

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-39-44>  
УДК 631.63:581.1.043:631.589.2

О.Р. Удалова, Л.М. Аникина,  
Г.В. Мирская, П.Ю. Конончук,  
Г.Г. Панова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ)  
195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, [lanikina@yandex.ru](mailto:lanikina@yandex.ru)

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» из средств Программы фундаментальных научных исследований государственной академии наук на 2013-2020 годы, этап №0667-2019-0013.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

**Для цитирования:** Удалова О.Р., Аникина Л.М., Мирская Г.В., Конончук П.Ю., Панова Г.Г. Малообъемная и тонкослойная панопоника в интенсивной светокультуре огурца: основы и результаты применения. *Овощи России*. 2021;(2):39-44  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-39-44>

**Поступила в редакцию:** 24.03.2021

**Принята к печати:** 20.04.2021

**Опубликована:** 25.04.2021

Olga R. Udalova, Lyudmila M. Anikina,  
Galina V. Mirskaya, Pavel Yu. Kononchuk,  
Gayana G. Panova

Agrophysical Research Institute  
14, Grazhdanskiy pr., St.-Petersburg, 195220,  
Russia

**Acknowledgments.** This work was supported by the Federal State Budgetary Scientific Institution "Agrophysical Research Institute" from the funds of the Fundamental Scientific Research Program of the State Academy of Sciences for 2013-2020, stage No. 0667-2019-0013.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article.

**For citations:** Udalova O.R., Anikina L.M., Mirskaya G.V., Kononchuk P.Yu., Panova G.G. Low-volume and thin-layer panoponics in intensive artificial-light culture of cucumber: basics and results of application. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(2):39-44. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-39-44>

**Received:** 24.03.2021

**Accepted for publication:** 20.04.2021

**Accepted:** 25.04.2021

# Малообъемная и тонкослойная панопоника в интенсивной светокультуре огурца: основы и результаты применения



## Резюме

**Актуальность.** Создание и широкое внедрение наукоёмких автоматизированных фитотехнокомплексов на основе инновационных технологий выращивания растений в интенсивной светокультуре, включающих разработку корнеобитаемых сред нового поколения, малообъёмных и тонкослойных аналогов почвы и систем обеспечения растений водой и элементами минерального питания – один из перспективных путей решения проблемы круглогодичного обеспечения населения овощной продукцией.

**Цель работы.** Оценка влияния условий корнеобитаемой среды на продукционный процесс растений огурца в интенсивной светокультуре.

**Методы.** Исследования проводили в регулируемых условиях интенсивной светокультуры при выращивании гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> на малообъёмных и тонкослойных аналогах почвы с подачей питательного раствора к корням растений по щелевому капилляру и методом капельного полива в вегетационных светоустановках, разработанных в ФГБНУ АФИ.

**Результаты.** Оценка влияния условий корнеобитаемой среды – малообъёмного аналога почвы на основе верхового торфа – агрофита и тонкослойного аналога почвы на основе суспензии из глины с подачей питательного раствора по щелевому капилляру, на продукционный процесс растений огурца показала, что по сравнению с контролем – малообъёмным аналогом почвы – агрофитом с подачей питательного раствора методом капельного полива, наблюдается ускорение развития гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в виде положительной тенденции и достоверных значений; а также значимое увеличение числа плодов на 38-43%, массы плодов на 52-53% с растения; увеличение накопления сырой на 38-40% и сухой массы на 27-32% листьями огурца; увеличение площади листовой поверхности на 38-40%, обводнённости листьев на 7,3-9,6%; достоверное или в виде положительной тенденции увеличение содержания в плодах огурца кальция – на 18-29%, магния – на 20-29%, железа – на 5-16%, витамина С – на 17-23%, при этом содержание тяжёлых металлов и нитратов не превышало ПДК во всех вариантах. Методы выращивания растений на малообъёмных и тонкослойных аналогах с поступлением питательного раствора к корням по щелевому капилляру могут быть рекомендованы для любых культуривационных сооружений в условиях интенсивной светокультуры.

**Ключевые слова:** интенсивная светокультура, условия корнеобитаемой среды, малообъёмный аналог почвы, тонкослойный аналог почвы, капельный полив, щелевой капилляр, продуктивность, развитие, площадь листьев, биохимический состав

# Low-volume and thin-layer panoponics in intensive artificial-light culture of cucumber: basics and results of application

## Abstract

**Relevance.** The year-round provision of the population of our country with fresh vegetable products remains relevant. The creation and widespread implementation of high-tech automated phytotechnological complexes based on innovative technologies for growing plants in intensive light culture, including the development of new-generation root-dwelling environments, low-volume and thin-layer analogs of soil and systems for providing plants with water and mineral nutrition elements, is one of the promising ways to solve this problem.

**The purpose.** Assessment of the influence of root environment conditions on the production process of cucumber plants in intensive light culture is the aim of our work.

**Methods.** The research was carried out under controlled conditions of intensive artificial-light culture, when growing a hybrid of cucumber Tristan F<sub>1</sub> by using of low-volume and thin-layer analogs of soil with the supply of a nutrient solution to the plant roots through a slit capillary and by drip irrigation with the use of plant growing light equipment developed at Agrophysical Institute.

**Results.** Evaluation of the influence of the conditions of the root environment - low-volume analogue of the soil based on high-moor peat – agrophyte and a thin-layer analog of the soil based on a clay suspension with a feed of nutrient solution through a slit capillary, on the production process of cucumber plants showed that in comparison with the control – a low-volume analog of the soil-agrophyte with a feed of nutrient solution by drip irrigation, there is growth acceleration of the cucumber hybrid Tristan F<sub>1</sub> in the form of a positive trend and reliable values; as well as a significant increase in the number of fruits by 38-43%, the weight of fruits by 52-53% from the plant; an increase in the accumulation of raw by 38-40% and dry weight by 27-32% by cucumber leaves; an increase in the leaf surface area by 38-40%, leaf water content by 7.3-9.6%; a significant or positive trend increase in the content of calcium in cucumber fruits by 18-29%, magnesium by 20-29%, iron by 5-16%, vitamin C by 17-23%, while the content of heavy metals and nitrates does not exceed exceeded the MPC in all variants. Methods of growing plants on low-volume and thin-layer analogs of soil with the supply of a nutrient solution to the roots through a slit capillary can be recommended for any cultivation facilities in conditions of intensive light culture.

**Keywords:** intensive artificial-light culture, root inhabited environment, thin-layer analog of soil, low-volume analog of soil, slit capillary, drip irrigation, leaf surface area, productivity, biochemical composition

**Введение**

**В** настоящее время круглогодичное обеспечение нашей страны свежей высококачественной овощной продукцией остаётся весьма актуальным. В связи с этим перспективно создание и широкое внедрение высокоэффективных фитотехкомплексов различного типа по производству растительной продукции многоцелевого назначения при полностью искусственном свете, на основе ресурсосберегающих фитобиотехнологий, включающих приёмы организации корнеобитаемой среды и обеспечения растений элементами минерального питания.

Оптимизация жизнеобеспечения корней в системе «корнеобитаемая среда – растение», в частности их водно-воздушного режима, является неперенным условием интенсификации производственного процесса и получения высоких урожаев тепличных культур в сооружениях защищённого грунта.

До сих пор в большинстве российских современных тепличных комплексах доминируют голландские автоматизированные гидропонные технологии выращивания растений на малообъёмных субстратах с системой обеспечения питательным раствором методом капельного полива. Эти технологии на практике не позволяют достичь качественного и количественного максимума реализации производственного потенциала растений [1].

В ФГБНУ АФИ в результате обобщения знаний о закономерностях и механизмах взаимодействия растений со средой обитания в условиях интенсивной светокультуры разработана уникальная система культивирования растений – панопоника, предусматривающая использование созданных малообъёмных и/или тонкослойных аналогов почвы с обеспечением корней питательным раствором по плоским щелевым капиллярам [2]. Цель данной работы – оценка влияния условий корнеобитаемой среды, включающих малообъёмный и тонкослойный аналоги почв с различными способами подачи питательного раствора к корням растений на производственный процесс гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в регулируемых условиях интенсивной светокультуры.

**Методы**

Исследования проводили в регулируемых условиях интенсивной светокультуры на базе биополигона ФГБНУ АФИ.

Объектом исследования служил партенокарпический среднеплодный гибрид огурца (*Cucumis sativus* L.) Тристан F<sub>1</sub> (селекция компании ENZA ZADEN, Голландия), предназначенный для всесезонного выращивания в культивационных сооружениях различного типа, в том числе, с использованием светокультуры.

Гибрид характеризуется высокой выравненностью и товарностью, с максимальной отдачей урожая со среднего яруса, на высоте 100-120 см, что определило стратегию выбора данного огурца для интенсивной светокультуры.

Растения гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> выращивали в вегетационных светоустановках (ВСУ), оснащённых световыми блоками с вертикальным расположением ламп, а также пускорегулирующей аппаратурой, включающей и выключающей осветительные приборы, и системой подачи питательного раствора (ПР) в зависимости от заданных режимов. Источниками света служили натриевые лампы ДНАТ-400 (ООО Рефлекс, РФ).

Интенсивность света в области ФАР составлял 70-75 Вт/м<sup>2</sup>. Продолжительность светового периода – 14 час/сутки. Температуру воздуха поддерживали в пределах +22...+24°C днём и +18...+20°C ночью, относительную влажность воздуха – 65-70%.

Для оценки влияния условий корнеобитаемой среды на производственный процесс гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> растения выращивали методом малообъёмной и тонкослойной панопоники [3].

В качестве корнеобитаемых сред использовали органо-минеральный аналог почвы (МАП) Агрофит и тонкослойный аналог почвы (ТАП) в виде пористой гидрофильной ткани с нанесением на неё суспензии на основе кембрийской глины [3].

Применение МАП Агрофит, с объёмной массой 0,16-0,18 г/см<sup>3</sup>, обеспечивает поддержание благоприятного для корневых систем соотношения жидкой и воздушной фаз [4], в то время как ТАП на основе суспензии кембрийской глины способствует увеличению удельной поверхности корнеобитаемой среды, обеспечивая условия взаимодействия корневой системы растений с КС, близкие к природным [5]. Кроме того, введение в состав данных КС кембрийской глины и других минеральных элементов дополнительно обогащает трофическую среду растений физиологически активными питательными веществами, способствуя повышению их продуктивности [5,6].

Для минерального питания растений огурца применяли раствор Кнопа. Подачу питательного раствора осуществляли автоматически от 2-х до 6-ти раз в сутки, в зависимости от возраста растений огурца. Поступление ПР к корням растений происходило двумя способами: по щелевому капилляру (ЩК) гидрофильной ткани (ГТ) и методом капельного полива (КП).

Для выращивания растений огурца Тристан F<sub>1</sub> были использованы следующие варианты корнеобитаемых сред и способов подачи питательного раствора в зону роста корней:

Вариант 1. МАП + КП – субстрат «Агрофит» объёмом 6 л/растение, подача ПР методом капельного полива – контроль;

Вариант 2. ГТ + МАП + ЩК – гидрофильная ткань + субстрат «Агрофит» объёмом 3л/растение, подача ПР по щелевому капилляру;

Вариант 3. ГТ + ТАП + ЩК – гидрофильная ткань с суспензией на основе кембрийской глины, подача ПР по щелевому капилляру;

Выбор варианта №1 в качестве контроля основан на моделировании условий в данной корнеобитаемой среде, наиболее приближенных к условиям при производстве огурца в сооружениях защищённого грунта, на малообъёмных субстратах с капельным поливом.

Огурец Тристан F<sub>1</sub> высаживали в лотки размером 60x18x14 см, пророщенными в чашках Петри семенами, сразу на постоянное место в ВСУ. Количество растений огурца составляло 2 штуки на лоток, 8 штук на квадратный метр полезной площади ВСУ. Повторность 12 растений в варианте опыта. Вегетационные эксперименты проводили дважды.

Огурец формировали в один стебель с ослеплением пазух нижних пяти листьев. По достижении верха ВСУ плети прищипывали (длина плети 2 метра). Сбор плодов

проводили регулярно, не допуская их перерастания (длина плода не превышала 22-25 см).

Вегетационный период во всех вариантах составлял 60 дней от посева. При полной уборке учитывали суммарно число и массу плодов с растения и с квадратного метра ВСУ, число листьев, сырую и сухую массу листьев, процент сухого вещества. Площадь листовой поверхности, листовой индекс, удельную поверхностную площадь листа (УППЛ), обводненность листьев определяли по методикам [3,7]. Биохимический и химический состав плодов определяли в испытательной лаборатории ФБГНУ АФИ по стандартным методикам.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программного обеспечения Excel 2010 и Statistica 8. В тексте и таблицах приведены средние арифметические значения параметров и их доверительные интервалы при 95%-ном уровне вероятности по t-критерию. Достоверность различий между вариантами оценивали методом параметрической статистики (t-критерий Стьюдента). Различия между вариантами считали достоверными при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Проведённые исследования показали, что условия корнеобитаемой среды оказали значимое влияние на продукционный процесс гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub>, в том числе на скорость развития растений и сроки начала отдачи урожая (табл. 1).

Установлено, что при выращивании гибрида Тристан F<sub>1</sub> на ГТ+МАП+ЩК (вариант 2) и ГТ+ТАП+ЩК (вариант 3) с подачей питательного раствора к корням растений по целевому капилляру, наблюдалась положительная тенденция к ускорению развития огурца с момента наступления стадии «4-го листа». В дальнейшем тенденция сохранилась, а в варианте 3 (ГТ+ТАП+ЩК) сроки наступления цветения и «начала сбора плодов» были достоверно более ранними, чем в контрольном варианте.

Данное обстоятельство свидетельствует о создании наиболее благоприятных условий в системе «корнеобитаемая среда – растения» в исследуемых вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК).

В варианте 2(ГТ+МАП+ЩК) сочетание тонкослойной панопоники с аналогом высокоплодородных почв – «Агрофит», представляющее собой, усовершенствованную и воплощённую в малообъёмном исполнении геопо-

нику нового типа, создаёт разумный баланс между количеством влаги, поступающей к корням растений и воздуха в корнеобитаемой среде [8].

Применяемая для выращивания растений тонкослойная КС в варианте 3 (ГТ+ТАП+ЩК), как саморегулирующаяся система, позволяет постоянно поддерживать водно-воздушные условия, соответствующие узкому диапазону оптимальных значений влажности в корнеобитаемой среде [4]. Кроме того, позитивное воздействие ТАП на основе суспензии кембрийской глины, обусловлено созданием донорно-акцепторных центров на уровне корни – КС, обеспечивая обогащение дополнительным минеральным питанием [2].

Замедление развития растений в контрольном варианте 1 (МАП+КП) вероятно обусловлено нарушением баланса между водой и воздухом в КС, вследствие особенностей водного режима при капельном поливе, связанного с наличием контура локального увлажнения. При этом присутствует неравномерность распределения влаги в данном объёме корнеобитаемой среды, характеризующейся делением контура локального увлажнения на зоны с различным уровнем влагосодержания. Такое состояние может привести к нарушениям водно-минерального обмена в системе «корнеобитаемая среда – растение», и, как следствие, – к снижению продуктивности [9].

При сравнении показателей продуктивности гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub>, выращенного в исследуемых условиях КС, наибольшее её значение установлено в вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК), что согласуется с отмеченными выше сроками развития растений и началом отдачи урожая (табл. 2).

Выявлено, что в условиях корнеобитаемой среды с поступлением питательного раствора к корням растений по целевому капилляру (варианты 2 и 3) достоверно увеличивалось число плодов с растения на 38-43%, и масса плодов с растения – на 52-53% относительно контроля. При этом показатель «масса одного плода» в обоих вариантах 2(ГТ+МАП+ЩК) и 3(ГТ+ТАП+ЩК) имел только слабую положительную тенденцию к увеличению.

С учётом того, что в интенсивной светокультуре при выращивании растений полностью при искусственном освещении вегетационный период, с экономической точки зрения, ограничен темпами роста наиболее быстро развивающихся растений, во всех исследуемых

**Таблица 1. Сроки развития растений огурца гибрида Тристан F<sub>1</sub> при выращивании в различных условиях корнеобитаемой среды в интенсивной светокультуре**  
*Table 1. Time of development of the cucumber plants hybrid Tristan F<sub>1</sub> when grown in various conditions of the root environment in intensive artificial-light culture*

| Вариант опыта**  | Дни от посева |          |          |              |               |
|------------------|---------------|----------|----------|--------------|---------------|
|                  | Всходы        | 4-й лист | Цветение | Начало сбора | Полная уборка |
| МАП +КП контроль | 3±1           | 20±1     | 38±1     | 49±1         | 60            |
| ГТ+МАП + ЩК      | 3±1           | 18±1     | 36±1     | 47±1         | 60            |
| ГТ+ТАП + ЩК      | 3±1           | 19±1     | 35±1*    | 45±1*        | 60            |

Примечание: \* значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости; \*\* - названия вариантов указаны в разделе «методы»

Таблица 2. Показатели продуктивности гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> при выращивании в различных условиях корнеобитаемой среды в интенсивной светокультуре  
Table 2. Productivity indicators of the cucumber plants hybrid Tristan F<sub>1</sub> when grown in various conditions of the root environment in intensive artificial-light culture

| Вариант опыта **  | Масса 1 плода, г | Число плодов шт./раст. | Масса плодов г/раст. | Масса плодов кг/м <sup>2</sup> |
|-------------------|------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| МАП+КП (контроль) | 246.2±30         | 10,0±1,0               | 2462,0±300,0         | 19,7±2,4                       |
| ГТ+МАП+ ЩК        | 263.5±42.2       | 14,3±0,5*              | 3768,1±603,5*        | 30,1±4,8*                      |
| ГТ+ТАП+ ЩК        | 271,3±50,4       | 13,8±0,6*              | 3743,9±695,5*        | 29,9±5,6*                      |

Примечание: \*значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости; \*\* - названия вариантов указаны в разделе «методы».

вариантах полную ликвидацию культуры производили на 60-й день от посева. К этому времени с растений гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в вариантах 2(ГТ+МАП+ЩК) и 3(ГТ+ТАП+ЩК) все плоды были убраны, а в варианте 1 – (МАП+КП) часть плодов оставалась на стадии начала налива.

Таким образом, продуктивность, как интегральный показатель, отражает условия, создаваемые в корнеобитаемой среде. Вместе с тем существует прямая связь между водно-воздушным режимом, корневым питанием растений и фотосинтезом [10].

Элементы корневого питания могут эффективно использоваться растениями лишь при благоприятных условиях, создаваемых в зоне их роста. Чем лучше растения обеспечиваются водой и питательными веществами, тем интенсивнее они используют надземные условия, в частности свет для формирования ассимиляционной поверхности, обеспечивающей продукционный потенциал. Недостаточная площадь листьев, особенно в начале вегетационного периода, не позволяет полностью использовать приходящую фотосинтетически активную радиацию, вследствие чего развитие растений замедляется [6, 11].

Анализ результатов выращивания гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в различных условиях корнеобитаемой среды показал, что формирование листовой поверхности и её фотосинтетическая активность тесно связаны с водно-воздушным режимом в корнеобитаемой среде (табл.3).

Установлено, что в вариантах 2(ГТ+МАП+ЩК) и 3(ГТ+ТАП+ЩК) накопление листьями огурца сырой (на 38-40%) и сухой ее (на 27-32%) массы, было достоверно выше, по сравнению с таковым в контрольном варианте 1(МАП+КП).

Известно, что на долю органических веществ, образованных в процессе фотосинтеза, приходится около 95% сухой биомассы. Поэтому накопление сухой массы листьями растений объективно отражает ассимиляционную активность растений [6]. Несмотря на большой процент сухого вещества, отмеченный в контрольном варианте, оценка фотосинтетической деятельности растений показала, что достоверное увеличение площади листьев (на 38-40%), наблюдалось при выращивании гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в условиях корнеобитаемой среды вариантов 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК).

Очевидно, увеличение площади листовой поверхности и отмеченной выше продуктивности в данных вариантах происходило, как за счёт создания водно-воздушных условий в корнеобитаемой среде наиболее близких к оптимальным, так и вследствие усиления минерального питания [12,13].

Данное обстоятельство отразилось на усилении обводнённости листьев, которая является важным показателем, отражающим условия произрастания растений. Известно, что от степени обводнённости тканей зависит поглощение ФАР, поступление и ассимиляция CO<sub>2</sub>, интенсивность транспирации [6]. Именно в вариантах 2(ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК) установлено достоверное увеличение обводнённости листьев (на 7,3-9,6%), при меньших показателях их удельной поверхностной плотности, по сравнению с вариантом 1 (МАП+КП).

Показано, что листья растений с более низкими значениями УППЛ на фоне более высокой обводнённости отличаются и более высокой интенсивностью фотосинтеза [6]. Кроме того, усиление процессов фотосинтеза отражает индекс листовой поверхности, значение

Таблица 3. Показатели фотосинтетической активности гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> при выращивании в разных условиях корнеобитаемой среды в интенсивной светокультуре  
Table 3. Indicators of photosynthetic activity of the cucumber plants hybrid Tristan F<sub>1</sub> when grown in various conditions of the root environment in intensive artificial-light culture

| Вариант опыта**   | Сырая масса листьев, г/раст. | Сухая масса листьев, г/раст. | Сухое вещество, % | Площадь листьев, дм <sup>2</sup> /раст. | Листовой индекс, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> | уППЛ, г/дм <sup>2</sup> | Обводнённость листьев, г/г |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|---|---|-------------------------|----------------------------|
| МАП+КП (контроль) | 305,7±33,2                   | 35,15±3,82                   | 11,5±0,1          | 135,2±14,7                              | 5,6±0,61  | 0,26±0,01               | 7,7±0,07                   |
| ГТ+МАП+ ЩК        | 429,5±46,6*                  | 46,39±5,04*                  | 10,8±0,1*         | 193,3±21,0*                             | 8,1±0,88*                                       | 0,24±0,01*              | 8,26±0,08*                 |
| ГТ+ТАП+ ЩК        | 422,5±45,9*                  | 44,78±4,87*                  | 10,6±0,1*         | 186,6±20,3*                             | 7,8±0,85*                                       | 0,24±0,01*              | 8,44±0,08*                 |

Примечание: \*значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости; \*\* - названия вариантов указаны в разделе «методы».

Таблица 4. Элементный состав плодов гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> при выращивании в различных условиях корнеобитаемой среды в интенсивной светокультуре  
Table 4. The elemental composition of the cucumber plants hybrid Tristan F<sub>1</sub> fruits when grown in various conditions of the root environment in intensive artificial-light culture

| Показатель             | Вариант опыта       |               |               |
|------------------------|---------------------|---------------|---------------|
|                        | 1 МАП+КП (контроль) | 2 (ГТ+МАП+ЩК) | 3 (ГТ+ТАП+ЩК) |
| Влажность %            | 96,6                | 96,4          | 96,3          |
| Сухое вещество, %      | 3,4                 | 3,6           | 3,7           |
| Сырая зола, % а.с.н    | 13,47               | 14,41         | 14,72         |
| Азот, % а.с.н.         | 3,42                | 3,26          | 3,61          |
| Фосфор, % а.с.н        | 0,93                | 0,96          | 0,96          |
| Калий, % а.с.н         | 6,25                | 6,28          | 6,38          |
| Кальций, % а.с.н       | 0,97                | 1,14*         | 1,25*         |
| Магний, % а.с.н        | 0,26                | 0,312         | 0,335*        |
| Медь, мг/кг а.с.в      | 2,48                | 2,55          | 2,61          |
| Цинк, мг/кг а.с.в      | 44,8                | 45,1          | 46,5          |
| Железо, мг/кг а.с.в    | 78,0                | 81,9          | 90,95*        |
| Марганец, мг/кг а.с.в  | 18,0                | 18,5          | 18,8          |
| Свинец, мг/кг а.с.в    | <0,50               | <0,50         | < 0,50        |
| Кадмий, мг/кг а.с.в    | <0,03               | <0,03         | <0,03         |
| Нитраты, мг/кг а.с.в   | 181,9               | 175,6         | 163,2         |
| Сумма сахаров, % а.с.в | 28,12               | 28,30         | 27,43         |
| Витамин С              | 7,43                | 8,65*         | 9,13*         |

Примечания: \*значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости; \*\* - названия вариантов указаны в разделе «методы».

которого достоверно выше (на 39-45%) в вариантах 2(ГТ+МАП+ЩК) и 3(ГТ+ТАП+ЩК).

Таким образом, ассимиляционный аппарат гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> при его выращивании в условиях корнеобитаемой среды вариантов 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3(ГТ+ТАП+ЩК), по сравнению с контролем (МАП+КП) имел следующие характеристики: большую суммарную площадь листовой поверхности, лучшую обводненность тканей листа, низкую УППЛ.

Очевидно, отмеченное положительное влияние условий корнеобитаемой среды на продукционный процесс растений огурца в вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК), преимущественно обусловлено усилением процессов водно-минерального обмена в тканях листьев и поступлением необходимых растениям органических и минеральных элементов питания в надземную часть (табл.4).

При анализе элементного состава плодов гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> установлено достоверное увеличение содержания по отношению к контролю: кальция – на 18-29% и магния – на 20-29% в вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК), железа – на 16% в варианте 3(ГТ+ТАП+ЩК). По содержанию остальных макро- и микроэлементов значимых различий между вариантами не выявлено.

Условия корнеобитаемой среды на накопление сахаров плодами огурца существенно не отразились, в варианте 2 (ГТ+МАП+ЩК) наблюдалась только слабая положительная тенденция к их увеличению. В тоже время, содержание витамина С по отношению к контролю в плодах вариантов 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК), было достоверно выше (на 17-23%). Содержание тяжёлых металлов и нитратов не превышало ПДК во всех вариантах.

### Заключение

Таким образом, проведённые исследования показали, что условия корнеобитаемой среды оказали значимое влияние на продукционный процесс гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub>, при его выращивании в интенсивной светокультуре.

Установлена положительная тенденция ускорения развития гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub> в варианте 2(ГТ+МАП+ЩК) и достоверное его ускорение в варианте 3(ГТ+ТАП+ЩК).

Выявлено достоверное увеличение числа плодов на 38-43% и массы плодов на 52-53% с растения в вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК) по сравнению с контрольным вариантом 1 (МАП+КП). Такая стимуляция показателей продуктивности обусловлена, в частности, активацией работы фотосинтетического аппарата. Так, отмечено усиление процессов фотосинтеза в вариантах 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК), что выразилось в достоверном увеличении: сырой массы листьев огурца – на 38-40% и сухой – на 27-32%, площади листовой поверхности – на 38-40%; обводненности листьев – на 7,3-9,6%, при меньших показателях УППЛ по сравнению с вариантом 1 (МАП+КП) – контроль.

Показано, что стимуляция роста растений огурца и увеличение его продуктивности преимущественно обусловлено: в варианте 2(ГТ+МАП+ЩК) – усилением процессов водно-минерального обмена, при неограниченном обеспечении корней растений питательным раствором по щелевому капилляру; в варианте 3(ГТ+ТАП+ЩК) – дополнительным обогащением трофической среды растений макро- и микроэлементами в составе материнской породы.

С отмеченным обогащением КС и усилением интенсивности обмена, а также ассимиляционных процессов фотосинтеза у испытуемого гибрида огурца Тристан F<sub>1</sub>,

выращенного в малообъёмной и тонкослойной корнеобитаемых средах – вариант 2 (ГТ+МАП+ЩК) и 3 (ГТ+ТАП+ЩК) соответственно, очевидно, связано установленное достоверное или в виде положительной тенденции увеличение по отношению к контролю содержания кальция – на 18-29%, магния – на 20-29% и железа – на 5-16% в плодах; содержания витамина С – на 17-23%. Содержание тяжёлых металлов и нитратов не превышало ПДК во всех вариантах.

С учётом полученных результатов выращивание растений огурца методом панопоники на малообъёмных

и тонкослойных аналогах почвы, с поступлением питательного раствора к корням растений по щелевому капилляру наиболее предпочтительно, при производстве овощных культур в фитотехкомплексах различного типа с искусственным климатом, в том числе в районах Крайнего Севера, Арктики и Антарктики и зонах экологического риска [1, 14].

Панопоника, как перспективный метод культивирования растений может быть рекомендован для выращивания широкого спектра культур, в том числе при искусственном освещении.

#### Об авторах:

**Ольга Рудольфовна Удалова** – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0003-3521-0254>, Scopus ID 5720139472, Research ID C-5572-2017, [udal59@inbox.ru](mailto:udal59@inbox.ru)

**Людмила Матвеевна Аникина** – кандидат биологических наук, ведущий инженер ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0001-5217-174x>, Scopus ID 57201118842, Research ID C-5582-2017

**Галина Владимировна Мирская** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6207-736x>; Scopus ID 57190384444; Research ID C-5539-2017

**Павел Юрьевич Конончук** – ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0449-5189>; Scopus ID 57194718380

**Гаянэ Геннадьевна Панова** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0002-1132-9915>, Scopus ID 7003272258, Research ID AAN-6594-2020

#### About the authors:

**Olga R. Udalova** – Cand. Sci. (Agriculture), leading researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3521-0254>, Scopus ID 5720139472, Research ID C-5572-2017, [udal59@inbox.ru](mailto:udal59@inbox.ru)

**Lyudmila M. Anikina** – Cand. Sci. (Biology), leading engineer, <https://orcid.org/0000-0001-5217-174x>, Scopus ID 57201118842, Research ID C-5582-2017

**Galina V. Mirskaya** – Cand. Sci. (Biology), leading researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6207-736x>, Scopus ID 57190384444, Research ID C-5539-2017

**Pavel Yu. Kononchuk** – leading researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0449-5189>; Scopus ID 57194718380

**Gayane G. Panova** – Cand. Sci. (Biology), leading researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1132-9915>, Scopus ID 7003272258, Research ID AAN-6594-2020

#### • Литература

1. Панова Г.Г., Удалова О.Р., Канаш Е.В., Галушко А.С., Кочетов А.А., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Основы физического моделирования идеальных агроэкосистем. *Журнал технической физики*. 2020;90(10):1633-1639.
2. Ермаков Е.И. Методология панопоники как основы защищенного грунта ноосферного уровня. *Аграрная наука*. 2001;(2):46-49.
3. Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Вертебный В.В., Дубовицкая В.И., Панова Г.Г. Влияние тонкослойных аналогов почвы на производственный процесс растений салата в интенсивной светокультуре. *Овощи России*. 2021;(1):33-38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-33-38>.
4. Ермаков Е.И. Принцип культивирования растений на пористой тонкослойной корнеобитаемой среде и его реализация в ризотронах первого поколения. *Избранные труды. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН*, 2009. 63-74 p.
5. Аникина Л.М., Мухоморов В.К., Удалова О.Р. Выращивание растений на тонкослойном аналоге почвы и исследование процессов водно-минерального обмена растений в онтогенезе. *Агробиология*. 2014;16(4):11-26.
6. Удалова О.Р., Панова Г.Г., Аникина Л.М. Влияние состава торфобрикетов на формирование рассады огурца в интенсивной светокультуре. *Овощи России*. 2018;(4):98-103. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-98-103>.
7. Никитин С.Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов. *Успехи современного естествознания*. 2017;(1):33-38.
8. Ермаков Е.И. Регулируемая агроэкосистема в агрофизике и растениеводстве. *Избранные труды. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН*, 2009. 12-28 p.
9. Дубенок Н.Н., Майер А.В., Гуренко В.М., Бороdiceв С.В. Система комбинированного орошения и эффективности производства овощной продукции. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019;54(2):253-265. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-02-31>
10. Chen C., Xu F., Zhu J.-R., Wang R.-F., Xu Z.-H., Shu L.-Z., Xu W.-W. Nitrogen forms affect root growth, photosynthesis, and yield of tomato under alternate partial root-zone irrigation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2016;179(1):104-112. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500179>.
11. Kromdijk J., Glowacka K., Leonelli L., Gabilly S.T., Iwai M., Niyogi K.K., Long S.P. Improving photosynthesis and crop productivity by accelerating recovery from photoprotection. *Science*. 2016;354(6314):857-861. <https://doi.org/10.1126/science.aai8878>.
12. Mukhomorov V.K., Anikina L.M. Evolutionary dynamics of intercoupling of the chemical elements in plants and primary soil-forming processes. *Trends Journal of Sciences Research*. 2014;1(1):1-11.
13. Ермохин Ю. И., Склярора М. А., Гоман Н.В. Поглощение солнечной энергии растениями при оптимальном сбалансированном минеральном питании. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2016;(1):18-23.
14. Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судakov В.Л., Якушев В.П. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2015;(4):17-21.

#### • References

1. Panova G.G., Udalova O.R., Kanash E.V., Galushko A. S., Kochetov A. A., Priyatkin N. S., Arkhipov M. V., Chernousov I. N. Fundamentals of Physical Modeling of "Ideal" Agroecosystems. *Tech. Phys.* 2020;(65):1563-1569. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1063784220100163>
2. Ermakov E.I. Methodology of panoponics as the basis of protected soil of the noosphere level. *Agrarian science*. 2001;(2):46-49. (In Russ.)
3. Udalova O.R., Anikina L.M., Khomyakov Yu.V., Vertebny V.E., Dubovitskaya V.I., Panova G.G. Influence of thin-layer soil analogues on the production process of lettuce plants in intensive artificial-light culture. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(1):33-38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-33-38>. (In Russ.)
4. Ermakov E.I. The principle of cultivation of plants on a porous thin-layer root-inhabited medium and its implementation in the first-generation risotrons. *Избранные труды. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН*, 2009. 63-74 p. (In Russ.)
5. Anikina L.M., Mukhomorov V.K., Udalova O.R. Growing plants on a thin-layer analog of soil and studying the processes of water-mineral exchange of plants in ontogenesis. *Agrophysics*. 2014;16(4):11-26. (In Russ.)
6. Udalova O.R., Panova G.G., Anikina L.M. Effect of peat briquettes on the formation of cucumber seedlings in intensive light culture. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(4):98-103. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-98-103> (In Russ.)
7. Nikitin S.N. Photosynthetic activity of plants in crops and dynamics of growth processes in the application of biological preparations. *Advances in current natural sciences*. 2017;(1):33-38. (In Russ.)
8. Ermakov E.I. Methodology of panoponics as the basis of protected soil of the noosphere level. *Agrarian science*. 2001;(2):46-49. (In Russ.)
9. Dubenok N. N., Mayer A.V., Gurenko V. M., Borodicev S. V. Combined irrigation system and efficiency of production of vegetable production. *Proceedings of the Nizhne-Volzhsky Agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education*. 2019;54(2):253-265. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-02-31>. (In Russ.)
10. Chen C., Xu F., Zhu J.-R., Wang R.-F., Xu Z.-H., Shu L.-Z., Xu W.-W. Nitrogen forms affect root growth, photosynthesis, and yield of tomato under alternate partial root-zone irrigation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2016;179(1):104-112. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500179>
11. Kromdijk J., Glowacka K., Leonelli L., Gabilly S.T., Iwai M., Niyogi K.K., Long S.P. Improving photosynthesis and crop productivity by accelerating recovery from photoprotection. *Science*. 2016;354(6314):857-861. <https://doi.org/10.1126/science.aai8878>
12. Mukhomorov V.K., Anikina L.M. Evolutionary dynamics of intercoupling of the chemical elements in plants and primary soil-forming processes. *Trends Journal of Sciences Research*. 2014;1(1):1-11.
13. Yermokhin Y.I., Sklyarova M.A., Goman N.V. The absorption of solar energy by plants at optimal balanced mineral nutrition. *Problems of agrochemistry and ecology*. 2016;(1):18-23. (In Russ.)
14. Panova G.G., Chernousov I.N., Udalova O.R., Alexandrov A.V., Karmanov I.V., Anikina L.M., Sudakov V.L., Yakushev V.P. Scientific basis for large year-round yields of high-quality crop products under artificial light. *Russian Agricultural Sciences*. 2015;5(41):335-339. (In Russ.) <https://doi.org/10.3103/S1068367415050158>