



Влияние УФ-А на некоторые морфометрические и биохимические показатели растений-регенерантов картофеля

© 2024. С. В. Щербёнок^{1,2}, Т. Н. Лисина¹✉, С. Л. Елисеев², А. Л. Латыпова¹

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», Пермь, Россия

Ультрафиолетовое облучение (УФО) является составной частью солнечного излучения и играет важную роль в различных биологических процессах растений. Применение УФО может быть мощным инструментом для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, а также для стимулирования синтеза защитных соединений, повышения питательных качеств и органолептических свойств растений. Оздоровленные меристемные растения картофеля после пересадки в грунт из условий *in vitro* нуждаются в создании оптимального освещения. В условиях защищенного грунта применение дополнительного ультрафиолетового облучения растений картофеля может существенно увеличить урожайность культуры. Для выявления оптимальных условий применения этого приема необходимо изучить реакцию различных сортов картофеля на УФО. В данной работе проведено исследование действия УФ-А (длина волны 360 нм, плотность мощности 2,2 Вт/м, временной интервал между облучением 24 часа) на растения-регенеранты пяти сортов картофеля в течение 10 суток после их пересадки в грунт. Изучено влияние на площадь листьев, массу надземной и корневой частей растений, содержание хлорофиллов, каротиноидов и пролина. Выявлено достоверное увеличение под действием УФ-А надземной массы растений-регенерантов картофеля сортов Люкс и Легенда, массы корневой системы у растений сортов Люкс и Аляска, площади листьев у растений сорта Люкс, содержания пролина в растениях сортов Аляска, Ирбитский, Терра, а также достоверное снижение концентраций фотосинтетических пигментов в листьях растений картофеля сорта Легенда. Полученные результаты расширяют знания о влиянии УФ-А на рост и развитие растений картофеля.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., меристемное растение, сорт, ультрафиолетовое облучение, пролин, фотосинтетические пигменты.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122031100058-3).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щербёнок С. В., Лисина Т. Н., Елисеев С. Л., Латыпова А. Л. Влияние УФ-А на некоторые морфометрические и биохимические показатели растений-регенерантов картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):592–601. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.592-601>

Поступила: 11.04.2024

Принята к публикации: 12.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The influence of UV-A on some morphometric and biochemical parameters of potato regenerate plants

© 2024. Sofiya V. Shcherbyonok^{1,2}, Tatyana N. Lisina¹✉, Sergey L. Eliseev², Anna L. Latypova¹

¹Perm Agricultural Research Institute – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation,

²Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, Perm, Russian Federation

The ultraviolet radiation (UVR) is the part of light spectrum sunlight and plays a very important role in plant biological processes. The use of ultraviolet irradiation can be a powerful tool for controlling pests and diseases of agricultural plants, as well as a tool for stimulating the synthesis of protective compounds, increasing the nutritional qualities and organoleptic properties of plants. Healthy meristem potato plants after transplantation into soil from *in vitro* conditions need optimal lighting conditions. In protected soil conditions, the use of additional ultraviolet irradiation of potato plants can significantly increase crop yield. To identify the optimal conditions for using this technique, it is necessary to study the reaction of different potato varieties to ultraviolet radiation. There has been studied the effect of UV-A (wave length is 360 nm, power density is 2.2 W/m², time period between irradiation is 24 hours) for 10 days after transplanting regenerated plants of five potato varieties into soil. The effects on leaf area, over-ground and root parts, chlorophylls, carotenoid and proline content were investigated. Significant increase in aboveground biomass for ‘Lux’ and ‘Legenda’ varieties, root system mass for ‘Lux’ and ‘Alyaska’ varieties, leaf area for ‘Lux’ variety, proline content in ‘Alyaska’, ‘Irbitskiy’, Terra varieties, and reliable decrease of photosynthetic pigments

concentrations in the leaves of Legenda potato variety were revealed as affected by UVR. The results obtained correct the knowledge about the effect of UV-A on the growth and development of potato plants.

Key words: *Solanum tuberosum L., meristem plant, variety, ultraviolet radiation, proline, photosynthetic pigments*

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 Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme No. 122031100058-3).

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

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

For citation: Shcherbyonok S. V., Lisina T. N., Eliseev S. L., Latypova A. L. The influence of UV-A on some morphometric and biochemical parameters of potato regenerate plants. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):592–601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.592-601>

Received: 11.04.2024

Accepted for publication: 12.07.2024

Published online: 28.08.2024

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – это пищевая сельскохозяйственная культура, которая является одной из основных во многих странах [1]. Вегетативное размножение картофеля клубнями в открытом грунте сопровождается накоплением болезней, что в дальнейшем приводит к значительному снижению продуктивности культуры. В связи с этим возникает необходимость в периодическом обновлении посадочного материала. Метод размножения *in vitro* позволяет получить растения картофеля, свободные от вирусных, бактериальных и грибных инфекций, которые можно использовать в качестве исходного посадочного материала [2].

При пересадке в закрытый грунт оздоровленные меристемные растения картофеля испытывают стресс, который может привести к задержке роста, а в дальнейшем и к гибели растения. Поэтому важно разработать приемы, обеспечивающие оптимальные условия для развития растений после пересадки [3], а также препятствующие вторичной вирусной инфекции оздоровленных растений.

Для решения данной проблемы защищенный грунт становится все более обоснованным вариантом выращивания меристемного картофеля. Однако растения в защищенном грунте могут недостаточно подвергаться умеренному ультрафиолетовому облучению (УФО) из-за поликарбонатного, стеклянного или пленочного покрытий теплиц, которые частично или полностью задерживают солнечную радиацию в этой области спектра. Это особенно остро ощущается в северных регионах нашей страны из-за недостатка солнечных дней и может привести к понижению качества клубней картофеля.

Ультрафиолетовое облучение является составной частью солнечного излучения и играет важную роль в различных биологических процессах растений. В последнее десятилетие возникла новая сельскохозяйственная парадигма, которая рассматривает УФО как

стратегию повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур [4, 5]. Применение УФО может быть удобным инструментом в борьбе с болезнями растений [6], а также инструментом регуляции синтеза биологически активных веществ [7]. Необходимо контролировать применение УФО, так как возможен ущерб продуктивности растения, а именно фотосинтезу. В опубликованных исследованиях по влиянию УФО на растения ученые сосредотачивают внимание на изменениях биомассы, фотосинтетических и антиоксидантных ферментов [8, 9].

В ультрафиолетовом диапазоне солнечной радиации можно выделить три области спектра: УФ-А (320–400 нм); УФ-В (280–320 нм); УФ-С (100–280 нм). Слои атмосферы полностью поглощают УФО-С, задерживают 90 % УФО-В и практически на 100 % пропускают УФО-А [10].

Влияние УФО на растения исследовали в течение длительного времени [11], однако его влияние на развитие растений картофеля до сих пор остается недостаточно изученным. Кратковременное применение УФО-В в относительно низких дозах может улучшить качество клубней растений картофеля [12]. В работе Т. Н. Янчевской и О. А. Ковалевой [13] установлено, что у растений под действием УФО-В ускоренно развивались первичные корни. При облучении сорта картофеля Одисей дозой 120 Дж/м² средняя длина корней превышала на 96 % контроль. Была установлена также достоверная разница по массе листьев при использовании облучения.

Растения, подвергающиеся чрезмерному воздействию УФО-лучей, особенно УФО-В, страдают от биологических изменений, которые вызывают хлороз и некроз листьев, замедление роста и снижение урожайности растений [14].

УФО-А менее опасен для листовых поверхностей и способен положительно влиять на рост и продуктивность растений. УФО-А может

поглощаться фоторецепторами синего света, такими как фототропины и криптохромы [15]. Реакция растений на УФ-А, опосредованная этими фоторецепторами, до сих пор недостаточно изучена [16]. Таким образом, функция УФ-А в воздействии на рост и развитие растений, в том числе картофеля, до сих пор неясна.

Цель исследований – изучение влияния УФ-А длиной волны 360 нм на морфометрические и биохимические показатели растений картофеля, полученных методом микроклонального размножения, после пересадки их в грунт.



а / а



б/ б

Рис. 1. Устройства для выращивания растений в искусственных условиях: а) фитотрон с меристемными растениями картофеля; б) лазерная установка /

Fig. 1. Devices for controlled cultivation of plants in artificial conditions: а) growbox with meristem potato plants; б) lazer system

Фотопериод 16 часов обеспечивался механическим таймером Systec. В фитотроне установлены светильники ECOLED-BIO-37-RF-D120-F-Trade IP65 (4000K) со следующим спектральным составом: PFD-R – 38,19 %; PFD-B – 16,67 %; PFD-G – 41,45 %; PFD-FR – 3,69 % (рис. 2).

В качестве объектов исследования были взяты пять сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.), рекомендованных для возделывания в Волго-Вятском регионе РФ, к которому относится Пермский край: среднеспелый Аляска,

Научная новизна – получены экспериментальные данные о влиянии УФ-А на морфометрические параметры, содержание фотосинтетических пигментов и пролина у растений-регенерантов пяти сортов картофеля.

Материал и методы. Данная работа была проведена в лаборатории агробиофотоники Пермского научно-исследовательского университета сельского хозяйства – филиала ПФИЦ УрО РАН с использованием фитотрона размерами 100×100×140 см и лабораторной лазерной установки, сконструированных сотрудниками лаборатории (рис. 1) [17].

среднеранний Ирбитский и ранние Люкс, Терра и Легенда.

Микроклональное размножение проводили черенкованием на агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга. Период культивирования микроклонов картофеля в пробирках составил 27 суток. На 28-е сутки растения пересаживали в сосуды объемом 0,33 л и помещали в фитотрон. В качестве субстрата использовали торф (ООО «Велторф», рН 5,5–6,5). Полив проводили ежедневно по 25 мл. В фитотроне поддерживали температуру 20–23 °С. Количество

растений в эксперименте – 80, по 16 растений каждого сорта картофеля.

Регенеранты в течение 10 суток после пересадки в торф подвергали ежедневному воздействию УФ-А в течение 5 секунд в лазерной

установке (длина волны 360 нм, плотность мощности 2,2 Вт/м², временной интервал между облучением 24 часа). Облучение каждого объекта проводили отдельно, помещая сосуд с растением в центр установки.

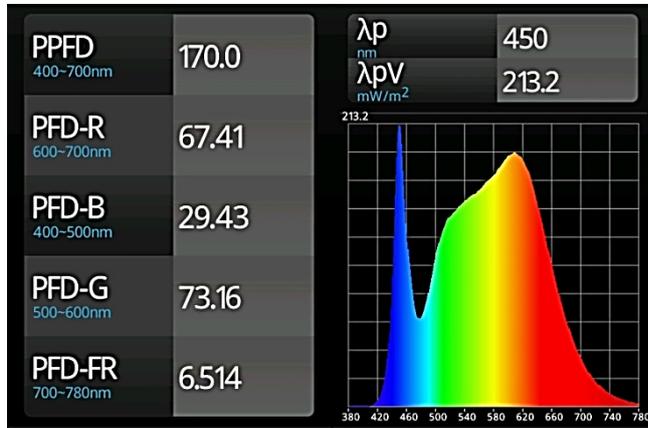


Рис. 2. Спектральный состав освещения в фитотроне, мкмоль/(м²*с): PFD-R – плотность фотосинтетического потока в «красной зоне»; PFD-B – плотность фотосинтетического потока в «синей зоне»; PFD-G – плотность фотосинтетического потока в «зеленой зоне»; PFD-FR – плотность фотосинтетического потока в «дальней красной зоне» /

Fig. 2. Spectral composition of lighting in a grow box, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$: PFD-R – photon flux in the “red zone”; PFD-B – photon flux in the “blue zone”; PFD-G – photon flux in the “green zone”; PFD-FR Photon flux in the “far red zone”

Снятие результатов проводили на 17-е сутки с момента посадки. Площадь листьев определяли по сканированным изображениям растений (сканер Canon CanoScan LiDE) в программе ImageJ, массу надземной и корневой части – на аналитических весах «ГОСМЕТР ВЛ-64». Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 665, 649 и 440 нм в спиртовой вытяжке [18]. Для расчета концентрации хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов использовали формулы Винтерманса де Мотса¹. Общее содержание пролина определяли методом спектрофотометрии².

Полученные данные статистически обработаны с применением методов описательной статистики, критериев Стьюдента и сдвига/положения для определения достоверности различий между вариантами. На рисунках в качестве погрешностей отражены ошибки средних значений. Значимыми считали различия между сравниваемыми величинами с доверительной вероятностью 95 % и выше ($P \leq 0.05$).

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений площади листьев, массы надземной и корневой системы растений картофеля представлены на рисунке 3.

Установлено, что дополнительное облучение растений УФ-А привело к достоверному

увеличению надземной массы у растений картофеля сортов Люкс и Легенда, достоверному увеличению массы корневой системы – Люкс и Аляска. Площадь листьев у всех исследуемых сортов была выше с использованием УФ-А, но статистически достоверные отличия по сравнению с контролем установлены только у сорта Люкс. Увеличение площади листьев способствует лучшему перехвату света и ускорению производства биомассы [19].

Обнаружены различия в содержании хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов в листьях картофеля (рис. 4). У сорта Легенда под действием УФ-А наблюдали достоверное снижение концентрации хлорофиллов и каротиноидов, у сорта Люкс – снижение только хлорофилла *a*. Каротиноиды способны передавать энергию хлорофиллу для фотосинтеза и защищать его от фотоокисления. Уровень каротиноидов у сортов картофеля различается аналогично содержанию хлорофилла [20]. Такие результаты свидетельствуют о сортовых особенностях структуры и функции светособирающего пигментного аппарата. Изменения в содержании фотосинтетических пигментов у различных сортов картофеля при использовании УФ-А объясняются влиянием генетического фактора, который определяется наследственной программой конкретного сорта [21].

¹Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Академия, 2003. 254 с.

²Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учебное пособие. Сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. Пермь: Пермский ГНИУ, 2012. 148 с.

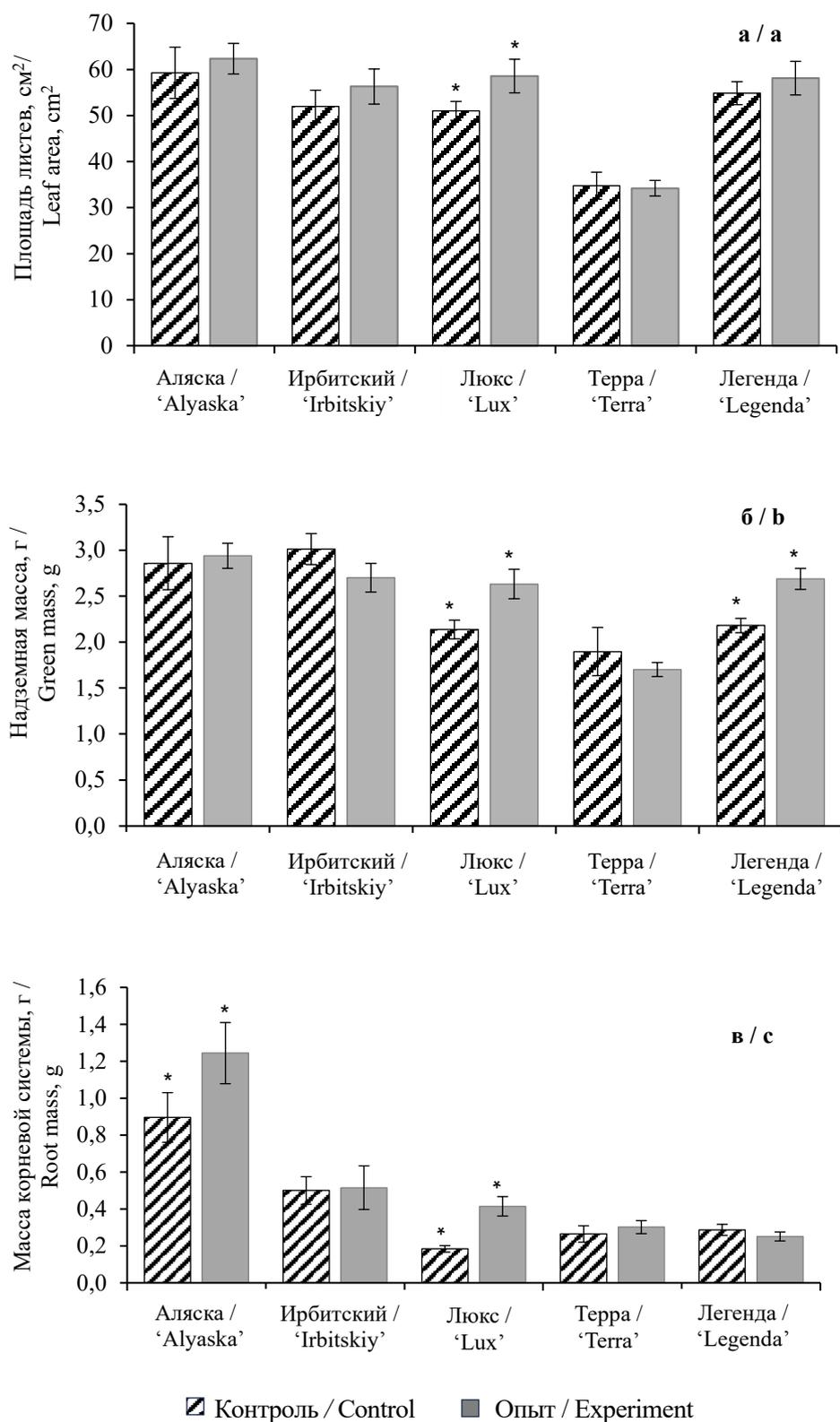


Рис. 3. Морфометрические показатели растений картофеля на 17-й день эксперимента: а) площадь листьев, см²; б) надземная масса, г; в) масса корневой системы, г; * значимые различия между вариантами опыта /

Fig. 3. Morphometric indicators of potato plants on the 17th day of the experiment: a) leaf area, cm²; b) green mass, g; c) root mass, g; * significant differences between variants of the experiment

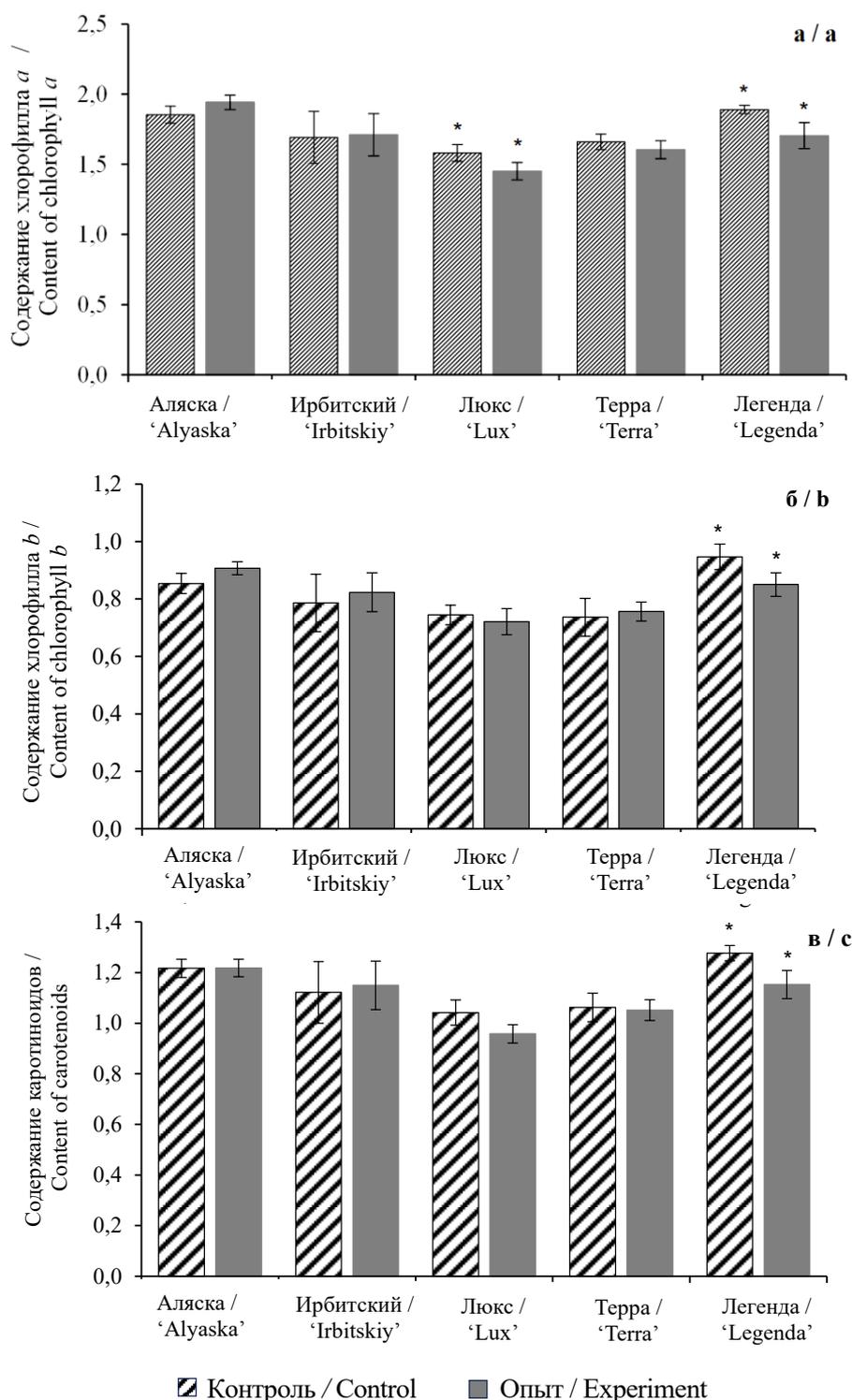


Рис. 4. Содержание пигментов в листьях картофеля, мг/г: а) хлорофилла а; б) хлорофилла b; в) каротиноидов; * значимые различия между вариантами опыта /

Fig. 4. Pigment content in potato leaves, mg/g: a) chlorophyll a; b) chlorophyll b; c) carotenoids; *significant differences between variants of the experiment

Установлено достоверное повышение концентрации пролина при УФО в листьях растений сортов картофеля Аляска, Ирбитский и Терра (рис. 5). Пролин – это гетероциклическая аминокислота, которая является совместимым осмолитом в высших растениях.

Количество пролина является маркером устойчивости к стрессу. Свободный пролин при стрессе обладает эффектом, проявляющимся в осморегуляторной, антиоксидантной, энергетической и других функциях [22, 23].

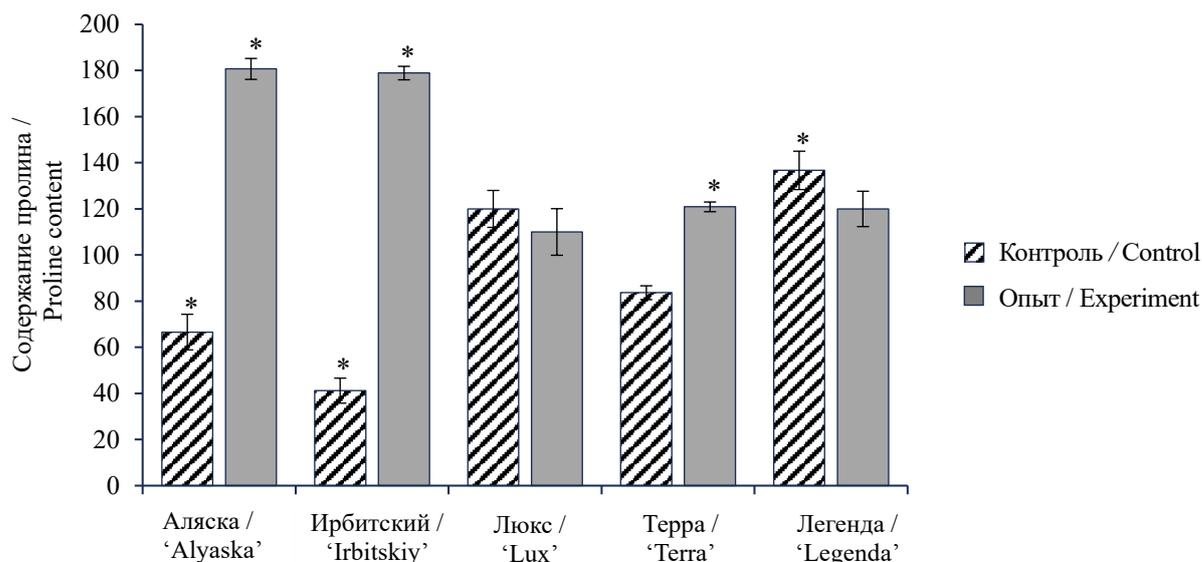


Рис. 5. Содержание пролина в листьях картофеля, мг/100 г сухой массы; * значимые различиями между вариантами опыта /

Fig. 5. Proline content in potato leaves, mg/100g dry weight; * significant differences between variants of the experiment

Заклучение. Выделяют зоны действия УФО: нейтральная, стимулирующая и угнетающая³ [24]. Границы зон действия зависят от генетических особенностей растения, что подтверждается нашими исследованиями. Растения картофеля сорта Люкс дали статистически значимый ответ почти по всем изученным показателям. Под действием УФ-А у этого сорта увеличилась подземная и надземная масса, площадь листьев. При этом статистически достоверного изменения содержания пролина у сорта Люкс не выявлено. Содержание пролина существенно увеличилось под воздействием УФ-А в растениях сортов Аляска, Ирбитский и Терра, по другим показателям у этих сортов существенного влияния УФ-А не зафиксировано. Сорта Люкс и Легенда, вероятно, устойчивы к данному стресс-фактору (УФ-А), или в их

листьях накапливаются другие антиоксидантные соединения, способствующие защите от повреждений.

В растениях сорта Легенда под действием УФ-А отмечено снижение концентрации фотосинтетических пигментов как хлорофиллов, так и каротиноидов. Учитывая, что у этого сорта при УФ-А отмечено достоверное увеличение надземной массы, вероятно, это явление можно объяснить эффектом «разбавления». Аналогичную закономерность наблюдали и у сорта Люкс: увеличение массы и снижение концентрации хлорофилла *a*.

Наши исследования показали, что изученные сорта картофеля имеют отличия в реакции на УФ-А. Полученные результаты могут быть полезны для создания руководств по использованию УФ-А в картофелеводстве.

Список литературы

1. Саяпова М. Г., Карпухин М. Ю., Кейта Ф. Семеноводство картофеля. Молодежь и наука. 2018;(7):54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36489025> EDN: MNKHKD
2. Лисина Т. Н., Дубасова Ю. А., Протасова Е. М., Елисеева А. Д., Щербёнок С. В. Опыт выращивания мини-клубней трёх сортов картофеля в условиях защищённого грунта. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024;(1(105)):44–49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60786122> EDN: LRBMCQ
3. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahioul B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. Journal of Plant Nutrition. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
4. Mariz-Ponte N., Mendes R. J., Sario S., Melo P., Santos C. Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: A contribution to the use of UV in seed technology. Scientia Horticulturae. 2018;235:357–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>

³Сидоренко И. Д. Влияние предпосевного облучения семян на рост, развитие и физиолого-биохимические процессы кукурузы: автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Киев, 1964. 24 с.

5. Mariz-Ponte N., Martins S., Gonçalves A., Correia C. M., Ribeiro C., Dias M. C., Santos C. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae*. 2019;246:777–784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.058>
6. González-García Y., Escobar-Hernández D. I., Benavides-Mendoza A., Morales-Díaz A. B., Olivares-Sáenz E., Juárez-Maldonado A. UV-A Radiation Stimulates Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici in Tomato Plants. *Horticulturae*. 2023;9(4):499. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040499>
7. Escobar-Bravo R., Chen G., Kim H. K., Grosser K., van Dam N. M., Leiss K. A., Klinkhamer P. G. Ultra-violet radiation exposure time and intensity modulate tomato resistance to herbivory through activation of jasmonic acid signaling. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(1):315–327. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery347>
8. Santos I., Fidalgo F., Almeida J. M., Salema R. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*. 2004;167(4):925–935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.035>
9. Vyšniauskienė R., Rančelienė V. Effect of UV-B radiation on growth and antioxidative enzymes activity in Lithuanian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Zemdirbyste-agriculture*. 2014;101(1):51–56. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.007>
10. Гинс М. С., Гамбарова Н. Г. Активность антиоксидантной системы красноокрашенного амаранта при кратковременном действии УФ-А радиации. Овощи России. 2009;(1):33–35. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-33-35> EDN: OYCLGH
11. 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/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92> EDN: XSVSWJ
12. Qi W., Ma J., Zhang J., Gui M., Li J., Zhang L. Effects of low doses of UV-B radiation supplementation on tuber quality in purple potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Signaling & Behavior*. 2020;15(9). DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1783490>
13. Янчевская Т. Г., Ковалёва О. А. Стимулирование морфообразовательных процессов в меристемных растениях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) под действием ультрафиолетового облучения В-диапазона. Физиология растений и генетика. 2015;47(4):287–295.
14. Lee J., Oh M., Son K. Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation Improves Biomass and Bioactive Compounds of Kale. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1042. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01042>
15. Casal J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Reviews of Plant Biology*. 2013;64:403–427. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
16. Verdager D., Jansen M. A., Llorens L., Morales L. O., Neugart S. UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*. 2017;255:72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014>
17. Бурдышева О. В., Шолгин Е. С., Илюшин С. А., Ременникова М. В., Щербинина К. Э., Лисина Т. Н. Разработка макета оптической установки комплексного действия обработки семян сельскохозяйственных культур. Фотон-экспресс. 2023;(6(190)):31–32. DOI: <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32> EDN: QEVMQV
18. Лобков В. Т., Наполова Г. В. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи: пат. № 2244916 Российская Федерация. №2003120313/04: заяв. 02.07.2003; опубл. 20.01.2005. Бюл. №2. 4 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Kang S., Zhang Y. T., Zhang Y. Q., Zou J., Yang Q. C., Li T. Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. *HortScience*. 2018;53(10):1429–1433. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13347-18>
20. Polívka T., Frank H. A. Molecular factors controlling photosynthetic light harvesting by carotenoids. *Accounts of Chemical Research*. 2010;43(8):1125–1134. DOI: <https://doi.org/10.1021/ar100030m>
21. Мякишева Е. П., Соколова Г. Г. Влияние качества света на содержание фотосинтетических пигментов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro*. Известия Алтайского государственного университета. 2014;(3-2):46–49. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-08](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-08) EDN: TACEYF
22. Hossain M. A., Hoque M. A., Burritt D. J., Fujita M. Chapter 16 – Proline protects plants against abiotic oxidative stress: biochemical and molecular mechanisms. *Oxidative Damage to Plants. Antioxidant Networks and Signaling*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. pp. 477–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00016-2>
23. Bhuyan M. H. M. B., Hasanuzzaman M., Al Mahmud J., Hossain Md. Sh., Bhuiyan T. F., Fujita M. Unraveling Morphophysiological and Biochemical Responses of *Triticum aestivum* L. to Extreme pH: Coordinated Actions of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019;8(1):24. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8010024>
24. Ковалёва О. А. Влияние УФ-облучения на биосинтез пигментов и фотодинамические характеристики переменной флуоресценции листьев меристемных регенерантов картофеля (*Solanum tuberosum*). Вестник Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2006;(5):85–88. Режим доступа: <http://elib.bspu.by/handle/doc/1801>

References

1. Sayapova M. G., Karpukhin M. Yu., Keyta F. The seed potatoes. *Molodezh' i nauka* = Youth and science. 2018;(7):54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36489025>
2. Lisina T. N., Dubasova Yu. A., Protasova E. M., Eliseeva A. D., Shcherbenok S. V. Experience in growing minitubers of three potato varieties in protected soil conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2024;(1(105)):44–49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60786122>
3. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahioul B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. *Journal of Plant Nutrition*. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
4. Mariz-Ponte N., Mendes R. J., Sario S., Melo P., Santos C. Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: A contribution to the use of UV in seed technology. *Scientia Horticulturae*. 2018;235:357–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>
5. Mariz-Ponte N., Martins S., Gonçalves A., Correia C. M., Ribeiro C., Dias M. C., Santos C. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae*. 2019;246:777–784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.058>
6. González-García Y., Escobar-Hernández D. I., Benavides-Mendoza A., Morales-Díaz A. B., Olivares-Sáenz E., Juárez-Maldonado A. UV-A Radiation Stimulates Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici in Tomato Plants. *Horticulturae*. 2023;9(4):499. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040499>
7. Escobar-Bravo R., Chen G., Kim H. K., Grosser K., van Dam N. M., Leiss K. A., Klinkhamer P. G. Ultra-violet radiation exposure time and intensity modulate tomato resistance to herbivory through activation of jasmonic acid signaling. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(1):315–327. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery347>
8. Santos I., Fidalgo F., Almeida J. M., Salema R. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*. 2004;167(4):925–935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.035>
9. Vyšniauskienė R., Raščelienė V. Effect of UV-B radiation on growth and antioxidative enzymes activity in Lithuanian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Zemdirbyste-agriculture*. 2014;101(1):51–56. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.007>
10. Gins M. S., Gambarova N. G. The activity of antioxidant system of red-colored plants of Amaranth during of short-term exposure in ultraviolet rays. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2009;(1):33–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-33-35>
11. 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/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92>
12. Qi W., Ma J., Zhang J., Gui M., Li J., Zhang L. Effects of low doses of UV-B radiation supplementation on tuber quality in purple potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Signaling & Behavior*. 2020;15(9). DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1783490>
13. Yanchevskaya T. G., Kovaleva O. A. Stimulation of morphological processes in meristemic potato plants (*Solanum tuberosum* L.) under the action of ultraviolet irradiation in the B-band. *Fiziologiya rasteniy i genetika*. 2015;47(4):287–295. (In Ukraine).
14. Lee J., Oh M., Son K. Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation Improves Biomass and Bioactive Compounds of Kale. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1042. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01042>
15. Casal J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Reviews of Plant Biology*. 2013;64:403–427. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
16. Verdager D., Jansen M. A., Llorens L., Morales L. O., Neugart S. UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*. 2017;255:72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014>
17. Burdysheva O. V., Sholgin E. S., Ilyushin S. A., Remennikova M. V., Shcherbinina K. E., Lisina T. N. Development of a layout for an optical installation of an integrated action for processing agricultural seeds. *Foton-ekspress*. 2023;(6(190)):31–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32>
18. Lobkov V. T., Napolova G. V. A method for determining chlorophyll in buckwheat plants: Patent RF no. 2244916, 2005. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Kang S., Zhang Y. T., Zhang Y. Q., Zou J., Yang Q. C., Li T. Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. *HortScience*. 2018;53(10):1429–1433. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13347-18>
20. Polívka T., Frank H. A. Molecular factors controlling photosynthetic light harvesting by carotenoids. *Accounts of Chemical Research*. 2010;43(8):1125–1134. DOI: <https://doi.org/10.1021/ar100030m>
21. Myakisheva E. P., Sokolova G. G. The effect of light quality on the content of photosynthetic pigments in potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* = Izvestiya of Altai State University. 2014;(3-2):46–49. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-08](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-08)

22. Hossain M. A., Hoque M. A., Burritt D. J., Fujita M. Chapter 16 – Proline protects plants against abiotic oxidative stress: biochemical and molecular mechanisms. *Oxidative Damage to Plants. Antioxidant Networks and Signaling*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. pp. 477–522.

DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00016-2>

23. Bhuyan M. H. M. B., Hasanuzzaman M., Al Mahmud J., Hossain Md. Sh., Bhuiyan T. F., Fujita M. Unravelling Morphophysiological and Biochemical Responses of *Triticum aestivum* L. to Extreme pH: Coordinated Actions of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019;8(1):24. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8010024>

24. Kovaleva O. A. The effect of RF irradiation on pigment biosynthesis and photodynamic characteristics of variable fluorescence of the leaves of meristemic potato regenerants (*Solanum tuberosum*). *Vestnik Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk*. 2006;(5):85–88. (In Belarus).

URL: <http://elib.bspu.by/handle/doc/1801>

Сведения об авторах

Щербёнок София Вячеславовна, младший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru; аспирант, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. 25 Октября, д. 10, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

✉ **Лисина Татьяна Николаевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Россия, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: atea2@yandex.ru

Елисеев Сергей Леонидович, доктор с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. 25 Октября, д. 10, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-7407>

Латыпова Анна Леонидовна, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский край, Россия, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

Information about the authors

Sofiya V. Shcherbyonok, junior researcher, Perm Agricultural Research Institute – Branch 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; postgraduate, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, October 25th st., 10, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

✉ **Tatyana N. Lisina**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory, Perm Agricultural Research Institute – Branch 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, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: atea2@yandex.ru

Sergey L. Eliseev, DSc in Agricultural Science, professor at the Department of Plant Growing, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, October 25th st., 10, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-7407>

Anna L. Latypova, researcher, Perm Agricultural Research Institute – Branch 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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

✉ – Для контактов / Corresponding author