

Краткое сообщение / Short communication

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-106-110>
УДК: 634.75:631.524.85

А.Ю. Ступина*, П.С. Прудников

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, п/о Жилина, ВНИИСПК

*Автор для переписки: stupina@orel.vniispk.ru

Вклад авторов: А.Ю. Ступина: концептуализация, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование. П.С. Прудников: концептуализация, руководство исследованием, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ступина А.Ю., Прудников П.С. Воздействие препарата «Эпин-экстра» на повышение устойчивости сортов *Fragaria × ananassa* Duch. к весенним заморозкам. *Овощи России*. 2024;(6):106-110.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-106-110>

Поступила в редакцию: 09.07.2024

Принята к печати: 01.10.2024

Опубликована: 29.11.2024

Anna Yu. Stupina*, Pavel S. Prudnikov

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
p/o Zilina, VNIISPK, Oryol district, Orel region,
302530, Russia

*Correspondence Author: stupina@orel.vniispk.ru

Authors' Contribution: А.Ю. Ступина: концептуализация, конducting the study, formal analysis, drafting and editing the manuscript. П.С. Прудников: концептуализация, research supervision, conducting the study, writing, reviewing and editing the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Stupina A.Yu., Prudnikov P.S. The effect of the drug "Epin-extra" on increasing the resistance of *Fragaria × ananassa* Duch. varieties to spring frosts. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(6):106-110. (In Russ.)

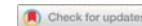
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-106-110>

Received: 09.07.2024

Accepted for publication: 01.10.2024

Published: 29.11.2024

Воздействие препарата «Эпин-экстра» на повышение устойчивости сортов *Fragaria × ananassa* Duch. к весенним заморозкам





АННОТАЦИЯ

Актуальность. Важное условие сохранения жизненного потенциала растений — это способность противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды.

Цель работы — исследовать действие препарата «Эпин-экстра» на формирование устойчивости растений *Fragaria × ananassa* Duch. к весенним заморозкам.

Методы. Объекты: сорта земляники садовой Царица и Урожайная ЦГЛ. С началом активного роста в весенний период выполняли некорневую обработку растений земляники садовой регулятором роста «Эпин-экстра», содержащий 24-эпифбрассинолид. В период бутонизации растения подвергали воздействию отрицательной температурой в камере искусственного климата (-3°C) «Espec» PSL-2KPH (Япония). Работу антиоксидантной системы защиты и активность развития процессов перекисного окисления липидов мембран (ПОЛ) на основе накопления малонового диальдегида (МДА) проводили в листьях сортов земляники садовой.

Результаты. Показано, что некорневая обработка сортов земляники садовой препаратором «Эпин-экстра» способствовала снижению процессов перекисного окисления клеточных мембран в тканях ассимиляционного аппарата. У сорта Царица содержание МДА было ниже на 10,2%, у сорта Урожайная ЦГЛ на 30,1% относительно контроля. Уровень аминокислоты пролина у сорта Царица был выше контроля на 13,6 %, у сорта Урожайная ЦГЛ на 12,4%. Препарат «Эпин-экстра» способствовал увеличению количества сахаров в ассимиляционном аппарате у обоих сортов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Fragaria × ananassa Duch., малоновый диальдегид, свободный пролин, сумма сахаров

The effect of the drug "Epin-extra" on increasing the resistance of *Fragaria × ananassa* Duch. varieties to spring frosts

ABSTRACT

Relevance. A crucial condition for maintaining the vital potential of plants is their ability to withstand adverse environmental conditions. The aim of the work was to study the effect of the drug "Epin-extra" on strengthening the resistance of *Fragaria × ananassa* Duch. plants for spring frosts.

Methods. The objects: strawberry garden Queen and Harvest CGL. With the onset of active growth in the spring period non-root treatments of strawberry plants with were carried out with a solution of the Epin-extra growth regulator containing 24-epibrassinolide. During budding phase, the plants were exposed to negative temperatures in a controlled environment chamber (-3°C) "Espec" PSL-2KPH (Japan). The functioning of the antioxidant defense system and the activity of lipid peroxidation processes in membranes lipids (POL) based on the accumulation of malondialdehyde (MDA) were carried out in the leaves of strawberry varieties.

Results. It was shown that the non-root treatment of strawberry varieties with the Epin-extra preparation contributed to a decrease in the processes of peroxidation of cell membranes. The content of malondialdehyde (MDA) was 10,2% lower by the Tsaritsa variety, and the variety the Urozhainaya CGL by 30,1% compared to the control. The amount of the amino acid proline in the Tsaritsa variety was 13,6 % higher compared to the control, and in the Urozhainaya CGL variety by 12,4%. Treatment with Epin-extra contributed to an increase in the amount of sugars in the leaf tissue of both varieties.

KEYWORDS:

Fragaria × ananassa Duch., malondialdehyde (MDA), free proline, sum of sugars

Введение

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) самая популярная в мире ягодная культура. По данным продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), только в 2020 году 10 ведущих мировых производителей собрали 80,4 % от общего объема урожая [1].

На урожайность и качество ягод земляники оказывают сильное влияние весенние заморозки в период цветения [2].

Первым симптомом начинающегося физиологического страдания растения под влиянием неблагоприятных условий окружающей среды является развитие окислительного стресса [3]. В связи с этим отмечается усиление перекисного окисления липидов (ПОЛ) на фоне повышенного образования активных форм кислорода (АФК), что в свою очередь оказывает влияние на мембранные структуры клетки [4]. Содержание АФК в нормально функционирующих клетках как правило низкое. При действии стрессовых факторов их уровень может резко возрастать, вызывать ПОЛ мембран [5]. Конечный продукт ПОЛ – малоновый диальдегид (МДА) [6]. Функционирование антиоксидантной системы защиты имеет приоритетное значение для предотвращения перекисного окисления мембранных липидов и формирования устойчивости к неблагоприятным факторам среды [7, 8].

В связи с этим интенсивность развития ПОЛ и эффективность работы антиоксидантной системы можно считать признаками физиологического-биохимической устойчивости растений к стрессовым факторам [9].

В настоящее время существует целый ряд регуляторов роста, способствующих интенсификации защитных механизмов, снижающих развитие ПОЛ в растительных клетках в условиях действия стрессовых факторов. Одними из таких физиологически активных регуляторов роста гормональной природы, повышающих толерантность к абиотическим стрессам являются брацисиостероиды [10, 11, 12]. В исследованиях, проведенных на землянике садовой показано, что использование брацисиостероидов способствовало развитию устойчивости растений к холодовому стрессу. Так экзогенное использование брацисиостероидов снижало уровень АФК, интенсифицировало работу антиоксидантной системы защиты и стабилизировало фотосинтез в условиях холодового (низких положительных температур) стресса [13]. Использование низких концентраций растворов брацисионидов (1 мкМоль/л) увеличивало рост, улучшало качество и урожайность ягод земляники [14].

Вместе с тем, в результате изменения климата остается не выясненной эффективность действия брацисиостероидов в повышении толерантности отечественных сортов земляники садовой в период бутонизации – цветения к весенным заморозкам на фоне отрицательных температур.

В связи с этим цель работы заключалась в изучении особенности действия препарата «Эпин-экстра» на физиологические процессы устойчивости *Fragaria × ananassa* Duch. на фоне понижения в весенний период температуры.

Материалы и методика исследования

Исследования проводили на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ФГБНУ ВНИИСПК.

Почва опытного насаждения ФГБНУ ВНИИСПК темно-серая лесная, почвообразующая порода – лессовидный суглинок среднего механического состава, мощность гумусового горизонта – 30-55 см, pH 6,8. Климат умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет 4–5°C. Общая продолжительность периода с положительной среднесуточной температурой воздуха в течение года равна 215–225 дням. Период со средними суточными температурами воздуха выше 5°C начинается в середине апреля и заканчивается в середине октября, продолжительность его в году 175–185 дней. Период с более высокими средними суточными температурами воздуха (выше +10°C) начинается в начале мая и заканчивается 20–25 сентября, продолжительность его 135–145 дней.

Объекты исследования: сорта растений *Fragaria × ananassa* Duch. Урожайная ЦГЛ, Царица. Опыт в открытом грунте был заложен в 2019 году. Схема посадки 20×70 см, односторонняя. Повторность опыта 3-х кратная, в каждой повторности 15 растений. Технология выращивания общепринятая. Для мульчирования грунта использовали черный полипропиленовый материал Агротекс плотностью 60 г/м².

Некорневая обработка растений выполнялась препаратом «Эпин-экстра» весной с началом активного роста. Действующее вещество 24-эпибрассингонолид, концентрация рабочего раствора 0,01 мкМоль. Трехкратное количество обработок каждые 7 дней. Контроль – растения, обработанные водой. По завершении обработок, в период бутонизации – начало цветения, растения выкапывали, переносили в сосуды с почвой и подвергали воздействию отрицательной температурой (-3°C) в течении 3 часов в камере искусственного климата «Espec» PSL-2KPN (Япония) [15]. Анализы проводили через 30 минут после окончания действия стресса. В статье представлены усредненные данные за 3 года исследований (2020–2023 годы).

В ассимиляционном аппарате об активности развития перекисного окисления липидов (ПОЛ) судили по количеству малонового диальдегида [16, 17]. Цветную реакцию с нингидриновым реагентом применяли для определения количества свободного пролина [18]. Содержание сахаров в листовом аппарате определяли с помощью резорцинового реагента [19]. В программе MS Excel на основе дисперсионного анализа по Доспехову оценивали достоверность результатов [20].

Результаты исследования

Определение интенсивности развития перекисного окисления липидов мембранных структур клетки обнаружило, что в период бутонизации – цветения интенсивность накопления МДА в растениях в варианте с препаратом «Эпин-экстра» была ниже контрольных вариантов при моделировании действия отрицательной температуры (-3°C). У сорта Царица содержание МДА было ниже на 10,2%, у сорта Урожайная ЦГЛ на 30,1% относительно контроля (рис. 1).

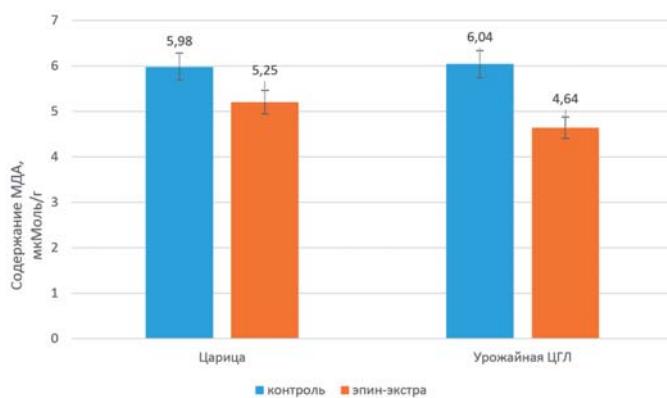


Рис. 1. Действие препарата «Эпин-экстра» на содержание МДА в ассимиляционном аппарате земляники садовой в условиях гипотермии
Fig. 1. The effect of the drug "Epin-extra" on the content of MDA in the assimilation apparatus of *Fragaria × ananassa* Duch. in hypothermia

В условиях гипотермии повышенный фон МДА в контролльном варианте свидетельствует о наибольшем нарушении структурно-функциональной целостности клеточных мембран против опытных вариантов. Полученные данные о положительном эффекте брацисиостероидов согласуются с результатами других исследователей, не смотря на разные температурные воздействия, концентрацию растворов, длительность экспозиции и фенологические фазы развития растений земляники. Так проведенные исследования по влиянию брацисиолидов на холодаустойчивость земляники показали, что данные фитогормоны способствовали снижению интенсивности ПОЛ за счет увеличения в листьях фенольных кислот. Содержание МДА по сравнению с контролем снизилось на 32 % [21]. Однако авторы данного исследования подвергали растения земляники, обработанные брацисиолидами, низкими положительными температурами (+7 °C) в течение 24 часов, в фазу закладки новых почек и смены листового аппарата после плодоношения. На растениях томата показано, что некорневая обработка за сутки до охлаждения в течение 15 мин в климатической камере (+4 °C) брацисиолидами способствовала снижению интенсивности ПОЛ [22]. Однако ответ растений на обогащение брацисиостеродами носил сортоспецифичный характер.

В наших исследованиях наблюдаемое уменьшение развития интенсивности ПОЛ в обработанных растениях может быть связано с увеличением содержания в листовом аппарате количества суммы сахаров. Показано, что обработка препаратом «Эпин-экстра» в условиях гипотермии способствовала увеличению количества суммы сахаров в листовой ткани у обоих сортов. Выявлено, что уровень данных углеводов у сорта Царица на 14,2%, у сорта Урожайная ЦГЛ на 70,1% выше контроля. У сорта Урожайная ЦГЛ под влиянием «Эпин-экстра» произошло существенное увеличение уровня суммы сахаров, на фоне лучшей сохранности целостности клеточных мембран, что может свидетельствовать о повышении устойчивости сорта к гипотермии (рис. 2). В исследованиях, проведенных на картофеле при его холодовой адаптации показано, накопление низкомолекулярных углеводов в тканях листа [23]. Известно, что сахара защищают липидно-белковый компонент клеток, особенно мембран. Так показано, что сахароза при гипотермии уча-

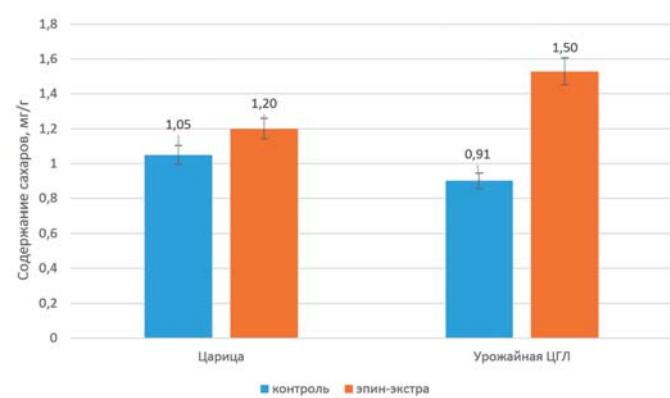


Рис. 2. Действие препарата «Эпин-экстра» на уровень суммы сахаров в ассимиляционном аппарате земляники садовой в условиях гипотермии
Fig. 2. The effect of the drug "Epin-extra" on the level of sugars in the assimilation apparatus of *Fragaria × ananassa* Duch. in hypothermia

ствует в сохранении структурной целостности плазматической мембранны в клетках листьев пшеницы [24]. По-видимому, антиоксидантная защита клеток сахарозой заключается в ее роли выступать в качестве перехватчиков АФК и подавлять окислительные процессы [25,26,27].

Согласно литературным данным свободный пролин накапливается под действием стрессовых факторов, для нейтрализации (прямого «тушения») активных форм кислорода [28]. Однако в исследованиях, проведенных на проростках рапса показано, что в условиях хлоридного засоления брацисиостероиды способствовали снижению в тканях свободного пролина в 7-10 раз, по-видимому, за счет увеличения синтеза высокомолекулярных антиоксидантных ферментов [29]. Напротив, на яровой пшенице в условиях дефицита влаги брацисиолиды способствовали увеличению количества пролина в тканях растений на 20 % [30]. В наших исследованиях показана особенность действия препарата «Эпин – Экстра» на повышение количества свободного пролина, выполняющего роль как совместимого осмолита, так и низкомолекулярного антиоксиданта. Свободно радикальные процессы на фоне действия гипотермии вызывали увеличение содержания свободного пролина в листовой ткани. Уровень аминокислоты в обработанных препаратом

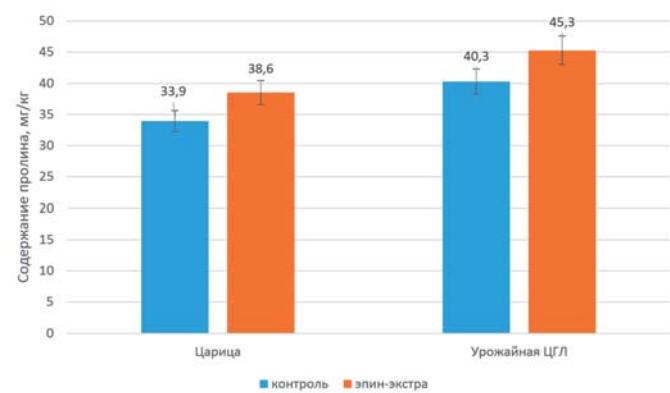


Рис. 3. Действие препарата «Эпин-экстра» на количество свободного пролина в ассимиляционном аппарате земляники садовой в условиях гипотермии
Fig. 3. The effect of the drug "Epin-extra" on the amount of free proline in the assimilation apparatus of *Fragaria × ananassa* Duch. in hypothermia

«Эпин-экстра» растениях сорта Урожайная ЦГЛ было выше на 12,4% против контроля и на 13,6% у сорта Царица соответственно (рис. 3).

Таким образом, проведенные некорневые обработки препаратом, содержащим брассиностероиды позволили увеличить содержание в листовой ткани как сахаров, так и свободного пролина, что позволило повысить сопротивляемость сортов земляники к действию гипертермии.

• Литература

1. Акимов М.Ю., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria x ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор). Химия растительного сырья. 2020;(1):5-18. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015511> <https://www.elibrary.ru/iwnokh>
2. Жученко А.А. Экологогенетические основы продовольственной безопасности России. М.: Фонд «Знание». 2008. 104 с.
3. Прудников П.С., Кривушина Д.А., Гуляева А.А. Реакция антиоксидантной системы и интенсивность перекисного окисления липидов *Prunus Cerasus* L. в ответ на действие гипертермии. Вестник аграрной науки. 2018;1(70):30-35. <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2018.1.30> <https://www.elibrary.ru/yqmyko>
4. Колупаев Ю.Е., Кокорев А.И. Антиоксидантная система и устойчивость растений к недостатку влаги. Физиология растений и генетика. 2019;51(1):28-54. <https://doi.org/10.15407/frg2019.01.028>
5. Загоскина Н.В., Назаренко Л.В. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений. Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2016;2(22):9-23. <https://www.elibrary.ru/vzsfbt>
6. Ху Ц.Ц., Ши Г.С., Су Ц.С. и др. Воздействие РЬ₂₊ на активность антиоксидантных ферментов и ультраструктуру клеток листьев *Potamogeton crispus*. Физиология растений. 2007;54(3):469-474. <https://www.elibrary.ru/iafcfh>
7. Холявка М.Г., Карпова С.С., Калаев В.Н., Лепешкина Л.А., Агапов Б.Л., Артюхов В. Г. Оценка оксидативного статуса растений, произрастающих в различных условиях. Фундаментальные исследования. 2014;8(4):891-897. <https://www.elibrary.ru/sjmnkh>
8. Прудников П.С., Гуляева А.А. Особенности действия гипертермии на гормональную систему и антиоксидантный статус *Prunus Armeniaca* L. Селекция и сорторазведение садовых культур Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию ВНИИСПК. 2015. С. 151-154. <https://www.elibrary.ru/uqeban>
9. Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А., Ястреб Т.О. Пролин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях. Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія. 2014;2(32):6-22.
10. Karlidag H., Yildirim E., Turan M. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria x ananassa*). Scientia Horticulturae. 2011;130(1):133-140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.025>
11. Anwar A., Liu Y., Dong R., Bai L., Yu X., Li Y. The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. Biological Research. 2018;51(1):46. <https://doi.org/10.1186/s40659-018-0195-2>
12. Furio R.N., Salazar S.M., Mariotti-Martínez J.A., Martínez-Zamora G.M., Coll Y., Díaz-Ricci J.C. Brassinosteroid Applications Enhance the Tolerance to Abiotic Stresses, Production and Quality of Strawberry Fruits. Horticulturae. 2022;8(7):572. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070572>
13. Rehman A., Shahzad B. Brassinosteroids and cold stress tolerance in plants. Brassinosteroids in Plant Developmental Biology and Stress Tolerance. 2022. P. 189-199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813227-2.00011-4>
14. Sheshglani P.Z., Asghari M. Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. Scientia Horticulturae. 2020;268(1):109376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376>

Заключение

Впервые показано, что обработка отечественных сортов земляники садовой Урожайная ЦГЛ и Царица препаратом «Эпин-экстра» в весенний период на фоне моделирования заморозков сдерживала развитие перекисного окисления липидов мембран за счет накопления низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты и совместных осмолитов на примере свободного пролина и суммы сахаров.

15. Ожерельева З.Е., Зубкова М.И. Ускоренная оценка устойчивости генеративных органов земляники садовой к весенним заморозкам. Орел: ВНИИСПК. 2019. 20 с. ISBN: 978-5-900705-92-7. <https://www.elibrary.ru/sekcoc>
16. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты. Современные методы в биохимии. Медицина. – Москва. 1977. С. 66-68.
17. Прудников П.С., Ожерельева З.Е. Физиологогено-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии (методические рекомендации). Орел: ВНИИСПК. 2019. 46 с. ISBN: 978-5-900705-95-8. <https://www.elibrary.ru/bmshhw>
18. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 1973;39(1):205-207.
19. Туркина М.В., Соколова С.В. Изучение мембранных транспорта сахарозы в растительной ткани. Физиология растений. 1972;19(5):912-919.
20. Доспехов Б.А., Методика полевого опыта. Агропромиздат. Москва. 1985. 351 с.
21. Balci G., Aras S., Keles H. Exogenous EBL (24-Epibrassinolide) Alleviate Cold Damage in Strawberry. Erwerbs-Obstbau. 2021;63(6):1-6. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00566-6>
22. Дерябин А.Н., Суворова Т.А., Сычева С.В., Деревенцов С.Н. Влияние 24-эпиварессинолида на рост, содержание фотосинтетических пигментов, холдоустойчивость и антиоксидантную активность растений томата. Агрохимия. 2021;(2):55-64. <https://doi.org/10.31857/S0002188121020058> <https://www.elibrary.ru/fciqum>
23. Синькович М.С., Сабельникова Е.П., Дерябин А.Н., Астахова Н.В., Дубинина И.М., Бураханова Е.А., Трунова Т.И. Изменения активности инвертазы и содержания сахаров в процессе адаптации растений картофеля к переохлаждению. Российский журнал физиологии растений. 2008;55(4):449-454. <https://doi.org/10.1134/S1021443708040031> <https://www.elibrary.ru/jhpmv>
24. Savitch L.V., Harney T., Huner N.P.A. Sucrose metabolism in spring and winter wheat in response to high irradiance, cold stress and cold acclimation. Physiologia Plantarum. 2000;108(3):270-278. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.108003270.x>
25. Aver'yanov A.A., Lapiкова V.P. Interaction between Sugars and Hydroxyl Radical as Related to Fungal Toxicity of Leaf Excretions. Biokhimiya. 1989;(54):1646-1651.
26. Czapski G. On the Use of OH Scavengers in Biological Systems. Israel Journal of Chemistry. 1984;(24):29-32. <https://doi.org/10.1002/ijch.198400005>
27. Morelli R., Russo-Volpe S., Bruno N., Lo Scalzo R. Fenton-dependent damage to carbohydrates: free radical scavenging activity of some simple sugars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004;51(25):7418-25. <https://doi.org/10.1021/jf030172q>
28. Alia S., Saradhi P., Mohanty P. Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical-induced photodamage. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 1997;(38):253-257. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(96\)07470-2](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(96)07470-2)
29. Ефимова М.В., Мануйлова А.В., Малофий М.К., Карташов А.В., Кузнецова Вл.В. Влияние брассиностероидов на формирование защитных реакций проростков рапса в условиях засоления. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013;1(21):118-128. <https://www.elibrary.ru/snfvra>
30. Лубянова А.Р., Масленникова Д.Р., Шакирова Ф.М. Защитное действие 24-эпиварессинолида на растения пшеницы в условиях нарушения водного режима. Биомика. 2021;13(1):47-53. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2021-5> <https://www.elibrary.ru/eefkra>

• References

1. Akimov M.Yu., Luk'yanchuk I.V., Zhanova E.V., Lyzhin A.S. Strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and bio- logically active substances (review). Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2020;(1):5-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015511> <https://www.elibrary.ru/iwnokh>
2. Zhuchenko A.A. Ecological and genetic foundations of food security in Russia. Moscow: 2008. 104 p. (In Russ.)
3. Prudnikov P.S., Krivushina D.A., Gulyaeva A.A. Reaction of antioxidant system and intensity of oversour lipids oxidation of *Prunus cerasus* L. in response to the hyperthermia effect. Bulletin of agrarian science. 2018;1(70):30-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2018.1.30> <https://www.elibrary.ru/yqmyko>
4. Kolupae Yu.E., Kokorev A.I. Antioxidant system and plant resistance to moisture deficiency. Plant physiology and genetics. (In Russ.) 2019;51(1):28-54. <https://doi.org/10.15407/frm2019.01.028>
5. Zagorskina N.V., Nazarenko L.V. Active oxygen species and antioxidant system of plants. MCU journal of natural sciences. 2016;2(22):9-23. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vzsfbt>
6. Hu Z.Z., Shi G.S., Su Z.S. Effect of Pb2+ on antioxidant enzyme activity and leaf cell ultrastructure of *Potamogeton crispus*. Fiziologiya rastenij. 2007;54(3):469-474. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/iafcfh>
7. Holyavka M.G., Karpova S.S., Kalaev V.N., Lepeshkina L.A., Agapov B.L., Artyukhov V.G. Assessment of the oxidative status of the plants growing in various conditions. Fundamental research. 2014;8(4):891-897. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/sjmnkh>
8. Prudnikov P.S., Gulyaeva A.A. Features of the effect of hyperthermia on the hormonal system and antioxidant status of *Prunus Armeniaca* L. In the collection: Selection and variety breeding of garden crops Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 170th anniversary of VNIISPK. 2015. P. 151-154. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ueqeban>
9. Kolupae Yu.E., Weiner A.A., Yastreb T.O. Prolin: physiological functions and regulation of content in plants under stressful conditions. Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University. Series biologia, 2014;2(32):6-22. (In Russ.)
10. Karlidag H., Yildirim E., Turan M. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria × ananassa*). Scientia Horticulturae. 2011;130(1):133-140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.025>
11. Anwar A., Liu Y., Dong R., Bai L., Yu X., Li Y. The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. Biological Research. 2018;51(1):46. <https://doi.org/10.1186/s40659-018-0195-2>
12. Furio R.N., Salazar S.M., Mariotti-Martínez J.A., Martínez-Zamora G.M., Coll Y., Díaz-Ricci J.C. Brassinosteroid Applications Enhance the Tolerance to Abiotic Stresses, Production and Quality of Strawberry Fruits. Horticulturae. 2022;8(7):572. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070572>
13. Rehman A., Shahzad B. Brassinosteroids and cold stress tolerance in plants. Brassinosteroids in Plant Developmental Biology and Stress Tolerance. 2022. P. 189-199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813227-2.00011-4>
14. Sheshgiani P.Z., Asghari M. Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. Scientia Horticulturae. 2020;268(1):109376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376>
15. Ozerelieva Z.E., Zubkova M.I. Accelerated assessment of the resistance of generative organs of strawberry to spring frosts. Orel: VNIISPK. 2019. 20 p. ISBN: 978-5-900705-92-7. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/sekcoc>
16. Stalnaya I.D., Garishvili T.G. Method for the determination of malonic dialdehyde using thiobarbituric acid. Modern methods in biochemistry. Medicine. Moscow. 1977. P. 66-68. (In Russ.)
17. Prudnikov P.S., Kolereva Z.E. Physiological and biochemical methods for diagnosing the resistance of fruit crops to drought and hyperthermia (methodological recommendations). Eagle: VNIISPK. 2019. 46 p. ISBN: 978-5-900705-95-8. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/bmshhw>
18. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 1973;39(1):205-207.
19. Turkina M.V., Sokolova S.V. Studying the membrane transport of sucrose in plant tissue. Fiziologiya rastenij. 1972;19(5):912-919. (In Russ.)
20. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. Agropromizdat. Moscow. 1985. 351 p. (In Russ.)
21. Balci G., Aras S., Keles H. Exogenous EBL (24-Epibrassinolide) Alleviate Cold Damage in Strawberry. Erwerbs-Obstbau. 2021;63(6):1-6. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00566-6>
22. Deryabin A.N., Suvorova T.A., Sycheva S.V., Derevshchukov S.N. Influence of 24-epibrassinolide on growth, content of photosynthetic pigments, cold resistance and antioxidant activity of tomato plants. Agrohimia. 2021;(2):55-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188121020058>
23. Sin'kevich M.S., Sabel'nikova E.P., Deryabin A.N., Astakhova N.V., Dubinina I.M., Burakhanova E.A., Trunova T.I. The changes in invertase activity and the content of sugars in the course of adaptation of potato plants to hypothermia. Russian Journal of Plant Physiology. 2008;55(4):449-454. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1021443708040031> <https://www.elibrary.ru/llyazx>
24. Savitch L.V., Harney T., Huner N.P.A. Sucrose metabolism in spring and winter wheat in response to high irradiance, cold stress and cold acclimation. Physiologia Plantarum. 2000;108(3):270-278. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.108003270.x>
25. Aver'yanov A.A., Lapikova V.P. Interaction between Sugars and Hydroxyl Radical as Related to Fungal Toxicity of Leaf Excretions. Biokhimiya. 1989;(54):1646-1651.
26. Czapski G. On the Use of OH Scavengers in Biological Systems. Israel Journal of Chemistry. 1984;(24):29-32. <https://doi.org/10.1002/ijch.198400005>
27. Morelli R., Russo-Volpe S., Bruno N., Lo Scalzo R. Fenton-dependent damage to carbohydrates: free radical scavenging activity of some simple sugars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004;51(25):7418-25. <https://doi.org/10.1021/jf030172q>
28. Alia S., Saradhi P., Mohanty P. Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical-induced photodamage. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 1997;(38):253-257. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(96\)07470-2](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(96)07470-2)
29. Efimova M.V., Manuylova A.V., Malofiy M.K., Kartashov A.V., Kuznetsov V.V. Influence of brassinosteroids on forming protective reactions in rape seedlings under salinity. Tomsk State University Journal of Biology. 2013;1(21):118-128. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/snfvvl>
30. Lubynova A.R., Maslennikova D.R., Shakirova F.M. Protective effect of 24-epibrassinolide on wheat plants under water deficit. Biomics. 2021;13(1):47-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2021-5> <https://www.elibrary.ru/eefkpa>

Об авторах:

Анна Юрьевна Ступина – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1019-3518>, Researcher ID: P-2709-2018, SPIN-код: 1931-5360, автор для переписки, stupina@orel.vniispk.ru

Павел Сергеевич Прудников – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-9097-8042>, SPIN-код: 6790-9999

About the Authors:

Anna Yu. Stupina – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1019-3518>, Researcher ID: P-2709-2018, SPIN-code: 1931-5360, Corresponding Author, stupina@orel.vniispk.ru

Pavel S. Prudnikov – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9097-8042>, SPIN-code: 6790-9999