

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РИСА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ

Людмила Магомедовна Апашева¹, кандидат биологических наук
 Валерий Васильевич Савранский², кандидат физико-математических наук
 Михаил Иванович Будник³, кандидат биологических наук
 Лидия Александровна Смурова¹, кандидат химических наук
 Елена Николаевна Овчаренко¹, кандидат химических наук
 Ольга Тарасовна Касаикина¹, доктор химических наук
 Антон Валерьевич Лобанов^{1,4}, доктор химических наук
 Игорь Владимирович Дяченко³, кандидат технических наук
 Андрей Вячеславович Грудзинский³, кандидат технических наук
 Сергей Николаевич Сергеев⁵, доктор биологических наук
 Константин Александрович Тараскин⁵, доктор химических наук
 Екатерина Константиновна Барнашова⁶, кандидат сельскохозяйственных наук
 Елена Александровна Вертикова⁶, доктор сельскохозяйственных наук

¹ФИЦ химической физики имени Н.Н. Семенова

Российской академии наук, г. Москва, Россия

²ФИЦ «Институт общей физики имени А.М. Прохорова»

Российской академии наук, г. Москва, Россия

³Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва, Россия

⁴Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия

⁵Научно-исследовательский институт прикладной акустики, г. Дубна, Россия

⁶Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

E-mail: ziraf@mail.ru

Аннотация. Изучали биологическое действие двухчастотного лазерного импульсного излучения, получаемого на парах меди, при предпосевной обработке семян риса сортов Велес и Лидер на ранних стадиях развития в экстремальных стрессовых условиях среды. Характеристики лазера, используемого в эксперименте: длины волн — 510,6 (зеленая линия излучения) и 578,2 нм (желтая), длительность импульса — 15 нс, частота повторения — 10 кГц, суммарная мощность в импульсе — 10 кВт, соотношение энергии и мощности между зеленой и желтой линиями 3 : 1. Взаимодействие в нелинейной среде семени лазерного излучения с длинами волн 510,6 и 578,2 нм вызывало образование дополнительных длин волн: суммарной — 271 нм (ультрафиолетовое излучение) и разностной — 4,37 мкм. Воздействие каждой из четырех длин волн в своем спектральном диапазоне могло приводить к инициации, по меньшей мере, четырех биохимических реакций, вызванных излучением. Предпосевная обработка семян риса двухчастотным лазерным импульсным излучением в течение 5–20 с оказывала стимулирующее влияние на рост и развитие риса (наибольший эффект — 5–10 с), а также повышала его устойчивость при выращивании в экстремальных стрессовых условиях среды (дефицит влаги, обедненный грунт) на ранних стадиях развития.

Ключевые слова: предпосевная лазерная обработка риса, двухчастотное лазерное импульсное излучение, биологическое действие

BIOLOGICAL EFFECT OF DUAL-FREQUENCY LASER PULSE RADIATION DURING PRE-SOWING TREATMENT OF RICE SEEDS AT EARLY STAGES OF DEVELOPMENT UNDER STRESSFUL ENVIRONMENTAL CONDITIONS

L.M. Apasheva¹, PhD in Biological Sciences
 V.V. Savransky², PhD in Physical and Mathematical Sciences
 M.I. Budnik³, PhD in Biological Sciences
 L.A. Smurova¹, PhD in Chemical Sciences
 E.N. Ovcharenko¹, PhD in Chemical Sciences
 O.T. Kasaikina¹, Grand PhD in Chemical Sciences
 A.V. Lobanov^{1,4}, Grand PhD in Chemical Sciences
 I.V. Dyachenko³, PhD in Engineering Sciences
 A.V. Grudzinsky³, PhD in Engineering Sciences
 S.N. Sergeev⁵, Grand PhD in Biological Sciences
 K.A. Taraskin⁵, Grand PhD in Chemical Sciences
 E.K. Barnashova⁶, PhD in Agricultural Sciences
 E.A. Vertikova⁶, Grand PhD in Agricultural Sciences

¹N.N. Semenov Federal Research Centre for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Moscow, Russia

⁴Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

⁵*Institute of Engineering Acoustics, Dubna, Russia*⁶*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
E-mail: ziraf@mail.ru

Abstract. *The biological effect of two-frequency laser pulsed radiation produced on copper vapor during pre-sowing treatment of rice seeds of Veles and Leader varieties at early stages of development in extreme stressful environmental conditions has been studied. The copper vapor laser used in the experiment had the following output characteristics: wavelengths of 510.6 nm (green radiation line) and 578.2 nm (yellow radiation line), pulse duration of 15 ns, repetition frequency of 10 kHz, total pulse power of 10 kW, energy-power ratio between the green and yellow radiation lines 3/1. The interaction of laser radiation with wavelengths of 510.6 and 578.2 nm in the nonlinear medium of the seed caused the formation of additional wavelengths: a total wavelength of 271 nm (ultraviolet radiation) and a difference wavelength of 4.37 microns. Exposure to each of the four wavelengths in its spectral range could lead to the initiation of at least four radiation-induced biochemical reactions. It is shown that pre-sowing treatment of rice seeds with two-frequency laser pulsed radiation for 5–20 seconds had a stimulating effect on the growth and development of rice (the greatest effect was when exposed to 5–10 seconds), and also increased its stability when grown in extreme stressful environmental conditions (moisture deficiency, depleted soil) at early stages of development.*

Keywords: *pre-sowing laser treatment of rice, two-frequency laser radiation, rice seeds, biological effect*

Рис — одна из важнейших сельскохозяйственных культур, известная с древнейших времен. Более половины населения Земли питается рисом, он имеет стратегическое значение для человечества. Россия — самая северная страна мира, где его выращивают. Среди круп по популярности у россиян рис на первом месте. [4, 9]

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур обеспечивается внесением химических удобрений в почву и предпосевной обработкой семян химическими стимуляторами. Однако их применение негативно влияет на качество продуктов питания и окружающую среду, а также приводит к повышению выбросов парниковых газов, 2,4% которых приходится на синтетические азотные удобрения, что в условиях ужесточающегося углеродного регулирования в мире необходимо учитывать российским производителям и экспортерам химических удобрений. [6]

Необходимы новые нехимические экологически чистые методы предпосевной обработки семенного материала, направленные на повышение урожайности и качества получаемой сельскохозяйственной продукции, безвредные для рабочего персонала, которые существенно сокращали бы трудозатраты, по сравнению с предпосевной обработкой семян химическими стимуляторами, и позволяли точно и просто осуществлять дозирование.

Экологически чистое воздействие лазерным слабым излучением имеет преимущества перед химическими способами предпосевной обработки семян: кратковременность и отсутствие отрицательных эффектов в широком диапазоне режимов; стабильное повышение урожайности сельскохозяйственных культур на фоне различных почвенно-климатических условий; улучшение качества сельскохозяйственной продукции (рост сахаров, витаминов, содержания белка и клейковины); возможность снижения нормы посева на 10...30% из-за большей полевой всхожести семян и усиления ростовых процессов; повышение устойчивости растений к поражению заболеваниями; безвредность обработки для семян и обслуживающего персонала.

Таким образом, лазерное излучение расширяет спектр приспособительных реакций растений, увеличивает их жизнеспособность и функциональную активность.

Для предпосевной обработки семян обычно используют непрерывное монохроматическое излучение,

получаемое с помощью газового гелий-неонового или полупроводникового лазеров, работающих в красной области спектра, так как в ней лежит максимальное возбуждение фитохрома, при этом растительная клетка поглощает 70...80% излучения. [3, 5, 8, 14]

Одно из перспективных направлений в современной агробиотехнологии — инновационный подход, основанный на экологически чистом способе предпосевной обработки семян двухчастотным лазерным импульсным излучением, получаемым на парах меди. [2]

Ранее авторами данной статьи был предложен способ повышения всхожести семян и стрессоустойчивости сеянцев хвойных пород (ель, сосна) путем предпосевной обработки излучением оптического диапазона, в качестве которого использовали излучение импульсного лазера на парах меди, генерирующего одновременно две длины волн: 510,6 (зеленая линия излучения) и 578,2 нм (желтая) с суммарной мощностью в импульсе 10 кВт, частотой повторения 10 кГц и длительностью импульса 15 нс, соотношением энергии и мощности между зеленой и желтой линиями излучения 3 : 1. [1]

Взаимодействие в нелинейной среде семени лазерного излучения с длинами волн 510,6 и 578,2 нм вызывало образование дополнительных длин волн: суммарной — 271 нм (ультрафиолетовое излучение) и разностной — 4,37 мкм. Воздействие каждой из четырех длин волн в своем спектральном диапазоне могло приводить к инициации, по меньшей мере, четырех, биохимических реакций, вызванных излучением. Выбор импульсного режима работы лазера обеспечивал высокую эффективность, так как к постоянному уровню воздействия биосистемы быстро адаптируются. Вывод семян из состояния покоя наблюдали уже через 1,5 ч после лазерного воздействия, что позволило ускорить процесс прорастания и повысить процент всхожести, способствовало функциональным изменениям в семенах, повышающим устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды.

Одним из механизмов стимулирующего действия двухчастотного лазерного импульсного излучения, получаемого на парах меди, может быть ультрафиолетовое излучение, с помощью которого образуется пероксид водорода — стимулятор роста и развития растений. [10–13]

Цель работы — установить биологическое действие двухчастотного лазерного импульсного излучения, получаемого на парах меди, при предпосевной обработке семян риса разных сортов на ранних стадиях развития в стрессовых условиях среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — отечественные семена риса сортов *Велес* и *Лидер* урожая 2022 года. Изучали биологическое действие двухчастотного лазерного излучения при предпосевной обработке сухих семян.

Использовали лазер на парах меди с характеристиками: длины волн — 510,6 нм (зеленая линия излучения) и 578,2 нм (желтая), длительность импульса — 15 нс, частота повторения — 10 кГц, суммарная мощность в импульсе — 10 кВт, соотношение энергии и мощности между зеленой и желтой линиями — 3 : 1. Облучали семена опытных групп (n = 50) в течение 5, 10, 20, 40 с на расстоянии от источника излучения 15 см. Семена контрольных групп (n = 50) не облучали.

Исследовали возможность не только стимуляции развития семян риса, но и повышения устойчивости растений на начальных стадиях роста в экстремальных условиях среды (дефицит влаги, обедненный грунт).

Опытные (через 1,5 ч после облучения лазером) и контрольные семена сортов *Велес* и *Лидер* раскладывали на увлажненные дистиллированной водой фильтры в чашки Петри, проращивали в термостате при температуре 20°C и на 5-е сут. определяли процент проросших семян с величиной гипокотиль (зародышевый стебелек) $\geq 0,5$ см. Далее образцы переносили в пластиковые сосуды на промытый и однократно увлажненный песок (на 100 мл сухого песка 40 мл воды) и помещали в люминостат. Условия: освещенность — 130 люкс, ритм освещения — 12 (свет) : 12 ч (темнота). Через каждые 5 сут. сосуды вынимали из люминостата для минимального увлажнения песка дистиллированной водой по 15 мл. При выращивании на песке определяли процент растений в опытных и контрольных группах при высоте $H \geq 3$ см на 8-е сут. и $H \geq 12$ см на 19-е.

Известно, что начальные стадии прорастания облученных семян после их замачивания сопровождаются выходом в водную среду метаболитов, имеющих характерный спектр поглощения в УФ-диапазоне с четко выраженным максимумом при $\lambda_{\max} = 207$ нм. [1]

На примере сорта риса *Лидер*, как более изученного, через 1,5 ч после 5, 10, 20 и 40 с облучения формировали опытные и контрольную группы семян (n = 10) и замачивали в 6 мл дистиллированной воды. [7] Определяли кинетические кривые выхода метаболитов в водную среду в течение 180 мин. Спектры поглощения метаболитов записывали на спектрофотометре Specord UV-VIS при $\lambda_{\max} = 207$ нм. Измерение вели в кварцевой кювете с длиной оптического пути 1 см.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В опытных группах обоих сортов риса отчетливо наблюдается схожая динамика как роста, так и снижения процентных показателей всхожести в зависимости от времени облучения и суток эксперимента (табл. 1).

Коэффициент корреляции (r) между процентными показателями сортов *Велес* и *Лидер* в опытных группах

соответственно при облучении 5, 10, 20 и 40 с на 5, 8 и 19-е сут. (n = 12) составил 0,985 с уровнем значимости $p < 0,001$ по t-критерию Стьюдента ($t = 18,345$), что говорит об очень сильной прямой связи, то есть об одинаковой динамике реагирования разных сортов на лазерное облучение семян. Более высокие процентные показатели для сорта *Лидер*, по сравнению с аналогичными *Велес*, объясняются лучшей исходной всхожестью в контрольной группе первого, однако разница между процентными показателями для обоих сортов в опытных и контрольных группах из-за высокой корреляционной связи практически одинаковая применительно ко времени облучения и суткам эксперимента.

Данное обстоятельство позволяет при дальнейшем анализе результатов эксперимента сосредоточиться не на абсолютных значениях процентных показателей, а на разнице (Δ) между ними в опытных группах и соответствующими в контрольных, не делая различий между сортами, при облучении 5, 10, 20 и 40 с, так как время облучения — ведущий фактор, влияющий на рост и развитие растений (табл. 2).

Таблица 1.
Влияние предпосевной обработки семян риса сортов
***Велес* и *Лидер* двухчастотным лазерным импульсным**
излучением на всхожесть и устойчивость
к экстремальным условиям

Сорт	Группа	Доля проросших семян на фильтрах, %	Доля растений при выращивании на песке, %	
		5-е сут. $H^* \geq 0,5$ см	8-е сут. $H^{**} \geq 3$ см	19-е сут. $H^{**} \geq 12$ см
<i>Велес</i>	Контрольная	40	25	10
	Опытная, 5 с	70	50	20
	10 с	60	55	15
	20 с	60	40	5
	40 с	40	20	1
<i>Лидер</i>	Контрольная	55	35	15
	Опытная, 5 с	85	65	20
	10 с	80	60	20
	20 с	70	45	15
	40 с	50	30	5

Примечание. * Гипокотиль, ** высота растений.

Таблица 2.
Разница (Δ) между процентными показателями
в опытных группах и соответствующими в контрольных
при облучении 5, 10, 20 и 40 с

Группа	$O_{iВелес} - K_{iВелес}$ $O_{iЛидер} - K_{iЛидер}$ $\Delta, \%$	Средняя разница и ошибка средней, $\Delta_{ф.} \pm m_{ф.}, \%$
Опытная, 5 с	30, 25, 10, 30, 30, 5	21,7 $\pm$ 5,0
10 с	20, 30, 5, 25, 25, 5	18,3 $\pm$ 4,8
20 с	20, 15, -5, 15, 10, 0	9,2 $\pm$ 4,0
40 с	0, -5, -9, -5, -5, -15	-6,5 $\pm$ 2,1

Значения средней разницы в опытной группе с облучением 5 ($\Delta_{\text{ср.}} = 21,7 \pm 5,0\%$) и 10 с ($\Delta_{\text{ср.}} = 18,3 \pm 4,8\%$) практически не отличаются, что дает основание объединить их в одну группу с облучением 5...10 с, и средняя разница с ошибкой средней составит $\Delta_{\text{ср.}} = 20,0 \pm 3,2\%$.

Средняя разница в опытной группе с облучением 20 с ($\Delta_{\text{ср.}} = 9,2 \pm 4,0\%$) оказалась в 2,2 раза меньше, чем в объединенной с уровнем значимости $p = 0,05$ по t-критерию Стьюдента ($t = 2,12$), но при этом носила положительную динамику, хотя уже наблюдали заторможенный характер роста и развития растений.

В опытных группах с облучением 40 с ($\Delta_{\text{ср.}} = -6,5 \pm 2,1\%$) средняя разница достоверно ($p < 0,01$) была не только ниже, чем в опытных с облучением 5...10 ($\Delta_{\text{ср.}} = 20,0 \pm 3,2\%$) и 20 с ($\Delta_{\text{ср.}} = 9,2 \pm 4,0\%$), но и имела отрицательную динамику, по сравнению с контрольными группами, что указывает на негативное действие на рост и развитие семян риса.

Различную биологическую эффективность лазерного облучения длительностью 5...10, 20 и 40 с можно объяснить с помощью кинетических кривых выхода метаболитов в водную среду из семян риса при их замачивании в течение 180 мин., которые были определены на примере сорта риса *Лидер* (см. рисунок). Очень сильная прямая корреляционная связь ($r = 0,985$) динамики процентных показателей сортов позволяет распространить это объяснение и на *Велес*.

Выход метаболитов в водную среду наблюдается практически сразу, однако наибольшая скорость характерна для кривых 1 и 2 (время облучения — 5 и 10 с),

затем ниже с большим отрывом следует кривая 3 (20 с), минимальная — 4 (40 с) и 5 (без облучения).

Значения оптической плотности (D) для кривых 1 и 2 практически не отличаются между собой, как и значения средней разницы в опытной группе с облучением 5 ($\Delta_{\text{ср.}} = 21,7 \pm 5,0\%$) и 10 с ($\Delta_{\text{ср.}} = 18,3 \pm 4,8\%$), D для кривой 3 более чем в два раза меньше аналогичных значений для кривых 1 и 2 как и средняя разница в опытной группе с облучением 20 с ($\Delta_{\text{ср.}} = 9,2 \pm 4,0\%$), по сравнению с объединенной, которая оказалась в 2,2 раза меньше.

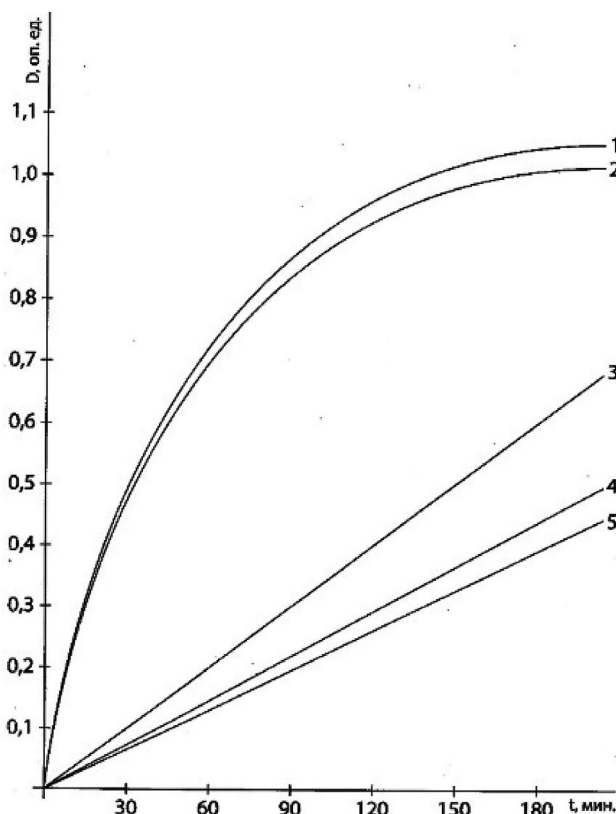
Следовательно, по данным выхода метаболитов процесс пробуждения семян происходит максимально интенсивно при облучении 5...10 с, менее — 20 с и без эффекта стимуляции — 40 с, что совпадает с результатами, наблюдаемыми по значениям средней разницы процентных показателей между опытными и контрольными группами (табл. 1, 2). Процентные показатели всхожести риса при облучении 40 с указывают на его тормозящее влияние, по сравнению с контрольными группами ($-6,5 \pm 2,1\%$). Облучение 40 с негативно влияет не только на выход метаболитов, но и другие биохимические процессы, связанные с ранними стадиями роста и развития растений. Процентные показатели всхожести риса, по сравнению с выходом метаболитов, более интегральные.

Таким образом, предпосевная обработка семян риса двухчастотным лазерным импульсным излучением, получаемым на парах меди, в течение 5...20 с стимулирует рост растений на ранних стадиях развития, повышая их устойчивость при выращивании в стрессовых условиях среды (дефицит влаги, обедненный грунт). Наибольший эффект наблюдается при лазерном воздействии на семена риса в течение 5...10 с.

Обработка семян риса с помощью лазера на парах меди — высокоэффективный, экологически чистый, безопасный, быстрый и нетрудозатратный способ повышения всхожести и стрессоустойчивости растений на ранних стадиях развития, который можно сочетать с опрыскиванием зерновой культуры в поздний период вегетации экологически чистым водным раствором пероксида водорода природной концентрации, что приведет к еще большему повышению урожайности. [13, 14]

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Апашева Л.М., Смурова Л.А., Касаикина О.Т. и др. Способ повышения всхожести семян и стрессоустойчивости сеянцев хвойных пород // Патент РФ № 2790449. Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2023. № 6. Опубликовано: 21.02.2023.
2. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазеры на парах меди. М.: Физматлит, 2005. 312 с.
3. Долговых О.Г., Красильников В.В., Газдинов Р.Р. Оптимизация лазерной предпосевной обработки семян зерновых культур. Ижевск: РИО ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. 122 с.
4. Домчева Е. Росстат назвал самые популярные у россиян продукты // Российская газета, 01.05.2016. <https://rg.ru/2016/05/01/rosstat-nazval-samye-populiarnye-urossiian-produkty.html>
5. Журба П. Практика применения лазерных агротехнологий на Кубани // Фотоника. 2014. № 5. С. 90–103.
6. Завалеева А., Россинский В. Углеродный след от использования удобрений // HPBS. <https://hpb-s.com/news/uglerodnyj-sled-ot-udobrenij>.



Кинетические кривые выхода метаболитов из семян риса при их замачивании в опытных группах и контрольной на примере сорта риса *Лидер*: кривая 1 — облучение 5 с; 2 — 10; 3 — 20; 4 — 40 с; 5 — без облучения.

7. Зеленский Г.Л. Сорт риса Лидер: биологическое обоснование элементов агротехники // Научный журнал КубГАУ. 2019. № 147(03). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-147-019>
8. Крылов О.Н., Киселев М.М., Решетников А.Е. и др. 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/spfp.2023.439>
9. Петропавловская Ю. Рис земли: самая популярная еда в мире // Вокруг света. 2015. № 10. <https://www.vokrugsveta.ru/article/235439/>.
10. Пискарев И.М. Образование перекиси водорода в водных растворах под действием УФ-С излучения // Химия высоких энергий. 2018. Т. 52. № 3. С. 194–198.
11. Рубцова Н.А., Апасева Л.М., Лобанов А.В. и др. Получение пероксида водорода физическими методами: перспектива применения в тепличных комплексах // Мат. IX Межд. конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития», 20–22 февраля 2017 г. Москва. Т. 2. С. 83–84.
12. Сергеев С.Н., Будник М.И., Лебедев С.В. и др. Способ увеличения урожайности зерновой культуры тритикале путем опрыскивания водным раствором пероксида водорода и циклогексанона надземной части растений в период поздней вегетации // Патент РФ № 2797916. Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2023. № 17. Опубликовано: 13.06.2023.
13. Стребков Д.С., Будник М.И., Душков В.Ю. и др. Повышение урожайности озимой пшеницы с помощью экологически чистого водного раствора пероксида водорода природной концентрации // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 4. С. 64–67. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2022/4/64-67>, EDN: BJSFK.
14. Юран С.И., Зарипов М.Р., Вершинин М.Н. Устройство лазерной предпосевной обработки семян // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. Т. 95. № 3. С. 131–134. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-131-134>
- zernovykh kul'tur. Izhevsk: RIO FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2014. 122 s.
4. Domcheva E. Rosstat nazval samye populyarnye u rossiyan produkty // Rossiyskaya gazeta, 01.05.2016. <https://rg.ru/2016/05/01/rosstat-nazval-samye-populiarnye-u-rossiian-produkty.html>
5. Zhurba P. Praktika primeneniya lazernykh agrotekhnologij na Kubani // Fotonika. 2014. № 5. S. 90–103.
6. Zavaleeva A., Rossinskij V. Uglerodnyj sled ot ispol'zovaniya udobrenij // HPBS. <https://hpb-s.com/news/uglerodnyj-sled-ot-udobrenij>.
7. Zelenskij G.L. Sort risa Lider: biologicheskoe obosnovanie elementov agrotekhniki // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2019. № 147(03). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-147-019>
8. Krylov O.N., Kiselev M.M., Reshetnikov A.E. i dr. Predposevnaya opticheskaya obrabotka semyan zernovykh kul'tur na primere ozimoi rzhi «Falenskaya 4» // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya. 2023. № 2. S. 214–230. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.439>
9. Petropavlovskaya Yu. Ris zemli: samaya populyarnaya eda v mire // Vokrug sveta. 2015. № 10. <https://www.vokrugsveta.ru/article/235439/>.
10. Piskarev I.M. Obrazovanie perekisi vodoroda v vodnykh rastvorah pod dejstviem UF-S izlucheniya // Himiya vysokih energij. 2018. T. 52. № 3. S. 194–198.
11. Rubcova N.A., Apasheva L.M., Lobanov A.V. i dr. Poluchenie peroksida vodoroda fizicheskimi metodami: perspektiva primeneniya v teplichnykh kompleksah // Mat. IX Mezhd. kongressa «Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya», 20–22 fevralya 2017 g. Moskva. T. 2. S. 83–84.
12. Sergeev S.N., Budnik M.I., Lebedev S.V. i dr. Sposob uvelicheniya urozhajnosti zernovoi kul'tury tritikale putem opryskivaniya vodnym rastvorom peroksida vodoroda i ciklogeksanona nadzemnoj chasti rastenij v period pozdnej vegetacii // Patent RF № 2797916. Oficial'nyj byulleten' «Izobreteniya. Poleznye modeli», 2023. № 17. Opublikovano: 13.06.2023.
13. Strebkov D.S., Budnik M.I., Dushkov V.Yu. i dr. Povyshenie urozhajnosti ozimoi pshenicy s pomoshch'yu ekologicheskhi chistogo vodnogo rastvora peroksida vodoroda prirodnoj koncentracii // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 4. S. 64–67. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2022/4/64-67>, EDN: BJSFK.
14. Yuran S.I., Zaripov M.R., Vershinin M.N. Ustrojstvo lazernoj predposevnoj obrabotki semyan // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. T. 95. № 3. S. 131–134. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-131-134>

REFERENCES

1. Apasheva L.M., Smurova L.A., Kasaikina O.T. i dr. Sposob povysheniya vskhozhesti semyan i stressoustojchivosti seyancev hvojnykh porod // Patent RF № 2790449. Oficial'nyj byulleten' «Izobreteniya. Poleznye modeli», 2023. № 6. Opublikovano: 21.02.2023.
2. Grigor'yanc A.G., Kazaryan M.A., Lyabin N.A. Lazery na parah medi. M.: Fizmatlit, 2005. 312 s.
3. Dolgovykh O.G., Krasil'nikov V.V., Gaztdinov R.R. Optimizaciya lazernoj predposevnoj obrabotki semyan

Поступила в редакцию 28.03.2024
Принята к публикации 11.04.2024