

Научная статья/Research Article

УДК 634.75:58.035:581.143.6

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-10-16

Татьяна Николаевна Чекушкина^{1✉}, Елена Николаевна Барсукова²

^{1,2}Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Приморский край, Россия

¹chekushkina.80@mail.ru

²enbar9@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) *IN VITRO*

Цель исследования – изучение влияния спектрального состава света на пролиферацию и укоренение побегов при микроклональном размножении земляники садовой нейтрального дня сорта Кабрилло (*Sabrillo*). Исследование проводили в 2021–2022 гг. в лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Объект исследования – микропобеги земляники садовой ремонтантного сорта нейтрального светового дня Кабрилло (*Sabrillo*) в культуре *in vitro* при различном спектре освещения. Для микроразмножения земляники использовали следующие варианты освещения: 1 – фитостеллаж со светодиодными светильниками белого света (СПБ-Т5-есо) в сочетании со светодиодными фитосветильниками (СПБ-Т8-Фито); 2 – фитостеллаж ООО «ЭЛСИС БелГУ» со светодиодным освещением серии X-bright Fito; 3 – фитостеллаж ООО «АВТех» с люминисцентными лампами белого света (TL-D 36W/33-640, Phillips) в сочетании с фитолампами (L 36W/77 Fluora, Osram). Для измерения освещенности использовали «Люксметр ТКА» (Россия), уровень облученности измеряли спектрофотометром «ТКА-Спектр (ФАР)» (Россия). В опыте учитывали количество образовавшихся побегов, количество листьев, количество корней, измеряли высоту растений, длину корней при разных вариантах освещения. Освещение светодиодными светильниками с преобладанием в спектре красного света (2-й вариант) обеспечивало регенерацию наибольшего количества побегов земляники садовой, коэффициент размножения составил 8,0 на эксплант. Для этапа укоренения лучшим вариантом освещения являлся также 2-й вариант со светодиодными светильниками, в котором сформировались максимальные по высоте растения земляники (4,5 см) и большое количество корней (8,5 шт.). Наибольшее количество корней (8,6 шт.) образовалось у растений при светодиодном освещении с преобладанием синего спектра (1-й вариант). При микроклональном размножении ремонтантной земляники садовой нейтрального дня сорта Кабрилло для освещения более эффективно использовать светодиодные облучатели, чем люминисцентные.

Ключевые слова: земляника садовая, микроклональное размножение, светодиодное освещение, люминисцентное освещение, спектральный состав света, коэффициент размножения

Для цитирования: Чекушкина Т.Н., Барсукова Е.Н. Влияние спектрального состава света на микроклональное размножение земляники садовой (*Fragaria* × *Ananassa duch.*) *in vitro* // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 10–16. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-10-16.

Tatyana Nikolaevna Chekushkina^{1✉}, Elena Nikolaevna Barsukova²

^{1,2}Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Primorsky Region, Russia ¹chekushkina.80@mail.ru

²enbar9@yandex.ru

LIGHT SPECTRAL COMPOSITION INFLUENCE ON STRAWBERRY MICROCLONAL PROPAGATION (FRAGARIA × ANANASSA DUCH.) IN VITRO

The purpose of research is to study the effect of the spectral composition of light on the proliferation and rooting of shoots during microclonal propagation of the garden strawberry of a neutral day, the Cabrillo variety. The study was carried out in 2021–2022 in the Laboratory of Agricultural Biotechnology of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika”. The object of the study is the microshoots of garden strawberry of the remontant variety of neutral light day Cabrillo (Cabrillo) in *in vitro* culture under different light spectrum. The following lighting options were used for strawberry micropropagation: 1 – phyto-rack with white LED lamps (SPB-T5-eco) in combination with LED phyto-lamps (SPB-T8-Fito); 2 – phytoshelf of LLC ELSIS BeIGU with LED lighting of the X-bright Fito series; 3 – phytoshelving of LLC AVTech with white fluorescent lamps (TL-D 36W / 33-640, Phillips) in combination with phytolamps (L 36W/77 Fluora, Osram). Illumination was measured with a TKA Luxmeter (Russia), and the irradiance level was measured with a TKA-Spectrum (FAR) spectrophotometer (Russia). The experiment took into account the number of shoots formed, the number of leaves, the number of roots; the height of the plants, the length of the roots were measured under different lighting conditions. Illumination with LED lamps with predominance of red light in the spectrum (option 2) ensured the regeneration of the largest number of garden strawberry shoots; the multiplication factor was 8.0 per explant. For the rooting stage, the best lighting option was also the 2nd option with LED lamps, in which strawberry plants of maximum height (4.5 cm) and a large number of roots (8.5 pieces) were formed. The largest number of roots (8.6 pcs.) was formed in plants under LED lighting with predominance of the blue spectrum (1st variant). In microclonal propagation of remontant garden strawberries of a neutral day, variety Cabrillo, it is more efficient to use LED irradiators for lighting than fluorescent ones.

Keywords: garden strawberry, microclonal propagation, LED lighting, fluorescent lighting, spectral composition of light, multiplication factor

For citation: Chekushkin T.N., Barsukova E.N. Light spectral composition influence on strawberry microclonal propagation (*Fragaria × Ananassa duch.*) *in vitro* // Bulliten KrasSAU. 2023;(5): 10–16. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-10-16.

Введение. На современном этапе развития садоводства важной задачей является выращивание экономически выгодных культур, конкурентоспособных в условиях рынка и пользующихся высоким спросом. Земляника садовая является одной из наиболее рентабельных ягодных культур. За последние годы ее мировое годовое производство достигло четырех миллионов тонн [1].

Для решения проблемы создания более продуктивных, адаптированных сортов земляники необходимо привлекать в селекционную работу современные технологии, которые базируются на методах культуры изолированных клеток, тканей и органов в системе *in vitro* [2]. При культивировании растений в условиях *in vitro* важно подобрать спектральный состав света, близкий к естественному солнечному свету. Влиянию искусственного освещения на процессы роста, регенерации и ризогенеза растений посвящен целый ряд сообщений [3–5]. Исследователи отмечают сортовую избирательную реакцию микропобегов земляники при микроклональном размножении на облучение их све-

том различного спектрального состава [6–10]. Поэтому возникает необходимость поиска оптимального светового режима при микроразмножении конкретного сорта земляники садовой.

Цель исследования – изучение влияния спектрального состава света на пролиферацию и укоренение побегов при микроклональном размножении земляники садовой нейтрального дня сорта Кабрилло (Cabrillo).

Объект и методы. Исследование проводили в 2021–2022 гг. в лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Объект исследования – микропобеги земляники садовой (*Fragaria × ananassa Duch.*) ремонтантного сорта нейтрального светового дня Кабрилло (Cabrillo) в культуре *in vitro* при различном спектре освещения.

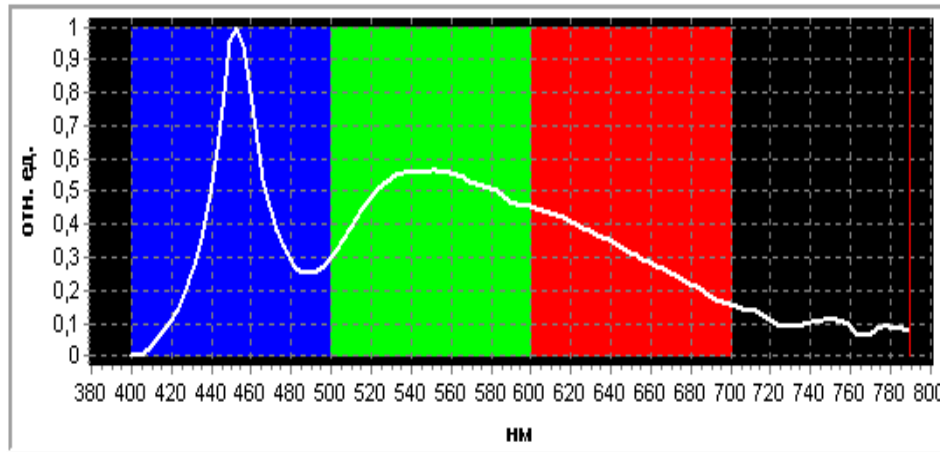
Микропобеги земляники садовой культивировали в течение 3 пассажей (по 30 дней) при температуре 23–25 °С, световом режиме 16/8 ч на питательной среде с минеральной основой по Мурасиге-Скугу [11], дополненной 0,5 мг/л бензилладенина (БА), 0,1 мг/л индоллилмасляной кисло-

ты (ИМК). На этапе укоренения микророзеток концентрацию ИМК увеличивали до 0,5 мг/л [12].

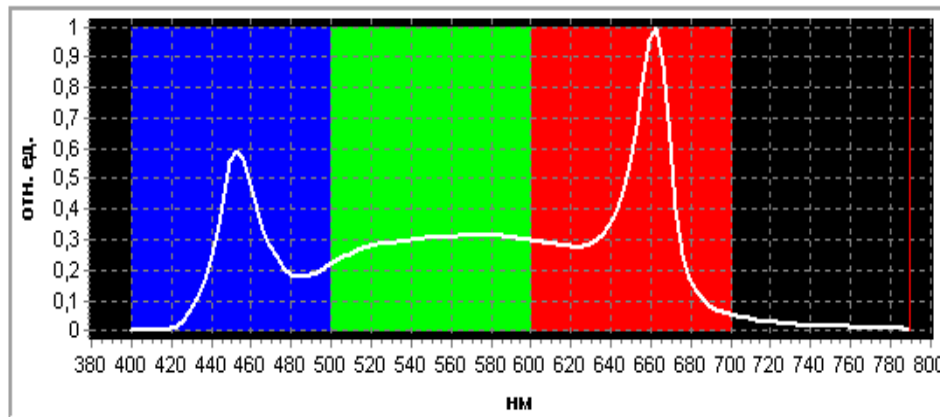
В эксперименте изучали 3 варианта освещения: 1) фитостеллаж со светодиодными светильниками белого света (СПБ-Т5-есо) в сочетании со светодиодными фитосветильниками (СПБ-Т8-Фито); 2) фитостеллаж ООО «ЭЛСИС БелГУ» со светодиодным освещением серии X-bright Fito; 3) фитостеллаж ООО «АВТех» с люминесцентными лампами белого света (TL-D 36W/33-640, Phillips) в сочетании с фитолампами (L 36W/77

Fluora, Osram). Показатели освещенности в опыте составляли 5 клк, облученности ФАР – 9,1–10,0 Вт/м², интенсивности облучения на уровне растений – 49,1–49,6 мкмоль/(с·м²). Варианты освещения отличались по спектральному составу излучения (рис.).

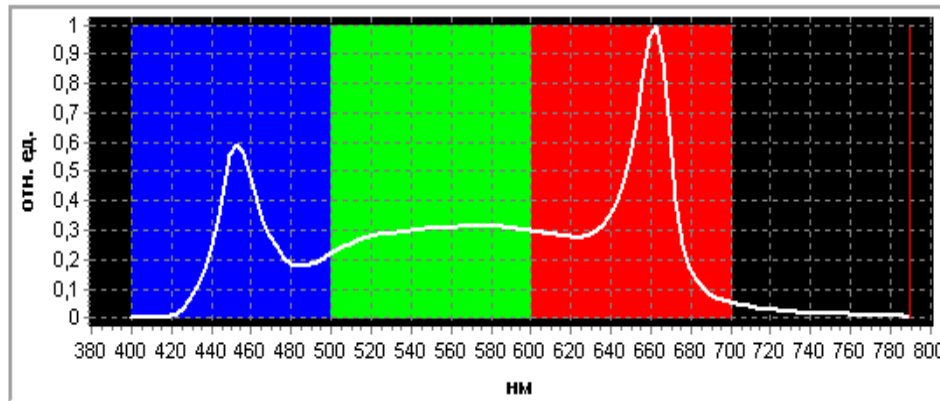
Для измерения освещенности использовали «Люксметр ТКА» (Россия), уровень облученности измеряли спектрофотометром «ТКА-Спектр (ФАР)» (Россия).



1



2



3

Спектры излучения светильников в опыте: 1, 2, 3 – варианты освещения; ось Y – облученность, ось X – длина волны

Каждые 30 дней при пересадке экплантов на свежую среду учитывали количество образовавшихся побегов (шт.), количество листьев (шт.), количество корней (шт.), измеряли высоту растений (см), длину корней (см).

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили по Б.А. Доспехову [13].

Результаты и их обсуждение. В процессе микроклонального размножения количество микропобегов земляники возрастало от пассажа к пассажи. У части побегов из-за наличия в среде для микроразмножения фитогормона ИМК в

низкой концентрации (0,1 мг/л) наблюдался ризогенез. В таблице 1 представлены результаты культивирования микропобегов земляники в течение 90 дней при разных вариантах освещения. В среднем за 3 пассажа наибольшее число побегов (5,2 шт.) и растений с корнями (2,8 шт.) образовалось при освещении Fito Led светодиодами на фитостеллаже серии X-brigh (2-й вариант) с полным спектром, но с преобладанием красного света. При использовании данного спектра освещения получен максимальный коэффициент размножения – 8,0.

Таблица 1

Коэффициент размножения (КР) ремонтантной земляники садовой сорта Кабрилло в зависимости от спектрального состава света *in vitro* (БА 0,5 мг/л + ИМК 0,1 мг/л) (средний за 2021–2022 гг.)

Вариант опыта	Образовалось шт. на 1 экплант, $\bar{x} \pm S\bar{x}$								КР
	1-й пассаж		2-й пассаж		3-й пассаж		Среднее за 3 пассажа		
	а	б	а	б	а	б	а	б	
1	2,8±0,2	1,1±0,1**	2,3±0,1	1,4±0,2	5,8±2,2	4,0±0,4	3,6±1,0	2,2±0,9	5,8
2	2,2±0,2	1,3±0,1**	4,7±0,5	1,8±0,3	8,7±1,3	5,2±0,5*	5,2±1,8*	2,8±1,2*	8,0***
3	1,4±0,2	1,2±0,2**	3,4±0,3	1,2±0,1	6,7±1,5	5,0±1,3	3,8±1,5	2,5±1,2	6,3***
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	2,1±0,4	1,2±0	3,4±0,6	1,4±0,1	7,0±0,9	4,7±0,3	4,2±0,5	2,5±0,2	6,7±0,7
V, %	40,0	0,057	34,6	20,8	21,0	13,5	20,7	12,5	17,4
S	0,70	0,01	1,20	0,3	1,48	0,6	0,8	0,3	1,1

Здесь и далее: \bar{x} – среднее значение параметра; $S\bar{x}$ – ошибка среднего значения параметра; V – коэффициент вариации, %; S – стандартное отклонение; а – побеги; б – растения с корнями; (*) – различия достоверны между 1-м и 2-м; (**) – между 1-м, 2-м, 3-м; (***) – между 1-м и 2-м, 2-м и 3-м вариантами при P < 0,05.

При культивировании экплантов земляники под люминесцентными лампами (3-й вариант) с аналогичными световыми характеристиками коэффициент размножения составил 6,3. Спектральный состав света на 1 варианте светодиодного освещения оказался несбалансированным для пролиферации микропобегов земляники, коэффициент размножения был минимальным в опыте – 5,8.

После 30-дневного культивирования микропобегов земляники на среде для укоренения при разных вариантах освещения были проведены учеты и замеры морфометрических показателей

растений ремонтантной земляники садовой (табл. 2). Установлено, что значения показателей «количество листьев», «длина корней» не зависели от спектрального состава света и достоверно не различались на всех изученных вариантах освещения. Укоренение микророзеток составляло 100 % при всех видах освещения.

Достоверные различия наблюдались по показателям «высота растений» и «количество корней». Наибольшая высота растений (4,5 см) отмечена во 2-м варианте, максимальное количество корней сформировалось в 1-м и 2-м вариантах освещения (8,6 и 8,5 шт. соответственно).

**Морфометрические показатели растений ремонтантной земляники садовой
в зависимости от спектрального состава света в условиях *in vitro*
(средние за 2021–2022 гг.)**

Вариант опыта	Средний показатель за три пассажа, $\bar{x} \pm S\bar{x}$			
	Длина корня, см	Высота растения, см	Кол-во корней, шт.	Кол-во листьев, шт.
1	2,7±0,9	3,4±0,4	8,6±0,2**	7,5±1,3
2	2,7±0,6	4,5±2,3*	8,5±0,5**	7,9±0,8
3	2,5±0,6	3,9±0,6	6,2±2,1	7,1±0,8
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	2,6±0,1	3,5±0,2	8,2±0,2	7,4±0,2
V, %	8,66	10,61	5,60	6,06
S	0,23	0,37	0,41	0,45

Примечание: (*) – различия достоверны между 1-м и 2-м; (**) – 1-м и 3-м; 2-м и 3-м вариантами при $P < 0,05$.

В нашем эксперименте светодиодные источники освещения показали лучший результат, чем люминесцентные. Основными преимуществами светодиодных ламп перед люминесцентными облучателями являются отсутствие нагрева во время работы, длительный срок эксплуатации и то, что спектральный состав их излучения максимально соответствует фотосинтетически активному излучению (ФАР), необходимому для роста растений. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования современных светодиодных облучателей при массовом размножении посадочного материала земляники садовой в условиях *in vitro*.

Заключение. Наиболее интенсивно процесс пролиферации побегов земляники садовой сорта Кабрилло проходил при освещении светодиодными светильниками с преобладанием в спектре красного света (2-й вариант), коэффициент размножения в среднем за 3 пассажа составил 8 шт. на эксплант.

На этапе укоренения максимальная высота растений земляники (4,5 см) наблюдалась на 2-м варианте (светодиоды с максимумом в красном спектре). Наибольшее количество корней (8,6 шт.) сформировалось у растений при светодиодном освещении с преобладанием синего спектра (1-й вариант) и 8,5 шт. – на 2-м варианте. Показатели морфологических признаков «количество корней» и «количество листьев» у растений, культивируемых при различном спектре освещения, достоверно не различались. При микроклональном размножении ремонтантной земляники садо-

вой нейтрального дня сорта Кабрилло более эффективно для освещения использовать светодиодные облучатели, чем люминесцентные.

Список источников

1. Андропова Н.В. Оценка ремонтантных и нейтральнотневных сортов земляники по продуктивности в условиях Брянской области // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2. С. 79–84. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-79-84.
2. Микроклональное размножение земляники садовой / О.В. Мацнева [и др.] // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2017. Т.4, № 1-2. С. 93–96.
3. Барсукова Е.Н., Чибизова А.С. Влияние спектра светодиодного освещения на процесс микроклонального размножения безвирусных растений картофеля различных сортов // Аграрный вестник Приморья. 2019. № 1 (13). С. 18–22.
4. Влияние света на морфогенез *Stevia rebaudiana* в условиях *in vitro* / О.В. Наконечная [и др.] // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 4. С. 302–312. DOI: 10.1134/S0015330319040092.
5. Илюшко М.В., Ромашова М.В. Влияние интенсивности и качества освещения на регенерационную способность каллуса риса *Oryza sativa* L., полученного в андрогенезе *in vitro* // Российская сельскохозяйственная

- наука. 2021. № 3. С. 41–45. DOI: 10.31857/S250026272103008X.
6. Инновационные технологии возделывания земляники садовой. М.: Росинформагротех, 2010. 88 с.
 7. Амброс Е.В., Толузакова С.Ю., Новикова Т.И. Влияние светодиодного и люминесцентного освещений на развитие растений-регенерантов *Fragaria* × *ananassa* Duch. на этапе укоренения *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 48, № 2. С. 18–24.
 8. Маркова М.Г., Сомова Е.Н. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники *in vitro* // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 63, № 2. С. 35–41. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.35-41.
 9. Бьядовский И.А. Влияние спектрального состава света на укореняемость земляники садовой (*Fragaria ananassa* D.) в культуре *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 54. С. 88–92. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-88-92.
 10. Mohamed F.H., Omar G.F., Ismail M.A. In vitro regeneration, proliferation and growth of strawberry under different light treatments // Acta Hort. 2017. Vol. 1155. P. 361–368. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1155.53.
 11. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15, № 13. P. 473–497.
 12. Поляков А.В., Линник Т.А. Производство оздоровленного посадочного материала сортов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) с низкой усообразующей способностью методом клонального микроразмножения *in vitro* // Вестник МГОУ. Сер. «Естественные науки». 2014. № 3. С. 35–41.
 13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
 1. Andronova N.V. Ocenka remontantnyh i nejtral'nodnevnyh sortov zemlyaniki po produktivnosti v usloviyah Bryanskoj oblasti // Vestnik KrasGAU. 2022. № 2. S. 79–84. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-79-84.
 2. Mikroklonal'noe razmnozhenie zemlyaniki sadovoj / O.V. Macneva [i dr.] // Selekcija i sortorazvedenie sadovyh kul'tur. 2017. T.4, № 1-2. S. 93–96.
 3. Barsukova E.N., Chibizova A.S. Vliyanie spektra svetodiodnogo osvescheniya na process mikroklonal'nogo razmnozheniya bezvirusnyh rastenij kartofelya razlichnyh sortov // Agrarnyj vestnik Primor'ya. 2019. № 1 (13). S. 18–22.
 4. Vliyanie sveta na morfogenez *Stevia rebaudiana* v usloviyah *in vitro* / O.V. Nakonechnaya [i dr.] // Fiziologiya rastenij. 2019. T. 66, № 4. S. 302–312. DOI: 10.1134/S0015330319040092.
 5. Ilyushko M.V., Romashova M.V. Vliyanie intensivnosti i kachestva osvescheniya na regeneracionnuyu sposobnost' kallusa risa *Oryza sativa* L., poluchennogo v androgeneze *in vitro* // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. 2021. № 3. S. 41–45. DOI: 10.31857/S250026272103008X.
 6. Innovacionnye tehnologii vozdeljvaniya zemlyaniki sadovoj. M.: Rosinformagroteh, 2010. 88 s.
 7. Ambros E.V., Toluzakova S.Yu., Novikova T.I. Vliyanie svetodiodnogo i lyuminescentnogo osveschenij na razvitie rastenij-regenerantov *Fragaria* × *ananassa* Duch. na `etape ukoreneniya *in vitro* // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2017. T. 48, № 2. S. 18–24.
 8. Markova M.G., Somova E.N. Vliyanie pitatel'noj sredy i spektral'nogo sostava sveta na razmnozhenie zemlyaniki *in vitro* // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. T. 63, № 2. S. 35–41. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.35-41.
 9. B`yadovskij I.A. Vliyanie spektral'nogo sostava sveta na ukorenyaemost' zemlyaniki sadovoj (*Fragaria ananassa* D.) v kul'ture *in vitro* // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2018. T. 54. S. 88–92. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-88-92.
 10. Mohamed F.H., Omar G.F., Ismail M.A. In vitro regeneration, proliferation and growth of strawberry under different light treatments // Acta Hort. 2017. Vol. 1155. P. 361–368. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1155.53.
 11. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco

References

- tissue cultures // *Physiol. Plant.* 1962. Vol. 15, № 13. P. 473–497.
12. *Polyakov A.V., Linnik T.A.* Proizvodstvo ozdorovlennogo posadochnogo materiala sortov zemlyaniki sadovoj (*Fragaria x ananassa* Duch.) s nizkoj usoobrazuyuschej sposobnost'yu metodom klonal'nogo mikrorazmnozheniya *in vitro* // *Vestnik MGOU. Ser. «Estestvennye nauki».* 2014. № 3. S. 35–41.
13. *Dospehov B.A.* Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

Статья принята к публикации 16.03.2023 / The article accepted for publication 16.03.2023.

Информация об авторах:

Татьяна Николаевна Чекушкина¹, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии

Елена Николаевна Барсукова², исполняющая обязанности заведующей лабораторией, ведущий научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Tatyana Nikolaevna Chekushkina¹, Postgraduate Student, Junior Researcher, Laboratory of Agricultural Biotechnology

Elena Nikolaevna Barsukova², Acting Head of the Laboratory, Leading Researcher at the Laboratory of Agricultural Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences

