

УДК 634.8.07:577.175.19:581.19

Алёна Владимировна Василевская¹, Наталья Юрьевна Колбас²¹преподаватель-стажер каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина,

науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

Alyona Vasilevskaya¹, Natalia Kolbas²¹Lecturer-Trainee of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University,

Researcher of the Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: alyonakhovrekova@gmail.com, n.kolbas@gmail.com

ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ ПЛОДОВ *VITIS L.**

Представлены результаты двухлетних исследований общего содержания фенольных соединений (в т. ч. антоцианов) и антиоксидантной активности (оцененной методом ABTS) плодов *Vitis* двух сортов винограда Альфа и Минский розовый, сортообразца V-1 при экзогенной обработке brassinosterоидами: эпибрассинолидом, эпикастастероном и тетраосукуцинатом 24-эпикастастерона. Установлено, что изменение данных параметров носит сортоспецифичный характер. Наиболее отзывчивым тест-объектом был сорт Альфа: при действии эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л общее содержание фенольных соединений в среднем возрастает на 25,25 %, общее количество антоцианов – в 5 раз, и, как следствие, отмечается рост антиоксидантной активности в среднем на 86 %.

Ключевые слова: фенольные соединения, антиоксидантная активность, антоцианы, виноград, brassinosterоиды.

The Effect of Brassinosteroids on Accumulation Phenolic Compounds and Antioxidant Activity Fruits of VITIS L.

The article presents the results of two-year studies of the total content of phenolic compounds (including anthocyanins) and antioxidant activity (estimated by the ABTS method) of *Vitis* fruits of two grape varieties Alpha and Minskiy rozovyy, varietal V-1 under exogenous treatment with brassinosteroids: epibrassinolide, epicastasterone and tetrasuccinate 24-epicastasterone. It was found that the change in these parameters is of a variety-specific nature: the most responsive test object was the Alpha variety: with the action of epicastasterone at a concentration of 10^{-8} mol/l, the total content of phenolic compounds increases by an average of 25,25 %, the total number of anthocyanins increases by 5 times and, as a result, there is an increase in antioxidant activity on average by 86 %.

Key words: phenolic compounds, antioxidant activity, anthocyanins, grapes, brassinosteroids.

Введение

Фенольные соединения (ФС) – это широко распространенный класс вторичных метаболитов растения, которые в ягодах *Vitis L.* представлены главным образом антоцианами в виде гликозидов и ацилгликозидов, катехинами, флавонами (кверцетин, морин), стильбенами (ресвератрол и др.), а также фенольными кислотами (кофейная, галловая, гентизиновая, ванилиновая, феруловая, *m*- и *p*-кумаровая, бензойная) [1]. Все они проявляют синергизм между собой и с антоцианами, а также оказывают влияние на органолептические

*Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ № B22M-054, подзадания «Исследование влияния и разработка на его основе практических рекомендаций по применению методов обработки подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus L.*) и винограда (*Vitis L.*) brassinosterоидами и их конъюгатами» (№ государственной регистрации 20221039 от 01.07.2022 г.).

свойства (вкус, цвет) антоцианосодержащей продукции. Кроме того, природные ФС оказывают комплексное стимулирующее влияние на формирование плодов и семян [2].

Для сочных плодов пищевого назначения содержание ФС в процессе созревания снижается, что было показано на примере пяти сортов винограда (*Vitis vinifera* L., Merlot, Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc, Semillon) [3] и Kishmish Chornyi [4]. В то же время регистрация так называемой фенольной спелости является важным показателем, т. к. эти соединения определяютнутрицевтическую ценность винограда, а также качество произведенной впоследствии продукции [4; 5]. В климатических условиях Республики Беларусь плоды винограда не всегда успевают достичь своей фенольной спелости, однако регулирование данного параметра возможно за счет экзогенной обработки фитогормонами: брассиностероидами (БС) и их конъюгатами с органическими кислотами. БС являются естественными соединениями, т. к. впервые были выделены из растений, что обуславливает их безопасность для экосистем [6].

Цель данного исследования – оценить изменение общего содержания фенольных соединений, в т. ч. антоцианов, а также антиоксидантную активность плодов *Vitis* L. при экзогенной обработке брассиностероидами.

Материалы и методы исследования

В качестве тест-объектов были использованы два сорта винограда, включенные в Государственный реестр: Минский розовый – сорт универсального использования, Альфа – технический сорт. Для выполнения исследования также был выбран сортообразец винограда (V-1), который более 30 лет произрастает на территории отдела «Агробиология» Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина. Сортообразец характеризуется хорошей степенью вызреваемости лозы, высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и вредителям, повышенной зимостойкостью. Почва и водный режим стационара благоприятны для плантационного выращивания винограда.

Выбор БС, а также подбор концентраций осуществляли после анализа литературных данных [6–8] и собственных лабораторных экспериментов [9]. Таким образом, для обработки были выбраны эпибрассинолид (ЭБ) в концентрации 10^{-5} и 10^{-6} моль/л, эпикастастерон (ЭК) и его конъюгат с янтарной кислотой – тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастастерона (СК), имеющие концентрацию активного вещества 10^{-8} и 10^{-10} моль/л. Используемые в работе БС были синтезированы в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

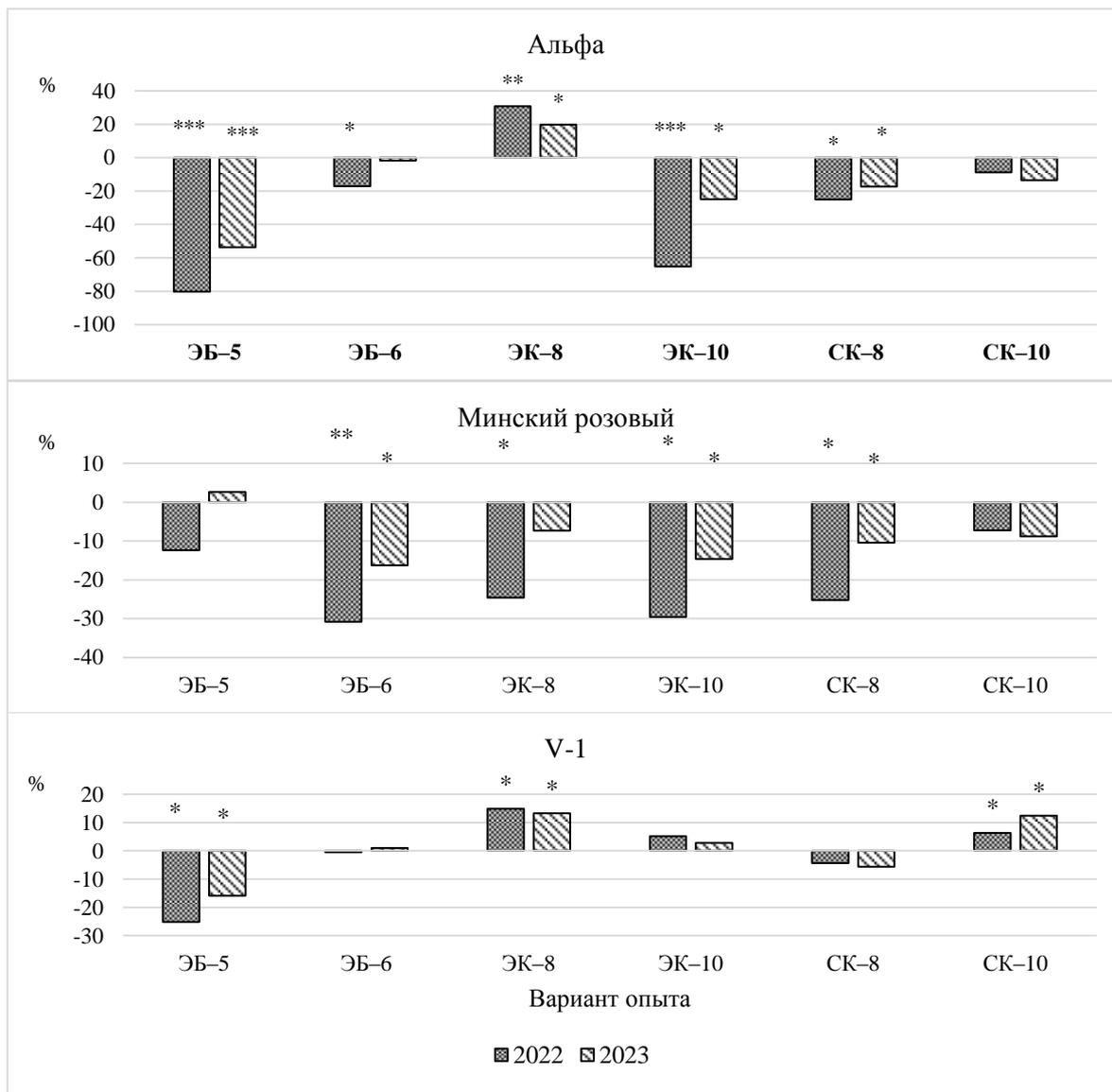
Согласно имеющимся литературным данным [10], обработку плодов винограда путем их опрыскивания ведут на последней стадии созревания (на стадии V (англ. *veraison*) до наступления стадии N (плоды достигли технической спелости и готовы к съему). Таким образом, для каждого тест-объекта были определены индивидуальные сроки обработки и сбора. Фенологические стадии созревания плодов винограда определяли по классификации, предложенной Institut Francais de la Vigne et du Vin (Франция) [11]. Сбор обработанных гроздей винограда, а также контрольных образцов (образотаны дистиллированной водой) проводили до первых заморозков. В день сбора ягоды винограда сепарировали, получали сок, который далее использовали для биохимического анализа. Пробоподготовку каждого из сортообразцов проводили в трехкратной повторности.

Определение общего содержания фенольных соединений (ОСФС) проводили методом микроанализа, разработанного на основе классического метода *Folin-Ciocalteu*, который в настоящее время является стандартным и входит в перечень системы *ISO* [12]. Определение общего количества антоцианов (ОКА) в виноградном соке проводили по методу, описанному М. М. Giusti и R. E. Wrolstad [13] и основанному на особенности антоцианов влиять на батохромный эффект в зависимости от pH среды, который позволяет измерить количество антоцианов даже при наличии как деградированных полимерных пигментов, так и других экранирующих соединений. Антиоксидантную

активність (АОА) определяли по методу АВТС [14]. Данный метод основан на блокировке долгоживущего окрашенного катион-радикала 2,2'-азинобис(3-этил-2,3-дигидро-6-бензотиазолин)-сульфокислоты, который обесцвечивается (блокируется) при добавлении исследуемого образца. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программы Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

В нашем исследовании ОСФС в контрольных сортообразцах винограда варьировало от 431,157 до 797,017 мг ГК/л (2022 г.) и от 465,569 до 778,018 мг ГК/л (2023 г.) и снижалось в следующей последовательности: Минский розовый > V-1 > Альфа (рисунок 1).



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;
 ** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

ЭБ-5, ЭБ-6 – эбибрасинолид в концентрациях 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – эпикастастерон в концентрациях 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетрасукуцинат 24-эпикастастерона в концентрациях 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно

Рисунок 1 – Изменение общего содержания фенольных соединений в плодах винограда под действием brassinosteroidов (относительно контроля)

Для плодов винограда сортов Альфа при действии ЭБ в оба года исследования отмечено снижение ОСФС: в 2022 г. в среднем на 48,68 %, в 2023 г. – на 53,6 % (только при обработке ЭБ в концентрации 10^{-5} моль/л). Также закономерное снижение ОСФС отмечено при экзогенном действии 10^{-10} М (в 2022 г. на 65,3 % по сравнению с контрольным образцом, а в 2023 г. – на 24,9 %) и его конъюгата в концентрации 10^{-8} моль/л (в 2022 г. отмечено снижение параметра на 25,14 %, а в 2023 г. – на 17,4 %). Положительный отклик плодов винограда сорта Альфа при экзогенном действии БС отмечен только для 10^{-8} М ЭК: в первый год наблюдений повышение параметра составило 30,7 % относительно контроля, во второй год – 19,8 %.

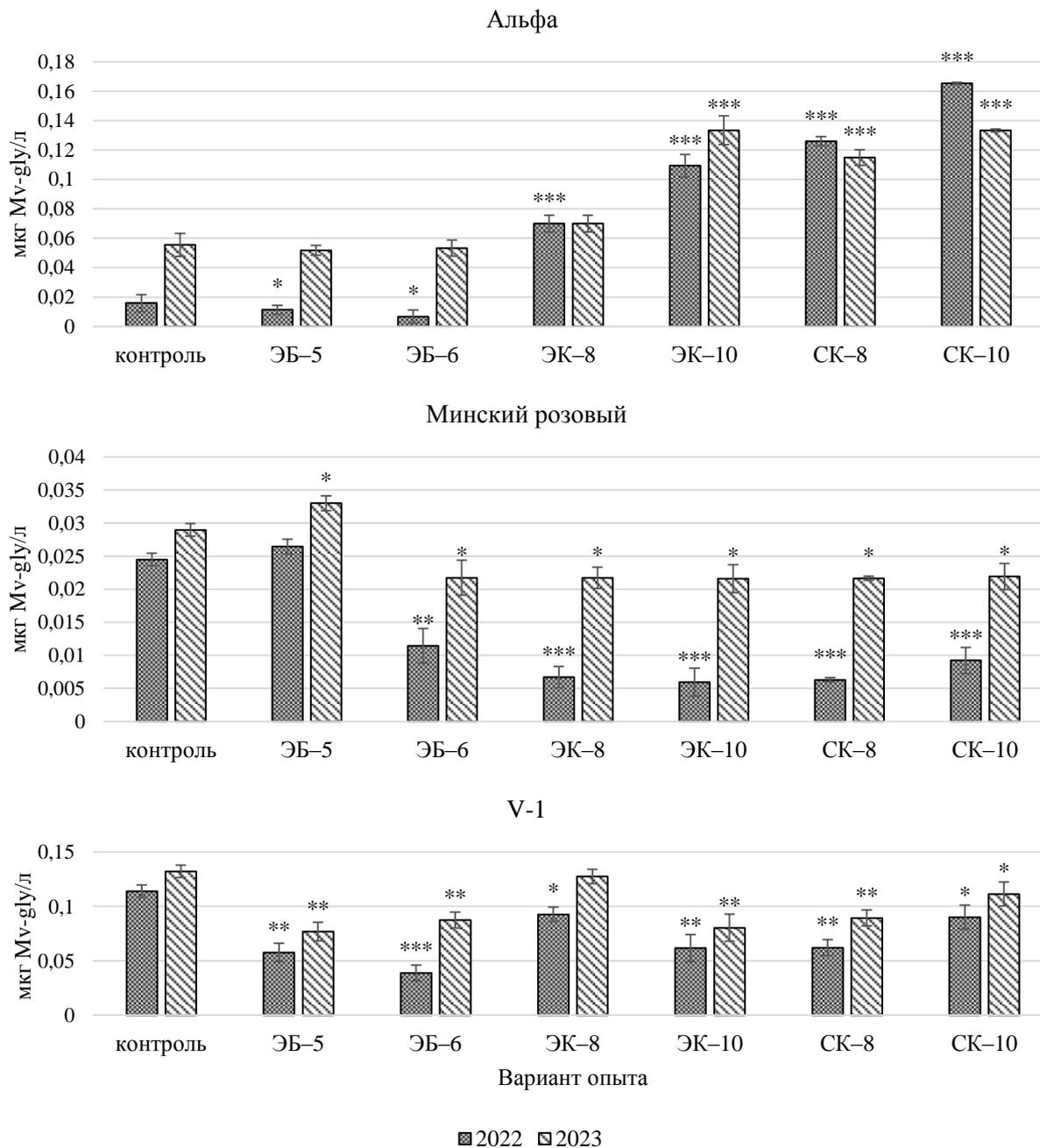
По результатам проведенных исследований выявлено только снижение ОСФС в плодах винограда сорта Минский розовый при действии БС. Так, обработка ЭБ в концентрации 10^{-6} моль/л снижает значение содержания ФС на 30,8 % в первый год исследования и 16,3 % во второй год. ЭК в 2022 г. в среднем снижает ОСФС на 27,1 %, в 2023 г. снижение параметра составило 14,6 % при действии раствора с концентрацией ЭК 10^{-10} моль/л. Обработка конъюгатом ЭК с янтарной кислотой с концентрацией действующего вещества 10^{-8} моль/л показала снижение параметра на 25,2 % (2022 г.) и 10,5 % (2023 г.).

Для сортообразца V-1 при действии ЭБ в концентрации 10^{-5} моль/л отмечается снижение значения ОСФС на 25,2 % (2022 г.) и 15,8 % (2023 г.). Повышение параметра для данного тест-объекта отмечается при действии раствора ЭК 10^{-8} М: в первый год исследования плюс к контролю составляет 14,9 %, во второй год – 13,3 %. Также незначительный рост ОСФС зафиксирован при действии СК в концентрации 10^{-10} моль/л: в 2022 г. параметр возрастает на 6,37 %, в 2023 г. – на 12,4 %. Стоит отметить, что данные результаты согласуются с результатами изменения общего содержания растворимых сахаров [15], так как при обработке винограда сортов Альфа и сортообразца V-1 фитогормонами закономерно возрастает содержание (накопление) сахаров, которые более не расходуются в шикиматном пути биосинтеза ФС [1], что приводит к их естественному снижению.

Таким образом, влияние исследуемых гормонов на ОСФС в плодах винограда носит сортоспецифичный характер. Установлено, что обработка ЭК в концентрации 10^{-8} М достоверно повышает ОСФС для плодов винограда сорта Альфа (в среднем на 25,25 %) и сортообразца V-1 (в среднем на 14,1 %), для сорта Минский розовый отмечено только снижение исследуемого параметра.

Все исследуемые сорта относятся к группе антоцианосодержащих сортов, и для них было оценено общее количество антоцианов (ОКА), результаты представлены на рисунке 2. Антоцианы относятся к тем компонентам винограда, которые больше всего подвержены влиянию климатических условий года [5], а особенно зависят от продолжительности светового дня. Согласно литературным данным, чем больше освещенность, тем большее содержание антоцианов выявлено в ягодах винограда. С другой стороны, самые высокие дневные температуры (порядка 35 °С) препятствуют образованию антоцианов. Важное значение имеют ночные температуры. При постоянной дневной температуре (25 °С) виноград оказывается тем больше богат антоцианами, чем ниже температуры ночью [5]. Таким образом, ягоды винограда не всегда успевают накопить необходимое их количество.

Содержание антоцианов в мкг мальвидин-3-О-глюкозида на л в 2022 г. варьировало от 0,016 до 0,114, в 2023 г. – от 0,0058 до 0,132 (рисунок 2). Обработка плодов БС имела очень видоспецифичный ответ, который также значительно отличался по годам. Так, при обработке плодов винограда сорта Альфа фитогормонами ЭК и его конъюгатом отмечена яркая динамика возрастания ОКА. В первый год исследования действие ЭК в двух исследуемых концентрациях вызывает возрастание параметра в среднем в 5,5 раза по сравнению с контролем, а для конъюгата – в среднем в 9 раз. Во второй год исследования возрастание параметра отмечено только при обработке ЭК в концентрации 10^{-10} моль/л, а его конъюгат опять продемонстрировал отличный результат в двух исследуемых концентрациях.



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;

** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

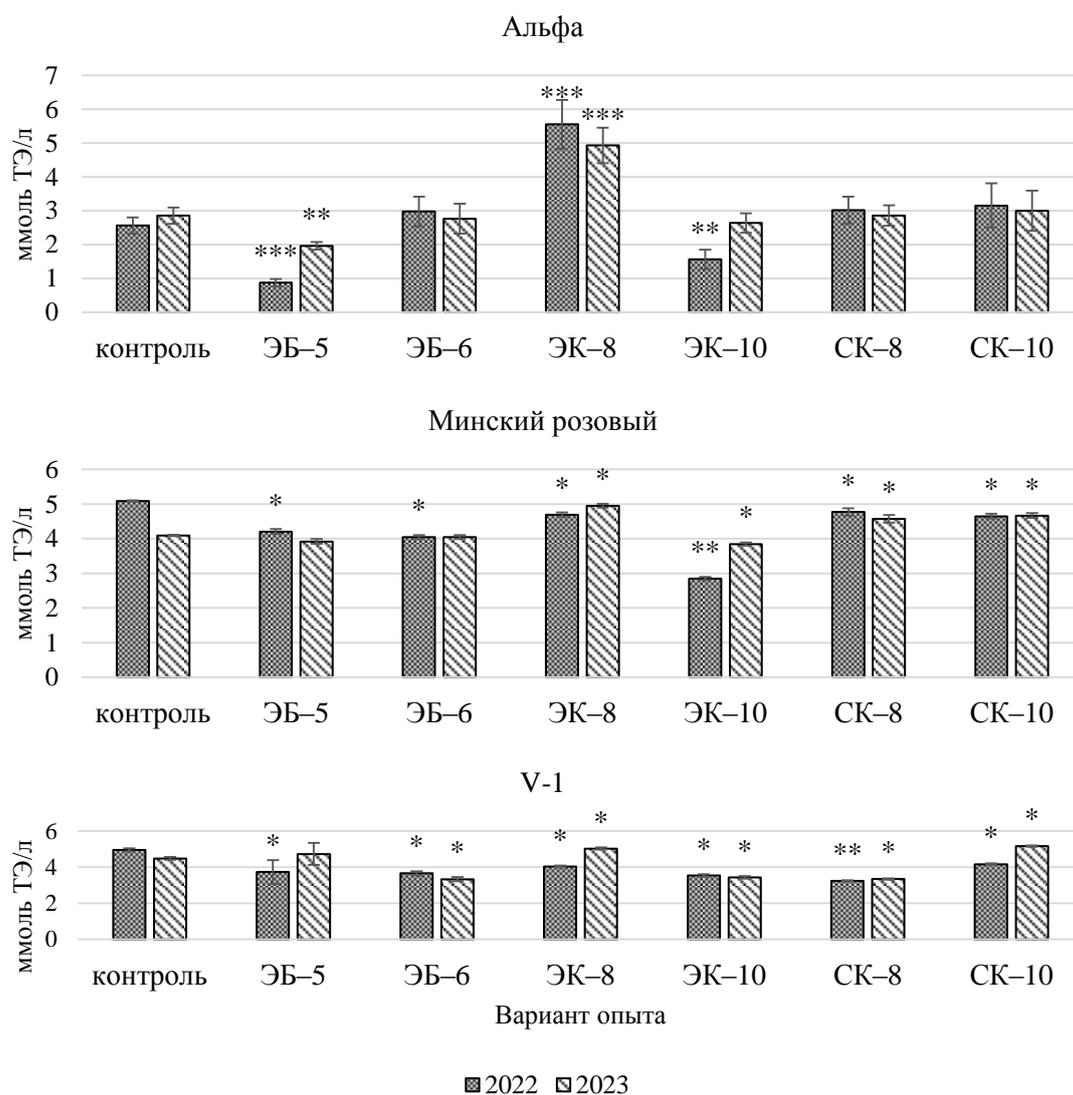
ЭБ-5, ЭБ-6 – этибрасинолид в концентрации 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – этикастастерон в концентрации 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетрасуцинат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л
 и 10^{-10} моль/л соответственно; Mv-gly – мальвидин-3-О-глюкозид

Рисунок 2 – Изменение общего количества антоцианов при обработке брасиностероидами

Для других тест-объектов V-1 и винограда сорта Минский розовый действие ЭК и СК вызывает только снижение ОКА. Так, для сортообразца V-1 снижение параметра при обработке ЭБ в среднем составляет 57,65 % (2022 г.) и 37,89 % (2023 г.), при действии ЭК показатели ОКА снижаются по сравнению с контролем в среднем на 32,23 % (2022 г.) и 39,23 % (2023 г.), а обработка СК снижает значение в среднем на 33,2 %

(2022 г.) и 24,1 % (2023 г.). При обработке плодов винограда сорта Минский розовый наблюдается сходная тенденция: обработка БС приводит только к снижению параметра относительно контроля. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о положительном ответе вследствие действия фитогормонов только со стороны сорта Альфа. Для сорта Минский розовый и сортообразца V-1 отмечено только существенное снижение ОКА. Предполагаем, что ингибирующее действие фитогормонов на данный параметр связано с необходимостью корректировки сроков обработки для каждого тест-объекта с целью получения положительного отклика от исследуемого параметра.

АОА плодов винограда находится в корреляционной зависимости от ОСФС [1]. АОА, оцененная методом АВТС, в первый год исследования составила 2,56–5,09 мм ТЭ/л и 2,85–4,09 мм ТЭ/л во второй год исследования для контрольных тест-объектов и снижалась в последовательности: Минский розовый > V-1 > Альфа (рисунок 3).



* – уровень значимости относительно контроля (P) $0,001 \leq P < 0,05$;
 ** – $0,001 \leq P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

ЭБ-5, ЭБ-6 – эпибрасинолид в концентрации 10^{-5} моль/л и 10^{-6} моль/л соответственно;
 ЭК-8, ЭК-10 – эпикастастерон в концентрации 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно;
 СК-8, СК-10 – тетраструкциат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-8} моль/л и 10^{-10} моль/л соответственно

Рисунок 3 – Изменение активности плодов винограда под действием brassinosterоидов

При анализе результатов мы наблюдаем согласованность в действии фитогормонов: ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л оказывает положительное действие на ОСФС для сорта Альфа, что также сказалось на возрастании АОА, которая возрастает в 2 раза по сравнению с контролем в первый год исследования, а во второй год регистрации результатов параметр возрастает на 72,82 % по сравнению с контролем.

Для остальных исследуемых веществ в отношении сорта Альфа отмечено только снижение параметра.

Заметное уменьшение АОА отмечено для сортообразца V-1 при действии всех исследуемых веществ: снижение АОА при действии ЭБ в среднем составляет 25,5 % (в первый и второй год исследования), ЭК – 23,6 % (2022 г.), а его конъюгата с янтарной кислотой – 25,35 % (2022 г.). Во второй год исследования отмечается рост АОА для данного тест-объекта.

Схожая тенденция наблюдается и для сорта Минский розовый: АОА при обработке ЭБ снижается в среднем на 19 %, значительное снижение параметра отмечено при действии ЭК в концентрации 10^{-10} М – на 44 % по отношению к контролю, при действии СК параметр снижается, но незначительно, достоверных различий с контролем не выявлено.

Данная закономерность, вероятно, вызвана тем, что обработка исследуемыми фитогормонами снижает ОСФС, что, как следствие, уменьшает АОА сока плодов сорта Минский розовый.

Таким образом, положительное действие фитогормонов на параметр АОА выявлено только для сорта Альфа. Для остальных объектов выявлено только уменьшение АОА сока плодов исследуемых сортов.

Заключение

В результате сравнительного исследования влияния экзогенной обработки ЭБ, ЭК, СК плодов винограда на некоторые биохимические параметры спелости установлен сортоспецифичный характер ответа со стороны выбранных тест-объектов. Так, ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л достоверно повышает ОСФС для плодов винограда сорта Альфа (в среднем на 25,25 %) и сортообразца V-1 (в среднем на 14,1 %), для сорта Минский розовый отмечено только снижение исследуемого параметра. ОКА при действии БС для тест-объектов Минский розовый и сортообразца V-1 существенно снижается в оба года исследования, а для сорта Альфа отмечается существенный рост параметра при действии ЭК и его конъюгата с янтарной кислотой: в среднем параметр возрастает в 5 раз. АОА для сорта Альфа закономерно возрастает (в среднем на 86 % относительно контроля) при действии ЭК в концентрации 10^{-8} моль/л вследствие возрастания ОСФС. Для сорта Минский розовый и сортообразца V-1 отмечается только снижение АОА, что вызвано ингибирующим действием фитогормонов на ОСФС.

Выявленная сортоспецифичность предполагает дальнейшее изучение влияния эпибрасинолида, эпикастастерона и его конъюгата с янтарной кислотой на других сортах винограда, как столовых, так и технических.

Авторы выражают благодарность академику, доктору биологических наук, профессору Владимиру Александровичу Хрипачу и доктору биологических наук, профессору Раисе Павловне Литвиновской за предоставленные препараты брасиностероидов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов : пер. с англ. / Г. Бриттон. – М. : Мир, 1986. – 422 с.

2. Lee, J.-H. Fruit Maturity and Juice Extraction Influences Ellagic Acid Derivatives and Other Antioxidant Polyphenolics in Muscadine Grapes / J.-H. Lee, S. T. Talcott // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – Vol. 52, nr 2. – P. 361–366.
3. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // *Symposium Viticulture end Oenologie «Wine Active Componaunds»*, 24–26 March 2011, Beaune, France. – IUVV, Bourgogne, 2011. – P. 307–308.
4. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // *Intern. J. Food Sci. Technology.* – 2006. – Vol. 41, (suppl. 1). – P. 1–9.
5. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
6. Phenotypic seedling responses of a metal-tolerant mutant line of sunflower growing on a Cu-contaminated soil series: potential uses for biomonitoring of Cu exposure and phytoremediation / A. Kolbas [et al.] // *Plant and Soil.* – 2014. – Nr 376. – P. 377–397.
7. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.]. – Брест : Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, 2019. – 261 с.
8. Синтез тетрагемисукцинатов брассиностероидов и их влияние на начальный рост растений ярового ячменя / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Биоорган. химия.* – 2022. – Т. 48, № 3. – С. 352–356.
9. Василевская, А. В. Изменение морфометрических параметров подсолнечника однолетнего при действии эпикастатстерона и его конъюгата [Электронный ресурс] / А. В. Василевская, М. В. Русавук // *Культурная и дикорастущая флора Белорусского Полесья : электрон. сб. материалов Респ. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов и аспирантов.* – Брест : БрГУ, 2022. – С. 38–41.
10. Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» berries during veraison / F. Xu [et al.] // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2015. – Vol. 94. – P. 197–208.
11. Handbook of enology [Traité d’oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 1 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – P. 244.
12. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry.* – 2002. – II.1.1–II.1.8.
13. Giusti, M. M. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy / M. M. Giusti, R. E. Wrolstad // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry.* – 2001. – F1.2.1–F1.2.13.
14. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // *Free Radical Biology and Medicine.* – 1999. – Vol. 26, nr 9/10. – P. 1231–1237.
15. Василевская, А. В. Сравнительная оценка ампелографических показателей и индекса спелости плодов *Vitis* L. при обработке брассиностероидами / А. В. Василевская, Н. Ю. Колбас // *Вестн. фонда фундам. исслед.* – 2024. – № 3 (109). – С. 123–132.

REFERENCES

1. Britton, G. Biokhimija prirodny'kh pigmentov : pier. s angl. / G. Britton. – М. : Mir, 1986. – 422 s.

2. Lee, J.-H. Fruit Maturity and Juice Extraction Influences Ellagic Acid Derivatives and Other Antioxidant Polyphenolics in Muscadine Grapes / J.-H. Lee, S. T. Talcott // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, nr 2. – P. 361–366.
3. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symposium Viticulture end Œnologie «Wine Active Componaunds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – IUVV, Bourgogne, 2011. – P. 307–308.
4. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chornyi (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Intern. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, (suppl. 1). – P. 1–9.
5. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 2 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – 444 p.
6. Phenotypic seedling responses of a metal-tolerant mutant line of sunflower growing on a Cu-contaminated soil series: potential uses for biomonitoring of Cu exposure and phytoremediation / A. Kolbas [et al.] // Plant and Soil. – 2014. – Nr 376. – P. 377–397.
7. Biologichieskaja aktivnost' brassinosteroidov i steroidny'kh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.]. – Brest : Brest. gos. un-t im. A. S. Pushikna, 2019. – 261 s.
8. Sintez tietragemisukcinatov brassinosteroidov i ikh vlijanije na nachal'ny'j rost rastienij jarovogo jachmienia / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Bioorgan. khimija. – 2022. – T. 48, № 3. – S. 352–356.
9. Vasilievskaja, A. V. Izmienienije morfometričieskikh parametrov podsolniechnika odnolietniego pri diejstvii epikastatsterona i jego konjugata [Eliكتروny'j riesurs] / A. V. Vasilievskaja, M. V. Rusavuk // Kul'turnaja i dikorastushchaja flora Bielorussskogo Polies'ja : eliektron. sb. materialov Riesp. nauch.-prakt. konf. studentov, magistrantov i aspirantov. – Brest : BrGU, 2022. – S. 38–41.
10. Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» berries during veraison / F. Xu [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2015. – Vol. 94. – P. 197–208.
11. Handbook of enology [Traité d'oenologie. English] / P. Ribéreau-Gayon [et al.]. – West Sussex : John Wiley & Sons Ltd., 2006. – Vol. 1 : The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. – p. 244.
12. Waterhouse, A. L. Determination of Total Phenolics / A. L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – II.1.1–II.1.8.
13. Giusti, M. M. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy / M. M. Giusti, R. E. Wrolstad // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2001. – F1.2.1–F1.2.13.
14. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 26, nr 9/10. – P. 1231–1237.
15. Vasilievskaja, A. V. Sravnitel'naja ocenka ampielografichieskikh pokazatieliej i indeksa spielosti plodov *Vitis* L. pri obrabotkie brassinosteroidami / A. V. Vasilievskaja, N. Yu. Kolbas // Viestn. fonda fundam. isslied. – 2024. – № 3 (109). – S. 123–132.