ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Князевой Инны Валерьевны на тему «Научное обоснование системы агротехнологий овощных культур в закрытых агроэкосистемах», представленной на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.4 – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры

Актуальность темы исследований. Увеличение численности населения Земли, сокращение пахотных земель требует пересмотра отношения к производству продукции. Одним из направлений является защищенный грунт с регулируемыми условиями выращивания. Защищенный грунт позволяет резко увеличить урожайность, получать продукцию более продолжительный период, значительно улучшить качество. Большая часть России находится в зоне рискованного земледелия, в т.ч. на побережье Северного Ледовитого океана. Тем не менее эти территории успешно осваиваются и заселяются. Строительство и эксплуатация тепличных хозяйств в таких регионах проблематично и не рентабельно, в то же время население должно получать свежие овощи, которые определяют здоровье нации.

Создание замкнутых систем для выращивания овощных культур решает вопрос снабжения населения свежими овощами в месте их проживания. Для этих культивационных сооружений необходимо разрабатывать системы оптимального микроклимата: освещение, питание, режим влажности, воздушно-газовый режим, подбирать из существующего ассортимента и сортимента культуры и сорта, создавать сорта и гибриды адаптированные к условиях выращивания.

Научная новизна и практическая значимость работы. Выделен и оценен исходный селекционный материал для закрытых агроэкосистем, включающий перспективные адаптированные формы томата, мяты, мелиссы, базилика и определены перспективные направления его использования для создания специализированных генотипов.

Установлены закономерности влияния светового излучения на хозяйственные признаки овощных культур, что позволило сформулировать критерии их селекционного отбора для условий закрытых агроэкосистем.

Определена эффективность инокуляции щтаммами *Bacillus* для направленного управления комплексом хозяйственно-ценных признаков

овощных культур на этапе вегетативного роста и развития и адаптации *ex vitro* в условиях закрытых агроэкосистем.

Научно обоснована и разработана технология адаптации *ex vitro,* направленная на повышение жизнеспособности и получения высококачественного посадочного материала *in vitro* -регенерантов томата и мяты в контролируемых условиях климатической камеры.

Разработана комплексная система сортовой технологии для закрытых агроэкосистем, использующая специальные генотипы овощных культур, управление спектром излучения, применения PGPR- бактерий и параметров адаптации *ex vitro* для формирования заданных признаков растенийй в контролируемой среде.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждена экспериментальными исследованиями, выполненными с применением современных приборов и методов анализа, пакетов прикладных программ, разработанными и утвержденными нормативными документами.

Теоретическая и практическая значимость заключается в установлении закономерностей влияния управляемых факторов (спектра освещения и инокуляции PGPR) на формирование хозяйственно-ценных признаков у овощных культур. Полученные данные расширяют представление о взаимосвязи «генотип-среда» и формируют научную базу для целенаправленного управления онтогенезом растений в условиях полного искусстенного освещения.

Выделен исходный материал томата, мяты длиннолистной и мяты колосовидной, мелиссы и базилика. Разработана комплексная система сортовой агротехнологии, интегрирующая световую модуляцию, применение ризобактерий (PGPR), адаптацию *ex vitro* и контроль климатических параметров для направленого управления продуктивностью и качеством растений. Разработан новый способ адаптации микроклонов мяты длиннолистной (заявка на изобретение №2025136249), отмеченный серебрянной медалью на выставке «Золотая осень - 2024». Для его технологической реализации создана, запатентована и внедрена специализированная климатическая камера с управляющим программным обеспечением.

Основное содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав с выводами, заключения, предложения для селекционной практики и сельскохозяйственного производства и списка использованной литературы, включающего 701 источник, в том числе 534 иностранных. Материал диссертации изложен на 348 страницах компьютерного текста, содержит 61 таблицу, 93 рисунка, 14 приложений.

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 18 статьях, в том числе 12 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, индексируемых международной базе данных Web of Science (Q 1), 1 патент на изобретение и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 заявка на патент РФ (находится на рассмотрении) и изданы методические рекомендации.

В первой главе диссертантом рассмотрены перспективные направления развития сельского хозяйства с использованием контролируемых систем. Такой системой является защищенный грунт и как одно из направлений защищенного грунта использование культивационных сооружений на полном искусственном освещении. Наиболее изученной является технология выращивания салатных культур. Рассмотрены результаты селекционной работы по созданию сортов томата для закрытых систем.

В разделе биохимические показатели качества растений в закрытых агроэкосистемах показано значение аминокислот, каротиноидов, полифенолов, аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, минеральных элементов в томате, эфирных масел в мяте.

Большой интерес представляют агротехнические подходы к повышению хозяйственно-ценных признаков растений в закрытых агроэкосистемах, где рассмотрены биохимические показатели томата и направления селекции по улучшению качества плодов.

При рассмотрении биохимических показателей мяты, базилика и мелиссы, в первую очередь рассматривается содержание фотосинтетических пигментов и содержание эфирных масел, отмечены сортовые различия. Детально анализируются материалы по изучению влияния различных участков спектра на рост, развитие растений и качество продукции.

Большой интерес представляет обработка растений или внесение в питательные растворы препаратов на основе бактерий Bacillis. При выращивании растений в защищенном грунте лимитирующим фактором в

большинстве регионов России был недостаток световой энергии. При выращивании растений с досвечиванием отмечается интенсивный рост растений и лимитирующим фактором становится работа корневой системы и устойчивость растений к патогенной микробиоте. Поэтому работа в этом направлении важна не только при выращивании в замкных системах, но для технологии выращивания культур с досвечиванием.

Во второй главе представлены объекты исследований: томат сорта Благодатный, Оранж, Алекс, Восход ВНИИССОКА, Ляна, Вспышка, Наташа, Тимоша, Гном, Челнок и гибриды F_1 VS – 21-23, VS- 22-23, VS – 23-23, VS-24-23, VS – 25-23, VS – 26- 23, базилик сорта Тонус и Арарат, мята длиннолистная сорт Весенниц аромат, мята водная, мята колосистая сорт Колосс Москвы и мелисса лекарственная сорт Лимонный аромат.

Изучали влияние источников и режимов освещения: ДнаТ, СИД, СИД – W, СИД-В, СИД-R, СИД – WR, СИД -RW, СИД – W белый спектр, Верхний белый спектр, Верхний белый +красный, Междурядный белый + красный. Проводились исследования по влиянию *Bacillus ssp.*

Исследования проводили в условиях закрытых агроэкосистем (климатические камеры, фитокомнаты). Подробно рассмотрены условия проведения исследований. Статистический анализ проводили по общепринятой методике.

В третьей главе соискателем приводятся результаты по хозяйственно-биологической характеристике исходных форм томата для селекции в закрытых агроэкосистемах. Приведены критерии отбора исходных форм томата для условий закрытых агроэкосистем. Супердетерминтные и детерминантные сорта и гибриды томата, представленные в Государственном Реестре селекционных достижений, в основном, предназначены для выращивания в открытом грунте или в пленочных теплицах.

Среди гибридов, изучаемых в замкнутых системах выделились гибриды 19-18-19, VS -21-23, VS – 25-23, VS- 26-23 с высотой стебля от 50 до 55см, перспективные по габитусу для выращивания в агроэкосистемах. В результете комплексной оценки по продуктивности и длительности вегетационного периода выделился гибрид VS – 21-23 с продуктивностью 4,04 кг/растение, с массой плода 47-55 г (группа коктейльных томатов, пользующаяся повышенным спросом), самым коротким вегетационным периодом 79-83 дня, с высоким содержанием витамина С и ликопина и незаменимых аминокислот. Гибрид VS -25-23 выделился вкусовыми качествами и продуктивностью 3,68 кг/растение.

Глава 4 посвящена обсуждению результатов исследований по влиянию искуственного освещения на морфологические и биохимические показатели овощных культур в закрытых агроэкосистемах. Полученные результаты позволили выделить перспективные для закрытых агроэкосистем сорта томата по хозяйственно-ценным признакам: по высокой продуктивности: сорта Благодатный и Восход ВНИИССОКА и по толерантности: сорта Алекс и Оранж.

В исследованиях по влиянию дополнительного освещения в ночной период на хозяйственно- ценные признаки томата сортов Ляна и Вспышка доказано повышение продуктивности томата на 21,7 %, улучшилось качество плодов по обоим сортам.

Дополнительное освещение в предуборочный период томата сортов Наташа и Тимоша показали сортовую реакцию: для сорта Наташа рекомендовано использование базового белого освещения, для сорта Тимоша применение комбинации дополнительного красного и синего спектра досвечивания.

При сравнительной оценке источников освещения при выращивании сортов томата Благодатный и Восход ВНИИССОКА наиболее эффективным был гибридный, продуктивность сорта Благодатный 5,87 кг/растение, солнечный свет (контроль) -5,15 кг/растение, по сорту Восход ВНИИССОКА соответсвенно – 4,86 кг/растение и 2,94 кг/растение, значительно улучшился биохимический состав плодов.

Влияние дополнительного освещения в ночной период на хозяйственно-ценные признаки базилика сортов Арарат и Тонус показало сортовую реакцию растений. Синий спектр ночного досвечивания способствовал у сорта Арарат получению сырья с повышенным содержанием кварцетина на 74,7 % и розмариновой кислоты на 145,5 %, снижения уровня нитратов на 40,6 % . У сорта Тонус увеличилась продуктивность на 23,3 %, выход эфирного масла до 0,97 %, значительно увеличилось содержание аминокислот и калия.

Полученные результаты по влиянию дополнительного освещения в предуборочный период на хозяйственно- ценные признаки базилика сортов Арарат и Тонус доказали, что красный спектр способствовал накоплению биомассы, а синий спектр стимулировал накопление эфирных масел, белый – для продукции с высоким уровнем фенольных оксидантов и полноценным аминокислотным профилем.

Одной из ключевых задач при выращивании мелиссы лекарственной является повышение содержания эфирного масла в сырье. При изучении влияния источника и спектра освещения на хозяйственно-ценные признаки растений мелиссы лекарственной сорта Лимонный аромат было доказано, что

синий спектр обеспечивал получение сырья с высоким содержанием незаменимых аминокислот, красно-синий -продукции обогащенной фенольными антиоксидантами, а красный – продукции с пониженным содержанием нитратов.

В пятой главе рассматривается агрономическая биофортификация, в которой определяется влияние биостимуляторов на основе *Bacillus* на хозяйственно-ценные признаки томата сортов Ляна, Вспышка, Алекс и Оранж, Благодатный, Восход ВНИИССОКА, мяты длиннолистной сортообразца Весенний аромат и мелиссы лекарственной сорта Лимонный аромат.

Применение *Bacillus amyloliquefaciens* при выращивании томата сортов Ляна, Вспышка, Алекс и Оранж с использованием ламп ДнаТ и СИД повысило урожайность и качество продукции у сортов Ляна и Вспышка.

Исследования с сортами томата Благодатный и Восход ВНИИССОКА с примененим *Bacillus cereus* показали повышение содержания ликопина на 11,4 % и витамина С на 13,4 % у сорта Восход ВНИИССОКА и снижение содержания нитратов у обоих сортов.

У мяты длиннолистной сортообразца Весенний аромат при инокуляции *Bacillus subtilis* штамм 26 D и 10-4 увеличилась масса растения на 84 %, содержание незаменимых аминокислот на 20-49 %, выход эфирного масла на 68,1%, розмариновой кислоты на на 30%, кверцетина на 29 % при обработке штаммом 10 - 4. При этом было отмечено увеличение содержания кальция, калия, магния, серы и фосфора.

Инокуляция мелиссы лимонной сорт Лимонный аромат *Bacillus subtilis* показала повышение массы растений при штамме 10-4 на 58,2 %, эфирного масла на 120,8 %, макроэлементов: калия на на 19,6 %, кальция на 27,6 %, фосфора на 24,4 %, лизина на 35,2 %, фенилаланина на 27,0 %, при снижении содержания нитратов на 75,4 %.

В шестой главе рассматриваются результаты исследований по биотехнологическим приемам адаптации микрорастений к условиям *ex vitro*. При изучении влияния спектра освещения на микрорастения томата Гном и Челнок выявлена сортовая реакция. Для сорта Гном оптимальным являлся красно-синий спектр, для сорта Челнок – белый спектр.

Микрорастения мяты длиннолистной сортообразца Весенний аромат показали лучший результат по высоте и массе растений при бело-красном спектре, бело-синий спект обеспечивал формирование растений с большим количеством листьев. Установлено, что оптимальная интенсивность освещения составляла 140 мкмоль $м^{-2}с^{-1}$.

При изучении влияния интенсивности освещения на микрорастения мяты водной было доказано, что повышение интенсивности освещения с 100 до 146 мкмоль $м^{-2}с^{-1}$ произошло угнетение роста.

Инокуляция *Bacillus amyloliquefaciens* микрорастений томата сортов Гном и Челнок выявила сортовую реакцию. У сорта Гном увеличение длины побега, количество листьев, увеличение содержания хлорофилла, у сорта Челнок также усиление ростового процесса без увеличения содержания хлорофилла.

На микрорастениях мяты длиннолистной и мяты колосистой инокуляция *Bacillus amyloliquefaciens* показала положительную реакцию на обработку, но более высокую отзывчивость у мяты длиннолистной.

Глава 7 посвящена экономической эффективности комплексных агротехнологий выращивания томата в условиях закрытых агроэкосистем. Проведенная экономическая оценка агротехнологий для закрытых агроэкосистем позволила установить следующую закономернорность: максимальная экономическая эффективность достигалась при совместном применении СИД освещения и бактериальной обработке растений *Bacillus amyloliquefaciens.* Расчеты также показали преимущества сорта томата Ляна.

Замечания и предложения

1.По структуре работы: в главе 2 Условия, объекты и методы исследований принято начинать с объектов исследований (растения и сорта), затем предмет исследований варианты освещения, биопрепататы, затем место, условия, и методы и методики исследований. В главе 3 Хозяйственно-биологическая характеристика исходных форм томата для селекции в закрытых агроэкосистемах приводятся исследования по оценке гибридов томата для условий агроэкосистем, а в главе 4 Влияние искуственного освещения на морфологические и биохимические показатели овощных культур в закрытых агроэкосистемах дается анализ по сортам на их пригодность для выращивания в агроэкосистемах. Логичнее исследования по оценке гибридов томата было поставить после исследования по сортам.

2. В главе 2, раздел 2.5.3 Статистический анализ, отмечено, что достоверность различий оценивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA). Данный метод предусматривает анализ двухфакторного и многофакторного опыта, а также взамосвязь факторов. При дисперсионном анализе при определении наименьшей разницы по вариантам легче ориентироваться в анализе данных и определить как влияние отдельного фактора, так и взаимосвязь факторов. В данных исследованиях приводятся, в основном, двухфакторные и трехфакторные опыты, поэтому следовало бы проанализировать влияние

отдельного фактора, а также их взаимосвязь. Сложно анализировать данные с использованием post hoc теста Дункана без определения значимости буквенннных обозначений.

3. По биохимическому анализу содержание растворимых сухих веществ определяемых по Brix превышает содержание сухих веществ в нескольких таблицах.

4. В разделе Влияние источника освещения на хозяйственно-ценные признаки томата сортов Благодатный и Восход ВНИИССОКА в условиях теплицы сравниваются варианты освещения с солнечным светом. В какой период проводились исследования и какой уровень солнечного света был в теплицах? В таблице 8 Варианты освещенности в экпериментe этот опыт отмечен, но уровень освещенности солнечного света отсутствует.

Заключение. Материал, изложенный в автореферате, согласуется с диссертацией по всем разделам. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 18 статьях, в том числе 12 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science (Q 1), 1 патент на изобретение и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 заявка на патент РФ (находится на рассмотрении) и изданы методические рекомендации.

Полученные автором результаты фундаментального характера имеют выраженный прикладной аспект. Выделен исходный материал томата, мяты длиннолистной и мяты колосовидной, мелиссы и базилика. Разработана комплексная система сортовой агротехнологии, интегрирующая световую модуляцию, применение ризобактерий PGPR, адаптацию *ex vitro* и контроль климатических параметров для направленого управления продуктивностью и качеством растений. Разработан новый способ адаптации микроклонов мяты длиннолистной (заявка на изобретение №2025136249), отмеченный серебрянной медалью на выставке «Золотая осень - 2024». Для его технологической реализации создана, запатентована и внедрена специализированная климатическая камера с управляющим программным обеспечением.

Диссертация Князевой Инны Валерьевны на тему «Научное обоснование системы агротехнологий овощных культур в закрытых агроэкосистемах» на соискание степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.4 – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры является научно-квалификационной работой, в которой на основании

выполненных автором исследований, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области садоводства, овощеводства, виноградарства и лекарственных растений, имеющей важное значение в решении продовольственной безопасности страны, что соответствует п 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2023 г №842, а ее автор Князева Инна Валерьевна заслуживает степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.4 – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры.

5.06.2026 г.

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Осипова Галина Степановна
профессор кафедры плодоовощеводства и декоративного садоводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт- Петербургский государственный аграрный университет

Адрес организации: 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2. Телефон приемной ректора: (812) 470-04-22, e-mail: agro@spbgau.ru

Подпись Осиповой Галины Степановны заверяю,
проректор по научной и международной работе Р.О. Колесников