Выводы:

Сложность создания "идеального" субстрата заключается в том, что в процессе выращивания растений в условиях РАЭС в системе растение - корнеобитаемая среда - питательный раствор под действием питательных растворов, корневых систем растений и микробиотического комплекса, развивающегося в корнеобитаемой среде, происходит трансформация абиогенных пород в биокосные почвоподобные тела, в том числе формирующиеся при этом гумусовые и другие физиологически активные органические вещества.

Знания, полученные в результате исследования этих процессов, послужили основой для разработки экологически гармоничной универсальной системы культивирования растений – панопоники, являющейся базовой системой для реализации фитобиотехнологий нового уровня, которые можно отнести к разряду

сверхточного растениеводства, обеспечивающих круглогодичное производство высококачественной растительной продукции с регулируемым элементным составом в защищенном грунте и специальных культивационных сооружениях [57,62,100,121,127].

В условиях РАЭС верховой торф является наиболее устойчивым к изменению объема, сухой массы и плотности. Добавление торфа в дозированных количествах к минеральным субстратам значительно повышает влагоемкость КС и эффективность их использования в регулируемых условиях. Стабильность параметров физических и гидрофизических свойств КС на основе верхового торфа, делают их перспективными для использования в малообъемных энерго и ресурсосберегающих системах интенсивного выращивания растений методами светокультуры. Субстраты на основе верхового торфа по окончании цикла выращивания растений без всякой дополнительной обработки могут быть использованы как удобрение.

1.2. Питательные растворы для выращивания растений.

В интенсивной светокультуре все необходимые для обеспечения жизнедеятельности соединения растения томата получают из питательного раствора (ПР). Сбалансированный состав органического и минерального питания растений на протяжении всего периода вегетации растений томата является одним из самых эффективных факторов обеспечения их высокой продуктивности. Питание растений и частота подачи ПР в КС определяются конкретными условиями выращивания растений томата - физическими свойствами субстрата, фазой роста растений, световыми и температурными режимами культивирования. Разработаны общие требования к составу питательных растворов для выращивания растений на искусственных субстратах:

- питательные растворы должны включать в свой состав все необходимые для роста растений вещества в виде раствора макро и микроэлементов;
- соотношение питательных веществ для составления питательного раствора подбираются по фактическому содержанию солей в золе растений и по скорости поглощения их из раствора в разные периоды вегетации растения ;

- концентрация раствора должна быть достаточно высокой и в тоже время нетоксичной для растений ;
- в питательных растворах не должно быть существенной разницы в поглощении катионов и анионов, так как в противном случае может наблюдаться значительное подкисление или подщелачивание раствора .

В научной и производственной литературе описаны десятки составов питательных растворов, разработанных для использования при культивировании самых различных видов растений. Составы растворов были направлены на удовлетворение индивидуальных потребностей выращиваемых растений в тех или иных химических элементах, а также на обеспечение долговременности использования растворов, устойчивости во времени их рН и т.п. Наиболее известными являются растворы предложенные Кнопом, Хогландом и Арноном, Жерике, Чесноковым, Алиевым, питательный раствор, применяемый в Калифорнийском университете, раствор экспериментальной станции в Нью-Джерси. По-своему характеру они мало, чем отличаются друг от друга, так как составлены на основании общих принципов приготовления растворов [15,20,26,42, 124,150].

В работах Чеснокова и Базыриной показано, что для круглогодичного выращивания растений томата можно использовать одни и тот же раствор в течение года, не меняя его состава в зависимости от изменений в уровне облученности. При постоянном отслеживании за изменением состава питательного раствора и поддержании его стабильной концентрации и соотношения компонентов, растения не испытывают недостатка ни в воде, ни в питательных веществах. [150].

Проведенными исследованиями установлено, что растения томата лучше всего растут при содержании в литре питательного раствора 2-3 г минеральных солей. Концентрация раствора до 8 г/л вызывает ухудшение условий поступления воды в корневую систему растений, вследствие повышения осмотического давления ПР : у растений томата приостанавливается рост корня, уменьшается размер листьев, плоды поражаются вершинной гнилью.

Поддержание оптимального для растений томата уровня увлажнения КС в условиях светокультуры при использовании малообъемных технологий (~ 65 -70 % от наименьшей влагоемкости) корнеобитаемой среды, осложняется происходящим в процессе вегетации томата уплотнением системы КС - корни, приводящим к ухудшению условий аэрации корней и снижению продуктивности растений [50,51,153]. При недостатке влаги в КС, особенно в фазе образования бутонов, снижается усвоение питательных веществ, азот и фосфор перемещаются из листьев в стебель, рост растений томата останавливается, плоды ускоренно созревают, не достигая товарного размера. [35,54]. С другой стороны избыток влаги в КС приводит к образованию поверхностной корневой системы, вытягиванию растений, разрастанию вегетативной массы в ущерб плодоношению, опадению цветков, растрескиванию плодов, снижению продуктивности растений [19,33].

На основании результатов исследования эффективности применения разнообразных питательных растворов для выращивания растений томата в условиях РАЭС, выбран раствор Кнопа. [51,67,78,87,108]. Влияние концентрации питательного раствора Кнопа и различного соотношения в нем фосфора и калия на рост, развитие и накопления биомассы растений томата исследовали при выращивании растений методом агрегатопоники в условиях интенсивной светокультуры. Показано, что наибольшую сырую и сухую массу надземной части накопили растения томата, получавшие раствор Кнопа двойной концентрации. Увеличение в три-четыре раза количества питательных веществ в растворе приводило к снижению надземной массы растений по сравнению с контролем. Добавление калия и фосфора в раствор одинарного Кнопа не оказало существенного влияния на накопление массы растений томата, а повышение количества калия и фосфора в растворе Кнопа двойной концентрации вызвало снижение массы растений по сравнению с массой растений, получавших неизменный раствор двойного Кнопа. Раствор тройного Кнопа ускоряет начало цветения томатов, но вызывает задержку завязывания плодов по сравнению с одинарным и двойным Кнопом [51].

Питательный раствор для растений томата должен иметь рН 5,5-7,0. Сдвиг реакции раствора в щелочную сторону (рН выше 7) отрицательно влияет на растения, в таком растворе соли железа, магния, кальция, фосфора и марганца переходят в нерастворимые соединения, которые растениями не усваиваются. Даже незначительные изменения состава и концентрации раствора могут отрицательно сказаться на развитии растений, поэтому необходимо периодически определять кислотность раствора.

Рациональная система питания растений в интенсивной светокультуре томата должна учитывать меняющиеся в течение жизненного цикла потребности растений и своевременно обеспечивать их нужными элементами в необходимых количествах и соотношениях. В течение вегетационного периода должны меняться состав, концентрация питательного раствора, режим его применения. Временным исключением притока тех или иных питательных элементов из внешней среды в определенные периоды вегетации можно влиять на динамику роста и развития растений томата, на развитие их корневой системы.

Например, заменой питательного раствора на воду можно вызвать временное голодание растений и тем самым стимулировать процесс образования завязей плодов у томата и получить эффект скороспелости [4,29].

Любой стресс-фактор, который возникает в результате изменения условий окружающей среды неблагоприятно влияет на усвояемость питательных веществ растениями. Энергетика растения направляется на преодоление стресса, в результате чего растения томата останавливаются в росте и развитии, снижается урожайность, а в дальнейшем происходит потеря урожая. Например, при изменении рН питательного раствора с 6,0 до 4,0 сухая надземная масса растений томата уменьшается в 2,5 раза. [116,165].

В стрессовых условиях сбалансированные микроэлементы в питании томата способны нейтрализовать негативное воздействие на растения, способствовать их росту и развитию, и получить экологически чистый урожай [3,19,20,29].

Особенно важно обеспечить томат питательными веществами в периоды характеризующиеся наиболее интенсивным потреблением, когда недостаток

питательных веществ резко ухудшает рост и развитие растений. Так, в начальный период выращивания, растениям томата нужно больше азота, меньше фосфора и калия. До полного цветения первой кисти томат подкармливают фосфором и калием, после высадки рассады в КС на постоянное место для интенсивного роста листьев необходимо больше азота. В последующем, когда начинается процесс плодообразования, фосфор совместно с калием способствует ускорению цветения, созреванию плодов и повышению устойчивости растений к болезням [4].

1.2.1. Признаки дефицита элементов питания в питательном растворе.

В современных тепличных комбинатах постоянный контроль за составом питательного раствора производится в специальных агрохимических лабораториях. В том случае, когда выращивание растений томата организовано в непрофильных, не имеющих собственной агрохимслужбы предприятиях, технологии интенсивной светокультуры томата должны включать визуальный контроль за соответствием состава ПР потребностям растений, определением дефицита того или иного элемента питания. Такой контроль проводится по внешнему виду растений: строению, размерам, форме и цвету листьев и плодов, состоянию тканей. [15,19,21,26,27,29,32,36,51,68,69,74,97,153].

Макроэлементы.

Азот. Основной элемент, входящий в состав белков и нуклеиновых кислот. При недостатке азота в ПР листья томата мельчают, теряют интенсивную зеленую окраску, рано опадают, желтеют, появляется оранжевые и красные оттенки. Цветки, не раскрываясь, засыхают и опадают. Плоды мелкие, но созревают быстро, наблюдается слабый рост растений. Избыток азота вызывает усиленный рост листьев и побегов, замедляется плодообразование. При усиленном аммиачном питании повышаются восстановительные способности растительной клетки и идет преимущественно накопление восстановленных соединений. При нитратном питании образуется больше органических кислот.

Фосфор. Макроэнергетические соединения, содержащие фосфор, содержат богатые энергией связи и принимают участие во всех физиологических

процессах в растительном организме - фотосинтезе, дыхании, биосинтезе белков и других соединений. Соединения фосфора с жирами- фосфолипиды регулируют клеточную проницаемость, процессы прорастания семян, обеспечивают поддержание энергетического баланса в клетке.

Признаки недостатка фосфора в питании растений томата - тусклая темно-зеленая окраска листьев, иногда с бронзовым отливом. Могут проявляться красные и фиолетовые оттенки (особенно у черешков и жилок). Засыхающие листья становятся темными и даже черными. Замедляется рост побегов и корней. При недостатке фосфора у растений усиливается накопление нитратных форм азота. В состав питательных смесей для томата обязательно должен входить HPO_4 .

Калий. Регулирует водный обмен клетки, обеспечивает нормальный ход окислительных процессов, углеводный и азотный обмены. Под влиянием калия возрастает водоудерживающая способность протоплазмы, что уменьшает опасность засыхания растений при кратковременном дефиците влаги. Повышая активность ферментов, калий участвует в накоплении крахмала и сахаров, обеспечивает нормальный ход окислительных процессов, углеводный и азотный обмен, усиливает использование аммиачного азота при синтезе аминокислот и белков.

Симптомы дефицита калия у томата начинают проявляться с побледнения листьев. Тусклая голубовато-зеленая окраска листьев (до хлоротичной). Края листьев опускаются вниз. По краям листа появляется ободок засыхающей ткани - краевой "ожог". Неравномерный рост листовых пластинок, листья сморщенные. Растение становится низкорослым с короткими междоузлиями тонкими побегами. Внутри плодов появляются коричнево – черные полосы.

Кальций. Катионы кальция оказывают сильное антагонистическое действие против других катионов (H^+ , K^+ , Na^+ , Mg^+ и др.), препятствуя их избыточному поступлению в растение. При наличии в растворе нитратного азота поступление кальция в растения усиливается, а в присутствии аммиачного, вследствие антагонизма, снижается.

Признаки дефицита кальция в минеральном питании томата – края молодых листьев становятся желто – зелеными, затем молодые листья белеют, закручиваются кверху, отмирают верхушечные почки и побеги, листья и завязи опадают. Плоды поражаются непаразитарной вершинной гнилью. В результате дефицита кальция не растут корневые волоски, корни утолщаются и загнивают.

Магний. Магний входит в состав хлорофилла и пектиновых веществ, участвует в передвижении фосфора в растениях, ускоряет образование углеводов, способствует накоплению органических соединений –эфирных масел, жиров и др. Признаки дефицита магния у растений томата – замедляется рост растения, наблюдается межжилковый хлороз, желтые, красные или пурпурные листья. Края и жилки листьев некоторое время остаются зелеными, затем листья растений томата скручиваются и опадают.

Микроэлементы.

Нормальное прохождение физиологических и биохимических процессов в растениях в значительной степени зависит от сбалансированности содержания в питательном растворе микроэлементов, повышающих эффективность применяемых макроудобрений, интенсифицирующих обменные процессы в растениях томата.

Наиболее распространенными в светокультуре томата способами применения микроэлементов являются внесение их в КС вместе с макроэлементами в питательных растворах или путем внекорневых обработок, позволяющих вводить микроэлементы путем опрыскивания через листовую и другие ассимилирующие поверхности.

Медь. Медь необходима для нормального прохождения процессов фотосинтеза, углеводного и белкового обмена, присутствует в составе медьсодержащих белков, ферментов, некоторых аминокислот. Признаком недостатка меди в питании томата является побеление концов молодых листьев, наиболее отчетливо проявляющееся на 4 -5 листе сверху. Листья мелкие, сине-зеленые, побеги слабые, цветки недоразвиты и осыпаются до образования завязи.

Цинк. Дефицит цинка проявляется бронзовым оттенком листьев с последующим хлорозом. Растения томата при цинковом голодании образуют мелкие скрюченные листья, пластинки, черешки. Наблюдается задержка роста растений.

Марганец. Физиологическая функция марганца определяется участием в процессах фотосинтеза, углеводного и белкового обмена. При дефиците марганца в растениях томата нарушается соотношение и концентрация основных элементов питания, изменяется морфология листьев - листья томата становятся узкими, ломкими, на них появляются мелкие светло-жёлтые пятна. При остром дефиците марганца на верхних, молодых листьях появляются белые, светло-зеленые, красные пятна, растения томата не образуют продуктивные органы.

Молибден. Молибден обеспечивает более полное включение поступившего в растение азота в состав белков и аминокислот, ограничивает накопление нитратов в овощной продукции, участвует в восстановлении нитратов до аммиака, необходимого для синтеза белков и аминокислот. Симптомы недостатка молибдена проявляются в отмирании точки роста и деформации молодых листьев растений томата. Старые листья приобретают хлоротичную окраску.

Бор. Бор участвует в реакциях углеводного, белкового, нуклеинового и других процессах, необходим растениям томата во весь период их роста. От недостатка бора, прежде всего, страдают молодые листья и точки роста, нарушается передвижение углеводов в растении, формирование репродуктивных органов.

Признаки дефицита бора в питании растений томата - хлороз молодых листьев, их скручивание, раннее опадение, пожелтение жилок. Позднее на таких листьях появляется краевой и верхушечный некроз. Слабое цветение и завязывание плодов. Плоды уродливой формы.

Кобальт. Кобальт входит в состав витамина В12, роль его проявляется в биологической фиксации молекулярного азота. Кобальт накапливается в генеративных органах растений, принимает активное участие в окислительно – восстановительных реакциях. Доказана необходимость включения кобальта в состав питательных смесей для улучшения качества плодов у выращиваемых растений томата.

Железо. Железо участвует в процессе фотосинтеза, входит в состав окислительно-восстановительных ферментов, участвует в процессах дыхания и обмена веществ. При недостаточном обеспечении растений железом ослабляется синтез белков, снижается активность ферментов. Симптомами нехватки железа является пожелтение и обесцвечивание листьев растений томата (частичное или целиком). У ослабленных хлорозом растений замедляется рост, отмирают края листьев, мельчают плоды, снижается урожай

Выводы: Для нормального роста и развития растений томата в интенсивной светокультуре необходимо поддерживать в питательном растворе сбалансированный состав макро и микроэлементов, обеспечивающих потребности растений в минеральном питании в конкретную фазу развития растения. Концентрация питательного раствора для растений томата, выращиваемых в условиях интенсивной светокультуры, может поддерживаться в диапазоне 3,5-5,0 г/л, но в начале завязывания плодов не должна превышать 3,5 г/л. Наибольшую биологическую продуктивность растений томата обеспечивает раствор Кнопа двойной концентрации

1.2.2. Системы подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду в светокультуре томата

Влияние системы питания на продуктивность растений томата сорта Оттава - 60 изучали при подаче ПР в КС следующими 4 способами – поверхностным поливом, капиллярным по плоскому фитилю, капиллярным с поверхностным поливом и капиллярным с помещением части корней в ПР. Наибольшая продуктивность растений томата получена при подаче ПР в органоминеральную КС «Агрофит» по фитилю в сочетании с поверхностным поливом и при подаче раствора по фитилю в КС в сочетании со свободным размещением некоторой части корней в питательном растворе.

По результатам проведенных исследований разработана система двухстороннего регулирования водно-минерального режима корней, обеспечивающая оптимальный водно-воздушный режим для корневой системы выращиваемых растений томата. В разработанной системе питания, при поливе

растений сверху, в субстрате периодически обновляется раствор, а фитили, кроме подачи раствора к корням снизу, обеспечивают быстрое стекание избытка раствора из субстрата, предотвращая переувлажнение и обеспечивая близкий к оптимальному водно – воздушный режим корневой системы томата [65,68,69].

Выводы. При выращивании растений томата в малом объеме КС с использованием агрофита наибольшая продуктивность получена в двух вариантах подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду - фитильном способе подачи ПР к корням в сочетании с поверхностным увлажнением КС, и при нахождении корневой системы в насыщенном влагой воздухе с помещением небольшой части корней в питательный раствор.

1.3. Сорты и гибриды растений томата перспективные для выращивания в условиях регулируемой агроэкосистемы.

При выборе сортов и гибридов растений томата для выращивания в условиях РАЭС необходимо комплексно учитывать исключительное многообразие ответных реакций растений томата на условия окружающей среды – облученность, фотопериод, температуру и влажность окружающей среды, состав почвозаменителя, систему питания растений [4,14,20,29,34,88] .

В интенсивной светокультуре преимущественно следует использовать гибриды первого поколения (F1), позволяющие значительно увеличить продуктивность растений, повысить устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды. Следует отдавать предпочтение раннеспелым и среднеспелым сортам и гибридам томата, обладающим высокой завязываемостью и дружной отдачей плодов в условиях пониженной облученности и температурных условий окружающей среды. [4,75,88,115].

Разрабатываемое в АФИ вегетационное оборудование для выращивания растений томата по технологиям интенсивной светокультуры предусматривает выращивание супердетерминантных и детерминантных сортов и гибридов томата - растений с ограниченным ростом. [28,29,153].

Супердетерминантные томаты – растения, у которых первое соцветие

расположено над 7 – 8 листом основного побега. Рост растений прекращается после образования 2 -3 соцветий, поэтому урожайность у таких сортов довольно низкая. Они отличаются ослабленным развитием пасынков и очень высокой скороспелостью. Все плоды созревают примерно в одно и то же время.

У детерминантных сортов томата первая цветочная кисть закладывается над 8-9-м листом, все побеги заканчиваются соцветием, после чего рост их обычно прекращается. Куст небольшой или среднего размера, главный стебель самоограничивается в росте, заканчивая его соцветием. На главном стебле может быть от 2 до 8 соцветий, которые расположены через 1 -- 2 листа, а иногда - подряд. Высота стебля у таких растений достигает 40--80 см, Эти сорта отличаются дружным цветением и плодообразованием, дают более высокие урожаи. Период плодоношения по сравнению с супердетерминантными сортами более растянутый. Пасынки развиваются более активно. Разработаны специальные приёмы формирования детерминантных растений, направленные на увеличение урожайности [4,14,15,21,29,153]

1.4. Формирование световой среды в технологиях светокультуры

1.4.1. Влияние отдельных участков спектра ФАР на процессы фотосинтеза и фотоморфогенеза.

Свет, как фактор окружающей среды, определяет многие стороны роста и развития растений - его действие не сводится только к фотосинтезу и накоплению органического вещества. Такие процессы, как фотопериодизм и фотоморфогенез являются внешним проявлениями регуляторной роли света [88,89,134]. Значительность влияния световых условий выращивания растений на их рост, развитие и продуктивность, определила необходимость оценки источников света, используемых в технологиях выращивания растений в регулируемых условиях, по двум группам параметров: по соответствию лучистого потока потребностям растений и по экономической выгоды применения – основная доля себестоимости произведенной продукции приходится на затраченную электроэнергию Рациональная организация и контроль за

качественными и количественными характеристиками световой среды произрастания растений: спектральным составом светового потока и суммарной облученностью, в значительной степени определяют экономическую эффективность технологий интенсивной светокультуры томата [111,160,177,178].

Отсутствие прямой корреляции между интенсивностью фотосинтеза и конечным хозяйственно-ценным урожаем различных сельскохозяйственных культур, указывает на сложность процессов, происходящих в растении, и выбор оптимального для растений спектрального состава излучения искусственных источников света затруднен вследствие недостаточных, и часто весьма противоречивых, знаний о требованиях растений к свету [138,179,180,181,182].

Изучение влияния основных областей ФАР (синей, зеленой, красной) на накопление общей биомассы растений томата и на величину хозяйственно ценного урожая выявило специфику действия отдельных узких областей спектра излучения источников света как на частные процессы, происходящие в растениях, так и на общий рост и продуктивность [22,23,24,75, 88,112,133,136] :

- излучение в области 280- 320нм в большинстве случаев оказывает вредное воздействие на рост и развитие растений. Однако существует растения, для которых присутствие этого излучения в количестве ~0,5% оказывает стимулирующий эффект [147,166];
- область 320-400нм. имеет в основном регуляторное воздействие, целесообразно присутствие этого излучения (1-3%) в общем лучистом потоке;

Наиболее важен для роста и развития растений диапазон оптического излучения 280-750нм (диапазон ФАР) обеспечивающий прохождение в растениях основных фотосинтетических и регуляторных процессов. Отдельные спектральные диапазоны ФАР имеют различное физиологическое значение:

- диапазон 400-500нм (синий свет) - входит в состав ФАР и регулирует прохождение ряда нефотохимических (не связанных с фотосинтезом) реакций растений. Излучение в синей области спектра увеличивает накопление общей биомассы на протяжении всего периода вегетации растений томата, однако преобладающее количество синего в общем световом потоке приводит к

формированию низкорослых растений с высоким фотосинтезом, но низкой продуктивностью. Эффективность синих лучей в продукционном процессе для культуры томата, увеличивается с ростом уровня общей облученности растения в области ФАР [134,135,150];

- диапазон 500-600нм (зеленый) – не является абсолютно необходимым для обеспечения фотосинтеза растений но, благодаря своей высокой проникающей способности, обеспечивает фотосинтез в листьях более низкорасположенных ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают. В зеленой области спектра (максимум излучения 520-550 нм) у растений томата формируются тонкие листья с меньшим числом клеток и хлоропластов и самым низким фотосинтезом на единицу площади листа. Продуктивность растений очень низкая;

- диапазон 600-700нм (красный) – часть области ФАР обеспечивающая эффективное прохождение процесса фотосинтеза. Обладает значительным регуляторным действием – в области 660нм. находится максимум поглощения фитохрома P660, пигмента, ответственного за прохождение в растениях важнейших нефотохимических реакций. В красных лучах ценозы томата способны обеспечить достаточно высокую продуктивность;

- диапазон 700–750 нм (дальний красный) – также обладает значительным регуляторным действием – в области 730нм находится максимум поглощения фитохрома в форме P730. В небольших количествах дальний красный свет должен входить в состав общего облучения;

- инфракрасное излучение источников света в большей своей части не способно инициировать ход физиологических реакций, однако некоторые области ИК-излучения хорошо поглощаются водой, содержащейся в растениях, и таким образом, при определенной мощности, повышают температуру растений, ограничивая максимальную облученность в видимой области значениями $\sim 120-140 \text{ Вт/м}^2$. Поэтому, в общем случае принято считать, что ИК-радиация может оказывать на растения не прямое, а опосредованное действие [147]. Оптимальным для растений томата в интенсивной светокультуре является

спектр ФАР с долей красного излучения ~ 60 – 70% и примерно равными долями синих и зеленых лучей [135,137,147].

Выводы:

Для обеспечения высокой продуктивности растений томата в светокультуре необходимо использовать источник (или подбирать комбинацию источников света) с соотношением излучения в синей, зеленой и красной областях спектра близкому к 5,0 -2,5 – 2,5. Практически все типы источников света при достаточно высоком уровне излучения, пригодны для выращивания растений в условиях интенсивной светокультуры.

1.4.2. Источники света для светокультуры растений.

Солнечный свет включает в себя все рассмотренные диапазоны оптического излучения и в процессе эволюции растения приспособились к спектральному составу естественного света. Однако, в условиях искусственного облучения растений обеспечение близкого к солнечному сочетанию вышеприведенных спектральных диапазонов является трудновыполнимой задачей, а для целей практической светокультуры - вообще нереальной. И, поскольку значительная доля в общих затратах энергоресурсов на выращивание в интенсивной светокультуре продукции приходится на электроэнергию, все источники света, предназначенные для выращивания томата полностью на искусственном облучении в условиях РАЭС, должны оцениваться по двум группам параметров: соответствию лучистого потока потребностям растений и экономической выгоды применения.

В практической светокультуре световая среда произрастания растений формируется выбором моделей и типов светотехнического оборудования с точки зрения их энергосберегающих эксплуатационных характеристик и интенсивности излучения в сине-фиолетовой, оранжево – красной и ближней инфракрасной областях.

Взятая в отдельности каждая из трех основных областей ФАР, при сравнительно невысоких уровнях светового потока, не обеспечивают высокую продуктивность растений в светокультуре, однако доказанное положительное влияние на продукционную деятельность растений достаточно высоких уровней

облученности в любой области видимого излучения, т.е. высокий уровень облученности даже в области расположения минимума поглощения хлорофилла (500-600 нм), обеспечивает эффективную продукционную деятельность растений [87]. Из этого примера следует, что нельзя обобщать результаты сравнительных испытаний ламп с различным спектром излучения при низком уровне облученности на весь диапазон возможных интенсивностей света [137].

Максимальная энергетическая эффективность использования света растениями томата лежит в диапазоне 120-150 Вт/м² ФАР. [2, 22,41,77,87]. Для нормального развития растений в ранние фазы роста и развития растений. (3 настоящих листа, цветение) и в период формирования генеративных органов в условиях интенсивной светокультуры необходим уровень облученности растения не ниже 80 Вт/м² ФАР [4,21,24,87].

Наиболее распространенными серийными источниками света, используемыми в овощеводческих хозяйствах и исследовательских целях, являются: лампы накаливания (ЛН), люминесцентные лампы (ЛЛ), дуговые ртутно-люминесцентные лампы ДРЛФ-400, металлогалогенные лампы типа ДРИ различной мощности, натриевые лампы высокого давления – ДнаТ, ДнаЗ различной мощности [75].

Лампы накаливания

Основная часть излучения ламп накаливания (ЛН) лежит в инфракрасном диапазоне, на видимую область приходится не более 5 -7 % от всего лучистого потока. Светоотдача ЛН типа КГ (галогенные) ~ 22 лм/Вт, срок службы ~1000час. На основе зеркальных ЛН мощностью 300 и 500 ватт и галогенных ламп КГ-220-1000 разработаны светоустановки с использованием сплошного водяного экрана. [88]. Лучистый поток ЛН, пройдя через 20мм слой воды, близок к видимой части спектра прямого солнечного излучения. Вегетационные установки, оснащенные ЛН, пригодны для проведения исследований в области физиологии растений, обеспечивая возможность организации высоких уровней облученности растений в области ФАР (до 1000вт/м² ФАР) , трудно доступных при использовании других видов источников света.

Вследствие низкого энергетического КПД в области ФАР (до 2-5% для обычных ЛН и около 8 % для галогенных ЛН) использование ЛН для целей промышленной светокультуры практически прекратилось.

Люминесцентные лампы

Световая отдача люминесцентных лампы (ЛЛ) ~ 60 – 80 люмен/Вт, срок службы ~ 10 тыс. часов, энергетический КПД (9-12%). Спектр излучения большинства ЛЛ удовлетворяет потребностям растений, однако он содержит мало красных и ближних инфракрасных лучей, поэтому в облучательных установках ЛЛ часто применяются в комбинации с ЛН. КПД люминесцентных ламп в области ФАР выше, чем у ЛН. Общая облученность растений в установках с ЛЛ невелика и зависит от числа ламп в световом блоке и расстояния между ними. При использовании светоустановок с ЛЛ для выращивания томата, на 1м² полезной площади используются от 10 до 15 ЛЛ мощностью 40 Вт. с обязательной установкой усиливающего световой поток отражателя. Возможно расположение световых блоков на основе ЛЛ как горизонтально над растениями, так и вертикально между ними. Невысокая температура поверхности трубки ЛЛ дает возможность организации систем облучения в условиях, ограниченных по высоте. [88]. В настоящее время для светокультуры растений, при мелкомасштабном производстве овощной продукции, выращивания рассады и т.д. применяются энергосберегающие ЛЛ – компактные источники света, позволяющие при соответствующей компоновке создать более высокие уровни облученности, чем при использовании трубчатых ЛЛ.

Газоразрядные лампы высокого давления.

В комплекте с пускорегулирующим устройством лампы серии ДРЛФ мощностью 400 Вт известны как облучатели ОТ-400. Светоотдача ламп ДРЛФ-400 ~ 40-45 лм/Вт. В спектре излучения лампы ДРЛФ-400 в различной степени представлены все диапазоны ФАР и по этому признаку её можно рассматривать как удовлетворительную растениеводческую лампу. При установлении уровня облученности растений свыше 80 Вт/м² ФАР необходима принудительная вентиляция для предотвращения перегрева растений, применение которой делают

неэффективным использование ламп ДРЛФ-400 с тепличными облучателями ОТ-400 в современной светокультуре растений [79].

Металлогалогенные лампы серии ДРИ.

Светоотдача ламп типа ДРИ порядка 70 - 90 лм/Вт, срок службы ламп ДРИ — 8 - 10 тыс. час. Разработаны модификации ламп серии ДРИ, мощностью 250, 400, 700, 1000 и 2000 ватт предназначенные для выращивания растений томата или растений огурца. Излучение ламп ДРИ в различных спектральных участках ФАР дает возможность создания узкоспециализированного светотехнического оборудования для выращивания особо требовательных к световым условиям культивирования растений.

Однако в спектре излучения ламп типа ДРИ велика доля инфракрасного излучения, полностью поглощаемого листьями и вызывающего их перегрев [79,136].

Натриевые лампы высокого давления

Спектр излучения натриевых ламп высокого давления (НЛВД) позволяет использовать их для успешного выращивания разнообразных овощных, декоративных и других культур. Натриевые лампы высокого давления НЛВД имеют срок службы ~ 10 тыс. час. и высокую светоотдачу, причем чем больше мощность натриевой лампы, тем выше ее светоотдача. При мощности ламп ДНаТ 400, 600, 750Вт, светоотдача составляет соответственно 120,140 и 160 лм/Вт и, следовательно, более экономично ее применение в светокультуре растений. Параметры НЛВД стабильны в широком диапазоне внешних условий. Выпускаемые фирмой «Reflux» лампы ДНаЗ/ Reflux различной мощности со встроенным рефлектором, позволяют применять лампы этой серии без использования светоотражающего оборудования.

Светодиоды в интенсивной светокультуре.

Использование светоизлучающих диодов (СИД), генерирующих монохроматический свет с очень малым потреблением энергии на его производство, создает возможность разработки методов тонкой регуляции прохождения в растениях процессов фотосинтеза и фотоморфогенеза и

приступить к практической разработке инновационных ресурсосберегающих технологий в растениеводстве. Путем составления комбинации из светодиодов разных цветовых групп можно получить источник света с практически любым спектральным составом в области видимого излучения и эффективно управлять морфогенезом растений и качеством получаемой продукции [16,41].

Недостатки светодиодного освещения - стоимость светодиодных светильников со световым потоком, эквивалентным световому потоку одного современного светильника с НЛВД 600Вт, превышает стоимость последнего не менее чем в 10 раз. В настоящее время разрабатываются методы комбинаторной светокультуры, заключающиеся в совместном использовании ламп серии ДНаТ и светодиодов. В спектре натриевой лампы средний уровень интенсивности в синей области более чем в три раза ниже, чем уровень интенсивности в красной области. Включение в систему облучения светодиодов, излучающих свет в диапазоне от 450 - 475 нм, значительно улучшает качество светового потока, приближая его к оптимальному соотношению энергий по спектру: 30% – в синей области, 20% – в зеленой и 50% – в красной. Показано, что в комбинаторной светокультуре интенсивность фотосинтеза у растений может быть выше на 20%, по сравнению с использованием только ламп высокого давления [41].

1.4.3. Зависимость продуктивности растений томата от спектрального состава и интенсивности облучения.

Зависимость продуктивности растений томата от спектрального состава и интенсивности облучения исследовали при выращивании томата сорта «Оттава – б» под светом ламп ДНаТ-400, ДМ-4-3000, ДРЛФ-400 + ДНаТ400 и ламп накаливания КГ-220-100-5 + 5 см воды. Распределение энергии по спектру в видимой области 400-700 нм различается у всех исследованных типов ламп. Общим для них является небольшой процент энергии в области 700-1000 нм (~10%) и значительное ИК излучение (25-35%). Это интенсивное тепловое излучение ограничивает максимальную облученность в области ФАР значениями 100-120Вт/м². Спектр излучения ЛН типа КГ-220-100-5, профильтрованного через 5 см. слой воды, резко отличается от спектрального состава света газоразрядных

ламп. Применение водного экрана для фильтрации света ЛН, позволило установить основные требования к условиям выращивания томата, обеспечивающих реализацию их потенциальной продуктивности : облученность ~ 150 Вт. ФАР, необходимость для роста и развития растений наличия ближней ИК радиации. Несмотря на практическую возможность получения урожаев томата, приближающихся к их потенциальной продуктивности, применения систем выращивания с использованием ЛН + 5 см воды для промышленного выращивания томата неприемлемо с точки зрения экономической выгоды – затраты на производство единицы продукции ~250 кВтчас/кг [78.88].

Эффективность газоразрядных ламп оценивалась по конечной продуктивности, критерием служила продуктивность томата, при выращивании под светом ЛН + 5 см воды. Установленная мощность источников света в ВСУ составляла для ламп ДНаТ 400, ДРЛФ-400 + ДНаТ400, ДМ-4-3000, КГ-220-100-5 + 5 см воды соответственно 2,36 ; 1,76; 2,0; 4,0 кВт/м².

Продуктивность соответственно составила 12,6 ; 15,3; 14,2; 20,5 кг/м².

Выводы.

При использовании серийных газоразрядных ламп, определяющим продуктивность растений томата в технологиях светокультуры является интенсивность светового потока; спектр излучения при достаточно высоком уровне облученности не имеет значительного влияния на урожай томата. Разработка систем интенсивного выращивания томатов в регулируемых условиях предусматривает выращивание растений при высоких уровнях облученности.

Натриевые лампы высокого давления ДНаТ мощностью 600 - 750 Вт – являются наиболее высокоэффективными и экономичными источниками света для использования в современной интенсивной светокультуре томата.

1.4.4. Вегетационные установки для интенсивной светокультуры растений томата

Анализ современного состояния проблемы использования искусственного облучения в интенсивной светокультуре растений показывает, что имеется обширный теоретический и практический материал по исследованию влияния на

рост и развитие растений, в частности томата, света различного спектрального состава, интенсивности, продолжительности и направленности излучения [88]. Однако, несмотря на значительный опыт выращивания растений при искусственном облучении в настоящее время нет единого взгляда на оптимальные уровни облученности растений и спектральный состав излучения в ростовой зоне, применительно к определенным видам растений. Практически в каждом случае, при разработке технологий круглогодичного производства того или иного вида овощной продукции, требуется создание оригинальной системы облучения, в наибольшей степени отвечающей физиологическим потребностям выращиваемых растений. При этом следует учитывать влияние способа организации светового потока на другие составляющие технологий светокультуры - температурные условия выращивания и минеральное питание растений. Так, практика применения газоразрядных ламп высокого давления ДРИ и ДНаТ для выращивания растений томата показывает, что за счет поглощения растительными тканями, содержащими много воды, ИК излучения с длиной волны более 900нм разница между температурами листа и окружающего воздуха при увеличении облученности до уровня 100 Вт /м² ФАР достигает 12 – 15С⁰. При температурах, оптимальных для выращивания растений (22 - 25С⁰) происходит недопустимый перегрев листьев. Показано, что для исключения ожогов минимальное расстояние между лампами ДНаТ или ДРИ и вершинами растений, при уровнях облученности до 80Вт/м² должно составлять ~ 40см при мощности источников 400вт. и ~60 см при мощности 600вт [123,126,129].

Организация высокоэффективной световой среды произрастания растений в интенсивной светокультуре конструктивно реализуется выбором моделей и типов светотехнического оборудования с точки зрения их энергосберегающих и эксплуатационных характеристик

В период 1980 – 2000г достаточно широкое распространение получили системы облучения, разработанные для использования в вегетационно – климатических камерах и шкафах типа ВКШ-73, ВКК-73, КВ1, в установках ускоренного выращивания растений типа УВР, ФОУ, УИС,

узкоспециализированные системы облучения, например, для выращивания хлореллы и т.д. Общей особенностью перечисленного оборудования для интенсивного выращивания растений является его высокая стоимость и большая установочная мощность на единицу полезной площади выращивания. Так, в установках УВР, полезной площадью 5 м^2 , предназначенных для выращивания растений методом светокультуры световой блок был оборудован 2 лампами ДКсТВ-6000, требующим проточного водяного охлаждения. В основном перечисленное светотехническое оборудование, позволявшее создавать облученности до $100 - 130 \text{ Вт/ м}^2$ ФАР, использовали для изучения потенциальной продуктивности растений, селекционной работы, исследований в области физиологии растений [2,24,50,52,103,108,123,124,126,137,147].

Для экономически эффективного выращивания овощных культур в условиях РАЭС, необходима разработка принципиально новых, энерго и ресурсосберегающих систем культивирования растений, в первую очередь . оптимизирующих световую среду выращивания растений - наиболее затратную составляющую технологий светокультуры [57,62,100,103,125,126].

Для производства овощей методами светокультуры, в АФИ разработаны вегетационные светоустановки (ВСУ) - автономные системы, оснащенные всем необходимым для выращивания растений оборудованием, позволяющие в значительной степени реализовать биологический потенциал продуктивности растений. В световых блоках ВСУ в качестве источников света используют лампы серии ДНаТ, выбранные по результатам анализа параметров излучения серийных источников света - доли энергии, излучаемой в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), процентного соотношения физиологически значимых областей спектра излучения. Разработаны модели вегетационных светоустановок с установленной мощностью светового блока $0,5 - 1,6 \text{ кВт/м}^2$ с горизонтальным по отношению к растениям расположением светильников, предназначенные для выращивания растений, высота которых не превышает 1 м (детерминантные сорта томата, зеленные культуры, лекарственные растения и др.), а также для исследовательских целей - выбору сортов и

гибридов с/х культур, наиболее перспективных для выращивания в условиях РАЭС по показателям продуктивности, скороспелости и биохимического состава продукции [45,151,152].

Конструктивно светоустановки с горизонтальным по отношению к растениям расположением светильников состоят из светового блока, стеллажа для размещения емкостей с субстратом, системы автоматического полива, и блока управления, задающего автоматический режим работы источников света и поливных устройств. Световой блок можно перемещать по вертикали от начального уровня подвеса (минимальное расстояние определяется безопасным уровнем нагрева листьев - при использовании ламп ДНаТ- 400 – 0,4метра, при использовании ламп ДНаТ- 600 – 0,6метра) до высоты 1,5 м. Полезная площадь базовой модели светоустановки — 1,0 х 1,5м. Ширина стеллажа 1,0 м обеспечивает удобство обслуживания растений в светоустановке.

Рациональное размещение ВСУ в помещении для выращивания повышает эффективность использования источников света за счет использования рассеянных световых потоков и позволяет на 8 – 10% увеличить уровень облученности растений в ВСУ.

Большинство выполненных в данной работе исследований, связанных с разработкой технологии круглогодичного производства томата, изучения влияния на рост и развитие растений томата состава корнеобитаемой среды, состава и способов подачи питательного раствора и внекорневой подкормки, выполнены с использованием четырех моделей горизонтальных ВСУ, различающихся установленной мощностью светового блока:

- световой блок 1 модели оборудован 2 светильниками конструкции АФИ с лампами ДНаТ- 400, установленная мощность 0,8 кВт/м², средняя облученность поддерживаемая на уровне вершин растений ~ 60- 80 Вт/м² ФАР;
- световой блок 2 модели оборудован 4 светильниками конструкции АФИ с лампами ДНаТ- 400, установленная мощность 1,6 кВт/м², средняя облученность поддерживаемая на уровне вершин растений ~ 90 -120 Вт/м² ФАР.

ВСУ 1 и 2 моделей, в почвенных блоках которых используют технологии

хемопоники, предназначены для круглогодичного выращивания детерминантных и супердетерминантных сортов и гибридов томата, а также других растений, высота которых не превышает 1 метра - набор культур определяется поставленной задачей — производство овощей, сырья для фармацевтической или парфюмерной промышленности. Растения в ВСУ 1 и 2 моделей выращивают в вегетационных сосудах, объемом 3 литра. Состав питательного раствора и внекорневой подкормки может меняться в зависимости от условий проводимого эксперимента. Продуктивность томата достигает $20\text{кг}/\text{м}^2$ за 85-90 суток выращивания. Содержание нитратов в овощной продукции значительно ниже ПДК [67]. Светоустановки модели 3 - специализированы и предназначены для выращивания растений томата. Световой блок ВСУ 3 модели оборудован 4 лампами с встроенным зеркальным рефлектором ДНаЗ-400 Reflux, установленная мощность $\sim 0,5\text{кВ}/\text{м}^2$, средняя облученность поддерживаемая на уровне вершин растений $\sim 80\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР [147]. Растения томата выращивают в вегетационных емкостях размером $100\times 20\times 20$ см. Корнеобитаемая среда слоем 5см насыпается на полиэтиленовую перфорированную пленку или синтетическую ткань, уложенные сверху на специальные вкладыши, под которыми на глубине 4 см находится слой питательного раствора (ПР). При выращивании растений используют фитильный способ подачи ПР в сочетании с поверхностным увлажнением КС (либо при контакте некоторой части корней с питательным раствором). Питательный раствор в заданном объеме подается насосом в вегетационные емкости. Продуктивность томата $\sim 20\text{-}22\text{ кг}/\text{м}^2$, вегетационный период 85-90 суток. Получаемая продукция высококачественна, затраты электроэнергии на ее производство снижена по сравнению с продукцией, выращиваемой в ВСУ 1 и 2 моделей ($\sim 30\text{ кВт}/\text{кг}$ томата.).

Основные трудности, которые возникают при использовании ВСУ 3 модели – достаточно сложная в эксплуатации конструкция почвенного блока светоустановки, требующая индивидуального обслуживания каждой вегетационной емкости (14 единиц на ВСУ 3 модели) – установку вкладышей, распределение пленки и капроновой ткани, загрузка почвозаменителем.

Достаточно велик объем КС на одно растение томата ~ 8 литров

Выводы. Повышение экономической эффективности выращивания томата (и других овощных культур) с использованием ВСУ предусматривает развитие технологии интенсивной светокультуры в направлении применения натриевых ламп высокого давления повышенной мощности (600-1000 Вт) и малообъемных (менее 1 литра субстрата на растение) технологий.

1.5. Влияние фотопериодических условий, температуры и влажности воздуха на рост, развитие и продуктивность растений томата в интенсивной светокультуре.

Фотопериодические условия, температура и влажность воздуха оказывают коррелированное действие на скорость роста и продуктивность растений томата. Ответные реакции растений на эти воздействия многообразны и проявляются в зависимости от величины каждого фактора и их совместного влияния. Чем полнее условия внешней среды соответствуют генетическим особенностям онтогенеза растений томата, тем меньше длительность вегетационного периода и выше величина хозяйственного урожая. [33,34,35,88]. Свет, как фактор окружающей среды, определяет многие стороны роста и развития растений, его действие не сводится только к фотосинтезу и накоплению органического вещества. Такие процессы как фотопериодизм и фотоморфогенез являются внешними проявлениями регуляторной роли света.[88,134,137].

Реакция томата на длину дня проявляется в фазе появления первых трех настоящих листьев в первые 12--15 дней после всходов. Результаты изучения зависимости роста и развития растений томата от длины дня в 12,14,16,18,20 часов показали, что в условиях высокой интенсивности облучения и постоянной суточной температуре ~ 25С⁰, растения томата в период до образования бутонов (возраст в условиях светокультуры 10 – 12 суток) слабо реагируют на длину дня, достоверное увеличение зависимости сухого веса от продолжительности светового периода отмечается с 2 недельного возраста. [1,2] .

Исследования зависимости продуктивности растений томата от длины

светового периода в 10, 12, 14, 16, 20 часов и температуре выращивания днем 25-26⁰ и ночью 15 - 17⁰ показали, что пониженная температура при всех световых режимах снижает накопление сухой массы по сравнению с постоянной суточной температурой и степень влияния пониженных температур на продуктивность томата пропорциональна продолжительности их действия. Длительность вегетационного периода и величина конечного урожая при выращивании томата на коротком дне зависит от продолжительности ночного периода с пониженной температурой. При длительности светового промежутка 18 и более часов, пониженная температура ночью не влияет на продолжительность вегетации. Максимальный урожай с растения в исследуемом режиме выращивания 25-26⁰С днем и 15 -17⁰С ночью, был получен за счет интенсивного налива плодов на 14 и 18 часовом дне (~ 1,1 кг/растение). На 20 часовом дне за счет ускорения созревания плодов урожай уменьшился до 0,8 кг/растение. [2]. Пониженная ночная температура во всех световых режимах увеличивает урожай. Но в условиях 10 -14 часового дня это достигается за счет сильного удлинения периода налива плодов, при 18 -20 часовом дне урожай возрастал за счет увеличения интенсивности налива плодов [175].

Выяснение зависимости роста и развития растений томата сорта Старфайер от температуры воздуха при 14 часовой длине дня и диапазоне изменения температур воздуха 18 – 36 С⁰ показало, что температуры ниже 23С⁰ замедляют ростовые процессы и этот замедляющий эффект пониженных температур проявляется тем сильнее, чем короче световой день. В интервале 25 - 35 С⁰ образование репродуктивных органов происходило одновременно и в обычные для искусственного освещения сроки. В этом интервале все температуры одинаково благоприятны для быстрого образования репродуктивных органов.

Наращение сухого веса наблюдается до температуры 34 С⁰, далее при температурах 34 - 36С⁰ нарастания сухого веса не происходит, после 36С⁰ нарастание сухого веса резко идет на спад.

Температура воздуха в диапазоне 18 – 30 С⁰ при высоком уровне облученности растений не влияет на образование репродуктивных органов, однако повышение

температуры способствует ускоренному росту репродуктивных органов и переходу растений к более раннему цветению.

Продолжительность периода цветения, налива плодов и их созревания находятся в аналогичной зависимости от температуры воздуха. В результате ранний урожай с большим процентом созревших плодов можно получить при 31-36С⁰ однако, сокращение сроков созревания томата при высоких температурах ведет к сокращению общей продуктивности растений. При изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне 18, 20.25,28,31С⁰ сроки вегетации растений томат сорта Старфайер составляют 120,90,64,60 и 60суток, а средний вес плодов с растения 550,1034,1090,720,590, грамм.

При выращивании растений томата при повышенной температуре от 35 до 38 С⁰, особенно в сочетании с высокой влажностью, у томата наблюдаются отклонения в росте, листья растений скручиваются, корневая система слабая. Во второй половине вегетации ускоряется старение листьев, характерно массовое появление вторичных побегов на плодовых и цветочных кистях, что тормозит рост образовавшихся плодов и снижает продуктивность растений [21].

Конечный урожай в различных фотопериодических условиях при постоянной суточной температуре воздуха зависит от интенсивности налива и скорости созревания. При интенсивности света до 120 Вт/м² ФАР максимальная продуктивность наблюдается при 16 час световом периоде .

Наиболее благоприятные сочетания интенсивности налива и скорости созревания при постоянной температуре 25С⁰ – длина дня от 14 до 18 часов. Однако для практической светокультуры в этих температурных условиях выгоднее использовать 14 часовой световой период, так как его увеличение до 18 часов не дает прибавки урожая пропорциональной затратам электроэнергии на его производство [1,2, 88].

Корневая система растений томата в условиях светокультуры хорошо развивается при температура КС ~22 С⁰, оптимальная разность между температурой воздуха и корнеобитаемой среды ~2 – 3 0С. Понижение температуры почвы до 15С⁰ снижает уровень поглощаемого корнями томата

фосфора и усвоение азота, что приводит, особенно в условиях пониженной облученности, к неблагоприятным метаболическим изменениям, снижению активности ассимиляционного аппарата и гибели растений [2,20,29]. Соблюдение оптимального температурного режима корнеобитаемой среды в каждой фазе роста и развития томата способствует образованию хорошо развитой корневой системы, формированию компактных, здоровых растений, высокой продуктивности [32,34,35].

Оптимальная относительная влажность воздуха для томата 45-60 %. В период плодоношения необходима более высокая влажность воздуха (65-70%). Излишняя загущенность растений томата или обильная их облиственность, затрудняют активный обмен воздуха, его свободную циркуляцию, что чрезмерно повышает влажность воздуха внутри посевов и, как следствие вызывает появление болезней. Удаление нижних листьев в приземном ярусе растений улучшает условия воздухообмена, а также световой, тепловой и водный режимы выращивания томата [171].

Выводы.

Соблюдение определенного температурного и влажностного режимов окружающей среды в каждую фазу роста и развития томата способствует образованию хорошо развитой корневой системы, формированию компактных, здоровых растений, быстрой приживаемости рассады, высокой завязываемости плодов на всех соцветиях и высокой продуктивности растений томата [34,87,90].

Для получения максимального хозяйственно ценного урожая в кратчайшие сроки при высоких уровнях облученности рекомендуется следующий температурный режим выращивания томата - до начала цветения круглосуточное поддержание температуры 25-28⁰С, в период цветения и налива плодов температурный режим выращивания днем 28-30⁰С и 22-24 С⁰ ночью. Оптимальная длина дня для растений томата в светокультуре 14-16 часов. Относительная влажность воздуха - 45-60 %.

Глава 2. Объекты и методы исследований.

Разработка ресурсо и энергосберегающих технологий светокультуры, максимально реализующих биологический потенциал продуктивности растений томата в условиях РАЭС, включает качественную и количественную оценку физических и физико-химических условий выращивания растений, анализ влияния параметров окружающей среды на рост и развитие растений томата, и в первую очередь, на их продуктивность.

К факторам внешней среды, непосредственно определяющим продукционную и экономическую эффективность культивирования томата в условиях РАЭС и подлежащих анализу и количественной оценке относятся:

- влияние световых и температурных условий выращивания растений на рост, развитие и продуктивность растений томата;

- влияние на продуктивность томата условий жизнеобеспечения корневых систем при малообъемном способе выращивания растений - состава корнеобитаемой среды (КС), состава питательных растворов, накопления водорастворимого органического вещества в питательных растворах;

- показатели продуктивности, скороспелости и биохимического состава растений томата, культивируемых в разрабатываемых технологиях интенсивной светокультуры.

2.1. Объекты исследований.

Объектом исследования являлась система растения томата – корнеобитаемая среда. Основные исследования по разработке технологии интенсивной светокультуры томата проводили с использованием растений томата сорта Ультрабек канадской селекции. Растения томата выращивали в вегетационных светоустановках (ВСУ) с горизонтальным расположением светильников, оснащенных блоком управления, задающим режим работы светового блока и системы полива. С световом блоке ВСУ использовались лампы ДНаТ- 400, установочная мощность 0,8 – 1,6 кВт /м² (2 или 4 лампы ДНаТ- 400 на 1 м²

стеллажа) в зависимости от необходимости организации определенного уровня облученности растений. В матричных технологиях выращивания овощных культур в световых блоках ВСУ применялись лампы ДНаТ600 или ДНаЗ-600 Reflux [119,123].

Перемещением светового блока по вертикали от начального уровня подвеса, определяемого безопасным уровнем нагрева листьев (при использовании ламп ДНаТ- 400 – 0,4метра, ДНаТ-600 – 0,6м) регулировался уровень облученности растений – до 120 Вт/м² ФАР. Световой период -16 час/сутки. В течение опыта поддерживалась температура воздуха $25 \pm 2 \text{ C}^0$ днем и $18 \pm 2 \text{ C}^0$ ночью [88,100,103,126].

Растения томата выращивали методом малообъемной агрегатопоники, состав и объем (литр/растение) корнеобитаемых сред (КС) приведен в соответствующих разделах работы. В большинстве вегетаций томата для питания растений использовали питательный раствор Кнопа. [150]. В исследовании влияния состава питательных растворов (ПР) на продуктивность томата использовали ПР, состав которых приведен в 4 главе диссертации.

В системе подачи ПР в КС применялось двустороннее регулирование - верхний полив растений питательным раствором (ПР) с помощью эластичных пористых распределителей 2-4 раза в сутки и постоянном поступлении в КС питательного раствора по плоским фитилям из растительной ткани [65].

В вегетационных опытах по сортоиспытанию растений томата, наиболее перспективных по показателям продуктивности и скороспелости для выращивания в условиях интенсивной светокультуры, были испытаны 60 детерминантных сортов и гибридов томата.

2.2. Методы измерения уровней освещенности и облученности растений томата в условиях регулируемой агроэкосистемы.

Для измерения освещенности использовали люксометры типа Ю-116. проградуированные в фотометрических величинах – люксах. Уровень фотосинтетически активной радиации (ФАР) измеряли пиранометром

Янишевского с использованием двух светофильтров : БС- 8, прозрачным в видимой и ближней инфракрасной областях спектра и поглощающим ультрафиолетовое излучение с длиной волны короче 380нм. и КС–19, прозрачным в ближней инфракрасной области спектра и поглощающим ультрафиолетовое излучение и видимое излучение с длиной волны короче 700нм. Разность отсчетов прибора с этими фильтрами дает величину облученности в области ФАР. Оперативная оценка параметров светового потока одного и того же источника света проводилась при измерении освещенности в люксах. Для перевода показаний в люксах в энергетические величины Вт/м² , показания люксметра сопоставлялись с показаниями пиранометра Янишевского в одной и той же точке измерений. Рассчитанный переводной коэффициент лк → Вт/м² в области ФАР для ламп серии ДНаТ (400,600) составил 1клк →3 Вт/м². [76,126,128,137]

2.3 Методы исследований

При определении водорастворимой фракции органического вещества в КС использовали водную вытяжку, по Э. Шульцу и М. Кершенсу [155]. Углерод определяли способом Тюрина [13] со спектрофотометрическим окончанием по методу Орлова Д.С.и др. [96] .

Биохимический анализ растений был выполнен по стандартным методикам в сертифицированной лаборатории агрофизического НИИ.

Для определения динамики роста томата через сутки измеряли высоту растений, взвешиванием определяли массу плодов, сырую массу листьев. Отмечали фазы развития растений во времени. По завершении вегетационных опытов определяли путем взвешивания массу плодов, сырую массу листьев, стеблей. После высушивания растений при температуре 105С⁰ определяли сухую массу растений. Расчетным методом определяли процент сухого вещества в частях растений.

2.4. Статистические методы обработки материалов

Полученные экспериментальные данные обработаны методами математической статистики [43].

Глава 3. Концепция организации специальных культивационных сооружений для круглогодичного выращивания растительной продукции.

Особенности российского климата не позволяют вести круглогодичное производство овощей в открытом грунте. Даже в наиболее благоприятных для овощеводства южных регионах РФ, овощи «с грядки» можно получать в течение максимум 4 – 5 месяцев в году. В остальных районах этот период сокращается до 2 - 3 месяцев - в результате население России употребляет почти в 2 раза меньше рекомендованных Институтом питания РАН годовых норм свежих овощей. Постоянный дефицит свежих овощей в осеннее - зимний период восполняется продукцией, поступающей по импорту из других стран, основную часть которой составляют виды овощей в недостаточном количестве выращиваемые в отечественных тепличных комбинатах, скоропортящиеся и не производимые в России совсем. Доля импорта томата, например, на российском рынке достигает 40%, а в период межсезонья поставки свежих помидоров из-за рубежа достигают 95%. И дефицит отечественных овощей только возрастает. По данным ФТС, в 2010 году Россией было закуплено у иностранных поставщиков и производителей около 3 млн. тонн свежих овощей, а за первые 9 месяцев 2011 года - 3,4 млн. тонн.

Стоимость свежей овощной продукции, как импортной, так и отечественного производства, и потребление тепличных овощей и зелени в России во внесезонный период существенным образом различается между регионами и зависит от количества привозных овощей, объемов собственного производства и возможности хранения. Наиболее высоки цены реализации свежих овощей в период ноябрь – апрель месяцы в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, значительно превышающие их стоимость в целом по России. Например, правительством республики Саха- Якутия выделяются бюджетные средства специально для удешевления тарифов на перевозку скоропортящихся и социально значимых продовольственных товаров, в том числе и свежих овощей в Тикси и другие районы Якутии.

С целью организации конкуренции импортным поставкам и обеспечения стабилизации отечественного овощного рынка, культивационные сооружения тепличных комбинатов РФ переоборудуются для выращивания растений с использованием технологий светокультуры. Однако, постоянно растущая стоимость энергоносителей, цены на которые за период с 2000 по 2004 годы возросли в 4,5 раза, в то время как цены на реализацию овощей увеличились только в 1,5 раза, практически исключают возможность внесезонного выращивания основных тепличных культур, томата и огурца, в традиционных культивационных сооружениях. В таких условиях тепличные комбинаты не могут работать рентабельно не только в районах с экстремальными природными условиями, но и в большинстве районов основной территории России и производить продукцию даже в объемах, необходимых для обеспечения свежими овощами детских садов, больниц и т.д. К тому же простая интенсификация производства овощей в традиционных культивационных сооружениях закрытого грунта ведет к обострению экологической ситуации, необходимости утилизации отходов производства – минеральной ваты, стоков, что практически неприемлемо при организации стабильного производства высококачественных овощей в районах с экстремальными природными условиями. [100,119,123].

Дефицит овощной продукции в северных регионах восполняется поступлением на рынки импортных овощей, причем существует постоянная тенденция значительного опережения роста розничных цен реализации по отношению к оптовым ценам закупки на «большой земле». Высокие цены реализации завозимой импортной овощной продукции потенциально обеспечивают перспективность организации производства свежих овощей во внесезонный период непосредственно в районах с экстремальными природными условиями с использованием в производстве новых технологий производства овощей, и тем самым решение проблемы круглогодичного обеспечения части населения районов с экстремальными природными условиями свежей витаминной продукцией.

Успешное решение поставленной задачи обеспечит и возможность организации стабильного производства разнообразной растительной продукции в условиях прогнозируемого глобального изменения климата и ухудшения экологической обстановки.

Анализ результатов опыта выращивания растений с использованием искусственного облучения показывает, что наибольшую производительность с квадратного метра полезной площади культивационного сооружения в условиях регулируемой агроэкосистемы могут обеспечить ресурсо- и энергосберегающие технологии светокультуры, основанные на результатах изучения влияния на рост и развитие растений в условиях РАЭС как отдельных физических и абиотических факторов окружающей среды так и их совокупности [108,122]. Для выращивания растений по интенсивным технологиям светокультуры, СКС оснащаются вегетационными светоустановками (ВСУ), специализированными или предназначенными для культивирования широкого набора овощных культур.

Применение технологий светокультуры в специальных культивационных сооружениях с использованием ВСУ, позволяет организовать круглогодичное производство не загрязненных ядохимикатами, тяжелыми металлами и другими вредными для здоровья веществами овощей, непосредственно в проблемных районах, а также постоянно совершенствовать методы повышения продуктивности растений в защищенном грунте, используя инновационные разработки в области технологий светокультуры.

Анализ климатических условий, в которых предполагается организация предприятий круглогодичного интенсивного выращивания высококачественной растительной продукции с использованием экологически чистых технологий промышленной светокультуры – крайне низкие температуры в значительную часть года, полярная ночь, большие ветровые и снежные нагрузки, показывает, что успешное функционирование предприятий СКС вследствие больших затрат на отопление помещений возможно только при размещении вегетационного оборудования в стационарных сооружениях, по теплотехническим характеристикам близким к жилым.

Сравнительная оценка затрат на отопление выполнена для зимней блочной теплицы, общей площадью $\sim 500\text{ м}^2$ (6,4x75 , высота в коньке 4,1 м, высота бокового остекления 2,6м), строительный объем $\sim 2000\text{ м}^3$ и СКС, строительным объемом $\sim 2000\text{ м}^3$ (12x50x3,5), размещенном в стационарном помещении по теплотехническим характеристикам близком к жилым.

Суммарную тепловую мощность, необходимую для поддержания $t_{\text{вн}} = +18^{\circ}\text{C}$ внутри зимней блочной теплицы можно рассчитать по формуле:

$$Q = K_1 K_2 (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) S, \text{ где}$$

S – общая площадь остекленной поверхности, $\sim 1000\text{ м}^2$.

K_1 – коэффициент теплопередачи остекленной поверхности, - $5,5\text{ ккал/м}^2\text{час}^{\circ}\text{C}$

K_2 – коэффициент инфильтрации. Для теплиц в хорошем состоянии $K_{2\text{мин}} = 1,2$
 $t_{\text{вн}}$, $t_{\text{нар}}$. – соответственно температуры воздуха внутри и снаружи зимней блочной теплицы. Рассматриваются варианты $t_{\text{вн}} = +18^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{нар}} = +10; 0; -10; -20; -30^{\circ}\text{C}$. Результаты расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Зависимость суммарной тепловой мощности (Q кВт) необходимой для поддержания температуры $t_{\text{вн}} = +18^{\circ}\text{C}$ в теплице от температуры наружного воздуха.

Температура окружающего воздуха $t_{\text{нар}}. ^{\circ}\text{C}$					
	+10	+5	0	-10	-20
Q кВт	50	85	120	180	250

Необходимая мощность источников тепла для обогрева помещения СКС строительным объемом $\sim 2000\text{ м}^3$, может быть определена по укрупненным показателям

$$Q = Lq(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})V, \text{ где}$$

L – коэффициент, учитывающий изменение удельной тепловой характеристики помещения в зависимости от климатических условий (для 1-3 световых зон $L = 1,4$)

Q – $0.5 \text{ Вт/м}^3\text{град}$, удельная тепловая характеристика жилого помещения, $t_{вн}$, $t_{нар}$. – соответственно температура воздуха внутри и снаружи помещения ПСО.

V – строительный объем помещения ПСО, 2000 м^3

Рассматриваются варианты $t_{вн} = +18^\circ\text{C}$, $t_{нар} = +10; 0; -10; -20; -30^\circ\text{C}$.

Результаты расчета мощности источников тепла Q кВт для обогрева помещения ПСО и расхода энергии W на отопления помещения СКС строительным объемом 2000 м^3 в сутки приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 Зависимость суммарной тепловой мощность (Q кВт), необходимой для поддержания температуры $t_{вн} = +18^\circ\text{C}$ в СКС от температуры наружного воздуха.

Температура окружающего воздуха $t_{нар}$. $^\circ\text{C}$						
	+10	+5	0	-10	-20	-30
Q кВт	11	18	25	40	50	70

Результаты расчета, представленные в таблицах 3.1 и 3.2 подтверждают практическую невозможность эксплуатации зимних тепличных сооружений в северных районах страны в период ноябрь – март месяцы. Мощность источников тепла, необходимая для обогрева зимней блочной теплицы как минимум, в 4 раза превышает мощность, требующуюся для обогрева СКС того же строительного объема, размещенных в стационарных помещениях, по теплотехническим характеристикам близким к жилым.

Основной вклад в себестоимость выращиваемой в СКС с использованием искусственного облучения овощной продукции (~70-80%), составляют расходы на облучение растений и поддержание комфортных для выращивания растений температурных условий в помещениях СКС. Использование в системе обогрева СКС тепла, выделяемого источниками света вегетационных светоустановок (ВСУ), является значительным резервом снижения затрат на выращивание томатов в СКС. При выбранных габаритах СКС ($12 \times 50 \times 3,5$) в его помещениях возможно размещение ВСУ общей полезной площадью $\sim 150 \text{ м}^2$,

общая электрическая мощность выделяемая в виде тепловой энергии от источников света ВСУ составляет ~ 60 кВт. При рациональной схеме временного функционирования светоустановок и организации активного теплообмена между помещениями с ВСУ работающими в режиме «день», и помещениями с ВСУ находящимися в режиме «ночь», использование тепловой энергии выделяемой источниками света работающих ВСУ ~ 30 кВт ($\sim 50\%$ от общей электрической мощности, потребляемой лампами НЛВД), достаточно для поддержания температуры $t_{вн.} +18^{\circ}\text{C}$ внутри помещения СКС строительным объемом ~ 2000 м³ без включения дополнительных источников энергии при понижении температуры наружного воздуха до 0°C .

Структура круглогодичного производства овощной продукции, с использованием технологий интенсивной светокультуры, предусматривает размещение автоматизированных вегетационных светоустановок ВСУ в стационарных помещениях, в которых поддерживаются заданные параметры окружающей среды. Количество размещенных в СКС светоустановок определяет суммарную производительность предприятия и может быть любым : от единиц, при использовании в детских садах, больницах, школах и т.д., при организации выращивания овощей или цветов в небольших объемах, до обеспечивающих производство в СКС растениеводческой продукции в промышленных масштабах.

Анализ экономической целесообразности организации СКС показывает, что по объему производимой продукции СКС условно можно разделить на два типа - первый тип предназначен для удовлетворения потребностей в витаминной продукции больниц, санаториев, дошкольных и школьных учреждений и т. д. Выращивание высококачественных овощей может быть налажено в любом помещении (в том числе и жилом), в котором возможно поддержание круглосуточной температуры $+15 + 18^{\circ}\text{C}$ и в этом случае себестоимость производимой продукции не имеет приоритетного значения.

Второй тип СКС организуется для производства разнообразной растительной продукции в промышленных объемах, позволяющих в значительной степени

решить важнейшую социально – медицинскую проблему – обеспечение свежими овощами населения районов с экстремальными природными условиями. В этом случае, ситуация с возможной организацией предприятий внесезонного выращивания овощной продукции с использованием технологий светокультуры в различных регионах РФ, показывает, что эффективность их деятельности, в том числе и экономическую, целесообразно оценивать с точки зрения конкретного географического расположения СКС и социальной значимости производимой продукции. Совершенно различными должны быть требования к конкурентоспособности продукции СКС в районах, где во внесезонный период свежие овощи практически отсутствуют (пример Тикси, предприятия нефтегазовой промышленности, военные базы, гарнизоны, детские сады в отдаленных северных поселках и т.д.), и в регионах с нерегулярным поступлением овощной продукции из южных районов. В первом случае вопрос о конкурентоспособности выращиваемых в СКС овощей также может вообще не рассматриваться, на первое место выходит социальная значимость организованного производства. Для других северных регионов с нестабильным поступлением свежей овощной продукции, потребность в организации СКС должна комплексно рассматриваться с точки зрения и социальной значимости выпускаемой продукции в условиях конкретного региона, улучшения количественных и качественных показателей обеспечения населения свежими овощами во внесезонный период и покупательской способности населения определенного северного региона.

Общая эффективность круглогодичной работы СКС зависит от решения проблемы экономически оправданного их функционирования в период поступления летней овощной продукции открытого грунта. Одним из путей решения проблемы рационального использования площадей СКС в весенне-летний период - выращивание в этот период в СКС редко поступающей на рынки продукции, например, желтые томаты, огурцы корнишоны и т.д., а также культивирование продукции с добавленной стоимостью, например под брендом экологически чистой продукции, выращенной в полностью контролируемых

условиях. В летний период в СКС может быть налажено конвейерное высокопроизводительное выращивание пользующихся большим спросом и ценных для питания человека зеленных культур, таких как петрушка, сельдерей, салат и т.д. Высокое качество выращенных в СКС овощей позволит выделить ее из общего ряда предлагаемой на рынке продукции и обеспечит более высокую цену ее реализации. Эксплуатационные характеристики технологического оборудования должны позволять переориентирование СКС на выращивание в летний период дефицитного дорогостоящего сырья для фармацевтической или парфюмерной промышленности, в том числе и экспортируемого из дальнего зарубежья.

Для обеспечения возможности культивирования разнообразных растений в условиях СКС, необходимо проведение комплексных исследований в области разработки наиболее эффективных технических средств культивирования растений в СКС, учитывающих специфику их расположения – экономичных, не требующих для обслуживания высококвалифицированного персонала, исключающих трудоемкие агротехнические работы и возможность массовой гибели растений в результате болезней. Экологичность производства, минимизация отходов производства, эффективное решение вопросов утилизации бытовых и производственных стоков, является первостепенной задачей успешного функционирования СКС, расположенных в районах с экстремальными природными условиями.

Для разработки технологий круглогодичного производства овощной продукции в СКС, предусматривающих решение вышеперечисленных задач, а также оценки эффективности использования в технологическом цикле культивирования растений корнеобитаемых сред различного состава, питательных растворов и способов внекорневого воздействия на растения для повышения их продуктивности, выполнены исследования, приведенные в 4 главе настоящей работы

Глава 4. Технологические приемы управления производственным процессом растений томата в регулируемой агроэкосистеме

4.1 Конструирование корнеобитаемых сред как технологический прием культивирования растений томата в регулируемой агроэкосистеме

Решение задачи получения в регулируемой агроэкосистеме высоких урожаев овощных культур, приближающихся к уровню их потенциальной продуктивности, включает оптимизацию условий корневого питания растений, путем разработки КС сбалансированных по содержанию минеральной и органической компоненты.

Анализ методов выращивания растений показывает, что основные исследования в области конструирования корнеобитаемых сред, направленные на повышение продуктивности растений в условиях РАЭС, предусматривают разработку эффективных приемов обеспечения корневых систем растений достаточным количеством минеральных веществ, воды и кислорода воздуха, что является неперенным условием интенсификации производственного процесса растений в условиях интенсивной светокультуры. Степень изученности закономерностей взаимодействия растений с корнеобитаемыми средами при воздействии на них лимитирующих факторов различной природы, определяет экономическую эффективность интенсивных технологий светокультуры в условиях специальных культивационных сооружениях и возможность получения урожаев, приближающихся к уровню потенциальной продуктивности растений.

В то время как физические, гидрофизические и термодинамические свойства влаги в КС изучены достаточно полно, [40,50,64,65,116,142,173,176] влияние на продуктивность растений водорастворимых органических соединений, образующихся в корнеобитаемой среде при длительном выращивании растений на органических и органо-минеральных КС вследствие трансформационных процессов системе КС – растение, исследовано мало.

Органическое вещество в КС при круглогодичном выращивании растений, существенно влияет на ее физические, физико-химические и биологические

свойства, обуславливающие продуктивность и качество получаемой растительной продукции, дает возможность оперативного управления влагообменом в системе КС - корни растений и целенаправленной разработки КС нового поколения[58,61].

Специфика органического вещества образующегося в КС, заключается в преобладании разлагаемой составляющей, при незначительном содержании инертной и вследствие этого, данные системы по биохимической активности процессов происходящих в КС сопоставимы с процессами происходящим в почвах субтропического пояса. Отсутствие в большинстве случаев в КС тонкодисперсных минеральных составляющих, способных активно закреплять органическое вещество, создает условия для интенсивной его трансформации и образованию физиологически активных водорастворимых органических соединений, накопление которых в КС приводит к отрицательному влиянию на рост и продуктивность культивируемых растений. Показано, что длительное выращивание растений огурца на опилках, соломе, еловой коре и торфе приводило к обогащению питательного раствора водорастворимыми органическими соединениями (ВОС), содержание которых к концу вегетации растений составляло от 350 мг/ л в верховом торфе и до 3000 мг/ л в опилках, что отрицательно влияло на продуктивность растений [66].

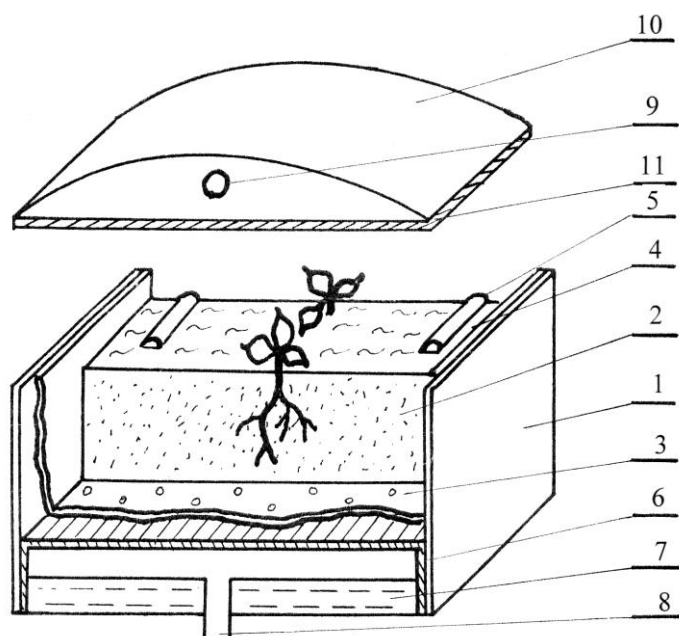
Исследования влияния органического вещества, содержащегося в питательном растворе, на продуктивность растений при круглогодичном выращивании малообъемном способом показали, что в качестве приблизительного критерия, характеризующего состояние органического вещества КС, можно использовать количество поступающих в раствор водорастворимых органических соединений, по эквивалентному количеству углерода, не превышающих 50 мг/л [11,12,59].

Нами выполнено исследование динамики образования подвижного органического вещества в корнеобитаемых средах различного состава и поступления его в питательный раствор в течение вегетации растений томата и оценка влияния содержания водорастворимых органических соединений в КС и

питательном растворе на продуктивность культивируемых растений. Результаты проведенного исследования необходимы для обоснования методологии конструирования и практической реализации высокоплодородных почвоподобных тел нового типа для использования в технологиях интенсивной светокультуры.

Оценка влияния водорастворимых соединений, содержащихся в КС различного состава, на продуктивность растений томата и качество получаемой продукции, проведена при использовании в качестве объекта исследований растения томата сорта Ультрабек. Растения томата выращивали малообъемным способом культивирования в вегетационных светоустановках (рис.4.1.1) при размещении растений в контейнерах размером 0,2 x1,0 x 0,2 м и использовании минеральных и органоминеральных корнеобитаемых сред различного состава.

Рисунок 4.1.1 Схема установки для выращивания растения томата сорта Ультрабек малообъемным способом культивирования растений при использовании минеральных и органоминеральных корнеобитаемых сред различного состава.



1 – растительная, 2 – минеральный субстрат, 3 – перфорированная полиэтиленовая пленка, 4 – волокнистая светоотражающая мульча, 5 – пористые полиэтиленовые рукава для равномерного распределения питательного раствора

по поверхности слоя минерального субстрата, 6 – влагопроводящий плоский двухслойный фитиль (лавсан, капрон), 7 – слой питательного раствора на дне растильни, 8 – патрубок для регулирования толщины слоя питательного раствора в лотке и слива раствора в нижние баки, 9 – натриевая лампа высокого давления ДНаТ - 400, 10 – светоотражающая сфера, 11 – твердотельный светопрозрачный светофильтр.

Каждый вариант опыта включал две растильни с высаженными 10 растениями томата. Объем КС на одно растение томата ~ 3 литров. Система подачи ПР в КС предусматривала двустороннее регулирование - верхний полив растений питательным раствором (ПР) проводили с помощью эластичных пористых распределителей 3-4 раза в сутки при постоянном поступлении в КС питательного раствора по плоским фитилям из раствора, находящегося в растильне [65]. Избыток ПР после полива стекал в баки, соответствующие вариантам опыта. Общий объем питательного раствора в системе растильня (10л) – бак для сбора избытка ПР (20л) составлял 30 литров в каждом варианте. Отбор проб на содержание водорастворимого органического вещества, поступающего в ПР за счет разложения органической компоненты КС вследствие жизнедеятельности корней растений и сопутствующей микрофлоры, проводили через каждые 7 дней в конце каждой недели перед сменой использованного ПР раствора на новый.

Растения томата выращивали под натриевыми лампами ДНаТ – 400. Интенсивность лучистого потока составляла $\sim 100 \pm 10 \text{ Вт/м}^2$ ФАР. Продолжительность светового периода - 16 часов в сутки, продолжительность вегетации - 75 суток. В течение опыта поддерживали температура воздуха $25 \pm 2 \text{ C}^0$ днем и $20 \pm 2 \text{ C}^0$ ночью. Для питания растений томата использовали раствор Кнопа, концентрация которого менялась по фазам развития растений. До цветения растений томата применяли питательный раствор Кнопа двойной концентрации, в период налива и созревания плодов концентрацию ПР снижали до уровня, соответствующего половинной концентрации раствора Кнопа. Сменяли ПР 1 раз в неделю в течение всего периода выращивания.

Одним из показателей, характеризующим подвижную часть органического вещества является содержание водорастворимых органических соединений в КС и питательном растворе. Методы оценки разлагаемой части органического вещества и углерода приведены в главе 2 . Подбор состава субстрата основывали на распространенности и доступности его компонентов для создания КС.

Для исследования влияния водорастворимого органического вещества в питательном растворе на продуктивность растений томата было проведено два опыта.

Первый опыт включал следующие варианты:

Вариант 1.1 – КС состояла из керамзита фракцией 3-5 мм;

Вариант 1.2 – КС состояла из керамзита, покрытого пленкой из кембрийской глины. Для увеличения активной поверхности соприкосновения корневых систем растений с сопутствующей микрофлорой, керамзит замачивали в суспензии кембрийской глины, затем высушивали;

Вариант 1.3 - КС состояла из керамзита на поверхность которого наносили в определенной пропорциях пленку из смеси кембрийская глина + сапрпель. Состав пленки –3 л гумата Na, 2 л сапрпеля и 2 л кембрийской глины обеспечивал создание более комфортной среды для развития корневой системы растений и сопутствующей микрофлоры;

Вариант 1.4 – КС состояла из керамзита покрытого пленкой из кембрийской глины. Для увеличения доли органической компоненты в керамзит по объему 1 : 1 был добавлен разработанный в АФИ почвозаменитель – Агрофит;

Вариант 1.5 В варианте использовали КС - «Агрофит», разработанную в АФИ (пат. РФ № 2081555);

Вариант 1.6. КС - кокосовая стружка (коковит).

Второй опыт включал варианты замены керамзита гранулированным полиэтиленом, более инертным по сравнению с керамзитом и более легким. Одновременно исследовали возможность использования в качестве КС древесных опилок, выращивание растений на которых сложно из-за интенсивного

их разложения и образования значительного количества органических веществ, включая фототоксичные соединения.

В результате были выбраны следующие варианты:

Вариант 2.1 гранулированный полиэтилен, диаметр гранул 3 мм;

Вариант 2.2 – гранулированный полиэтилен, покрытый пленкой из смеси кембрийская глина + сапропель;

Вариант 2.3 – опилки;

Вариант 2.4 опилки, покрытые пленкой из смеси кембрийская глина + сапропель;

Вариант 2.5 верховой торф, нейтрализованный мелом.

В третьем опыте было исследовано влияние содержания водорастворимого органического вещества не в питательном растворе, а в КС различного состава на продуктивность и качество получаемой продукции. Опыт включал следующие варианты:

Вариант 3.1 Агрофит стандарт. Состав: 1л верхового торфа + 60г кембрийской глины+ 5г мела + 4г фосфоритной муки;

Вариант 3.2 - Полиэтилен+органическая компонента: гранулированный полиэтилен, обработанный глиной + органическая компонента (см. вар 3.3);

Вариант 3.3 - Органическая компонента Состав органической компоненты включает в определенных пропорциях смесь агрофита, низинного торфа, опилок. Опилки предварительно обрабатывают аммиаком. После 3-х дневного компостирования опилки обрабатывают смесью сапропеля с глиной;

Вариант 3.4 - Керамзит+органическая компонента;

Вариант 3.5 -Дерново-подзолистая почва.

Проведенные исследования показали, что в первом опыте содержание водорастворимых органических соединений в питательном растворе не превышало критического уровня (50 мг/л) во всех вариантах (рис.4.1.2).

Рисунок 4.1.2. Динамика содержания водорастворимых органических соединений в питательном растворе при выращивании растений томата в условиях интенсивной светокультуры.



В вариантах 1.4 и 1.5 после 28 дней вегетации устанавливалось оптимальное значение ВОС (17-23 мг/л) для данной системы выращивания. За исключением варианта выращивания растений на кокосовой стружке, для всех остальных вариантов данного опыта отмечался одинаковый характер динамики водорастворимой органики в питательном растворе, с максимумом поступления органического вещества в питательный раствор в период завязывания и начала налива плодов у растений томата. Вероятно, это связано с усилением физиологической активности выращиваемых растений и сопутствующей микрофлоры в данный период вегетации, что приводило к обогащению питательного раствора водорастворимыми органическими веществами. Нанесение пленки кембрийской глины на поверхность частиц керамзита приводило к увеличению удельной поверхности частиц, их обменной способности, а также происходило дополнительное обогащение трофической среды растений макро- и микроэлементами [72,113,140,149]. Продуктивность растений томата увеличилась на 10% (табл 4.1.1) по сравнению с вариантом 1.1.

Таблица 4.1.1. Зависимость продуктивность растений томата сорта Ультрабек от состава корнеобитаемой среды (Опыт 1 и 2).

Вариант опыта, состав КС	Продуктивность г/ растение	Продуктивность в пересчете кг/м ²
1.1. керамзит	750 ± 73	15,0
1.2. керамзит с пленкой из кембрийской глины	830 ± 80	16,6
1.3. керамзит с пленкой из кембрийской глины и сапропелем	1075 ± 84	21,5
1.4. керамзит с пленкой из кембрийской глины + агрофит 1:1	1370 ± 98	27,4
1.5. агрофит	1314 ± 95	26,3
1.6. кокосовая стружка	786 ± 91	15,7
2.1. полиэтилен	872 ± 46	17,4
2.2. полиэтилен с пленкой из кембрийской глины + сапропель	1067 ± 94	21,3
2.3. опилки	684 ± 75	13,7
2.4. опилки с пленкой из кембрийской глины + сапропель	1108 ± 70	22,2
2.5. верховой торф, нейтрализованный мелом	880 ± 68	17,6

В результате обработки поверхности частиц керамзита пленкой глины с сапропелем, являющегося дополнительным поставщиком в питательную среду растений гумусовых веществ, аминокислот, включая аспарагиновую, глутаминовую, а также глицина, аланина и гистидина, достигается наиболее благоприятная среда для развития и функционирования корневой системы выращиваемых растений с сопутствующей микрофлорой, приводящее к

увеличению продуктивности растений томата - до 40% по сравнению с необработанным керамзитом. Введение в керамзит обработанного глиной и сапропелем агрофита в объеме 1:1, приводило к повышению продуктивности растений до 1370 г/растение, что составило прибавку урожая по сравнению с чистым керамзитом 80%.

Продуктивность растений выращенных на кокосовой стружке ~ 800 г/растение, что сопоставима с продуктивностью растений томата, культивируемых на необработанном керамзите.

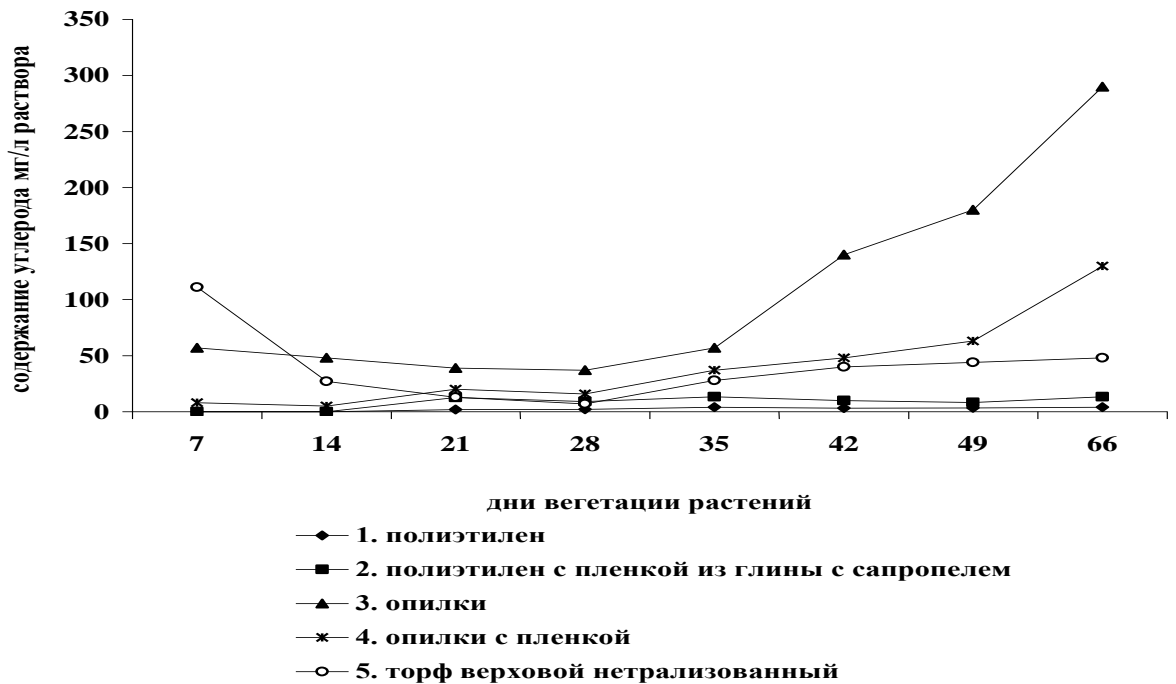
Характер динамики поступления водорастворимого органического вещества в КС в вариантах с применением опилок во втором опыте показало значительное увеличение поступления углерода в питательный раствор к концу проведения опыта, особенно в варианте, в котором опилки не обрабатывали смесью кембрийской глины и сапропеля, достигая 290 мг/ литр питательного раствора. В варианте, где опилки обработаны смесью кембрийской глины и сапропеля, количество водорастворимого углерода в 2,2 раза меньше (130мг/л), хотя и превышает критический уровень его содержания в питательном растворе. (Рис. 4.1.3).

Содержание водорастворимого углерода в питательном растворе в обоих вариантах с гранулированным полиэтиленом на протяжении всей вегетации растений невелико. В варианте с выращиванием растений на верховом торфе отмечается увеличение поступления углерода в питательный раствор в начале вегетации, затем уменьшение его содержания к середине и снова повышение количества углерода в питательном растворе до уровня, не превышающего критического к концу проведения опыта.

Вероятно, что предварительная обработка опилок смесью содержащей органические и минеральные добавки, приводило к созданию органоминеральных комплексов, способствующих снижению поступления в питательный раствор избыточного водорастворимого органического вещества. Кроме того, глина совместно с сапропелем, образуя прочные комплексы, способствовало

структурированию органической составляющей КС – опилок, тем самым, улучшая условия выращивания растений [149].

Рисунок 4.1.3 Динамика содержания водорастворимых органических соединений в КС при выращивании томата в условиях интенсивной светокультуры



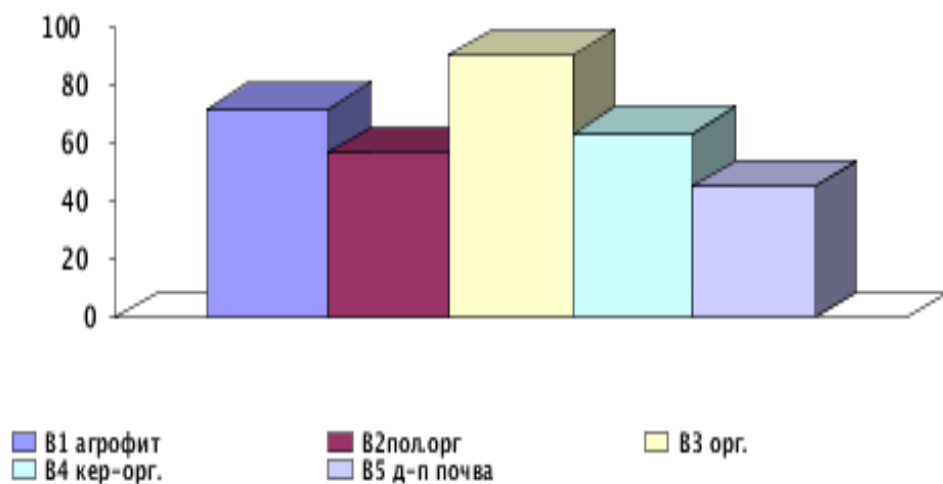
Продуктивность растений, выращенных на обработанных опилках, увеличилась на 60% по сравнению продуктивностью растений, выращенных на опилках без обработки (Таблица 4.1.1).

Как и в случае выращивания растений на керамзите, обработанном глиной с сапропелем, так и при выращивании растений на гранулированном полиэтилене, предварительно дражированном аналогичной смесью, наблюдается увеличение продуктивности томата на 22%, по сравнению с полиэтиленом без обработки. Увеличение продуктивности свидетельствует об улучшении условий жизнеобеспечения растений, в силу тех же обстоятельств, которые разбирались выше при культивировании растений на керамзите.

Анализ результатов, полученных при исследовании субстратов в третьем опыте, показал, что наибольшее содержание водорастворимых органических

соединений содержится в органической КС - 90мг/100г субстрата, а наименьшее количество наблюдается в дерново-подзолистой почве – 46мг/ 100г (рис.4.1.4.).

Рисунок 4.1.4. Содержание водорастворимого органического вещества в различных, по составу КС



Сопоставление данных по содержанию водорастворимого органического вещества в КС с данными по продуктивности растений показало, что в этом опыте количество водорастворимых соединений в самих КС не является показателем, характеризующим продуктивность растений. Так в КС рассматриваемых нами выше, содержащих максимальное и минимальное количество водорастворимых соединений, наблюдается одинаковая более низкая продуктивность по сравнению с другими субстратами. (Табл.4.1.2).

Таблица 4.1.2. Зависимость продуктивности растений томата сорта Ультрабек от состава корнеобитаемой среды (Опыт 3).

Вариант опыта, состав КС	Продуктивность г/ растение	Продуктивность в пересчете кг/ м ²	сухая масса плодов %	Содержание нитратов Мг/кг
3.1 агрофит	1314 ± 75	26,3	6,4±0,3	89±7
3.2 полиэтилен +органическая компонента	1226 ± 67	24,5	5,9±0,2	77±6
3.3 органическая компонента	947 ± 70	18,9	5,7±0,4	81±8
3.4 керамзит +органическая компонента	1089 ± 85	21,8	6,6±0,3	99±8
3.5 дерново-подзолистая почва	672 ± 75	13,4	5,8±0,3	82±7

Проведенные исследования показали, что при конструировании КС наиболее существенным критерием в создании благоприятной среды для выращивания растений является поступление из КС в питательный раствор водорастворимых органических соединений. Определение количества водорастворимого органического вещества в самих КС малоинформативно, поскольку в течение вегетации растений происходит интенсивная трансформация КС под действием корней растений с сопутствующей микрофлорой. Именно этот фактор, то есть жизнедеятельность растений, во многом в дальнейшем определяет поступление органических соединений в питательный раствор [60].

Анализ качества плодов томата (Табл.4.1.3.), выращенных на различных по составу КС, показал, что наименьшее содержание в них сухого вещества наблюдается в растениях, культивированных на органической КС и дерново-подзолистой почве (5,7-5,8%)

Таблица 4.13. Влияние состава КС на биохимический состав плодов томата сорта Ультрабек, (Опыт 3)

Состав КС	Сухое вещество %	Нитраты Мг/кг	Аскорбиновая кислота Мг/100г	Титруемые кислоты (по яблочной кислоте),%	Сумма сахаров %	К*
Агрофит	6,4±0,3	89,5±7,9	17,8±1,3	0,73±0,04	2,5±0,2	3,0
Полиэтилен + органика	6,0±0,2	77,9±6,8	15,3±1,2	0,67±0,03	1,6±0,1	2,5
Органическая КС	5,7±0,3	81,0±±7,5	15,8±1,2	0,78±0,04	2,22±0,2	2,9
Керамзит + органика	6,7±0,4	99,6±9,0	16,3±1,3	0,86±0,05	3,03±0,2	3,5
Дерново – подзолистая почва	5,8±0,3	82,7±8,1	21,9±1,6	0,84±0,05	1,85±0,1	2,2

К - сахарокислотный коэффициент

Наибольший процент сухого вещества отмечается в плодах томата, полученных при выращивании на агрофите и керамзито-органической КС (6,4-6,7%). Содержание нитратного азота по вариантам опыта отличается незначительно и составляет от 77,9 до 99,6 мг/кг., что значительно ниже ПДК для защищенного грунта, составляющего 300 мг/кг. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах томата колеблется довольно сильно (от 15,3 до 21,9 мг/100г). Максимальное количество аскорбиновой кислоты (витамина С) отмечается в плодах томата, выращенных на дерново-подзолистой почве -21,9мг/100г, а минимальное в плодах томата, культивированных на полиэтилен-органической КС – 15,3мг/100г.

Важным показателем при оценке качества плодов является содержание суммы сахаров, а также сахарокислотный коэффициент (отношение количества сахара к количеству кислот) определяющий их вкус. Самое высокое значение сахарокислотного коэффициента наблюдается у растений, выращенных на керамзит-органической КС- 3,5, затем на агрофите - 3,0. Минимальное значение

данного показателя отмечается в плодах растений томата, культивируемых на дерново-подзолистой почве и полиэтилен-органической КС, и составляет 2,2 и 2,5 соответственно.

Таким образом, впервые, при использовании метода малообъемной агрегатопоники выращивания растений на различных корнеобитаемых средах в условиях РАЭС, исследована динамика поступления водорастворимого органического вещества в питательный раствор в течение всей вегетации растений.

Проведенные исследования показали эффективность введения в КС на органической основе (торф, опилки) тонкодисперсной минеральной компоненты - кембрийской глины или органоминеральной добавки в виде смеси кембрийской глины с сапропелем, для формирования органно-минеральных комплексов, препятствующих интенсивному поступлению в питательный раствор органического вещества. Нанесение на поверхность частиц минеральных или синтетических КС дозированной тонкодисперсной органно-минеральной компоненты (сапропель-кембрийская глина), обволакивающей всю поверхность частицы, в определенной степени дает возможность создания аналога почвенной частицы, на поверхности которой осуществляется интенсивный масса- и энерго-обмен между ней и корневой системой растений с сопутствующей биотой, что в основном и определяет рост и развитие культивируемых растений.

Показано, что наибольшая продуктивность растений томата сорта «Ультрабек», при выращивании малообъемным способом, была получена при использовании корнеобитаемых сред: «Агрофит», смеси керамзита, обработанного глиной и сапропелем, с «Агрофитом» в соотношении 1: 1, опилок или гранулированного полиэтилена, обработанных смесью глины с сапропелем. Все эти КС могут быть рекомендованы для выращивания растений в условиях интенсивной светокультуры.

4.2 Влияние состава питательного раствора на продуктивность растений томата при малообъемном способе выращивания.

В научной и производственной литературе описаны десятки составов питательных растворов, разработанных для использования в системах культивирования самых различных видов растений. Рецептуру растворов составляли с учетом удовлетворения индивидуальных потребностей выращиваемых растений в тех или иных химических элементах, обеспечения долговременности использования растворов, устойчивости во времени их рН и т.д. Разработаны общие требования к составу питательных растворов для выращивания растений на искусственных субстратах:

- питательные растворы должны включать в свой состав все необходимые для роста растений питательные вещества в виде раствора макро и микроэлементов;

- соотношение питательных веществ для составления питательного раствора подбирают по скорости поглощения их из раствора в разные периоды вегетации растения ;

- концентрация раствора должна быть достаточно высокой и в тоже время нетоксичной для растений;

- в питательных растворах не должно быть резкой разницы в поглощении катионов и анионов, в противном случае может наблюдаться значительное подкисление или подщелачивание раствора.

Наиболее известными являются растворы предложенные Кнопом, Хогландом и Арноном, Жерике, Чесноковым, Алиевым, питательный раствор, применяемый в Калифорнийском университете, раствор экспериментальной станции в Нью-Джерси. Сбалансированный состав минерального питания растений на протяжении всего периода вегетации растений томата является одним из самых эффективных факторов обеспечения их высокой продуктивности.

В работах Чеснокова и Базыриной [150] показано, что при постоянном поддержании стабильной концентрации и соотношения компонентов ПР, для круглогодичного выращивания растений томата можно эффективно использовать один и тот же раствор в течение года, не меняя его состава в зависимости от этапа

развития растения. В то же время современные голландские тепличные технологии культивирования томата предусматривают применение дифференцированных по фазам развития растений: стартового, стандартного и генеративного [132].

Поскольку голландские тепличные питательные растворы разрабатывали с целью удовлетворения изменяющихся в течение вегетации потребностей растений томата в элементах питания, для технологий интенсивной светокультуры представляет интерес изучение влияния на продуктивность томата ПР, изменяющихся по фазам их развития.

В Агрофизическом НИИ выполнен большой объем исследований, направленных на изучение зависимости роста, развития и продуктивности томата от состава и способа подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду. Показано, что, несмотря на эффективность использования раствора Кнопа для культивирования томата в условиях РАЭС, возникла необходимость индивидуального подбора состава питательного раствора при выборе способа его подачи в КС [7, 51].

Для применения в интенсивных технологиях выращивания растений томата с использованием метода малообъемной агрегатопоники и капиллярном способе подачи ПР по плоскому фитилю [65,108] нами были разработаны три вида питательных растворов, предназначенных для использования в различные фазы вегетации растений томата:

- модифицированный раствор Кнопа, по количественным характеристикам близкий к раствору Кнопа, но отличающийся от оригинала большим содержанием калия и фосфора. Увеличение содержания этих элементов в модифицированном растворе Кнопа обусловлено возрастанием потребности в фосфоре и калии у растений томата в период налива плодов и плодоношения и способствует лучшему росту корневой системы растений, повышению продуктивности и улучшению качества продукции. В частности, оптимизация фосфорного питания благоприятно влияет на накопление белкового азота в плодах растений и снижает уровень нитратных соединений [3]:

- раствор № 1, предназначенный для питания растений томата до периода массового цветения и начала завязывания плодов содержит, по сравнению с раствором Кнопа, большее количество всех питательных элементов. В этот период у томата наблюдается усиление ростовых процессов, начинается формирование плодов на нижних кистях и одновременное нарастание вегетативных органов и в связи с этим растения томата более активно потребляют питательные элементы;

- раствор № 2 также содержит по сравнению с раствором Кнопа больше питательных элементов, а по отношению к вегетативному раствору содержит большее количество калия, который необходим для налива плодов, увеличения содержания органических кислот в плодах, улучшения вкуса, а также способствует равномерному окрашиванию плодов.

Изучение влияния разработанных нами питательных растворов на рост и продуктивность растений томата в условиях РАЭС и сравнение их эффективности с растворами Кнопа различной концентрации и тепличными голландскими питательными растворами- стартовым и стандартным [157]. проводили при использовании в качестве объекта исследования растения томата сорта Ультрабек. Томаты сорта Ультрабек выращивали малообъемным способом в вегетационной светоустановке [62,107], средняя облученность растений в опытах составляла $\sim 50 \text{ Вт/ м}^2$. ФАР, продолжительность светового периода 16 час/сутки. Поддерживали температуру воздуха днем $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ночью. Относительная влажность воздуха составляла - 50-60 %. Исследуемые питательные растворы в КС подавались капиллярным способом по плоскому фитилю [65.] В каждом варианте выращивали по 11 растений томата.

В опытах испытывали следующие растворы для интенсивной светокультуры:

- в качестве контроля использовали раствор Кнопа;
- разработанный модифицированный раствор Кнопа;
- разработанный питательный раствор №1;
- разработанный питательный раствор №2;
- тепличные голландские питательные растворы, стартовый и стандартный

Состав и соотношение элементов питания в питательных растворах, для выращивания растений томата в условиях интенсивной светокультуры представлены таблицами 4.2.1 и 4.2.2.

Таблица 4.2.1. Состав питательных растворов.

Вариант опыта	Концентрация питательных элементов, мг/л					
	N- N O3	N- NH4	P	K	Ca	Mg
Раствор Кнопа	154	-	56	167	170	24
Раствор Кнопа двойной концентрации	308	-	112	334	340	48
Раствор Кнопа половинной концентрации	77	-	28	84	85	12
Модифицированный раствор Кнопа	155	-	115	330	158	24
Голландский стартовый раствор	231	19,6	62	288	208	65,7
Голландский стандартный раствор	193	14	46,5	292	212	65
Раствор № 1	228	4	60	279	224	67
Раствор № 2	219	3	60	366	209	67

Таблица 4.2.2 Соотношение химических элементов в питательном растворе.

Питательные растворы	Соотношения элементов в питательном растворе			
	K: N	K : Ca	Ca: Mg	N: P
Раствор Кнопа	1,1	1,0	7,1	2,8
Модифицированный раствор Кнопа	2,1	2,6	5,3	1,3
Стартовый голландский раствор	1,1	1,4	3,2	4,0
Стандартный голландский раствор	1,4	1,4	3,3	4,4
раствор №1	1,2	1,4	3,3	3,8
Раствор №2	1,7	1,8	3,2	3,7

В схему опытов входили следующие варианты:

- вариант 1. В течение всей вегетации растения томата выращивали на растворе Кнопа;

- вариант 2. До цветения растения томата выращивали на растворе Кнопа. В период завязывания и налива плодов применяли модифицированный раствор Кнопа;

- вариант 3. Растения томата до цветения выращивали на растворе Кнопа двойной концентрации, в период завязывания плодов использовали раствор Кнопа половинной концентрации, во время налива плодов переходили на раствор Кнопа;

- вариант 4. Растения томата до фазы налива плодов выращивали с использованием раствора Кнопа двойной концентрации, затем, в фазу налива плодов питание растений переводили на раствор Кнопа;

- вариант 5. Растения выращивали в течение всей вегетации с использованием голландского стандартного раствора;

- вариант 6. Растения томата до цветения выращивали с использованием стартового голландского раствора, а затем переходили на стандартный голландский раствор;

- вариант 7. Растения томата выращивали на разработанных нами питательных растворах, состав которых меняли по фазам вегетации растений. Раствор № 1 использовали до массового цветения растений и начала завязывания плодов и раствор №2 - в период плодоношения.

Анализ результатов проведенных опытов выявил зависимость продуктивности растений томата от количественного состава питательных элементов в исследуемых растворах. Продуктивность растений томата сорта Ультрабек, культивируемых на различных питательных растворах приведена в таблице 4.2.3

Растения томата, выращенные с использованием модифицированного раствора Кнопа (вар.2) на 6 %. были более продуктивными, чем томаты, выращенные на растворе Кнопа (вар.1) Растворы Кнопа различной концентрации, используемые по фазам вегетации растений (вар. 4, 5) проявили

себя как наименее продуктивные. Продуктивность у выращиваемых растений снижалась в варианте 3 на 12%, а варианте 4 на 8%.

Таблица 4.2.3 Продуктивность растений томата Ультрабек выращенных на различных по количественному составу питательных растворах

Вариант	Количество плодов, шт	Средняя масса плода, г	Масса Плодов, г/ растение	% к контролю	масса плодов с м ² , г
Вариант 1	118	42,0 ± 5,6	451 ± 45	100 ± 10	9027
Вариант 2	116	44,7 ± 6,1	477 ± 57	106 ± 12	9540
Вариант 3	120	36,5 ± 4,9	398 ± 59	88 ± 15	7972
Вариант 4	105	43,3 ± 5,8	413 ± 66	92 ± 16	8280
Вариант 5	126	42,1 ± 4,7	482 ± 58	107 ± 12	9646
Вариант 6	121	44,5 ± 5,3	489 ± 88	108 ± 18	9792
Вариант 7	117	50,9 ± 5,5	560 ± 62*	124 ± 11*	11200*

* Значения достоверно отличаются от контрольного при 5% уровне значимости

Применение голландских растворов (вар.5 и 6) увеличивало продуктивность растений томата по сравнению с раствором Кнопа - на 7% и 8% соответственно. Использование разработанных нами питательных растворов № 1 и № 2 (вар.7) на 25 % повышает продуктивность растений томата по сравнению с продуктивностью растений, выращенных на растворе Кнопа.

Наибольшее соотношение значений К:N отмечено в модифицированном варианте раствора Кнопа, наименьшее в растворе Кнопа одинарной концентрации и в голландском стартовом растворе. По этому показателю разработанный раствор №2 приближается к модифицированному раствору Кнопа, а стандартный голландский раствор и разработанный раствор №1 занимают промежуточное положение. Считается, что наиболее оптимальным соотношением N : К в период завязывания и налива плодов являются соотношения от 1:2, до 1:1,7 [3,37].

Соотношение калия к кальцию также наименьшее в растворе Кнопа, наибольшее значение этого соотношения отмечено в модифицированном растворе Кнопа и в генеративном питательном растворе, промежуточно-одинаковое в обоих голландских растворах и в вегетативном питательном растворе. Нарушение в балансе калия к кальцию может вызвать вершинную гниль в плодах томата [37]

Соотношение кальция к магнию наибольшее в растворе Кнопа и в модифицированном растворе, во всех других растворах оно одинаково и составляет 3,2. Соотношения Ca: Mg важно для обеспечения хорошего роста корневой системы растений, а также при наливе плодов. Рекомендуется поддерживать данное соотношение в питательном растворе в течение вегетации на уровне 1: 4 [3,37].

Самое большое соотношение азота к фосфору, равное 4 отмечено в голландских растворах, наименьшее в модернизированном растворе Кнопа. Промежуточное место по данному показателю занимают раствор Кнопа и растворы №1 и №2 . Соотношение азота к фосфору также может варьировать по фазам вегетации растений. В первой половине вегетации растений до цветения и начала завязывания плодов данное соотношение может быть около 2, в период налива плодов достигать 3.

Таким образом, проведенные исследования эффективности выращивания растений томата в условиях малообъемной технологии интенсивной светокультуры, с использованием фитильного способа подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду, показали, что наиболее перспективными для данной системы выращивания растений являются разработанные нами дифференцированные по фазам развития растений питательные растворы №1 и №2.

4.3 Некорневые обработки как технологический прием управления продукционным процессом растений томата.

Для получения стабильно высоких урожаев качественной растительной продукции, при условии снижения затрат на ее производство, актуальной

является разработка экологически безопасных агротехнологий оперативного воздействия на растения, основанных на применении биологически активных препаратов с адаптогенными и фитопротекторными свойствами. На основе комплекса знаний о защитной роли соединений кремния и хелатирующей функции водорастворимого органического вещества в ГНУ Агрофизический институт Россельхозакадемии под руководством Е.И.Ермакова были разработаны органоминеральные кремнийсодержащие микроудобрения (КХМ) [99,101,102,104,106.]. Впоследствии были созданы композиции биологически активных кремнийсодержащих хелатных микроудобрений нового поколения КХМ – Г с фитопротекторными и адаптогенными свойствами [82,98,107,118].

Способ получения кремнийсодержащих хелатных микроудобрений предусматривает получение в качестве комплексообразователя природные гумусовые кислоты из верхового торфа, путем обработки его 0,1н раствором едкого калия в соотношении 1:2 по объему и настаивании раствора в течении 1-2 суток. Затем следует промывка водой с последующей обработкой остатка торфа 1Н серной кислотой в пропорции 1:2 при температуре 100° в течение 5 часов и фильтрацией раствора. Полученный раствор разбавляют до достижения содержания водорастворимого углерода в пределах 15- 35 мг в литре. На его основе приготавливаются микроэлементы в соотношениях представленных в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1. Количественное соотношение соединений микроэлементов в растворе гумусовых кислот

Название вещества	Количество, г / л раствора
Железо сернокислое	2
Борная кислота	0,5
Марганец сернокислый	0,3
Медь сернокислая	0,3
Кобальт хлористый	0,3
Цинк сернокислый	0,3
Молибденовокислый аммоний	0,3

Рабочий раствор предлагаемого хелатного кремнийсодержащего микроудобрения готовят непосредственно перед некорневой обработкой

растений. Для этого на 1 литр рабочего раствора необходимо добавить 20мл приготовленных описанных выше хелатов микроэлементов с добавлением 20мл раствора метасиликата натрия или калия (10г на 1литр). рН полученного раствора должен быть в пределах 5,5-6,0 [104,105].

Именно в таком композиционном составе разработанные препараты обладают наибольшей эффективностью при воздействии на растения. Использование в качестве хелатирующего агента гумусовых кислот, полученных из верхового торфа низкой степени разложения, обеспечивает повышение фитопротекторной и ростстимулирующей функции КХМ.[99,101,102,105] .

Показано, что некорневая обработка КХМ овощных культур, выращиваемых в регулируемых условиях, обеспечивает повышение устойчивости растений к дефициту света и пониженной температуре и снижает (примерно на 10%) значения их оптимума для растений, тем самым позволяя достигать большей продуктивности при снижении энергозатрат. [99]. Отмеченные положительные эффекты КХМ при низкой освещенности растений предположительно можно объяснить улучшением структуры светопоглощающего комплекса пластид и интенсификацией фотохимических процессов фотосинтеза, как это было показано ранее при воздействии на растения другими кремнийсодержащими соединениями [158,169].

Предварительные эксперименты, проведенные в условиях защищенного грунта на растениях салата и на рассаде огурца, показали, что обработка посевов КХМ-Г наиболее эффективна в периоды интенсивного роста и максимальной потребности растений в элементах питания, продуктивность которых существенно возрастала.

Целью исследования было изучить некорневые воздействия препаратов КХМ-Г на рост, развитие и продуктивность растений томата при выращивании их малообъемным способом в РАЭС.

Первоначально влияние некорневых обработок препаратами КХМ-Г на рост и развитие растений томата нами были проведено на рассаде. При этом необходимо

было оценить влияние количества некорневых обработок препаратами КХМ-Г на качество рассады томата сорта Ультрабек.

Растения томата, после пикировки высаживали в установку в фазе 2-х листьев и далее выращивали в течение 14 дней. В опыте было 5 вариантов. Контрольный вариант и варианты по количеству проведенных обработок – одна, две, три и четыре. Первая некорневая обработка была произведена в фазу 4-х листьев, далее обработки проводили через день.

Проведенные исследования выявили тенденцию накопления сырой биомассы растений томата при применении препарата КХМ-Г, особенно при трехкратной некорневой обработке (Таблица 4.3.2). В данном же варианте растения были более высокими по сравнению с контрольным вариантом. Наибольшее накопление сухой биомассы наметилось в варианте с четырехкратной обработкой растений и соответственно большим процентом сухого вещества. Таким образом, проведенные исследования показали, что для получения качественной рассады томата достаточно трехкратной обработки растений препаратами КХМ-Г.

Таблица 4.3.2. Влияние кратности некорневых обработок на качество рассады растений томата сорта Ультрабек

Количество обработок в неделю	высота	Сырая масса	Сухая масса	%,сухого вещества
контроль обработка водой	33,2±0,9	66,7±2,8	5,6±0,4	8,3±0,3
1 одна обработка КХМ-Г	34,8±0,8	73,3±3,2	6,0±0,3	8,2±0,4
2 две обработки КХМ-Г	33,5±0,7	77,4 ± 3,5	6,3±0,5	8,1±0,6
3 три обработки КХМ-Г	36,8±0,7	79,2±3,1	6,6±0,4	8,3±0,5
4 четыре обработки КХМ-Г	33,5±0,9	78,5±4,4	7,0±0,5	9,0±0,3

На втором этапе исследований оценивалось влияние некорневых обработок препаратами КХМ –Г на продуктивность растений томата сорта Ультрабек, которые выращивали малообъемным методом культивирования растений. В качестве корнеобитаемой среды использовали субстрат «Агрофит». Применяли питательный раствор Кнопа, с коррекцией его по фазам вегетации растений.

Некорневую обработку растений КХМ проводили три раза за вегетацию. В фазу 3-5 листьев, фазу бутонизации и в фазу завязывания плодов. Контролем служили растения обработанные водой.

Результаты проведенного опыта показали положительное действие некорневых обработок на продуктивность растений томата (таблица 4.4.3), однако, свидетельствуют лишь о положительной тенденции.

Таблица 4.3.3. Продуктивность растений томата сорта Ультрабек при трехкратной некорневой обработке КХМ-Г

вариант	Средняя масса Плодов г/растение	Средняя масса одного плода	Масса плодов кг/м ²	%
Вода	568±103	71,0±7,5	11,360	100
КХМ-Г	668±83	83,5±7,9	13,354	118

В следующем опыте было увеличено количество обработок до пяти раз. Обработки проводили в фазу 5-и листьев, через 5-7 дней после предыдущей обработки, в фазу бутонизации, в фазу массового цветения и в фазу массового завязывания плодов. Полученные результаты свидетельствуют о достоверном увеличении продуктивности растений томата при пятикратной некорневой обработке растений КХМ-Г в течение вегетации (таблица 4.3. 4).

При этом, проведенный анализ качества плодов показал, что плоды, полученные у растений, обработанных КХМ-Г лучше по сравнению с плодами растений без обработки (таблица 4.3.4).

Таблица 4.3.4. Продуктивность растений томата сорта Ультрабек при пятикратной некорневой обработке КХМ-Г

вариант	Средняя масса Плодов г/растение	Средняя масса одного плода	Масса плодов кг/м ²	%
Вода	568±103	71,0±7,5	11,360	100
КХМ-Г	668±83	83,5±7,9	13,354	118

Таблица 4.3.5. Показатели качества плодов томата в регулируемых условиях при некорневой обработке раствором КХМ-Г2

Некорневая обработка	Содержание нитратов, мг/кг сырой массы	Сухое вещество, %	Углеводы (сумма), % в сыром веществе	Углеводы редуцирующие, % в сыром веществе	Аскорбиновая кислота, мг/100 г сырого вещества
водой	21,3±1,4	4,2±0,3	3,02±0,3	2,65±0,2	19,0±1,5
КХМ-Г	15,5±1,2	4,7±0,4	3,27±0,3	2,90±0,2	27,0±1,4

Так плоды растений обработанных КХМ-Г содержат меньше нитратов, но больше витамина С и углеводов.

Таким образом, Проведенные исследования влияния некорневой обработки разработанных кремнийсодержащих хелатных микроудобрений на рост, развитие и продуктивность растений томата показали ее положительное воздействие, которое проявляется в увеличении их продуктивности и улучшении качества получаемой растительной продукции.

4.4. Матричные технологии

Экономически оправданное внесезонное выращивание томата в СКС в первую очередь предусматривает разработку эффективной энергосберегающей световой среды, наиболее затратной составляющей технологии светокультуры.

В Агрофизическом НИИ разработан модельный ряд вегетационных светоустановок (ВСУ), предназначенных для выращивания детерминантных сортов томата, зеленных культур, лекарственных и других растений, высота которых не превышает 1 м. ВСУ состоят из светового блока, стеллажа для размещения емкостей с субстратом, системы автоматического полива и блока управления, задающего автоматический режим работы источников света и поливных устройств. Световой блок, расположенный над стеллажом светоустановки, можно перемещать по вертикали от начального уровня подвеса (0,5 м от вершин растений) до высоты 1,5 м. Установленные мощности разных модификаций ВСУ 0,5 - 1,6 кВт/м².

Практика эксплуатации ВСУ, разработанных в АФИ, показала их высокую эффективность: продуктивность выращиваемых растений приближается к потенциально возможной. Однако культивирование различных овощных культур (например, зеленых или высокорослых сортов и гибридов томата и огурца) требует использования специализированных ВСУ, что создает определенные эксплуатационные трудности – значительно различается технологическое оборудование СКС. Недостатком технологий выращивания томата в ВСУ АФИ также является использование достаточно больших объемов почвогрунта: от 1,0 до 5,0 литра на растение. Простая интенсификация производства, с использованием уже применяемых в Агрофизическом НИИ технологий светокультуры, ведет к необходимости утилизации большего количества отходов производства, что практически неприемлемо при организации СКС в районах с экстремальными природными условиями, особенно в районах вечной мерзлоты.

Необходима разработка агротехнологий светокультуры, предусматривающих эффективное решение проблемы утилизации отходов производства, бытовых и производственных стоков, минимизирующих объемы используемого субстрата, исключающих трудоемкие агротехнические работы и возможность массовой гибели растений в результате болезней, не требующих высококвалифицированного персонала для обслуживания вегетационного оборудования.

Технические системы культивирования растений в СКС должны обеспечивать оптимальный режим облучения растений с использованием источников света с удовлетворяющим потребности растений спектральным составом излучения, достаточной интенсивности, с определенной направленностью световых потоков и эффективные системы минерального питания растений.

С целью выполнения требований минимизации отрицательного экологического воздействия на окружающую среду предприятий СКС, расположенных в районах с экстремальными природными условиями, нами разработана "матричная" технология светокультуры (МТС), основным производственным элементом которой является унифицированная матричная

светоустановка МВСУ, возможность использования которой для выращивания широкого набора растений обеспечивается ее конструктивными и светотехническими характеристиками. Габаритные размеры стеллажа базовой модели МВСУ выбраны исходя из условий удобства обслуживания выращиваемых растений 1,0 м x 3,0м, полезная площадь стеллажа - 3 м²

4.4.1. Организация световой среды произрастания растений в матричных технологиях

Рациональная организация световой среды произрастания растений определяет энергозатраты на производство единицы продукции и, следовательно, экономическую эффективность всего производства. Технически фотобиологически эффективная световая среда в матричных технологиях реализована выбором моделей и типов современного серийного светотехнического оборудования с точки зрения его энергосберегающих характеристик и экспериментальным подбором оптимальных условий его эксплуатации – расположения и ориентации источников света относительно поля стеллажа МВСУ, уровня облученности по полю стеллажа. Световые блоки МВСУ оснащены серийными натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) – ДнаТ и ДнаЗ/ Reflux мощностью 600Вт. Использование в световом блоке ламп этой мощности позволяет за счет благоприятного для выращивания овощных культур спектрального состава излучения (основная доля излучения находится в желто-оранжевой области), высокого энергетического КПД (~ 25 %) и наивысшей по сравнению с другими источниками света светоотдачей (до 140 лм/Вт), организовать более высокие уровни облученности растений при меньших энергетических затратах на производство выращиваемой растительной продукции.

Таблица 4.4.1.1 Спектральный состав излучения ДнаТ (ДнаЗ/ Reflux) 600

Тип источника	Распределение энергии %				
	400-500нм	500-600нм	600-700нм	700-920нм	920-1100нм
ДнаТ (ДнаЗ/ Reflux) 600	6	31	26	13	24

Анализ результатов выполненных нами исследований указывает, что эффективность применения в световом блоке МВСУ ламп ДнаТ- 600 в значительной степени зависит от КПД отражателя - чем выше коэффициент отражения материала, из которого изготовлен отражатель, тем выше КПД светильника и уровень облученности растений, выращиваемых в ВСУ и, в конечном итоге, эффективность ведения светокультуры.

В таблицах 4.4.1.2 и 4.4.1.3 приведены результаты оценки светотехнических характеристик наиболее распространенных серийных моделей светильников, укомплектованных лампами ДнаТ 600 и зависимости облученности от ориентации источника света относительно продольной оси стеллажа.

Таблица 4.4.1.2. Сравнительные светотехнические характеристики серийных светильников для ламп ДнаТ.

Тип светильника	Облученность по центру светильника	
	Н – 60см	Н – 90см
FLORA 600 –S, ДнаТ-600	57,8 Вт/м ² , 100%	33,8 Вт/м ² , 100%
FLORA 600 –S, ДнаЗ-600	74,5 Вт/м ² , 130%	47,8 Вт/м ² , 140%
РСП-46, ДнаТ-600	52,5 Вт/м ² , 91%	30,0 Вт/м ² , 89%
ЖСП 70-600, ДнаТ- 600	83,8 Вт/м ² , 145%	49,2 Вт/м ² , 145%

Н – расстояние между поверхностью стеллажа и колбой лампы.

Таблица 4.4.1.3. Сравнительные значения облученности ($\text{Вт}/\text{м}^2$) по полю стеллажа при различной ориентации светильника ЖСП 70-600 относительно продольной оси поддона. Размеры поддона с почвогрунтом-1,0 м x1,5м. Высота подвеса светильника – 0,75 м., точки измерений равномерно распределены по площади стеллажа.

Продольная ориентация источника света, $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР							Поперечная ориентация источника света, $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР						
14	26	48	62	49	32	21	21	30	48	60	63	47	33
20	30	46	68	58	42	25	30	41	64	75	68	48	33
15	27	49	60	51	36	18	15	44	52	51	53	40	30
Средняя облученность: 37,9 $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР							Средняя облученность 45,4 $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР						

Применение серийных светильников типа ЖСП-70- 600 ,(Таблицы 4.41.2 и 4.4.1.3) оснащенных лампами ДНаТ-600 (или ДНаЗ -600) и их поперечное по отношению стеллажа МВСУ размещение, позволяет организовать в МВСУ эффективную световую среду выращивания растений за счет более высоких средних уровней облученности растений и снизить энергозатраты на производство выращиваемой растительной продукции.

Стандартный световой блок МВСУ состоит из 2 ламп ДНаТ-600, размещенных в отражателях ЖСП 70-600-001 или 2 ламп ДНаТ-600 Reflux, размещенных в отражателе ЖСП 70-600-005, установленная мощность 0,4 $\text{кВт}/\text{м}^2$.

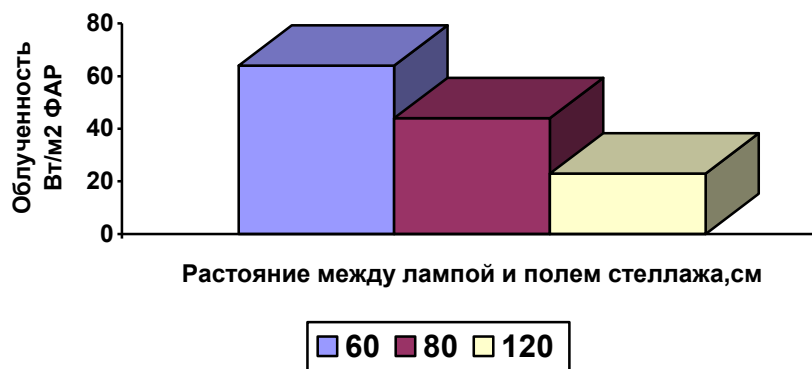
Отражатели ЖСП -70 – 600 размещены перпендикулярно оси стеллажа расстояние между центрами светильников и краем стеллажа - 0,75 м.

В варианте «горизонтальной МВСУ» световой блок МВСУ можно перемещать по вертикали от безопасного уровня 0,6 м до высоты в 1,5 м. При облученности на уровне вершин растений $\sim 80 \text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР и достаточной равномерности распределения светового потока по полезной площади стеллажа МВСУ

обеспечивают комфортные световые условия для выращивания практически любых растений, высота которых не превышает 1 м.

В условиях светокультуры значение имеет не только количество приходящей радиации, но и её количественное и качественное распределение внутри ценоза. Если при расположении источников света над растениями верхние ярусы листьев облучаются светом с преобладанием прямых потоков исходного спектрального состава, то в области листовых ярусов, расположенных внутри ценоза, значительную долю радиации составляет сильно ослабленный рассеянный свет с измененным спектральным составом. Результатом является неоднородность внутреннего радиационного поля при значительном снижении общего уровня облученности растений, приводящая к голоданию нижних ярусов, вплоть до полного отмирания и, как следствие, потери значительной части урожая (Рисунок 4.4.1.1).

Рисунок 4.4.1.1 Зависимость средних значений облученности ($\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР) по полю стеллажа при использовании источников света ДНаТ 600, установленная мощность $0,6 \text{ кВт}/\text{м}^2$, от расстояния (Н см.) между колбой лампы и полем стеллажа.



В матричных технологиях условия повышения продуктивности выращиваемых растений за счет более полного поглощения излучения листьями, реализовано посредством изменения структуры попадающего на растения светового потока путем расположения источников света между рядами растений, позволяющее при одинаковых мощностях лучистых потоков достичь более объемного и

лучшего распределения светового потока по ассимилирующим поверхностям ценоза. С этой целью МВСУ для выращивания длинностебельных растений (лиан томата, огурца), комплектуются специальной конструкцией, позволяющей увеличить регулируемую высоту подъема источников света до 3,5 метров.

Рациональная схема размещения МВСУ в ПСО позволяет эффективно использовать аддитивные свойства рассеянных световых потоков и повысить средний уровень облученности растений в ПСО. Средние по площади стеллажей уровни облученности в светоустановках с длиной стеллажа 1,5 м и в сдвоенном варианте 1,5+1,5м (~ 3,0 м), оборудованных одним или двумя светильниками ЖСП 70-600 (высота подвеса источника света в обоих случаях 1,5 м), составили 23,5 Вт/м² ФАР и ~26,2 Вт/м² ФАР соответственно.

4.4.2 Оптимизация условий жизнеобеспечения корневых систем растений в матричных технологиях.

На основании анализа эффективности современных интенсивных систем выращивания растений и тенденции их развития были сформулированы и реализованы основные требования к организации корнеобитаемой среды и системы питания растений в технологиях МТС:

- система питания растений должна обеспечивать эффективный водно-воздушный режим корневых систем растений в КС и длительное поддержание комфортных условий в КС в экстремальных ситуациях;
- для обеспечения экологической чистоты производства в системе выращивания растений должна применяться нереверсивная система подачи питательного раствора;
- растения должны размещаться в малообъемных контейнерах. Необходимо использовать субстраты, утилизация которых в наименьшей степени загрязняет окружающую среду;
- технологии культивирования растений должны обеспечивать минимизацию эксплуатационных расходов, исключать трудоемкие агротехнические работы;

Практически все перечисленные требования к организации корнеобитаемой среды и системы питания растений реализованы в «почвенном» блоке МТС. В базовом варианте светоустановки на стеллаже МВСУ размещаются 3 поддона (д,ш,в-1,0м x1,0м x 0,1м), покрытых листом светонепроницаемого пластика, исключающего развитие водорослей в корнеобитаемой зоне. В листе пластика вырезаны отверстия (матрица), в которые устанавливаются стандартные контейнеры с КС, количество и размеры которых определяются видом выращиваемых растений (для томата и огурца 8 – 20 контейнеров на кв.метр, для салатных культур до 100)

Расстояние листа матрицы (Н) относительно дна поддона зависит от вида выращиваемых растений, для томата и огурца Н~10см, для зеленных культур ~ 5см и фиксируется П – образной подложкой, изготовленной из любого инертного к действию питательного раствора материала (пластик, поролон и т.д.) и обеспечивающей свободное распространение корневой системы по объему поддона. Фрагменты матрицы представлены на рисунке 4.4.2.1.

Рисунок 4.4.2.1.Фрагменты матрицы с контейнерами для выращивания зеленных культур (а), рассады растений томата (б), растений томата (в), перца (г), салата (д)



а)



б)



в)



г)



д)

В МВСУ предусмотрена капиллярная система подачи питательного раствора к корням растений с помощью плоского фитиля из двойной синтетической ткани, размещенного на П – образной подложке с контейнерами для растений, концы фитиля постоянно находятся в питательном растворе. В таблице 4.4.2.1 приведена временная зависимость высоты подъема питательного раствора по плоскому фитилю из различных синтетических материалов. Результаты опыта показывают, что все испытанные материалы обеспечивают подъем питательного раствора на уровень, превышающий высоту П – образной подложки, стабильно снабжая часть корневой системы овощных культур, располагающейся в контейнере, достаточным количеством воды и питательных веществ. Из возможности многократного использования, материалом для фитиля в системе питания растений в МВСУ выбран двойной слой капроновой ткани.

Таблица 4.4.2.1 Высота подъема питательного раствора по плоскому фитилю из синтетической ткани.

Состав фитиля	Время подъема, час		
	1	3	4
	Высота подъема ПР (см) по плоскому фитилю		
1 слой вискозы	8	10	10
Спанбонд 4 слоя	9	10	10
Pet towel абсорбирующее полотенце	10	11	11
1 слой капрона	5	9	12
2 слоя капрона	8	10	13
1 виск. +1капрон	10	11	12

Для подачи питательного раствора в матричной технологии используется автоматическая нереверсивная система, регулирующая периодичность и нормы подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду.

Датчики уровня постоянно поддерживают высоту питательного раствора в поддоне 1,5 – 2.0 см. В системе питания создается оптимальный водно – воздушный режим для части корней, находящейся в питательном растворе и части корней находящихся во влажной воздушной среде (высота П– образной подложки 5–10 см). Количество питательного раствора в поддоне обеспечивает в течение длительного времени (сутки и более) устойчивость МВСУ к аварийным перерывам в подаче питательного раствора, вызванными отключением электричества, поломкой насоса т.д. Норма расхода субстрата в матричных технологиях составляет для зеленных культур ~ 0.15 л., для томата и огурца ~ 0.3 л.

В таблицах 4.4.2.2 и 4.4.2.3. приведены результаты исследования зависимости продуктивности и биометрических показателей растений томата сорта Ультрабек от площади КС в контейнере, контактирующей с плоским фитилем из двойной капроновой ткани.

Таблица 4.4.2.2. Зависимость продуктивности растений томата от площади КС, контактирующей с плоским фитилем из двойной капроновой ткани. КС – коковит.

Вариант	продуктивность кг/м ²	Средний вес плода г
Стандартные 250мл контейнеры	14, 6	46,7
Стандартные 250мл контейнеры с удаленным дном	15,7	45,5

Таблица 4.4.2.3 Биометрические показатели 30 дневных растений томата сорта «Ультрабек» выращенных с использованием КС агрофита и коковита. Контейнеры объемом в 250мл стандартные и с удаленным дном.

Тип	Высота см	Сыр. масса листьев, г	Сух. масса листьев, г	% сух. в-ва	Сыр. масса стебл. г	Сух. масса стебл. г	% сух. в-ва
Коковит, стандартный контейнер	37±3.0	127±12	11.9	9.4	44±1.2	4.1	9.4
Коковит, контейнер без дна	42,8±2.4	155±14	15.1	9.7	49.5±2.5	4.8	9.9
Агрофит стандартный контейнер	41.5±0.2	125±5	11.6	9.3	40±5	3.6	9.1
Агрофит, контейнер без дна	42.8±2.7	145±15	14.5	10.0	49.5±6	4.9	10.0

По результатам опытов в матричных технологиях для выращивания растений используются малообъемные контейнера (0,15 -0.25 мл) без дна. В качестве КС

может, практически с равной эффективностью, использоваться Агрофит или коковит. Выбор почвозаменителя может быть обусловлен, в частности, транспортными возможностями предприятий ПСО и вопросами утилизации.

Для питания растений используется раствор Кнопа или стандартные растворы, применяющиеся в защищенном грунте.

Производительность лабораторных образцов МВСУ при использовании матричных технологий приведена в таблице 4.4.2.4. Продолжительность светового периода во всех вариантах -16 часов

Таблица 4.4.2.4. Производительность МВСУ при выращивании томата и зеленных культур

Наименование культуры.	Срок вегетации, сутки	Общая продуктивн. кг./м ²	Средняя продуктивн. кг./растение	Затраты электр. энергии кВт/кг
Томат «Ультрабек»	70	15,8	0,8	44
Салат «Азарт»	30	7,2	0,08	26
Салат «Торнадо»	30	6,8	0,07	28
Петрушка «Итальянский гигант»	45	4,5	-	65
Укроп «Макс»	45	3,5	-	70

Выводы

1. Впервые, при использовании метода малообъемной агрегатопоники выращивания растений на различных корнеобитаемых средах в условиях РАЭС, исследована динамика поступления водорастворимого органического вещества в питательный раствор в течение всей вегетации растений.

2. Проведенные исследования показали эффективность введения в КС на органической основе (торф, опилки) тонкодисперсной минеральной компоненты - кембрийской глины или органоминеральной добавки в виде смеси кембрийской

глины с сапропелем, для формирования органно-минеральных комплексов, препятствующих интенсивному поступлению в питательный раствор органического вещества. Нанесение на поверхность частиц минеральных или синтетических КС дозированной тонкодисперсной органно-минеральной компоненты (сапрпель-кембрийская глина), обволакивающей всю поверхность частицы, в определенной степени дает возможность создания аналога почвенной частицы, на поверхности которой осуществляется интенсивный масса- и энергообмен между ней и корневой системой растений с сопутствующей биотой, что в основном и определяет рост и развитие культивируемых растений.

3. Показано, что наибольшая продуктивность растений томата сорта «Ультрабек», при выращивании малообъемным способом, была получена при использовании корнеобитаемых сред: «Агрофит», смеси керамзита, обработанного глиной и сапропелем, с «Агрофитом» в соотношении 1: 1, опилок или гранулированного полиэтилена, обработанных смесью глины с сапропелем. Все эти КС могут быть рекомендованы для выращивания растений в условиях интенсивной светокультуры.

4. Проведенные исследования эффективности выращивания растений томата в условиях малообъемной технологии интенсивной светокультуры, с использованием фитильного способа подачи питательного раствора в корнеобитаемую среду, показали, что наиболее перспективными для данной системы выращивания растений являются разработанные нами дифференцированные по фазам развития растений питательные растворы №1 и №2.

5. Показано положительное воздействие некорневой обработки разработанными нами кремнийсодержащими хелатными микроудобрения на рост, развитие и продуктивность растений томата, которое проявляется в увеличении их продуктивности и улучшении качества получаемой растительной продукции.

6. С целью выполнения требований минимизации отрицательного экологического воздействия на окружающую среду предприятий СКС, расположенных в районах с экстремальными природными условиями,

разработана "матричная" технология светокультуры (МТС), основным производственным элементом которой является унифицированная матричная светоустановка МВСУ, возможность использования которой для выращивания широкого набора растений обеспечивается ее конструктивными и светотехническими характеристиками. Структура круглогодичного производства овощей с использованием матричных технологий предусматривает размещение автоматизированных вегетационных светоустановок МВСУ в предприятиях внесезонного выращивания овощной продукции СКС. Количество светоустановок, размещаемых в стационарных помещениях определяет суммарную производительность предприятий СКС.

Глава 5. Испытание сортов и гибридов растений томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы

5.1. Общие требования к сортам и гибридам растений томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы.

При выборе сортов и гибридов растений томата для выращивания в условиях РАЭС по технологиям интенсивной светокультуры, необходимо комплексно учитывать многообразие ответных реакций томата на условия окружающей среды – облученность и фотопериод, температуру и влажность окружающей среды, состав почвозаменителя, систему питания растений [4,33,89,161].

Несмотря на свойство растений томата легко приспосабливаться к различным уровням освещенности, существует большое сортовое разнообразие в требованиях томата к освещенности и фотопериоду [21,34,88,91]. При выращивании растений методом малообъемной агрегатопоники, создается довольно плотный фитоценоз. Из-за густой облиственности ухудшаются условия освещенности, особенно листьев нижних ярусов, снижается интенсивность фотосинтеза. Имеются большие сортовые отличия по способности образовывать боковые побеги (пасынки), и интенсивности их роста в зависимости от условий внешней среды [94,131]. Поэтому выбранные для культивирования в условиях РАЭС сорта и гибриды томата в первую очередь должны обладать свойством адаптивности к изменениям в интенсивности освещения внутри ценоза в течение всего вегетационного периода.

Чрезвычайно важен для правильного подбора сортов и гибридов вопрос об оптимальном соотношении температурного и светового фактора в РАЭС. Разный температурный режим в зависимости от времени суток, уровень и интенсивности освещенности не должны оказывать существенного влияния на ростовые процессы и урожайность растений томата [86,114,173].

Необходимо учитывать и режим влажности на разных субстратах и методы выращивания растений томата. Превышение оптимальной влажности воздуха

создает предпосылки для развития болезней, что в условиях замкнутого пространства РАЭС особенно опасно. Выбранные сорта и гибриды томата должны обладать устойчивостью к болезням, специфическим для замкнутых условий СКС [29,145].

Немаловажное значение в выборе сортов и гибридов имеет отзывчивость на лимитирующие факторы минерального питания.

Предпочтительно культивирование в условиях РАЭС раннеспелых и среднеспелых сортов и гибридов томата, сочетающих высокую урожайность и хорошее качество плодов. Плоды выбранных сортов и гибридов томата должны быть среднего размера, обладать хорошей товарностью, выравненностью и высоким содержанием полезных веществ [4,19,75, 114,115,131,173].

Растения томата, предназначенные для культивирования в РАЭС, должны обладать генеративным типом развития, при котором процессы плодоношения доминируют над вегетативным ростом. Этим требованиям соответствуют супердетерминантные и детерминантные сорта и гибриды. Данные биотипы отличаются ажурной архитектоникой растений - меньшим числом листьев до первого соцветия, меньшим их количеством или полным отсутствием между соцветиями, что приводит к повышению скороспелости и изменению динамики отдачи урожая [28].

5.2. Отбор сортов и гибридов томата для культивирования в условиях регулируемой агроэкосистемы.

Отбор сортов и гибридов томата для культивирования в условиях РАЭС проводили в вегетационной светоустановке с горизонтальным расположением источников света - натриевых ламп высокого давления ДНаТ-400, методом малообъемной агрегатопоники при двустороннем регулировании подачи питательного раствора [65].

Для исследования влияния уровня облученности на продуктивность томата, растения выращивали при двух уровнях облученности - 120 Вт/м² ФАР и 60 Вт/м² ФАР.

В качестве корнеобитаемой среды (КС) использовали «Агрофит», полив проводили раствором Кнопа дифференцированно по фазам вегетации растений – до цветения растений раствором Кнопа двойной концентрации, затем до конца вегетации использовали раствор Кнопа нормальной концентрации. Температуру и влажность воздуха поддерживали $\sim 22\text{ C}^0$ днем и $\sim 18\text{ C}^0$ в ночной период. На один 1 м^2 полезной площади высаживали 20 растений томата. Вегетационный период растений томата в вегетационных установках составлял 75- 80 суток.

Для отбора сортов и гибридов томата, перспективных для культивирования в условиях РАЭС, нами были испытаны более 60 образцов отечественной и зарубежной селекции. Семена получены в отделе овощных культур ВИР и агрофирме «Ильинична».

Результаты испытаний образцов сортов и гибридов растений томата, выращенных в условиях облученности 120 Вт/м^2 ФАР, отобранных по показателям продуктивности, приведены в таблицах 5.1 и 5.2 соответственно. Сравнение показателей продуктивности исследованных образцов показало, что наибольшая урожайность при выбранных условиях выращивания получена при культивировании сортов томата Ультрабек, Ликирич, Зорень, Хейнц-1706 и Атма. Сорта Ультрабек, Хейнц 1706, Атма имели наибольшую массу плодов с 1 растения: 1477г, 1326г, 1273г – соответственно. Высота растений томата варьировала от 32см (сорт Старшот) до 64-65см (сорта Атма и Суперстоксфол). (Таблица 5.2.1)

Результаты опыта указывают на значительную зависимость продуктивности растений томата, выбранных для культивирования в условиях РАЭС, от архитектуры культивируемых растений. Растения томата сорта Ультрабек отличались ажурной конфигурацией куста и небольшими размерами листовых пластинок, что обеспечивало хорошую освещенность всего растения и наивысшую их продуктивность $\sim 29560\text{ г/м}^2$. Продуктивность более высокорослого сорта Атма, при выращивании в интенсивной светокультуре составила 25500 г/м^2 , вследствие снижения уровня облученности листьев нижнего яруса

Таблица 5.2.1. Продуктивность сортов томата, выращенных в условиях РАЭС при облученности 120вт/ м²

Сорт	Высота растений см	Масса плода г	Масса кг/раст	Масса плодов кг/м ²	Зеленая масса кг/м ²	Выход товарной продукции %
Ликурич	59	41,6	1,17	23,320	9,12	71,8
Оттава –60	52	54,2	1,08	21,620	9,46	69,6
Ультрабек	52	86,9	1,48	29,560	9,08	76,5
Чароит	50	51,7	1,09	21,720	6,47	77,0
Зорень	47	61,7	1,17	23,460	7,24	76,4
Старшот	32	55,2	1,00	19,900	8,8	69,3
Дельта-10	57	64,9	1,10	22,080	9,64	76,0
Хейнц-1706	50	34,9	1,33	26,560	10,72	71,2
Атма	65	43,9	1,28	25,500	8,10	75,8
Супер-стоксфал	64	56,0	1,01	20,160	9,52	67,9
НСР ₀₅	5,2	7,6	0,18	2,3	1,22	6,3

Анализ соотношения урожайности и зеленой массы исследованных сортов показал высокий выход товарной продукции с квадратного метра полезной площади, что может указывать на высокую эффективность ассимиляционной работы листьев при выбранных условиях выращивания. [15,19,21].

Продуктивность гибридов томата по сравнению с урожайностью исследованных сортов была значительно ниже (Таблица 5.2.2.).

Таблица 5.2.2. Продуктивность гибридов растений томата, выращенных в условиях РАЭС при облученности 120вт/ м² ФАР

Гибрид	высота растений см	Число плодов	Масса плода г	Масса плодов г/раст.	Масса плодов г/м ²	Зеленая масса г/м ²	Выход товарной продукции %
Бумеранг	60	11	71,9	791,4	15828	574	57,9
Оля	61	12	35,6	428,0	8565	415	50,7
Прекрасная леди	62	10	68,3	683,2	13664	487	58,3
Красная стрела	80	9	80,5	724,8	14496	518	58,3
НСР ₀₅	6,3	1,1	8,4	192,3	244	56	5

Наиболее высокую продуктивность с квадратного метра показали гибриды Бумеранг – 15828г и Красная стрела – 14490г. Высота растений гибридов томата в основном превышала этот показатель у выбранных сортов томата, достигая у гибрида Красная стрела высоты 80см. По этому признаку гибриды томата менее пригодны для культивирования в условиях интенсивной светокультуры.

По соотношению урожайности и зеленой массы с квадратного метра у всех отобранных гибридов выход товарной продукции практически равен выходу зеленой массы, что также указывает на высокую интенсивность вегетативного процесса в выбранных условиях выращивания..

На втором этапе работы исследовали степень приспособляемости растений томата к изменению уровня облученности в процессе роста растений в вегетационных светоустановках. Для этого наиболее продуктивные и короткостебельные сорта растений томата, отобранные для выращивания в условиях РАЭС при облученности 120вт/м² ФАР, были выращены в условиях вдвое сниженного уровня облученности - 60 вт/м² ФАР. Результаты исследования приведены в таблице 5.2.3

Таблица 5.2.3. Продуктивность сортов томата, выращенных в условиях РАЭС при облученности 60 Вт/ м²

сорт	Высота растений см	Число плодов	Средняя масса плода г	Масса плодов г / растение	Масса плодов г/м ²
Ликурич	61	18	26,8	482	9648
Оттава – 60	65	9	39,2	352	7056
Ультрабек	65	11	59,8	658	13100
Зорень	80	8	53,9	431	8624
Хейнц-1706	86	6	26,3	158	3156
НСР ₀₅	6,2	2,4	9,2	124	223

Анализ представленных в таблице 5.3 результатов показал необходимость при отборе сортов и гибридов растений томата для выращивания в условиях РАЭС, выяснения реакции растений на изменения световых условий выращивания внутри ценоза в процессе вегетации. Так, высота растений сорта Хейнц -1706 в условиях уровня облученности 60 Вт/м² ФАР превысила 80см при самой низкой продуктивности – 3156 г/м², в то время как при облученности 120Вт/м² ФАР тот же сорт показал продуктивность 26520 г/м² при высоте растений ~ 50см. (Таблица5. 1). Наибольшая продуктивность при выращивании томата в условиях пониженной облученности получена при культивировании сортов томата Ультрабек -13100г/ м² и Ликурич -9580г/ м². Высота этих растений не превысила 65 см.

5.3. Направление селекции для культивирования растений томата в условиях регулируемой агроэкологической системы

Учитывая биологические особенности томата и условия выращивания в РАЭС, направление селекции необходимо ориентировать на создание супердетерминантных гибридов генеративного типа развития, при котором процессы плодоношения преобладают над вегетативным ростом. Плоды томата должны быть среднего размера, обладать хорошей товарностью и высоким содержанием полезных веществ [4,19]. Создаваемые гибриды должны быть приспособлены к пониженной освещенности, температурным перепадам, повышенной влажности, устойчивостью к вредителям и болезням, иметь малое количество листьев с узкой листовой пластинкой. Технологии культивирования создаваемых гибридов томатов в условиях РАЭС должны быть максимально энерго и ресурсосберегающими.

Решение задач селекции томата для условий РАЭС возможно исходя из теории эколого-генетической организации сложных полигенных систем, определяющих успех селекционной работы на продуктивность и устойчивость: адаптивности, аттракции (перекачки пластических веществ из ботвы к плодам), микрораспределения пластики внутри плода, отзывчивости на лимитирующие факторы минерального питания, толерантности к загущению, вариабельности периодов онтогенеза, иммунитета к вредителям и болезням. Следует создавать сорта и гибриды, ориентированные на специфические условия выращивания и обладающие необходимыми хозяйственно-ценными признаками [44].

Выводы В результате проведенных исследований были отобраны сорта томата перспективные для выращивания в технологиях интенсивной светокультуры в условиях РАЭС при разных уровнях освещенности.

Сорт Ультрабек показал наибольшую продуктивность как в условиях высокого, так и пониженного уровня облученности растений. Томат сорта Ультрабек обладает хорошей завязываемостью плодов и отличными вкусовыми качествами. Архитектоника томата сорта Ультрабек позволяет обеспечить достаточно высокий уровень облученности по всем ярусам растения.

При высоком уровне освещенности, компактными и наиболее продуктивными были сорта Ликурич, Ультрабек, Зорень, Оттава-60, Хейнц-1706. При низком уровне освещенности - Ультрабек и Ликурич.

Исследованные гибриды растений томата показали себя менее перспективными для выращивания растений томата методом малообъемной агрегатопоники в условиях РАЭС

Заключение.

В результате выполненных исследований разработана концепция круглогодичного производства разнообразной растительной продукции в специальных культивационных сооружениях (СКС), расположенных в районах с экстремальными природными условиями. В качестве СКС могут быть использованы как специально построенные сооружения, так и любые другие помещения высотой не менее 3 метров, включая жилые, в которых возможно круглосуточное поддержание температуры $\sim +15\text{C}^0$.

Выращивание в СКС разнообразных овощных культур производится в разработанных нами энергоэкономичных вегетационных светоустановках с использованием интенсивных технологий светокультуры в наименьшей степени загрязняющих окружающую среду.

Применяемые в СКС интенсивные технологии круглогодичного производства овощной продукции предусматривают возможность использования в системах жизнеобеспечения растений как широко применяемых в овощеводстве защищенного грунта почвозаменителей и питательных растворов, так и разработанных нами для повышения продуктивности выращиваемых растений корнеобитаемых сред различного состава, питательных растворов и способов внекорневого воздействия на растения.

Универсальность разработанного вегетационного оборудования позволяет использовать СКС для внесезонного выращивания высококачественных овощей в других районах РФ и производства дефицитного сырья для фармацевтической или парфюмерной промышленности в остальное время года. Производительность СКС определяется количеством размещенных в СКС вегетационных светоустановок.

Перспективность круглогодичного производства свежих овощей, в частности томата, по разработанным нами технологиям светокультуры в СКС, связана с высокими пищевыми достоинствами производимой продукции, свободной от загрязнения тяжелыми металлами и другими вредными для здоровья веществами.

Выводы

1. Разработана концепция организации специальных светонепроницаемых культивационных сооружений (СКС) для круглогодичного производства томата в районах с экстремальными природными условиями. Для культивирования в СКС растений томата разработаны технологии светокультуры в наименьшей степени загрязняющие окружающую среду. Структура производства и эксплуатационные характеристики технологического оборудования обеспечивают возможность выращивания в СКС практически любых видов овощных, лекарственных и других с/х растений.

2. Впервые, при выращивании растений в условиях РАЭС на различных корнеобитаемых средах, исследована динамика поступления водорастворимого органического вещества в питательный раствор в течение всей вегетации растений. При создании КС на органической основе (торф, опилки) показана эффективность введения тонкодисперсной минеральной компоненты - кембрийской глины, или смеси кембрийской глины с сапропелем, для формирования органно-минеральных комплексов, препятствующих чрезмерному поступлению органического вещества в питательный раствор.

3. Установлено, что нанесение на поверхность минеральной КС - керамзита или синтетической КС - гранулированного полиэтилена, дозированной тонкодисперсной органно-минеральной компоненты (сапропель-кембрийская глина), создает наиболее благоприятную среду для развития и функционирования корневой системы, выращиваемых растений с сопутствующей микрофлорой, что приводит к увеличению продуктивности растений томата до 40%.

4. Показано, что наибольшая продуктивность растений томата сорта «Ультрабек», при выращивании малообъемным способом, была получена при использовании корнеобитаемых сред: «Агрофит», смеси керамзита, обработанного глиной и сапропелем, с «Агрофитом» в соотношении 1: 1, опилок или гранулированного полиэтилена, обработанных смесью глины с

сапропелем. Все эти КС могут быть рекомендованы для выращивания растений в условиях интенсивной светокультуры.

5. Установлено, что использование разработанных нами питательных растворов №1 и №2, дифференцированных по фазам развития растений, повышает продуктивность томата сорта «Ультрабек», по сравнению с продуктивностью растений, выращенных на растворе Кнопа на 25 %.

6. Показано положительное воздействие некорневых обработок разработанными нами кремнийсодержащими хелатными микроудобрениями КХМ-Г на рост, развитие, продуктивность растений томата и качество получаемой продукции.

7. Разработаны основные положения матричной технологии светокультуры растений, предназначенной для выращивания томата и других овощных культур в специальных культивационных сооружениях, включающей методы формирования энергоэкономичной световой среды и эффективную систему жизнеобеспечения корневых систем культивируемых растений.

8. Произведена оценка перспективных для культивирования в условиях РАЭС детерминантных сортов и гибридов растений томата. Установлено, что при высоком уровне освещенности, компактными и наиболее продуктивными были сорта Ликурич, Ультрабек, Зорень, Оттава-60, Хейнц-1706, при низком уровне освещенности - Ультрабек и Ликурич. Исследованные гибриды растений томата показали себя менее перспективными для их выращивания методом малообъемной агрегатопоники в условиях РАЭС

Публикации диссертанта в реферируемых журналах:

1. Ермаков Е.И., Удалова О.Р. Влияние изменения свойств органоминеральной корнеобитаемой среды на продуктивность растений томата в регулируемой агроэкосистеме //Гавриш.- 1999.-№ 5.-С. 13-17.
2. Удалова О.Р. Агрофит и коковит- субстраты для томата //Картофель и овощи.- №7.-2002.-,С.24
3. Г.Г. Панова, В.А. Драгавцев, Ю.И. Желтов, В.Л. Судаков, И.Н. Черноусов, Е.В. Канаш, Л.М. Аникина, О.Р. Удалова. Стратегия наукоемкого

ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции// Аграрная Россия- 2009- №51.С.7-10.

4.Судаков В.Л., Аникина Л. М., Удалова О.Р., Шибанов Д.В. Оптимизация световой среды при выращивании растений в условиях светокультуры // Гавриш.- 2012.- № 3. – С. 14-17.

5.Удалова О.Р., Судаков В.Л., Аникина Л.М., Виличко А.К. Технология светокультуры в экстремальных условиях. //Картофель и овощи. -2013.- №8.- С. 12-15.

Список литературы

1. Александрова Л.С. Рост и поглотительная деятельность томатных растений у условиях искусственного освещения // Сб. трудов по агрономической физике. Вып 15, Л., 1968. – С 136 – 142.
2. Александрова Л.С. Рост и развитие репродуктивных органов у растений томатов в зависимости от свето-температурного комплекса при искусственном освещении. // Сб. трудов по агрономической физике. Вып 21, Л.,1970. – С 5 – 15.
3. Алиев Э.А. Выращивание овощей в теплицах без почвы. – Киев: Урожай, 1975. – 231 с.
4. Алпатьев А.В. Помидоры. – М.: Колос, 1981. –304 с.
5. Аникина Л.М. Динамика органического вещества при компостировании минеральной корнеобитаемой среды.// Научн.-техн. бюл. по агрономической физике, 1987.– № 69 – С.41-45.
6. Аникина Л.М. Органическое вещество корнеобитаемых сред при интенсивном выращивании растений в регулируемых условиях / Тезисы докладов Всерос. Конференции «Вопросы агрофизики при воспроизводстве плодородия почв».-СПб, 1994. – С. 12 – 16 .
7. Аникина Л.М., Ермаков Е.И., Медведева И.В. Закономерности взаимодействия корнеобитаемых сред с питательными растворами. // Научн.-техн. бюл. по агрономической физике , 1988. – №7. –С. – 45 – 48.
8. Аникина Л.М., Ермаков Е.И., Синявина Н.Г. Продуктивность растений томата и пшеницы при длительном выращивании в регулируемых условиях. // Тезисы докладов. Всероссийской конференция «Управление продукционным процессом растений в регулируемых условиях» С-Пб., 1996. –С 21–22.
9. Аникина Л.М., Панова Г.Г., Степанова О.А, Судаков В.Л., Мухоморов В.К., Регенерация корнеобитаемых сред при длительном выращивании растений в защищенном грунте. // Экологические проблемы промышленных городов. Сборник науч. Трудов, часть 1. Саратов, .2009. – С.91–92.

- 10.Аникина Л.М., Удалова О.Р. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. 2009. –С.7–10.
- 11.Аникина Л.М., Удалова О.Р. Судаков, В.Л., Шибанов Д.В. Эзерина. О.В. Влияние лабильной составляющей органического вещества на продуктивность растений в регулируемых условиях. // Труды Всероссийской конф. с межд. участием «Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления». – СПб., 2009. С. –61– 62.
- 12.Аникина Л.М., Удалова О.Р, Эзерина О.В. Исследование влияния водорастворимого органического вещества на эффективность использования в регулируемых условиях почвоподобных сред нового типа. // Овощеводство, 2008. –Т.15. –С. 112-118.
- 13.Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1962 – 491с.
- 14.Аутко А.А. В мире овощей. Минск: УП. Технопринт, 2004. – 568 с.
- 15.Аутко А.А., Гануш ГИ, Долбик Н.Н. Овощеводство защищенного грунта. Минск, 2006. – 261 с.
- 16.Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // Современные технологии автоматизации. 2010. № 2., С.76–82.
- 17.Бентли М Промышленная гидропоника. М.: Колос,1959. – 456 с.
- 18.Беликов Н.С., Авакумова Л.Г. Опыт использования аэропонии для изучения временного хода фотосинтеза. Изв. ТСХА. 1966. –Вып.1 – С. 32–41.
- 19.Брежнев Д.Д. Томаты. Л.: Колос, 1964. – 174 с.
- 20.Брызгалов В.А., Советкина В.Е., Савинов Н.И. Овощеводство защитного грунта / Под ред. В.А, Брызгалова./ Л: Колос, 1983. – 352 с.

- 21.Брянцева З.Н., Альтергот В.Ф. Физиология тепличных томатов. Новосибирск: Наука, 1989. С. – 48 – 49.
- 22.Ван дер Вин Р., Мейер Г. Свет и рост растений. М.: Колос, 1970 –. 183 с.
- 23.Вассерман А.Л., Квашнин Г.Н., Малышев В.В. Об оценке эффективности действия источников излучения на растения // Светотехника, 1986. – № 7. – С. 14- 16.
- 24.Вассерман А.Л., Малышев В.В. Об оценке эффективности облучения растений // Светотехника, 1985 – № 8. – С. 16-17.
- 25.Василевская И.В., Кочер С.Т. Использование торфяных месторождений Московской области для тепличного овощеводства. // Научные труды центральной торфоболотной опытной станции. – Вып.2. – М., 1973. – С. 37-41.
- 26.Ващенко С.Ф., Чекупова З.И., Савинова П.И. и др. Овощеводство защищенного грунта. М.: Колос, 1984. –272 с.
- 27.Выращивание овощей по системе малообъемной технологии / www.teplisa.narod.ru/ Гидропоника / www.ftcntr.ru/Bulitn/2001-01/content.htm
- 28.Гавриш С.Ф. Морфологические и хозяйственные особенности гибридов томата, различающихся по степени проявления детерминантности. // Гавриш, 1996. – №2. – С.3-8.
- 29.Гавриш С.Ф. Томаты. М.: Россельхозиздат, 1987. – 72 с.
- 30.Гавриш С.Ф., Король В.Г., Шульгин И.А. Светотребовательность новых гибридов томата. // Гавриш, 2003. – № 3. – С. 13-19.
- 31.Галицкий, В.И.. Егоров, Ю.В. Кириченко А.В, А.П. Шваров, А.В. Бобков А.В. Агрофизические свойства кокосового субстрата, применяемого в тепличном овощеводстве.// Гавриш, 2011. – № 5. – С. 22 – 26.
- 32.Гаранько И.Б., Ярцева З.Д. Выращивание рассады овощных культур. Бюлл. ВИР, 1975, вып. 49, – С 29–31.
- 33.Гаранько И.Б. Перспективные сорта и гибриды огурцов для выращивания в зимних и пленочных теплицах. Бюл. ВИР, 1975, Вып.49 С. 29–31.

- 34.Гаранько И.Б. Выращивание томатов в защищенном грунте нечерноземной зоны. .Л.: Колос. 1985. – 106 с.
- 35.Гейсслер Т. Производство овощей под стеклом и пленкой (пер. с нем.) М.: Колос, 1979. – 312 с.
- 36.Глунцов И.М. Применение удобрений в тепличном хозяйстве. М. Москов. Рабочий, 1987 –. 143 с.
- 37.Глунцов П..М., Вятлева Т.Н., Штефан В.К., Ноллендорф В.Ф. Рекомендации по диагностике минерального питания огурца и томата в защищенном грунте. М.: Колос, 1982. – 32с.
- 38.Гордеев А.В. Аграрный сектор оживает. // Экономика сельского хозяйства. 2001–. № 11. – С. 10 – 12.
- 39.Гордеев А.В. О состоянии и перспективах развития овощеводства защищенного грунта. // Мир теплиц. 2005. – №6. – С. 3–5.
- 40.Гродзинский А.М. Поглонительная деятельность корней при разных уровнях аэрации. // Агрехимия. 1965 –. .N 10. – С104–107.
- 41.Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // Современные технологии автоматизации, 2008. № 1.
- 42.Давтян Г.С. Культура растений без почвы и перспективы развития гидропоники. // Агрехимия. 1964. – С 31–35.
- 43.Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- 44.Драгавцев В.А. Алгоритмы эколого-генетической инвентаризации генофонда и методы конструирования сортов сельскохозяйственных растений по урожайности, устойчивости и качеству./ Спб.: ВИР, 1993, 70 с.
- 45.Дроздов В.Н., Ключкова М.П., Судаков ВЛ. Новая осветительная установка для выращивания растений. // Сб. трудов по агрономической физике, 1981. Вып .С 126 –129.
- 46.Дубинина ИМ. Метаболизм корней при различном уровне аэрации. // Физиология растений. 1961, т.9, № 4. – С 395 – 406.

- 47.Ермаков Е.И. Выращивание растений на керамзите. // Вестник с/х науки. 1964. – N8. – С 219-231.
- 48.Ермаков Е.И, Штрейс Р.И. Выращивание растений без почвы. Л. Лениздат 1968 –108 с.
- 49.Ермаков Е.И., Медведева И.В. Комплексное водорастворимое микроудобрение // А.С. № 74641. БИ № 21. 1980.
- 50.Ермаков Е.И. Теория и методы интенсивного культивирования растений в регулируемых условиях // Сб. научных трудов « Проблемы культивирования растений в регулируемых условиях » Л. 1984. С.–3 – 24.
- 51.Ермаков Е.И., Медведева И.В. Оптимизация условий жизнеобеспечения корней при исследовании водно- минерального обмена и потенциальной продуктивности растений томата. // Сб. научных трудов по агрономической физике. Л., 1985. – С 155– 186.
- 52.Ермаков Е.И. Регулируемая агроэкосистема в биологических и сельскохозяйственных исследованиях. Сб. научных трудов. «Продукционный процесс растений в регулируемых условиях» С Пб.: Гидрометеиздат,.1993. – С. 17 – 21.
- 53.Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Орлова Н.Е. Накопление и трансформация органического вещества в корнеобитаемых средах при длительном выращивании растений в регулируемых условиях. // Вестник РАСХН..1996, –.№1.С.45–48.
- 54.Ермаков Е.И., Удалова О.Р., Желтов Ю.И., Аникина Л.М., Панова Г.Г. Ресурсосберегающая система культивирования растений в регулируемых условиях - панопоника: преимущества и перспективы. // Труды Всероссийской конференции с международным участием (1-3 июля 2009 года), С- Пб., 2009. – С.75 – 77.
- 55.Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Желтов Ю.И. Регулирующие воздействие глины на органическое вещество корнеобитаемых сред и продуктивность растений. // Агротехнический вестник. 2000.– №5. – С. 363 – 3688.

- 56.Ермаков Е.И. Методология панопоники как основы защищенного грунта ноосферного уровня. // Аграрная наука. .2001. – .№ 2. – С. 46-49.
- 57.Ермаков Е.И. Регулируемая агроэкосистема в агрофизике и растениеводстве //Сб. «Агрофизика от А.Ф. Иоффе до наших дней». 2002. С.122 – 140 .
- 58.Ермаков Е.И., .Аникина Л.М., .Мухоморов, В.К. Содержание нитратов в продукции зерновых и овощных культур в зависимости от органического вещества в корнеобитаемых средах. // Докл. ВАСХНИЛ. – 1990. – №11 – С. 14 –17 .
- 59.Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Формирование органических соединений и их роль в трансформации минеральных корнеобитаемых сред в регулируемой агроэкосистеме. // Доклады РАСХН, 2007. – №6. – С. 30-32.
- 60.Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Зуев В.С. Формирование органических соединений и их трансформирующее воздействие на корнеобитаемые среды в регулируемой агроэкосистеме. // Сборник научных трудов. «Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии», 2007, Спб.: АФИ. – С.66–79.
- 61.Ермаков Е.И., Удалова О.Р. Влияние изменения свойств органоминеральной корнеобитаемой среды на продуктивность растений томата в регулируемой агроэкосистеме // Гавриш. – 1999. – № 5. – С. 13 – 17.
- 62.Ермаков Е.И., Избранные труды.СПб Изд-во ПИЯФ РАН,2009,С.192
- 63.Ефимов В.П., Донских И.И., Кузнецова Л.М. Торф в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны. JL: Агропромиздат, 1987. – 130 с.
- 64.Желтов Ю.И. Изменения свойств органических корнеобитаемых сред при интенсивном выращивании растений в регулируемых условиях. // Научн. Техн. Бюлл. по агрономической физике. Л., 1984. – С. 51 – 55.
- 65.Желтов Ю.И. Влияние способов увлажнения корнеобитаемых сред на продуктивность растений томата в регулируемых условиях. // Научн. Техн. Бюлл. по агрономической физике. Л., 1986 – С. 73– 84.

66. Желтов Ю.И. Взаимодействие огурца и томата с корнеобитаемыми средами и вегетационные устройства для их выращивания в защищенном грунте. Автореф. дис.... канд. с/х наук. Л. 1990, 18с.
67. Желтов Ю.И., Судаков В.Л., Алехно А.Ф. Андрееenkova ОЯ., Зуева Л.И. и др. Светокультура растений огурца и томата в тепличном хозяйстве Смоленской АЭС. // Гавриш, 2002. – № 3. С. 4– 5.
68. Журбицкий З.И. Питание растений. М.: Знание, 1961. Журбицкий З.И. Питание растений. М.: Знание, 1961–С.8-19.
69. Журбицкий З.И. Особенности минерального питания овощных культур. // Удобрение овощных культур. М., 1963. – С.7 – 21.
70. Забара Ю.М., Матюк Т.В. Клещук Н.А.. Эффективность использования органоминеральных субстратов при выращивании томатов в малообъемной культуре. // Овощеводство и охрана растений. 2005. – № 2 С 70-71.
71. Ильин О.В., Ильина Т.О. Современное развитие интенсивной светокультуры. // Молодые ученые возрождению сельского хозяйства России в XXI веке. - Брянск, 2000. - С.103– 106.
72. Инишева Л.И., Тухватулин Р.Т., Гостищева М.В. Метод исследования биологической активности гуминовых кислот и сапрпелей. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. – № 6. – 28– 32.
73. Йосси Шахар, Эли Шалмон Структура кокосового субстрата — ключ к его качеству, // Гавриш, 2008. – №3 – С 21– 24.
74. Йал Ронеп. Важные аспекты контроля питания при культивировании растений без почв. // Гавриш, 2006. – №3. – С. 14 – 17.
75. Кирпичев И.В. Регулирование роста и развития рассады помидоров. // Сб. «Овощеводство и бахчеводство». 1988. .Вып. 33, Киев: Урожай, – .65 с.
76. Клочкова М.П. Сравнительная оценка современных источников света для выращивания растений полностью на искусственном освещении. // Сб. трудов по агрономической физике. 1976. – С. 197 – 212.

77. Ключкова 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 агроном. физике. 1987, № 66. – С. 3-7.
78. Ключкова М.П., Плотникова Н.И., Судаков В.Л. Получение высоких урожаев овощей в районах с экстремальными природными условиями. // Картофель и овощи. 1984. – № 4. – С. 21-27.
79. Ключкова М.П., Судаков В.Л. Зависимость собственной температуры растений от интенсивности лучистого потока газоразрядных ламп. // Сб. трудов по агроном. физике. 1981. Л.: АФИ–С 130–136.
80. Козловская И.П. Корнеобитаемая среда в защищенном грунте. 2002, Минск.: УП Технопринт. – 172 с.
81. Кокорева В.А. Состояние и перспективы научного обеспечения овощеводства защищенного грунта. // Гавриш, 2006. – № 1. – С.33 – 35.
82. Кочетов А.А., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Синявина Н.Г., Судаков В.Л. Влияние некорневой обработки водной вытяжки из сухих листьев стевии на накопление надземной массы у салата и огурца // «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» Материалы IX международного симпозиума. Т. II. М.: РУДН, 2011. – С. 85 – 87.
83. Козловцев М.И., Вазюля И.В.. NFT система для выращивания растений без субстрата. // Гавриш, 2005 – № 2, с. 32 – 35.
84. Кравцова Г.М. Использование торфа в качестве субстрата для малообъемного способа выращивания овощей в теплице. // Гавриш, 1998. – № 5. С.7–9.
85. Литвинов С.С. Овощеводство России на рубеже двух веков. // Картофель и овощи. 2000. – №2. – С.24–26.
86. Максимов Н.А. Биологические основы светокультуры растений // Труды института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР. – 1955. – Т.10. –С.7–15.

87. Матвеев В.П., Рубцов М.И. Овощеводство. М.: Агропромиздат, 1985. – С.32–33.
88. Мошков Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении. –Л.: «Колос», 1966,- 288 с.
89. Мошков Б.С. Роль лучистой энергии в выявлении потенциальной продуктивности // Доклад на XXXII ежегодных Тимирязевских чтениях. – М.: Наука, 1973 – 59 с.
90. Мошков Б.С., Дроздов В.Н, Клочкова М.П, Фехретдинов А.Ф., Плотникова Н.И., Судаков В.Л., Промышленное выращивание томатов при искусственном освещении в Заполярье. // Докл. ВАСХНИЛ, 1984. – №4. С. 13-16.
91. Мошков Б.С. Актиноритмизм растений. М.:Агропромиздат, 1987. – 272 с.
92. Мухоморов В.К., Аникина Л.М. Элементный химический состав растений в условиях первичного почвообразования // Доклады Россельхозакадемии, 2009, –№ 6. – С. 15– 20.
93. Мухоморов В.К., Аникина Л.М. Динамика синергизма и антагонизма химических элементов в растениях, культивируемых регулируемой агроэкосистеме. // Труды Всероссийской конференции с международным участием (1-3 июля 2009 года), 2009. – С.85–86.
94. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е. и др. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: АН СССР.1961. – 138 с.
95. Ноллендорф В.Ф. Торф как питательный субстрат для тепличных культур. Рига: Зипатне, 1983. – С. 152-357.
96. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса 1981. М.: МГУ. – 278 с.
97. Осипова Г.С. Овощеводство защищенного грунта.2010,СПб. Проспект Науки,288с.
98. Панова Г.Г. Аникина Л.М. Канаш Е.В. Степанова О.А, Шибанов Д.В Кремнийсодержащие хелатные микроудобрения как адаптагены и

- протекторы растений в условиях защищенного и открытого грунта. // Овощеводство, 2008. Т.15. С.82-88.
99. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Канаш Е.В., Степанова О.А., Шибанов Д.В. Оперативное управление продукционным и адаптационным процессом растений с помощью биологически активных хелатных микроудобрений // Сб. докладов Международной научно-практической конференции «Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия» (Курск, 10-12 сентября 2008 г.). Курск, 2008. – С.323 – 328.
100. Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судаков В.Л., Черноусов И.Н., Канаш Е.В., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. 2009. – № 5 – С.7-10.
101. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Канаш Е.В., Степанова О.А., Ктиторова И.Н., Скобелева О.В., Удалова О.Р., Шибанов Д.В. Кремнийсодержащие органические удобрения в повышении продуктивности растений к действию стрессовых факторов.// Труды Всероссийской конференции с международным участием (1-3 июля 2009 года) – 2009. – С.301-303.
102. Панова Г.Г., Канаш Е.В., Аникина Л.М., Степанова О.А., Удалова О.Р. Внекорневая обработка растений кремнийсодержащими органическими удобрениями как экологически адаптивный прием повышения продуктивности растений и улучшения качества растительной продукции. // Экологические проблемы промышленных городов. Сборник науч. трудов часть 1. – 2009. – Саратов, С. 42-44.
103. Панова Г.Г., Желтов Ю.И., Черноусов И.Н., Судаков В.Л., Карманов И.В., Аникина Л.М., Степанова О.А., Удалова О.Р. Вегетационно-облучательное оборудование и технологии для круглогодичного ресурсосберегающего производства экологически безопасной растительной продукции высокого качества / Безопасность продовольствия России, 27-29 октября 2010 г., Спб, 2010. С. 52 – 53.

104. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Судаков В.Л., Удалова О.Р, Шибанов Д.В.. Некорневая обработка растений кремнийсодержащими хелатными микроудобрениями как ресурсосберегающий прием повышения продуктивности и качества урожая // Управление производственным процессом в агротехнологиях 21 века: реальность и перспективы. / Матер. межд. конф. “Управление производственным процессом в агротехнологиях 21 века: реальность и перспективы” / Белгород, 2010. – С 86 – 90.
105. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Канаш Е.В., Лыкова Н.А., Степанова О.А., Алексеева Д.И., Ктиторова И.Н., Скобелева О.В., Виличко А.К., Оленченко Е.А., Пухова М.А., Шибанов Д.В. Методические рекомендации по применению кремнийсодержащих хелатных микроудобрений для повышения продуктивности и устойчивости растений. СПб., 2010. – 24 с.
106. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Канаш Е.В., Удалова О.Р., Болдина Л.В., Шибанов Д.В. КХМ как ресурсосберегающее средство повышения устойчивости агроэкосистем к действию стрессовых факторов различной природы / Материалы Всеросс. Конф. «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменения климата в земледелии» 13-14 октября 2011 г., СПб: АФИ, 2011. С. 230-232.
107. Панова Г.Г. , Аникина Л.М., Алексеева Д.И., Удалова О.Р, Шибанов Д.В., Лыкова Н.А., Оленченко Е.А., Пухова М.А., Эзерина О.В. Эффективность применения кремнийсодержащего хелатного микроудобрения КХМ-Г2 для некорневой обработке растений в защищенном и открытом грунте.// Овощеводство, 2010. Т.18. – С.393-402.
108. Панова Г.Г, Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судаков В.Л, Черноусов И.Н., Канаш Е.В, Степанова О.А., Аникина Л.М, Удалова О.Р., Шибанов Д.В. Научно-технические основы круглогодичного ресурсосберегающего производства высококачественной растительной продукции // Овощеводство, 2010. Т.18. – С.408 – 414.

109. Панова Г.Г., Желтов Ю.И., Судаков В.Л., Черноусов И.Н., Драгавцев В.А., Канаш Е.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Биотехнологические комплексы по круглогодичному интенсивному ресурсосберегающему производству высококачественной растительной продукции: основы создания и перспективы // Матер. коорд. совещ. АФИ, СПб, 2010. – С. 77 – 85.
110. Панова Г.Г., Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Желтов Ю.И., Черноусов И.Н. Регулируемая агроэкосистема как методическая основа для ускоренного изучения процессов в почвенно– растительном комплексе. // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования. Сборник материалов 3 Всероссийской научно- практической конференции с международным участием Нижний Тагил 01-05 марта 2010– С.107-112.
111. Пильщикова Н.В. Роль света в жизнедеятельности культур защищенного грунта. // Гавриш. 2000. –№4. –С. 11 –13.
112. Пищик В.Н., Сурин В.Г., Воробьев Н.И. Использование измерений коэффициентов отражения света для оценки содержания хлорофилла в листьях салата при воздействии различных препаратов. // Плодоводство и ягодоводство России, 2012, т.33, С. 264–269.
113. Платонов О.С., Половецкая В.В. Особенности химического состава и биологическая активность сапропелей. // Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н.Толстого. Вестник новых медицинских технологий.– 2012 – N 1– С. 105 – 111.
114. Рейнгольд И. Возделывание томатов в ГДР и культура томатов.-М.: Госсельхозиздат, 1958 .
115. Рождественский В.И., Клешнин А.Ф. Управляемое культивирование растений в искусственной среде. М.: Наука 1980 –.195 с.
116. Симитчиев Х., Капазариска В., Мириев К. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике. / Пер. с болгар. Д.О. Лебла, С.И. Шуничева. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136с.

117. Скшидло БЯ. Плотникова Н.И., Судаков В.Л. Выращивание растений в искусственных условиях. Научно-производственный бюллетень Союззолота. Минцветмет. Магадан, 1983. – С 12-15.
118. Степуро М.Ф., Матюк Т.В.. Роль внекорневых подкормок в питании овощных культур. // Овощеводство: 2008. Т.15. – С. 88-96
119. Судаков В.Л. Биотехнологические комплексы круглогодичного производства растительной продукции для пищевой, фармацевтической и парфюмерной промышленности. // Современная агрофизика-высоким технологиям. 2007, Спб. – С. 200-202.
120. Судаков В.Л., Аникина Л. М., Удалова О.Р. Научно-производственный комплекс для разработки экологически чистых технологий круглогодичного промышленного производства высококачественной растительной продукции. //Иновационные процессы в АПК Сборник. статей 2 Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 50-летию образования РУДН. Москва. 24-26 марта 2010, 2010– С.46 -51.
121. Судаков В.Л. Аникина Л.М., Удалова О.Р. Производство экологически чистой растительной продукции в условиях антропогенного воздействия на окружающую среду. // Матер. Межд. конф. «Проблемы экологии»: чтения памяти проф. М.М. Кожова, Иркутск. – 2010. – С. 470.
122. Судаков В.Л, Дроздов В.Н, Плотникова Н.И, Клочкова М.П. Опыт и перспективы развития светокультуры в условиях Крайнего Севера. Научно-технический бюллетень по агрономической физике. 1984. – №56. –С26-31.
123. Судаков В.Л.. Биотехнологические комплексы круглогодичного производства растительной продукции для пищевой, фармацевтической и парфюмерной промышленности «Современная агрофизика – высоким технологиям.Сб. научн. трудов.СПб 2007, С200-202
124. Судаков В.Л, Аникина Л.М., Желтов Ю.И., Удалова О.Р. Оборудование и технологии светокультуры для исследования роста и

- развития растений в условиях антропогенного воздействия на окружающую среду // Матер. докл. III Всерос. конф. «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» / Нижний Тагил, 2010. Ч. II. – С. 226-229.
125. Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Шибанов Д.В. Разработка энергосберегающих агротехнологий промышленной светокультуры растений /// «Управление производственным процессом в агротехнологиях 21 века: реальность и перспективы.» Материалы международной научно - практической конференции посвященной 35-летию образования Белгородского научно - исследовательского института сельского хозяйства. Белгород 15-16 июня. 2010. 2010 – С. 118 – 122.
126. Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Шибанов Д.В., Эзерина О.В. Организация световой среды энергосберегающих агротехнологий промышленной светокультуры растений. // Овощеводство, 2010. – Т. 18. – С. 426 – 434.
127. Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Желтов Ю.И. Инновационные технологии круглогодичного производства экологически чистой овощной продукции в условиях техногенно загрязненной природной среды мегаполисов. // Материалы конф. «Экология мегаполиса: фундаментальные основы и инновационные технологии». Москва, 21-25 ноября, 2011. - С. 136.
128. Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р., Шибанов Д.В. Оптимизация световой среды при выращивании растений в условиях светокультуры // Гавриш., 2012, №3 - С 14-17.
129. Судаков В.Л., Желтов Ю.И., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Оборудование и технологии круглогодичного производства высококачественной экологически чистой растительной продукции. // «Экологические проблемы промышленных городов» . Сборник науч. Трудов, часть 1. , Саратов – 2009 – С.329–331.

130. Судаков В.Л, Удалова О.Р, Аникина Л.М., Виличко А.К., Шибанов Д.В. К вопросу об организации предприятий круглогодичного производства овощей в районах с экстремальными природными условиями. // Агрофизика, 2013 – С.37 – 43.
131. Тараканов Г.И., Мухин В.Д., Шуин К.А. Овощеводство / Под ред. Г.И. Тараканова. – 2-е изд., перераб. и доп. / 2003, – М.: Колос – 472 с.
132. Тепличный практикум. Дайджест журнала «Мир теплиц» Москва, 2000, приложение к журналу «Мир Теплиц» – 110 с.
133. Тихомиров А.А. Спектры действия и спектральная эффективность фотосинтеза растений при тестовом и длительном воздействии света // Физиология и биохимия культурных растений, 1994 – Т.26 – № 4 – С.352-360.
134. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Проблема оптимизации спектральных и энергетических характеристик растениеводческих ламп // Институт физики СО АН СССР, Красноярск, 1983 - 47 с.
135. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука, 1991 – 168с.
136. Тихомиров А.А., Шарупич В.П. Методы оценки фотобиологической эффективности источников облучения для интенсивной светокультуры. Красноярск, 1991. –110 с.
137. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Учеб. Пособие. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2000. – 213 с.
138. Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Мануковский Н.С., Золотухин И.Г. Влияние интенсивности света на продукционные характеристики фитоценозов, культивируемых на почвоподобном субстрате в контролируемых условиях среды. //Агрофизика 20 века, СПб, .2002 – С. 143 – 148.

139. Тон Ван Гастсл. Светокультура томата и огурца. Достижение финских специалистов. // Гавриш. 2005. – №1. – С. 12 – 14.
140. Топачевский И.В. Сапропели пресноводных водоемов Украины. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана, Киев: НАНУ, 2011, – С. 667 – 72.
141. Удалова О.Р. Агрофит и коковит- субстраты для томата // Картофель и овощи, 2002 – №7 – С..24-25.
142. Удалова О.Р., Аникина Л.М., Желтов Ю.И., Эзерина О.В. Основы создания органоминеральных почвогрунтов для круглогодичного получения высококачественной растительной продукции. Всероссийская конференция «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям», 23 - 25 апреля 2008 года. МГУ. С124-125.
143. Удалова О.Р., Судаков В.Л., Аникина Л.М., Виличко А.К. Технология светокультуры в экстремальных условиях. // Картофель и овощи, 2013 – № 8. – С. 12 – 15.
144. Федюнькин Д.В., Головнёва Н.В., Кошелева Л.А., Бахнова К.В. Интенсивная культура растений в искусственных условиях. Минск: Наука и техника, 1988, – 241 с.
145. Флетчер Д.Т. Борьба с болезнями растений в теплицах. / /Пер. с англ. /-М.: Агропромиздат, 1987. – 399с.
146. Чайковская Л.А. Исследование биологической активности корнеобитаемых сред и ее регулирование при длительном интенсивном выращивании растений томата. Автореф. дис.... канд. биол. наук. Л. 1986, 16с
147. Черноусов И.Н. Физическое моделирование световой среды растений в регулируемой агроэкосистеме.Сб. // Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии. С – Пб, 2007 – С 43 – 45.
148. Черноусов И.Н., Панова Г.Г., Желтов Ю.И., Карманов И.В., Судаков В.Л., Александров А.В., Удалова О.Р. Основы создания и перспективы развития биотехнологических комплексов круглогодичного интенсивного

- экологически безопасного производства высококачественной растительной продукции / Материалы 7-й Межд. науч.-практич. конф. 17-19 мая 2011 г., Спб. – Т.3 – 2011 – С. 196 – 202.
149. Черский И.Н., Давыдова Н.Н. Проблемы рационального использования сапропеля. // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2009 – №4 – С. 88-92.
150. Чесноков В. А., Базырина, Е. Н., Бушуева, Т. М. Выращивание растений без почвы Изд. ЛГУ, 1960 – 170 с.
151. Шарупич Т.С., Кабанен Т.В., Шарупич П.В. Энергосберегающие светотехнические установки и оборудование для многоярусных тепличных технологий". /Учебник для ВУЗов / – Орел: Град-РИЦ, 2010 – 308 с.
152. Шарупич С.В., Шарупич П.В., Коломыцев Е.В., Шарупич В.П. Агротехнология. Многоярусная узкостеллажная гидропоника. Том 1. / Учебник для ВУЗов / – Орел: Град-РИЦ, 2010 – 100 с.
153. Шкиперова О.М. Влияние некоторых физических и химических факторов на рост и продуктивность огурца и томата в регулируемых условиях Автореф. дис.... канд. биол. наук. Л. 1993, 16с
154. Штраусберг Д.В., Ракитина З.Г. Об аэрации и газовом режиме корней в аэропонике и газовом режиме корней в аэропонике и водной культуре. // Агрохимия 1970, – С 101 – 109.
155. Э. Шульц, М. Кершенс 1998 Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой. Почвоведение, 1998, № 7, с.890-894
156. Яковлева И.В. О качестве торфа, используемого тепличными комбинатами России. // Гавриш. 2003. – №3 – С.39 – 41.
157. Сайт о гидропонным выращивании растений http://www.ponics.ru/2009/05/rastv_holland
158. Adatia M.H., Besford R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution // Ann. Bot. 1986. – V. 58 –P.
159. Bakker J.C. Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables, Wageningen, 1991, 150 p.

160. Borthwick H.A., Hendricks S.B. Effects of radiation on growth and development.// Handbuch der Pflanzenphysiologie, 16, Springer-Verlag, Heidelberg, 1961.
161. Caivert, A. Studies on post initiation development of flower buds of tomato / A. Caivert // Journ. Hort. Sci.- 1969.- V. 44,1.- P. 117-126.
162. Cooper A.J. Rapid crop turn-round is possible with experimental nutrient film technique.// The Grower 1973. – V. 79 – P. 1048 -1052.
163. Cooper. A.J., Charleworth R.R Nutritional control of nutrient film tomato crop. // Sc. Hortic. 1977. – V – P. 189-195.
164. Cooper A.J..The nutrient film technique. // Horticultural Industry 1984. – V2 –P..26-27
165. Cue A. A lightculture of a tomato. // Grower, 2000. – № 35 – P. 11.
166. Gates D.M. Spectral distribution of solar radiation on the earth's, surface. // Science, 1966. – V. 151. –3710 – P.366 – 367.
167. Dally H. The advantage of growing tomatoes in peat modules. // Grower. 1974. – V82 – N6 – P.239.
168. Ermakov E.I., Mukhomorov V.K., Anikina L.M. Application of the information approach to research of evolution of soil-plant systems // Physical methods in agriculture: International conference. August 27-30. – Prague, 2001. P. 76-77.
169. Epstein E. Silicon // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1999. № 50.-P.561–564.
170. Geissler T. Agrotechnical requirements to soilless culture of greenhouse tomatoes and cucumbers // Symposium with an Intern. Participation on Soilless Culture. in Greenhouse. Plovdiv, 16-20 April 1985, Sofia, 1985. – P.49 – 63.
171. Heif G., Lint P. Prevailing CO₂ concentrations in glasshouses // Acta Hortic, 1984 – № 162 – P.99- 100.
172. Horman B. Can the 200-ton barrier be broken of NFT // Grower. 1985. - 104-12. - P. 25-29.

173. Hurd R.G., Groves S.J. Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes // *J.Hortic. Sci.*, 1985. – V.60, – № 3. – P.359 – 371.
174. Khudheir G., Newton F Nutrient element control in soilless mixes. // *Ornamentals South*, 1980 – V.2 – P.12-15.
175. Koning A.N.M. Effect of temperature on development rate and length increase of tomato, cucumber and sweet pepper // *Acta Horticulturae*, 1995 – V.35 – P. 51-54.
176. Larsen J.S. Growers prowers problems with hydroponics // *J. Olant nutrit.* 1982, – V.5-№ 8 – P. 1077-1081.
177. Mc Mahon M. Managing to manipulate light. / *Fruit & Veg Tech*, 2002, V1.2. – №. 3 – P. 16 – 19.
178. Person S., Cutts C. Measurements of light and light numbers. // *Grower*, 2000, №20, P.11.
179. Wisser P. Alightculture of Finland // *Groenten + Fruit*, 2001, № 11 – P. 12 – 15.
180. Wisser P. It is More light // *Grower*, 2001 –, № 7 – P. 22 – 26.
181. Wisser P. Big light. // *Groenten+Fruit*, 2001 – № 20 – P.6.
182. Wisser P. A light dfines a crop. // *Groenten+Fruit*, 2001 – № 15 – P.7.