

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>



УДК 635.21:58.035.4:58.084.1

## Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор)

© 2023. Т. Н. Лисина✉, О. В. Бурдышева, Е. С. Шолгин

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

*Картофель (Solanum tuberosum L.) – важная сельскохозяйственная культура, обеспечивающая питание населения и продовольственную безопасность страны. Для получения качественных безвирусных микроклонов картофеля проводится размножение в культуре *in vitro*. Вопрос повышения эффективности размножения на данном этапе очень важен и может быть решен за счет оптимизации параметров освещения, в том числе спектрального состава излучателя. В данной статье проведен обзор опубликованных работ, преимущественно за последние 20 лет, по изучению влияния светодиодного освещения разного спектрального состава и мощности на растения-регенеранты картофеля при выращивании *in vitro*. Приведены морфометрические и физиологические показатели растений картофеля, на которые возможно влиять, изменяя спектральный состав освещения. Данный обзор может быть полезен для организаций, занимающихся микроклональным размножением картофеля, а также научным коллективам, разрабатывающим технологии оптимального культивирования картофеля.*

**Ключевые слова:** микроклональное размножение, светодиоды, спектр света, фотосинтетически активная радиация

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122031100058-3).

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):913-923. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>

Поступила: 05.05.2023

Принята к публикации: 23.10.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

## Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review)

© 2023. Tatyana N. Lisina✉, Olga V. Burdysheva, Evgenii S. Sholgin

Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

*Potato (Solanum tuberosum L.) is a significant and valuable crop for the economy of many countries. It provides people nutrition and national food security. To obtain healthy potato planting material, propagation in vitro culture is carried out. The problem of increasing the propagation efficiency at this stage is very relevant and can be solved by optimizing the lighting parameters, including the spectral composition of the emitter. The review of published works mainly over the last 20 years concerning the study of the effect of LED lighting of different spectral composition and power on regenerated potato plants, grown in vitro, is given in this paper. Morphometric and physiological parameters of potato plants are given, which can be influenced by changing the spectral composition of illumination. Data on lighting recommendations for different varieties of potato are given. This review may be useful for organizations involved in potato micropropagation, as well as for research teams developing technologies for optimal potato cultivation.*

**Key words:** micropropagation, LEDs, light spectrum, photosynthetically active radiation

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122031100058-3).

The authors thank the reviewers for the expert evaluation of this work.

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review). Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka=Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):913-923. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>

Received: 22.03.2023

Accepted for publication: 23.10.2023

Published online: 20.12.2023

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – это важная сельскохозяйственная культура для экономики многих стран, в том числе и России. Картофель относится к светолюбивым растениям. Даже небольшие изменения в режиме освещения влияют на рост и развитие растений картофеля, то есть свет является одним из важных факторов окружающей среды для этой культуры, источником энергии для фотосинтеза [1]. Одной из причин невысокого урожая картофеля может являться низкое качество посадочного материала. Защита картофеля от вирусных болезней – одна из важнейших и сложных проблем в семеноводстве картофеля. Начальным этапом производства высококачественного семенного картофеля является получение посадочного материала *in vitro*. Технологии культивирования *in vitro* достаточно трудоемки, поэтому вопрос повышения эффективности размножения на данном этапе очень актуален и может быть решен за счет оптимизации параметров освещения.

На продуктивность картофеля в световой культуре оказывают влияние такие характеристики освещения, как интенсивность, продолжительность фотопериода, импульсное/непрерывное излучение, спектральный состав [2, 3]. Имеются сообщения, что спектральный состав источника света можно использовать для контроля роста и морфогенеза тканей и органов картофеля *in vitro* [4]. В частности, в 1995 году было обнаружено, что общее содержание хлорофилла в проростках картофеля *in vitro* возрастало за счет увеличения плотности потока активных в отношении фотосинтеза фотонов, излучаемых красными светодиодами, в то время как площадь листьев и общая масса всего растения существенно не изменялась [5].

Диапазон длин волн, способных оказывать прямое или косвенное влияние на растения, можно разделить на ультрафиолет В (280-320 нм), ультрафиолет А (320-400 нм), синий (400-500 нм), зеленый (500-600 нм), красный (600-700 нм) и дальний красный (700-800 нм) [2, 6, 7, 8]. В опубликованных работах есть информация о влиянии каждого из этих

диапазонов на жизнедеятельность растений, роли в физиологических процессах [2, 9, 10].

Для успешного существования растений важна фотосинтетически активная радиация – это лучи длиной волны 400-700 нм<sup>1</sup>. Для процесса фотосинтеза наиболее значимыми являются красные (600-720 нм) и оранжевые (595-620 нм) лучи. Посредством влияния на интенсивность фотосинтеза эти лучи способствуют росту и развитию растений [6]. Синие лучи оказывают регуляторное влияние, улавливаются криптохромами и фототропинами, являются обязательной частью излучения при культивировании растений [2].

На сегодняшний день в защищенном грунте распространено и экономически успешно оправдывает себя светодиодное освещение (Light Emission Diodes – LED) [11, 12], которое имеет ряд преимуществ для культивирования растений, в том числе использование практически любого спектра, что дает неисчерпаемые возможности для научных исследований по выявлению влияния спектрального состава света на физиологию и биохимию растений [13]. К достоинствам светодиодов также можно отнести высокий КПД и долгий срок службы [14].

**Цель обзора** – анализ опубликованных обзорных и экспериментальных работ по изучению влияния на растения-регенеранты картофеля *in vitro* светодиодного освещения разного спектрального состава и мощности. Данный обзор может быть полезен для организаций, занимающихся микроклональным размножением картофеля, научным коллективом, разрабатывающим технологии оптимального культивирования картофеля.

**Материал и методы.** Поиск публикаций первоначально проводили на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и ResearchGate. В качестве поискового запроса использовали слова и словосочетания: микроклональное размножение, картофель, светодиодное освещение, спектральный состав, potato, *Solanum tuberosum*, LED. Поисковые запросы были объединены в разных вариантах между собой и запрашивались для названий и аннотаций. Дополнительно изучали списки литературы найденных публикаций.

<sup>1</sup>Копылов В. И., Копылов Н. И., Скляр С. И., Сторчоус В. Н. Программирование урожая садовых культур: учебник и практикум для вузов. М.: Изд-во Юрайт, 2023. 349 с. URL: <https://urait.ru/bcode/519164>

В 2005 году опубликована обзорная работа по влиянию света на рост и морфогенез картофеля *in vitro* [4], в которой подробно представлены исследования на тот период, в данный обзор были включены публикации в основном с 2005 по 2023 год.

**Основная часть.** В результате поиска были найдены публикации из стран: Россия, Индия, Китай, Сербия, Черногория, Тайвань, Беларусь. В этих публикациях исследованы сорта картофеля: Розара [15, 16], Ароза [15, 17], Ривьера [15], Луговской [18, 19], Ред Скарлет [19, 20, 21], Ред Леди [17], Чароит [1, 20], Елизавета [20], Рождественский, Снегирь [22, 23], Сударыня, Кардинал [1], Жуковский ранний [17, 19, 24], Удача [19, 24], Лига, Нора, Ранняя роза, Розалинд, Архидея, Невский, Одиссей, Памяти Осиповой, Радонежский, Ладожский, Лазарь, Пранса, Скарб, Спиридон, Симфония [19], Инноватор [21], Азарт, Сатурн, Любава, Фрителла, Вектор [25]. Выявлено, что сорта картофеля имеют специфичный ответ на изменения параметров освещения, выраженный в наличии или отсутствии статистически значимых отличий в морфологических и биохимических показателях [15, 22, 26, 27].

На этапе производства оздоровленных микрорастений картофеля актуальна разработка приемов повышения скорости роста после черенкования [28], поэтому встречается множество работ, нацеленных на увеличение показателей роста. При черенковании картофеля важен показатель «количество междоузлий», так как он определяет число возможных новых растений [27] и учитывался практически во всех найденных работах. Также из морфометрических показателей обращали внимание на длину растения [1, 15, 16, 24, 29], площадь листовой пластинки [27, 29], длину и количество корней [1, 27, 16, 21], индекс формирования растений [27], массу наземной части [21, 23, 29]. Известна работа по изучению влияния спектрального состава света на образование микроклубней у микрорастений. Не обнаружено влияние разного качества света на периметр и площадь поперечного сечения микроклубней, но есть различия в количестве сформированных микроклубней [30].

Определены существенные различия в развитии устьичного аппарата в зависимости от источника света, которые не всегда отражались на фенотипе проростков [31]. Известны исследования, дающие представление о реакции проростков картофеля на различные световые качества на транскриптомном уровне. Различное

качество света индуцировало разные паттерны экспрессии генов, многие из которых были вовлечены в метаболические пути, такие как метаболизм порфирина и хлорофилла. Регуляция этих генов может объяснить более высокое или более низкое содержание фотосинтетических пигментов [32].

Множество работ доказывают положительное влияние светодиодного освещения при выращивании картофеля в культуре *in vitro*, но описывают довольно различные эффекты на разные морфометрические показатели. Описано положительное влияние светодиодных светильников на рост и развитие меристемных растений картофеля [16], продемонстрировано увеличение количества междоузлий у сорта Кардинал, количества и длины корней у сорта Сударыня [1]. При условии подбора оптимальных параметров светодиодного освещения показано, что высота микрорастений картофеля увеличивается по сравнению с контролем [17]. По показателям «содержание сухого вещества» и «количество пигментов» при использовании различных источников света не было установлено статистически значимой разницы [20].

**Монохромное освещение и досвечивание.** Согласно литературным данным, сужение спектрального состава освещения не дает преимуществ при культивировании картофеля. По сравнению с белым светодиодным освещением полного спектра, действие монохромного синего, зеленого и красного света оказывало негативное влияние на накопление биомассы микрорастениями картофеля более чем на 50 % [26, 33], также снижалась скорость карбоксилирования [26].

Известна работа, посвященная изучению фототропного искривления побегов картофеля, выращенных *in vitro* [34]. Показано, что одностороннее синее облучение активно индуцировало фототропное искривление побегов картофеля по направлению к источнику света. Выдвинута гипотеза, что это явление регулируется циркадными ритмами.

Зафиксирован наибольший прирост сухой массы надземной части растений микроклонов картофеля сорта Луговской при досветке красными лучами [18]. Следует отметить, что в данной работе использовали полностью люминесцентные источники облучения.

Китайские ученые изучали дальнейшее развитие растений картофеля, получаемых монохроматическую досветку на стадии микроклонального размножения. После пересадки

в теплицу в течение двух месяцев проростки картофеля *in vitro*, получающие досветку синим, красным и красно-сине-зеленым светом, дали высокий процент клубней крупного размера. Досветка синим на стадии микроклонального размножения привела к увеличению сырой и сухой массы клубней, но уменьшила количество клубней на проростке [35]. Эти результаты показали, что эффективность досветки монохроматическим синим светом, а также светом комбинированного спектра (красного, синего или/и зеленого) выше, чем эффективность освещения флуоресцентными лампами полного спектра при микроклональном размножении проростков картофеля.

Активность корней, содержание растворимого белка и свободных аминокислот также значительно увеличивались при досветке лучами синего спектра, тогда как содержание углерода повышалось под воздействием лучей красного спектра. Кроме того, толщина листа и паренхимы значительно возросли с помощью синей досветки. Хлоропласты под воздействием дополнительного синего света показали хорошо развитые тилакоиды [35].

Показано значение влияния зеленого спектра на проростки картофеля *in vitro* [36]. Добавление зеленых светодиодов к комбинации красных и синих светодиодов способствовало росту проростков картофеля [33, 36]. Для изучаемых сортов *Solanum tuberosum* L. зеленый участок спектра оказывал влияние на увеличение длины корней в сравнении с контролем [15].

Микроскопические исследования показали, что клетки проростков микрорастений картофеля были мельче при освещении синим светом по сравнению с культивированием при красном свете [37].

Имеются исследования, показывающие, что при общем положительном влиянии светодиодные длинноволновые монохроматические источники света нежелательно использовать для микроразмножения безвирусного материала картофеля из-за хрупкости стеблей и слабо-развитых листьев [23]. В данной работе сообщают о том, что изучение разной мощности света при полном спектре выявило оптимум ( $135 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ), при котором активировался рост проростков и увеличилось накопление надземной и корневой массы. Низкая плотность фотонного потока с большой продолжительностью предпочтительнее, чем высокая плотность с короткой продолжительностью [38].

*Сочетание красного и синего света.* Хлорофилл более эффективно поглощает крас-

ную и синюю части спектра, которые наиболее эффективны для осуществления фотосинтеза, поэтому эти диапазоны длин волн являются неоспоримо необходимыми. Однако современные исследования показали, что для каждой культуры характерно свое оптимальное соотношение красного и синего света, которое дополнительно варьируется в зависимости от целевого эффекта [8].

Имеются результаты исследований способов освещения: 100 % спектра – красные светодиоды; 75 % красных и 25 % синих; 50 % красных и 50 % синих; 25 % красных и 75 % синих светодиодов; 100 % – синие светодиоды; 100 % – белые светодиоды. Сочетание 75 % красных и 25 % синих светодиодов является оптимальным для роста микрорастений картофеля *in vitro*. В этом варианте большинство показателей роста и физиологических параметров были значительно выше варианта с использованием 100 % белых светодиодов [33]. Увеличение площади листа и концентрации хлорофилла наблюдали при монохромном освещении (100 % синих светодиодов).

Соотношение красных и синих светодиодов 9:1 было наиболее благоприятным для формирования побегов картофеля из верхушек побегов, восстановленных после криоконсервации [39]. В другом источнике показано, что комбинация красных и синих спектров излучения светодиодного света при соотношении 30:70 оказывает стимулирующий эффект на синтез хлорофилла, растворимых белков и углеводов, а также удаления активных форм кислорода из антиоксидантных ферментов картофеля [40].

Изучен эффект одновременного и чередующегося синего и красного светодиодного освещения на фотомиксотрофный рост микро-растений картофеля *in vitro*. Результаты показали, что накопление свежей/сухой массы проростков картофеля *in vitro* при одновременном синем и красном свете было выше, чем при чередовании синего и красного, указывая на то, что одновременное воздействие синего и красного света необходимо для оптимального роста растений [38].

*Мультиспектральное освещение.* Несмотря на важное значение красного и синего света для фотосинтеза, эти длины волн не удовлетворяют всех потребностей картофеля по освещению, что показано в экспериментах по сравнению мультиспектрального и красно-синего освещения [21]. Для исследования использовали следующие источники освещения: специально

разработанный бокс с освещением, схожим по спектру с излучением солнца (SB); красно-зелено-синий бокс (RGB); полный спектр (FS); красно-синий бокс (RB). В качестве контрольного света использовали белые люминесцентные лампы. Динамического освещения достигали путем переноса группы микрорастений из одного бокса в другой. Доля красного/зеленого/синего спектров в источниках света была равна (в процентах): 39R/39G/22B для SB; 63R/21G/16B для RGB; 74R/8G/18B для FS; 22R/49G/29B для контроля. Фотосинтетическую плотность потока фотонов (Photosynthetic Photon Flux Density – PPFD) установили на уровне 45 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с). Морфометрические измерения проводили через 14 и 28 дней. Микрклоны развивались по-разному с первых дней эксперимента. Варианты освещения RGB и RGB-SB показали наибольшую эффективность для микрорастений картофеля [21].

Изучено влияние красных лучей с разными длинами волн (660 нм и 630 нм) на рост и морфогенез проростков картофеля *in vitro*. Микрорастения картофеля выращивали при пяти различных условиях освещения: флуоресцентный белый свет; объединенный спектр синего, зеленого и красного света при длине волны 630 нм (R630BG) и 660 нм (R660BG); объединенный спектр синего и красного света при длине волны 630 нм (R630B) и 660 нм (R660B). Исследованы морфогенез, физиологические параметры и анатомическое строение листа проростков картофеля *in vitro*. Результаты показали, что режимы освещения R630BG и R660BG способствовали увеличению диаметра стебля и площади листьев, количества хлорофилла, растворимого сахара, растворимого белка и крахмала в проростках картофеля *in vitro*. Большинство устьиц при режиме освещения R660BG имели эллиптическую форму. Листья проростков картофеля, выращенных *in vitro* при R630BG и R660BG, имели четко выраженный верхний слой эпидермиса и столбчатый слой паренхимы. Добавление зеленого света к комбинированному спектру красного и синего способствовало росту и развитию проростков картофеля *in vitro* в большей степени, чем в варианте с комбинированным спектром красного и синего без зеленого, а красный свет при длине волны 660 нм более эффективно стимулировал рост растений, чем красный при длине волны 630 нм [39].

*Сортоспецифичная реакция на качество света.* Безусловно, результаты производства семенного материала картофеля зависят не

только от освещения, но и от многих других факторов. Поэтому целесообразно направлять усилия на оптимизацию сочетаний факторов окружающей среды. Имеются исследования, показывающие, что реакция растений картофеля на разные сочетания освещения и состава питательной среды зависит от генетических факторов (сорта).

В Пермском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Пермского федерального научного центра проведены исследования на самой многочисленной выборке из 22 сортов картофеля. Были получены данные, демонстрирующие значительные различия в физиологическом ответе растений на условия освещения [19]. В продолжение исследований был проведен эксперимент с определением содержания фотосинтетических пигментов у трех сортов картофеля [41]. Установлено влияние спектрального состава света на длину растений-регенерантов картофеля *in vitro*, количество междоузлий, массу надземной части, концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях. Дисперсионный двухфакторный анализ позволил выявить признак, наибольший вклад в изменчивость которого вносит именно фактор освещения, а не наследственный – это масса надземной части [41].

Проведены исследования влияния нескольких вариантов освещения с различным спектром и суммарным фотосинтетически активным фотонным потоком на микрклоны растений картофеля [15]. В результате данных исследований установлено, что на 30 сутки наибольшую длину имели растения, культивируемые с повышенным уровнем «фотосинтетического» фотонного потока – 21,8 и 32,4 мкмоль/с. Интересным в этой работе является подтверждение, что существенная доля изменчивости морфометрических признаков обусловлена генотипическими факторами, а не различиями в освещенности. Таким образом, подтверждена высокая специфичность реакции разных сортов картофеля на характеристики освещения [15].

Показана сортоспецифичность по образованию корней при светодиодном освещении разного спектрального состава и отзывчивости на состав питательной среды. В данной работе были исследованы сорта картофеля Азарт, Сатурн, Любава, Фрителла, Вектор [25].

Удалось сформулировать рекомендации по культивированию некоторых сортов картофеля в эксперименте с источниками четырех вариантов освещения. Наиболее оптимальные

условия освещения для роста и формирования междоузлий для сорта Жуковский ранний создали светодиоды полного спектра, для сорта Удача и гибрида 11.26/28 – розовые люминесцентные лампы [24].

Опубликован опыт исследования функциональных характеристик фотосинтетического аппарата у картофеля в культуре *in vitro*, в котором продемонстрирован сложный характер активности процессов фотосинтеза под влиянием разных спектральных параметров освещения. При низкой интенсивности освещения разного спектра разница в накоплении сухого вещества может быть объяснена процессами, связанными с различной активностью реакций темновой фазы фотосинтеза [26]. В данной работе проанализированы скорость фотосинтеза, скорость транспирации, эффективный квантовый выход фотосистемы II, нефотохимическое тушение, скорость карбоксилирования, скорость электронного транспорта, проводимость устьиц [26], указаны используемые светодиоды (красные, синие, белые, зеленые), но не отмечено процентное соотношение спектров светодиодного освещения.

К сожалению, во многих работах [16, 26, 35, 42] авторы пренебрегают указанием численных параметров освещения (плотность светового потока, спектр), что делает невозможным повторение экспериментов, применение результатов и использование выявленных положительных воздействий для разработки сортовых технологий культивирования микрорастений картофеля. Указание только названия используемых ламп, также как только соотношения красного, синего и зеленого света не является полной и достаточной информацией для анализа.

Было показано, что условия освещения оказывают наибольшее влияние на рост растений-регенератов картофеля в период с 10 по 30 день [9, 43]. Исследования подтверждают изменение оптимума спектрального состава света по мере роста и развития микрорастений картофеля. К тому же спектральные предпочтения растений зависят от стадии онтогенеза [44]. Относительно мало известно о влиянии различного соотношения потоков красных, зеленых и синих фотонов на рост и развитие картофеля после пересадки *ex vitro* [33].

**Заключение.** Результаты опубликованных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о существенном влиянии спектрального состава источника освещения на показатели роста растений-регенератов карто-

феля и характеристики фотосинтетического аппарата. Спектральный состав освещения можно использовать как регулирующий фактор при культивировании картофеля *in vitro*. Опубликованные экспериментальные данные показывают, что с помощью создания определенного спектра освещения при прочих равных условиях можно увеличить длину междоузлий, и даже количество микроклубней, повышая индекс размножения. Спектральным составом освещения можно воздействовать на корнеобразование микрорастений, что сделает их более устойчивыми после пересадки на аэропонные/гидропонные установки или в теплицы.

Научные исследования показали нецелесообразность разделения во времени облучения в разных областях спектра, нецелесообразность монохромного освещения. Соотношение красного и синего света в общем спектре освещения влияет на интенсивность фотосинтеза посредством влияния на концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях и раскрытие устьиц. Оптимальное соотношение красного и синего света варьирует от 3:1 до 9:1 в зависимости от сорта. Относительно мало работ, изучающих влияние спектров не только видимого света, но и ближнего ультрафиолета и дальнего красного света. Данные длины волн не участвуют в фотосинтезе непосредственно, но влияют на биохимические процессы и рост. Возможно, для достижения максимальной продуктивности растений картофеля *in vitro* были бы полезны кратковременные досветки в этих диапазонах.

Оптимальная плотность фотонного потока зависит от спектра источника освещения, низкая плотность фотонного потока с большой продолжительностью предпочтительнее, чем высокая плотность с короткой продолжительностью.

Генетические различия сортов картофеля определяют различную реакцию растений на изменения спектрального состава источников освещения, поэтому для обеспечения максимальной эффективности процесса производства оздоровленного семенного материала картофеля актуальна разработка рекомендаций освещения (мощность, спектральный состав) для отдельных сортов картофеля.

Исследования подтверждают изменение оптимума спектрального состава света по мере роста и развития микрорастений картофеля. Следовательно, перспективна разработка методик смены спектрального состава освещения



во время культивирования растений, это направление мало представлено в опубликованных экспериментальных работах.

После окончания этапа культивирования *in vitro* растения пересаживают на аэропонные, гидропонные установки либо в специализиро-

ванные теплицы. На этих этапах также используется искусственное освещение. Необходимо изучить оптимальные параметры освещения на этом переходном этапе в сочетании еще с одним параметром освещения – длиной фотопериода.

#### Список литературы

1. Федорова Ю. Н., Лебедева Н. В. Влияние света разного спектрального состава на рост растений картофеля *in vitro*. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4):2-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28090733> EDN: XQSLKB
2. Варушкина А. М., Луговская Н. П., Максимов А. Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультур. Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019;(2):37-46. DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4> EDN: LBXBRF
3. Ходаева В. П., Куликова В. И. Продуктивность оригинального семенного материала в зависимости от способа размножения оздоровленного картофеля. Достижения науки и техники АПК. 2009;(9):18-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14451641> EDN: MEGJRL
4. Seabrook J. E. A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*: A review. American Journal of Potato Research. 2005;82:353-367. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02871966>
5. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. Acta Hort. 1995;393(22):189-194. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
6. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Sergeeva L. I., Machachkova I., Golyanovskaya S. A. Morphogenesis of Potato Plant *in vitro*. I Effekt of light quality and hormones. Journal of Plant Growth Regulation. 2014;13:143-146. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00196378>
7. Mawphlang O. I. L., Kharshiing E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. Frontiers in Plant Science. 2017;8:01181. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01181>
8. Закурин А. О., Щенникова А. В., Камионская А. М. Светокультура растениеводства защищенного грунта: фотосинтез, фотоморфогенез и перспективы применения светодиодов. Физиология растений. 2020;67(3):246-258. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0015330320030227> EDN: QYHJTR
9. Battle M. W., Jones M. A. Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. Plant, Cell & Environment. 2020;43(1):16-27. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13643>
10. Войцеховская О. В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений. Физиология растений. 2019;66(3):163-177. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151> EDN: ZBGQXQ
11. 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)):18-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41297057> EDN: UGUNXO
12. Karakaitis D. Y. Technical and economic efficiency of led lights in green crops. Amazonia Investiga. 2022;11(53):336-347. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2022.53.05.33>
13. Gomez C., Izzo L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS Agriculture and Food. 2018;3(2):135-153. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.2.135>
14. Нетесов С. В., Лапшин И. П., Козлов А. В. Влияние светодиодных ламп на рост растений. Мир Инноваций. 2020;(1):11-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42736453> EDN: YVWMBY
15. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Милехин А. В., Рубцов С. Л. Оптимизация освещения микрорастений картофеля *in vitro* с использованием светодиодных источников. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(6(92)):85-91. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-85-91> EDN: YEHIME
16. Козлов А. В., Нетесов С. В., Ренев Н. О. Анализ показателей влияния искусственного освещения на рост и развитие меристемных растений *Solanum tuberosum* L. сорта Розара. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;2(88):126-129. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129> EDN: JGITLD
17. Милехин А. В., Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Рубцов С. Л., Вовчук О. А. Изучение влияния различных видов освещения на рост и развитие меристемных растений картофеля *in vitro*. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015;17(4-3):578-580. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26143799> EDN: WACSPH
18. Головацкая И. Ф., Дорофеев В. Ю., Медведева Ю. В., Никифоров П. Е., Карначук Р. А. Оптимизация условий освещения при культивировании микроклонов *Solanum tuberosum* L. сорта Луговской *in vitro*. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013;(4(24)):133-144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451> EDN: RUMPUZ
19. Варушкина А. М., Яхина А. И., Ширинкина А. С., Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Влияние спектрального состава света на физиологический ответ картофеля *in vitro*. Аграрный научный журнал. 2021;(4):8-11. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11> EDN: DOKRMH
20. Кононенко А. Н. Влияние различных источников света на развитие мини-растений картофеля в условиях светокультуры. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016;(45):50-56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674970> EDN: XHPXBF

21. Nakonechnaya O. V., Subbotin E. P., Grishchenko O. V., Gafitskaya I. V., Orlovskaya I. Yu., Kholin A. S., Goltsova D. O., Subbotina N. I., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. *In vitro* potato plantlet development under different polychromatic led spectra and dynamic illumination. *Botanica Pacifica: a Journal of Plant Science and Conservation*. 2021;10(1):69-74. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2021.10102>
22. Kulchin Yu. N., Nakonechnaya O. V., Gafitskaya I. V., Grishchenko O. V., Epifanova T. Yu., Orlovskaya I. Yu., Zhuravlev Yu. N., Subbotin E. P. Plant morphogenesis under different light intensity. *Diffusion and Defect Data. Defect and Diffusion Forum*. 2018;386:201-206. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.386.201>
23. Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Bulgakov V. P., Zhuravlev Y. N., Subbotin E. P., Kilchin Yu. N. Growth of *Solanum tuberosum* plantlets in vitro under LED light sources. *Proc. SPIE, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics 2017*. 2019;110240E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2314903>
24. Баснев С. С., Газдаров М. Д., Тамахина А. Я., Газзаев Г. Т., Абаев А. А. Влияние качества освещения и состава питательной среды на рост и развитие растений картофеля в культуре *in vitro*. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2022;59(4):18-25. DOI: [https://doi.org/10.54258/20701047\\_2022\\_59\\_4\\_18](https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_18) EDN: DQDLOE
25. Чусова Н. С., Муратова С. А. Влияние условий культивирования *in vitro* на эффективность ризогенеза микрорастений картофеля. *Наука и Образование*. 2019;2(2):260. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38578490> EDN: BEQQII
26. Мартиросян Ю. Ц., Диловарова Т. А., Мартиросян В. В., Креславский В. Д., Кособрюхов А. А. Действие светодиодного облучения различного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля в культуре *in vitro*. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):680-687. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.680rus> EDN: WZJQJN
27. Никонович Т. В., Шпак М. Ю., Левый А. В. Влияние спектрального состава света на морфофизиологические реакции растений-регенерантов *Solanum tuberosum* в условиях культуры *in vitro*. *Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и селекции растений: сб. ст. Междунар. научн. конф. Минск: ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», 2014. С. 183-190. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zbxvzv> EDN: ZBVXVZ*
28. Смолеговец Д. В., Анисимов Б. В. Инновации в системе клонального микроразмножения картофеля и выращивания биотехнологических микроклубней. *Картофелеводство (результаты исследований, инновации, практический опыт)*. 2013;(1):304-310.
29. Субботин Е. П., Гафицкая И. В., Наконечная О. В., Журавлев Ю. Н., Кульчин Ю. Н. Влияние искусственного солнечного света на рост и развитие растений-регенерантов *Solanum tuberosum*. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32-39. DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4> EDN: XLVNAI
30. Develi B. E., Miler N. Impact of Light Quality on *in vitro* Potato Microtubers Formation. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2023;10(S):89-100. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.353476.613>
31. Grishchenko O. V., Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Vereshchagina Y. V., Burkovskaya E. V., Khrolenko Y. A., Grigorchuk V. P., Nakonechnaya O. V., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. Growth of micropropagated *solanum tuberosum* L. plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic led lights. *Horticultural Plant Journal*. 2022;8(2):205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.04.007>
32. Chen L., Yang Y., Jiang Y., Zhao J., Zang H., Wang X., Hu Yu., Xue X. RNA-Seq Analysis Reveals Differential Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets Cultured in vitro to Red, Blue, Green, and White Light-emitting Diodes (LEDs). *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:1412-1427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09944-7>
33. Chen L., Xue X., Yang Y., Chen F., Zhao J., Wang X., Khan A. T., Hu Yu. Effects of red and blue LEDs on *in vitro* growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2018;5(2):197-205. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224>
34. Vinterhalter D., Vinterhalter B., Orbović V. Photo- and gravitropic bending of potato plantlets obtained in vitro from single-node explants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2012;31(4):560-569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9266-8>
35. Chen L., Zhang K., Gong X., Wang H., Gao Y., Wang X., Zeng Z., Hu Yu. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(1):108-119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X)
36. Ma X., Wang Y., Liu M., Xu J., Xu Z. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulture*. 2015;190:104-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.01.006>
37. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) nodal cuttings in vitro. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 1993;29(1):5-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02632231>
38. Jao R. C., Fang W. Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. *HortScience*. 2004;39(2):380-382. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.380>
39. Edesi J., Kotkas K., Pirttilä A. M., Haggman H. Does light spectral quality affect survival and regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot tips after cryopreservation? *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2014;119(3):599-607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0559-4>



40. Upadhyaya C. P., Pundir R. K., Pathak A., Joshi N., Bagri D. S. Irradiation studies of led light spectra on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Science Today*. 2020;7(3):406-416. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.3.797>
41. Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Исследование влияния спектрального состава освещения на картофель *in vitro* сортов Невский, Каменский, Удача. *Пермский аграрный вестник*. 2023;2(42):34-42. DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2023\\_42\\_34](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_34) EDN: FMKYGQ
42. Толоконцев Д. В., Усков А. И., Тиханова Н. Н., Панкратова А. А. Опыт применения светодиодного освещения при культивировании растений картофеля *in vitro*. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2016;44:223-227. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25647191> EDN: VPGEIF
43. Dmitrieva N. N., Bakunov A. L., Rubtsov S. L. Morphological characteristics of meristem potato plants (*Solanum tuberosum*) under various led light sources. *Research on Crops*. 2021;22(4):888-894. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.145>
44. Мартиросян Ю. Ц., Полякова М. Н., Диловарова Т. А., Кособрюхов А. А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения. *Сельскохозяйственная биология*. 2013;48(1):107-112. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18791173> EDN: PVFJYF

### References

1. Fedorova Yu. N., Lebedeva N. V. The influence of light of different spectral composition on the growth of potato plants *in vitro*. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016;(4):2-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28090733>
2. Varushkina A. M., Lugovskaya N. P., Maksimov A. Yu. The growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in photoculture. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* = Perm Federal Research Centre Journal. 2019;(2):37-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>
3. Khodaeva V. P., Kulikova V. I. Productivity of the original seeds depending on the way of faster propagation of improved potato. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2009;(9):18-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14451641>
4. Seabrook J. E. A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*: A review. *American Journal of Potato Research*. 2005;82:353-367. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02871966>
5. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. *Acta Horti*. 1995;393(22):189-194. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
6. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Sergeeva L. I., Machachkova I., Golyanovskaya S. A. Morphogenesis of Potato Plant *in vitro*. I Effekt of light quality and hormones. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2014;13:143-146. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00196378>
7. Mawphlang O. I. L., Kharshiing E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:01181. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01181>
8. Zakurin A. O., Shchennikova A. V., Kamionskaya A. M. Artificial-light culture in protected ground plant growing: photosynthesis, photomorphogenesis, and prospects of led application. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2020;67(3):413-424. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0015330320030227>
9. Battle M. W., Jones M. A. Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. *Plant, Cell & Environment*. 2020;43(1):16-27. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13643>
10. Voytsekhovskaya O. V. Phytochromes and other (photo)receptors of information in plants. *Fiziologiya rasteniy*. 2019;66(3):163-177. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151>
11. Barsukova E. N., Chibizova A. S. Effect of spectrum of the light-emitting diode lighting upon the process of micropropagation of the virus-free potato plants of different varieties. *Agrarnyy vestnik Primor'ya*. 2019;(1(13)):18-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41297057>
12. Karakaitis D. Y. Technical and economic efficiency of led lights in green crops. *Amazonia Investiga*. 2022;11(53):336-347. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2022.53.05.33>
13. Gomez C., Izzo L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. *AIMS Agriculture and Food*. 2018;3(2):135-153. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.2.135>
14. Netesov S. V., Lapshin I. P., Kozlov A. V. The effect of led lamps on plant growth. *Mir Innovatsiy* = World of innovation. 2020;(1):11-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42736453>
15. Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Milekhin A. V., Rubtsov S. L. Optimization of lighting of micro-plants of potatoes *in vitro* using led sources. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(6(92)):85-91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-85-91>
16. Kozlov A. V., Netesov S. V., Renev N. O. Analysis of indicators of the influence of artificial lighting on the growth and development of meristemic plants *Solanum tuberosum* L. cv. rosara. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;2(88):126-129. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129>
17. Milekhin A. V., Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Rubtsov S. L., Vov-chuk O. A. Izuchenie vliyaniya razlichnykh vidov osveshcheniya na rost i raz-vitie meristemnykh rasteniy kartofelya *in vitro*. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015;17(4-3):578-580. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26143799>

18. Golovatskaya I. F., Dorofeev V. Yu., Medvedeva Yu. V., Nikiforov P. E., Karnachuk R. A. Optimization of illumination conditions in cultivation process of *Solanum tuberosum* L. cv. Lugovskoy microcuttings *in vitro*. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2013;(4(24)):133-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451>
19. Varushkina A. M., Yakhina A. I., Shirinkina A. S., Tsema L. G., Latypova A. L. The influence of lighting spectral composition on physiological response of potato *in vitro*. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(4):8-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11>
20. Kononenko A. N. The influence of various light sources on the development of mini-potato plants under light culture conditions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2016;(45):50-56. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674970>
21. Nakonechnaya O. V., Subbotin E. P., Grishchenko O. V., Gafitskaya I. V., Orlovskaya I. Yu., Kholin A. S., Goltsova D. O., Subbotina N. I., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. *In vitro* potato plantlet development under different polychromatic led spectra and dynamic illumination. *Botanica Pacifica: a Journal of Plant Science and Conservation*. 2021;10(1):69-74. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2021.10102>
22. Kulchin Yu. N., Nakonechnaya O. V., Gafitskaya I. V., Grishchenko O. V., Epifanova T. Yu., Orlovskaya I. Yu., Zhuravlev Yu. N., Subbotin E. P. Plant morphogenesis under different light intensity. Diffusion and Defect Data. Defect and Diffusion Forum. 2018;386:201-206. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.386.201>
23. Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Bulgakov V. P., Zhuravlev Y. N., Subbotin E. P., Kilchin Yu. N. Growth of *Solanum tuberosum* plantlets *in vitro* under LED light sources. Proc. SPIE, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics 2017. 2019:110240E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2314903>
24. Basiev S. S., Gazdarov M. D., Tamakhina A. Ya., Gazzaev G. T., Abaev A. A. Impact of lighting quality and the nutrient medium composition on the growth and development of potato plants *in vitro*. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2022;59(4):18-25. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.54258/20701047\\_2022\\_59\\_4\\_18](https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_18)
25. Chusova N. S., Muratova S. A. Influence of the conditions of cultivation *in vitro* on the efficiency of risogenesis of potato micring growth. *Nauka i Obrazovanie*. 2019;2(2):260. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38578490>
26. Martirosyan Yu. Ts., Dilovarova T. A., Martirosyan V. V., Kreslavskiy V. D., Kosobryukhov A. A. Photosynthetic apparatus of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro* as influenced by different spectral composition of led radiation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):680-687. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2016.5.680rus>
27. Nikonovich T. V., Shpak M. Yu., Levyy A. V. Influence of the spectral composition of light on the morphophysiological reactions of regenerated *Solanum tuberosum* plants under *in vitro* culture conditions. Biotechnological techniques in the conservation of biodiversity and plant selection: collection of articles. Art. International. scientific conf. Minsk: GNU «Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi», 2014. pp. 183-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zbxvzv>
28. Smolegovets D. V., Anisimov B. V. Innovations in the system of clonal micropropagation of potatoes and cultivation of biotechnological microtubers. *Kartofelevodstvo (rezul'taty issledovaniy, innovatsii, prakticheskiy opyt)*. 2013;(1):304-310. (In Russ.).
29. Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Zhuravlev Yu. N., Kul'chin Yu. N. The influence of artificial sunlight and its intensity on the growth and development of *Solanum tuberosum* regenerants. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4>
30. Develi B. E., Miler N. Impact of Light Quality on *in vitro* Potato Microtubers Formation. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2023;10(S):89-100. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.353476.613>
31. Grishchenko O. V., Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Vereshchagina Y. V., Burkovskaya E. V., Khrolenko Y. A., Grigorchuk V. P., Nakonechnaya O. V., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. Growth of micropropagated *solanum tuberosum* L. plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic led lights. *Horticultural Plant Journal*. 2022;8(2):205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.04.007>
32. Chen L., Yang Y., Jiang Y., Zhao J., Zang H., Wang X., Hu Yu., Xue X. RNA-Seq Analysis Reveals Differential Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets Cultured *in vitro* to Red, Blue, Green, and White Light-emitting Diodes (LEDs). *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:1412-1427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09944-7>
33. Chen L., Xue X., Yang Y., Chen F., Zhao J., Wang X., Khan A. T., Hu Yu. Effects of red and blue LEDs on *in vitro* growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2018;5(2):197-205. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224>
34. Vinterhalter D., Vinterhalter B., Orbović V. Photo- and gravitropic bending of potato plantlets obtained *in vitro* from single-node explants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2012;31(4):560-569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9266-8>
35. Chen L., Zhang K., Gong X., Wang H., Gao Y., Wang X., Zeng Z., Hu Yu. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets *in vitro* and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(1):108-119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X)
36. Ma X., Wang Y., Liu M., Xu J., Xu Z. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulture*. 2015;190:104-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCIH.2015.01.006>

37. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) nodal cuttings in vitro. In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 1993;29(1):5-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02632231>
38. Jao R. C., Fang W. Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. HortScience. 2004;39(2):380-382. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.380>
39. Edesi J., Kotkas K., Pirttilä A. M., Haggman H. Does light spectral quality affect survival and regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot tips after cryopreservation? Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2014;119(3):599-607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0559-4>
40. Upadhyaya C. P., Pundir R. K., Pathak A., Joshi N., Bagri D. S. Irradiation studies of led light spectra on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Science Today. 2020;7(3):406-416. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.3.797>
41. Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Research of the effect of light spectral composition on potato plants in vitro of Nevsky, Kamensky, Udacha varieties. Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal. 2023;2(42):34-42. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2023\\_42\\_34](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_34)
42. Tolokontsev D. V., Uskov A. I., Tikhonova N. N., Pankratova A. A. Experience of using led lighting in cultivation of potato plants in vitro. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2016;44:223-227. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25647191>
43. Dmitrieva N. N., Bakunov A. L., Rubtsov S. L. Morphological characteristics of meristem potato plants (*Solanum tuberosum*) under various led light sources. Research on Crops. 2021;22(4):888-894. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.145>
44. Martirosyan Yu. Ts., Polyakova M. N., Dilovarova T. A., Kosobryukhov A. A. Photosynthesis and productivity of potato plants in the conditions of different spectral irradiation. Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology. 2013;48(1):107-112. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18791173>

#### Сведения об авторах

✉ **Лисина Татьяна Николаевна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: [atea2@yandex.ru](mailto:atea2@yandex.ru)

**Бурдышева Ольга Васильевна**, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-4361>

**Шолгин Евгений Сергеевич**, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8068-8815>

#### Information about the authors

✉ **Tatyana N. Lisina**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory, Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: [atea2@yandex.ru](mailto:atea2@yandex.ru)

**Olga V. Burdysheva**, junior researcher, Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-4361>

**Evgenii S. Sholgin**, junior researcher, the Laboratory of Agrobiophysics, Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8068-8815>

✉ – Для контактов / Corresponding author