



Научная статья/Research Article

УДК 635.21:631.531.02:628.9

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-3-12

Алексей Львович Бакунов^{1✉}, Сергей Леонидович Рубцов², Алексей Викторович Милехин³, Надежда Николаевна Дмитриева⁴

^{1,2,3,4}Самарский НИИ сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова – филиал Самарского ФИЦ РАН, пгт Безенчук, Самарская область, Россия

¹bac24@yandex.ru

²rubtsov_sl@mail.ru

³alekseimilehin@mail.ru

ИНТЕНСИВНОСТЬ МОРФОГЕНЕЗА РЕГЕНЕРАНТОВ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОСВЕЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА

Цель исследований – установить оптимальные параметры светодиодного освещения при выращивании in vitro меристемных растений картофеля различных сортов для оптимизации элементов технологии оригинального семеноводства картофеля. Исследования проводились в 2023 г. в лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений Самарского НИИ сельского хозяйства. Объект исследований – меристемные растения картофеля шести сортов. Экспланты выращивались на питательной среде Мурасиге-Скуга в течение 40 сут с использованием различных источников искусственного светодиодного освещения. Длительность фотопериода составляла 16 ч, температура воздуха – 22–24 °С, относительная влажность воздуха – 70–75 %. Через 10, 20, 30 и 40 сут культивирования проводились измерения биометрических показателей регенерантов – длина растения и количество междоузлий. При выращивании меристемных растений картофеля в культуре in vitro в разные периоды их развития положительное действие на рост и развитие регенерантов оказывало освещение различного спектрального состава. На начальных этапах вегетации максимальные параметры роста и развития регенерантов выявлены при использовании белого и комбинированного освещения. К окончанию вегетационного периода существенно более высокой длиной и количеством междоузлий характеризовались растения в варианте с освещением красно-фиолетовым спектром. Показана ярко выраженная сортоспецифическая реакция меристемных растений на различные условия освещения. В течение всего периода экспонирования отмечено нарастание доли влияния взаимодействия генотипического и средового факторов на изменчивость длины растений. Взаимодействие факторов также было определяющим для количества междоузлий в первые 30 сут вегетации. В последнюю декаду вегетации максимальный вклад в изменчивость признака вносил фактор освещения. Для практического применения в оригинальном семеноводстве картофеля рекомендуется индивидуальный подбор параметров светодиодного освещения для каждого сорта с постепенным увеличением красно-фиолетового спектра после десятых суток экспонирования.

Ключевые слова: картофель, сорт, оригинальное семеноводство, микроклональное размножение, светодиодное освещение, морфологические параметры растений

Для цитирования: Интенсивность морфогенеза регенерантов картофеля при использовании освещения различного спектрального состава / А.Л. Бакунов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 7. С. 3–12. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-3-12.

Alexey Lvovich Bakunov^{1✉}, Sergey Leonidovich Rubtsov², Alexey Viktorovich Milekhin³, Nadezhda Nikolaevna Dmitrieva⁴

^{1,2,3,4}Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaikov – branch of the Samara FRC of the RAS, Bezenchuk, Samara Region, Russia

¹bac24@yandex.ru

²rubtsov_sl@mail.ru

³alekseimilehin@mail.ru

POTATO REGENERANTS MORPHOGENESIS INTENSITY WHEN USING LIGHTING OF VARIOUS SPECTRAL COMPOSITION

The aim of research is to establish the optimal parameters of LED lighting for in vitro cultivation of meristem plants of different potato varieties in order to optimize the elements of the original potato seed production technology. Research was conducted in 2023 in the laboratory of agricultural plant biotechnology of the Samara Research Institute of Agriculture. The object of research was meristem plants of six potato varieties. The explants were grown on a Murashige-Skoog nutrient medium for 40 days using various sources of artificial LED lighting. The photoperiod duration was 16 hours, the air temperature was 22–24 °C, the relative humidity was 70–75 %. After 10, 20, 30 and 40 days of cultivation, the biometric parameters of the regenerants were measured – plant length and the number of internodes. When growing meristematic potato plants in vitro, lighting of different spectral composition had a positive effect on the growth and development of regenerants at different periods of their development. At the initial stages of vegetation, the maximum parameters of growth and development of regenerants were revealed when using white and combined lighting. By the end of the vegetation period, plants in the variant with red-violet spectrum lighting were characterized by a significantly higher length and number of internodes. A pronounced variety-specific response of meristematic plants to different lighting conditions was shown. During the entire exposure period, an increase in the share of the influence of the interaction of genotypic and environmental factors on the variability of plant length was noted. The interaction of factors was also decisive for the number of internodes in the first 30 days of vegetation. In the last decade of vegetation, the maximum contribution to the variability of the trait was made by the lighting factor. For practical use in original seed production of potatoes, individual selection of LED lighting parameters for each variety is recommended with a gradual increase in the red-violet spectrum after the tenth day of exposure.

Keywords: potato, variety, original seed production, microclonal propagation, LED lighting, morphological parameters of plants

For citation: Potato regenerants morphogenesis intensity when using lighting of various spectral composition / A.L. Bakunov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(7): 3–12 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-3-12.

Введение. Размножение оздоровленных меристемных растений в культуре *in vitro* является важнейшим этапом оригинального семеноводства картофеля [1]. При этом регенеранты культивируются в закрытых помещениях с контролируемыми условиями среды и в частности при искусственном освещении. Свет является одним из основных факторов, определяющих рост и развитие меристемных растений картофеля. В контролируемых условиях среды возможно

изменение параметров освещения. Это позволяет регулировать морфогенез меристемных растений, существенно повышать эффективность их выращивания и снижать затраты на первом этапе семеноводства [2]. Изучение влияния света различного спектрального состава на рост и развитие регенерантов картофеля является важным фактором для подбора оптимального режима освещения [3].

При выращивании растений в вегетационных помещениях источниками света чаще всего являются люминесцентные или натриевые лампы (ДНАТ). Однако это связано со значительными энергозатратами и ограниченными спектральными возможностями указанных источников света. Для получения качественного семенного материала необходимо изучение действия характеристик искусственного освещения на рост и развитие растений [4]. Свет различного спектра регулирует ростовые процессы в регенерантах картофеля *in vitro* [5]. Интенсивность освещения напрямую влияет на количество образованных ассимилятов, биомассу растения и интенсивность поглощения растением углекислого газа [6].

В современных условиях актуальной становится задача снижения затрат, оптимизации и повышения эффективности источников освещения. Этому в частности способствует внедрение светодиодных светильников. Светодиоды могут применяться не только как дополнительные облучатели, но и полностью заменить традиционные источники освещения при выращивании растений [7]. Так, в исследованиях С.И. Васильева и других разработан способ адаптивного освещения меристемных растений картофеля, сокращающий срок выращивания на 21–26 % и снижающий затраты электроэнергии на 30–40 % [8].

В исследованиях других авторов также показано положительное влияние фитосветодиодных ламп на рост и развитие регенерантов картофеля. При использовании ламп JAZZWAY высота меристемных растений картофеля сорта Розара при экспонировании в течение 21 сут была достоверно выше, чем в контрольном варианте [9]. Отмечено увеличение биометрических показателей меристемных растений сортов Ред Скарлетт, Чароит и Елизавета при выращивании с применением светодиодного модуля [10]. Т.В. Никонович и другие показали, что достоверное влияние на проявление морфологических признаков растений-регенерантов сортов Лилея, Архидея и Скарб оказывали как тип светодиодного источника света, так и сортовые особенности растений [11].

Цель исследований – установить оптимальные параметры светодиодного освещения при выращивании *in vitro* меристемных растений картофеля различных сортов для оптимизации элементов технологии оригинального семеноводства картофеля.

Объекты и методы. Исследования проводились в январе-феврале 2023 г. в лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН.

Объект исследований – меристемные растения картофеля шести сортов: Удача, Джулия (раннеспелые); Ильинский, Чародей (среднеранние); Гранд, Комета (среднеспелые). Количество растений в каждом из вариантов опыта исследований – 20. Экспланты выращивались в химических пробирках, на питательной среде Мурасиге-Скуга в течение 40 сут с использованием различных источников искусственного светодиодного освещения. Длительность фотопериода составляла 16 ч, температура воздуха – 22–24 °С и относительная влажность воздуха – 70–75 %. Через 10, 20, 30 и 40 сут культивирования проводились измерения биометрических показателей регенерантов – длина растения и количество междоузлий. Анализ количественных характеристик проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

В качестве источников освещения использовались светодиодные светильники ЭСС-Industrial ECO.RGB.250. Данный тип светильника позволяет в различных пропорциях смешивать облучение белым светом и лучами красного и фиолетового спектра.

Варианты опыта:

1. Светильник ЭСС-Industrial ECO.RGB.250, белый свет.
2. Светильник ЭСС-Industrial ECO.RGB.250, комбинированное освещение, белый + красно-фиолетовый (белый-фито).
3. Светильник ЭСС-Industrial ECO.RGB.250, освещение красно-фиолетовым спектром (фито).
4. Контроль, люминесцентная лампа OSRAM.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов исследований показал достоверные различия морфологических параметров меристемных растений картофеля как между различными вариантами освещения, так и между генотипами растений. Установлена выраженная зависимость степени влияния различных видов освещения на рост и развитие меристемных растений от длительности их экспонирования, выявлены генотипические особенности реакции растений на изменение условий освещения.

На разных стадиях роста и развития эксплантов картофеля максимальное влияние на их морфогенез оказывали различные спектры облучения. Так, после 10 сут выращивания ме-

ристенные растения, облучаемые белым и комбинированным светом, характеризовались существенно более интенсивными ростовыми процессами. Их длина составляла 2,45 и 2,09 см соответственно, а растения, выращиваемые на белом свете, имели, кроме того, достоверно более высокое количество междоузлий. На 10-е сут экспонирования проявилась явно выраженная специфическая реакция генотипов картофеля на различные условия освещения. Растения раннеспелого сорта Удача характеризовались интенсивным ростом при освещении белым и комбинированным светом, раннеспелого сорта

Джулия – во всех вариантах опыта. Среднеранний сорт Ильинский достоверно превосходил контроль по длине растения и количеству междоузлий при белом свете. Растения среднераннего сорта Чародей и среднеспелых сортов Гранд и Комета на этом этапе практически не реагировали на условия освещения. Исключение составляет количество междоузлий у растений сорта Гранд и длина растений сорта Комета при освещении белым светом. Максимальной интенсивностью роста в среднем по всем видам света характеризовались растения сортов Джулия и Ильинский (табл. 1).

Таблица 1

Параметры развития регенерантов картофеля через 10 сут экспонирования на различных видах освещения

Сорт	Контроль		Белый свет		Белый-фито		Фито		Среднее по генотипам	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Удача	0,90	3,40	1,48*	4,20*	1,60*	3,90	0,80	3,20	1,19	3,67
Джулия	2,92	4,45	4,02*	4,85	3,60*	4,45	3,77*	4,50	3,58*	4,56
Ильинский	1,61	4,15	2,37*	5,00*	1,97	4,75*	1,67	3,90	1,90*	4,45
Чародей	2,40	4,10	2,60	4,50	2,35	4,10	2,00	3,90	2,34	4,15
Гранд	0,98	3,40	1,36	4,55*	0,97	3,65	1,02	3,40	1,08	3,75*
Комета	2,23	5,30	2,90*	5,10	2,10	4,30	2,05	4,20	2,32	4,72
Среднее по видам света	1,84	4,13	2,45*	4,70*	2,09*	4,19	1,88	3,85		

Примечание: 1 – длина растений, см (НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,19; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,24; НСР для любых средних – 0,47); 2 – количество междоузлий на растение, шт. (НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,22; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,27; НСР для любых средних – 0,54).

На 20-е сут экспонирования существенных различий с контролем по средним показателям длины растения и количества междоузлий не выявлено во всех вариантах опыта, однако максимальной средней длиной характеризовались микрорастения в варианте «фито», а максимальным количеством междоузлий – в варианте «белый-фито» (в том и другом случае на уровне

контроля). Существенное превышение контроля по длине регенерантов отмечено у раннеспелого сорта Джулия в варианте с освещением красно-фиолетовым спектром (фито), а также у среднеспелого сорта Гранд при освещении белым светом. Максимальной средней длиной растений на этом этапе характеризовался раннеспелый сорт Джулия (табл. 2).

Таблица 2

Параметры развития регенерантов картофеля через 20 сут экспонирования на различных видах освещения

Сорт	Контроль		Белый свет		Белый-фито		Фито		Среднее по генотипам	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Удача	2,30	4,80	2,30	4,80	2,60	5,80*	1,50	3,70	2,17	4,77
Джулия	6,40	6,05	5,25	6,10	5,17	5,90	7,35*	6,25	5,73	6,07
Ильинский	5,20	6,10	4,02	5,95	3,92	5,90	5,00	6,20	4,53	6,04

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чародей	4,45	5,80	3,65	5,60	3,60	5,70	4,10	5,90	3,95	5,75
Гранд	2,07	5,00	3,50*	5,60	2,60	5,35	2,20	5,00	2,59	5,24
Комета	4,15	6,20	3,85	5,80	3,55	5,70	4,40	6,20	3,99	5,97
Среднее по видам света	4,09	5,66	3,55	5,64	3,57	5,72	4,09	5,54		

Примечание: 1 – длина растений, см (НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,35; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,43; НСР для любых средних – 0,87); 2 – количество междоузлий, шт. (НСР₀₅ по фактору А (свет) – нет достоверных различий; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,33; НСР для любых средних – 0,67).

Анализ развития регенерантов картофеля после 30 сут выращивания показал, что существенное превышение над контролем достигнуто лишь по количеству междоузлий в варианте с использованием белого света, этот показатель в среднем по сортам составил 7,07 шт. Однако увеличилось проявление специфической реакции сортов картофеля на различные условия освещения. Так, максимальной длиной характе-

ризовались растения раннеспелого сорта Джулия в варианте «фито» и растения среднеспелого сорта Гранд в вариантах «белый свет» и «белый-фито», а максимальная средняя длина растений отмечена в варианте «фито». Также в варианте с освещением белым светом растения сорта Гранд существенно превосходили контроль по количеству междоузлий (табл. 3).

Таблица 3

Параметры развития регенерантов картофеля через 30 сут экспонирования на различных видах освещения

Сорт	Контроль		Белый свет		Белый-фито		Фито		Среднее по генотипам	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Удача	4,30	5,60	4,05	6,50	4,20	6,40	2,55	4,50	3,77	5,75
Джулия	8,12	7,40	5,95	6,75	6,12	6,85	9,62*	7,10	7,45	7,02
Ильинский	6,47	6,85	4,55	7,15	4,40	7,15	6,97	7,20	5,60	7,09
Чародей	5,95	6,90	4,60	7,40	4,40	7,40	5,95	6,90	5,22	7,15
Гранд	3,30	5,95	6,40*	7,35*	5,35*	6,75	4,22	6,00	4,82	6,51
Комета	4,95	7,20	4,50	7,30	3,80	7,20	5,05	7,10	4,57	7,20
Среднее по видам света	5,51	6,65	5,01	7,07*	4,71	6,96	5,73	6,47		

Примечание: 1 – длина растения, см (НСР₀₅ для любых средних – 1,33; НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,54; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,67); 2 – количество междоузлий, шт. (НСР₀₅ для любых средних – 1,03; НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,42; НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,51).

На последнем этапе экспонирования растений картофеля при различных видах освещения установлено достоверное положительное воздействие красно-фиолетового спектра на длину растений. Этот показатель в варианте «фито»

был существенно выше контроля у сортов Джулия, Ильинский и Гранд. Средние показатели длины растений и количества междоузлий по всем сортам также достоверно превосходили контроль (табл. 4).

**Параметры развития регенерантов картофеля через 40 сут экспонирования
на различных видах освещения**

Сорт	Контроль		Белый свет		Белый-фито		Фито		Среднее по генотипам	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Удача	4,75	6,40	5,45	8,20*	5,65	7,40	4,00	6,50	4,96	6,12
Джулия	8,77	7,90	7,10	8,60	7,10	8,75	10,82*	8,55	8,45	8,45
Ильинский	6,80	7,75	5,42	9,00	5,55	9,15*	8,45*	9,35*	6,55	8,81
Чародей	6,10	7,40	5,45	9,00*	5,15	8,60	6,95	8,10	5,91	8,27
Гранд	3,92	6,50	9,40*	8,55*	8,97*	9,20*	6,07*	7,35	7,09	7,90
Комета	5,15	7,20	5,25	9,10*	4,70	8,10	5,40	7,60	5,12	8,00
Среднее по видам света	5,91	7,19	6,34	8,74*	6,19	8,53*	6,95*	7,91*		

Примечание: 1 – длина растения, см (НСР₀₅ для любых средних – 1,58 см, НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,64 см, НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,79 см); 2 – количество междоузлий, шт. (НСР₀₅ для любых средних – 1,31 шт., НСР₀₅ по фактору А (свет) – 0,53 шт., НСР₀₅ по фактору В (генотип) – 0,65 шт.).

При этом лишь у среднеспелого сорта Гранд длина растений была существенно выше контроля во всех вариантах опыта. У остальных сортов варианты с освещением белым и комбинированным светом способствовали только увеличению количества междоузлий, которое было либо выше, либо на уровне контрольного варианта (см. табл. 4).

Важным показателем эффективности оригинального семеноводства картофеля служит интенсивность роста меристемных микрорастений. Анализ полученных данных выявил, что в период 10–20 сут экспонирования раннеспелые сорта Удача, Джулия и среднеранний сорт Ильинский характеризовались максимальной интенсивностью роста в контрольном варианте (увеличение длины растений соответственно на 155,6; 119,2 и 223,0 %). Средний показатель интенсивности роста по всем сортам также был максимальным в контрольном варианте (130,1 %). Однако у среднераннего сорта Чародей и среднеспелого сорта Комета развитие микрорастений было более интенсивным в варианте «фито» (105,0 и 114,6 % соответственно), а у среднеспелого сорта Гранд – в вариан-

тах с освещением белым и комбинированным светом (157,3 и 168,0 %) (табл. 5).

На следующем этапе развития микрорастений картофеля, в период 20–30 сут освещение красно-фиолетового спектра способствовало их максимальному росту у сортов Джулия, Ильинский и Чародей (30,9; 39,4; 45,1 % соответственно). У сортов Удача и Гранд, аналогично периоду 10–20 сут, высокая интенсивность роста зафиксирована в контроле и при комбинированном освещении (86,9 и 105,8 % соответственно), а сорт Комета характеризовался практически одинаковой интенсивностью роста в контрольном варианте и при использовании белого света.

На заключительном этапе экспонирования выявлена выраженная положительная реакция меристемных растений раннеспелого сорта Удача на красно-фиолетовый спектр освещения, длина регенерантов в этом варианте увеличилась на 56,9 %. Сорта Ильинский, Гранд и Комета имели максимальный прирост в варианте с использованием комбинированного освещения, а сорта Джулия и Чародей – при освещении белым светом (табл. 5).

**Интенсивность роста меристемных растений картофеля
при использовании различных видов освещения**

Вид света	Увеличение длины микрорастений, %		
	10–20 сут	20–30 сут	30–40 сут
<i>Сорт Удача</i>			
Контроль	+ 155,6	+ 86,9	+ 10,5
Белый	+ 55,4	+ 76,1	+ 34,6
Белый-фито	+ 62,5	+ 61,5	+ 34,5
Фито	+ 87,5	+ 70,0	+ 56,9
<i>Сорт Джулия</i>			
Контроль	+ 119,2	+ 26,9	+ 8,00
Белый	+ 30,5	+ 13,3	+ 19,3
Белый-фито	+ 43,6	+ 18,4	+ 16,0
Фито	+ 94,9	+ 30,9	+ 12,5
<i>Сорт Ильинский</i>			
Контроль	+ 223,0	+ 24,4	+ 5,1
Белый	+ 69,6	+ 13,2	+ 19,1
Белый-фито	+ 99,0	+ 12,2	+ 26,1
Фито	+ 199,4	+ 39,4	+ 21,2
<i>Сорт Чародей</i>			
Контроль	+ 85,4	+ 33,7	+ 2,5
Белый	+ 40,4	+ 26,0	+ 18,5
Белый-фито	+ 53,2	+ 22,2	+ 17,0
Фито	+ 105,0	+ 45,1	+ 16,8
<i>Сорт Гранд</i>			
Контроль	+ 111,2	+ 59,4	+ 18,8
Белый	+ 157,3	+ 82,8	+ 46,9
Белый-фито	+ 168,0	+ 105,8	+ 67,7
Фито	+ 115,7	+ 91,8	+ 43,8
<i>Сорт Комета</i>			
Контроль	+ 86,1	+ 19,3	+ 4,0
Белый	+ 32,7	+ 16,9	+ 16,7
Белый-фито	+ 69,0	+ 7,0	+ 23,7
Фито	+ 114,6	+ 14,8	+ 6,9
Контроль среднее	+130,1	+ 41,8	+ 8,1
Белый среднее	+64,3	+ 38,0	+ 25,8
Белый-фито среднее	+82,5	+ 37,8	+ 30,8
Фито среднее	+119,5	+ 48,7	+ 26,3

Анализ средних по всем сортам показателей интенсивности роста показал, что на первом этапе максимальный прирост имели растения в контрольном варианте и варианте «фито» (130,1 и 119,5 % соответственно), на этапе 20–30 сут максимальная интенсивность роста выявлена при использовании красно-фиолетового освещения (48,7 %), а на последнем этапе экспонирования – в варианте с комбинированным освещением (30,8 %).

Таким образом, показана специфическая реакция меристемных растений картофеля различных сортов на изменение условий освеще-

ния, практически не зависящая от группы спелости. Это подтверждается и анализом данных двухфакторного дисперсионного анализа. Так, фактор освещения не играл определяющей роли в варьировании длины меристемных растений картофеля, его максимальный вклад отмечен через 10 и 30 сут экспонирования (7,49 и 6,95 % соответственно). Однако вклад взаимодействия генотипа и фактора освещения возрастал в процессе вегетации микрорастений от 4,54 % в период 0–10 сут до 48,37 % в период 30–40 сут, а доля влияния генотипического фактора, напротив, снижалась с 87,97 до 46,91 % (табл. 6).

**Доля влияния различных факторов на вариабельность длины растений картофеля
в зависимости от срока выращивания**

Фактор	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут
Доля влияния на изменчивость длины растения, %				
Свет	7,49	2,53	6,95	4,72
Генотип	87,97	84,10	55,79	46,91
Взаимодействие	4,54	13,37	37,26	48,37
Доля влияния на изменчивость количества междоузлий, %				
Свет	30,75	1,24	12,86	48,72
Генотип	51,74	66,05	58,69	34,35
Взаимодействие	17,51	32,71	28,45	16,93

Доля влияния фактора освещения на изменчивость количества междоузлий была существенно выше и достигала максимума в периоды 0–10 (30,75 %) и 30–40 сут, когда этот фактор был определяющим (48,72 % от общего варьирования признака). При этом вклад взаимодействия генотипа и фактора освещения был максимальным в периоды 10–20 и 20–30 сут (см. табл. 6).

Заключение. Установлено, что при выращивании меристемных растений картофеля в культуре *in vitro* в разные периоды их развития положительное действие на рост и развитие регенерантов оказывало освещение различного спектрального состава. Так, если на начальных этапах вегетации максимальные параметры роста и развития регенерантов выявлены при использовании белого и комбинированного освещения, то к окончанию вегетационного периода существенно более высокой длиной и количеством междоузлий характеризовались растения в варианте с освещением красно-фиолетовым спектром. Показана ярко выраженная сортоспецифическая реакция меристемных растений на различные условия освещения. В течение всего периода экспонирования отмечено нарастание доли влияния взаимодействия генотипического и средового факторов на изменчивость длины растений. Взаимодействие факторов также было определяющим в отношении количества междоузлий в первые 30 сут вегетации, в последнюю декаду вегетации максимальный вклад в изменчивость признака внес фактор освещения.

Для практического применения в оригинальном семеноводстве картофеля рекомендуется индивидуальный подбор параметров светодиодного освещения для каждого сорта с постепенным увеличением красно-фиолетового спектра после 10-х сут экспонирования.

Список источников

1. Hosseininejadian J., Naderidarbaghshahi M. Effects of biological growth stimulants on physiological traits and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in minituber production system // Research on Crops. 2018. № 19. P. 58–61.
2. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения / Ю.Ц. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 1. С. 107–112.
3. Оптимизация условий освещения при культивировании *Solanum tuberosum* L. микроклонов сорта Луговской *in vitro* / И.Ф. Головацкая [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 4. С. 133–144.
4. Влияние спектра облучения светодиодных облучателей на рост и развитие различных сортов растений сои в условиях интенсивной светокультуры / С.А. Ушакова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2016. № 7. С. 28–35.
5. Seabrook J.E.A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum*

- tuberosum* L.) *in vitro*: a review // Am. J. Potato Res. 2005. № 82. P. 353–367.
6. Варушкина А.М., Луговская Н.П., Максимов А.Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 37–46. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.4.
 7. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation / N.C. Yorio [et al.] // Hort. Sci. 2001. № 36. P. 380–383.
 8. Васильев С.И., Машков С.В., Сыркин В.А. Комплекс энергосберегающих элементов технологии выращивания овощных культур в контролируемых условиях // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 4 (52). С. 10–19.
 9. Козлов А.В., Нетесов С.В., Ренев Н.О. Анализ показателей влияния искусственного освещения на рост и развитие меристемных растений *Solanum tuberosum* сорта Розара // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 126–129. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129.
 10. Кононенко А.Н. Влияние различных источников света на развитие мини-растений картофеля в условиях светокультуры // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (45). С. 50–56.
 11. Анализ сортовых различий растений-регенерантов картофеля *in vitro* при использовании светодиодных светильников / Т.В. Никонович [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 73–78.
 3. Optimizaciya uslovij osvescheniya pri kultivirovani *Solanum tuberosum* L. mikroklonov sorta Lugovskoj *in vitro* / I.F. Golovackaya [i dr.] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2013. № 4. S. 133–144.
 4. Vliyanie spektra oblucheniya svetodiodnyh obluchatelej na rost i razvitie razlichnyh sortov rastenij soi v usloviyah intensivnoj svetokul'tury / S.A. Ushakova [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2016. № 7. S. 28–35.
 5. Seabrook J.E.A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*: a review // Am. J. Potato Res. 2005. № 82. P. 353–367.
 6. Varushkina A.M., Lugovskaya N.P., Maksimov A.Yu. Rost i produktivnost' kartofelya (*Solanum tuberosum* L.) v usloviyah svetokul'tury // Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo centra. 2019. № 2. S. 37–46. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.4.
 7. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation / N.C. Yorio [et al.] // Hort. Sci. 2001. № 36. P. 380–383.
 8. Vasil'ev S.I., Mashkov S.V., Syrkin V.A. Kompleks `energoberegayuschih` elementov tehnologii vyraschivaniya ovoschnykh kul'tur v kontroliruemykh usloviyah // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2020. № 4 (52). С. 10–19.
 9. Kozlov A.V., Netesov S.V., Renev N.O. Analiz pokazatelej vliyaniya iskusstvennogo osvescheniya na rost i razvitie meristemnykh rastenij *Solanum tuberosum* sorta Rozara // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 2 (88). S. 126–129. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129.
 10. Kononenko A.N. Vliyanie razlichnykh istochnikov sveta na razvitie mini-rastenij kartofelya v usloviyah svetokul'tury // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 4 (45). S. 50–56.
 11. Analiz sortovykh razlichij rastenij-regenerantov kartofelya *in vitro* pri ispol'zovanii svetodiodnykh svetil'nikov / T.V. Nikonovich [i dr.] // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii. 2018. № 1. S. 73–78.

References

1. Hosseininejadian J., Naderidarbaghshahi M. Effects of biological growth stimulants on physiological traits and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in minituber production system // Research on Crops. 2018. № 19. P. 58–61.
2. Fotosintez i produktivnost' rastenij kartofelya v usloviyah razlichnogo spektral'nogo obluche-

Информация об авторах:

Алексей Львович Бакунов¹, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Сергей Леонидович Рубцов², ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Алексей Викторович Милехин³, заведующий лабораторией биотехнологии сельскохозяйственных растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Надежда Николаевна Дмитриева⁴, научный сотрудник лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений

Information about the authors:

Alexey Lvovich Bakunov¹, Leading Researcher at the Laboratory of Biotechnology of Agricultural Plants, Candidate of Agricultural Sciences

Sergey Leonidovich Rubtsov², Leading Researcher at the Laboratory of Biotechnology of Agricultural Plants, Candidate of Agricultural Sciences

Alexey Viktorovich Milekhin³, Head of the Laboratory of Biotechnology of Agricultural Plants, Candidate of Agricultural Sciences

Nadezhda Nikolaevna Dmitrieva⁴, Researcher at the Laboratory of Biotechnology of Agricultural Plants

