

УДК 57.017.32:58.035.4:634.752

Д. С. Мороз, М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская, С. Е. Медведик
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи,
Республика Беларусь, +375 (163) 48 74 01, d.s.moro7@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ *FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH. В УСЛОВИЯХ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В работе представлены данные о влиянии светодиодного освещения различного спектрального состава на процессы укоренения и адаптации меристемных растений земляники садовой *Fragaria* × *ananassa* Duch. к нестерильным условиям. Полученные данные указывают на перспективность использования светодиодов в качестве источников света по сравнению с люминесцентными лампами, поскольку обеспечивают нормальный рост и развитие растений-регенерантов. Установлено положительное влияние синего спектра света на процесс ризогенеза земляники садовой сорта Мерлан как в условиях *in vitro*, так и *ex vitro*. Увеличение доли красного света в свою очередь положительно влияет на накопление биомассы надземной части растений-регенерантов.

Ключевые слова: земляника садовая; адаптация; ризогенез; растения-регенеранты; Мерлан; светодиодное освещение; нестерильные условия.

Рис. 3. Табл. 3. Библиогр.: 24 назв.

D. S. Moroz, M. Y. Shpak, E. A. Petrovskaya, S. E. Medvedik
Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21, Voykova str.,
Baranovichi 225404, Brest obl., the Republic of Belarus, +375 (163) 48 74 01, d.s.moro7@gmail.com

THE ADAPTATION FEATURES OF STRAWBERRY *FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH. MERISTEMIC PLANTS UNDER LED LIGHTING CONDITIONS

The paper presents data on the effect of LED lighting of various spectral composition on the rooting and adaptation processes of meristem strawberry plants *Fragaria* × *ananassa* Duch. to non-sterile conditions. The data obtained indicate the promising use of LEDs as light sources compared with fluorescent lamps, as they provide normal growth and development of a regenerated plant. The positive effect of the blue light spectrum on the process of rhizogenesis of the strawberry variety Merlan is established both *in vitro* and *ex vitro*. The increase in the share of the red light has a positive effect on biomass accumulation of the aerial part of regenerant plants.

Key words: strawberry; adaptation; rhizogenesis; regenerated plants Merlan; LED lighting; non-sterile conditions.

Fig. 3. Table 3. Ref.: 24 titles.

Введение. Земляника садовая *Fragaria* × *ananassa* Duch. является одной из основных ягодных культур в Республике Беларусь [1]. Она характеризуется высокой урожайностью, отличными вкусовыми качествами и высоким содержанием витаминов и других биологически активных веществ [2—5]. Традиционно размножение данной культуры осуществляется вегетативным способом, однако в этом случае высока вероятность передачи различных заболеваний [6; 7]. Для массового получения оздоровленного посадочного материала, в том числе и земляники садовой, а также быстрого размножения элитных и ремонтантных сортов, отличающихся низкой усообразующей способностью, в настоящий момент применяют технологию клонального микроразмножения [8—12]. Данная технология обладает рядом преимуществ [8; 12] и состоит из нескольких этапов: введение в

культуру *in vitro*, собственно микроразмножение, укоренение и адаптация [8; 11; 12]. Размноженные таким способом растения существенно отличаются от тех, которые были получены традиционным путем [13]. Одной из слабых сторон методики клонального микроразмножения является этап адаптации растений к нестерильным условиям, которая проводится в теплицах, в условиях повышенной влажности и пониженной освещенности [13; 14], что в свою очередь может спровоцировать развитие грибковой инфекции на поверхности субстрата и тем самым привести к полной или частичной гибели растений.

Адаптационный период сопровождается развитием корневой системы и формированием мощного листового аппарата, обеспечивающего нормальную транспирацию и фотосинтез. Исследования многих авторов указывают, что на данном этапе важна не только интенсивность освещения, но и качественный состав света, поскольку именно свет является важным регуляторным фактором морфогенеза, в том числе указанных выше процессов корнеобразования и формирования надземной части [8; 13; 15].

В настоящее время для искусственного освещения используются различные источники света, однако наиболее перспективными являются светодиодные облучатели. Данные технологии позволяют разрабатывать осветители с заданной мощностью и необходимым — для каждой конкретной культуры — спектральным составом, в том числе регулируемым. Кроме того, LED-облучатели имеют направленный поток светового излучения, отделенный от теплового, не содержат загрязняющих окружающую среду веществ и позволяют существенно снизить расход электроэнергии [15—20].

Целью данной работы было выявить воздействие светодиодного освещения различного спектрального состава на процессы укоренения и адаптации меристемных растений земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. к нестерильным условиям.

Материалы и методы исследований. Объектом изучения служили растения-регенеранты земляники садовой ремонтантного гибрида Мерлан. Исследования проводились на базе лаборатории кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии учреждения образования «Барановичский государственный университет». Для изучения особенностей укоренения в работе использовались меристемные растения земляники садовой. Укоренение микророзеток проводили в течение 30 дней на модифицированной питательной среде по прописи Мурасиге—Скуга половинного состава ($1/2$ МС). Условия культивирования были следующими: температура $+20—25^{\circ}\text{C}$, влажность воздуха — 70 %, световой день 16 ч. После формирования корневой системы *in vitro* растения пересаживались в пластмассовые горшки объемом 0,5 л с универсальным торфяным грунтом.

Перед посадкой растения пинцетом доставали из культурального сосуда, корневую систему тщательно отмывали водопроводной водой от остатков питательной среды, на несколько секунд помещали в слабый раствор перманганата калия (KMnO_4) и затем высаживали их в предварительно увлажненный и пролитый раствором KMnO_4 почвенный грунт. В каждый горшок высаживали по одному растению, имеющему хорошо развитую корневую и надземную систему. Для сохранения влажности субстрата горшок накрывали пищевой пленкой в один слой. Дальнейшее развитие растений проходило в адаптационной комнате в течение 30 суток при тех же условиях. По мере отрастания растений и появления новых листьев делали небольшое вентиляционное отверстие в пищевой пленке. На этапе адаптации к почвенным условиям молодые растения поливали солевым раствором $1/2$ МС по мере необходимости, так как на приживаемость растений губительно влияет как высыхание почвы, так и ее переувлажнение. Через 30 суток окрепшие растения полностью открывали и оставляли в условиях адаптационной комнаты.

Досветку опытных растений осуществляли светодиодными осветителями TL-PROM FITO с плотностью потока фотонов $250 \text{ мкмоль} / \text{м}^2\text{с}$ со следующими пропорциями спектра:

вариант 1 — 730 нм — 13 %, 660 нм — 17 %, 450 нм — 70 % (синий); вариант 2 — 730 нм — 13 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 50 % (белый); вариант 3 — 730 нм—58 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 29 % (красный). В качестве контроля использовали люминесцентные лампы белого света Cool Daylight (765 нм) марки OSRAM с мощностью напряжения 36 Вт.

У растений исследовались следующие биометрические показатели: количество корней 1-го и 2-го порядка, длина корневой системы, высота розетки, количество листьев, сырая и сухая масса наземной и подземной частей растений.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы MS Excell 2007. В таблицах приведены средние значения со стандартными ошибками. Также для сравнения данных с контрольным вариантом использовался двухвыборочный *t*-тест с учетом дисперсий, достоверно отличающиеся данные отмечены знаком «*».

Результаты исследований и их обсуждение. На первом этапе было изучено влияние света искусственных диодов различного спектрального состава света на биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) на этапе укоренения в культуре *in vitro* (таблица 1).

Согласно полученным данным, растения, культивируемые под светодиодным освещением, не уступают по морфометрическим показателям растениям, выращенным под люминесцентными лампами. При этом светодиодное освещение с большими долями синего и красного спектров (вариант 1 и вариант 3 соответственно) способствует росту корней как первого, так и второго порядка, а также увеличению их длины по сравнению с контрольным и белым светодиодным освещением (вариант 2). Полученные результаты соотносятся с литературными данными, согласно которым синий свет способствует развитию корневой системы [15; 21—23].

При анализе показателей сырой и сухой биомассы растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. на этапе укоренения в культуре *in vitro* (рисунок 1) были получены сходные закономерности. Растения, выращенные под светодиодным освещением с большей долей синего и красного света (вариант 1 и вариант 3 соответственно), характеризуются более высокой биомассой как надземной, так и подземной частей растения.

Т а б л и ц а 1. — Влияние света искусственных диодов различного спектрального состава света на биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) на этапе укоренения в культуре *in vitro*, * — значения достоверно отличаются от контрольных

T a b l e 1. — The effect of different spectral composition LED light on the biometric features of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants-regenerants growing under laboratory conditions at the stage of rooting in culture *in vitro*, * — values are significantly different from the control

Вариант	Количество корней 1-го порядка, шт.	Количество корней 2-го порядка, шт.	Длина корневой системы, см	Высота розетки, см	Количество листьев, шт.
Перед укоренением	5,6 ± 0,69	4,6 ± 1,65	2,3 ± 0,43	3,1 ± 0,14	11,1 ± 1,03
Контроль	7,4 ± 1,23	2,8 ± 1,01	1,6 ± 0,15	3,0 ± 0,19	11,6 ± 1,26
Вариант 1	8,5* ± 0,82	8,4* ± 1,89	4,4* ± 0,44	3,2 ± 0,37	12,6 ± 1,10
Вариант 2	6,6 ± 0,60	2,1 ± 0,91	1,9 ± 0,33	2,7 ± 0,25	11,5 ± 1,05
Вариант 3	8,9* ± 1,61	4,6* ± 1,61	2,3* ± 0,35	3,0 ± 0,30	12,4 ± 1,59

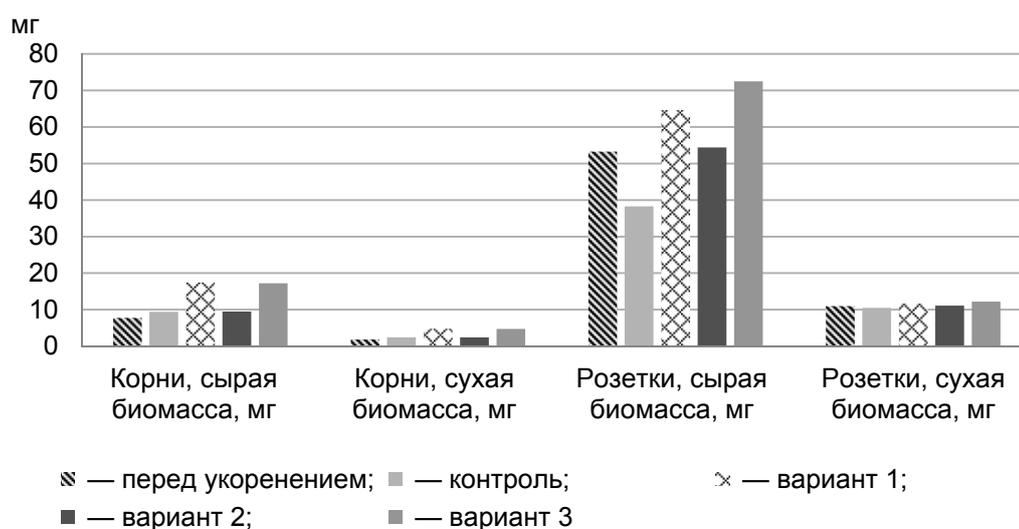


Рисунок 1. — Биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) на этапе укоренения в культуре *in vitro*: перед укоренением — растения на искусственной питательной среде *in vitro* под люминесцентными лампами; контроль — люминесцентные лампы белого света Cool Daylight (765 нм)

Figure 1. — Biometric features of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants-regenerants at the stage of rooting in culture *in vitro*: before rooting — plants on an artificial nutrient medium *in vitro* under fluorescent lamps; control — fluorescent lamps of white light Cool Daylight (765 nm)

Примечание. Здесь и далее в рисунках 2, 3: вариант 1 — светодиодный осветитель со спектром 730 нм — 13 %, 660 нм — 17 %, 450 нм — 70 % (синий); вариант 2 — светодиодный осветитель со спектром 730 нм — 13 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 50 % (белый); вариант 3 — светодиодный осветитель со спектром 730 нм — 58 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 29 % (красный).

Hereinafter in the figures variant 1 — LED lamp with a spectrum of 730 nm — 13 %, 660 nm — 17 %, 450 nm — 70 % (blue); variant 2 — LED lamp with a spectrum of 730 nm — 13 %, 660 nm — 37 %, 450 nm — 50 % (white); variant 3 — LED lamp with a spectrum of 730 nm — 58 %, 660 nm — 37 %, 450 nm — 29 % (red).

Таким образом, установлено, что на этапе ризогенеза *in vitro* земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. ремонтантного гибрида Мерлан эффективно использовать LED-облучатели с большей долей синего света в спектре излучения, который способствует развитию корневой системы и общему увеличению биомассы растений.

При последующей пересадке растений в торфяной грунт *ex vitro* и выращивании в нестерильных условиях нами были подтверждены полученные закономерности: светодиодное освещение обеспечивает развитие растений-регенерантов земляники садовой, не уступающее по своим морфометрическим параметрам растениям, выращенным под люминесцентными лампами. Выявлена положительная зависимость показателей укоренения от доли синего спектра в свете излучения светодиодных облучателей при адаптации растений к нестерильным условиям [24]. Результаты исследований представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

В процессе адаптации к нестерильным условиям увеличилось число корней первого порядка у всех вариантов. При этом количество корней 2-го порядка даже несколько уменьшилось. Это, вероятно, связано с тем, что эти корни отмерли при первоначальной

Т а б л и ц а 2. — Влияние света искусственных диодов различного спектрального состава света на биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) на этапе адаптации к нестерильным условиям, * — значения достоверно отличаются от контрольных

T a b l e 2. — The effect of different spectral composition LED light on the biometric features of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants-regenerants growing under laboratory conditions at the stage of adaptation to non-sterile conditions, * — values are significantly different from the control

Вариант	Количество корней 1-го порядка, шт.	Количество корней 2-го порядка, шт.	Длина корневой системы, см	Высота розетки, см	Количество листьев, шт.
Перед адаптацией	8,9 ± 1,00	0	3,0 ± 0,42	2,8 ± 0,21	9,3 ± 0,75
Контроль	12,8 ± 0,86	1,0 ± 0,63	3,7 ± 0,45	5,2 ± 0,36	10,0 ± 1,64
Вариант 1	11,3 ± 1,11	5,4* ± 1,55	4,0 ± 0,39	4,3 ± 0,48	14,1* ± 1,03
Вариант 2	9,0* ± 0,71	1,0 ± 0,58	3,3 ± 0,35	5,18 ± 0,24	12,0 ± 0,83
Вариант 3	10,9 ± 1,13	5,6* ± 2,02	3,0 ± 0,35	4,0 ± 0,38	11,8 ± 1,58

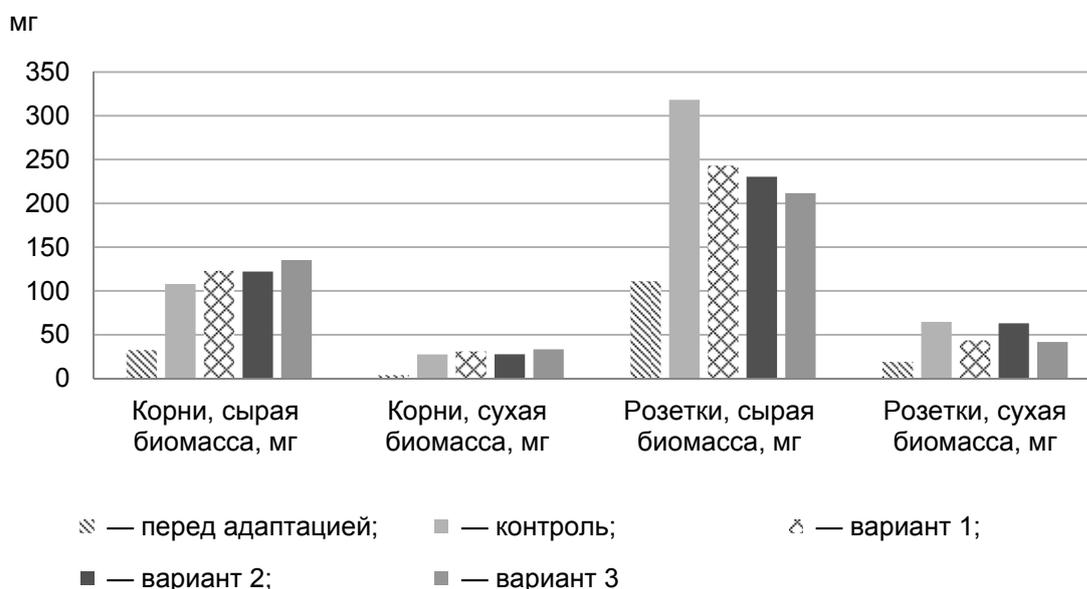


Рисунок 2. — Биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) на этапе адаптации к нестерильным условиям: перед адаптацией — растения на искусственной питательной среде *in vitro* под люминесцентными лампами; контроль — люминесцентные лампы белого света Cool Daylight (765 нм)

Figure 2. — Biometric features of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants-regenerants at the stage of adaptation to non-sterile conditions: before adaptation — plants on an artificial nutrient medium *in vitro* under fluorescent lamps; control — fluorescent lamps of white light Cool Daylight (765 нм)

адаптации к новому типу субстрата. Однако увеличение общего числа корней говорит, что растения успешно адаптируются за счет образования новых корней. Существенный прирост длины корневой системы можно отметить только для контрольного варианта и варианта 1, который характеризуется большей долей синего света. Высота розетки также значительно увеличилась во всех вариантах, при этом наибольшие значения данного параметра характерны для контрольного варианта ($5,2 \pm 0,36$ см) и варианта 2 ($5,18 \pm 0,24$ см)

с близкими спектральными составами (соотношение красной области спектра к синей — 1:1). При этом максимальное количество листьев сформировалось у растений-регенерантов, выращиваемых в условиях первого варианта освещения ($14,1 \pm 1,03$ шт.). Кроме того, увеличение доли синего спектра света также способствует морфогенезу листового аппарата, при этом растения варианта 3 отличались меньшей высотой розетки ($4,0 \pm 0,38$ см).

На рисунке 2 представлены данные о сырой и сухой биомассе растений-регенерантов земляники садовой после адаптации в течение 30 дней в условиях *ex vitro*. Полученные данные хорошо согласуются с морфометрическими параметрами. Так, существенное увеличение как сырой, так и сухой биомассы наблюдалось у всех биологических объектов под всеми экспериментальными вариантами освещения. При этом несколько больший сырой вес корней отмечался у растений-регенерантов, культивируемых под светодиодным освещением, в сравнении с контрольной группой. Однако наибольшая сырая и сухая масса надземной части микрорастений, напротив, отмечалась для контрольных растений. При этом по сухой массе лидировали варианты с соотношением красной части спектра к синей 1:1 — контроль ($64,7$ мг) и вариант 2 ($63,1$ мг).

Спустя 30 дней растения-регенеранты земляники садовой постепенно адаптировали к лабораторным условиям с более низкой влажностью. У растений были измерены вышеуказанные биометрические показатели (таблица 3 и рисунок 3). Количество корней первого порядка и длина корневой системы в ходе вегетации растений-регенерантов в лабораторных условиях достоверно не изменились, что характерно для всех вариантов освещения. Тем не менее, количество корней 2-го порядка увеличилось во всех вариантах, а особенно в контрольном ($7,0 \pm 3,61$ шт.) и варианте с белым светом ($15,0 \pm 2,64$ шт.). Полученные данные говорят, что дальнейшее развитие корневой системы, после адаптации растений к нестерильным условиям, идет не за счет образования новых корней 1-го порядка, а за счет ветвления уже имеющихся. Увеличение объема корневой системы растений наиболее активно протекает в условиях белого светодиодного освещения.

Строение микророзетки в ходе адаптации к новым условиям среды также претерпело значительные изменения. Листья растений-регенерантов, образованные в культуральном сосуде, пожухли, однако на их месте образовались новые, с характерной для земляники тройчатой формой. В силу этого количество листьев сократилось по сравнению с предыдущим этапом для всех вариантов, особенно для варианта 1. Вместе с тем, достоверных различий между вариантами на данном выявить этапе не удалось. Высота розетки также несколько уменьшилась во всех вариантах, что связано с образованием новых листьев, которые имеют более толстые и короткие черешки.

Т а б л и ц а 3. — Влияние света искусственных диодов различного спектрального состава света на биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) при выращивании в лабораторных условиях, * — значения достоверно отличаются от контрольных

T a b l e 3. — The effect of different spectral composition LED light on the biometric features of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plants-regenerants growing under laboratory conditions, * — values are significantly different from the control

Вариант	Количество корней 1-го порядка, шт.	Количество корней 2-го порядка, шт.	Длина корневой системы, см	Высота розетки, см	Количество листьев, шт.
Контроль	$12,6 \pm 3,06$	$7,0 \pm 3,61$	$3,0 \pm 0,81$	$3,7 \pm 0,61$	$8,0 \pm 2,0$
Вариант 1	$8,0 \pm 1,73$	$6,0 \pm 1,73$	$3,9 \pm 0,51$	$3,3 \pm 0,76$	$7,7 \pm 1,15$
Вариант 2	$8,0 \pm 1,0$	$15,0^* \pm 2,64$	$3,6 \pm 0,80$	$3,9 \pm 0,25$	$6,3 \pm 1,52$
Вариант 3	$10,0 \pm 1,73$	$5,0 \pm 1,00$	$2,8 \pm 0,25$	$3,6 \pm 0,29$	$6,0 \pm 1,0$

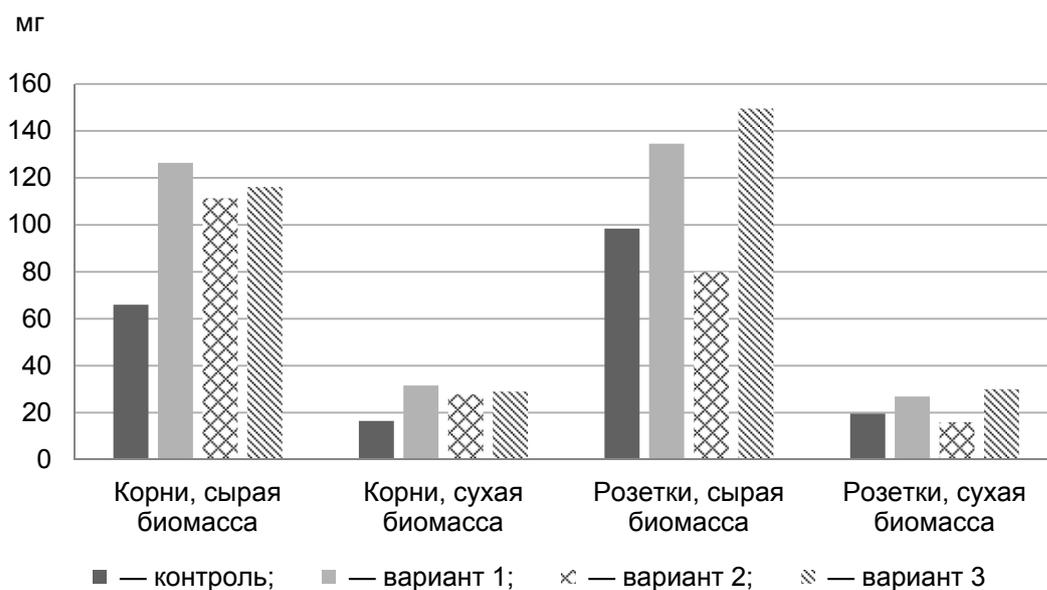


Рисунок 3. — Биометрические показатели растений — регенерантов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в лабораторных условиях: контроль — люминесцентные лампы белого света Cool Daylight (765 нм)

Figure 3. — Biometric features of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants-regenerants under laboratory conditions: control — fluorescent lamps of white light Cool Daylight (765 nm)

На рисунке 3 представлены средние значения сырой и сухой биомассы растений-регенерантов после 30 дней выращивания в лабораторных условиях. Как видно из представленных данных, у растений земляники садовой в контрольном варианте значительно уменьшилась как сухая, так и сырая биомасса. В то же время у растений под светодиодным освещением биомасса корней значимых изменений не претерпела, а масса розеток снизилась, что можно объяснить отмиранием старых и образованием на их месте новых листьев. При этом стоит отметить, что увеличение доли синего спектра света стимулирует развитие корневой системы, а красного — листьев, хотя на первом этапе адаптации в условиях повышенной влажности развитие листового аппарата шло более активно под LED-облучателями с большей долей синего спектра света.

Заключение. Экспериментально установлено, что свет искусственных диодов может быть успешно использован на этапе укоренения и адаптации растений-регенерантов земляники садовой ремонтантного гибрида Мерлан.

На этапе ризогенеза в условиях *in vitro* синий свет стимулирует корнеобразование и увеличение биомассы. Увеличение доли синего спектра света при переносе растений в нестерильные условия *ex vitro* с повышенной влажностью также способствовало развитию корневой системы, как за счет увеличения длины, так и количества корней. Вероятно, на фоне более развитой корневой системы растения-регенеранты при таком освещении сформировали большее количество листьев по сравнению с контролем. Однако большее накопление сухой биомассы наблюдалось у групп растений, культивируемых под белым светодиодным и люминесцентным освещением. Последующее выращивание растений в условиях постепенного снижения влажности также подтверждает эффективность использования светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным. В данном случае бо-

лее выражено положительное воздействие синего света на корневую систему, а красного спектра — на накопление биомассы надземной части. Полученные данные могут быть использованы при разработке режима освещения на основе светодиодов для растений-регенерантов земляники садовой, что обеспечит лучшую адаптацию микроклонов к нестандартным условиям и снизит расходы на электроэнергию.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Б18М-147).

Список цитируемых источников

1. Криворот, А. М. Влияние способа содержания почвы на лежкоспособность ягод земляники садовой / А. М. Криворот, Г. А. Новик // Теория и практика современного ягодоводства: от сорта до продукта : материалы Междунар. науч. конф., Самохваловичи, 16—18 июля 2014 г. / РУП «Ин-т плодоводства». — Самохваловичи, 2014. — С. 233—237.
2. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники / М. Ю. Акимов [и др.] // Вопросы питания. — 2019. — № 88 (2). — С. 64—72.
3. Говорова, Г. Ф. Земляника: прошлое, настоящее, будущее / Г. Ф. Говорова, Д. Н. Говоров. — М. : Росинформагротех, 2004. — 348 с.
4. Kähkönen, M. P. Berry phenolics and their antioxidant activity / M. P. Kähkönen, A. I. Hopia, M. Heinonen // J. Agricult. Food Chem. — 2001. — Vol. 49. — P. 4076—4082.
5. Da Silva, F. L. Anthocyanin pigments in strawberry / F. L. Da Silva, M. T. Escribano-Bailon, J. Alonso // LWT — Food Sci. and Technol. — 2007. — Vol. 40 (2). — P. 374—382.
6. Фитофтороз земляники / И. Н. Александров [и др.] // Защита и карантин растений. — 2007. — № 5. — С. 32—35.
7. Комплексная устойчивость сортов земляники к болезням и вредителям / Г. Ф. Говорова [и др.] // Защита и карантин растений. — 2012. — № 9. — С. 23—24.
8. Никонович, Т. В. Биотехнология в растениеводстве : курс лекций / Т. В. Никонович, А. Н. Иванистов, В. В. Французёнок. — Горки : БГСХА, 2017. — 84 с.
9. Микроклональное размножение земляники садовой / О. В. Мацнева [и др.] // Селекция и сорторазведение садовых культур. — 2017. — Т. 4, № 1—2. — С. 93—96.
10. Мацнева, О. В. Оптимизация сроков введения земляники в культуру *in vitro* [Электронный ресурс] / О. В. Мацнева, Л. В. Ташматова // Современное садоводство. — 2018. — № 2 (26). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-srokov-vvedeniya-zemlyaniki-v-kulturu-invitro> — Дата доступа: 19.06.2019.
11. Шпак, М. Ю. Метод культуры *in vitro* как перспективный способ сохранения редких видов и получения высококачественного, оздоровленного посадочного материала культурных растений / М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская, Е. А. Маркова // Содружество наук. Барановичи — 2017 : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, г. Барановичи, 18—19 мая 2017 г. — Барановичи : БарГУ, 2018. — С. 180.
12. Линник, Т. А. Повышение эффективности способов размножения сортов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.), характеризующейся низкой усообразующей способностью : дис. ... канд. с/х наук : 06.01.05 / Т. А. Линник ; ФГБНУ ВНИИО. — М., 2014. — 141 л.
13. Кутас, Е. Н. Адаптация регенерантов интродуцированных сортов голубики высокой и брусники обыкновенной, регенерированных в культуре *in vitro*, к условиям *ex vitro* / Е. Н. Кутас // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы : материалы Респ. науч.-практ. конф. (17 авг. 2012 г., Минск, Беларусь). — Минск, 2012. — С. 29—35.
14. Бородулина, И. Д. Адаптация растений-регенерантов земляники садовой сорта Московский деликатес к условиям *ex vitro* / И. Д. Бородулина, Т. В. Плаксина // Acta Biologica Sibirica. — 2015. — No 1-2. — С. 74—84.
15. Маркова, М. Г. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники *in vitro* / М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2018. — Т. 63, № 2. — С. 35—41.
16. Исследование влияние светодиодного освещения на рост и развитие растений / А. Ю. Хомяков [и др.] // Электронные средства и системы управления. — 2015. — № 1. — С. 259—262.
17. Yeh, N. Light-emitting diodes' light qualities and their corresponding scientific applications / N. Yen, T. J. Ding, P. Yeh // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2015. — Vol. 51. — P. 55—61.

18. Gupta, S. D. Fundamentals and applications of light emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis / S. D. Gupta, B. Jatothu // Plant Biotechnology Reports. — 2013. — Vol. 7. — P. 211—220.
19. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light emitting diodes (LEDs) / D. T. Nhut [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. — 2003. — Vol. 73 (1). — P. 43—52.
20. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) / C. D. Hung [et al.] // Acta Physiologia Plantarum. — 2016. — Vol. 38. — P. 152.
21. Шпак, М. Ю. Особенности развития растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) в культуре in vitro при различном освещении / М. Ю. Шпак, Т. В. Никонович / Вестник БГСХА. — 2015. — № 3. — С. 73—78.
22. Шпак, М. Ю. Изучение влияния света искусственных диодов различного спектрального состава на ризогенез земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) в культуре in vitro / М. Ю. Шпак // Техника и технологии: инновации и качество : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Барановичи, 19 дек. 2017 г. — Барановичи : БарГУ, 2018. — 176 с.
23. Высоцкий, В. А. Спектральный состав света как регуляторный фактор при клональном микро-размножении ягодных растений / В. А. Высоцкий // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. работ. — М. : ВСТИСП, 2016. — Т. XXXIV. — С. 126—130.
24. Мороз, Д. С. Влияние света светодиодных осветителей различного спектрального состава на адаптацию растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria* × *Ananassa* Duch. к нестерильным условиям / Д. С. Мороз, М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская // Перспективы развития науки в современном мире : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Уфа, 7 марта 2019 г.). — Уфа : Дендра, 2019. — С. 101—107.

References

1. Krivorot A. M., Novik G. A. Vliyaniye sposoba soderzhaniya pochvy na lezhkosposobnost' yagod zemlyaniki sadovoy [Teoriya i praktika sovremennogo yagodovodstva: ot sorta do produkta: materialy mezhdunar. nauch. konf., Samokhvalovich, 16-18 iyulya 2014 g.]. RUP "In-t plodovodstva", Samokhvalovich, 2014. P. 233—237.
2. Akimov M. Y. [et. al] Pishchevaya tsennost plodov perspektivnykh sortov zemlyaniki [Voprosy pitaniya] 2019. No 88 (2). P. 64—72.
3. Govorova G. F., Govorov D. N. Zemlyanika: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye. M.: FGNU Rosinformagrotekh, 2004. 348 p.
4. Kähkönen M. P., Hopia A. I., Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity // J. Agricult. Food Chem., 2001. Vol. 49. P. 4076—4082.
5. Da Silva F. L., Escribano-Bailon M. T., Alonso J. Anthocyanin pigments in strawberry // LWT Food Sci. and Technol. 2007. Vol 40(2). P. 374—382.
6. Aleksandrov I. N. [et al.]. Fitofloroz zemlyaniki [Zashchita i karantin rasteniy]. 2007. № 5. Pp. 32—35.
7. Govorova G. F., Govorov D. N., Govorov V. N., Bulanov A. Y. Kompleksnaya ustoychivost' sortov zemlyaniki k boleznyam i vreditelyam // Zashchita i karantin rasteniy. 2012. No 9. P. 23—24.
8. Nikonovich T. V., Ivanistov A. N., Frantsuzonok V. V. Biotekhnologiya v rasteniyevodstve: kurs lektsiy [Gorki : BGSKHA]. 2017. 84 p.
9. Matsneva O. V., Tashmatova L. V., Orlova N. Y., Shakhov V. V. Mikroklonal'noye razmnozheniye zemlyaniki sadovoy [Selektsiya i sortorazvedeniye sadovykh kul'tur.]. 2017. Vol. 4, № 1—2. P. 93—96.
10. Matsneva O. V., Tashmatova L. V. Optimizatsiya srokov vvedeniya zemlyaniki v kul'turu in vitro [Electronic resource] // Sovremennoye sadovodstvo. 2018. No 2 (26). Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-srokov-vvedeniya-zemlyaniki-v-kulturu-invitro>. Data of access: 19.06.2019.
11. Shpak M. Y., Petrovskaya E. A., Markova E. A. Metod kul'tury in vitro kak perspektivnyy sposob sokhraneniya redkikh vidov i polucheniya vysokokachestvennogo, ozdorovlennogo posadochnogo materiala kul'turnykh rasteniy [XIII Mezhdunarodnaya nauchno prakticheskaya konferentsiya molodykh issledovateley "Sodruzhestvo nauk. Baranovich — 2017", g. Baranovich, 18—19 maya 2017 g.]. 2017. P. 180.
12. Linnik T. A. Povysheniye effektivnosti sposobov razmnozheniya sortov zemlyaniki sadovoy (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), kharakterizuyushchiysya nizkoy usobrazuyushchey sposobnost'yu : dis. na soisk. uchen. step. kand. sel'khoz. nauk (06.01.05) [FGBNU VNIIO]. Moscow, 2014. 141 p.
13. Kutas E. N. Adaptatsiya regenerantov introdutsirovannykh sortov golubiki vysokoy i brusniki obyknovennoy, regenerirovannykh v kul'ture in vitro, k usloviyam ex vitro [Golubikovodstvo v Belarusi: itogi i perspektivy. Materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (17 avgusta 2012 g., Minsk, Belarus')]. Minsk, 2012. P. 29—35.
14. Borodulina I. D., Plaksina T. V. Adaptatsiya rasteniy-regenerantov zemlyaniki sadovoy sorta moskovskiy delikates k usloviyam ex vitro // Acta Biologica Sibirica. 2015. No 1-2. P. 74—84.

15. Markova M. G., Somova E. N. Vliyaniye pitatel'noy sredy i spektral'nogo sostava sveta na razmnozheniye zemlyaniki *in vitro* // Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka. 2018. T. 63. No 2. P. 35—41.
16. Khomyakov A. Y., Tuyev V. I., Gasanova T. T., Neznamova E. G. Issledovaniye vliyaniye svetodiodnogo osveshcheniya na rost i razvitiye rasteniy // Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya. 2015. No 1. P. 259—262.
17. Yen N., Ding T. J., Yeh P. Light-emitting diodes' light qualities and their corresponding scientific applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 51. P. 55—61.
18. Gupta S. D., Jatothu B. Fundamentals and applications of light emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis // Plant Biotechnology Reports. 2013. Vol. 7. P. 211—220.
19. Nhut D. T. [et al.]. Responses of strawberry plantlets cultured *in vitro* under superbright red and blue light emitting diodes (LEDs) // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2003. Vol. 73 (1). P. 43—52.
20. Hung C. D. [et al.]. LED light for *in vitro* and *ex vitro* efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) // Acta Physiologia Plantarum. 2016. Vol. 38. P. 152.
21. Shpak M. Y., Nikonovich T. V. Osobennosti razvitiya rasteniy-regenerantov zemlyaniki sadovoy (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) v kul'ture *in vitro* pri razlichnom osveshchenii // Vestnik BGSKHA, 2015. No 3. P. 73—78.
22. Shpak M. Y. Izucheniye vliyaniya sveta iskusstvennykh diodov razlichnogo spektral'nogo sostava na rizogenez zemlyaniki sadovoy (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) v kul'ture *in vitro* [Tekhnika i tekhnologii: innovatsii i kachestvo. Materialy IV Mezhd. nauch.-prakt. konf., g. Baranovichi, 19 dek. 2017 g.]. 2018. P. 176.
23. Vysotskiy V. A. Spektral'nyy sostav sveta kak regul'yatornyy faktor pri klonal'nom mikrorazmnozhenii yagodnykh rasteniy [Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: sb. nauch. rabot]. M.: VSTISP. 2016. T. XXXIV. P. 126—130.
24. Moroz D. S., Shpak M. Y., Petrovskaya E. A. Vliyaniye sveta svetodiodnykh osvetiteley razlichnogo spektral'nogo sostava na adaptatsiyu rasteniy-regenerantov zemlyaniki sadovoy *Fragaria* × *Ananassa* Duch. k nesteril'nym usloviyam [Perspektivy razvitiya nauki v sovremennom mire: Sbornik statey po materialam XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (7 marta 2019, Ufa)]. Ufa: Dendra, 2019. P. 101—107.

The article presents data on different composition LED lighting effect on the regenerated strawberry plants adaptation to non-sterile conditions. It was shown that LED light can be successfully used at the stage of rooting and adaptation of strawberry plants-regenerants remontant hybrid Merlan. At the stage of rhizogenesis *in vitro*, blue light stimulates root formation and biomass increase. The increase in the share of the blue light spectrum, when transferring plants to non-sterile *ex vitro* conditions with high humidity, also contributed to the development of the root system, both by increasing the length and number of roots. Probably, against the background of a more developed root system, regenerated plants under such illumination formed a larger number of leaves as compared with the control. The subsequent cultivation of plants under conditions of a gradual decrease in humidity also confirms the efficiency of using LED lighting in comparison with a fluorescent lamp. However, the positive effect of blue light on the root system is more pronounced, and the red spectrum effect is more significant for the aerial part biomass accumulation.

The research was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (agreement No B18M-147).

Поступила в редакцию 02.07.2019