

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ КОРИАНДРА
НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕЛЛАЖАХ**

Вершинина Оксана Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории «Исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов»

Князева Инна Валерьевна, кандидат биологических, старший научный сотрудник лаборатории «Исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д.5

Тел. 8 (960)-818-81-49

E-mail: vershinina.oks@yandex.ru

Ключевые слова: кориандр, сорт, продуктивность, гидропоника, светодиодное освещение, вертикальные стеллажи

Исследования направлены на определение возможности выращивания и получения товарной продукции кориандра при минимальных энергозатратах в условиях светокультуры. В данном исследовании рост вегетативной части, корневой системы, качество и фотосинтетическая активность кориандра (*Coriandrum sativum* L.) оценивались при применении светодиодного освещения в разном спектральном соотношении. Сорта кориандра выращивались гидропонным способом на вертикальных стеллажах с использованием технологии подтопления. В качестве освещения использовали светильники, основанные на синих, зеленых и красных светодиодах, с суммарной интенсивностью ФАР – 150 ммоль/м²с. К основному спектру освещения добавляли дальний красный 6-12 %. Результаты показали, что применение светодиодного излучения в основном красного и зеленого, и в меньшей степени синего спектров значительно повлияли на многие показатели роста и развития растений, включая фотосинтетическую активность пигментов, биомассу побегов и корней. Фотосинтетическая способность листьев была значительно выше при излучении во втором варианте с добавлением дальнего красного спектра 6% по сравнению с другими вариантами освещения. Показатели корневой системы в разных вариантах опыта незначительно отличались между сортами. Наиболее оптимальным соотношением спектров светодиодного излучения являются B(23):G(53):R(74) ммоль/м²с с долей дальнего красного спектра 12% (вариант 1) для сорта 'Санто' и B(21):G(59):R(70) ммоль/м²с с долей дальнего красного спектра 6% (вариант 2) для сорта 'Карибе'. Условия светокультуры обеспечивают формирование в короткий срок за 22-25 дней хозяйственно-полезной биомассы растений кориандра в среднем в количестве 1,81 кг/м². Исследования показали, что при выращивании сортов кориандра на вертикальных стеллажах гидропонике можно получать зеленую товарную продукцию высокого качества в ранние сроки при пороговых значениях фотосинтетической облученности.

Введение

Беспочвенное выращивание лекарственных и ароматических растений в закрытых агроэкосистемах является перспективной и экономичной альтернативой открытым земельным угодьям за счет высокой продуктивности, экологической безопасности и превосходному качеству готовой продукции, а также благодаря отсутствию действия биотических и абиотических факторов окружающей среды. Поскольку спрос на лекарственные травы растет все более бы-

стрыми темпами, стало важным коммерческое выращивание лекарственных растений для повышения безопасности и качества готовой растениеводческой продукции с помощью современных технологий[1].

Кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) – однолетнее травянистое растение рода Кориандр (*Coriandrum*) семейства Зонтичные (*Apiaceae*). Кориандр является эфиромасличным, пряным и медоносным растением[2]. Выращивается во всем мире для различных целей,

включая кулинарию, косметику и традиционную медицину. Широкий спектр использования кориандра обусловлен содержанием в зеленой массе и плодах растения эфирных масел различного состава [3, 4].

Исследования последних лет показали возможность производства на существующих салатных линиях большое количество зеленных и пряно-ароматических культур. Выращивание кориандра по технологии проточной гидропоники способствовало ранним всходам через 6-7 суток, также отмечалось самое быстрое наступление уборочной спелости [5]. Установлено, что показатели роста, биомасса растений и концентрация полезных соединений в значительной степени зависят от качества и интенсивности освещенности [6]. Для кориандра целесообразно светодиодное освещение красными, синими и белыми диодами (32:16:32) [7].

В Центре исследований и разработок сельского хозяйства и агропродовольственной промышленности (Канада) были проведены исследования по разным комбинациям красного и синего спектров, влияющих на активный рост и накопление антиоксидантов в растениях кориандра. Светодиодное освещение в соотношениях красного и синего спектров (5:1, 10:1 и 19:1) при суммарной интенсивности ФАР – 120 ммоль/м²с способствовало увеличению количества листьев и побегов. Наибольшее накопление вегетативной и сухой массы наблюдалось у растений, выращенных в соотношении красного и синего 10:1 [8]. Подобные исследования были проведены учеными из Таиланда по влиянию красного, синего спектров и интенсивности освещения на рост и развитие кориандра. В эксперименте использовали три спектральные комбинации с различным соотношением красного (660 нм) и синего (447 нм) спектров: 10:4, 10:2 и 10:1 и с двумя значениями плотности потока фотонов (ППФ) 150±10 и 250±10 ммоль/м²с. Использование светодиодов с более высоким ППФ привело к улучшению параметров роста. При значении ППФ 150 ммоль/м²с высокое соотношение красного спектра к синему способствовало увеличению высоты, количества листьев и побегов кориандра по сравнению с более низким соотношением красного к синему излучению [9].

Экспериментальные данные, полученные учеными из разных стран мира, подтверждают перспективность и эффективность выращивания растений кориандра с использованием инновационных технологий.

Целью данного исследования было изучение влияния различных спектров светодиодного освещения на рост и развитие двух сортов кориандра при пороговых значениях фотосинтетической облученности для зеленых культур.

Материалы и методы исследований

Выращивание сортов кориандра на вертикальных стеллажах с использованием технологии подтопления гидропоники осуществляли в отделе закрытых искусственных агроэкосистем для растениеводства на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва в течение 2020-2022 гг. Объектом исследований являлись сорта 'Карибе' и 'Санто' *Coriandrum sativum*. На стеллажах использовали светильники 1, 2 и 3, основанные на синих, зеленых и красных светодиодах с суммарной интенсивностью ФАР – 150 ммоль/м²с. К основному спектру освещения добавляли дальний красный спектр 12 (1 и 3 светильники) и 6% (2 светильник) для раннего прорастания семян и последующего активного роста растений.

Эксперимент включал следующие варианты светодиодного освещения (LED):

- 1 – синий (23 ммоль/м²с), зеленый (53 ммоль/м²с) и красный (74 ммоль/м²с), спектр;
- 2 – синий (21 ммоль/м²с), зеленый (59 ммоль/м²с) и красный (70 ммоль/м²с) спектр;
- 3 – синий (20 ммоль/м²с), зеленый (48 ммоль/м²с) и красный (82 ммоль/м²с) спектр.

Биометрические показатели (количество листьев и площадь листовой пластины) измеряли с помощью прибора LI-COR-LI-3100C (США). Определение сырого вещества проводили на аналитических весах LA 230S (Германия). Определение сухого вещества – методом высушивания навески до постоянной массы в сушильном шкафу Memmert UN-450 (Германия) по ГОСТ 24027.2-80 [10]. Количественное содержание основных пигментов (хлорофилла a, b и каротиноидов) в листьях салата определяли на спектрофотометре Спекс ССП-705М (Россия). Концентрацию пигментов рассчитывали для 100% ацетона по уравнению Хольма-Веттштейна [11,12].

Питание растений осуществлялось водорастворимыми минеральными удобрениями по разработанной прописи с добавлением микроэлементов в хелатной форме. Электропроводность (ЕС) раствора поддерживали в пределах 1,5-1,7 мСм см⁻¹, pH – 5,8-6,0.

Анализ данных оценивали методами дисперсионного анализа с помощью программы

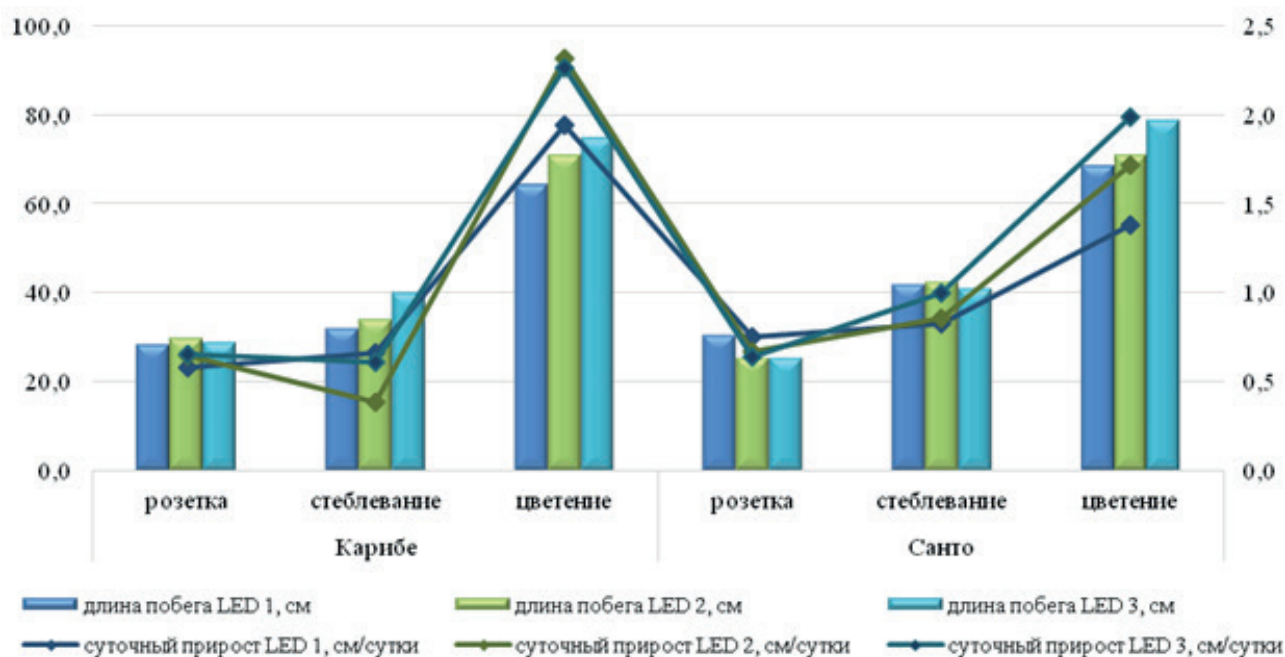


Рис. 1 – Динамика роста и развития растений кориандра в зависимости от варианта светодиодного освещения

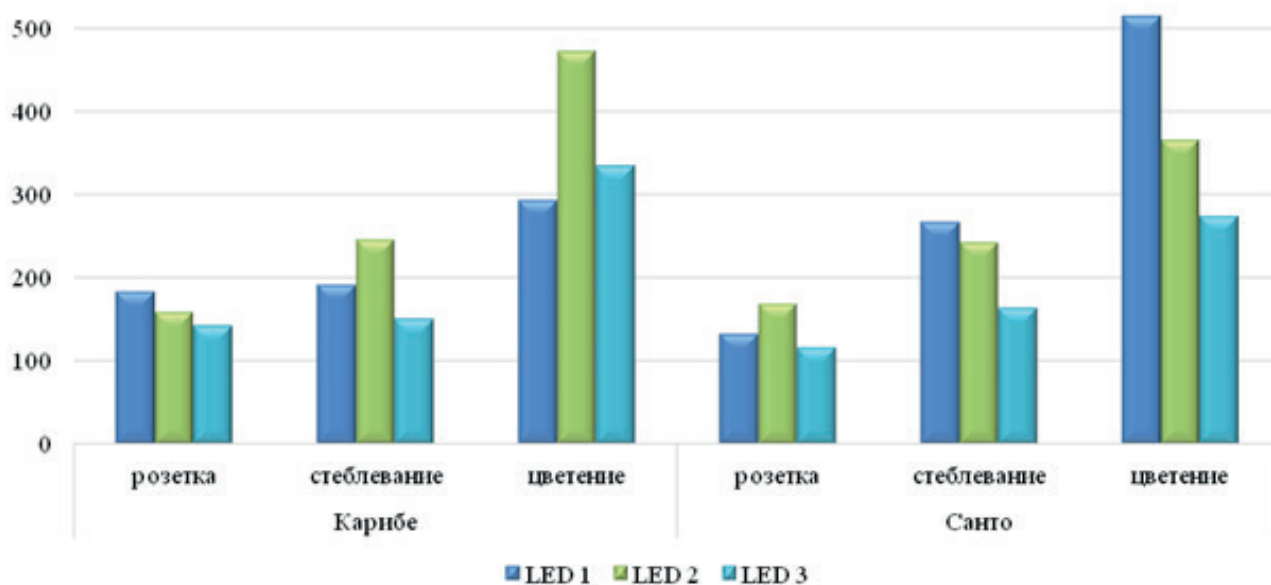


Рис. 2 – Развитие площади листовой поверхности по фазам развития кориандра при разном спектральном составе освещения, см²

STADIA 8.0. НСР использовали для проверки значимости полученных данных при уровне вероятности $p < 0.05$.

Результаты исследований

В результате проведенных исследований по выращиванию кориандра на вертикальных стеллажах проявились некоторые сортовые особенности в зависимости от разных соотношений светодиодного облучения.

В начальные периоды роста и развития

кориандра от всходов до фазы розетки не наблюдалось разницы между сортами, суточный прирост составил 0,6...0,7 см/сутки в зависимости от варианта опыта (рис. 1). В фазу стеблевание-цветение интенсивность роста побегов возрастала до 1,4...2,3 см/сутки с наибольшими значениями в варианте 3. Растения сортов 'Карibe' и 'Санто' к фазе цветения имели длину главного побега 74,6-78,3 см соответственно.

При анализе площади листовой поверх-

ности у изученных сортов кориандра выявлены следующие особенности. Увеличение ассимиляционной поверхности в течение периода вегетации проходило постепенно от всходов до фазы цветения растений. В начале вегетации наибольшая площадь листьев отмечена у сорта 'Карибе' в 1 варианте опыта, у 'Санто' – во 2 варианте с показателями 183,7 и 168,4 см² соответственно (рис. 2). К фазе цветения оптимальным освещением для сорта 'Карибе' оказалось соотношение спектрального состава во 2 варианте с добавлением 6% дальнего красного спектра с показателем площади листьев в 470,6 см². Для сорта 'Санто' максимальное развитие листовой поверхности (514,0 см²) отмечали при комбинации спектра освещения в 1 варианте с долей дальнего красного 12%.

Изучаемые сорта кориандра имели примерно одинаковые темпы нарастания розетки листьев и на 25-е сутки после посева сформировали зеленую массу в пределах 7,47-8,31 г/растение и накопили сухого вещества 0,75-0,85 г/растение под действием спектра излучения во 2 варианте (табл. 1).

Отмечена тенденция увеличения прироста надземной массы и накопления сухого вещества в фазах стеблевания-цветения у сорта 'Карибе' во 2-ом варианте освещения, у сорта 'Санто' – в 1-ом варианте. Так, наибольший прирост надземной массы в фазу цветения составил 67,97 г/растение у сорта 'Санто' и 69,37 г/растение у 'Карибе' с достоверной прибавкой по отношению к 3-му варианту светодиодного излучения.

Во всех вариантах опыта показатели корневой системы на ранних фазах развития у сорта 'Карибе' не отличались существенно (табл. 2). К фазе цветения наблюдалось незначительное увеличение длины и объема корней во 2 варианте опыта. У сорта 'Санто' спектральный состав оптического излучения во 2 варианте оказал наименьшее влияние на развитие корневой системы, что подтверждается данными статистической обработки. Среди всех вариантов подобранного освещения наиболее оптимальным является соотношение спектров B(23):G(53):R(74) ммоль/м²с в 1 варианте. К фазе цветения длина корней составила 54,0 см, объем корневой системы – 27,7 см³.

Фотосинтетические пигменты растений (хлорофиллы и каротиноиды) не только участвуют в процессе фотосинтеза, поглощая свет, но и являются биологически активными соединениями. Содержание основного пигмента хлоро-

Таблица 1

Показатели прироста надземной массы и накопления сухого вещества по фазам развития кориандра при разном спектральном составе освещения

Варианты светодиодного освещения	Надземная масса, г/растение			Сухое вещество, г/растение		
	ро-зетка	стебле-вание	цвете-ние	ро-зетка	стебле-вание	цвете-ние
'Карибе'						
1	6,85	9,78	56,16	0,69	1,11	6,91
2	8,31	13,49	69,37	0,85	1,59	8,74
3	6,61	6,77	49,94	0,61	0,73	6,19
'Санто'						
1	5,35	14,80	67,97	0,49	1,81	8,35
2	7,47	11,09	57,65	0,75	1,09	6,94
3	4,51	6,58	44,39	0,41	0,75	5,50
НСР _{0,5 об}	1,85	5,73	16,28	0,29	0,76	2,11

Таблица 2

Показатели формирования корневой системы растений кориандра по фазам развития кориандра при разном спектральном составе

Варианты светодиодного освещения	Длина корней, см			Объем корней, см ³		
	ро-зетка	стебле-вание	цвете-ние	ро-зетка	стебле-вание	цвете-ние
'Карибе'						
1	29,8	33,5	38,1	10,1	15,1	21,8
2	28,5	38,1	49,8	13,8	19,5	26,1
3	30,1	37,2	46,3	9,3	14,7	23,2
'Санто'						
1	34,7	42,7	54,0	8,1	13,5	27,7
2	19,0	24,1	34,8	7,0	8,1	20,2
3	30,3	32,5	43,0	7,9	12,3	24,5
НСР _{0,5 об}	8,73	9,60	12,13	2,50	3,99	4,57

филла *a* в листьях кориандра не отличалось по сортам и варьировало в пределах 5,25-8,33 в зависимости от варианта освещения (табл. 3).

Анализом количественного содержания пигментов было установлено и статистически подтверждено, что при выращивании кориандра под вариантами 2 и 3 светодиодного освещения наблюдалось сравнительно высокое накопление хлорофиллов и каротиноидов в листьях сортов 'Карибе' и 'Санто'.

Обсуждение

В результате проведенных исследова-

Таблица 3

Содержание основных пигментов в растениях кориандра

Варианты светодиодного освещения	Количество, мг/г			
	хлорофилла	хлорофилл b	хлорофилл (a+b)	каротиноиды
'Карибе'				
1	5,71±0,1	2,33±0,1	7,82±0,2	1,71±0,1
2	8,33±0,2	3,11±0,1	11,27±0,3	2,61±0,2
3	6,79±0,2	2,69±0,2	9,53±0,2	2,52±0,1
'Санто'				
1	5,25±0,2	2,19±0,2	7,47±0,2	1,61±0,1
2	6,68±0,2	3,14±0,1	10,51±0,3	2,33±0,1
3	7,13±0,3	2,59±0,2	9,91±0,2	2,34±0,2
НСР _{0,5 об}	1,70	0,75	2,36	0,60

ний установлено, что интенсивность светового потока и его спектральный состав оказывают влияние на рост и развитие зеленных растений. Концентрация светового потока и спектр излучения оказали существенное влияние на рост и развитие рукколы, однако салат-микс отрицательно отреагировал на избыток светодиодного облучения [13]. Полученные нами экспериментальные данные, позволили выявить сортовые особенности кориандра в зависимости от спектра светодиодного излучения. Наиболее оптимальным соотношением спектров светодиодного излучения для сорта 'Санто' являются B(23):G(53):R(74):FR(12) ммоль/м²с (вариант 1) и для сорта 'Карибе' B(21):G(59):R(70):FR(6) ммоль/м²с (вариант 2). Исследования, проведенные учеными из Сингапура, по использованию зеленого светодиодного излучения в сочетании с синим и красным спектром, способствовали повышению эффективности роста салата латука [14]. Подобно этим выводам, другое исследование на салате (сорт *Butterhead*) [15] показало, что добавление зеленого света (200 mmol·m⁻²·s⁻¹) к синему и красному освещению приводило к увеличению содержания хлорофилла. В наших исследованиях при соотношении спектров B(21):G(59):R(70) и B(20):G(48):R(82) ммоль/м²с (варианты 2 и 3) наблюдалось сравнительно высокое накопление хлорофиллов и каротиноидов в листьях сортов 'Карибе' и 'Санто'. Наши результаты показали, что применение разного соотношения спектров на основе светодиодного освещения весьма перспективно для выращивания зеленных культур в системе вертикального земледелия.

Заключение

Условия светокультуры обеспечивают формирование в короткий срок за 22-25 дней хозяйственно-полезной биомассы растений кориандра в среднем в количестве 1,81 кг/м². Изучение реакции сортов кориандра показало, что лучшие результаты по нарастанию массы листьев и накоплению сухого вещества в фазах стеблевания-цветения были обнаружены для сорта 'Карибе' при B(23):G(53):R(74):FR(12) ммоль/м²с, для сорта 'Санто' – B(21):G(59):R(70):FR(6) ммоль/м²с. Показатели корневой системы в разных вариантах опыта незначительно отличались между сортами. При изучении количественного содержания пигментов было установлено, что сравнительно высокое накопление хлорофиллов и каротиноидов в листьях сортов 'Карибе' и 'Санто' наблюдалось в соотношении B(21):G(59):R(70) и B(20):G(48):R(82) ммоль/м²с с долей дальнего красного спектра 6% и 12% (варианты 2 и 3). Исследования показали, что при выращивании сортов кориандра на вертикальных стеллажах гидропоники можно получать зеленую товарную продукцию высокого качества в ранние сроки при пороговых значениях фотосинтетической облученности – 150 ммоль/м²с.

Библиографический список

1. Souza, S. V. Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal / S. V. Souza, R. M. T. Gimenes, E. Binotto // Land Use Policy. – 2019. – 83. – P. 357-369.
2. Журавль, В. И. Выращивание и переработка пряно-ароматических культур. / В. И. Журавль // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. В 2-х частях. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 293-296.
3. Гунькина, А. А. Перспективы производства и переработки кориандра в РФ / А. А. Гунькина // Пищевые и инновации в биотехнологии : сборник тезисов VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово, 2018. – С. 37-39.
4. Wild coriander: an untapped genetic resource for future coriander breeding / V. C. Adler, A. Tepikin, G. Ziv, T. Kahane, J. Abu-Nassar, S. Golan, E. Mayzlish-Gati, I. Gonda // Euphytica. – 2021. – Vol. 217, № 7. – P. 317-322. – doi: 10.1007/s10681-021-02870-4
5. Колпаков, Н. А. Выращивание пряно-

вкусовых культур на гидропонике / Н. А. Колпаков // Гавриш. – 2013. – № 4. – С.10-12.

6. Князева, И. В. Искусственное освещение для получения функциональных продуктов питания / И. В. Князева // Вестник КрасГу. – 2020. – № 12. – С. 25-31. – doi: 10.36718/1819-4036-2020-12-25-31

7. Шаляпина, А. Ф. Технология выращивания шпината и кориандра в закрытых системах методом проточной гидропонии в установках вертикального типа / А. Ф. Шаляпина, П. Н. Макаров // Безопасный Север - чистая Арктика : сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. – Сургут, 2020. – С. 312-317.

8. Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties / T. Naznin, M. Lefsrud, V. Grave, X. Hao // Acta Horticulturae. – 2016. – Vol. 1134. – P. 223-229. – doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.30

9. Sanluang, M. Different light spectra and intensity level effects on vegetative growth and antioxidant content of coriander / M. Sanluang, T. Tayjasanant // Acta Horticulturae. – 2021. – Vol. 1312. – P. 145-150. – doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1312.22

10. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла : Межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госу-

дарственного комитета СССР по стандартам от 6 марта 1980 г. № 1038 : дата введения 1981-01-01 / Сборник ГОСТов. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 119 с. –URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294830/4294830157.pdf>

11. Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // Methods in enzymology. – 1987. – 148. – P. 350-382.

12. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 271 с.

13. Корнилова, Г. С. влияние светодиодного досвечивания на рост и развитие зеленых культур / Г. С. Корнилова, О. А. Герасимова, Т. Н. Карасева // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова, 2020. – С. 242-245.

14. Xu, Y. Nature and source of light for plant factory. In Plant Factory Using Artificial Light / Y. Xu. – Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019. – P. 47–69.

15. Study of the Beneficial Effects of Green Light on Lettuce Grown under Short-Term Continuous Red and Blue Light-Emitting Diodes / Z. Bian, Q. Yang, T. Li, R. Cheng, Y. Barnett, C. Lu // Physiol. Plant. – 2018. – 164. – P. 226–240.

TECHNOLOGICAL METHODS FOR CORIANDER CULTIVATION ON VERTICAL RACKS

Vershinina O.V., Knyazeva I.V.

*FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy dr., 5
Tel. 8 (960) -818-81-49
E-mail: vershinina.oks@yandex.ru*

Key words: coriander, variety, productivity, hydroponics, LED lighting, vertical racks

The research is aimed at specifying the possibility of cultivation and gain of marketable coriander products with minimum energy consumption in photoculture conditions. Growth of vegetative part, root system, the quality and photosynthetic activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) were evaluated with application of LED lighting in different spectral ratios. Coriander varieties were grown hydroponically on vertical racks using flooding technology. Illumination lamps based on blue, green and red LEDs were used as lighting, with a total PAR intensity of 150 mmol/m²s. Far red 6-12% was added to the main spectrum of illumination. The results showed that application of LED light (mainly red and green, and to a lesser extent blue light) significantly influenced a wide range of parameters of plant growth and development, including photosynthetic activity of pigments, the biomass of shoots and roots. The photosynthetic ability of the leaves was significantly higher under the radiation in the second variant with the addition of far red spectrum of 6% compared to other illumination variants. The root system parameters in different variants of the experiment differed slightly. The most appropriate ratio of LED emission spectra are B(23) :G(53):R(74) mmol/m²s with a far red spectrum share of 12% (option 1) for 'Santo' variety and B(21):G(59) :R(70) mmol/m²s with 6% far red (option 2) for 'Caribe' variety. The conditions of light culture ensure formation of economically useful biomass of coriander plants in a short period of 22-25 days, on average, in the amount of 1.81 kg/m². Studies showed that in case of growing coriander varieties on vertical hydroponics racks, it is possible to obtain high-quality green marketable products in the early stages at threshold values of photosynthetic irradiance.

Bibliography:

1. Souza, S. V. Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal / S. V. Souza, R. M. T. Gimenes, E. Binotto // Land Use Policy. – 2019. – 83. – P. 357-369.
2. Zhuravl, V. I. Growing and processing of aromatic crops. / V. I. Zhuravl // Scientific support for development of the agro-industrial complex in the conditions of import substitution: a collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference of the Faculty. In 2 parts. – St. Petersburg, 2017. – P. 293-296.

3. Gunkina, A. A. Prospects for production and processing of coriander in the Russian Federation / A. A. Gunkina // Food and innovation in biotechnology: a collection of abstracts of the VI International scientific conference of students, graduate students and young scientists. - Kemerovo, 2018. - P. 37-39.
4. Wild coriander: an untapped genetic resource for future coriander breeding / V. C. Adler, A. Tepikin, G. Ziv, T. Kahane, J. Abu-Nassar, S. Golan, E. Mayzlish-Gati, I. Gonda // *Euphytica*. - 2021. - Vol. 217, № 7. - R. 317-322. - doi: 10.1007/s10681-021-02870-4
5. Kolpakov, N. A. Cultivation of spicy-flavoring crops in hydroponics / N. A. Kolpakov // *Gavrish*. - 2013. - № 4. - P.10-12.
6. Knyazeva, I.V. Artificial lighting for obtaining functional food products / I.V. Knyazeva // *Vestnik of KrasSau*. - 2020. - № 12. - P. 25-31. - doi: 10.36718/1819-4036-2020-12-25-31
7. Shalyapina, A. F. The technology of growing spinach and coriander in closed systems using the method of flow hydroponics in vertical installations / A. F. Shalyapina, P. N. Makarov // *Safe North - clean Arctic: collection of articles of the III All-Russian Scientific and Practical conferences*. - Surgut, 2020. - P. 312-317.
8. Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties / T. Naznin, M. Lefsrud, V. Grave, X. Hao // *Acta Horticulturae*. - 2016. - Vol. 1134. - P. 223-229. - doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.30
9. Sanluang, M. Different light spectra and intensity level effects on vegetative growth and antioxidant content of coriander / M. Sanluang, T. Tayjasanant // *Acta Horticulturae*. - 2021. - Vol. 1312. - P. 145-150. - doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1312.22
10. State Standard GOST 24027.2-80. Raw medicinal vegetable material. Methods for specification of moisture content, ash content, extractive and tannic substances, essential oils: Interstate standard: official edition: approved and put into effect by the Decree of the USSR State Committee for Standards dated March 6, 1980 № 1038: introduction date 1981-01-01 / Collection of GOSTs. - Moscow: IPK Standards Publishing House, 1999. - 119 p. - URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294830/4294830157.pdf>
11. Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosyn-thetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // *Methods in enzymology*. - 1987. - 148. - P. 350-382.
12. Practical training on plant physiology / N. N. Tretiyakov, T. V. Karnaukhova, L. A. Panichkin [et al.]. - 3rd ed., revised. and add. - Moscow: Agropromizdat, 1990. - 271 p.
13. Kornilova, G. S. Effect of LED supplementary lighting on the growth and development of green crops / G. S. Kornilova, O. A. Gerasimova, T. N. Karaseva // *Youth science to development of the agro-industrial complex: materials of the All-Russian (national) scientific and-practical conference of students, graduate students and young scientists*. - Kursk: Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, 2020. - P. 242-245.
14. Xu, Y. Nature and source of light for plant factory. In *Plant Factory Using Artificial Light* / Y. Xu. - Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019. - P. 47-69.
15. Study of the Beneficial Effects of Green Light on Lettuce Grown under Short-Term Continuous Red and Blue Light-Emitting Diodes / Z. Bian, Q. Yang, T. Li, R. Cheng, Y. Barnett, C. Lu // *Physiol. Plant*. - 2018. - 164. - P. 226-240.