

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-33-38>
УДК 635.5:631.588.5

О.Р. Удалова, Л.М. Аникина,
Ю.В. Хомяков, В.Г. Вертебный,
В.И. Дубовицкая, 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

Благодарности

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

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в написании статьи: Удалова О.Р. – 35%; Аникина Л.М. – 30%; Хомяков Ю.В. – 10%; Вертебный В.Е. – 10%; Дубовицкая В.И. – 10%; Панова Г.Г. – 5%.

Для цитирования: Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Г., Дубовицкая В.И., Панова Г.Г. Влияние тонкослойных аналогов почвы на продукционный процесс растений салата в интенсивной светокультуре. *Овощи России*. 2021;(1):33-38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-33-38>

Поступила в редакцию: 23.10.2020

Принята к печати: 25.11.2020

Опубликована: 25.02.2021

Olga R. Udalova, Lyudmila M. Anikina,
Yuriy V. Khomyakov, Vitalii E. Vertebnyi,
Viktoria I. Dubovitskaya, Gayane G. Panova

Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr.,
St.-Petersburg, 195220, Russia
lanikina_@yandex.ru

Acknowledgments

This work was carried out with financial support from the Federal State Budgetary Scientific Institution "Agrophysical Research Institute" from the funds of the Fundamental Scientific Research Program of the State Academies 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 to the writing of the article: Udalova O.R. – 35%, Anikina L.M. – 30%, Khomyakov Yu.V. – 10%, Vertebnyi V.E. – 10%, Dubovitskaya V.I. – 10%, Panova G.G. – 5%.

For citations: Udalova O.R., Anikina L.M., Khomyakov Yu.V., Vertebnyi 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-33-38>

Received: 23.10.2020

Accepted for publication: 25.11.2020

Accepted: 25.02.2021

Влияние тонкослойных аналогов почвы на продукционный процесс растений салата в интенсивной светокультуре

**Резюме**

Актуальность. Решение задачи круглогодичного обеспечения населения нашей страны высококачественной растительной продукцией возможно при создании наукоемких автоматизированных фитотехнокомплексов на основе инновационных, ресурсосберегающих технологий выращивания растений в условиях искусственного климата, включающих разработку корнеобитаемых сред нового поколения – тонкослойных аналогов почвы.

Материалы и методы. Исследования проводили в регулируемых условиях интенсивной светокультуры, при выращивании растений салата сорта Тайфун на тонкослойных аналогах почвы различного состава и малообъемном аналоге почвы «Агрофит», выбранного в качестве эталона сравнения, в вегетационных светоустановках, разработанных в ФГБНУ АФИ.

Результаты. Оценка влияния тонкослойных аналогов почвы на основе суспензий с кембрийской глиной и/или сапропелем в различных соотношениях на продукционный процесс растений салата по сравнению с контролем (гидрофильная ткань) показала положительную тенденцию увеличения высоты, числа листьев с растения; достоверный рост сырой массы на 25-35%, сухой массы – на 54-80%, сухого вещества – на 16-36%; увеличение площади листьев и фотосинтетического потенциала – на 20-36%, чистой продуктивности фотосинтеза – на 16-45%; достоверное или в виде положительной тенденции увеличение содержания калия – на 14-17%, кальция – на 27-35%, цинка – на 29-53% и дисахаров – на 28-68%. По сравнению с малообъемным аналогом почвы на основе верхового торфа низкой степени разложения «Агрофит» (эталон) установлено увеличение в виде выраженной положительной тенденции показателей: высоты и числа листьев, продуктивности, содержания сухого вещества; чистой продуктивности фотосинтеза, достоверное или в виде положительной тенденции увеличение площади листьев, фотосинтетического потенциала – на 20-30%; увеличение содержания минеральных элементов. Определены возможные причины более низкой продуктивности растений салата в контроле, связанные с увеличением поступления воды в ткани листьев на фоне отсутствия дополнительного минерального и/или органического питания. Содержание тяжелых металлов и нитратов не превышало ПДК во всех вариантах. Все тонкослойные аналоги почвы с нанесением суспензий различного состава могут быть рекомендованы для выращивания салата в любых культивационных сооружениях в условиях интенсивной светокультуры.

Ключевые слова: интенсивная светокультура, корнеобитаемая среда, тонкослойный аналог почвы, малообъемный аналог почвы, продуктивность, площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал, биохимический состав

Influence of thin-layer soil analogues on the production process of lettuce plants in intensive artificial-light culture

Abstract

Relevance. The solution to the problem of providing the population of our country with high-quality plant production all year round is possible when creating high-tech automated phytotechnological complexes based on innovative, resource-saving technologies for growing plants in an artificial climate, including the development of a new generation of root inhabited thin-layer analogues of soils.

Materials and methods. The research was carried out under controlled conditions of intensive artificial-light culture, when growing lettuce plants of the Typhoon variety on thin-layer analogs of soil of various composition and a low-volume soil analogue based on high-moor peat with a low degree of decomposition "Agrofit", selected as a reference for comparison, in plant growing light equipment developed at Agrophysical Institute.

Results. Evaluation of the influence of thin-film analogues of the soil based on the suspensions Cambrian clay, and /or sapropel in different ratios on the production process of lettuces showed when compared with control (hydrophilic fabric): a positive tendency to increase of height, number of leaves per plant; a significant increase in wet mass by 25-35%, dry mass in 54-80%, percent dry matter in 16-36%; increase of leaf area and photosynthetic capacity at 20-36%, net productivity of photosynthesis by 16-45%; a significant or in a form of tendency to increase in the content of potassium by 14-17%, calcium by 27-35%, zinc by 29-53% and disaccharides by 28-68%. In comparison with the low-volume analogue of the soil based on high-moor peat of a low degree of decomposition "Agrophyte" (standard), it was found an increase in the form of a pronounced positive trend in growth indicators - the height and number of leaves, wet, dry mass of plants, percentage of dry matter; net productivity of photosynthesis, a reliable or in form of trend to increase in leaf area, photosynthetic potential by 20-30%; an increase in the content of mineral elements in lettuce leaves. Possible reasons for the lower productivity of lettuce plants in the control were determined, and it associated with an increase in water intake in leaf tissues against the background of the absence of additional mineral and / or organic nutrition. The content of heavy metals and nitrates did not exceed the maximum permissible concentration (MPC) in all variants. All thin-layer analogs of the soil with the application of suspensions of various compositions can be recommended for growing lettuce in any cultivation facilities in conditions of intensive artificial-light culture.

Keywords: intensive artificial-light culture, root inhabited environment, thin-layer analog of soil, low-volume analog of soil, productivity, leaf surface area, photosynthetic potential, biochemical composition

Введение

Острая проблема круглогодичного обеспечения населения нашей страны свежей растительной продукцией с заданными качественными и функциональными характеристиками имеет приоритетный характер и требует инновационных подходов к ее решению.

Один из перспективных путей решения указанной проблемы – организация круглогодичного производства высококачественной растительной продукции на основе ресурсосберегающих технологий в условиях интенсивной светокультуры. Учитывая требование экологической безопасности и ресурсосбережения, выращивание растений на тонкослойных корнеобитаемых средах является более предпочтительным при производстве зеленых культур в сооружениях защищенного грунта (включая растительные фабрики, фитотехкомплексы различного типа и др.), в том числе в районах Арктики и Антарктики, так как исключается необходимость утилизации использованных субстратов, загрязняющих окружающую среду [1-3].

В ФГБНУ АФИ разработана ресурсо- и энергосберегающая технология культивирования растений на тонкослойных (ТАП) и малообъемных аналогах почвы (МАП) для фитотехкомплексов – культивационных сооружений или помещений с искусственным климатом [4].

Основой для создания указанной технологии послужила методология формирования световой, воздушной и корнеобитаемой среды (КС) в регулируемой агроэкосистеме (РАЭС), а также предложенный Е.И. Ермаковым [5] принцип интенсивного выращивания растений на тонкослойных (ТАП) или малообъемных аналогах почв (МАП) с циркулирующим питательным раствором (ПР). Обеспечение корневой системы питательным раствором осуществляется по плоским щелевым капиллярам.

Цель данной работы – оценка влияния различных по составу тонкослойных и малообъемных аналогов почв на продукционный процесс листового салата в регулируемых условиях интенсивной светокультуры.

Материалы и методы

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

Объектом исследований служил листовый салат (*Lactuca sativa* L.) сорта Тайфун (селекция АО ССПП «Сортсемовощ»), предназначенный для производства, как в открытом, так и защищенном грунте, в том числе и методом гидропоники.

Для оценки влияния корнеобитаемых сред различного состава на продукционный процесс салата, растения выращивали методом тонкослойной [4] и малообъемной панопоники [1].

В качестве корнеобитаемой среды использовали тонкослойный аналог почвы – ТАП в виде пористой гидрофильной ткани [1], а также с нанесением на нее суспензии на основе кембрийской глины (КГ) [4] и/или сапропеля (С) [6] в различных соотношениях. Применение тонкодисперсной суспензии кембрийской глины, сапропеля, а также их сочетание, приводило к увеличению удельной поверхности КС и созданию донорно-акцепторных центров [5], обеспечивая тем самым, условия взаимодействия корневой системы вегетирующих растений с КС, приближенные к природным условиям взаимодействия «корни – почвенная частица» [7]. Кроме того, наличие тонкодисперсного слоя различного состава

дополнительно обогащало трофическую среду растений микроэлементами и физиологически активными веществами, способствуя повышению продуктивности [8]. Как эталон сравнения применяли органоминеральный, малообъемный аналог почвы – МАП – Агрофит [9] из расчета 0,5 л на растение.

Были использованы следующие варианты корнеобитаемых сред:

Вариант 1. ТАП – гидрофильная ткань (ГТ), (контроль)

Вариант 2. ТАП – ГТ с суспензией на основе кембрийской глины (ГТ+КГ)

Вариант 3. ТАП – ГТ с суспензией на основе сапропеля (ГТ+С)

Вариант 4. ТАП – ГТ с суспензией на основе кембрийской глины и сапропеля (ГТ+КГ+С) в соотношении 1:1

Вариант 5. ТАП – ГТ с суспензией на основе кембрийской глины и сапропеля (ГТ+КГ+С) в соотношении 3:1

Вариант 6. ТАП – ГТ с суспензией на основе кембрийской глины и сапропеля (ГТ+КГ+С) в соотношении 1:3

Вариант 7. МАП – «Агрофит» (эталон).

Растения салата выращивали в вегетационных светостановках (ВСУ), оснащенных световыми блоками с натриевыми лампами ДНаЗ-400 (ООО Рефлекс, РФ). Облученность растений составляла 65-75 Вт/м² ФАР, продолжительность светового периода 14 часов в сутки. Температуру воздуха поддерживали в пределах +20-+22°С днем и +18-+20°С ночью, относительную влажность воздуха –65-70%.

Салат высевали сухими семенами в лотки, размерами 100х20х15 см. По достижении растениями 2-х настоящих листа, проводили выборочное прореживание посевов, оставляя 100 шт./м² ВСУ.

Для обеспечения минерального питания применяли раствор Кнопа [10]. Подачу питательного раствора в лотки осуществляли автоматически от 1 до 3 раз в сутки в зависимости от возраста растений. Поступление питательного раствора к корневой системе растений салата происходило по щелевому капилляру гидрофильной ткани. Количество растений салата составляло 10 штук на лоток, повторность – 20 растений в варианте опыта. Вегетационные эксперименты проводили дважды.

Уборку растений салата проводили на 30-е сутки. При уборке учитывали высоту растений, число листьев, сырую и сухую массу надземной части, содержание сухого вещества [11]. Площадь листовой поверхности, удельную поверхностную плотность листа (УППЛ) определяли по [12]. Фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность фотосинтеза, обводненность листьев по существующим методикам [12, 13]. Биохимический и химический состав растений определяли в испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ по стандартным методикам [14].

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

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что применение ТАП в качестве корнеобитаемой среды оказало значительное влияние на рост и продуктивность растений салата (табл. 1).

Таблица 1. Показатели роста и продуктивности растений салата сорта Тайфун при выращивании на различных по составу тонкослойных и малообъемном аналогах почвы в регулируемых условиях интенсивной светокультуры
Table 1. Growth and productivity indices of Taifun lettuce when grown on thin-layer and low-volume soil analogs of different composition under controlled conditions of intensive artificial-light culture

Вариант опыта**	Высота, см	Число листьев, шт.	Сырая масса растения, г	Сухая масса растения, г	Сухое вещество, %	Урожайность, кг/м ²
1. ГТ (контроль)	22,4±4,0	11,8±4,0	36,6±3,2	1,48±0,25	4,04±0,08	3,66±0,32
2. (ГТ+КГ)	27,2±3,0	13,8±2,0	48,3±5,8*	2,28±0,27*	4,72±0,05*	4,83±0,57*
3. (ГТ+С)	25,1±5,0	12,6±2,0	45,8±5,6*	2,66±0,32*	5,80±0,06*	4,58±0,55*
4. (ГТ+КГ+С 1:1)	26,9±4,0	12,5±2,0	45,7±5,3*	2,50±0,29*	5,47±0,05*	4,57±0,53*
5. (ГТ+КГ+С 3:1)	27,5±5,0	13,7±2,0	49,5±4,1*	2,32±0,30*	4,69±0,07*	4,95±0,41*
6. (ГТ+КГ+С1:3)	26,3±3,0	12,3±2,0	46,8±5,7*	2,33±0,28*	4,98±0,05*	4,68±0,52*
7. Агрофит - эталон	25±2,0	12,5±2,0	43,7±2,7*	1,89±0,24	4,32±0,09*	4,37±0,27*

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

Установлено, что на ТАП-ГТ с нанесением суспензий различного состава (варианты 2-6), показатели роста – высота и число листьев с растения имели тенденцию к увеличению, с максимумами в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5(ГТ+КГ+С 3:1) по сравнению с контролем. В этих же вариантах (2-6) отмечалось достоверное увеличение сырой массы – на 25-35%, сухой массы – на 54-80% и процента сухого вещества на 16-36% относительно контроля. При этом, наибольший процент сухого вещества наблюдался в вариантах 3 (ГТ+С) и 4 (ГТ+КГ+С 1:1), где основным компонентом суспензии в ТАП являлся сапропель, что свидетельствовало о его положительной роли, как органической составляющей ТАП, в процессе накопления ассимилятов в листьях салата [15].

При сравнении показателей продуктивности растений салата, выращенных на ТАП различного состава, наибольшее ее значение установлено в вариантах 5(ГТ+КГ+С 3:1) и 2 (ГТ+КГ).

Вероятно, эффективность применения ТАП-ГТ с суспензией на основе кембрийской глины отдельно или в сочетании с сапропелем, обусловлена входящим в ее состав широким спектром микроэлементов [7,16]. В процессе выращивания растений на КС, содержащих кембрийскую глину, под действием метаболитов выделяемых корневой системой растений, происходит дополнительное обогащение трофической среды растений элементами питания [7].

В целом, во всех вариантах с нанесением суспензий КС различного состава, продуктивность по сравнению с контролем, была достоверно выше (табл.1).

Анализ результатов выращивания салата сорта Тайфун на МАП – Агрофит (эталон) показал, что высота растений и число листьев с растения преимущественно существенно не отличались от таковых у растений, выращенных на ТАП. Достоверно более высокие значения надземной массы (на 19%) и сухого вещества (на 7%) у растений на МАП наблю-

дались только по отношению к таковым в контрольном ТАП.

При сравнении с остальными исследуемыми вариантами более низкие значения отмечались у растений на МАП – Агрофит (эталон) по продуктивности (тенденция - на 4-12%), сухой массе (на 17-29%) и содержанию сухого вещества (на 8-26%). Наиболее выражены указанные отличия в продуктивности – по отношению к вариантам 2(ГТ+КГ) и 5(ГТ+КГ+С 3:1), в сухой массе и содержанию сухого вещества – к вариантам 3 (ГТ+С) и 4(ГТ+КГ+С1:1).

Вероятно, выявленные изменения в растениях, выращенных на МАП – Агрофит (эталон), связаны с тем, что в процессе выращивания салата происходит трансформация КС и аккумуляция водорастворимых органических соединений, обладающих высокой биологической активностью в питательном растворе.

Чрезмерное накопление данных органических веществ (более 30мг/л в пересчете на углерод), может приводить к снижению продуктивности растений, культивируемых на органических и органоминеральных КС [17].

В состав ТАП, с нанесением суспензии на основе сапропеля отдельно или в сочетании с кембрийской глиной (варианты 3-6) входят, кроме гумусовых веществ, углеводные и липидные комплексы, обладающие антиоксидантными свойствами, аминокислоты, витамины, ферменты, гормоноподобные вещества, которые, очевидно, благоприятным образом отражаются на продуктивности растений [15].

Известно, что развитие растений и их продуктивность тесно связаны с процессами фотосинтеза [13]. Анализ фотосинтетической деятельности растений салата показал, что наибольшая площадь листьев формировалась при выращивании салата на ТАП, с нанесением суспензий различного состава, по сравнению с контролем и МАП – Агрофит (эталон) (табл.2)

Таблица 2. Показатели фотосинтетической активности листьев салата сорта Тайфун при выращивании на различных по составу тонкослойных аналогах почвы и малообъемном аналоге почвы Агрофит в регулируемых условиях интенсивной светокультуры
 Table 2. Indicators of photosynthetic activity of lettuce leaves of the Taifun variety when grown on thin-layer soil analogs of different composition and a low-volume soil analogue «Agrophyte» under controlled conditions of intensive artificial-light culture

Вариант опыта**	Площадь листьев, дм ² /растение	Фотосинтетический потенциал, дм ² /м ² /дн.	Чистая продуктивность, г/м ² сутки	Удельная поверхностная плотность, г/дм ²	Обводненность листьев
1. ГТ (контроль)	16,9±2,9	5,07±0,87	0,58±0,02	0,088±0,000	23,73±0,07
2. (ГТ+КГ)	22,3±2,7*	6,69±0,71*	0,68±0,06*	0,102±0,001*	20,18±0,08*
3. (ГТ+С),	21,2±2,6	6,36±0,78	0,84±0,07*	0,125±0,001*	16,21±0,08*
4. (ГТ+КГ+С 1:1)	21,1±2,4	6,33±0,72	0,79±0,08*	0,118±0,001*	17,28±0,09*
5. (ГТ+КГ+С :1),	22,9±2,9*	6,87±0,87*	0,67±0,07*	0,101±0,001*	20,33±0,08*
6. (ГТ+КГ+С1:3)	20,3±2,6	6,09±0,78	0,77±0,07*	0,115±0,000*	19,09±0,8*
7. Агрофит - эталон	16,9±2,5	5,07±0,75	0,74±0,06*	0,112±0,001*	22,12±0,07*

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

При этом в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5 (ГТ+КГ+С 3:1) данный показатель был достоверно выше на 20-36% по сравнению с таковым в контрольном варианте и МАП – Агрофит (эталон).

Рост ассимиляционной поверхности листьев салата в вариантах 2-6 привел к увеличению фотосинтетического потенциала на 20-36% по сравнению с контролем и МАП – Агрофит (эталон), достоверному в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5 (ГТ+КГ+С 3:1), и чистой продуктивности фотосинтеза на 16%-45%, достоверной по отношению к контролю во всех вариантах и в виде выраженной положительной тенденции – в вариантах 3 (ГТ+С), 4 (ГТ+КГ+С 1:1) и 6 (ГТ+КГ+С1:3) по отношению МАП – Агрофит (эталон).

Следует отметить, что растения салата в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5 (ГТ+КГ+С 3:1) имели более низкие показатели чистой продуктивности фотосинтеза, по сравнению с остальными вариантами, кроме контрольного. Известно, что растения с менее интенсивным фотосинтезом могут быть более продуктивными и формировать более развитую ассимиляционную поверхность [18].

Вероятно, увеличение площади листовой поверхности и продуктивности в данных вариантах происходило как за счет усиления минерального питания, так и вследствие большей обводненности тканей листьев по сравнению с вариантами ТАП с нанесением суспензий других составов (табл.2).

Кроме того, растения салата в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5 (ГТ+КГ+С 3:1) имели более низкие показатели удельной поверхностной площади листа (УППЛ) по отношению к таковым в вариантах 3 (ГТ+С), 4 (ГТ+КГ+С 1:1) и 6 (ГТ+КГ+С 1:3) (табл.1).

Известно, что УППЛ и обводненность листьев находятся в обратной зависимости. Чем ниже УППЛ и выше обводненность, тем меньше затраты органического вещества на построение единицы площади листа [19].

Таким образом, листья растений салата на ТАП в вариантах 2 (ГТ+КГ) и 5 (ГТ+КГ+С 3:1) отличались большей суммарной площадью, лучшей обводненностью тканей, более низкой УППЛ и более высокой продуктив-

ностью среди вариантов ТАП с нанесением суспензий различного состава.

Увеличение значений УППЛ и снижение обводненности листьев салата при его выращивании на ТАП с максимальным содержанием органической компоненты – сапропеля (ГТ+С, ГТ+КГ+С 1:1 и ГТ+КГ+С 1:3) не оказало отрицательного воздействия на ростовые процессы и фотосинтез.

Именно в этих вариантах установлены наиболее высокие значения содержания сухого вещества в листьях и чистой продуктивности фотосинтеза (табл.1, 2). Очевидно, стимуляция роста растений в вариантах 3 (ГТ+С), 4 (ГТ+КГ+С 1:1) и 6 (ГТ+КГ+С 1:3) преимущественно обусловлена усилением процессов обмена и поступления необходимых растениям элементов питания в надземную часть (табл.3).

При анализе элементного состава растений салата установлено достоверное увеличение содержания по отношению к контролю:

- калия на 14-17% и кальция на 27-35% в вариантах 2 (ГТ+КГ), 4 (ГТ+КГ+С 1:1) и 5 (ГТ+КГ+С3:1);
- цинка на 29-53% в вариантах 3 (ГТ+С) и 6 (ГТ+КГ+С 1:3);
- фосфора на 17% и цинка на 17% в варианте МАП Агрофит (эталон).

Наблюдалась тенденция к увеличению содержания меди на 7% в варианте 3 (ГТ+С).

По содержанию азота, фосфора и магния значимых различий между вариантами с ТАП не выявлено. Следует выделить достоверно отличающееся, более низкое содержание меди на 12-27% в вариантах 2 (ГТ+КГ), 4 (ГТ+КГ+С 1:1), 5 (ГТ+КГ+С 3:1) и 7 Агрофит (эталон) и марганца - на 17%-62% в вариантах 3-7.

Максимальное содержание железа отмечалось в контроле и МАП – Агрофит (эталон). Показано, что поступление железа в растения способствует увеличению их осмотического потенциала, и, как следствие, обводненности тканей листьев за счет поступления воды в клетки с повышенным осмотическим потенциа-

Таблица 3. Показатели качества растительной продукции салата сорта Тайфун при выращивании на различных по составу тонкослойных аналогах почвы и малообъемном аналоге почвы Агрофит в регулируемых условиях интенсивной светокультуры
 Table 3. Indicators of the quality of plant production of lettuce of the Taifun variety when grown on thin-layer soil analogs of different composition and a low-volume soil analogue «Agrophyte» in controlled conditions of intensive artificial-light culture

Вариант КС**	1 (ГТ)	2 (ГТ+КГ)	3 (ГТ+С)	4 (ГТ+КГ+С 1:1)	5 (ГТ+КГ+С 3:1)	6 (ГТ+КГ+С 1:3)	7 Агрофит (эталон)
Наименование показателя							
Азот, % а.с.в.	4,01	3,68	3,81	3,82	3,69	3,66	3,88
Фосфор, % а.с.в.	0,69	0,69	0,66	0,66	0,67	0,61	0,81
Калий, % а.с.в.	6,83	7,98*	6,60	6,95	7,81*	6,38	7,01
Кальций, % а.с.в.	1,72	2,32*	1,67	2,18*	2,28*	1,61	1,88
Магний, % а.с.в.	0,53	0,56	0,50	0,57	0,56	0,49*	0,35
Медь, мг/кг а.с.в.	3,56	2,60*	3,81	3,13	2,61*	3,36	3,04
Цинк, мг/кг а.с.в.	48,20	35,50*	73,50*	42,30	32,40*	62,40*	56,2
Кобальт, мг/кг а.с.в.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Железо, мг/кг а.с.в.	241,00	235,20	185,9	219,10	231,90	196,90	230,1
Марганец, мг/кг а.с.в.	90,50	86,20	61,70*	73,8	75,0	66,40*	56,5*
Свинец, мг/кг а.с.в.	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Кадмий, мг/кг а.с.в.	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Моносахариды, % а.с.в.	7,86	7,55	7,69	7,65	7,62	7,63	8,38
Дисахариды, % а.с.в.	2,90	3,72*	4,07*	4,14*	3,87*	4,20*	4,88*
Сумма сахаров, % а.с.в.	10,76	11,27	11,76*	11,55	11,49	11,83*	13,26*
Нитраты, мг/кг	2005,00	1689,00*	1843,00*	1813,00*	1745,00*	1858,00*	1751*

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

лом [20]. Данные выводы согласуются с результатами исследований (табл.2, 3).

Очевидно, что установленные в контрольном варианте ТАП (гидрофильная ткань) более низкие значения по росту и продуктивности (табл.1) связаны с отсутствием дополнительного минерального и/или органического питания по сравнению с вариантами ТАП, где имеются источники таких веществ – КГ и/или С.

Различия в КС отразились на накоплении сахаров растениями салата. Так, по сумме сахаров достоверное увеличение на 23% по сравнению с контролем установлено в варианте 7 - МАП – Агрофит (эталон), по содержанию дисахаров – во всех исследуемых вариантах (на 28-68%). Содержание тяжелых металлов и нитратов не превышало ПДК во всех вариантах.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение тонкослойных аналогов почвы различного состава оказало значимое влияние на продукционный процесс растений салата в условиях интенсивной светокультуры.

Установлена положительная тенденция увеличения высоты растений, числа листьев и достоверный рост сырой массы на 25-35%, сухой массы на 54-80% и процента сухого вещества на 16-36% по сравнению с контролем (ТАП гидрофильная ткань).

Выявлено увеличение площади листьев и фотосинте-

тического потенциала на 20-36%, с максимумами значений в вариантах ТАП с нанесением суспензий на основе кембрийской глины (ГТ+ГК; ГТ+КГ+С+3:1) по отношению к контролю и МАП – Агрофит,

Отмечены достоверный рост (на 16-45%) чистой продуктивности фотосинтеза во всех исследуемых вариантах выращивания растений на ТАП с суспензиями КГ и /или С по сравнению с контрольным ТАП и выраженная положительная тенденция к более высоким значениям данного показателя в вариантах ТАП на основе сапропеля, 3 (ГТ+ГК; ГТ+КГ+С+ 3:1); 4 (ГТ+КГ+С 1:1) и 6 (ГТ+КГ+С 1:3) по сравнению с МАП – Агрофит (эталон).

Показано, что стимуляция роста растений салата и увеличение его продуктивности преимущественно обусловлены: в вариантах ТАП на основе кембрийской глины и с максимальным ее содержанием в суспензиях (ГТ+ГК; ГТ+КГ+С+ 3:1) – дополнительным обогащением трофической среды растений элементами минерального питания; в вариантах ТАП на основе сапропеля и с максимальным его содержанием в суспензиях (ГТ+С, ГТ+КГ+С 1:1, ГТ+КГ+С 1:3) – усилением процессов обмена.

Установлены более низкие значения роста и продуктивности растений салата в варианте МАП – Агрофит (эталон) по сравнению с вариантами ТАП с нанесением суспензий различного состава.

Определены вероятные причины более низкой продуктивности растений салата в контрольном варианте

ТАП, связанные с отсутствием обогащения трофической среды дополнительным минеральным и/или органическим питанием.

Установлено, достоверное или в виде положительной тенденции увеличение калия на 14–17%, кальция на 27–35% в растениях салата, выращенных на ТАП в вариантах 2 (ГТ+КГ), 4 (ГТ+КГ+С1:1) и 5 (ГТ+КГ+С3:1); цинка на 29–53% – в вариантах 3 (ГТ+С) и 6 (ГТ+КГ+С1:3); фосфора на 17% и цинка на 17% – в варианте МАП – Агрофит(эталон) по отношению к контролю (ТАП ГТ).

Показано достоверное увеличение дисахаров на 28–68% в листьях салата во всех вариантах по сравнению с контролем. Содержание тяжелых металлов и нитратов

не превышало ПДК в растениях во всех исследованных вариантах.

Учитывая требование экологической безопасности и ресурсосбережения, выращивание растений салата на тонкослойных корнеобитаемых средах является более предпочтительным при производстве зеленых культур в фитотехкомплексах различного типа с искусственным климатом, включая районы Арктики и Антарктики, так как исключается необходимость утилизации использованных субстратов, загрязняющих окружающую среду.

Все исследуемые тонкослойные аналоги почвы могут быть рекомендованы для выращивания листового салата в культивационных сооружениях защищенного грунта, 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>
Людмила Матвеевна Аникина – кандидат биологических наук, ведущий инженер ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0001-5217-174x>, lanikina_yandex.ru
Юрий Викторович Хомяков – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории биохимии почвенно-растительных систем ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0002-9149-3247>
Виталий Евгеньевич Вертебный – старший научный сотрудник ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5949>
Виктория Игоревна Дубовицкая – научный сотрудник ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0003-2410-5547>
Гаянэ Геннадьевна Панова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом ФГБНУ АФИ, <https://orcid.org/0000-0002-1132-9915>

About the authors:

Olga R. Udalova – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3521-0254>
Lyudmila M. Anikina – Cand. Sci. (Biology), Leading Engineer, <https://orcid.org/0000-0001-5217-174x>
Yuriy V. Khomyakov – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9149-3247>
Vitalii E. Veretebny – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5949>
Viktoria I. Dubovitskaya – Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2410-5547>
Gayane G. Panova – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1132-9915>

• Литература

- 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 and technical basis year-round obtaining high yields of quality plant products under artificial light. *Reports of the Academy of Agricultural Sciences*. 2015;(4):17-21.
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (ed.). Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. *Academic press*, 2019. 489 p.
- Al-Kodmany Kh. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*. 2018;(8):24.
- Черноусов И.Н., Панова Г.Г., Удалова О.Р., Александров А.В. Патент РФ на полезную модель № 189309 «Фитотехкомплекс для выращивания растений». 2019. Бюл. №15.
- Ермаков Е.И. Методология панопоники как основы защищенного грунта ноосферного уровня. *Аграрная наука*. 2001;(2):46-49.
- Sposito G. The Chemistry of Soils. *New York: Oxford University Press*, 2008. 342 p.
- Новикова Ю.А., Корсаков В.Г. Влияние условий модификации на структуру и функциональный состав поверхности кембрийской глины. *Журнал прикладной химии*. 2003;76(4):556-560.
- Аникина Л.М., Мухоморов В.К., Удалова О.Р. Выращивание растений томата на тонкослойном аналоге почвы и исследование колебательных процессов водноминерального обмена растений в онтогенезе. *Агрофизика*. 2014;4(16):11-27.
- Ермаков Е.И., Желтов Ю.И., Мильто Н.Е., Кучеров В.И. Почвогрунт для выращивания растений «Агрофит». Патент №2081555 РФ. БИ №17. 1997.
- Чесноков В.А., Базырина Е.Н., Бушуева Т.М. Выращивание растений без почвы. *Изд. ЛГУ*, 1960. 170 с.
- Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. *Л. Агропромиздат* 1987. 429 с.
- Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. *М., Агропромиздат*, 1990. 271 с.
- Ничипорович А.А. Фотосинтез и продуктивный процесс. *М: Наука*, 1988. 276 с.
- Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01", 06.11.2001.
- Шлепетинский А.Ю., Федорова-Семенова Т.Е., Мельник Е.А. Сапропель – природный ресурс экологически чистого органического сырья. *Журнал. Фундаментальные исследования*. 2006;(10):80-80.
- Суханова И.М., Яппаров И.А., Газизов Р.Р., Бикинина Л.М., Сидоров В.В., Нуртдинова Г.Х. Действие органо-минеральных суспензий и наносуспензий на структуру урожая и содержания зольных элементов. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2018;(2):23-34.
- Аникина Л.М., Удалова О.Р., Судakov В.Л., Шибанов Д.В., Эзерина О.В. Исследование влияния водорастворимого органического вещества на эффективность использования в регулируемых условиях почвоподобных сред нового типа. *Овощеводство: сб. науч. трудов. НАН Беларуси; РУП «Институт овощеводства»*. Минск. 2008;(15):112-118.
- Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. *М.: Наука*, 1981. 196 с.
- Иванов Л.А., Иванова Л.А., Ронжина Д.А. Закономерности изменения удельной плотности листьев у растений Евразии вдоль градиента аридности. *Доклады Академии наук*. 2009;428(1):135-138.
- Панова Г.Г., Шилова О.А., Николаев А.М., Коваленко А.С., Удалова О.Р., Аникина Л.М., Журавлева А.С., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Дубовицкая В. И. О влиянии наночастиц оксида железа на растения в вегетативный период развития. *Агрофизика*. 2019;(3):40-49.

• References

- 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 and technical basis year-round obtaining high yields of quality plant products under artificial light. *Reports of the Academy of Agricultural Sciences*. 2015;(4):17-21.
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (ed.). Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. *Academic press*, 2019. 489 p.
- Al-Kodmany Kh. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*. 2018;(8):24.
- Chernousov I.N., Panova G.G., Udalova O.R., Aleksandrov A.V.. Patent for useful model No. 189309 "Phytotechcomplex for growing plants". 2019. *Bul. No. 15*. (In Russ.)
- Ermakov E.I. Methodology of panoponics as the basis of protected soil of the noosphere level. *Agrarian science*. 2001;(2):46-49. (In Russ.)
- Sposito G. The Chemistry of Soils. *New York: Oxford University Press*, 2008. 342 p.
- Novikova Yu.A., Korsakov V.G. Influence of modification conditions on the structure and functional composition of the Cambrian clay surface. *Journal of applied chemistry*. 2003;76(4):556-560 (In Russ.)
- Anikina L.M. Mukhomorov V.K., Udalova O.R. Growing tomato plants on thin-layer soil analogues and research of vibrational processes of water-mineral exchange of plants in ontogenesis. *Agrophysics*. 2014;4(16):11-27. (In Russ.)
- Ermakov E.I., Zheltov Yu.I., Miltto N.E., Kucherov V.I. Soil for growing plants "Agrofit"// Patent No. 2081555 of the Russian Federation. BI #17. 1997. (In Russ.)
- Chesnokov V.A., Bazyrina, E.N., Bushueva, T.M. Growing plants without soil. *Publishing house LSU*, 1960. 170 p. (In Russ.)
- Ermakov A.I. Methods of biochemical research of plants. *L. Agropromizdat*. 1987. 429 p. (In Russ.)
- Tret'yakov N.N. Workshop on plant physiology. *M., Agropromizdat*, 1990. 271 p. (In Russ.)
- Nichiporovich A.A. Photosynthesis and productive process. *M: Science*, 1988. 276 p. (In Russ.)
- Hygienic requirements for food safety and nutritional value. SanPiN 2.3.2.1078-01", 06.11.2001. (In Russ.)
- Shlepetinsky A.Yu., Fedorova-Semenova T.E., Melnik E.A. Sapropel – a natural resource of environmentally friendly organic raw materials. *Journal Fundamental study*. 2006;(10):80-80. (In Russ.)
- Sukhanova I.M., Yapparov I.A., Gazizov R.R., Bikina L.M., Sidorov V.V., Nurtidinova G.H. Effect of organo-mineral suspensions and nanosuspensions on the structure of the crop and the content of ash elements. *Bulletin of Perm regional research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*. 2018;(2):23-34. (In Russ.)
- Anikina L.M., Udalova O.R., Sudakov V.L., Shibanov D.V., Ezerina O.V. investigation of the influence of water-soluble organic matter on the efficiency of using new-Type soil-like media under regulated conditions. *Vegetable growing: collection of scientific works. National Academy of Sciences of Belarus; RUE "Institute of vegetable growing"*. Minsk. 2008;(15):112-118. (In Russ.)
- Mokronosov A.T. Ontogenetic aspect of photosynthesis. *Moscow: Nauka*, 1981. 196 p. (In Russ.)
- Ivanov L.A., Ivanova L.A., Ronzhina D.A. Regularities of changes in the specific density of leaves in plants of Eurasia along the aridity gradient. *Reports of the Academy of Sciences*. 2009;428(1):135-138. (In Russ.)
- Panova G.G., Shilova O.A., Nikolaev A.M., Kovalenko A.S., Udalova O.R., Anikina L.M., Zhuravleva A.S., Khomyakov Yu.V., Veretebny V.E., Dubovitskaya V.I. on the effect of iron oxide nanoparticles on plants during the vegetative period of development. *Agrophysics*. 2019;(3):40-49. (In Russ.)