
ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

**Влияние лазерного излучения на семена ячменя
сорта Родник Прикамья**

**Ирина Викторовна Комарова✉, Татьяна Николаевна Лисина,
Юлия Андреевна Дубасова**

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
филиал Пермского федерального исследовательского центра
Уральского отделения РАН, Пермь, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: coccinela@yandex.ru

Аннотация

Лазерное облучение является перспективным направлением в предпосевной подготовке семян сельскохозяйственных растений. Это энергоэффективный и экологически безопасный технологический прием, который способствует повышению всхожести, снижению зараженности семян, увеличению силы роста растений. В статье описаны результаты эксперимента по проращиванию семян ячменя после их лазерного облучения с длиной волны 637 нм («красная» область видимого спектра) и 360 нм (ультрафиолетовая область) разными по длительности периодами: 10, 20, 30 с при плотности мощности луча 6 Дж/см². На 20-й день получено максимальное содержание пигментов у проростков ячменя при воздействии УФ на семена в течение 30 с и красным лазером в течение 20 с. Показано положительное влияние УФ-облучения в течение 10 с и красного света в течение 20 с на показатели роста растений ячменя. Отмечено, что УФ-лазерная предпосевная обработка семян ячменя приводит к увеличению массы растений на 40-й день. Значения массы надземной части и корневой системы, превышающие контроль, зафиксированы у растений, выросших из семян, облученных УФ в течение 10 с (превышение контрольного варианта на 26,8% для наземной части, на 42,4% – для корневой системы). В зернах, полученных из растений, семена которых подвергались облучению УФ в течение 10 с и облучению красным лазером в течение 20 и 30 с, обнаружено статистически достоверное увеличение содержания азота. В зернах, полученных из растений, семена которых подвергались облучению красным лазером в течение 20 с, обнаружено статистически достоверное увеличение содержания фосфора.

Ключевые слова

Лазерное облучение, красный лазерный свет, ультрафиолетовый свет, ячмень, длина стебля, длина корешка, пигменты, содержание азота

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058–3).

Для цитирования

Комарова И.В., Лисина Т.Н., Дубасова Ю.А. Влияние лазерного излучения на семена ячменя сорта Родник Прикамья // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 4. С. 37–48.

Effect of laser radiation on barley seeds of Rodnik Prikamya variety

Irina V. Komarova✉, Tatiana N. Lisina, Yulia A. Dubasova

Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center
Ural Branch Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

✉Corresponding author: coccinela@yandex.ru

Abstract

Laser irradiation represents a promising approach for pre-sowing seed treatment in agricultural plants. This energy-efficient and environmentally friendly technology can enhance germination rates, reduce seed contamination, and improve plant vigor. This article presents the results of a germination experiment on barley seeds irradiated with lasers at wavelengths of 637 nm (red spectrum) and 360 nm (ultraviolet), using exposure durations of 10, 20, and 30 seconds at a beam power density of 6 J/cm². Maximum total pigment concentrations in barley seedlings were observed following UV irradiation for 30 seconds and red light irradiation for 20 seconds. UV irradiation for 10 seconds and red light irradiation for 20 seconds showed a positive effect on the plant height of barley plants. Pre-sowing UV laser treatment of barley seeds resulted in increased plant mass by the 40th day. Plants grown from seeds irradiated with UV for 10 seconds exhibited significantly higher mass values in both the aerial part (26.8% increase compared to the control) and the root system (42.4% increase compared to the control). A statistically significant increase in nitrogen content was found in grains obtained from plants whose seeds were exposed to UV irradiation for 10 seconds, and in those exposed to red laser irradiation for 20 and 30 seconds. A statistically significant increase in phosphorus content was found in grains obtained from plants whose seeds were irradiated with a red laser for 20 seconds.

Keywords

Laser irradiation, red laser-emitted light, ultraviolet light, barley, seedling length, root length, pigments, nitrogen content

Acknowledgments

This research was conducted under a state assignment (state registration number: 122031100058–3).

For citation

Komarova I.V., Lisina T.N., Dubasova Yu.A. Effect of laser radiation on barley seeds of Rodnik Prikamya variety. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 4. P. 37–48.

Введение Introduction

В условиях рискованного земледелия Урала не всегда удается получить полные и дружные всходы зерновых культур. Неблагоприятные условия – такие, как недостаток влаги и весенние заморозки, негативно действуют на прорастание семян, часть из которых погибает. Во время уборки зерновых культур периодически наблюдается засуха или идут проливные дожди, что приводит к снижению всхожести семян. Для повышения урожайности, улучшения качества получаемой продукции и ускорения роста семян культурных растений в последнее время в практику сельского хозяйства внедряют физические методы предпосевной обработки семян [1]. Одним из таких методов является лазерное облучение. Применение лазерного облучения в предпосевной

подготовке семян приводит к увеличению энергии прорастания, всхожести и стимулирует процесс прорастания, что положительно влияет на урожайность [2, 3].

Влияние различных видов излучений на семена культурных растений изучается с середины XX в. [4]. Считается, что обработка лазером приводит к положительным изменениям всхожести семян. Красное [5–8] и ультрафиолетовое облучение [9, 10] стимулирует интенсивность развития растений, рост всхожести семян, повышает сопротивляемость к неблагоприятным факторам различной природы, оказывает положительное воздействие на биохимический состав плодов и их устойчивость при хранении. Предпосевная лазерная обработка способствует повышению устойчивости семенного материала к стрессовым состояниям [11, 12] и болезням [13–15], что влияет на урожайность [16].

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) наряду с пшеницей и кукурузой является важнейшей универсальной продовольственной, технической и фуражной зерновой культурой, которая обеспечивает экономическую безопасность страны [17]. Ячменная крупа – источник полезных веществ, необходимых организму человека для его полноценного роста и развития [18, 19].

Результаты анализа опубликованных исследований, направленных на изучение влияния лазерного красного (600–700 нм) [19–21] и ультрафиолетового (100–400 нм) [22–24] облучения на посевные качества семян, свидетельствуют о том, что на яровой ячмень лазерное облучение может оказывать как стимулирующее, так и мутагенное действие [25]. В литературе имеются довольно противоречивые данные о влиянии лазерного облучения различных параметров (диапазон длин волн, время облучения, степень поглощения различными растительными тканями) на семена растений, а также реакции растений на стимуляцию. Таким образом, поиск оптимальных условий лазерного облучения является актуальной темой исследований.

Цель исследований: подбор оптимальной длительности лазерной предпосевной обработки семян ячменя сорта Родник Прикамья источниками когерентного излучения – полупроводниковых диодов длиной волны 637 и 360 нм.

Методика исследований

Research method

Исследования проведены в Пермском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. В качестве объекта исследований выбран ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Родник Прикамья. Обработка когерентными источниками реализована в лазерной установке [26]. На семена воздействовали лазером с длиной волны 637 нм («красная» область видимого спектра) и 360 нм (ультрафиолетовая область), время воздействия – 10, 20 и 30 с при мощности луча 6 Дж/см².

После облучения семена проращивали в 5-литровых горшках с верховым торфом в качестве субстрата в условиях теплицы. На 20-й день в проростках измеряли концентрацию хлорофиллов спектрофотометрическим методом. Навеску по 0,1 г гомогенизировали в 96%-ном этаноле. Концентрацию хлорофиллов вычисляли по методике Винтерманса и Де Мотса [27]. Содержание хлорофиллов вычисляли с учетом объема вытяжки и навески. Измерение длины наземной части и корневой системы, а также определение массы (ГОСТ 27548–97) выполняли на 40-й день. Статистическая обработка проведена с использованием методов описательной статистики и критерия Стьюдента. Значимыми считали различия с доверительной вероятностью 95% и выше ($P \leq 0,05$).

На стадии формирования колоса были собраны зерна. Определение содержания общего азота, фосфора и калия осуществляли по К.Е. Гинзбург и Г.М. Щегловой [28]: определение общего N – по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4–93), общего P – спектрофотометрическим методом (ГОСТ 28902–91), общего K – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504–97).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты определения содержания пигментов в листьях ячменя представлены на рисунке 1. При облучении ультрафиолетовым когерентным светом в течение 30 с содержание хлорофилла А и суммарное содержание хлорофилла А и хлорофилла В были достоверно выше. При воздействии красного лазерного света в течение 20 с наблюдался достоверный рост содержания хлорофилла А и суммарного содержания хлорофиллов А и В. При действии когерентного красного света в течение 30 с отмечено снижение содержания хлорофилла В.

Показатели длины стебля были достоверно выше у семян, облученных ультрафиолетом в течение 10 с. Длина корней по сравнению с контрольным вариантом были достоверно более низкой у семян, облученных в течение 20 с (рис. 2). Семена, облученные в течение 30 с, имели достоверно меньшую длину и стебля, и корешков.

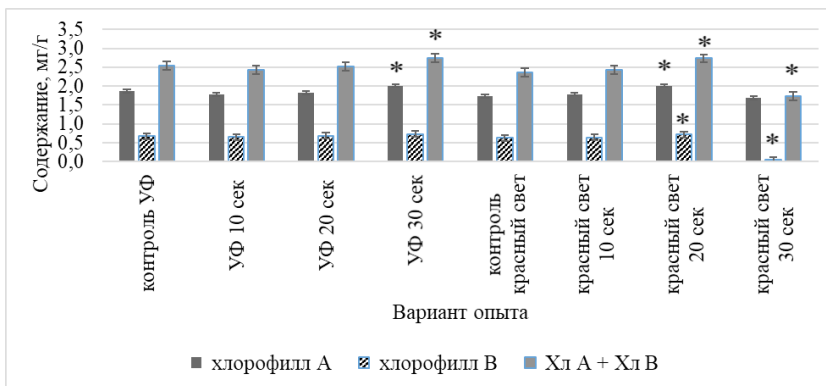


Рис. 1. Содержание основных фотосинтетических пигментов в проростках ячменя
*Отличия статистически достоверны по сравнению с контрольным вариантом опыта

Figure 1. Content Main photosynthetic pigment content in barley seedlings:
* indicates statistically significant difference compared to the control

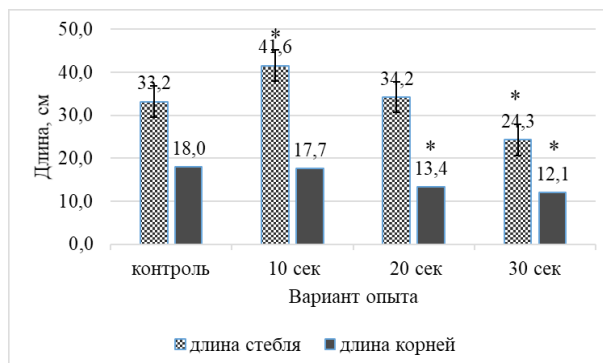


Рис. 2. Длина стебля и корней растений ячменя сорта Родник Прикамья на 40-й день, выросших из семян, облученных ультрафиолетовым когерентным светом различной продолжительности воздействия

*Отличия статистически достоверны по сравнению с контрольным вариантом опыта

Figure 2. Stem and root length of barley plants of the Rodnik Prikamya variety on the 40th day, grown from seeds irradiated with ultraviolet coherent light of various durations:
* – indicates statistically significant difference compared to the control

Предпосевная лазерная обработка семян ячменя красным когерентным светом (637 нм) в течение 10, 20 и 30 с стимулировала увеличение длины корешков по сравнению с необлученными семенами. Достоверно более низкие показатели длины стебля зафиксированы у растений, семена которых были облучены в течение 10 с (рис. 3).

На 40-й день после облучения и посева семян ячменя проводили взвешивание наземной части растения и корневой системы с определением сырой и сухой массы (табл.).

Согласно полученным данным по определению сырой массы стимулирующий эффект ультрафиолета на рост стебля и на развитие корневой системы обнаруживается при воздействии на семена ячменя в течение 10 с, так как статистически достоверно увеличена сырая масса наземной части и корневой системы по сравнению с контрольным вариантом опыта. Облучение семян в течение 20 и 30 с ведет к снижению сырой массы наземной части растения. Облучение семян ультрафиолетом продолжительностью 10–30 с приводит к снижению процента сухой массы корней от сырой.

Семена, обработанные красным лазером в течение 20 с, сформировали корневую систему большей массы, чем необлученные семена. Облучение семян красным лазером в течение 20 с привело к достоверному увеличению массы наземной части растений (табл.).

Определено содержание минеральных элементов в зернах ячменя сорта Родник Прикамья, сформированных на растениях, выросших из облученных ультрафиолетом и красным лазерным светом семян: соединений азота, фосфора и калия (рис. 4).

В результате экспериментальных исследований выявлено, что предпосевная лазерная обработка способствует увеличению содержания азота в зернах при облучении УФ в течение 10 с (на 12%) и при облучении красным лазером в течение 20 с (на 22%) и 30 с (на 18%). При облучении лазерным красным светом наблюдалось увеличение содержания фосфора в зернах при воздействии на семена в течение 20 с (на 12%). На содержание соединений калия в зернах влияние лазерного облучения в рамках данных исследований не обнаружено.

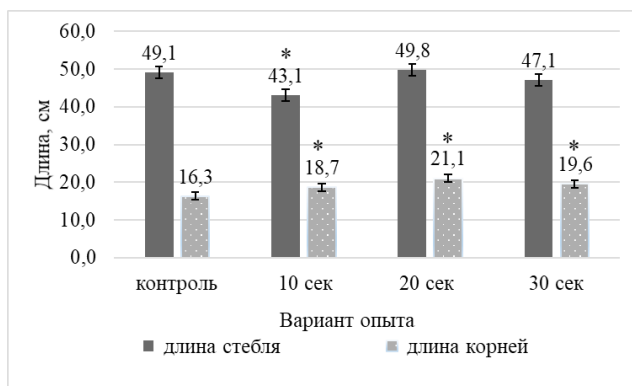


Рис. 3. Длина проростков и корней семян ячменя сорта Родник Прикамья при облучении красным светом различной продолжительности воздействия
*Отличия статистически достоверны по сравнению с контрольным вариантом опыта

Figure 3. Sprout and root length of barley seeds of the Rodnik Prikamya variety when irradiated with red light of various durations:

* indicates statistically significant difference compared to the control

Таблица 1

**Биометрические показатели стеблей и корневой системы
облученных и необлученных растений ячменя в фазе кушения**

Table 1

**Stem and root system biometric indicators
of irradiated and non-irradiated barley plants in the tillering phase**

Вариант опыта		Среднее значение сырой массы, г	Среднее значение сухой массы, г	% сухой массы от сырой
Время облучения	Исследуемая часть растения			
Лазерная обработка в УФ области (360 нм)				
контроль (без облучения)	Наземная часть	2,35±0,20	0,54±0,05	23,0
10 с		3,21±0,08*	0,78±0,05	24,3
20 с		1,81±0,09*	0,38±0,08	21,0
30 с		2,00±0,14*	0,39±0,02	19,5
контроль (без облучения)	Корни	0,38±0,06	0,12±0,01	31,6
10 с		0,66±0,09*	0,14±0,01	21,2
20 с		0,35±0,04	0,07±0,01	20,0
30 с		0,33±0,03	0,08±0,01	24,2
Лазерная обработка в красной области (637 нм)				
контроль (без облучения)	Наземная часть	2,74±0,19	0,53±0,03	19,3
10 с		2,01±0,52	0,37±0,01	18,4
20 с		3,43±0,11*	0,57±0,04	16,6
30 с		2,82±0,04	0,61±0,05	21,6
контроль (без облучения)	Корни	0,28±0,04	0,11±0,01	39,3
10 с		0,37±0,02*	0,08±0,01	21,6
20 с		0,59±0,08*	0,22±0,03	37,3
30 с		0,32±0,02	0,08±0,01	25,0

*Отличия статистически достоверны по сравнению с контрольным вариантом опыта.

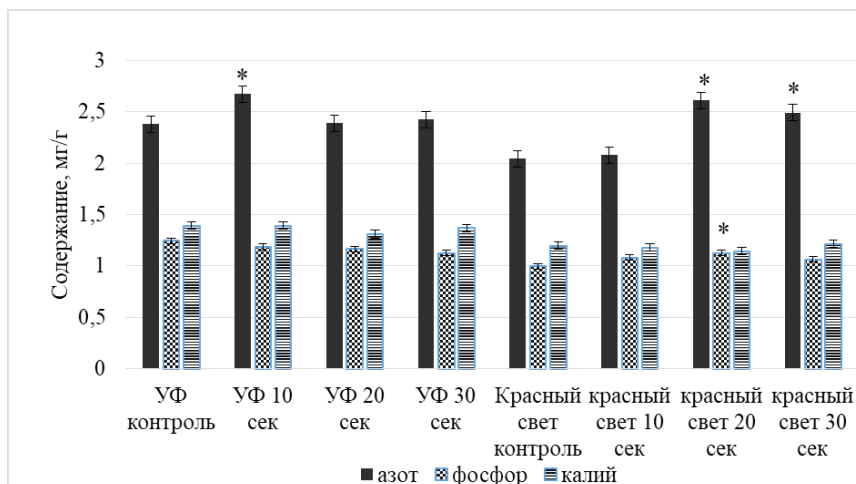


Рис. 4. Содержание соединений азота, фосфора и калия в зернах ячменя сорта Родник Прикамья:

* – отличия статистически достоверны по сравнению с контрольным вариантом опыта

Figure 4. Content of nitrogen, phosphorus and potassium compounds in barley grains of the Rodnik Prikamya variety:

* indicates statistically significant difference compared to the control

Выводы

Conclusions

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Предпосевная лазерная обработка при мощности 6 Дж/см² длиной волны 360 нм в течение 30 с и длиной волны 637 нм в течение 20 с способствует увеличению содержания пигментов (суммарного содержания хлорофилла А и хлорофилла В) в листьях ячменя.

2. Показано положительное влияние УФ-облучения мощностью 6 Дж/см² в течение 10 с на длину стеблей ячменя сорта Родник Прикамья. При облучении красным лазерным светом в течение 10–30 с наблюдаются повышенные показатели роста корневой системы ячменя.

3. Статистически большие значения сырой наземной массы отмечены у растений, чьи семена были облучены УФ-лазером при мощности 6 Дж/см² в течение 10 с и красным лазером при мощности 6 Дж/см² в течение 20 с.

4. Предпосевная обработка лазером семян ячменя способствует последующему увеличению содержания азота в зернах, сформированных на растениях, семена которых были облучены ультрафиолетом в течение 10 с и красным светом в течение 20 и 30 с, а также последующему увеличению содержания фосфора в зернах, сформированных на растениях, семена которых были облучены красным лазером в течение 20 с.

Список источников

1. Нелюбина Ж.С., Касаткина Н.И. Влияние ультрафиолетового облучения семян многолетних трав на их посевные качества // *Аграрная наука*. 2021. № 352 (9). С. 97–100. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>

2. Кондратьева Н.П., Сторчевой В.Ф., Большин Р.Г. Применение ультрафиолета для предпосевной обработки семян // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 5. С. 59–65. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-59-65>
3. Каримтаева Т., Оразбай А., Ишмуратова М.Ю. Оценка биомассы проростков зерновых культур после обработки лазером // *Актуальные проблемы современности*. 2020. № 4 (30). С. 162–167. EDN: NOHAVV
4. Левина Н.С., Тertyшная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Влияние ультрафиолетового излучения на посевные качества и вегетацию яровой пшеницы и ярового ячменя // *АПК России*. 2019. Т. 26, № 3. С. 344–350. EDN: ZHKPDJ
5. Крылов О.Н., Киселев М.М., Решетников А.Е., Абашева О.Ю. Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4» // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2023. № 2. С. 214–230. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.439>
6. Samiya M.S., Aftab S., Younus A. Effect of Low Power Laser Irradiation on bio-physical Properties of Wheat Seeds. *Information Processing in Agriculture*. 2020;7(3):456-465. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.12.003>
7. Tang Z., Yu J., Xie J., Lyu J. et al. Physiological and Growth Response of Pepper (*Capsicum annum* L.) Seedlings to Supplementary Red/Blue Light Revealed through Transcriptomic Analysis. *Agronomy*. 2019;9:139. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030139>
8. Hasan M., Hanafiah M.M., AeyadTaha Z., AlHilfy I.H. et al. Laser Irradiation Effects at Different Wavelengths on Phenology and Yield Components of Pretreated Maize Seed. *Applied Sciences*. 2020;10:1189. <https://doi.org/10.3390/app10031189>
9. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Технология предпосевого УФ-облучения зерен пшеницы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. № 6. С. 9–14. EDN: QBUVUV
10. Тertyшная Ю.В., Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. № 2. С. 31–36. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-2-31-36>
11. Mahmood S., Afzal B., Perveen S., Wahid A. et al. He-Ne Laser Seed Treatment Improves the Nutraceutical Metabolic Pool of Sunflowers and Provides Better Tolerance Against Water Deficit. *Front. Plant Sci*. 2021;12:579429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.579429>
12. Romero-Galindo R. Biophysical Methods Used to Generate Tolerance to Drought Stress in Seeds and Plants: a Review. *International Agrophysics*. 2022;35(4):389-410. <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
13. Нижарадзе Т.С., Кирсанов Р.Г. Влияние предпосевной обработки семян на водный режим и устойчивость к септориозу твердой яровой пшеницы в лесостепи Самарской области // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 3 (83). С. 62–65. EDN: RYMBVC
14. Klimek-Копыра А., Dłużniewska J., Ślizowska A., Dobrowolski J.W. Impact of Coherent Laser Irradiation on Germination and Mycoflora of Soybean Seeds-Innovative and Prospective Seed Quality Management. *Agriculture*. 2020;10:314. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080314>
15. Подвигина О.А., Стогниенко О.И., Стогниенко Е.С. Влияние лазерного облучения на посевные качества и инфицированность семян сахарной свеклы // *Аграрная наука*. 2019. № 2. С. 62–64. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-62-64>
16. Подвигина О.А., Путилина Л.Н., Лазутина Н.А. Влияние лазерного облучения семян сахарной свеклы на продуктивность, технологическое качество

- и сохранность корнеплодов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 3. С. 26–39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>
17. Смуров С.И., Наумкин В.Н., Ермолаев С.Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // *Вестник аграрной науки*. 2020. № 2 (83). С. 36–44. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36>
18. Дудин Г.П., Жилин Н.А., Гребнева С.С. Стимулирующий эффект лазерного красного света, дальнего красного света и карбоната натрия на первоначальных этапах онтогенеза ячменя // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2014. № 4. С. 122–128. EDN: TFLABD
19. Лисина Т.Н., Щербинина К.Э., Дубасова Ю.А., Бессонова Л.В. Влияние лазерной обработки (637 нм) семян ячменя сорта Родник Прикамья на всхожесть и содержание фотосинтетических пигментов // *Пермский аграрный вестник*. 2024. № 3 (47). С. 29–36. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2024_47_29
20. Зайцева И.Ю., Панихина Л.В., Щенникова И.Н., Жилин Н.А. Селекционная ценность мутантных форм ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1 (3). С. 49–62. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-3-49-62>
21. Каримтай Т., Ишмуратова М.Ю., Тлеукенова С.У., Ауельбекова А.К. Влияние лазерного облучения на всхожесть семян и морфологию проростков ячменя // *Актуальные проблемы современности*. 2018. № 19. С. 203–208. EDN: ORXXBV
22. Рустамбекова А., Сафаралихонов А.Б., Акназаров О.А. Влияние предпосевной обработки семян УФ-лучами и низкими температурами на рост и продуктивность растений ячменя // *Известия академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук*. 2019. № 3 (206). С. 27–32. EDN: OSNLTH
23. Romero-Galindo R., Hernández-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Godina-Nava J.J. et al. Biophysical Methods Used to Generate Tolerance to Drought Stress in Seeds and Plants: a review. *Int. Agrophys.* 2021;35:38-410. <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
24. Кондратьева Н.П., Романов В.Ю., Чефранова М.Н., Нуреева Т.В. и др. Перспективы использования электротехнологии для повышения посевных качеств семян УФ-излучением // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2015. № 24. С. 10–13. EDN: UKIHVN
25. Дудин Г.П., Лысыков В.Н. *Индукцированный мутагенез и использование его в селекции растений*: Монография. Киров: Вятская ГСХА, 2009. 207 с. EDN: QLAQTH
26. Бурдышева О.В., Шолгин Е.С., Илюшин С.А., Ременникова М.В. и др. Разработка макета оптической установки комплексного действия обработки семян сельскохозяйственных культур // *Фотон-экспресс*. 2023. № 6. С. 31–32. <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32>
27. Winternans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biophysics including Photosynthesis*. 1965;109:448-453. [http://dx.doi.org/10.1016/0926-6585\(65\)90170-6](http://dx.doi.org/10.1016/0926-6585(65)90170-6)
28. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большева Т.Н. и др. *Практикум по агрохимии*: Учебное пособие. Москва: Издательство МГУ, 2001. 689 с. EDN: SDGGCT

References

1. Nelyubina Zh.S., Kasatkina N.I. Influence of ultraviolet irradiation of perennial grasses seeds on their sowing quality. *Agrarian Science*. 2021;(352(9)):97-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>
2. Kondrateva N.P., Storchevoy V.F., Bolshin R.G. Use of ultraviolet for pre-sowing seed treatment. *Agricultural Engineering*. 2024;26(5):59-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-59-65>
3. Karimtayeva T., Orazbay A., Ishmuratova M.Y. Assessment of the biomass of grain seedlings after laser treatment. *Aktualnye problemy sovremennosti*. 2020;(4(30)):162-167. (In Russ.)
4. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V. Ultraviolet radiation influence on the sowing qualities and vegetation of spring wheat and spring barley. *APK Rossii*. 2019;26(3):344-350. (In Russ.)
5. Krylov O.N., Kiselyov M.M., Reshetnikov A.E., Abasheva O.Yu. Pre-sowing optical treatment of seeds of grain crops on the example of winter rye "Falenskaya 4". *Storage and Processing of Farm Products*. 2023;(2):214-230. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.439>
6. Samiya M.S., Aftab S., Younus A. Effect of low power laser irradiation on bio-physical properties of wheat seeds. *Information Processing in Agriculture*. 2020;7(3):456-465. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.12.003>
7. Tang Z., Yu J.; Xie J., Lyu J. et al. Physiological and growth response of pepper (*Capsicum annum* L.) seedlings to supplementary red/blue light revealed through transcriptomic analysis. *Agronomy*. 2019;9:139. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030139>
8. Hasan M., Hanafiah M.M., AeyadTaha Z., AlHilfy I.H. et al. Laser irradiation effects at different wavelengths on phenology and yield components of pretreated maize seed. *Applied Sciences*. 2020;10:1189. <https://doi.org/10.3390/app10031189>
9. Rogozhin Yu.V., Rogozhin V.V. Technology of pre-seeding ultraviolet radiation exposure of wheat kernels. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013;(6):9-14. (In Russ.)
10. Tertyshnaya Yu.V., Levina N.S., Elizarova O.V. Impact of ultraviolet radiation on germination and growth processes of wheat seeds. *Agricultural machines and technologies*. 2017;(2):31-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-2-31-36>
11. Mahmood S., Afzal B., Perveen S., Wahid A. et al. He-Ne laser seed treatment improves the nutraceutical metabolic pool of sunflowers and provides better tolerance against water deficit. *Front. Plant Sci*. 2021;12:579429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.579429>
12. Romero-Galindo R. Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *International Agrophysics*. 2022;35(4):389-410. <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
13. Nizharadze T.S., Kirsanov R.G. The effect of pre-sowing seeds treatment on the water regime and resistance of hard spring wheat to septoriosi in the forest-steppes of Samara region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(3(83)):62-65. (In Russ.)
14. Klimek-Kopyra A., Dłużniewska J., Ślizowska A., Dobrowolski J.W. Impact of coherent laser irradiation on germination and mycoflora of soybean seeds-innovative and prospective seed quality management. *Agriculture*. 2020;10:314. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080314>
15. Podvigina O.A., Stognienko O.I., Stognienko E.S. Influence of laser irradiation on sowing qualities and infection level of sugar beet seeds. *Agrarian science*. 2019;(2):62-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-62-64>

16. Podvigina O.A., Putilina L.L., Lazutina N.A. Influence of laser radiation treatment of sugar beet seeds on productivity, technological quality and safety of beet roots. *Storage and Processing of Farm Products*. 2022;(3):26-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>
17. Smurov S.I., Naumkin V.N., Ermolaev S.N. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020;(2(83)):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36>
18. Dudin G.P., Zhilin N.A., Grebneva S.S. The stimulating effect of laser red light, far red light and sodium carbonate at the initial stages of barley ontogenesis. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014;(4):122-128. (In Russ.)
19. Lisina T.N., Shcherbinina K.E., Dubasova Y.A., Bessonova L.V. Influence of laser treatment (637 nm) of barley seeds of the Rodnik Prikamya variety on germination and content of photosynthetic pigments. *Perm Agrarian Journal*. 2024;(3(47)):29-36. (In Russ.) https://doi.org/10.47737/2307-2873_2024_47_29
20. Zaitseva I.Yu., Panikhina L.V., Schennikova I.N., Zhilin N.A. Breeding value of mutant forms of spring barley in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;1(3):49-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-3-49-62>
21. Karimtay T., Ishmuratova M.Yu., Tleukenova S.U., Auelbekova A.K. The effect of laser treatment on seed germination and morphology of barley seedlings. *Aktualnye problemy sovremennosti*. 2018;(19):203-208. (In Russ.)
22. Rustambekova A., Safaralikhonov A.B., Aknazarov O.A. The Influence of the presowing treatment of barley seeds by UV-radiation and low temperature on its growth and productivity. *Izvestiya akademii nauk Respubliki Tadzhikistan. Otdelenie biologicheskikh i meditsinskikh nauk*. 2019;(3(206)):27-32. (In Russ.)
23. Romero-Galindo R., Hernández-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Godina-Nava J.J. et al. Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *Int. Agrophys*. 2021;35:389-410 <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
24. Kondratieva N.P., Romanov V.Yu., Chefranova M.N., Nureyeva T.V. et al. Prospects of use of electrotechnology for increase of sowing qualities of seeds of UF-radiation. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2015;(24):10-13. (In Russ.)
25. Dudin G.P., Lysikov V.N. *Induced mutagenesis and its use in plant breeding: a monograph*. Kirov, Russia: Vyatka SATU, 2009:207. (In Russ.)
26. Burdysheva O.V., Sholgin E.S., Ilyushin S.A., Remennikova M.V. et al. Development of a model of an optical installation for complex action of processing agricultural seeds. *Foton-ekspress*. 2023;(6):31-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32>
27. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biophysics including Photosynthesis*. 1965;109:448-453. [http://dx.doi.org/10.1016/0926-6585\(65\)90170-6](http://dx.doi.org/10.1016/0926-6585(65)90170-6)
28. Mineev V.G., Sychev V.G., Amelyanchik O.A., Bolysheva T.N. et al. *Practical training in agrochemistry: a study guide*. Moscow, Russia: Moscow State University, 2001:689. (In Russ.)

Сведения об авторах

Ирина Викторовна Комарова, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; 614532, Российская Федерация, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; e-mail: coccinela@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-3782-6989>

Татьяна Николаевна Лисина, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; 614532, Российская Федерация, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; e-mail: atea2@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>

Юлия Андреевна Дубасова, канд. биол. наук, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; 614532, Российская Федерация, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; e-mail: pavlova_ua@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7493-4576>

Information about the authors

Irina V. Komarova, CSc (Bio), Senior Research Associate, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences; 12 Kultury St., Lobanovo village, Perm District, Perm Krai, 614532, Russian Federation; e-mail: coccinela@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-3782-6989>

Tatiana N. Lisina, CSc (Bio), Senior Research Associate, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences; 12 Kultury St., Lobanovo village, Perm District, Perm Krai, 614532, Russian Federation; e-mail: atea2@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>

Yulia A. Dubasova, CSc (Bio), Research Associate, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences; 12 Kultury St., Lobanovo village, Perm District, Perm Krai, 614532, Russian Federation; e-mail: pavlova_ua@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7493-4576>