

Проращивание семян рапса при непрерывном светодиодном освещении в режимах низкоэнергетических потоков фотонов монохроматического излучения

В. Н. Зеленков^{1,2}, В. В. Латушкин³, В. В. Карпачев⁴,
П. А. Верник³, С. В. Гаврилов³, М. И. Иванова¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства,

Московская обл., дер. Верея

² Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений,

г. Москва

³ Институт стратегий развития,

г. Москва

⁴ Липецкий научно-исследовательский институт рапса,

г. Липецк

zelenkov-raen@mail.ru

Аннотация

В целях изучения влияния низкоэнергетического монохромного излучения на прорастание семян рапса нового сорта Антарес использовали светодиоды синего (440 нм), зеленого (525), красного (660) и дальнего красного (730) света, а также УФ-А излучения (380 нм) с интенсивностью 0.367–6.904 мкмоль/м²·с по разным спектрам. Отмечено, что виды монохромного излучения по-разному влияли на прорастание семян и рост ростков. По показателям энергии прорастания, всхожести семян, массы 100 ростков и урожайности зеленой массы лучшие результаты получены при проращивании с использованием зеленого света. На основе экспериментальных данных выдан патент на изобретение «Способ активации проращивания семян рапса при моноспектральном освещении». Облучение монохромным дальним красным светом значительно снижало всхожесть и урожайность ростков.

Ключевые слова:

рапс, монохроматическое излучение, спектр излучения, фотоны, семена, проращивание, всхожесть семян

Введение

В последние десятилетия в связи с развитием светодиодных технологий появляется возможность использовать монохромные источники освещения [1]. К тому же развиваются системы выращивания растений в контролируемых условиях проведения эксперимента не только по параметрам освещенности, но и по температурно-влажностному режиму, газовому составу воздуха и другим

Germination of rapeseed under continuous LED lighting in the modes of low-energy photon fluxes of monochromatic radiation

V. N. Zelenkov^{1,2}, V. V. Latushkin³, V. V. Karpachev⁴,
P. A. Vernik³, S. V. Gavrilo³, M. I. Ivanova¹

¹ All-Russian Research Institute of Vegeticulture,
Moscow Region, Vereya village

² All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants,
Moscow

³ Institute for Development Strategies,
Moscow

⁴ Lipetsk Research Institute of Rapeseed,
Lipetsk

zelenkov-raen@mail.ru

Abstract

In order to study the effect of low-energy monochrome radiation on the germination of rapeseed of the new variety Antares, the authors used light-emitting diodes of blue (440 nm), green (525 nm), red (660 nm) and far red (730 nm) light, as well as those of UV-A radiation (380 nm) with an intensity of 0.367–6.904 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ on different spectra. Different types of monochrome radiation affected the germination of seeds and the growth of sprouts in different ways. According to the indicators of germination energy, seed germination, weight of 100 sprouts, and yield of green mass, the best results were obtained when germinating using the green light. Based on experimental data, the patent was issued for the invention "The activation method of rapeseed germination under monospectral illumination". Irradiation of seeds with the monochrome far-red light significantly reduced the germination ability and yield of sprouts.

Keywords:

rapeseed, monochromatic radiation, radiation spectrum, photons, seeds, germination, seed germination ability

При досвечивании растений используются разные варианты освещения, в том числе комбинированным светом с включением в световой поток полихромного освещения красного (далее – СД КС), синего (далее – СД СС) и зеленого (далее – СД ЗС) света [4]. Как правило, искусственное освещение рассматривается с точки зрения повышения интенсивности фотосинтеза и продуктивности растений на разных этапах онтогенеза. Роль отдельных спектров для фотосинтеза и морфогенеза растений широко изучалась [5]. В целом признано, что растениям необходим широкий спектр солнечного излучения, однако роль разных участков спектра различается [6]. Кроме того, постепенно накапливаются новые знания, например, о морфогенетической роли зеленого спектра, традиционно не считающегося эффективным для фотосинтеза [7, 8].

Как известно, на ранних фазах онтогенеза, в частности, при прорастании семян, рост происходит в значительной мере за счет запасных питательных веществ и только после образования первого настоящего листа и увеличения листовой поверхности начинается активная фотоассимиляция [1, 9]. Роль светового фактора заключается не только в обеспечении энергией процесса фотосинтеза, но и в регуляции морфофизиологических процессов в растительных организмах. Растения используют эту информацию для регулирования роста и развития, активности многих метаболических процессов. В отличие от фотосинтеза, на морфогенез оказывает активное влияние не только высокоэнергетическое освещение, но и низкоэнергетическое [10, 11].

Известно, что влияние света на этапе прорастания семян мало связано с интенсивностью фотосинтеза, так как фотосинтетический аппарат – листья растений, еще не сформирован. В ряде работ изучено влияние спектров света на прорастание семян [6]. Например, наиболее эффективным для реализации проращивания семян лекарственных растений белладонны и паслена оказался вариант с красным освещением семян при проращивании [12]. Тем не менее обычно используют стандартные высокоэнергетические фитосветильники, и не всегда четко выделяют именно монохромные составляющие. Таким образом, представляет интерес изучение растений на ранних этапах онтогенеза – прорастания семян и роста ростков до образования первого настоящего листа [13, 14].

Цель настоящей работы – изучение влияния непрерывного монохроматического излучения на прорастание семян. В качестве модельной культуры использовали семена рапса нового перспективного сорта Антарес [15].

Материалы и методы

Объектом исследований являлись семена и ростки ярового рапса *Brassica napus* L. (сорт Антарес). Сорт Антарес получен в Липецком НИИ рапса В. В. Карпачевым, В. И. Горшковым, А. Н. Власовой и С. И. Манаенковым. Включен в Госреестр в 2019 г., рекомендован по Центральному

(3), Волго-Вятскому (4), Центрально-Черноземному (5), Средневолжскому (7), Уральскому (9), Западно-Сибирскому (10), Восточно-Сибирскому (11), Дальневосточному (12) регионам. Сорт 00 типа (безэруковый, низкоглюкозинолатный). Среднеспелый. Vegetационный период – 95–105 дней. Масса 1 тыс. семян – 3.4–4.3 г. Растение, включая боковые ответвления, средней длины. Высота растений – 90–105 см, высота прикрепления нижней ветви – 28–45 см. Лист зеленый, средней длины, средней ширины. Лепесток желтый, средней длины, средней ширины – широкий. Стручок без носика, носик, цветоножка средней длины. Средняя урожайность – 1.13 т/га, рекордная зафиксированная – 2.38 т/га. Содержание жира – 38.6–47.1 %, на уровне стандарта или выше на 2.4 (5 регион) – 4.1 % (12 регион). Устойчивость к полеганию – 4.2–5.0 балла, к осыпанию – 4.1–5.0 балла [16, 17].

Посев проводили в блоки минеральной ваты «Гродан» размером 20х20 см. Высевали по 100 шт. семян на блок. Масса 1 тыс. семян рапса сорта Антарес в эксперименте составила 4.1 г. Полив проводили дистиллированной водой без использования удобрений по мере подсыхания подложки. Температура воздуха постоянная: + 20...+22 °С при относительной влажности 70–80 %.

В работе применяли светодиодное монохроматическое освещение низкой интенсивности (0.367–6.904 мкмоль/м²с), создаваемое в климатических устройствах «Синерготрон-мини» конструкции АНО «Институт стратегий развития» [3]. Освещение непрерывное, 24 ч/сутки. Световые режимы проращивания семян в эксперименте приведены в таблице. Спектры облучения определяли на спектрометре PG 100 N компании UPRtek, Тайвань. Для сравнения семена проращивали также в темноте.

Световые режимы проращивания семян рапса в эксперименте с монохроматическим освещением

Light modes of rapeseed germination in the experiment with monochromatic illumination

Вариант, нм	ppfd	pdf	pdf-uv	pdf-fr	pdf-b	pdf-g	pdf-r
УФ (380)	0.367	0.951	0.443	0.146	0.107	0.127	0.136
Синий (440)	6.904	7.125	0.03	0.194	6.523	0.213	0.173
Зеленый (525)	1.683	1.821	0.016	1.683	0.144	1.44	0.111
Красный (660)	2.577	2.734	0.018	2.577	0.087	0.135	2.358
Дальний красный (730)	3.506	32.11	0.044	28.77	0.171	0.182	3.156

Результаты и их обсуждение

Рапс относится к быстровсхожим культурам с высокими показателями энергии прорастания и всхожести семян. Согласно ГОСТ 12038–84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», проращивание проводят в темноте, энергию прорастания семян определяют на третьи сутки, всхожесть – на седьмые. В эксперименте показатель энергии прорастания в контроле (темнота) составил 88.2 % (рис. 1).

Обращает внимание разная реакция прорастающих семян рапса на монохромное излучение. Сопоставимы с контролем варианты облучения 380, 440, 660 нм (УФ-А,

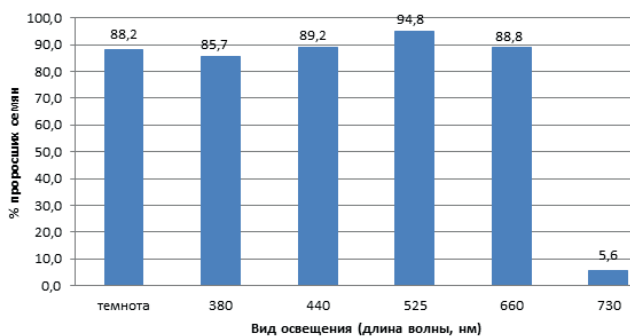


Рисунок 1. Энергия прорастания семян рапса (сорт Антарес) при постоянном монохроматическом освещении, %.
Figure 1. The germination energy of rapeseed (the variety Antares) under constant monochromatic illumination, %.

синий, красный спектры). Зеленый свет (525 нм) стимулировал прорастание (на 6,6 % выше контроля), дальний красный (730 нм) значительно ослаблял (до уровня 5,6 % проросших семян на третьи сутки проращивания).

Основная часть семян рапса сорта Антарес в эксперименте проросла на третьи сутки проращивания, и к требуемой дате определения всхожести, по ГОСТ (седьмые сутки), количество дополнительно проросших семян было небольшое (рис. 2). Закономерности воздействия монохроматического излучения на всхожесть аналогичны показателям воздействия на энергию прорастания семян. Всхожесть в варианте облучения зеленым светом (525 нм) выше контроля (проращивание в темноте) на 6,4 % (энергия прорастания выше на 6,6 %). Значительно снижена всхожесть после облучения дальним красным светом.

Максимальная высота ростков как в начальный период проращивания (на третьи сутки), так и в завершающий (на седьмые сутки) отмечалась при проращивании в темноте (рис. 3). Однако это связано с образованием этиолированных побегов из-за отсутствия освещения. Ростки слабо окрашены, почти белые из-за малого количества или отсутствия хлорофилла, вытянутые. При освещении ростки лучше развивались при зеленом свете (525 нм), тогда как при облучении 730 нм высота ростков более чем в два раза меньше, чем при облучении 525 нм на седьмые сутки проращивания. При сравнении высоты ростков на третьи и седьмые сутки проращивания по всем вариантам отмечено не менее чем двукратное увеличение (за

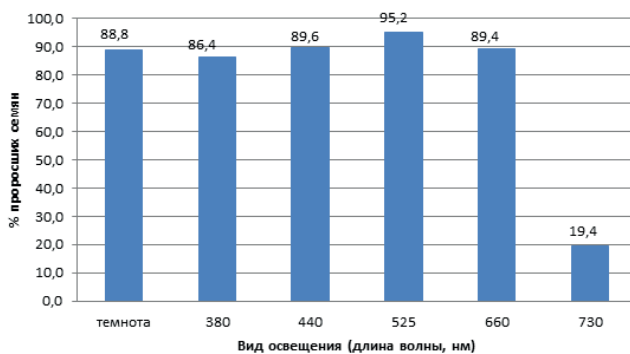


Рисунок 2. Всхожесть семян рапса (сорт Антарес) при постоянном монохроматическом освещении, %.
Figure 2. The germination ability of rapeseed (the variety Antares) under constant monochromatic illumination, %.

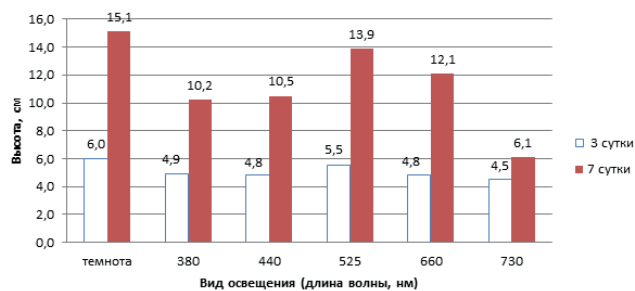


Рисунок 3. Высота ростков рапса (сорт Антарес) на третьи и седьмые сутки проращивания при постоянном монохроматическом освещении, см.
Figure 3. The height of rape sprouts (the variety Antares) on the third and seventh days of germination under constant monochromatic illumination, cm.

четверо суток вегетации). Исключение – вариант облучения 730 нм, когда на третьи сутки высота составила 4,5 см, а на седьмые – только 6,1 см. Вероятно, в течение первых трех суток активно расходуются запасные питательные вещества семени, тогда как в дальнейшем переход на фотосинтетическую деятельность затруднен.

Результирующими показателями при выращивании зеленой массы ростков являлись масса 100 ростков и выход зеленой массы с единицы площади. Масса ростков максимальна в варианте темного проращивания, однако выход зеленой массы выше при облучении зеленым светом (525 нм), вероятно, вследствие более высокой всхожести семян и формирования большего количества растений на единицу площади (рис. 4 и 5).



Рисунок 4. Средняя масса 100 ростков рапса (сорт Антарес) на седьмые сутки проращивания семян при постоянном монохроматическом освещении, г.

Figure 4. The average weight of 100 rape sprouts (the variety Antares) on the seventh day of seed germination under constant monochromatic illumination, g.

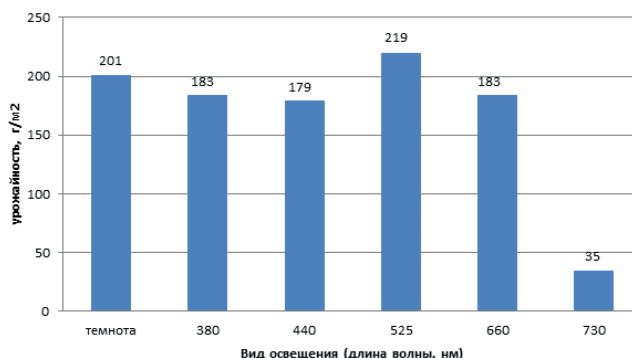


Рисунок 5. Урожайность зеленой массы ростков рапса (сорт Антарес) на седьмые сутки проращивания семян при постоянном монохроматическом освещении, г/м².

Figure 5. The yield of green mass of rape sprouts (the variety Antares) on the seventh day of seed germination under constant monochromatic illumination, g/m².

Очень низкая урожайность при облучении дальним красным светом (730 нм) связана прежде всего с низкой всхожестью и малым количеством растений на единицу площади. Однако масса 100 ростков тоже уступает другим вариантам эксперимента.

Классические представления о спектрах фотосинтетической активности (кривая Дж. МакКри) подчеркивают роль синего и красного спектров для фотосинтеза [5, 18]. В то же время для фотоморфогенеза зеленый свет оказывается важным [7, 8]. В настоящем исследовании с низкоэнергетическим монохромным облучением прорастающих семян рапса показана стимулирующую роль зеленого спектра при ослаблении ростовых процессов при облучении дальним красным светом. Экспериментальные результаты исследований воздействия монохроматического излучения низкоэнергетической интенсивности потока фотонов прошли экспертизу в Роспатенте, зарегистрирован патент на изобретение «Способ активации проращивания семян рапса при моноспектральном освещении» [19].

Заключение

Проведенные исследования позволяют расширить возможности использования светодиодного освещения в варианте монохроматического спектра зеленого света, определять параметры длины волны и излучения для повышения всхожести семян рапса и качества проростков (высоты ростков) и урожайности. Способ активации проращивания с использованием низкоэнергетического зеленого света с длиной волны 525 нм относится к области сельского хозяйства и может найти применение при повышении всхожести семян растений в растениеводстве, в селекции и расширении области применения в технологиях получения пророщенных семян рапса для здорового питания. Также способ может найти применение в селекционных работах по отбору высокопродуктивных биотипов, отзывчивых на монохроматическое излучение, а также в практическом семеноводстве и технологиях получения пророщенных семян растений для здорового питания.

Источники и литература

1. Mitchell, C. A. LED advancements for plant-factory artificial lighting / Cary A. Mitchell, Fatemeh Sheibani // *Plant Factory. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. – New York, Acad. Press, 2020. – P. 167-184. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00010-8>.
2. Коновалова, И. О. Обоснование оптимальных режимов освещения растений для космической оранжереи «Витацикл-Т» / И. О. Коновалова, Ю. А. Беркович, А. Н. Ерохин, С. О. Смолянина, О. С. Яковлева [и др.] // *Авиакосм. и экол. мед.* – 2016. – Т. 50, № 4. – С. 28-36.
3. Zelenkov, V. N. Creating closed technobioecosystems (synergotron class) as a modern direction of using digital technologies for the development of Agrarian Science and solving tasks of the agrarian-industrial complex of Russia / V. N. Zelenkov, P. A. Vernik, V. V. Latushkin // *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. – 274 (2019) 012101 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/274/1/.
4. Курьянова, И. В. Оценка влияния различных спектров светодиодного светильника на рост и развитие овощных культур / И. В. Курьянова, С. И. Олонина // *Вестник НГИЭИ*. – 2017. – № 7 (74). – С. 35-44.
5. Тихомиров, А. А. Светокультура растений : биофизические и биотехнологические основы / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г.М. Лисовский. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2000. – 213 с.
6. Hernández, R. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs / R. Hernández, C. Kubota // *Environmental and Experimental Botany*. – January 2016. – Vol.121. – P. 66-74. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>.
7. Шеин, Е. В. Агрофизика / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – Владимир : Издательство ВлГУ, 2014. – 92 с.
8. Claypool, N. B. Physiological responses of pepper seedlings to various ratios of blue, green, and red light using LED lamps / N. B. Claypool, J. H. Lieth // *Scientia Horticulturae*. – 2020. – Vol. 268. – P. 109. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109371>.
9. Izzo, L. G. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits / Luigi Gennaro Izzo, Bruno Hay Mele, Luca Vitale, Ermenegilda Vitale, Carmen Arena // *Environmental and Experimental Botany*. – November 2020. – Vol. 179. – P. 104195. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>.
10. Passarella, S. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation / Salvatore Passarella, Tiina Karu // *Journal of Photochemistry and Photobiology. B : Biology*. – November 2014. – Vol.140. – P. 344-358. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.07.021>.
11. Landi, M. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments : A review / Marco Landi, Marek Zivcak, Oksana Sytar, Marian Brestic, Suleyman I. Allakhverdiev // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*. – 1 February 2020. – Vol. 1861. – Issue 2. – P. 148131.
12. Свистунова, Н. Ю. Влияние различных условий на всхожесть семян некоторых лекарственных растений после длительного хранения / Н. Ю. Свистунова, П. С. Савин // *Идеи Н. И. Вавилова в современном мире : тезисы докладов IV Вавиловской международной конференции*. Санкт-Петербург, 20-24 ноября 2017 г. – Санкт-Петербург : ВИР, 2017. – с. 149.
13. Grant, R. H. Partitioning of biologically active radiation in plant canopies / R. H. Grant // *Int. J. Biometeorol.* – 1997. – 40. – P. 26-40.

14. Franklin, K. A. The signal transducing photoreceptors of plants / K. A. Franklin, V. S. Lerner, G. C. Whitelam // *Int. J. Dev. Biol.* – 2005. – 49. – P.653-664.
15. Карпачев, В. В. Рапс яровой. Основы селекции / В. В. Карпачев. – Липецк : ГНУ ВНИПТИ рапса, 2008. – 236 с.
16. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). – Москва : ФГБНУ «Росинформгротех», 2022. – 646 с.
17. Каталог сортов масличных капустных культур селекции ВНИИ рапса: яровой рапс, яровая сурепица, озимая сурепица, горчица белая, редька масличная; под общ. ред. д.с.-х.н., проф. В. В. Карпачёва. – Липецк : ФГБНУ ВНИИ рапса, 2019. – 48 с.
18. Мартиросян, Ю. Ц. Динамика фотосинтетических процессов в условиях переменного спектрального облучения растений / Ю. Ц. Мартиросян, Л. Ю. Мартиросян, А. А. Кособрюхов // *Сельскохозяйственная биология.* – 2016. – Т. 51, №5. – С. 680–687.
19. Пат. 2742611С1 Способ активации проращивания семян рапса при моноспектральном освещении / В. Н. Зеленков, В. В. Латушкин, В. В. Карпачев, П. А. Верник; заявитель и патентообладатель Автономная некоммерческая организация «Институт социально-экономических стратегий и технологий развития» № 2020130025; заявл. 11.09.2020; опубл. 09.02.2021; Бюл. № 4.
5. Tikhomirov, A. A. Svetokultura rastenij : biofizicheskie i biotekhnologicheskie osnovy [Light culture of plants : biophysical and biotechnological foundations] / A. A. Tikhomirov, V. P. Sharupich, G. M. Lisovsky. – Novosibirsk : Publishing House of the Siberian Branch of RAS, 2000. – 213 p.
6. Hernández, R. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs / R. Hernández, C. Kubota // *Environmental and Experimental Botany.* – January 2016. – Vol.121. – P. 66-74. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>.
7. Shein, E. V. Agrofizika [Agrophysics] / E. V. Shein, V. M. Goncharov. – Vladimir : Publishing House of the Vladimir State University, 2014. – 92 p.
8. Claypool, N. B. Physiological responses of pepper seedlings to various ratios of blue, green, and red light using LED lamps / N. B. Claypool, J. H. Lieth // *Scientia Horticulturae.* – 2020. – Vol. 268. – P. 109. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109371>.
9. Izzo, L. G. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits / Luigi Gennaro Izzo, Bruno Hay Mele, Luca Vitale, Ermenegilda Vitale, Carmen Arena // *Environmental and Experimental Botany.* – November 2020. – Vol. 179. – P. 104195. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>.
10. Passarella, S. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation / Salvatore Passarella, Tiina Karu // *Journal of Photochemistry and Photobiology. B : Biology.* – November 2014. – Vol.140. – P. 344-358. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.07.021>.
11. Landi, M. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments : A review / Marco Landi, Marek Zivcak, Oksana Sytar, Marian Bresic, Suleyman I. Allakhverdiev // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics.* – 1 February 2020. –Vol. 1861. – Issue 2. – P. 148131.
12. Svistunova, N. Yu. Vliyanie razlichnyh uslovij na vskhozhest semyan nekotoryh lekarstvennyh rastenij posle dlitel'nogo hraneniya [The influence of various conditions on the germination of seeds of some medicinal plants after long-term storage] / N. Yu. Svistunova, P. S. Savin // *Idei N. I. Vavilova v sovremennom mire [N. I. Vavilov's Ideas in the Modern World] : Proceedings of IV Vavilov International Conference.* Saint Petersburg, November 20-24, 2017. – Saint Petersburg : VIR, 2017. – P. 149.
13. Grant, R. H. Partitioning of biologically active radiation in plant canopies / R. H. Grant // *Int. J. Biometeorol.* – 1997. – 40. – P. 26-40.
14. Franklin, K. A. The signal transducing photoreceptors of plants / K. A. Franklin, V. S. Lerner, G. C. Whitelam // *Int. J. Dev. Biol.* – 2005. – 49. – P.653-664.

References

1. Mitchell, C. A. LED advancements for plant-factory artificial lighting / Cary A. Mitchell, Fatemeh Sheibani // *Plant Factory. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production.* – New York, Acad. Press, 2020. – P. 167-184. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00010-8>.
2. Konovalova, I. O. Obosnovanie optimalnyh rezhimov osveshcheniya rastenij dlya kosmicheskoy oranzheri "Viticikl-T" [Substantiation of the optimal illumination modes of plants for the Vitacycle-T space greenhouse] / I. O. Konovalova, Yu. A. Berkovich, A. N. Erokhin, S. O. Smolyanina, O. S. Yakovleva [et al.] // *Aviakosm. and ecol. med. [Aerospace and Environmental Medicine]* – 2016. – Vol. 50. – № 4. – P. 28-36.
3. Zelenkov, V. N. Creating closed technobioecosystems (synergotron class) as a modern direction of using digital technologies for the development of Agrarian Science and solving tasks of the agrarian-industrial complex of Russia / V. N. Zelenkov, P. A. Vernik, V. V. Latushkin // *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science.* – 274 (2019) 012101 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/274/1/.
4. Kuryanova, I. S. Ocenka vliyaniya razlichnyh spektrov svetodiodnogo svetilnika na rost i razvitie ovoshchnykh kultur [Evaluation of the different spectra of the light emitting diode fixture on the growth and development of vegetables] / I. S. Kuryanova, S. I. Olonina // *Bulletin of the NGIEI.* – 2017. – №7 (74). – P. 35-44.

15. Karpachev, V. V. Raps yarovoi. Osnovy seleksii [Spring rape. Fundamentals of breeding] / V. V. Karpachev. – Lipetsk : GNU VNIPTI rapsa, 2008. – 236 p.
16. State register of breeding achievements approved for use. Volume 1. "Plant varieties" (official publication). – Moscow : Rosinformagrotech, 2022. – 646 p.
17. Catalog of varieties of oilseed cabbage crops of the All-Russian Rape Research Institute : spring rapeseed, spring turnip rapeseed, winter turnip rapeseed, white mustard, oilseed radish / Endorsed by Doctor of Agriculture Professor V. V. Karpachev. – Lipetsk : FGBNU Research Institute of Rapeseed, 2019. – 48 p.
18. Martirosyan, Yu. Ts. Dinamika fotosinteticheskikh processov v usloviyah peremennogo spektralnogo oblucheniya rastenij [Dynamics of photosynthetic processes under conditions of variable spectral irradiation of plants] / Yu. Ts. Martirosyan, L. Yu. Martirosyan, A. A. Kosobryukhov. – Selskokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. – 2016. – Vol. 51. – № 5. – P. 680-687.
19. RU 2742611C1 Method for activating the germination of rapeseeds under monospectral illumination. Application : 2020130025, 11.09.2020 // V. N. Zelenkov, V. V. Latushkin, V. V. Karpachev, P. A. Vernik.

Информация об авторах:

Зеленков Валерий Николаевич – кандидат химических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства и Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений; <https://orcid.org/0000-0001-5481-2723> (140153, Российская Федерация, Московская область, дер. Верея, стр. 500; e-mail: zelenkov-raen@mail.ru).

Латушкин Вячеслав Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник АНО «Институт стратегий развития»; <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965> (107031, Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, д. 15/13, стр. 5; e-mail: slavalat@yandex.ru).

Карпачев Владимир Владимирович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделом селекции и семеноводства рапса Липецкого научно-исследовательского института рапса; <https://orcid.org/398037>, Российская Федерация, г. Липецк, ул. Боевой проезд, д. 26; e-mail: info@lniir.ru).

Верник Петр Аркадьевич – директор АНО «Институт стратегий развития»; <https://orcid.org/0000-0001-5850-7654> (107031, Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, д. 15/13, стр. 5; e-mail: petr@zolshar.ru).

Гаврилов Сергей Викторович – зав. отдела телеметрии АНО «Институт стратегий развития»; <https://orcid.org/0000-0003-2824-9302> (107031, Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, д. 15/13, стр. 5; e-mail: gavrilovrial@mail.ru).

Иванова Мария Ивановна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, руководитель Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства; <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157> (140153, Российская Федерация, Московская область, дер. Верея, стр. 500; e-mail: ivanova_170@mail.ru).

About the authors:

Valeriy N. Zelenkov – Candidate of Sciences (Chemistry), Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, Chief Researcher at the All-Russian Research Institute of Vegeticulture and the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; <https://orcid.org/0000-0001-5481-2723> (All-Russian Research Institute of Vegeticulture, 500 Vereya village, Moscow Region, Russian Federation; e-mail: zelenkov-raen@mail.ru).

Vyacheslav V. Latushkin – Candidate of Sciences (Agriculture), Senior Researcher at the Institute for Development Strategies; <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965> (Institute for Development Strategies, House 15/13, Building 5, Petrovka str., Moscow, 107031, Russian Federation; e-mail: slavalat@yandex.ru).

Vladimir V. Karpachev – Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, RAS Corresponding Member, Head of the Department of Breeding and Seed Production of Rapeseed at the Lipetsk Research Institute of Rapeseed; <https://orcid.org> (Lipetsk Research Institute of Rapeseed, 26 Boevoy pr., Lipetsk, 398037, Russian Federation; e-mail: info@lniir.ru).

Petr A. Vernik – Director of the Institute for Development Strategies; <https://orcid.org/0000-0001-5850-7654> (Institute for Development Strategies, House 15/13, Building 5, Petrovka str., Moscow, 107031, Russian Federation; E-mail: petr@zolshar.ru).

Sergey V. Gavrilov – Head of the Telemetry Department at the Institute for Development Strategies; <https://orcid.org/0000-0003-2824-9302> (Institute for Development Strategies, House 15/13, Building 5, Petrovka str., Moscow, 107031, Russian Federation; e-mail: gavrilovrial@mail.ru).

Maria I. Ivanova – Doctor of Sciences (Agriculture), RAS Professor, Head of the All-Russian Research Institute of Vegeticulture; <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157> (All-Russian Research Institute of Vegeticulture, 500 Vereya village, Moscow Region, 140153, Russian Federation; e-mail: ivanova_170@mail.ru).

Для цитирования:

Зеленков, В. Н. Проращивание семян рапса при непрерывном светодиодном освещении в режимах низкоэнергетических потоков фотонов монохроматического излучения / В. Н. Зеленков, В. В. Латушкин, В. В. Карпачев, П. А. Верник, С. В. Гаврилов, М. И. Иванова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2023. – № 7 (65). – С. 29–35.

For citation:

Zelenkov, V. N. Prorashchivanie semyan rapsa pri nepreryvnom svetodiodnom osveshchenii v rezhimakh nizkoenergeticheskikh potokov fotonov monohromaticheskogo izlucheniya [Germination of rapeseed under continuous LED lighting in the modes of low-energy photon fluxes of monochromatic radiation] / V. N. Zelenkov, V. V. Latushkin, V. V. Karpachev, P. A. Vernik, S. V. Gavrilov, M. I. Ivanova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2023. – № 7 (65). – P. 29–35.

Дата поступления статьи: 09.06.2023

Прошла рецензирование: 19.10.2023

Принято решение о публикации: 20.10.2023

Received: 09.06.2023

Reviewed: 19.10.2023

Accepted: 20.10.2023