

Влияние ультразвука разной интенсивности на антиоксидантный статус проростков чечевицы в условиях гипотермии

И. Ю. Макеева¹, Т. И. Пузина², А. О. Болгова³

^{1,2,3}Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,
Орел, Россия

¹makeevainna@inbox.ru, ²tipuzina@gmail.com, ³Anjelika.bolgova@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Изучение влияния ультразвука на растительные организмы является перспективным направлением в биофизических и физиолого-биохимических исследованиях. В основном исследования касаются предпосевной обработки семян для улучшения их прорастания. Лишь в некоторых работах рассматривается влияние ультразвука на активность антиоксидантных ферментов. Не найдены сведения о влиянии ультразвука на растительный организм в стрессовых условиях. Целью работы было изучение влияния ультразвука разной интенсивности на работу ферментов антиоксидантной системы, активность реакций перекисного окисления липидов в оптимальных температурных условиях и при действии гипотермии (+3 °С). *Материалы и методы.* Объектом исследования были 14-дневные проростки чечевицы сорта Рауза. Варианты опыта включали воздействие ультразвуком разной интенсивности, 0,4 и 1 Вт/см², с помощью ультразвукового излучателя УЗТ-10.1Ф. Гипотермию создавали, помещая проростки в низкотемпературный шкаф на 1 ч при температуре +3 °С. Активность супероксиддисмутазы определяли по реакции восстановления нитросинего тетразолия, запускаемой рибофлавином; активность пероксидазы – по времени образования синей окраски в результате окисления бензидина; активность каталазы – спектрофотометрическим методом; содержание малонового диальдегида – по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой при нагревании. Определение содержания ауксинов проводили методом биологической пробы и выражали в мкг-экв ИУК/г сухой массы. *Результаты.* В оптимальных температурных условиях отмечено существенное повышение активности супероксиддисмутазы вне зависимости от интенсивности ультразвука. В условиях действия стрессора большая активность фермента выявлена при действии ультразвука малой интенсивности. Данная интенсивность в оптимальных условиях в большей степени повысила активность каталазы и пероксидазы по сравнению с высокой. В условиях гипотермии ультразвук интенсивностью 0,4 Вт/см² стимулировал работу каталазы и пероксидазы, но в меньшей степени, чем в оптимальных условиях. Активизация работы изученных ферментов под действием ультразвука наблюдалась на фоне увеличения содержания эндогенных ауксинов. В условиях действия стрессора выявлено значительное торможение реакций перекисного окисления липидов под влиянием ультразвука. Изученные уровни интенсивности ультразвука не оказали воздействия на массу надземных органов проростков чечевицы, но способствовали росту корневой системы. *Выводы.* Выявлена активизация антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в оптимальных условиях под влиянием ультразвука малой и высокой интенсивности на фоне возрастания содержания фитогормонов ауксинов. В условиях гипотермии отмечено существенное увеличение активности супероксиддисмутазы и каталазы под действием ультразвука. Обработка ультразвуком сдерживала реакции перекисного окисления липидов. Снижение

накопления малонового диальдегида в большей степени проявилось в стрессовых условиях. Показана положительная роль ультразвука на рост корневой системы и отсутствие эффекта на массу надземных органов.

Ключевые слова: ультразвук, гипотермия, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, малоновый диальдегид, ауксины, проростки чечевицы

Для цитирования: Makeeva I. Yu., Puzina T. I., Bolgova A. O. Влияние ультразвука разной интенсивности на антиоксидантный статус проростков чечевицы в условиях гипотермии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 14–23. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-2

The different intensity ultrasound effect on the antioxidant status of lentil seedlings in a condition of hypothermia

I.Yu. Makeeva¹, T.I. Puzina², A.O. Bolgova³

^{1,2,3}Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

¹makeevainna@inbox.ru, ²tipuzina@gmail.com, ³Anjelika.bolgova@yandex.ru

Abstract. *Background.* The study of the ultrasound effect on plant organisms is a promising direction in biophysical and physiological-biochemical research. Most of the research concerns the pre-sowing treatment of seeds to improve their germination. Only a few studies consider the effect of ultrasound on the activity of antioxidant enzymes. No information has been found on the effect of ultrasound on the plant organism under stressful conditions. The purpose of the work is to study the different intensity ultrasound effect on the work of enzymes of the antioxidant system, the activity of lipid peroxidation reactions under optimal temperature conditions and under the action of hypothermia (+3 °C). *Materials and methods.* The object of the study is 14-day-old seedlings of lentils of the Rauza variety. Experimental options included exposure to ultrasound of different intensities, 0.4 and 1 W/cm², using an ultrasonic transducer UZT-10.1F. Hypothermia was created by placing the seedlings in a low-temperature cabinet for 1 hour at a temperature of +3 °C. Superoxide dismutase activity was determined by the reduction reaction of nitro blue tetrazolium triggered by riboflavin; peroxidase activity – by the time of formation of a blue color as a result of benzidine oxidation; catalase activity – by spectrophotometric method; the content of malonic dialdehyde – by color reaction with thiobarbituric acid when heated. Determination of the content of auxins was carried out by the method of a biological sample and was expressed in µg-equiv of IAA/g dry weight. *Results.* Under optimal temperature conditions, a significant increase in the activity of superoxide dismutase was noted, regardless of the intensity of ultrasound. Under the conditions of the action of a stressor, a greater activity of the enzyme was revealed under the action of low-intensity ultrasound. Under optimal conditions, this intensity increased the activity of catalase and peroxidase to a greater extent, compared with the high one. Under conditions of hypothermia, ultrasound with an intensity of 0.4 W/cm² stimulated the work of catalase and peroxidase, but to a lesser extent than under optimal conditions. The activation of the studied enzymes under the action of ultrasound was observed against the background of an increase in the content of endogenous auxins. Under the conditions of the action of the stressor, a significant inhibition of the reactions of lipid peroxidation under the influence of ultrasound was revealed. The studied levels of ultrasound intensity did not affect the mass of the aerial organs of lentil seedlings, but promoted the growth of the root system.

Keywords: ultrasound, hypothermia, superoxide dismutase, catalase, peroxidase, malondialdehyde, auxins, lentil seedlings

For citation: Makeeva I.Yu., Puzina T.I., Bolgova A.O. The different intensity ultrasound effect on the antioxidant status of lentil seedlings in a condition of hypothermia. *Izvestiya*

vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2021;(4):14–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-2

Введение

Изучение влияния ультразвука на растительные организмы является перспективным направлением в биофизических и физиолого-биохимических исследованиях. Прежде всего это касается предпосевной обработки семян культурных растений, которая может служить альтернативой применению регуляторов роста природного и синтетического происхождения. В настоящее время ультразвук широко применяют в физических, химических и медицинских исследованиях. Долгое время считали, что ультразвук применительно к растениям обладает только ингибиторными свойствами, вызывая расщепление нуклеиновых кислот, хромосомные абберации, нарушения митоза [1, 2]. Однако за последние десятилетия представления в этой области претерпели кардинальные изменения. Показано влияние ультразвуковой обработки на всхожесть семян, рост, активность некоторых ферментов [3–6]. Следует отметить, что такие работы немногочисленны. Не найдены сведения о влиянии ультразвука на растительный организм в стрессовых условиях.

Процесс адаптации растений к изменяющимся условиям среды с возрастающей нестабильностью климата требует исследования регуляции работы антиоксидантной системы растений. Особенно требовательны к условиям среды растения с преобладанием белкового типа обмена веществ, в частности бобовые. Биологической особенностью чечевицы является высокая чувствительность к температуре при прорастании семян. Лимитирующим фактором для данной культуры является температура воздуха $+3 - +5$ °С и недостаточно прогретая почва [7]. Данных о влиянии ультразвука на физиолого-биохимические показатели бобовых растений крайне мало, а влияние данного фактора на растения чечевицы при действии низких температур не изучено.

Целью работы было изучение влияния ультразвука разной интенсивности на работу ферментов антиоксидантной системы, активность реакций перекисного окисления липидов (ПОЛ) в оптимальных температурных условиях и при действии гипотермии ($+3$ °С).

Материалы и методы

Объектом исследования были растения чечевицы сорта Рауза селекции ФГБНУ ФНИЦ Зернобобовых и крупяных культур (Орел). Исследования проводили в лабораторных условиях в научной лаборатории «Механизмы регуляции роста и развития растений» ОГУ имени И. С. Тургенева.

Обработку набухших семян чечевицы ультразвуком проводили в водной среде с помощью ультразвукового излучателя УЗТ-10.1Ф (Россия) в течение 20 мин. Варианты опыта включали воздействие ультразвуком разной интенсивности: 0,4 и 1 Вт/см². Контролем служили необработанные ультразвуком семена. Проростки выращивали в контейнерах с почвой при температуре 20 ± 2 °С. Гипотермию создавали, помещая контейнеры с 14-дневными проростками в низкотемпературный шкаф Т25/01 на 1 ч при температуре $+3$ °С.

Активность супероксиддисмутазы определяли по реакции восстановления нитросинего тетразолия, запускаемой рибофлавином [8]; активность пероксидазы – по времени образования синей окраски в результате окисления бензидина [9]; активность каталазы – спектрофотометрическим методом [10]; содержание малонового диальдегида – по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой при нагревании [11]. Анализ фитогормонов ауксинов проводили методом биологической пробы. В качестве биотеста на ауксины использовали отрезки колеоптилей (зона растяжения) озимой пшеницы сорта Московская 39. Содержание ауксинов рассчитывали по калибровочной кривой, построенной для индолилуксусной кислоты (ИУК) (Serva, Германия) и выражали в мкг-экв ИУК/г сухой массы. Массу органов проростков определяли путем взвешивания на электронных весах ВСТ 600/10-0 (Россия).

На рисунках ниже представлены средние арифметические 10 биологических повторностей и их стандартные ошибки. Достоверность результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента, считая достоверными различия при уровне доверительной вероятности выше 0,95 [12].

Результаты и обсуждение

Антиоксидантная система, нейтрализующая активные формы кислорода и сохраняющая структурно-функциональное состояние клеточных мембран, играет важную роль в адаптации растений к стрессовым условиям [13]. Прежде всего, представляло интерес изучение активности фермента супероксиддисмутазы, который, взаимодействуя с супероксидрадикалом, восстанавливает его до пероксида водорода. Данные по активности супероксиддисмутазы (СОД), представленные на рис. 1, свидетельствуют о существенном ее повышении (в 1,4 раза) в оптимальных температурных условиях вне зависимости от интенсивности ультразвука. В условиях действия стрессора активность данного фермента возросла на порядок. При этом достоверная активизация фермента по сравнению с контролем отмечена при действии ультразвука малой интенсивности ($0,4 \text{ Вт/см}^2$).

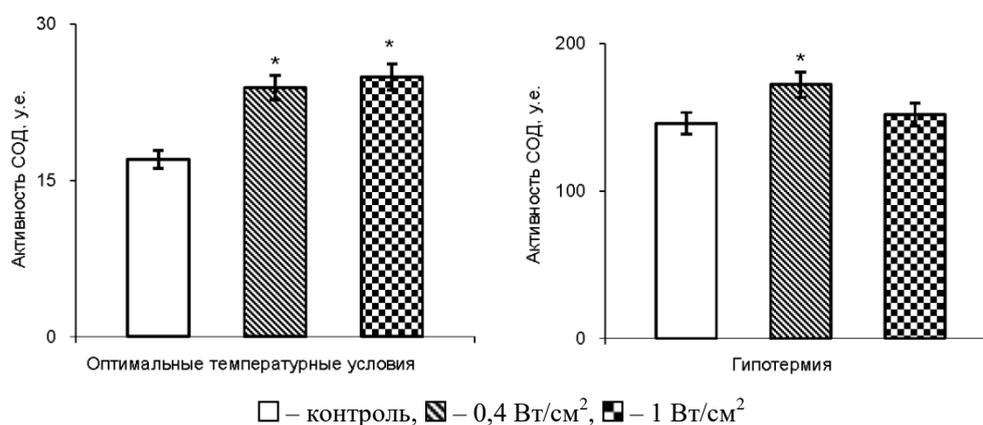


Рис. 1. Влияние ультразвука на активность супероксиддисмутазы в проростках чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

В утилизации образующегося пероксида водорода активно участвует каталаза. Активность данного фермента в проростках чечевицы оказалась весьма чувствительной к обработке ультразвуком разной интенсивности. Так, интенсивность $0,4 \text{ Вт/см}^2$ повысила активность фермента в 2 раза, тогда как 1 Вт/см^2 – в 1,4 раза. В исследованиях [5], проведенных на проростках пшеницы, обработанных ультразвуком, также выявлено повышение активности данного фермента. Напротив, на набухающих и прорастающих семенах гороха показано снижение активности данного фермента под влиянием ультразвуковой обработки [4]. Гипотермия существенно активизировала каталазу. В данных условиях ультразвук $0,4 \text{ Вт/см}^2$ гораздо в меньшей степени стимулировал работу каталазы по сравнению с оптимальными условиями, тогда как его интенсивность 1 Вт/см^2 действия не оказала.

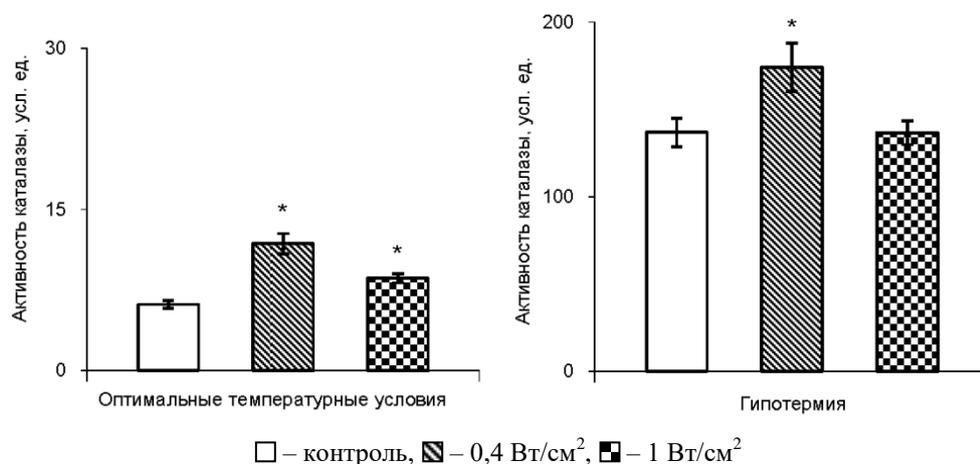


Рис. 2. Влияние ультразвука на активность каталазы в проростках чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

Поскольку каталаза локализована главным образом в пероксисомах и глиоксисомах и обладает низким сродством к пероксиду водорода, существует необходимость функционирования других пероксид-утилизирующих ферментов. Одним из таких ферментов является пероксидаза, которая отличается высоким сродством к H_2O_2 и участвует в его утилизации в органеллах растительной клетки, которые являются основными источниками активных форм кислорода – хлоропластах и митохондриях, а также цитоплазме, вакуоли и клеточной стенке. Результаты проведенного анализа (рис. 3) показали, что ультразвук только низкой интенсивности активизировал данный фермент в оптимальных температурных условиях (более чем на 40 %). В условиях действия низкой положительной температуры в отличие от каталазы активность пероксидазы увеличилась незначительно. Обработка ультразвуком в данных условиях лишь на 14 % стимулировала работу данного фермента.

Известно, что работу антиоксидантной системы регулируют фитогормоны. В частности показано, что ауксины участвуют в экспрессии генов антиоксидантных ферментов [14], а также образуют комплексы с молекулами ферментов-антиоксидантов [15], что, по-видимому, может изменять их

каталитическую активность. Результаты наших исследований показали, что изменения активности изученных ферментов под действием ультразвука в оптимальных температурных условиях происходили на фоне увеличения содержания эндогенных ауксинов (рис. 4). Так, содержание ИУК в проростках чечевицы под действием ультразвука значительно возросло (на 50 %).

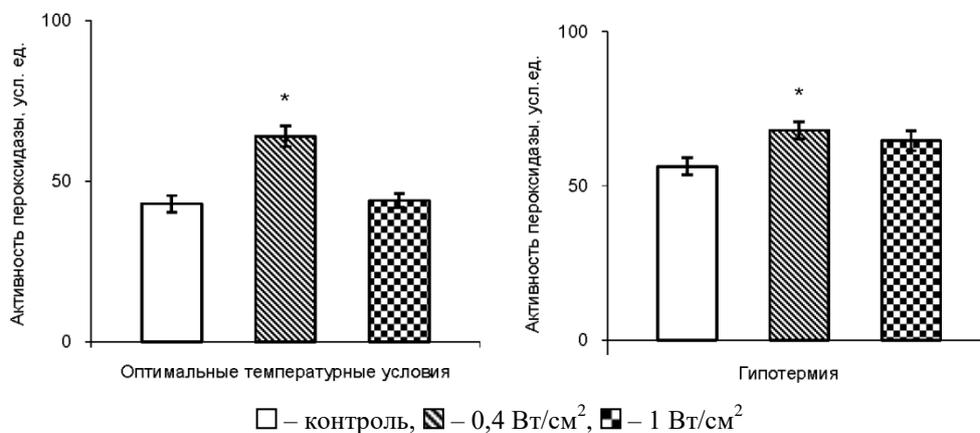


Рис. 3. Действие ультразвука на активность пероксидазы в проростках чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

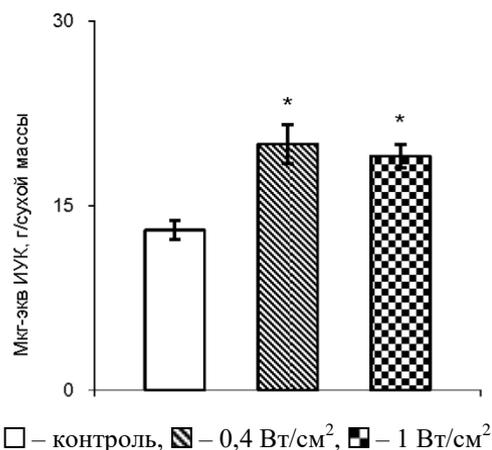


Рис. 4. Действие ультразвука на содержание ауксинов в проростках чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

Работа антиоксидантной системы во многом определяет реакции перекисного окисления липидов. Об интенсивности реакций ПОЛ судили по конечному продукту – малоновому диальдегиду. Данные анализа показали снижение накопления малонового диальдегида (МДА) в оптимальных температурных условиях при воздействии интенсивности ультразвука 0,4 Вт/см² на 24 % (рис. 5). Это происходило на фоне существенной активизации работы пероксидазы. Аналогичные данные по содержанию МДА были получены в исследованиях [5] при действии ультразвука на проростки гороха и пшеницы.

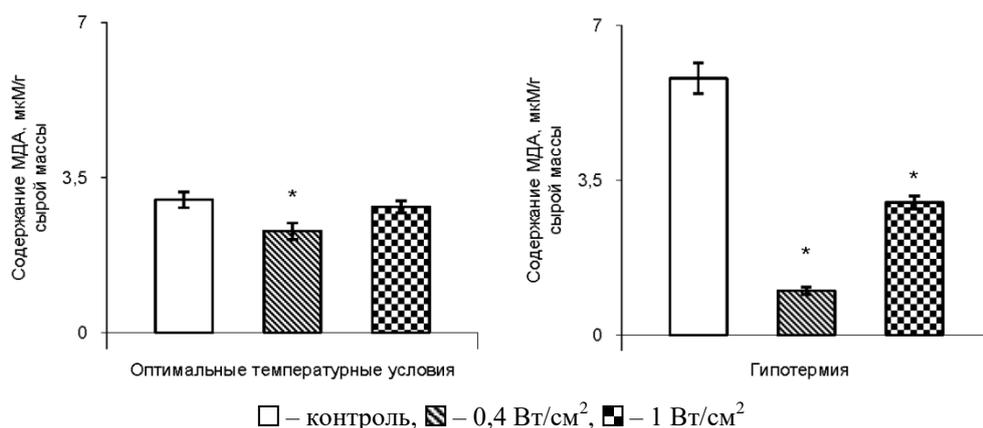


Рис. 5. Действие ультразвука на процесс перекисного окисления липидов в проростках чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

Гипотермия вызвала значительное накопление малонового диальдегида в контрольном варианте, тогда как ультразвуковая обработка, вне зависимости от интенсивности, сдерживала процесс ПОЛ. В наибольшей степени это проявилось в варианте с интенсивностью ультразвука 0,4 Вт/см² (в 3,4 раза), где наблюдалась существенная активизация каталазы.

Проведенные нами исследования выявили неоднозначное действие ультразвука на массу проростков надземных органов и корневой системы (рис. 6). Изученные интенсивности ультразвука не оказали воздействия на массу надземных органов проростков. Напротив, стимулирующий эффект был отмечен в действии на рост корневой системы. Увеличение массы корней было более 50 % по сравнению с контролем. Возможно, полученный результат связан с повышенным содержанием ауксинов под влиянием ультразвука (см. рис. 4). Известно, что данная группа фитогормонов оказывает положительное влияние на рост корневой системы [16].

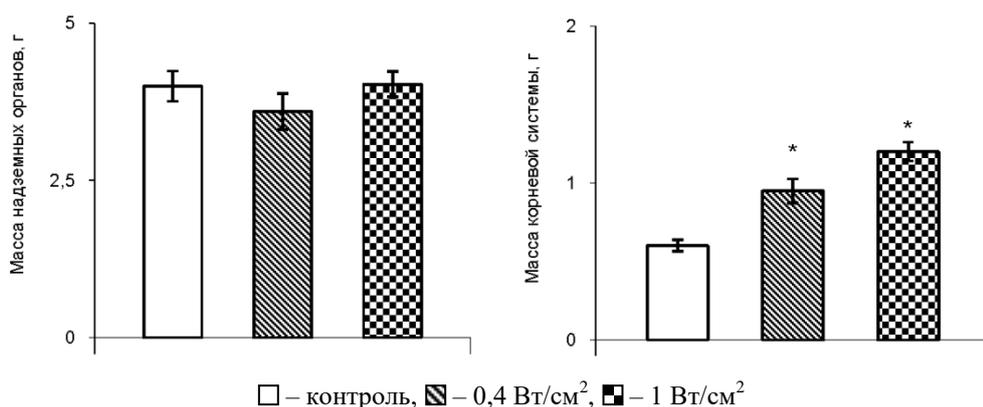


Рис. 6. Действие ультразвука на массу проростков чечевицы

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $p \leq 0,05$.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что антиоксидантная система проростков чечевицы была чувствительна к действию ультразвука. Выявлена активизация антиоксидантных ферментов СОД, каталазы и пероксидазы в оптимальных условиях на фоне возрастания содержания фитогормонов ауксинов. В условиях гипотермии также отмечено увеличение активности изученных ферментов. Обработка ультразвуком в большей степени сдерживала реакции ПОЛ в стрессовых условиях. Показана положительная роль ультразвука на рост корневой системы и отсутствие эффекта на массу надземных органов.

Список литературы

1. Брагинская Ф. И. Действие ультразвуковых волн на полифосфаты и нуклеиновые кислоты и их комплексы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1965. 15 с.
2. Лаврский А. Ю., Лебединский И. А., Четанов Н. А. [и др.]. Влияние некоторых физических факторов на процессы митоза // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Сер. 2, Физико-математические и естественные науки. 2013. № 2. С. 38–44.
3. Новиков А. А., Глазкова В. В. Влияние ультразвукового излучения на скорость прорастания семян томатов // Биомедицинская инженерия и электроника. 2015. № 3. С. 72–76.
4. Тарасов С. С., Веселов А. П. Влияние ультразвука на морфофизиологические показатели прорастания семян гороха (*Pisum sativum* L.) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. № 3. С. 3–11.
5. Тарасов С. С., Веселов А. П., Крутова Е. К. Изменения морфофизиологических показателей прорастающих семян пшеницы под влиянием ультразвукового воздействия // Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 38–42.
6. Верещагин А. Л., Хмелева А. Н. Влияние ультразвукового облучения и регуляторов роста на ризогенную активность растительных объектов. Бийск : Бийский технологический ин-т (филиал) Алтайского государственного технического ун-та им. И. И. Ползунова, 2010. 73 с.
7. Кононенко С. И., Ханиева И. М., Чапаев Т. М., Канукова К. Р. Особенности технологии возделывания чечевицы в условиях предгорной зоны КБР // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94. С. 622–631.
8. Beauchamp Ch., Fridovich I. Superoxide Dismutase improve Assays and Assay Applicable to Acryl amide Gels // Anal. Biochem. 1971. Vol. 44. P. 276–287.
9. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. Л. : Агропромиздат, 1987. 430 с.
10. Патент 2027171 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/78. Способ определения активности каталазы в биологических объектах / Шиманов В. Г., Мукимов Т. Х., Кучинский С. Ю. [и др.]; заявитель и патентообладатель Узбекский науч.-исслед. ин-т каракулеводства. № 5000829/25; заявл. 05.07.1991; опубл. 20.01.1995.
11. Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35, вып. 4. С. 773–780.
12. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 113 с.
13. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 208 с.
14. Guan L. M., Scandalios J. G. Catalase gene expression in response to auxin-mediated developmental signals // Physiologia Plantarum. 2002. № 114. P. 288–295.

15. Feldwisch J., Lammerty M., Yfrtmann E. [et al]. Purification and characterization of cAMP-binding protein of *Volvox carteri f. nagariensis* // *Eer. J. Biochem.* 1994. Vol. 228. P. 480–489.
16. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений : учеб. для студ., обуч. по спец. 032400 «Биология». М. : Владос, 2005. 463 с.

References

1. Braginskaya F.I. Effect of ultrasonic waves on polyphosphates and nucleic acids and their complexes. PhD abstract. Moscow, 1965:15. (In Russ.)
2. Lavrskiy A.Yu., Lebedinskiy I.A., Chetanov N.A. [et al.]. Influence of some physical factors on the processes of mitosis. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Ser. 2, Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki = Bulletin of Perm State University of Humanities and Pedagogy. Series 2, Physical, mathematical and natural sciences.* 2013;(2):38–44. (In Russ.)
3. Novikov A.A., Glazkova V.V. Effect of ultrasonic radiation on the germination rate of tomato seeds. *Biomeditsinskaya inzheneriya i elektronika = Biomedical engineering and electronics.* 2015;(3):72–76. (In Russ.)
4. Tarasov S.S., Veselov A.P. Effect of ultrasound on morphophysiological parameters of germination of pea seeds (*Pisum sativum* L.). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2018;(3):3–11. (In Russ.)
5. Tarasov C.C., Veselov A.P., Krutova E.K. Changes in morphophysiological parameters of germinating wheat seeds under the influence of ultrasonic exposure. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian scientific journal.* 2019;(6):38–42. (In Russ.)
6. Vereshchagin A.L., Khmeleva A.N. *Vliyanie ul'trazvukovogo oblucheniya i regulyatorov rosta na rizogennuyu aktivnost' rastitel'nykh ob'ektov = Effect of ultrasonic irradiation and growth regulators on the rhizogenic activity of plant objects.* Biysk: Biyskiy tekhnologicheskii in-t (filial) Altayskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo un-ta im. I. I. Polzunova, 2010:73. (In Russ.)
7. Kononenko S.I., Khanieva I.M., Chapaev T.M., Kanukova K.R. Features of the technology of cultivation of lentils in the conditions of the foothill zone of the Kabardino-Balkaria. *Politematicheskii setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University.* 2013;(94):622–631. (In Russ.)
8. Beauchamp Ch., Fridovich I. Superoxide Dismutase improve Assays and Assay Applicable to Acryl amide Gels. *Anal. Biochem.* 1971;44:276–287.
9. Ermakov A.I. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy = Methods of biochemical research of plants.* Leningrad: Agropromizdat, 1987:430. (In Russ.)
10. Patent 2027171 C1 Russian Federation, MPK G01N 21/78. Method for determining catalase activity in biological objects. Shimanov V.G., Mukimov T.Kh., Kuchinskiy S.Yu. [et al.]; applicant and patentee Uzbek Research Institute of Karakul Breeding. No. 5000829/25; appl. 05.07.1991; publ. 20.01.1995. (In Russ.)
11. Lukatkin A.S., Golovanova V.S. The intensity of lipid peroxidation in chilled leaves of heat-loving plants. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology.* 1988;35(4):773–780. (In Russ.)
12. Lakin G.F. *Biometriya = Biometria.* Moscow: Vyssh. shk., 1990:113. (In Russ.)
13. Lukatkin A.S. *Kholodovoe povrezhdenie teplolyubivyykh rasteniy i okislitel'nyy stress = Cold damage to heat-loving plants and oxidative stress.* Saransk: Izd-vo Mordovskogo un-ta, 2002:208. (In Russ.)
14. Guan L.M., Scandalios J.G. Catalase gene expression in response to auxin-mediated developmental signals. *Physiologia Plantarum.* 2002;(114):288–295.
15. Feldwisch J., Lammerty M., Yfrtmann E. [et al]. Purification and characterization of cAMP-binding protein of *Volvox carteri f. nagariensis*. *Eer. J. Biochem.* 1994; 228:480–489.

16. Yakushkina N.I., Bakhtenko E.Yu. *Fiziologiya rasteniy: ucheb. dlya stud., obuch. po spets. 032400 «Biologiya» = Physiology of plants: textbook for students, studied on the speciality 032400 “Biology”*. Moscow: Vldos, 2005:463. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Инна Юрьевна Makeeva

кандидат биологических наук, доцент
кафедры ботаники, физиологии
и биохимии растений, Орловский
государственный университет
имени И. С. Тургенева (Россия,
г. Орел, ул. Комсомольская, 95)

E-mail: makeevainna@inbox.ru

Inna Yu. Makeeva

Candidate of biological sciences, associate
professor of the sub-department of botany,
plant physiology and biochemistry, Orel
State University named after I.S. Turgenev
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

Тамара Ивановна Пузина

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой ботаники,
физиологии и биохимии растений,
Орловский государственный университет
имени И. С. Тургенева (Россия, г. Орел,
ул. Комсомольская, 95)

E-mail: tipuzina@gmail.com

Tamara I. Puzina

Doctor of biological sciences, professor,
head of the sub-department of botany,
plant physiology and biochemistry, Orel
State University named after I.S. Turgenev
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

Анжелика Олеговна Болгова

магистрант, Орловский государственный
университет имени И. С. Тургенева
(Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95)

E-mail: Anjelika.bolgova@yandex.ru

Anzhelika O. Bolgova

Master degree student, Orel State
University named after I.S. Turgenev
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 08.07.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.10.2021

Принята к публикации / Accepted 05.11.2021