

Научная статья

УДК 58.084.1

DOI: 10.31857/S0869769825010012

EDN: HINDDO

Влияние почвенного состава на рост и развитие растений базилика

Ю. Н. Кульчин, С. О. Кожанов✉, А. С. Холин, Е. П. Субботин,
Н. И. Субботина

Юрий Николаевич Кульчин

академик РАН, доктор физико-математических наук

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

kulchin@iacp.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8750-4775>

Сергей Олегович Кожанов

младший научный сотрудник

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

kozhanov_57@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-2629-3521>

Александр Сергеевич Холин

научный сотрудник

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

a_kholin@dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9751-5136>

Евгений Петрович Субботин

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

s.e.p@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8658-3504>

Наталья Ивановна Субботина

младший научный сотрудник

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

sale789@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0945-3877>

Аннотация. В работе исследуется развитие растений базилика *Ocimum basilicum* L. в зависимости от состава почвенной смеси при выращивании с помощью светодиодного излучения в закрытых условиях. Изучалось влияние на растения комбинаций удобрений Кристалон и Цион с песком. Показано, что использование комплексного удобрения Кристалон приводит к наибольшим значениям морфометрических параметров растений базилика. Выращенные с его помощью растения имели значения массы надземной части растений в 45 раз большие, чем контрольные. Применение удобрения Цион привело к увеличению этого параметра относительно контроля в 11 раз. Добавление в смеси песка способствовало снижению массы надземной части рас-

тений базилика, выращенных в почвенной смеси с Кристаллоном, на 15%, Ционом – на 37%, а в почвенной смеси без добавок – на 7%. Использование удобрения Кристалон позволило вырастить растения базилика, имеющие на 35-й день массу надземной части, равную 14 г, что сравнимо с результатами, получаемыми при помощи беспочвенных методов. Данный результат показывает перспективность использования удобрения Кристалон для выращивания данной культуры в короткие сроки в почве, сохраняя все преимущества данного метода.

Ключевые слова: базилик, почвенная смесь, песок, удобрение, морфометрические характеристики, Кристалон, Цيون

Для цитирования: Кульчин Ю.Н., Кожанов С.О., Холин А.С., Субботин Е.П., Субботина Н.И. Влияние почвенного состава на рост и развитие растений базилика // Вестн. ДВО РАН. 2025. № 1. С. 5–18. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769825010012>

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН (тема NFWFW-2024-0004).

Original article

The influence of soil composition on the growth and development of basil plants

Yu. N. Kulchin, S. O. Kozhanov, A. S. Kholin, E. P. Subbotin, N. I. Subbotina

Yuriy N. Kulchin

Academician of RAS, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics
Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia
kulchin@iacp.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8750-4775>

Sergey O. Kozhanov

Junior Researcher
Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia
kozhanov_57@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-2629-3521>

Aleksandr S. Kholin

Researcher
Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia
a_kholin@dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9751-5136>

Evgeniy P. Subbotin

Candidate of Physics and Mathematics, Leading Researcher
Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia
s.e.p@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8658-3504>

Natalia I. Subbotina

Junior Researcher
Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia
sale789@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0945-3877>

Abstract. The paper studies the development of basil plants (*Ocimum basilicum* L.) depending on the composition of the soil mixture when grown using LED radiation in closed conditions. The effect of combinations of Crystalon and Zion fertilizers with sand on plants was studied. It was shown

that the use of the complex Crystalon fertilizer leads to the highest values of morphometric parameters of basil plants. The plants grown with its help had values of the mass of the above-ground part of the plants 45 times greater than the control. The use of Zion fertilizer led to an increase in this parameter relative to the control by 11 times. The addition of sand to the mixture contributed to a decrease in the mass of the above-ground part of basil plants grown in a soil mixture with Crystalon by 15%, Zion 37%, and in a soil mixture without additives by 7%. The use of Crystalon fertilizer made it possible to grow basil plants with an above-ground mass of 14 g on the 35th day, which is comparable to the results obtained using soilless methods. This result shows the potential of using Crystalon fertilizer for growing this crop in the soil in a short time, while maintaining all the advantages of this method.

Keywords: basil, soil mixture, sand, fertilizer, morphometric characteristics, Crystalon, Zion

For citation: Kulchin Yu.N., Kozhanov S.O., Kholin A.S., Subbotin E.P., Subbotina N.I. The influence of soil composition on the growth and development of basil plants. *Vestnik of the FEB RAS*. 2025;(1):5–18. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769825010012>

Funding. The research was carried out within the state assignment of IACP FEB RAS (Theme FFWF-2024-0004).

Введение

Для выращивания растений почва является самой доступной питательной средой, к росту в которой они приспосабливались в течение миллионов лет. Она обеспечивает растения питательными веществами, водой, воздухом и пр. Однако вследствие различных факторов почва не может быть идеальной, а ее параметры сложно контролируемы. На этом фоне системы, не нуждающиеся в почвенных смесях и полностью контролируемые человеком, постоянно развиваясь, все больше дают о себе знать. Они способны более рационально использовать водные и земельные ресурсы, а за счет поддержания на оптимальном уровне в питательных средах необходимых веществ давать больший урожай в более короткие сроки. К таким системам можно отнести гидропонику, аэропонику и аквапонику [1]. В контролируемых средах в течение всего года может осуществляться непрерывное производство [2, 3].

Достижения в области питания растений и орошения посредством современных подходов к внесению удобрений и технологий автоматизации в последние годы способствовали значительному развитию гидропоники [4]. В работах [5, 6], к примеру, установлено, что растения базилика, выращенные на гидропонике, по сравнению с выращенными в почвогрунте обладают более значительным антиоксидантным действием ввиду более высокого содержания витаминов С и Е, липоевой и розмариновой кислот. В работе [7] беспочвенный метод выращивания по сравнению с традиционным способствовал более высоким темпам роста растений полевого салата и руколы. С другой стороны, в работе [8] авторы установили, что при выращивании растений руколы на гидропонике, аэропонике и в грунте в тепличных условиях растения имеют различные показатели содержания специализированных метаболитов, и у каждого из способов есть свои преимущества. Например, говорится о том, что почвенный способ выращивания способствует значительному накоплению двух антиоксидантных флавонолов (кемпферола и диглюкопиранозидов изорамнетина) в молодых листьях. Это можно использовать для модулирования органолептических свойств растений, таких как сильный аромат и острый вкус. В работе [6] отмечается, что растения базилика, культивируемые традиционным методом, более устойчивы к потемнению при хранении и снижению срока годности, а в работе [9] установлено, что при выращивании ячменя при высокой концентрации солей снижение роста было больше при выращивании растений на гидропонике, чем в почвогрунте при аналогичных значениях электропроводности. Подобного рода особенности при выращивании растений с помощью различных систем не позволяют в полной мере говорить об абсолютном превосходстве беспочвенных технологий. В настоящей работе мы исследуем возможности оптимизации состава почвенных смесей, способных ускорить вегетацию салатных растений, на примере базилика.

Базилик душистый *Ocimum basilicum* L., считающийся основной эфирной культурой в мире, является однолетним травянистым растением из рода яснотковые (Lamiaceae)

происхождением из Индии и Азии [10]. *O. Basilicum* в качестве объекта исследований культивируется далеко за пределами естественного произрастания и используется в коммерческих целях для получения зеленых ароматных листьев, используемых свежими либо высушенными в качестве ароматизаторов или пряностей [10]. Базилик служит богатым источником эфирных масел, которые уже много лет широко применяются в кондитерской промышленности [11].

Ввиду того что базилик характеризуется сравнительно недолгим периодом роста и может иметь потребительский вид как микрозелень уже примерно через 1–2 недели, а также учитывая его небольшие размеры, выгодным для фермеров является способ выращивания его в теплицах при помощи искусственного освещения. Однако, как и любой другой вид растений, базилик имеет свои особенности параметров освещения. В работе [12] установлено, что среди интенсивностей от 160 до 310 мкмоль/с·м² интенсивность белого света 224 мкмоль/с·м² была оптимальной для базилика. Согласно работе [13] при средней температуре выращивания 25 °С на гидропонной установке наилучшими интенсивностями для выращивания базилика при белом свете являются 500 и 600 мкмоль/с·м². В работе [14] также отмечена оптимальная интенсивность 500 мкмоль/с·м². В связи с этим в настоящей работе использован белый свет с интенсивностью 500 мкмоль/с·м².

Почвенный способ выращивания по сравнению с беспочвенными, как правило, приводит к более низким значениям характеристик развития растений, однако при помощи различных добавок результаты могут быть значительно улучшены. В работе [15] установлено, что применение удобрения (N:P:K, % = 8:5:8) способствовало на 30-й день набору сырой массы растений базилика, равной 8 г, и среднего числа листьев, равного 11. В работе [16] лучшему развитию растений базилика при культивировании в супеси способствовало добавление аммония, глицина и глутаминовых кислот, сырая масса растений через 12 недель составила в среднем 27 г. В работе [17] при выращивании растений базилика в почвенной смеси (песок:ил:глина, % = 77:15:8) с добавкой биоугля на 35-й день получены растения с сырой массой побегов 1,5 г и средним количеством листьев 22. В работе [18] при культивировании в почвогрунте (торф:песок, % = 50:50) с мицеллодобавкой у растений базилика на 35-й день получены значения сырой массы 18 г, а числа листьев 36.

В Институте физико-органической химии НАН Беларуси (ИФОХ НАН) для выращивания растений в закрытых системах разработаны ионообменные питательные субстраты [19]. Наиболее легко усваиваемые растениями катионы находятся в ионообменном состоянии в виде подвижных ионов K⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺ [20]. Ионообменные субстраты в малых пропорциях способны оказывать положительный эффект на рост растений [19] и набор корневой массы [21]. Важным свойством ионообменных субстратов является их способность восстанавливать либо увеличивать плодородие почв [19, 21, 22]. В работах [23, 24] отмечено положительное действие на урожай и качество зерна растений кукурузы водорастворимого комплексного удобрения Кристалон (N:P:K, % = 18:18:18), применяемого при любых системах полива и для внекорневой подкормки. В работе [25] отмечается положительное воздействие данного удобрения на развитие саженцев вишни.

Цель настоящей работы заключалась в совершенствовании состава почвенной смеси для выращивания зелени в закрытых помещениях для промышленного производства на примере культивирования растений базилика с использованием удобрений Цион и Кристалон.

Материал и методы

Условия роста и почвенные смеси

Эксперимент проводился в изолированных от внешнего светового воздействия фитобоксах в лаборатории Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия. Использовались 2 фитобокса, разделенные на 3 секции. В каждой секции в горшках (Ш × В: 9 × 10 см, ООО «Сады Приморья», Уссурийск, Россия) размещалось по 12 растений. Характеристики почвенных смесей приведены в таблице. Применялся теплый белый свет с пиком 580 нм и интенсивностью 500 мкмоль/с·м². Спектры излучения

Характеристики почвенных смесей

№	Состав почвенной смеси	Соотношение, %	Гранул. состав
1	Почва (Контроль, К)	100	Средний суглинок
2	Почва + Цион (Ц)	95:5	То же
3	Почва + КУ (У)	100	-«-
4	Почва + Песок (П)	75:25	Легкий суглинок
5	Почва + Песок + Цион (ПЦ)	70:25:5	То же
6	Почва + Песок + КУ (ПУ)	75:25	-«-

измерялись спектрофотометром PG200N UPRtek (Тайвань). В качестве основы для почвенных смесей использовался почвогрунт «Универсальный»: N:P:K, мг/л = 160–240:145–215:180–290; Mg – 135 мг/л, гуминовые вещества – 35 мг/л, pH водного раствора – 5,5–7 (ООО «Терра мастер», Новосибирск, Россия). Для получения смеси почвогрунта и песка был взят универсальный кварцевый песок фракцией 0,8–2,0 мм (ООО «Копия», Домодедово, Россия). В качестве удобрений использовались ионитный питательный субстрат Цион универсальный с содержанием элементов N1:P1:K1, мг/кг: 4960:4730:11280, pH 6,9 (ООО «Экохимпром», Петровичи, Беларусь), а также комплексное удобрение (КУ) Кристалон специальный, имеющее следующее содержание элементов, %: N:P:K – 18:18:18, Mg – 3, S – 5, Fe – 0,07, Mn – 0,04, B – 0,025, Cu – 0,01, Mo – 0,004, Zn – 0,025 (ЗАО «Фертика», Москва, Россия). Комплексное удобрение вносилось в растворенном виде при поливе в пропорции (0,002 г/м).

Растительный материал

Для эксперимента использовались семена базилика сорта Роза производства Enza Zaden (Нидерланды). Семена замачивались в дистиллированной воде в течение трех дней. Затем проросшие семена высаживались в горшки, заполненные почвенными смесями различных пропорций согласно таблице. В каждой секции размещалось по 12 горшков. Температура поддерживалась на уровне 21 ± 2 °C при относительной влажности $70 \pm 10\%$. Полив осуществлялся раз в три дня.

Характеристики роста и развития

Растения базилика имеют потребительский вид с наиболее оптимальными параметрами размеров листьев, как правило, на 30–40-й день выращивания. В работах [15,17,18] измерения также проводились в данные сроки. Исходя из этого, измерения характеристик растений базилика в нашем исследовании проводились на 35-й день после высаживания проросших семян. Анализировались средние значения измерений параметров на выборке из 12 растений. Число, общая площадь (см²), средняя площадь (см²), средняя ширина, длина и периметр листьев (см) определялись при помощи сканера Epson Perfection V850 Pro (Epson, Япония) и специализированного программного обеспечения Win Folia Pro 2020 (Regent Instruments, Великобритания). Содержание сухого вещества, % (C), определялось согласно формуле (1) [26, 27]

$$C = \frac{W_d}{W_f} \times 100, \quad (1)$$

где W_d – масса сухого растения/корня, W_f – масса сырого растения/корня. Массы сырой и сухой надземной части растения и корней получены с использованием электронных весов Ohaus

EX225/AD (Ohaus Corporation, США) (0,0001 г). Продуктивность на лист (P) вычислялась согласно формуле (2) [26, 28]

$$P = C \frac{W_f}{100} / N, \quad (2)$$

где N – число листьев.

Продуктивность корней (P_k) вычислялась согласно формуле (3)

$$P_k = C_k \frac{W_f}{100}, \quad (3)$$

где C_k – содержание сухого вещества корней.

Измерение флуоресценции хлорофилла в листьях базилика проводили на импульсном флуориметре Hansatech FMS 1+ в течение 1 дня в световых боксах. Для анализа наличия стресса у растений использовался параметр флуоресценции хлорофилла F_v/F_m , который представляет собой отношение переменной к максимальной флуоресценции после темновой адаптации и рассчитывается как

$$\frac{F_v}{F_m} = \frac{F_m - F_0}{F_m}, \quad (4)$$

где F_m – максимальная, а F_0 – минимальная флуоресценция хлорофилла.

По завершении эксперимента у каждого растения из 6 вариантов выращивания были измерены: число, длина, ширина, площадь, периметр всех листьев; сырая и сухая массы надземной части растений и корней; сухое вещество, а также продуктивность.

Результаты

В результате эксперимента растения, выращенные на почвенных смесях с добавлением при поливе комплексного удобрения Кристалон (У, ПУ), оказались наиболее развитыми на 35-й день. При этом внешний вид растений из групп У и ПУ был схож (рис. 1). Растения, выращенные на почве с добавлением удобрения Цион, оказались менее развитыми и значительно уступали группам с Кристалоном. Контрольные, а также образцы из группы П были наименее развитыми.

Средние значения высоты растений, длины стебля, площади и количества листьев растений базилика в зависимости от варианта выращивания приведены на рис. 2.

Согласно полученным результатам растения базилика, развивавшиеся при вариантах У и ПУ, были самыми высокими и имели наибольшие значения параметров листьев. Так, при варианте выращивания У на 35-й день растения базилика имели значения средней площади листьев, приходящейся на растение, в 42 раза большие, чем в контроле, а при ПУ – в почти 35 раз. Высота растений при У была в 9,6, а при ПУ в 9 раз больше, чем при К. Добавление песка привело к небольшому снижению значений характеристик листьев, и, например, при варианте У значения количества и площади листьев были на 8 и 16% соответственно больше, чем при ПУ. Почвенная смесь с Ционом (Ц) также способствовала скорому росту растений в сравнении с контролем (К), при котором средняя площадь листьев была в 12 раз, а высота в 5 раз меньше, чем при Ц. Добавление песка в смесь с Ционом привело к большему снижению показателей листьев, чем наблюдалось в варианте с Кристалоном. Различие между Ц и ПЦ составило 35 и 31% в пользу варианта Ц по количеству и площади листьев соответственно. Растения из группы Пи контроля имели наименьшие показатели листьев. Тем не менее, хотя при П количество листьев и увеличилось на 4% относительно К, их средняя площадь, а также высота растений снизились на 16 и 26% соответственно. Характеристики веса, показателей продуктивности и показателя эффективности фотосистемы PSII F_v/F_m растений базилика приведены на рис. 3, 4.

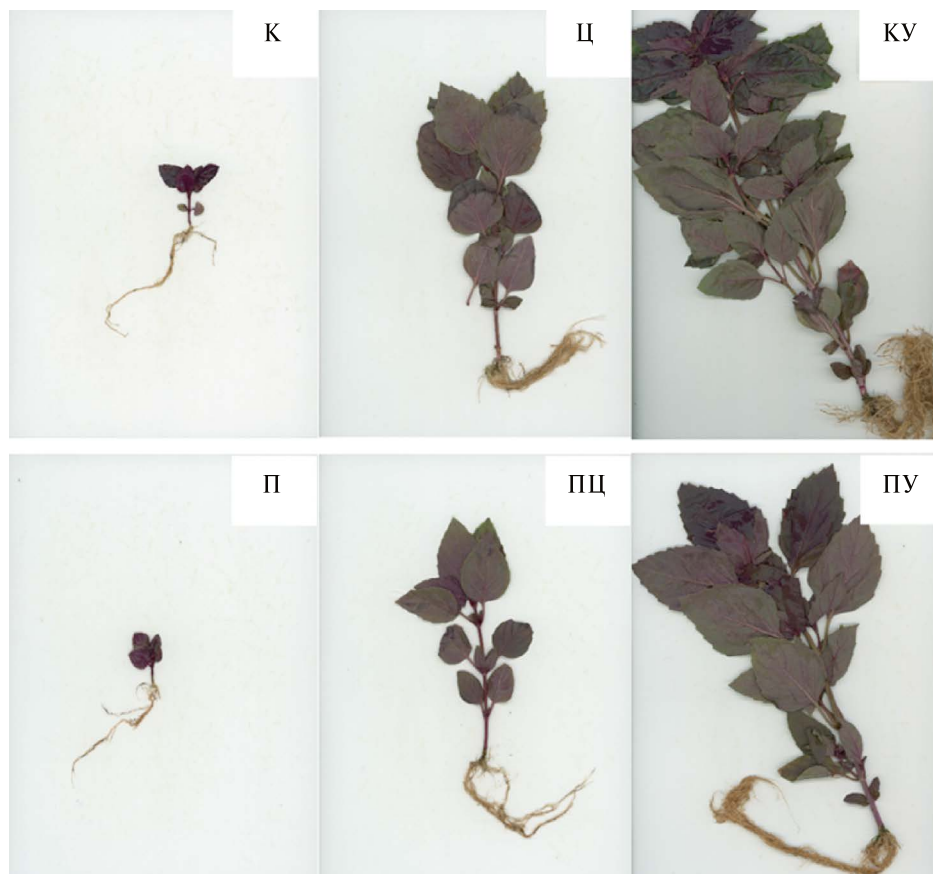


Рис. 1. Растения базилика на 35-й день

Значения массы надземной части и продуктивности были также наибольшими у растений базилика, которые выращивались при вариантах У и ПУ. Так, сырая масса надземной части растений при У и ПУ была больше, чем в контроле, в 45 и 38 раз соответственно. При Ц и ПЦ показатели массы надземной части оказались соответственно в 11 и 8 раз больше контрольных.

При П параметры массы были такие же, как в контроле, лишь немного уступая им (7%). В целом добавление песка в смеси привело к снижению продуктивности и весовых характеристик. Сырая масса надземной части уменьшилась при выращивании при ПУ относительно У на 15%, при ПЦ относительно Ц – на 37% и при П в сравнении с К – на 7%. Добавление песка практически не повлияло на массу корней растений. Уменьшение сырой массы корней растений, выращенных при ПУ, относительно У составило лишь 5%, а при ПЦ относительно Ц – 7%. При варианте П масса корней была такой же, как в контроле. Параметр F_v/F_m , показывающий эффективность работы фотосистемы II, был наивысшим и одинаковым в группах У и ПУ (0,9). Несколько меньше были значения в группах Ц, ПЦ и П – 0,874, 0,860 и 0,859 соответственно. Наименьшим параметр F_v/F_m оказался у растений базилика из контрольной группы (0,827).

Обсуждение

Полученные результаты показали, что удобрение Кристалон лучше всего способствует развитию растений базилика. Растения, которые культивировались при вариантах У и ПУ, на 35-й день имели сырую массу надземной части, соответственно

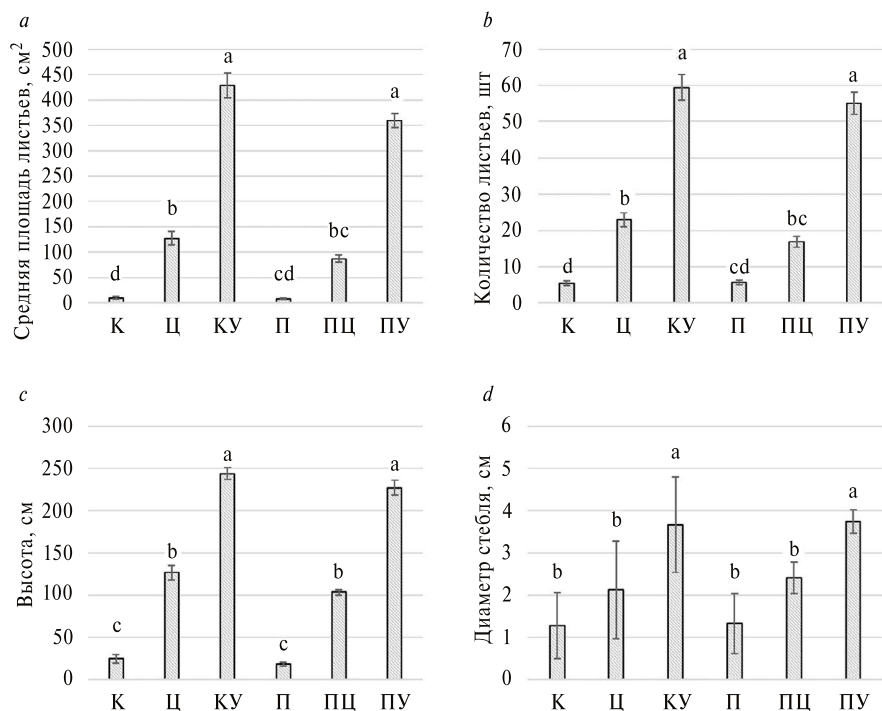


Рис. 2. Значения площади (а) и количества листьев (б), высоты (в) и диаметра стебля (г) растений базилика. Представлены средние значения $\pm$ стандартная ошибка среднего. Буквами обозначены статистически значимые различия между значениями ($p < 0,05$)

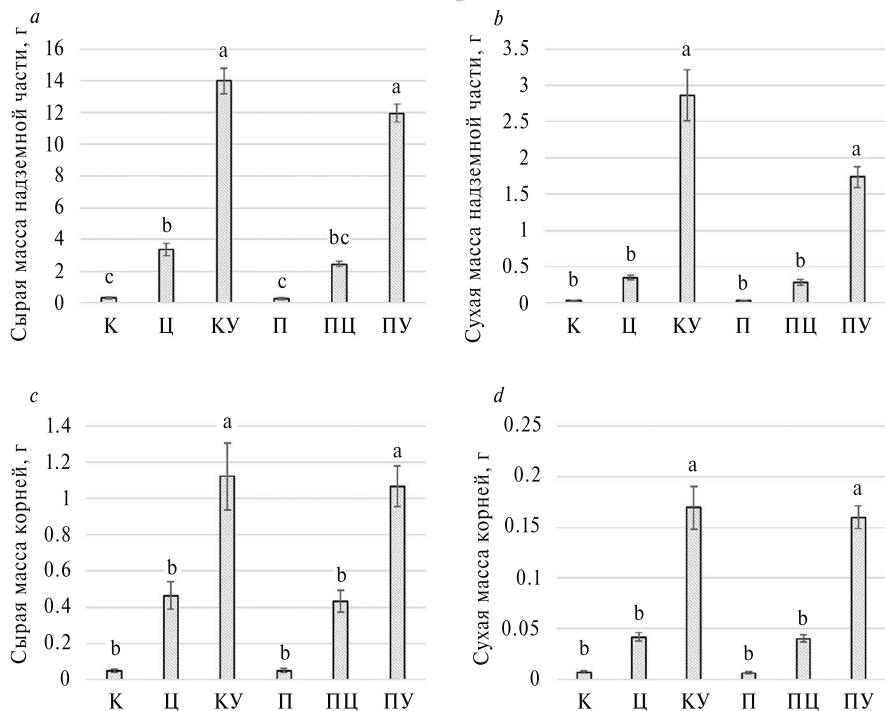


Рис. 3. Значения сырой (а) и сухой (б) массы надземной части и сырой (в) и сухой (г) массы корней растений базилика. Представлены средние значения $\pm$ стандартная ошибка среднего. Буквами обозначены статистически значимые различия между значениями ($p < 0,05$)

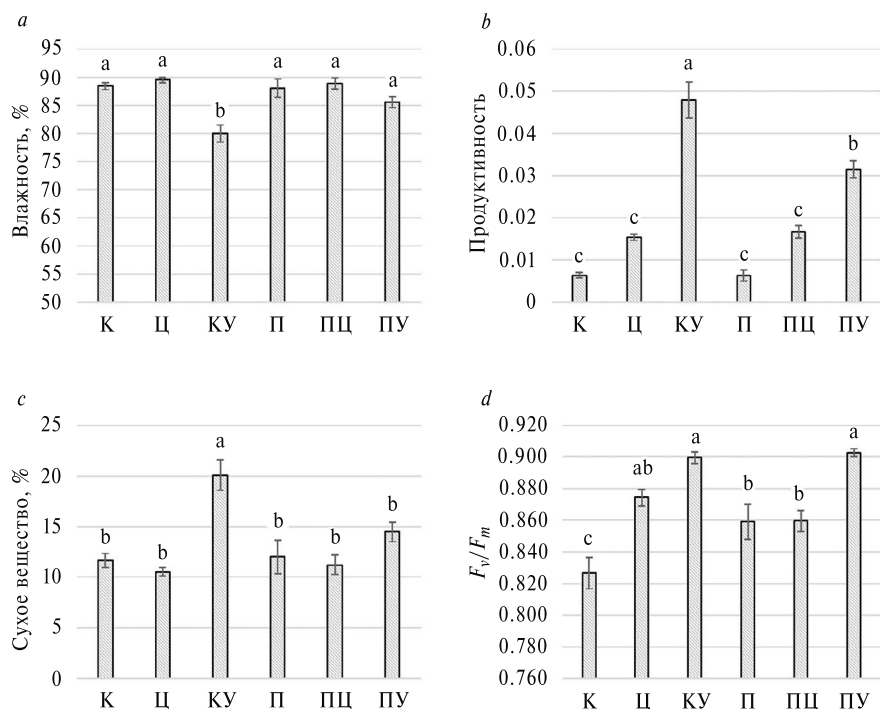


Рис. 4. Значения параметров влажности (a), продуктивности (b), сухого вещества (c) и показателя F_v/F_m (d) растений базилика. Представлены средние значения $\pm$ стандартная ошибка среднего. Буквами обозначены статистически значимые различия между значениями ($p < 0,05$)

в 45 и 38 раз большую, чем контроль, а по площади листьев образцы из данных групп превосходили контроль в 3,7 и 3,5 раза, что согласуется с результатами работ [23–25]. В них утверждается о положительном действии данного удобрения на развитие растений кукурузы, вишни и гороха.

Использование удобрения Цион привело к улучшению показателей роста растений базилика, но в меньшей степени, чем применение Кристалона. В почве с Ционом Ц и ПЦ растения имели сырую массу надземной части, соответственно в 11 и 8 раз большую, чем образцы из контрольной группы. В работе [19] в результате добавления в малоплодородную почву 1% субстрата сырая масса стебля кукурузы увеличилась в среднем на 185%. При сравнении действия двух использованных в работе удобрений видно, что в группах У и ПУ значения сырой массы надземной части растений базилика превосходят значения образцов из Ц и ПЦ примерно в 4–5 раз, а по площади листьев, приходящейся на растение, – в 1,1–1,3 раза. При этом в нашей работе при проведении эксперимента, согласно рекомендациям производителей, было использовано 40 г Кристалона и 170 г Циона на секции У и Ц соответственно. Учитывая более высокую стоимость Циона, применение Кристалона является не только более эффективным, но также и более выгодным.

У растений, выращенных при У и ПУ, показатель флуоресценции хлорофилла F_v/F_m , который определяет эффективность квантового выхода фотосистемы II, также оказался самым высоким – в обеих группах 0,9. Несколько меньшим он был при Ц (0,874) и ПЦ (0,869). Добавление в почву песка сказалось на фотосинтетическом аппарате неоднозначно. Если при У и ПУ значения данного параметра были одинаковыми, то при ПЦ относительно Ц значения данного показателя снизились, а при П относительно контроля увеличились – 0,859 и 0,827 соответственно. Стоит отметить, что листья растений из этих двух последних групп на 35-й день имели довольно малые размеры, вследствие чего их измерение было менее удобным и точным, чем листьев из остальных групп, в результате были несколько большими вариабельность и отклонение данного параметра в группах П и К. В целом значение

параметра F_v/F_m у растений базилика в нормальных условиях, как правило, лежит в пределах 0,8–0,82. В работе [29] данный показатель у контрольных образцов был равен 0,81, в [30] – 0,821, в [31] – 0,82, а в [32] – не более 0,81.

Полученные итоговые значения массы растений базилика при варианте выращивания У, в среднем равные почти 14 г и в 45 раз превышающие контрольные, позволяют говорить о том, что с помощью используемых удобрений нам удалось значительно ускорить развитие растений базилика в почве. Существующие работы, где применялись почвенные и беспочвенные методы выращивания базилика, весьма различны в отношении использованных световых условий, параметров питательных растворов, сортов и пр. Тем не менее можно выделить некоторые из них и сопоставить их усредненные значения для понимания эффективности взятых нами удобрений. Относительно работ по изучению развития растений базилика, выращиваемого в почве, наши результаты оказались одними из лучших. Так, в работе [15] среднее значение сырой массы растений базилика на 30-й день составило 8 г, в работе [17] на 35-й день – 1,5 г, а в [18] также на 35-й день – 18 г. Среди результатов работ по беспочвенному выращиванию базилика можно отметить следующие. В [13], к примеру, за 29 дней при выращивании с помощью гидропонной установки растения базилика смогли достигнуть значения массы листьев 10,7 г, а число листьев в среднем – 43. В работе [33] на гидропонике на 29-й день была получена сырая масса побегов базилика 20 г. В статье [34] через 39 дней развития саженцев экономически значимая сырая масса листьев на аэропонике составила 28 г. В этой же работе при использовании гидропонике и аквапонике были получены примерно одинаковые значения сырой массы листьев, равные приблизительно 20 г. Учитывая сроки развития в нашем эксперименте (35 дней), параметры выращивания, а также различие исследуемых сортов, можно говорить о том, что почва при всех своих прочих преимуществах может использоваться для выращивания растений базилика в тепличных условиях в короткие сроки.

Заключение

В результате работы было показано, что использование удобрений Кристалон и Цион в почвенных смесях позволяет значительно ускорить процесс выращивания растений базилика по сравнению с методом выращивания без удобрений. При этом наискорейшему росту более всего способствовало удобрение Кристалон, которое позволило увеличить значения сырой массы надземной части растений базилика в 45 раз. Добавление Циона в почвенную смесь привело к увеличению этого показателя в 11 раз. Использование в почвенной смеси песка в целом привело к снижению большинства показателей, в том числе сырой массы надземной части. В группах У и ПЦ этот параметр снизился на 15 и 27%. В контрольной группе данный показатель практически не изменился. Сравнение с аналогичными исследованиями по выращиванию растений базилика в тепличных условиях с помощью беспочвенных методов показало перспективную возможность использования удобрения Кристалон для выращивания данной культуры в короткие сроки в почве, сохраняя все преимущества данного метода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bridgwood L. Hydroponics: Soilless gardening explained. Marlborough, UK: Crowood Press, 2003. 141 p.
2. Fussy A., Papenbrock J. An overview of soil and soilless cultivation techniques – chances, challenges and the neglected question of sustainability // *Plants*. 2022. Vol. 11, N9. P. 1153. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>.
3. Geilfus C.M. Controlled environment horticulture. Improving Quality of Vegetables and Medicinal Plants. Cham, Switzerland: Springer, 2019. P. 1–233. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23197-2>.
4. Khan F.A. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture // *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 2018. Vol. 2, N2. P. 59–66. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18010>.

5. Sgherri C., Cecconami S., Pinzino C., Navari-Izzo F., Izzo R. Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil // Food Chemistry. 2010. Vol. 123, N2. P. 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.058>.
6. Maurer D., Sadeh A., Chalupowicz D., Barel S., Shimshoni J.A., Kenigsbuch D. Hydroponic versus soil-based cultivation of sweet basil: impact on plants' susceptibility to downy mildew and heat stress, storability and total antioxidant capacity // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2023. Vol. 103, N15. P. 7809–7815. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12860>.
7. Fontana E., Nicola S. Traditional and soilless culture systems to produce corn salad (*Valerianella olitoria* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.) with low nitrate content // J. Food Agric. Environ. 2009. Vol. 7, N2. P. 405–410.
8. Buitrago-Villanueva I., Barbosa-Cornelio R., Coy-Barrera E. Influence of the Culture System and Harvest Time on the Specialized Metabolite Composition of Rocket Salad (*Eruca sativa*) Leaves // Horticulturae. 2023. Vol. 9, N2. P. 235. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020235>.
9. Tavakkoli E., Rengasamy P., McDonald G.K. The response of barley to salinity stress differs between hydroponic and soil systems // Functional Plant Biology. 2010. Vol. 37, N7. P. 621–633. <https://doi.org/10.1071/FP09202>.
10. Makri O., Kintzios S. *Ocimum* sp. (basil): botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology // J. Herbs, Spices Med. Plants. 2008. Vol. 13, N3. P. 123–150. https://doi.org/10.1300/J044v13n03_10.
11. Голубкина Н.А., Маланкина Е.Л., Соловьёва А.Д., Кошелева О.В., Кривенков Л.В., Добруцкая Е.Г. Аккумуляция селена базиликом огородным (*Ocimum basilicum* L.) // Овощи России. 2014. Т. 1, № 22. С. 42–47.
12. Dou H., Niu G., Gu M., Masabni J.G. Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality // HortScience. 2018. Vol. 53, N4. P. 496–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12785-17>.
13. Beaman A.R., Gladon R.J., Schrader J.A. Sweet basil requires an irradiance of 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ for greatest edible biomass production // HortScience. 2009. Vol. 44, N1. P. 64–67. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI44.1.64>.
14. Sipos L., Balázs L., Székely G., Jung A., Sárosi S., Radácsi P., Csambalik L. Optimization of basil (*Ocimum basilicum* L.) production in LED light environments. A review // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 289. P. 110486. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110486>.
15. Barbi S., Barbieri F., Bertacchini A., Barbieri L., Montorsi M. Effects of different LED light recipes and NPK fertilizers on basil cultivation for automated and integrated horticulture methods // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, N6. P. 2497. <https://doi.org/10.3390/app11062497>.
16. Aghaye Noroozlo Y., Souri M.K., Delshad M. Effects of soil application of amino acids, ammonium, and nitrate on nutrient accumulation and growth characteristics of sweet basil // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019. Vol. 50, N22. P. 2864–2872. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1689249>.
17. Jabborova D., Ma H., Bellingrath-Kimura S.D., Wirthn S. Impacts of biochar on basil (*Ocimum basilicum*) growth, root morphological traits, plant biochemical and physiological properties and soil enzymatic activities // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 290. P. 110518. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110518>.
18. Sabra M., Aboulnasr A., Franken P., Perreca E., Wright L.P., Camehl I. Beneficial root endophytic fungi increase growth and quality parameters of sweet basil in heavy metal contaminated soil // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. P. 1726. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01726>.
19. Chomczyńska M., Zdeb M. The effect of Z-ion Zeolite substrate on growth of *Zea mays* L. as energy crop growing on marginal soil // Journal of Ecological Engineering. 2019. Vol. 20, N9. P. 253–260. <https://doi.org/10.12911/22998993/112482>.
20. Косандрович С.Ю., Ионова О.В., Солдатов В.С. Композитные ионитные субстраты на основе полимерного ионита и природного клиноптилолита // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2017. № 4. С. 7–14.
21. Chomczyńska M., Soldatov V., Wasąg H., Turski M. Effect of ion exchange substrate on grass root development and cohesion of sandy soil // Int. Agrophys. 2016. Vol. 30, N3. P. 293–300. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0095>.

22. Soldatov V., Pawlowski L., Szymanska M., Chomczyńska M., Matusevich V., Wasag H., Machon A., Kowalik H., Kobusinski P. Application of ion exchange substrates Biona for fertilization of depleted soils and bare sand // *Ecological Engineering*. 2001. Vol. 18, N2. P. 227–232.
[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00070-2).
23. Мамиев Д.М., Кумсиев Э.И., Шалыгина А.А. Эффективность биопрепарата Экстрасол и микроудобрения Кристалон на посевах кукурузы // *Горное сельское хозяйство*. 2016. № 1. С. 102–108.
24. Мамиев Д.М., Доева Л.Ю., Мисик Н.А., Тедеева А.А., Шалыгина А.А. Применение биопрепарата Экстрасол и микроудобрения Кристалон на посевах кукурузы // *Земледелие*. 2011. № 2. С. 29–31.
25. Галимов В.Р., Глаз Н.В., Уфимцева Л.В. Развитие саженцев вишни в зависимости от минеральных подкормок и подвойных комбинаций // *Главный агроном*. 2019. № 3.
26. Kulchin Y.N., Bulgakov V.P., Subbotin E.P., Kholin A.S., Subbotina N.I. Monochromatic LEDs Effect on Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Morphogenesis and Productivity // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 2022. Vol. 86. P. S114–S118. <https://doi.org/10.3103/S1062873822700502>.
27. Shipley B., Vu T.-T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts // *New Phytologist*. 2002. Vol. 153. P. 359–364.
<https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00320.x>.
28. Maeda K., Ahn D.-H. Estimation of Dry Matter Production and Yield Prediction in Greenhouse Cucumber without Destructive Measurements // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. P. 1186.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11121186>.
29. Abbasvand E., Hassannejad S., Zehtab-Salmasi S., Alizadeh-Salteh S. Physiological and biochemical responses of basil to some allelopathic plant residues and dodder infestation // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020. Vol. 42. P. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2990-y>.
30. Ghazijahani N., Hadavi E., Jeong B.R. Foliar sprays of citric acid and salicylic acid alter the pattern of root acquisition of some minerals in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. P. 573. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00573>.
31. Roosta H.R., Sajjadinia A.R. Studying the effect of cold stress on green basil, violet basil, tomato and lettuce using chlorophyll fluorescence technique // *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 2010. Vol. 3, N1. P. 1–8.
32. Stetsenko L.A., Pashkovsky P.P., Voloshin R.A., Kreslavski V.D., Kuznetsov V.V., Allakhverdiev S.I. Role of anthocyanin and carotenoids in the adaptation of the photosynthetic apparatus of purple-and green-leaved cultivars of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to high-intensity light // *Photosynthetica*. 2020. Vol. 58, N4. P. 890–901. DOI: 10.32615/ps.2020.048.
33. Piovene C., Orsini F., Bosi S., Sanoubar R., Bregola V., Dinelli G., Gianquinto G. Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture // *Scientia Horticulturae*. 2015. Vol. 193. P. 202–208.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.015>.
34. Pasch J., Appelbaum S., Palm H.W., Knaus U. Growth of basil (*Ocimum basilicum*) in aeroponics, DRF, and raft systems with effluents of African catfish (*Clarias gariepinus*) in decoupled aquaponics (ss) // *AgriEngineering*. 2021. Vol. 3, N3. P. 559–574. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030036>.

REFERENCES

1. Bridgwood L. *Hydroponics: Soilless gardening explained*. Marlborough, UK: Crowood Press; 2003. 141 p.
2. Fussy A., Papenbrock J. An overview of soil and soilless cultivation techniques – chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*. 2022;11(9):1153. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>.
3. Geilfus C.M. Controlled environment horticulture. In: *Improving Quality of Vegetables and Medicinal Plants*. Cham, Switzerland: Springer; 2019. P. 1–233. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23197-2>.
4. Khan F.A. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 2018;2(2):59–66. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18010>.
5. Sgheri C., Cecconami S., Pinzino C., Navari-Izzo F., Izzo R. Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil. *Food Chemistry*. 2010;123(2):416–422.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.058>.
6. Maurer D., Sadeh A., Chalupowicz D., Barel S., Shimshoni J.A., Kenigsbuch D. Hydroponic versus soil-based cultivation of sweet basil: impact on plants' susceptibility to downy mildew and heat stress, stora-

- bility and total antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023;103(15):7809–7815. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12860>.
7. Fontana E., Nicola S. Traditional and soilless culture systems to produce corn salad (*Valerianella olitoria* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.) with low nitrate content. *J. Food Agric. Environ.* 2009;7(2):405–410.
 8. Buitrago-Villanueva I., Barbosa-Cornelio R., Coy-Barrera E. Influence of the Culture System and Harvest Time on the Specialized Metabolite Composition of Rocket Salad (*Eruca sativa*) Leaves. *Horticulturae*. 2023;9(2):235. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020235>.
 9. Tavakkoli E., Rengasamy P., McDonald G.K. The response of barley to salinity stress differs between hydroponic and soil systems. *Functional Plant Biology*. 2010;37(7):621–633. <https://doi.org/10.1071/FP09202>.
 10. Makri O., Kintzios S. *Ocimum* sp. (basil): botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. *J. Herbs, Spices Med. Plants*. 2008;13(3):123–150. https://doi.org/10.1300/J044v13n03_10.
 11. Golubkina N.A., Malankina E.L., Solov'eva A.D., Kosheleva O.V., Krivenkov L.V., Dobrutska-ya E.G. Akkumulirovanie selena bazilikom ogorodnym (*Ocimum basilicum* L.) = [Accumulation of selenium by garden basil (*Ocimum basilicum* L.)]. *Ovoshchi Rossii*. 2014;1(22):42–47. (In Russ.).
 12. Dou H., Niu G., Gu M., Masabni J.G. Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. *HortScience*. 2018;53(4):496–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.12785-17>.
 13. Beaman A.R., Gladon R.J., Schrader J.A. Sweet basil requires an irradiance of 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ for greatest edible biomass production. *HortScience*. 2009;44(1):64–67. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.64>.
 14. Sipos L., Balázs L., Székely G., Jung A., Sárossi S., Radácsi P., Csambalik L. Optimization of basil (*Ocimum basilicum* L.) production in LED light environments. A review. *Scientia Horticulturae*. 2021;289:110486. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110486>.
 15. Barbi S., Barbieri F., Bertacchini A., Barbieri L., Montorsi M. Effects of different LED light recipes and NPK fertilizers on basil cultivation for automated and integrated horticulture methods. *Applied Sciences*. 2021;11(6):2497. <https://doi.org/10.3390/app11062497>.
 16. Aghaye Noroozlo Y., Sourì M.K., Delshad M. Effects of soil application of amino acids, ammonium, and nitrate on nutrient accumulation and growth characteristics of sweet basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2019;50(22):2864–2872. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1689249>.
 17. Jabborova D., Ma H., Bellingrath-Kimura S.D., Wirthn S. Impacts of biochar on basil (*Ocimum basilicum*) growth, root morphological traits, plant biochemical and physiological properties and soil enzymatic activities. *Scientia Horticulturae*. 2021;290:110518. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110518>.
 18. Sabra M., Aboulnasr A., Franken P., Perreca E., Wright L.P., Camehl I. Beneficial root endophytic fungi increase growth and quality parameters of sweet basil in heavy metal contaminated soil. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1726. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01726>.
 19. Chomczyńska M., Zdeb M. The effect of Z-ion Zeolite substrate on growth of *Zea mays* L. as energy crop growing on marginal soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2019;20(9):253–260. <https://doi.org/10.12911/22998993/112482>.
 20. Kasandrovich S.Y., Ionova O.V., Soldatov V.S. Kompozitnye ionitnye substraty na osnove polimernogo ionita i prirodnogo klinoptilolita = [Composite Ion Exchange Substrates Based on Polymeric Ion Exchanger and Natural Clinoptilolite]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*. 2017;4:7–14. (In Russ.). URI: https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/282?locale=en_US (date of access 02.12.2024).
 21. Chomczyńska M., Soldatov V., Wasag H., Turski M. Effect of ion exchange substrate on grass root development and cohesion of sandy soil. *Int. Agrophys*. 2016;30(3):293–300. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0095>.
 22. Soldatov V., Pawlowski L., Szymanska M., Chomczyńska M., Matusevich V., Wasag H., Machon A., Kowalik H., Kobusinski P. Application of ion exchange substrates Biona for fertilization of depleted soils and bare sand. *Ecological Engineering*. 2001;18(2):227–232. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00070-2).
 23. Mamiev D.M., Kumsiev E.I., Shalygina A.A. Ehffektivnost' biopreparata Ehkstrasol i mikroudobreniya Kristalon na posevakh kukuruzy = [Efficiency of the biopreparation Extrasol and microfertilizers Kristalon on corn crops]. *Gornoe Sel'skoe Khozyaistvo*. 2016;1:102–108. (In Russ.).
 24. Mamiev D.M., Doeva L.Y., Misik N.A., Tedeeva A.A., Shalygina A.A. Primenenie biopreparata Ehkstrasol i mikroudobreniya Kristalon na posevakh kukuruzy = [Application of the biopreparation Extrasol and microfertilizers Kristalon on corn crops]. *Zemledelie*. 2011;2:29–31. (In Russ.).

25. Galimov V.R., Glaz N.V., Ufimtseva L.V. Razvitie sazhentsev vishni v zavisimosti ot mineral'nykh podkormok i podvoynykh kombinatsii = [Development of cherry seedlings depending on mineral fertilizers and rootstock combinations]. *Glavnyi Agronom*. 2019;3. (In Russ.).
26. Kulchin Y.N., Bulgakov V.P., Subbotin E.P. Kholin A.S., Subbotina N.I. Monochromatic LEDs Effect on Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Morphogenesis and Productivity. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2022;86:S114–S118. <https://doi.org/10.3103/S1062873822700502>.
27. Shipley B., Vu T.-T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*. 2002;153:359–364. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00320.x>.
28. Maeda K., Ahn D.-H. Estimation of Dry Matter Production and Yield Prediction in Greenhouse Cucumber without Destructive Measurements. *Agriculture*. 2021;11:1186. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121186>.
29. Abbasvand E., Hassannejad S., Zehtab-Salmasi S., Alizadeh-Salteh S. Physiological and biochemical responses of basil to some allelopathic plant residues and dodder infestation. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020;42:1–13. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2990-y>.
30. Ghazijahani N., Hadavi E., Jeong B.R. Foliar sprays of citric acid and salicylic acid alter the pattern of root acquisition of some minerals in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2014;5:573. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00573>.
31. Roosta H.R., Sajjadinia A.R. Studying the effect of cold stress on green basil, violet basil, tomato and lettuce using chlorophyll fluorescence technique. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 2010;3(1):1–8.
32. Stetsenko L.A., Pashkovsky P.P., Voloshin R.A., Kreslavski V.D., Kuznetsov V.V., Allakhverdiev S.I. Role of anthocyanin and carotenoids in the adaptation of the photosynthetic apparatus of purple-and green-leaved cultivars of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to high-intensity light. *Photosynthetica*. 2020; 58(4):890–901. DOI: 10.32615/ps.2020.048.
33. Piovene C., Orsini F., Bosi S., Sanoubar R., Bregola V., Dinelli G., Gianquinto G. Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015;193:202–208. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.015>.
34. Pasch J., Appelbaum S., Palm H.W., Knaus U. Growth of basil (*Ocimum basilicum*) in aeroponics, DRF, and raft systems with effluents of African catfish (*Clarias gariepinus*) in decoupled aquaponics (ss). *AgriEngineering*. 2021;3(3):559–574. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030036>.