

УДК 57.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОНТОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ В ЗАКРЫТОЙ ЭКОСИСТЕМЕ — СИНЕРГОТРОНЕ

В.В. Латушкин¹,
В.Н. Зеленков^{2,3}, А.А. Лапин¹,
П.А. Верник¹, С.В. Гаврилов¹,
В.Б. Новиков¹

¹ Автономная некоммерческая организация «Институт стратегий развития»

² ФГБНУ «Всероссийский научно – исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»

³ Всероссийский научно – исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

Использование различных закрытых агробиотехносистем (экосистем) в растениеводстве и сельскохозяйственной биотехнологии имеет значительный научный и практический интерес для решения как фундаментальных (фотосинтез и изменчивость растений), так и прикладных (поиск регуляторов роста и отработка биотехнологий) вопросов при проведении научно-исследовательских работ. В работе представлены результаты биолого-технологических испытаний в серии экспериментов по моделированию влияния параметров роста растений и различных технологий выращивания салатных культур с использованием опытного образца программно-цифрового устройства закрытой агробиотехносистемы класса Синерготрон модели ИСР 1.01.

Ключевые слова: технологии выращивания салата, опытный образец синерготрона ИСР 1.01, применение разных регуляторов роста, дезинфекция поверхностей и объема камеры, гидропоника, питательный раствор, светодиодное освещение, качество салатной продукции.

Фундаментальным понятием современной научной картины мира является понятие экосистемы [30]. Экосистемы разного уровня сложности и орга-

В.В. ЛАТУШКИН, В.Н. ЗЕЛЕНКОВ, А.А. ЛАПИН,
П.А. ВЕРНИК, С.В. ГАВРИЛОВ, В.Б. НОВИКОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
ОНТОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ В ЗАКРЫТОЙ
ЭКОСИСТЕМЕ – СИНЕРГОТРОНЕ

EXPERIMENTAL MODELING OF PLANT ONTOGENESIS CONDITIONS AND BIOTECHNOLOGICAL METHODS OF THEIR CULTIVATION IN A CLOSED ECOSYSTEM – SYNERGOTRON

V.V. LATUSHKIN¹, V.N. ZELENKOV^{2,3},
A.A. LAPIN¹, P.A. VERNIK¹,
S.V. GAVRILOV¹, V.B. NOVIKOV¹

¹ INDEPENDENT NPO INSTITUTE FOR SOCIO-ECONOMIC STRATEGIES AND DEVELOPMENT TECHNOLOGIES (INSTITUTE FOR DEVELOPMENT STRATEGIES)

² ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS

³ ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF VEGETABLE GROWING – THE BRANCH OF FSBSI «FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF VEGETABLE GROWING»

The use of various closed agrobiotechnological systems (ecosystems) in crop production and agricultural biotechnology is of considerable scientific and practical interest for solving both fundamental (photosynthesis and plant variability) and applied (search for growth regulators and development of biotechnologies) issues in conducting research. The paper presents the results of biological and technological tests in a series of experiments on modeling the influence of plant growth parameters and various technologies for growing salad crops using a prototype of a software-digital device of a closed agrobiotechnological system of the synergotron class of the ISR 1.01 model

KEYWORDS: lettuce growing technologies, synergotron prototype and ISR 1.01, application of different growth regulators, disinfection of the chamber surfaces and volume, hydroponics, nutrient solution, LED lighting, quality of salad products.

DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-1-46-53

низации исследуются представителями как фундаментальной, так и прикладной науки. В растениеводстве и овощеводстве в связи с развитием систем защищен-

ного грунта, а также вертикальных ферм и экспериментальных фитотронов, становится необходимым использовать понятие «закрытые экологические системы» (ЗЭС). ЗЭС – это экосистемы, которые не рассчитаны на обмен веществ с любой частью вне самой системы [17]. Формирование закрытых экосистем имеет две четко выраженные перспективы практического применения: космическую направленность и земные приложения. Такие системы представляют большой научный интерес и потенциально могут служить основой систем жизнеобеспечения во время космических полетов, на космических станциях или в космических местах обитания, в экстремальных условиях полярных широт, пустынь, высокогорья, пещер, подводных работ и т.д. [11]. Использование ЗЭС и точное управление параметрами среды выращивания позволяет значительно увеличить продуктивность растений [9, 10, 19]. Так, еще в середине прошлого века в лаборатории светофизиологии и светокультуры в Агрофизическом институте (СПб) проф. Б.С. Мошков получал 6 урожаев томата в год (180 кг/м^2) и считал перспективным выращивать в искусственных условиях даже такую культуру, как пшеница [18]. Особое значение ЗЭС имеют для научных исследований, так как дают возможность проведения экспериментов в строго контролируемых условиях, что повышает достоверность и воспроизводимость результатов опытов [11, 23]. Нестабильность погодно – климатических и почвенных условий в условиях открытого грунта требует проведения испытаний в течение нескольких лет, что не является приемлемым в быстро изменяющемся современном мире. Проведение экспериментальной работы в условиях защищенного грунта (теплицы) и фитотрона по сравнению с опытами в открытом грунте позволило проводить опыты круглогодично. Появилась возможность в несколько раз ускорить процесс выведения и испытания новых сортов и гибридов. Важность направления разработки новых типов фитотронов для проведения селекционных исследований особо отмечает в своих работах академик В.А. Драгавцев [6, 7]. Качественно фитотроны – это новый шаг в развитии научного растениеводства с возможностью работы как с культурами клеток, так и с семенами и взрослыми растениями. Имеются многочисленные модели фитотронов разного назначения и степени автоматизации. Современные фитотроны, в частности, предлагают Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (совместно с ОАО «Авангард»), МГТУ им. Н.Э. Баумана (совместно с ВНИИ с.-х. биотехнологии) и др. Существует целый класс бытовых фитотронов – устройств для выращивания растений с улучшенным дизайном, позволяющим использовать их в интерьере квартиры – «SEEDOLAB» (Израиль), «LEAF», Cloudponics (США), «Grobo One» (Канада), «Urban Cultivator»

(Великобритания – Канада), Niwa-hydroponic-system (США), ООО «Зеленая лаборатория» и фирма «Фитоинтех» (Россия), FIBONACCI» (Россия) и другие [8]. Целый ряд зарубежных и отечественных предприятий-производителей лабораторного оборудования выпускают разного рода климатические камеры для выращивания растений (Биндер, Конвирон и др.).

Помимо фитотронов существуют и другие технические средства для создания закрытых экосистем. В частности, в микробиологии используются ферментеры, в которых также регулируются основные параметры среды для роста и развития микроорганизмов. В космических программах применяются собственные системы для выращивания растений, например, российский «Витацикл», разработанный в Институте медико-биологических проблем [1, 2]. В целом у систем подобного типа много общего с фитотронами. Что касается зимних теплиц и вертикальных ферм, в них в последнее время также стремятся создавать максимально замкнутые системы. Так, теплицы 5-го поколения типа «Ультра – клима» позволяют точнее регулировать микроклимат за счет повышенной изоляции от окружающей среды. Теплицы этого типа условно называют «полузакрытыми» [26]. В литературе имеется сообщение о разработке теплиц нового, шестого поколения, так называемых «полностью закрытых теплиц» [27]. В теплицах предыдущих поколений не обеспечивалось стабильное поддержание микроклимата [5, 25]. Таким образом, можно заметить тенденцию частичного сближения тепличных и фитотронных систем. Фитотронные технологии признаются перспективными не только для научных исследований, но и для промышленного производства продукции [21]. Среди проектов вертикальных ферм также имеются автоматизированные комплексы для выращивания растений в искусственных условиях. Это изолированные помещения со светодиодным освещением (MIRAI Panasonic, Toshiba, Philips, Urban Crop Solutions, SPREAD Kameoka, Plant Nagama factory, установки фирм Grow Plants Company, «СитиФермер», Fibonacci и др. [8, 20, 28]. В настоящее время конструкторы работают над улучшением качественных и количественных характеристик фитотронов. Важным направлением является использование информационных систем, программное управление факторами роста растений. Разрабатываются устройства, позволяющие управлять этими параметрами в динамике вегетации растений и моделировать новые воздействия через управляемые компьютером технологические устройства во взаимосвязи с физиологией развития растения и анализом этого развития в процессе эксперимента [14].

Соответственно, целью данной работы было изучение влияния некоторых параметров выращивания салатных культур в закрытой экосистеме на основе нового программно – цифрового устройства «Синер-

готрон», а также оценить возможность его использования в научных исследованиях и получения новых научных знаний в области биологии растений.

В АНО «Институт стратегий развития» разработаны несколько модификаций опытных образцов систем для выращивания растений в искусственных условиях под названием «Синерготрон». [22, 32]. «Синерготрон» – замкнутая система с программно управляемой климатической средой, предназначенная для культивирования высших растений и позволяющая моделировать природные и искусственно создаваемые компоненты среды обитания и агроэкосистемы в целом [11]. Опытный образец синерготрона модели ИСР-1.01 прошел технические испытания. По результатам проведенных испытаний, технические и технологические подсистемы жизнеобеспечения растений синерготрона в тестах с использованием разных салатных культур обеспечили нормальный рост и развитие растений. Выращены хорошо развитые и здоровые растения без признаков поражения вредителями и болезнями и физиологических нарушений. Качество выращенной продукции соответствовало требованиям соответствующих ГОСТ. Признаки истощения или угнетения растений отсутствовали, что подтверждает возможность успешного выращивания растений в условиях закрытой экосистемы синерготрона ИСР-1.01.

После проведения тестовых испытаний опытный образец синерготрона ИСР 1.01 использовался нами для разработки элементов технологии выращивания зеленных культур в закрытых системах. Методики проведения биологических экспериментов в конкретных случаях описаны в работе «Жизненный цикл и экология растений: регуляция и управление средой обитания в агробиотехносистемах. Сборник научных трудов. Выпуск 1. / Под редакцией профессора В.Н. Зеленкова. М.: Техносфера, АНО «Институт стратегий развития» 2018. 208 с.». Ниже приведены результаты, показывающие перспективность использования устройства «Синерготрон» для проведения научных исследований:

1. Моделирование спектрального состава света в синерготроне на примере салатной горчицы сорта «Мэй Лин» показало, что при освещении в последнюю неделю роста только красным светом урожайность снизилась на 21% по сравнению с облучением полным спектром, только синим светом снижение урожайности составило 47,4% (рис. 1).

Суммарная антиоксидантная активность (САОА, в расчете на 100 г абсолютно сухого вещества) в варианте сушки при комнатной температуре снижалась при облучении светодиодами синего и красного света (табл. 1).

Суммарная антиоксидантная активность в варианте сушки при комнатной температуре снижалась при облучении СДСС и СДКС. Сравнение сушки

В.В. ЛАТУШКИН, В.Н. ЗЕЛЕНКОВ, А.А. ЛАПИН,
П.А. ВЕРНИК, С.В. ГАВРИЛОВ, В.Б. НОВИКОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
ОНТОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ В ЗАКРЫТОЙ
ЭКОСИСТЕМЕ – СИНЕРГОТРОНЕ

при комнатной температуре и досушивания образцов при 105° С (показатель термостабильности) показало уменьшение антиоксидантной активности в контроле на 16%. при облучении СДКС на 21%, СДСС – наоборот, увеличение на 6,3%. Использование в эксперименте 3% перекиси водорода позволило установить, что во всех вариантах (кроме одного случая) наблюдался один вид взаимодействия – антагонизм, но степень его выраженности изменялась от 2,11% до 24,57%.

2. Моделирование составов субстратов [12, 24] в замкнутой экосистеме синерготрона показало, что применение многокомпонентного кокосового субстрата повышало урожайность растений салатных культур на 10–13% по сравнению с субстратом из минеральной ваты (рис. 2).

Менее эффективными субстратами в эксперименте оказались керамзит, кварцевый песок и перлит (табл. 2).

3. Изучено изменение химического состава и свойств минераловатного субстрата при выращивании растений в замкнутой системе синерготрона. Со временем в субстрате происходил рост содержания органических соединений (результат роста растений и накопления части органических продуктов биосинтеза в корневой системе и субстрате). В субстрате также накапливались минеральные элементы: фосфор, калий, сера, хлор и, наоборот, уменьшалось содержание оксидов кремния, а также железа, натрия, алюминия, марганца. Величина ППТ (потери массы при прокаливании, т.е. содержание органических соединений) – информативная величина для учета неоднородности микроклиматических условий в синерготроне. Увеличение доли органических соединений по сравнению с минеральными может говорить об усилении биосинтеза растений и формировании прироста урожая.

4. Моделирование составов питательных растворов [15] показало, что при введении в состав стандартного минерального раствора некоторых органических компонентов (прежде всего экстрактов вермикомпоста) рост и развитие растений ускоряются, урожайность возрастает до 35% в отдельных вариантах (табл. 3). Повышается и качество продукции.

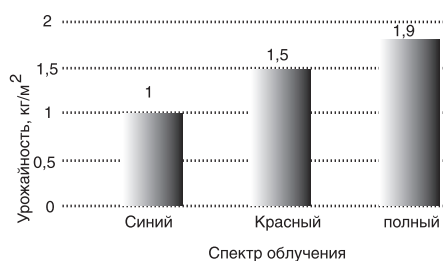


РИС. 1.

Продуктивность растений салатной горчицы сорта «Мэй Лин» в зависимости от спектра облучения

ТАБЛИЦА 1.

Суммарная антиоксидантная активность листьев салатной горчицы при разном освещении

Вид освещения	САОА, г Ru на 100 г образца	САОА (3% перекись водорода, г Ru на 100 г образца)	
А. Сушка при комнатной температуре			
Светодиоды синего света (СДСС)	1,738±0,034	—	—
Светодиоды красного света (СДКС)	1,801±0,035	—	—
Полихромное	1,839±0,036	1,514±0,036	Антагонизм 17,67%
Б. Досушивание при 105° С			
Светодиоды синего света (СДСС)	1,848±0,030	1,394±0,030	Антагонизм 24,57%
Светодиоды красного света (СДКС)	1,424±0,030	1,394±0,030	Антагонизм 2,11%
Полихромное	1,545±0,030	1,394±0,030	Антагонизм 9,77%

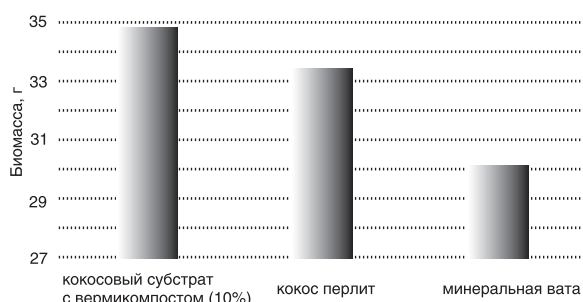


РИС. 2.

Влияние состава субстрата на общую биомассу растений салата (г). (в варианте «кокос перлит» использовалась смесь в равных соотношениях (1:1) кокосового субстрата и перлита)

5. Моделирование влияния разных регуляторов роста растений [13,29,31] показало, что наиболее эффективным оказался состав из гидротермального нанокремнезема в сочетании с регулятором роста крезацином (прирост урожайности 26,4%, увеличение содержания хлорофилла «а» в 1,6 раза, хлорофилла «б» в 1,8 раза). Отмечался значительный рост содержания в продукции витамина В₂, низкие уровни накопления нитратов и тяжелых металлов. Также, положительные результаты получены при использовании препаратов ГлАуксин, Агровин Са, экстракта гуминовых кислот «Нива» (табл. 4).

6. Выявлен биологически значимый эффект стимулирования роста тест-культуры *Paramecium caudatum* и *Daphnia magna* (табл. 5) после применения препаратов гидротермального нанокремнезема (ГНК).

На рис. 3 приведены более детальные данные биотестирования, показывающие, что стимулирующее влияние изученных препаратов охватывает и репродуктивные функции (число особей тест – культуры с яйцами в выводковой камере).

Результаты биотестирования не просто подтверждают высокий уровень пищевой безопасности, а говорят о формировании качественно нового уровня биологической ценности продукции, выращенной в закрытых экосистемах с применением наноразмерного кремнезема [16].

7. Моделирование изменения уровня инфекционной нагрузки при воздействии дезинфектанта «Алкоперит» в форме холодного тумана показало значительное снижение концентрации микроорганизмов и возможность управления степенью микробной обсемененности в замкнутой экосистеме синерготрона [3, 4].

На рис. 4 представлены результаты двух экспериментов по применению алкоперита: эксперимент №3 проведен до высева семян салата листового, эксперимент №4 – по завершению цикла выращивания культуры. Контаминация воздуха рабочей зоны после обработки резко снижается и эффект дезинфекции в значительной степени сохраняется до конца периода вегетации.

Аналогично снижался уровень контаминации рабочих поверхностей синерготрона и листьев растений (рис. 5). Эффект обработки также сохранялся весь период выращивания салата листового.

Необходимо отметить, что, помимо высокой антимикробиологической активности, препарат алкоперит обладает высокими экологическими характеристиками [3, 4].

8. Моделирование роста цианобактерий в присутствии дезинфектанта «Алкоперит» показало практически полную гибель цианобактерий. Прослеживалась четкая граница между обработанными и необработанными участками (что характерно для контактного способа воздействия препарата).

В данной статье приведены результаты только некоторых исследований, выполненных на опытном образце синерготрона ИСР 1.01. Дальнейшая техническая и технологическая оснащенность нового устройства по-

ТАБЛИЦА 2.

Влияние состава субстрата на рост сеянцев салата

Вариант	Субстрат	Сырая масса сеянца, мг			% соотношение	
		всего	в т.ч. надземная система	в т.ч. корневая система	надземная система	корневая система
1	Минеральная вата	29,2	21,6	7,6	74,0	26,0
2	Кокосовое волокно 50%:кварцевый песок 10%:перлит 30%:керамзит 10%	59,4	40,3	19,1	67,8	32,2
3	Кокосовое волокно 50%:перлит 50%	48,2	34,1	14,1	70,7	29,3
4	Керамзит 70%: кварцевый песок 30%	40,7	27,6	13,1	67,8	32,2

ТАБЛИЦА 3.

Влияние состава питательного раствора на урожайность и качество продукции салата

Вариант	Урожайность, г/м ²	Высота, см	Сухие вещества, %	Нитраты мг/кг	Витамин С, мг/100 г	Витамин В ₂ , мг/100 г	Данные биотеста*
Контроль (фон): минеральный питательный раствор	2502,5	19,1	6,8	214	12,0	0,083	64
Фон+лигногумат	2954,0	19,7	7,3	204	14,1	0,085	88
Фон+лигногумат+микориза	2989,0	20,1	7,5	188	15,6	0,109	83
Фон+лигногумат+микориза +вермикомпост 10%	3402,0	21,5	8,1	177	16,7	0,216	102
Фон+лигногумат+азотовит+фосфатовит+ вермикомпост 10% в составе субстрата	3255,0	21,1	8,7	179	16,0	0,388	127
Органический питательный раствор фирмы GHE	1953,0	17,5	6,9	208	15,5	0,426	76

* количество живых особей *Daphnia magna* в 100 мл культивационной среды

зволит проводить целый ряд других видов испытаний растений в закрытых экосистемах. Таким образом, показана перспективность использования разработанного в АНО «Институт стратегий развития» устройства «синерготрон» для проведения научно – исследовательских работ на разных этапах онтогенеза растений и возможность отрабатывать конкретные биотехнологические приемы получения качественной и экологически чистой растительной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты тестовых биотехнологических испытаний показали возможность успешного выращивания растений в закрытом (изолированном) пространстве агробиотехносистемы синерготрона ИСР-1.01 с программным управлением и контролем технических и технологических узлов. На опытном образце нового устройства проведен цикл исследований по оценке влияния основных факторов, включая технологические, на рост и продуктивность салатных культур с

оценкой их качества и пищевой безопасности. Выявлены оптимальные параметры для культивирования салата листового в закрытых экосистемах, в частности: спектр освещения (лучшие результаты показало полихромное освещение – полный спектр в области ФАР), субстрат (оптимально применение субстратов на основе кокосового волокна или минеральной выты), питательный раствор для гидропонии (оптимальным является органоминеральный раствор с добавлением экстракта гуминовых кислот), применение биопрепаратов и регуляторов роста растений (комплексный состав гидротермальный нанокремнезем + регулятор роста крезацин, а также глауксин и агровин). Для дезинфекции воздуха и поверхностей рабочей зоны хорошие результаты показал новый экологичный дезинфектант-препарат «Алкоперит».

Таким образом, использование устройства «синерготрон» перспективно для научных исследований и получения новых научных знаний в области биологии и культивирования растений в закрытых экосистемах.

ТАБЛИЦА 4.

Влияние регуляторов роста и биопрепаратов на рост и качество продукции салата листового

№ пп	Вариант	Урожайность г/м ²	Хлорофилл а, мг/г	Хлорофилл в, мг/г	Сухие вещества, %	Нитраты, мг/кг	Витамин С, мг/100 г	Витамин В ₂ мг/100 г
1	Контроль (без обработки)	2254,0	1,96	0,82	7,4	124	8,95	0,075
2	Энергия М	2597,0	2,76	1,19	7,7	112	7,68	0,128
3	1-Этоксисилатран + крезацин	2373,0	2,06	0,90	8,3	115	7,04	0,134
4	Гидротермальный нанокремнезем + крезацин	2849,0	3,14	1,47	8,6	112	10,24	0,175
5	Фитоминерал (глауксин)	2720,7	3,01	0,94	6,4	124	9,6	0,223
6	Агровин Са	2706,7	2,98	1,27	8,0	121	8,95	0,162
7	Нива	2513,0	1,81	0,79	8,1	126	8,95	0,124

ТАБЛИЦА 5.

Влияние регуляторов роста и биопрепаратов на активность тест-культур при выращивании салата листового

	<i>Daphnia magna</i> (количество особей в 100 мл среды)	<i>Paramecium caudatum</i> (количество клеток в 10 мкл среды)
1.Контроль (без обработки)	12,3	11,7
2.Энергия М	37,1	18,7
3.1-Этоксисилатран + крезацин	22,9	7,3
4. Гидротермальный нанокремнезем + крезацин	55,6	22,3
5.Фитоминерал (глауксин)	13,3	11,0
6. «Агровин» с кальцием	40,9	19,3
7. Гуминовый препарат «Нива».	21,0	14,0

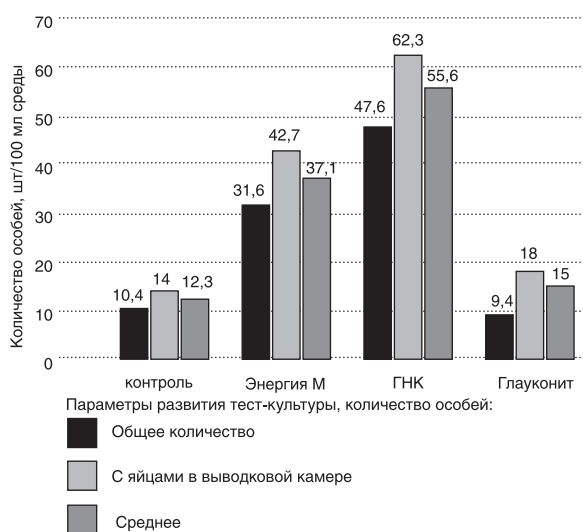


РИС. 3.

Влияние регуляторов роста и биопрепаратов на активность тест-культур при выращивании салата листового

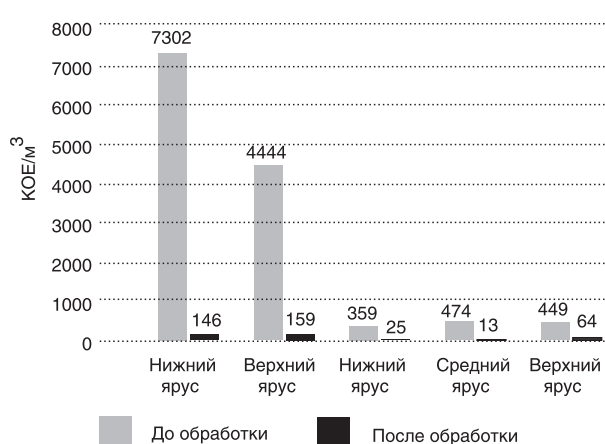


РИС. 4.

Контаминация воздуха рабочей зоны синерготрона ИСР 1.01 в начале и конце периода выращивания до и после обработки аэрозолем АлкоПерита

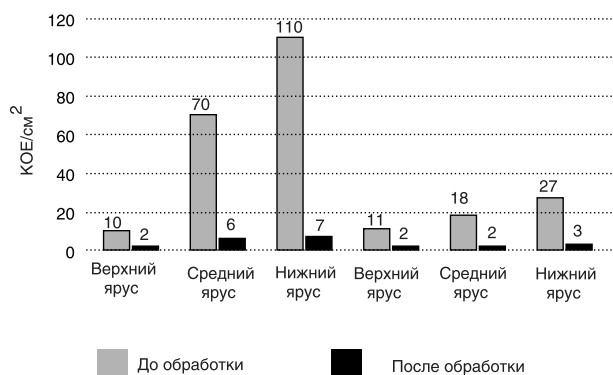


Рис. 5.

Контаминация воздуха рабочих поверхностей синерготрона в начале и конце периода выращивания до и после обработки аэрозолем «Алкоперита»

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркович Ю.А. Прототип космической витаминной оранжереи «Фитоконвейер» // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2007. №1. С. 51–55.
2. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смоляникова С.О., Ерохин А.Н. Космические оранжереи: настоящее и будущее. М.: Слово, 2005. 368 с.
3. Волков М.Ю., Заблоцкая А.А. Определение эффективности аэрозольного дезинфектанта «Алкоперит» в производственных условиях // Вет. медицина. 2011. №3–4. С. 34–36.
4. Волков М.Ю., Заблоцкая Т.В., Штауфен А.В. Применение аэрозольного дезинфектанта «АлкоПерит» в растениеводстве. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 51 p.
5. Гиль А.С., Пашковский А.И., Сулима А.Т. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта. Житомир: Рута, 2012. 468 с.
6. Драгавцев В.А. Как помочь накормить человечество // Биосфера. 2013. Т. 5. №3. С. 279–290.
7. Драгавцев В.А. Новая регуляция у растений и необходимость создания селекционного фитотрона в РФ. // Журнал технической физики. 2018. Т. 88. Вып. 9. С. 1331–1335.
8. Еловая М., Григорьева А. Системы для выращивания овощной продукции в искусственных условиях: мировой и российский опыт // Электроника: наука, технология, бизнес. 2018. №4. С. 98–104.
9. Ермаков Е.И., Попов А.И. Стратегия адаптивной интенсификации продукционного процесса растений при пространственной неоднородности среды их обитания // Вестник Россельхозакадемии. 2005. № 6. С. 4–7.
10. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В трех томах. Т. 1. Проблемы адаптации в сельском хозяйстве XXI века. Значение адаптивного потенциала

В.В. ЛАТУШКИН, В.Н. ЗЕЛЕНКОВ, А.А. ЛАПИН, П.А. ВЕРНИК, С.В. ГАВРИЛОВ, В.Б. НОВИКОВ
 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
 ОНТОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
 МЕТОДОВ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ В ЗАКРЫТОЙ
 ЭКОСИСТЕМЕ – СИНЕРГОТРОНЕ

культурных видов растений. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства. М.: Изд-во Агро-рус, 2008. 816 с.

11. Зеленков В.Н., Верник П.А. Создание замкнутых агробиотехносистем на базе цифровых технологий – новые возможности научного познания культур клеток и высших растений // Актуальная биотехнология. 2018. №3 (26). С. 50–55.
12. Зеленков В.Н., Латушкин В.В., Иванова М.И., Новиков В.Б., Поверина Н.В. Сравнительная оценка кокосового субстрата и минеральной ваты при культивировании салата листового и горчицы листовой в условиях замкнутой гидропонной системы фитотрона класса Синерготрон ИСР-1 // Актуальная биотехнология. 2018. №3 (26). С. 442–446.
13. Зеленков В.Н., Петриченко В.Н., Потопов В.В., Елисеева А.Г., Иванова М.И., Латушкин В.В., Новиков В.Б. Проверка комплексного препарата гидротермального нанокремнезема с крезацином для гидропонного выращивания салата листового в замкнутой системе фитотрона ИСР-1 // Актуальная биотехнология. 2018. №3 (26). С. 378–382.
14. Крайжн М. Точное измерение // Райк Цваан и технологии. Защищенный грунт. 2019, Вып. 1. С. 46–47.
15. Латушкин В.В., Попов А.И., Зеленков В.Н., Иванова М.И., Новиков В.Б., Елисеева А.Г., Леонова И.Б. Использование органоминеральных и минеральных питательных растворов при гидропонном выращивании салата листового в условиях замкнутой системы фитотрона ИСР-1.
16. Леонова И.Б., Елисеева А.Г., Паршина Я.Ю., Зеленков В.Н., Латушкин В.В. Определение пищевой безвредности и качества продукции салата листового, выращенного в условиях замкнутой системы фитотрона ИСР-1 // Актуальная биотехнология. 2018. №3 (26). С. 178–181.
17. Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я. Биологические системы жизнеобеспечения. (Замкнутые экологические системы). М.: Синтез, 1994. 280 с.
18. Мошков Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении. 2-е перераб. изд. Л., Колос, 1966. 287 с.
19. Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судаков В.Л., Черноусов И.Н. и др. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. 2009. № 5. С. 7–10.
20. Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В. и др. Фитотехкомплексы в России: основы создания и перспективы использования для круглогодичного получения качественной растительной продукции в местах проживания и работы населения // Обще-

- ство. Среда. Развитие. 2015. № 4. С. 196–203.
21. ПЕРОВА В. Эволюция света // Райк Цваан и технологии. Защищенный грунт. 2019. Вып. 1. С. 40–45.
 22. ПОВЕРИН Д. И. «Синерготрон» – автоматизированное устройство, предназначенное для проведения комплексных экспериментальных исследований в сфере сельскохозяйственного растениеводства // Товаровед продовольственных товаров. 2017. №2. С. 52–60.
 23. ПОВЕРИН Д.И. Новые возможности повышения эффективности растениеводства на основе «синергопоники» // Товаровед продовольственных товаров. 2016. №3. С. 32–36.
 24. ПОПОВ А.И., ЗЕЛЕНКОВ В.Н., ИВАНОВА М.И., ЛАТУШКИН В.В., НОВИКОВ В.Б. и др. Продуктивность растений салата листового в зависимости от вида субстрата – почвозаменителя в условиях замкнутой системы фитотрона ИСР-1 // Актуальная биотехнология. 2018. №3 (26). С. 394–398
 25. ПРИТУЛА В.Г., ЧЕБАНОВ Т.А., БЕРЕЗА В.Б., ЧЕБАНОВ Л.С., РОМАНЬКОВ Д.А. К вопросу классификации теплиц // Теплицы России. 2018, №1. С. 21–24.
 26. СОКОЛОВ Н.С. Технологии пятого поколения // Теплицы России. 2015. № 1. С. 22–24.
 27. ШИШКИН П.В., ОЛЕЙНИКОВ В.О. Полностью закрытая теплица с технологией поддержания параметров микроклимата на основе управления разделенными воздушными потоками // Теплицы России. 2016. №2. С. 15–20.
 28. DONG-KI RYU, SIN-WOO KANG, SUN-OK CHUNG, SOON-JUNG HONG. Performance analysis of an experimental plant factory SNU Journal of agricultural science. December. 2013. Vol. 40. N4. P. 395–403.
 29. ELISEEVA L.G., OSMAN A.J., IVANOVA M.I., LEONOVA I. B., ZELENKOV V.N., LATUSHKIN V.V. Quality Management of Green Vegetables Grown in Closed Anrbio Technology Systems of Urban Phytotron Type // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. N3. P. 11383–1394.
 30. MANUEL C. Molles. Ecology: Concepts and Applications. 7th Edition. McGraw-Hill Education. 2015. 592 p.
 31. OTHMAN A.J., ELISEEVA L.G., ZELENKOV V.N., LATUSHKIN V.V. The study of a silatran-containing preparation on improving the consumer properties of lettuce (*Lactuca sativa* var. *Dubachek MC*), grown hydroponically in the phytotron ISR 0.1 // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. T. 82. № 1 (83). С. 96–102.
 32. ZELENKOV V.N., VERNIK P.A., LATUSHKIN V.V. Creating closed technobioecosystems (synergotron class) as a modern direction of using digital technologies for the development of agrarian science and solving tasks of the agrarian industrial complex of Russia IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. 274.

Латушкин Вячеслав Васильевич,
к.с.-х.н., в.н.с. АНО «Институт стратегий развития»

☎ тел.: +7 (916) 328-56-41, e-mail: slavalat@yandex.ru

Верник Петр Аркадьевич,
директор АНО «Институт стратегий развития»

☎ e-mail: vernik@isd.center

Новиков Владимир Борисович,
нач. отдела АНО «Институт стратегий развития»

☎ e-mail: engine.food@gmail.com

Гаврилов Сергей Викторович,
нач. отдела АНО «Институт стратегий развития»

☎ e-mail: gavrilovrial@mail.ru

Лапин Анатолий Андреевич,
к.х.н, доцент, научный консультант АНО «Институт стратегий развития»

☎ 107031, г. Москва, пер. Столешников, д. 11,
107031, Moscow, per. Stoleshnikov, 11
e-mail: lapinanatol@mail.ru

Зеленков Валерий Николаевич,
д.с.-х.н., профессор, г.н.с. Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР), г.н.с. Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО),

☎ 140153, Московская обл., Раменский р-н, д. Веряя,
стр. 500,
140153, Moscow region, Ramenskiy district, village Vereya,
p. 500
тел.: +7 (910) 451-37-45, e-mail: zelenkov-raen@mail.ru