

УДК 581.1

ВЛИЯНИЕ МЕТИЛЖАСМОНАТА НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И НАЧАЛЬНЫЙ РОСТ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

И. А. Нилова*, Н. С. Репкина, Н. М. Казнина

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *im-ira@mail.ru

Изучали влияние обработок семян мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) озимого сорта Московская 39 метилжасмонатом разной длительности и концентрации на их всхожесть, а также начальный рост проростков. Продолжительность воздействия метилжасмоната составляла 3, 6 или 24 часа, концентрация – 0,001; 0,01; 0,1 и 1 мкМ. Показано, что влияние метилжасмоната на прорастание семян и рост проростков в большей степени зависит от продолжительности воздействия, чем от концентрации. Так, выдерживание семян в растворе метилжасмоната в течение 3 и 6 часов при всех исследуемых концентрациях не приводило к повышению их всхожести, при этом длина корня у растений, выращенных из обработанных семян, была меньше, чем у контрольных, а высота побега, напротив, больше. После обработки семян метилжасмонатом в течение 24 часов во всех изученных концентрациях увеличивалось количество проросших семян, у проростков замедлялся рост корня, при этом (по сравнению с контролем) рост побега сохранялся на уровне контрольных растений.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L.; метилжасмонат; всхожесть семян; рост корней; рост побега

Для цитирования: Нилова И. А., Репкина Н. С., Казнина Н. М. Влияние метилжасмоната на прорастание семян и начальный рост проростков озимой пшеницы // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 7. С. 132–137. doi: 10.17076/eb1818

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (тема FMEN-2022-0004). Работа выполнена на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

I. A. Nilova*, N. S. Repkina, N. M. Kaznina. THE EFFECT OF METHYL JASMONATE ON SEED GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF SEEDLINGS IN WINTER WHEAT

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *im-ira@mail.ru

The study investigated the impact of the exposure of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Moskovskaya 39 seeds to methyl jasmonate at different durations and

concentrations on the germination and initial growth of seedlings. The durations of exposure to methyl jasmonate were 3, 6, or 24 hours, and the concentrations were 0.001, 0.01, 0.1, and 1 μM . It is demonstrated that the duration of exposure to methyl jasmonate has a greater effect on seed germination and seedling growth than its concentration. Thus, exposure of seeds to methyl jasmonate solutions of all the tested concentrations for 3 and 6 hours did not promote their germination. Meanwhile, the root length in plants grown from the treated seeds was less than in the control, and the shoot height, on the contrary, was greater. Treating the seeds with methyl jasmonate in all the tested concentrations for 24 hours increased the number of sprouted seeds and slowed down root growth in seedlings, but had no effect on shoot growth compared to the control.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; methyl jasmonate; seed germination; root growth; shoot growth

For citation: Nilova I. A., Repkina N. S., Kaznina N. M. The effect of methyl jasmonate on seed germination and initial growth of seedlings in winter wheat. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 7. P. 132–137. doi: 10.17076/eb1818

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (FMEN-2022-0004) and carried out using equipment of the KarRC RAS Core Facility.

Введение

Одним из наиболее биологически активных производных жасмоновой кислоты является метилжасмонат [Wasternack, Hause, 2013; Колупаев, Ястреб, 2021]. Он участвует в регуляции роста растений, играет важную роль в сигналинге, индуцирует их защитные реакции в ответ на действие неблагоприятных факторов окружающей среды [Колупаев, Ястреб, 2021; Bittner et al., 2022]. При этом обнаружено, что экзогенное применение метилжасмоната способствует повышению устойчивости растений к различным стресс-факторам [Rhaman et al., 2021]. Так, обработка метилжасмонатом в концентрации 100 μM снижала негативное воздействие засухи на рост и фотосинтез *Triticum aestivum* L. [Javadipour et al., 2019] и препятствовала потере воды растениями *Brassica oleracea* L. [Hassini et al., 2017]. Применение метилжасмоната в концентрации 1 μM приводило к повышению устойчивости растений *T. aestivum* к действию кадмия [Repkina et al., 2023], а обработка растений *Calendula officinalis* L. этим фитогормоном в концентрации 5 и 10 μM увеличивала их устойчивость к действию хрома [Barzin et al., 2022].

Вместе с тем известно, что эффекты метилжасмоната, оказываемые на физиологические процессы у растений, во многом зависят от его концентрации и длительности воздействия. Например, под влиянием метилжасмоната в концентрациях от 10^{-7} до 1 μM рост проростков *T. aestivum* усиливался. При этом максимальный ростостимулирующий эффект наблюдался

при очень низкой (10^{-6} μM) или относительно высокой (0,1 μM) концентрации этого фитогормона [Сахабутдинова и др., 2009]. Применение метилжасмоната в концентрации 1 μM вызывало торможение роста корня растений *B. oleracea* сорта Italica, в то время как концентрация 10^{-6} μM , напротив, его стимулировала [Sirhindi et al., 2020]. Также установлено, что при обработке метилжасмонатом семян *Solanum melongena* L. в течение 8 часов их всхожесть, а также длина корней и высота побегов у проростков, выращенных из этих семян, оказались выше, чем у растений, чьи семена были обработаны в течение 4 и 12 часов [Ali et al., 2019].

Помимо этого, реакция растений на экзогенное применение метилжасмоната зависит от их видовых и сортовых особенностей. Так, показано, что у *Arabidopsis thaliana* L. обработка проростков метилжасмонатом в концентрации 50 μM вызывала торможение роста корня [Yan et al., 2016] и уменьшение размера листьев [Noir et al., 2013] более чем на 50 % по сравнению с необработанными растениями, тогда как при обработке семян *S. melongena* метилжасмонатом в такой же концентрации отмечено улучшение их всхожести и увеличение длины побегов и их сырой биомассы [Ali et al., 2019]. Выдерживание семян *B. oleracea* в растворе метилжасмоната в концентрации 1 μM приводило к торможению роста корня у проростков сорта Italica, но активировало его у проростков сорта Capitata [Sirhindi et al., 2020].

В связи с вышеизложенным целью данного исследования явилось изучение влияния обработки семян озимой пшеницы *T. aestivum* сорта

Московская 39 метилжасмонатом на прорастание и начальный рост проростков в зависимости от длительности воздействия фитогормона и его концентрации.

Материалы и методы

Исследования проводили на проростках мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) озимого сорта Московская 39. Перед началом эксперимента семена стерилизовали (в мыльном растворе 10 мин и в 5% растворе гипохлорита натрия 5 мин) [Ершова и др., 2022] и помещали в чашки Петри по 25 шт. в четырехкратной повторности.

Семена контрольного варианта проращивали в лабораторных условиях при температуре 23 °С на дистиллированной воде. Семена опытного варианта погружали в раствор метилжасмоната в концентрациях 0,001; 0,01; 0,1; 1 мкМ на 3, 6 или 24 часа, затем отмывали и далее проращивали на дистиллированной воде.

Всхожесть семян определяли на 7-е сут по количеству проросших семян в % от общего количества [ГОСТ 12038-84]. У проростков контрольного и опытного вариантов измеряли линейные размеры корня и побега.

Каждый опыт повторяли 3 раза. Статистическую обработку данных по всхожести семян осуществляли с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни, в таблице представлены медианы и их межквартильный диапазон. Результаты измерения морфометрических показателей обработаны с помощью параметрического критерия Фишера ($p < 0,05$), данные при этом представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что в целом обработка семян метилжасмонатом в течение 3 и 6 часов не приводит к повышению всхожести семян, лишь в концентрации 0,01 мкМ при длительности воздействия 3 часа метилжасмонат ингибировал прорастание семян, что выразилось в снижении их всхожести на 16 % относительно контроля (табл.). Возможным объяснением этому может служить способность метилжасмоната уменьшать активность α -амилазы и уровень этилена, тем самым снижая всхожесть семян. Подобный эффект, в частности, обнаружен у растений *Zea mays* L. [Norastehnia et al., 2007] при обработке семян метилжасмонатом в концентрации от 50 до 500 мкМ.

Увеличение времени экспозиции до 24 часов повышало количество проросших семян на 10–12 % относительно контроля практически при всех исследуемых концентрациях метилжасмоната (табл.). Известно, что метилжасмонат может тормозить синтез абсцизовой кислоты (АБК), и это лежит в основе одного из возможных механизмов его положительного воздействия на прорастание семян. Так, у растений *T. aestivum* метилжасмонат (100 мкМ) ингибировал экспрессию гена биосинтеза АБК (*TaNCED1*) и индуцировал экспрессию гена его инактивации (*TaABA8'OH*), что приводило к снижению содержания АБК и, как следствие, увеличению всхожести семян [Jacobsen et al., 2013].

Нами также обнаружено, что все исследуемые обработки семян метилжасмонатом, кроме трехчасовой экспозиции в концентрации 1 мкМ

Количество проросших семян (%) пшеницы сорта Московская 39 после их обработки метилжасмонатом в различных концентрациях и при разной длительности

Number of germinated seeds (%) of wheat var. Moskovskaya 39 after treatment with different concentrations of methyl jasmonate over different exposure periods

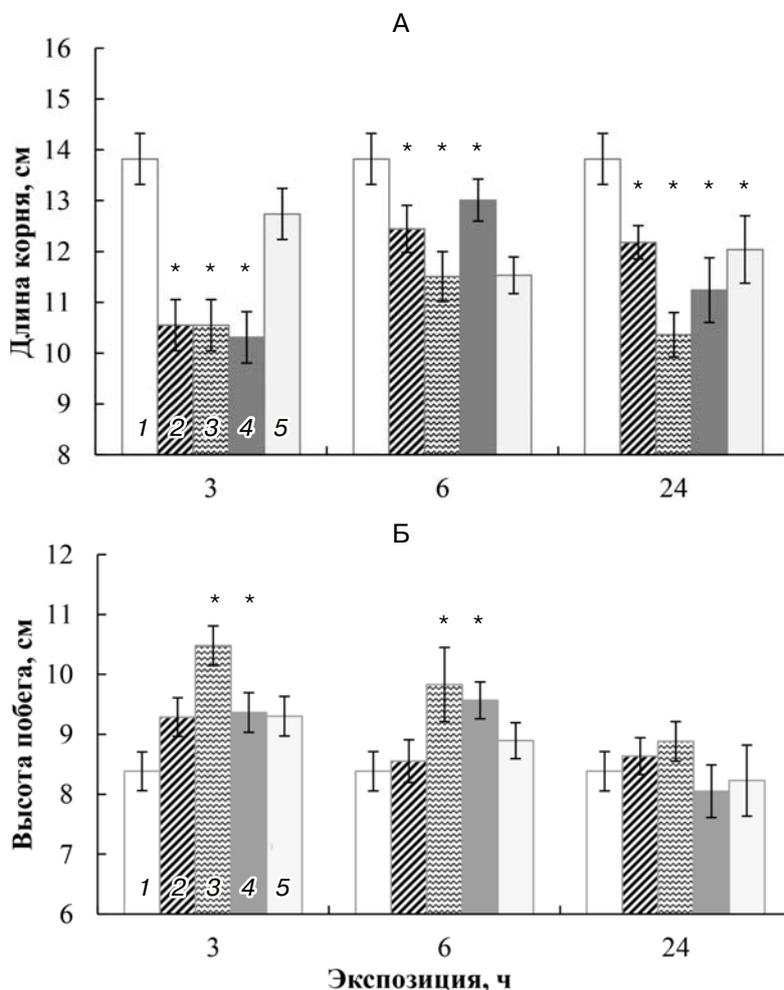
Концентрация метилжасмоната, мкМ Concentration of methyl jasmonate, μ M	Количество проросших семян, % Number of germinated seeds, %		
	Экспозиция, ч Exposure, h		
	3	6	24
0 (контроль / control)	84 \pm 2	84 \pm 2	84 \pm 2
0,001	84 \pm 2	92 \pm 2	96 \pm 3*
0,01	68 \pm 5*	84 \pm 6	94 \pm 5*
0,1	80 \pm 4	88 \pm 10	96 \pm 8
1	78 \pm 14	84 \pm 10	94 \pm 5*

Примечание. Здесь и на рисунке: * – отличия от контроля статистически значимы при $p < 0,05$.

Note. Here and in the Figure: * – differences from the control are statistically significant at $p < 0,05$.

и шестичасовой экспозиции в концентрации 0,1 мкМ, приводили к торможению роста корня. При этом наибольшее сокращение длины корня (на 25 % относительно контроля) отмечено при трехчасовой экспозиции семян в растворах метилжасмоната в концентрациях 0,001; 0,01 и 0,1 мкМ и при суточной экспозиции семян при концентрации метилжасмоната 0,01 мкМ (рис., А). Торможение роста корня, вызванное действием метилжасмоната, может быть связано с его способностью ингибировать митотический цикл, задерживая клетки в фазе G1 до S-фазового перехода [Noir et al., 2013]. Кроме того, жасмонаты стимулируют биосинтез ауксина, что, как известно, может приводить к замедлению роста корней [Wasternack, Hause, 2013].

В отличие от роста корня, выраженного ингибирующего действия метилжасмоната на рост побега не наблюдалось. Более того, обработка семян в течение 3 и 6 часов в растворе метилжасмоната в концентрации 0,01 мкМ приводила к увеличению высоты побега на 25 и 17 % соответственно по сравнению с контролем. Этот показатель был также больше контроля на 15 % при обработке семян метилжасмонатом в течение 3 и 6 часов в концентрации 0,1 мкМ (рис., Б). Стимулирующий эффект фитогормона может быть связан с накоплением цитокининов, что также обнаружено другими авторами у растений *T. aestivum* при их обработке метилжасмонатом в концентрации 0,1 мкМ [Сахабутдинова и др., 2009].



Влияние обработки семян метилжасмонатом в различных концентрациях (1 – контроль; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1; 5 – 1 мкМ) и при разной длительности на длину корня (А) и высоту побега (Б) проростков пшеницы с. Московская 39

Effect of seed treatment with methyl jasmonate at different concentrations (1 – control; 2 – 0,001; 3 – 0,01; 4 – 0,1; 5 – 1 μM) and over different exposure periods on the root length (A) and shoot height (Б) of wheat seedlings var. Moskovskaya 39

Таким образом, проведенные исследования показали, что влияние метилжасмоната на прорастание семян *T. aestivum* сорта Московская 39 и начальный рост проростков в большей степени зависит от продолжительности его воздействия, чем от концентрации. При обработке семян метилжасмонатом в течение 3 и 6 часов стимулирующего действия фитогормона на прорастание семян не наблюдалось, тогда как суточная экспозиция приводила к увеличению количества проросших семян. Влияние обработки семян метилжасмонатом на рост корней не зависело от длительности: во всех вариантах опыта длина корня оказалась меньше, чем у контрольных растений. В отличие от этого высота побега при 3- и 6-часовом воздействии метилжасмоната на семена была при большинстве концентраций (0,01 и 0,1 мкМ) выше, чем в контроле, тогда как суточная экспозиция не приводила к такому эффекту.

Литература

ГОСТ 12038-84. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Дата введения: 1986-07-01.

Ершова М. А., Игнатенко Р. В., Новиченок Е. В., Чирва О. В., Галибина Н. А. Оптимизация условий стерилизации и культивирования эксплантов *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // Растительные ресурсы. 2022. Т. 58, № 4. С. 431–446. doi: 10.31857/S0033994622040057

Колупаев Ю. Е., Ястреб Т. О. Жасмонатный сигналинг и адаптация растений к действию абиотических стрессоров (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57, № 2. С. 3–23. doi: 10.31857/S0555109921010281

Сахабутдинова А. Р., Ласточкина О. В., Шакирова Ф. М. Влияние метилжасмоната на рост и гормональный статус проростков пшеницы // Агрохимия. 2009. № 7. С. 48–53.

Ali M., Hayat S., Ahmad H., Ghani M. I., Amin B., Atif M. J., Cheng Zh. Priming of *Solanum melongena* L. seeds enhances germination, alters antioxidant enzymes, modulates ros, and improves early seedling growth: indicating aqueous garlic extract as seed-priming bio-stimulant for eggplant production // Appl. Sci. 2019. Vol. 9(11). Art. 2203. doi: 10.3390/app9112203

Barzin G., Safari F., Bishekolaei R. Beneficial role of methyl jasmonate on morphological, physiological and phytochemical responses of *Calendula officinalis* L. under Chromium toxicity // Physiol. Mol. Biol. Plants. 2022. Vol. 28, no. 7. P. 1453–1466. doi: 10.1007/s12298-022-01213-4

Bittner A., Cieřla A., Gruden K., Lukan T., Mahmud S., Teige M., Vothknecht U. C., Wurzinger B. Organelles and phytohormones: a network of interactions in plant stress responses // J. Exp. Bot. 2022. Vol. 73, no. 21. P. 7165–7181. doi: 10.1093/jxb/erac384

Hassini I., Martinez-Ballesta M. C., Boughanmi N., Moreno D. A., Carvajal M. Improvement of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* L. var. Italica) growth and quality by KCl seed priming and methyl jasmonate under salinity stress // Scientia Horticulturae. 2017. Vol. 226. P. 141–151. doi: 10.1016/j.scienta.2017.08.030

Jacobsen J. V., Barrero J. M., Hughes T., Julkowska M., Taylor J. M., Xu Q., Gubler F. Roles for blue light, jasmonate and nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.) // Planta. 2013. Vol. 238. P. 121–138. doi: 10.1007/s00425-013-1878-0

Javadipour Z., Balouchi H., Dehnavi M. M., Yadavi A. Roles of methyl jasmonate in improving growth and yield of two varieties of bread wheat (*Triticum aestivum*) under different irrigation regimes // Agric. Water Manag. 2019. Vol. 222, no. 1. P. 336–345. doi: 10.1016/j.agwat.2019.06.011

Noir S., Bömer M., Takahashi N., Ishida T., Tsui T. L., Balbi V., Shanahan H., Sugimoto K., Devoto A. Jasmonate controls leaf growth by repressing cell proliferation and the onset of endoreduplication while maintaining a potential stand-by mode // Plant Physiology. 2013. Vol. 161. P. 1930–1951. doi: 10.1104/pp.113.214908

Norastehnia A., Sajedi R. H., Nojavan-Asghari M. Inhibitory effects of methyl jasmonate on seed germination in maize (*Zea mays*): effect on α -amylase activity and ethylene production // Gen. Appl. Plant Physiology. 2007. Vol. 33, no. 1-2. P. 13–23.

Repkina N., Murzina S. A., Voronin V. P., Kaznina N. Does methyl jasmonate effectively protect plants under heavy metal contamination? Fatty acid content in wheat leaves exposed to cadmium with or without exogenous methyl jasmonate application // Biomolecules. 2023. Vol. 13. Art. 582. doi: 10.3390/biom13040582

Rhaman M. S., Imran Sh., Rauf F., Khatun M., Baskin C. C., Murata Y., Hasanuzzaman M. Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress // Plants. 2021. Vol. 10(1). Art. 37. doi: 10.3390/plants10010037

Sirhindi G., Mushtaq R., Gill S. S., Sharma P., Abd Allah E. F., Ahmad P. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Art. 9322. doi: 10.1038/s41598-020-65309-1

Wasternack C., Hause B. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in Annals of Botany // Ann. Bot. 2013. Vol. 111(6). P. 1021–1058. doi: 10.1093/aob/mct067

Yan S., Zhang T., Dong Sh., McLamore E. S., Wang N., Shan X., Shen Y., Wan Y. MeJa affects root growth by modulation of transmembrane auxin flux in the transition zone // J. Plant Growth Regul. 2016. Vol. 35. P. 256–265. doi: 10.1007/s00344-015-9530-9

References

Ali M., Hayat S., Ahmad H., Ghani M. I., Amin B., Atif M. J., Cheng Zh. Priming of *Solanum melongena* L. seeds enhances germination, alters antioxidant enzymes, modulates ros, and improves early seedling

growth: indicating aqueous garlic extract as seed-priming bio-stimulant for eggplant production. *Appl. Sci.* 2019;9(11):2203. doi: 10.3390/app9112203

Barzin G., Safari F., Bishehkolaei R. Beneficial role of methyl jasmonate on morphological, physiological and phytochemical responses of *Calendula officinalis* L. under chromium toxicity. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2022;28(7):1453–1466. doi: 10.1007/s12298-022-01213-4

Bittner A., Cieřla A., Gruden K., Lukan T., Mahmud S., Teige M., Vothknecht U. C., Wurzing B. Organelles and phytohormones: a network of interactions in plant stress responses. *J. Exp. Bot.* 2022;73(21):7165–7181. doi: 10.1093/jxb/erac384

Ershova M. A., Ignatenko R. V., Novichonok E. V., Chirva O. V., Galibina N. A. Optimization of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) explants sterilization protocol and cultivation conditions. *Rastitel'nye resursy = Plant Resources.* 2022;58(4):431–446. doi: 10.31857/S0033994622040057 (In Russ.)

GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Introduced: 1986-07-01. (In Russ.)

Hassini I., Martinez-Ballesta M. C., Boughanmi N., Moreno D. A., Carvajal M. Improvement of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) growth and quality by KCl seed priming and methyl jasmonate under salinity stress. *Scientia Horticulturae.* 2017;226:141–151. doi: 10.1016/j.scienta.2017.08.030

Jacobsen J. V., Barrero J. M., Hughes T., Julkowska M., Taylor J. M., Xu Q., Gubler F. Roles for blue light, jasmonate and nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Planta.* 2013;238:121–138. doi: 10.1007/s00425-013-1878-0

Javadipour Z., Balouchi H., Dehnavi M. M., Yadavi A. Roles of methyl jasmonate in improving growth and yield of two varieties of bread wheat (*Triticum aestivum*) under different irrigation regimes. *Agric. Water Manag.* 2019;222(1):336–345. doi: 10.1016/j.agwat.2019.06.011

Kolupaev Yu. E., Yastreb T. O. Jasmonate signaling and plant adaptation to abiotic stresses (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied*

Biochemistry and Microbiology. 2021;57(1):3–23. doi: 10.31857/S0555109921010281 (In Russ.)

Noir S., Bömer M., Takahashi N., Ishida T., Tsui T. L., Balbi V., Shanahan H., Sugimoto K., Devoto A. Jasmonate controls leaf growth by repressing cell proliferation and the onset of endoreduplication while maintaining a potential stand-by mode. *Plant Physiology.* 2013;161:1930–1951. doi: 10.1104/pp.113.214908

Norastehnia A., Sajedi R. H., Nojavan-Asghari M. Inhibitory effects of methyl jasmonate on seed germination in maize (*Zea mays*): effect on α -amylase activity and ethylene production. *Gen. Appl. Plant Physiology.* 2007;33(1-2):13–23.

Repkina N., Murzina S. A., Voronin V. P., Kaznina N. Does methyl jasmonate effectively protect plants under heavy metal contamination? Fatty acid content in wheat leaves exposed to cadmium with or without exogenous methyl jasmonate application. *Biomolecules.* 2023;13:582. doi: 10.3390/biom13040582

Rhaman M. S., Imran Sh., Rauf F., Khatun M., Baskin C. C., Murata Y., Hasanuzzaman M. Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants.* 2021;10(1):37. doi: 10.3390/plants10010037

Sakhabutdinova A. R., Lastochkina O. V., Shakirova F. M. Effect of methyl jasmonate on the growth and hormonal status of wheat seedlings. *Agrokhimiya = Agrochemistry.* 2009;(7):48–53. (In Russ.)

Sirhindi G., Mushtaq R., Gill S. S., Sharma P., Abd Allah E. F., Ahmad P. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. *Scientific Reports.* 2020;10:9322. doi: 10.1038/s41598-020-65309-1

Wasternack C., Hause B. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany.* *Ann. Bot.* 2013;111(6):1021–1058. doi: 10.1093/aob/mct067

Yan S., Zhang T., Dong Sh., McLamore E. S., Wang N., Shan X., Shen Y., Wan Y. MeJa affects root growth by modulation of transmembrane auxin flux in the transition zone. *J. Plant Growth Regul.* 2016;35:256–265. doi: 10.1007/s00344-015-9530-9

Поступила в редакцию / received: 17.10.2023; принята к публикации / accepted: 30.10.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Нилова Ирина Александровна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: im-ira@mail.ru

Репкина Наталья Сергеевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: nrt9@ya.ru

Казнина Наталья Мстиславовна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Nilova, Irina

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Repkina, Natal'ya

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Kaznina, Natal'ya

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher