

УДК 581:576.5:634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-93-107

**РОЛЬ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ
В АДАПТАЦИИ *VITIS L.*
К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ***

Киселева Галина Константиновна
канд. биол. наук
старший научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru

Ильина Ирина Анатольевна
д-р техн. наук, профессор
заместитель директора по науке
e-mail: kubansad@kubannet.ru

Соколова Виктория Викторовна
канд. с.-х. наук
заведующая научно-образовательным
сектором
e-mail: KudryshovaVV@yandex.ru

Запорожец Наталья Михайловна
канд. с.-х. наук
учёный секретарь
e-mail: nat_zaporozhec@mail.ru

Хохлова Анна Александровна
канд. биол. наук
научный сотрудник
центра коллективного пользования
высокотехнологичным оборудованием
e-mail: anemona2009@yandex.ru

Схаляхо Татьяна Вячеславовна
младший научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: tShalyho@mail.ru

UDC 581:576.5:634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-93-107

**ROLE OF ASCORBIC ACID
IN ADAPTATION OF *VITIS L.*
TO LOW TEMPERATURES***

Kiseleva Galina Konstantinovna
Cand. Biol. Sci.
Senior Research Associate
of Plant of Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru

Irina Irina Anatolyevna
Dr. Tech. Sci., Professor
Deputy Chief for Science
e-mail: kubansad@kubannet.ru

Sokolova Viktoria Viktorovna
Cand. Agr. Sci.
Head of Scientific Educational
Sector
e-mail: KudryshovaVV@yandex.ru

Zaporozhets Natalia Mikhailovna
Cand. Agr. Sci.
Scientific Secretary
e-mail: nat_zaporozhec@mail.ru

Khokhlova Anna Aleksandrovna
Cand. Biol. Sci.
Research Associate
of Center for Collective Use
of Scientific Equipment Use
e-mail: anemona2009@yandex.ru

Shalyakho Tatiana Vyacheslavovna
Junior Research Associate
of Plant of Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: tShalyho@mail.ru

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-44-230021p_a

* The reported study was funded by RFBR and Krasnodar Territory Administration according to the research project № 19-44-230021 r_a

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

Оценка устойчивости винограда к низким отрицательным температурам актуальна в связи с усиливающейся нестабильностью климата в Анапо-Таманской зоне виноградарства. Важным метаболитом, связанным с устойчивостью к низким температурам, является аскорбиновая кислота. Цель данной работы – провести сравнительные исследования сортов винограда различного эколого-географического происхождения по динамике содержания аскорбиновой кислоты в условиях осенне-зимнего периода и выделить сорта с повышенной устойчивостью к низким температурам по этому показателю. Объекты исследований – сорта винограда различного эколого-географического происхождения: Кристалл (контроль) – евро-амуро-американского происхождения; Красностоп АЗОС, Достойный – евро-американского происхождения; Восторг – амуро-американского происхождения; Зариф – восточного происхождения; Алиготе – западно-европейского происхождения. Обнаружено, что в течение осенне-зимнего периода в почках винограда происходило накопление аскорбиновой кислоты. Наибольшее ее увеличение отмечено у сортов Достойный и Красностоп АЗОС – в 3,6 и 3,9 раз соответственно, у других изучаемых сортов это увеличение было в 1,2-2,9 раз. После искусственного промораживания наименьшие повреждения клеточных мембран, определяемые по накоплению малонового диальдегида (МДА) отмечены у сорта Красностоп АЗОС – увеличение содержания в 1,09 раз. Следующие по устойчивости следовали сорта Кристалл и Достойный – увеличение уровня МДА в 1,15 и 1,36 раз соответственно. У других изучаемых сортов, выделенных как неустойчивые,

*Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

Evaluation of grape resistance to low negative temperatures is relevant in connection with the increasing climate instability in the Anapo-Taman viticulture zone. An important metabolite associated with resistance to low temperatures is ascorbic acid. The purpose of this work is to conduct a comparative study of grape varieties of different ecological and geographical origin in terms of the dynamics of ascorbic acid content in the autumn-winter period and to identify varieties with increased resistance to low temperatures in terms of this indicator. The objects of research are grape varieties of various ecological and geographical origin: Kristall (control) – Euro-Amur-American origin; Krasnostop AZOS, Dostoynyi – Euro-American origin; Vostorg – Amur-American origin; Zarif – Eastern origin; Aligote – Western European origin. It was found that during the autumn-winter period in the buds of grapes there was an accumulation of ascorbic acid. Its greatest increase was noted in the varieties Dostoynyi and Krasnostop AZOS – 3.6 and 3.9 times, respectively, in other studied varieties, this increase was 1.2-2.9 times. After artificial freezing, the least damage of cell membranes, determined by the accumulation of malondialdehyde (MDA), was noted in the Krasnostop AZOS variety – an increase in the content by 1.09 times. The varieties Kristall and Dostoynyi were next in terms of resistance – an increase in the level of MDA by 1.15 and 1.36 times, respectively. In other studied varieties, identified as unstable, this increase was 2.2-2.93 times. In varieties Krasnostop AZOS, Kristall,

это увеличение было в 2,2-2,93 раз. У сортов Красностоп АЗОС, Кристалл, Достойный после промораживания увеличивалось содержание АК – на 6,7-9,6 %, то есть аскорбиновая кислота выполнила роль низкомолекулярного антиоксиданта в подавлении развития окислительного стресса. По содержанию и накоплению аскорбиновой кислоты в почках сорт Красностоп АЗОС выделен как наиболее устойчивый к экстремально пониженным температурам. Далее по устойчивости следовали сорта Достойный, Кристалл. Содержание аскорбиновой кислоты в почках винограда в может использоваться как диагностический критерий при отборе морозостойких сортов в селекционных целях.

Ключевые слова: ВИНОГРАД, НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ИСКУССТВЕННОЕ ПРОМОРАЖИВАНИЕ, МАЛОНОВЫЙ ДИАЛЬДЕГИД, АСКОРБИНОВАЯ КИСЛОТА

Dostoynyi after freezing, the content of AA increased – by 6.7-9.6%, i.e. ascorbic acid played the role of a low molecular weight antioxidant in suppressing the development of oxidative stress. According to the content and accumulation of ascorbic acid in the buds, the Krasnostop AZOS variety was identified out as the most resistant to extremely low temperatures. Next in terms of resistance were the varieties Dostoynyi, Kristall. The content of ascorbic acid in grape buds can be used as a diagnostic criterion in the selection of frost-resistant varieties for breeding purposes.

Key words: GRAPES, LOW TEMPERATURES, RESISTANCE, ARTIFICIAL FREEZING, MALONIC DIALDEHYDE, ASCORBIC ACID

Введение. Раскрытие механизмов адаптации виноградного растения к низким температурам является актуальным научным направлением в вопросах изучения негативного влияния нестабильных климатических условий на ампелоценозы [1-3]. К важным этапам решения данных вопросов относится мониторинг физиологических процессов в виноградной лозе, среди которых особое место занимает динамика содержания аскорбиновой кислоты.

Аскорбиновая кислота (АК) – это важнейшее полифункциональное соединение, которое затрагивает практически все стороны жизнедеятельности растений – фотосинтез, дыхание, водный режим, регуляцию ферментативной активности, процессы цветения, деления клеток и их дифференциацию, защитные реакции растений и др. [4, 5].

Исследования физиологических функций аскорбиновой кислоты сфокусированы на роли этого соединения как антиоксиданта. АК обладает способностью непосредственно взаимодействовать с активными формами кислорода (АФК), синглетным кислородом и пероксидом водорода, выступать

в роли восстановителя при обезвреживании пероксида водорода пероксидами и участвовать в восстановлении других низкомолекулярных антиоксидантов [6, 7].

В научной литературе представлен большой объем результатов исследований, свидетельствующих о значительной роли аскорбиновой кислоты в защитных реакциях клеток растений от окислительных повреждений под воздействием стрессоров [4-8]. Так, например, АК накапливалась в растениях эвкалипта для нивелирования окислительного стресса при воздействии низких температур [9], а у чая и винограда при воздействии высоких температур и засухи [10, 11].

Помимо основной антиоксидантной, известны другие функции АК. Это вещество играет важную роль в процессах роста и развития растений – обеспечивает дружное и более быстрое прорастание семян у пшеницы, овса, кукурузы, кунжута и других растений; активирует рост гипокотилия и корней, пазушных побегов; ускоряет рост проростков люпина, ячменя и помидоров, семядоли которых были удалены после прорастания. Важным является то, что стимулирующее действие АК на ростовые процессы для каждого вида и сорта растений проявляется в строго определенных концентрациях. Так, обработка семян яровой пшеницы АК в концентрации 0,01 % стимулировала ростовые процессы, а в концентрации 0,1 % – подавляла их [5].

АК выполняет важные защитные функции, при ее участии формируется устойчивость растений ко многим неблагоприятным воздействиям: к повышенной и пониженной температурам, засухе, радиации, вирусной и бактериальной инфекции и т.д. Показано, что при обработке листьев винограда АК повышалась устойчивость к засухе [12].

В ряде работ показана роль АК в формировании зимостойкости плодовых культур и злаков, зимостойкие сорта которых накапливали больше АК, чем менее зимостойкие. Так, в результате воздействия низких отрица-

тельных температур в тканях однолетних побегов у зимостойких сортов яблони увеличивалось содержание аскорбиновой кислоты [13]. Имеются сведения о повышении ее содержания у растений ржи при низкотемпературной адаптации [14], у холодоустойчивых генотипов нута в сравнении с неустойчивыми [15], у риса и ячменя [16, 17].

Большое количество работ посвящено исследованию действия АК на иммунные свойства растений. Так, в листьях виноградной лозы, восприимчивых к антракнозу, обнаружено повышенное содержание АК при высокой активности антиоксидантных ферментов [5]. Учитывая результаты цитированных выше работ, содержание и накопление аскорбиновой кислоты может служить диагностическим признаком, характеризующим устойчивость растений к пониженным температурам.

Цель представленных исследований – выделить сорта винограда различного эколого-географического происхождения с повышенной устойчивостью к низким температурам на основе установления динамики изменения содержания аскорбиновой кислоты в условиях осенне-зимнего периода, как одного из адаптационных механизмов растений винограда.

Объекты и методы исследований. Исследования проведены в осенне-зимний период 2020-2022 гг. на базе ампелографической коллекции ФГБНУ СКФНЦСВВ в г. Анапа. Растения винограда 1995 года посадки, подвой Кобер 5ББ. Формировка – двусторонний высокоштабный спиральный кордон АЗОС. Схема посадки 3 × 2,5 м, почва – чернозем южно-карбонатный.

Объекты исследований: межвидовые гибриды винограда различного эколого-географического происхождения: Кристалл (контроль) – евро-амуро-американского происхождения; Достойный, Красностоп АЗОС – евро-американского происхождения; Восторг – амуро-американского про-

исхождения; Зариф – восточного происхождения; Алиготе – западно-европейского происхождения.

Физиолого-биохимические показатели определяли в почках (глазках) и однолетних побегах винограда (лозе). Для исследований отбирали по 10 побегов и по 5 почек каждого сорта в трех повторностях.

Перед искусственным промораживанием побегов их выдерживали в холодильной камере при температуре +4 °С в течение 5 дней. Промораживание проводили в морозильной камере Gronland в течение 24 часов при температуре -20 °С с последующим выдерживанием побегов при температуре +4 °С в течение 5 дней по методике, использованной ранее [2]. Содержание малонового диальдегида определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) согласно методике [18].

Содержание аскорбиновой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 104Р по методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью прямого детектирования поглощающих компонентов пробы [19]. Исследования проведены на приборном обеспечении Центра коллективного пользования технологичным оборудованием по направлениям: геномные и постгеномные технологии, физиолого-биохимические и микробиологические исследования; почвенные, агрохимические и экотоксикологические исследования; пищевая безопасность.

Статистический анализ проводили по Б.А. Доспехову [20]. Расчеты выполняли с использованием программного пакета Microsoft Excel 2010.

Обсуждение результатов. Устойчивость виноградного растения к низким температурам формируется осенью – в период закаливания. В это время, совместно с обезвоживанием клеток, идут физиолого-биохимические преобразования различного характера протоплазмы, накопление и превра-

щение углеводов и др. соединений, задействованных в защитных механизмах, направленные на повышение устойчивости клеток растения к холоду. Метеорологические условия осеннего периода, сопровождавшиеся постепенным снижением температуры воздуха, способствовали этим процессам. В осенне-зимний период 2020-2021 гг. минимальные температуры воздуха изменялись с +14 °С в сентябре до -10 °С в январе и феврале. В осенне-зимний период 2021-2022 гг. эта динамика была соответствующей: с +9 °С в сентябре до -8 °С в декабре.

Среднемесячное количество осадков в осенне-зимний период 2020-2021 г. составляло 33-154 мм; в 2021-2022 гг. – 49-127 мм (рис. 1).



Рис. 1. Метеорологические условия на участке произрастания винограда (ампелографическая коллекция АЗОСВиВ, г. Анапа)

В проведенных нами исследованиях минимальное содержание аскорбиновой кислоты в почках винограда обнаружено в ноябре и составляло 1,38-2,85 мкг/г сырого веса. В последующие зимние месяцы исследований под влиянием понижающихся температур ее содержание имело тенденцию

к увеличению, в январе оно составляло 2,20-4,70 мкг/г сырого веса, в феврале 3,10-6,00 мкг/г сырого веса в зависимости от сорта. Увеличение содержания аскорбиновой кислоты под действием низких температур обнаружено у многих растений, причем в большей степени у холодоустойчивых генотипов. Аналогичный факт наблюдали у ржи и пшеницы при низкотемпературной адаптации [14, 15].

В наибольшей степени содержание аскорбиновой кислоты с ноября по февраль увеличилось в почках сортов Достойный и Красностоп АЗОС – в 3,6 и 3,9 раз соответственно (рис. 2). В связи с этим их можно выделить как устойчивые к пониженным температурам.

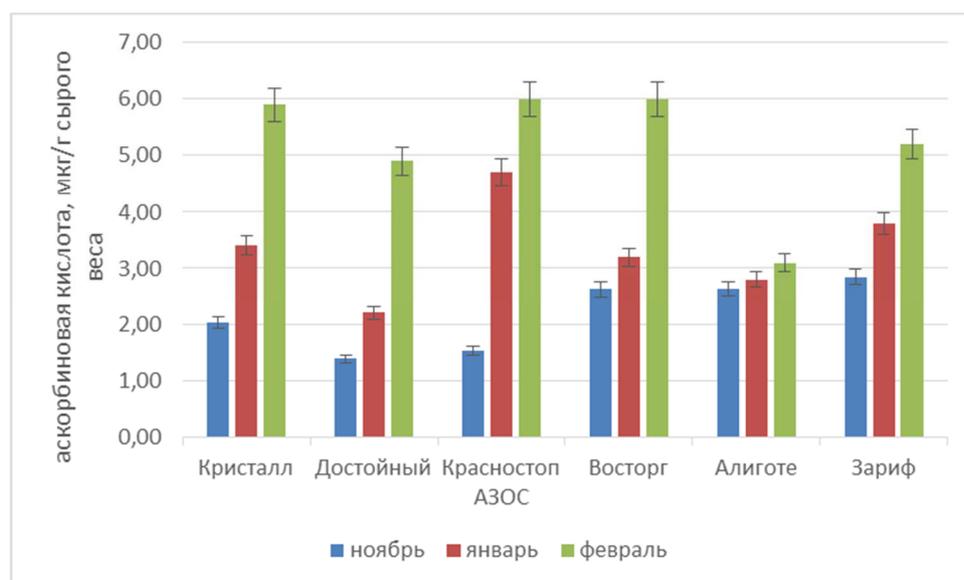


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты в почках винограда (средние показатели за 2020-2022 гг.)
НСР_{0,5}: ноябрь – 2,23; январь – 1,44; февраль – 2,82.

В виноградной лозе содержание аскорбиновой кислоты изменялось не столь выражено, в отличие от почек. Ее максимальное увеличение наблюдали в 1,2-1,4 раз у сортов Кристалл и Красностоп АЗОС (рис. 3).

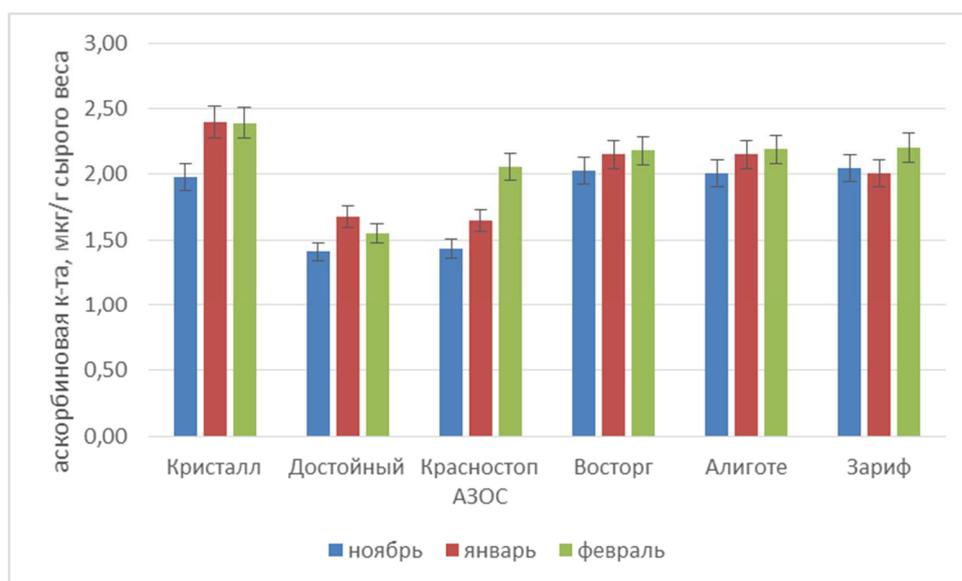


Рис. 3. Содержание аскорбиновой кислоты в лозе винограда (средние показатели за 2020-2022 гг.)
НСР_{0,5}: ноябрь – 2,34; январь – 0,51; февраль – 1,57.

Почки, в отличие от побегов винограда, более уязвимы к низким температурам, поэтому они стали объектом дальнейших исследований. Естественные морозы дают наглядную информацию о повреждении винограда низкими температурами, но стрессы зимнего периода такого характера случаются нечасто. Метод искусственного промораживания позволяет имитировать критические низкие температуры зимнего периода и дает ценную информацию для изучения морозостойкости растений.

В январе, когда проявляется максимальная морозостойкость сорта, проводили эксперимент по искусственному промораживанию. Известно, что после воздействия низкотемпературного стресса в первую очередь повреждается мембранная система клеток, активируется перекисное окисление липидов (ПОЛ). Интенсивность ПОЛ определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) – продукта деградации полиненасыщенных жирных кислот в мембранах клеток под воздействием активных форм кислорода, характеризующего степень повреждающего низкотемпературного воздействия.

Отмечено, что до проведения промораживания винограда, конститутивное содержание малонового диальдегида в зависимости от сорта варьировало от 1,27 до 2,13 мкМоль/г сырого веса (рис. 4).

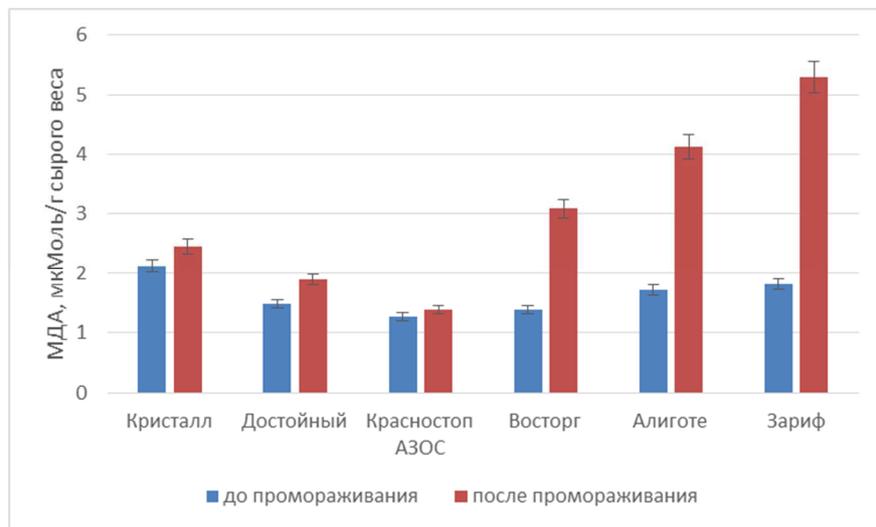


Рис. 4. Содержание МДА в почках виноградного растения при искусственном промораживании в январе 2022 г. $НСР_{0,5}$: до промораживания – 1,82; после промораживания – 1,27.

После проведения искусственного промораживания максимальное повышение уровня МДА установлено у сортов винограда Восторг, Алиготе, Зариф, что свидетельствует о наибольшем повреждении клеточных мембран у этих сортов винограда. У сорта Восторг содержание МДА увеличилось в 2,24 раз, у сорта Алиготе – в 2,42 раз, у сорта Зариф – в 2,93 раз.

У других изучаемых сортов винограда концентрация данного вещества увеличивалась в 1,09-1,28 раз. Наименьшие повреждения клеточных мембран отмечены у сорта винограда Красностоп АЗОС (содержание МДА увеличилось в 1,09 раз). Следующие по устойчивости сорта винограда – Кристалл и Достойный – увеличение уровня МДА в 1,15 и 1,36 раз соответственно. Аналогичное увеличение содержания МДА после воздействия низких экстремальных температур наблюдали у многих растений (пшеницы, нута, риса, ячменя) [14-17].

В проведенных нами исследованиях содержание аскорбиновой кислоты в почках винограда до промораживания составляло 2,30-4,50 мкг/г сырого веса в зависимости от сорта (рис. 4).

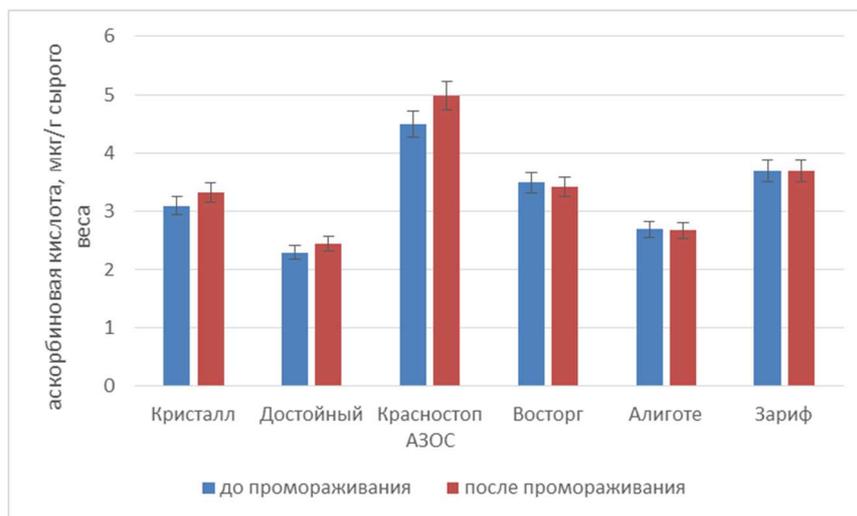


Рис. 5. Содержание аскорбиновой кислоты в почках винограда при искусственном промораживании в январе 2022 г.
НСР_{0,5}: до промораживания – 2,51; – после промораживания – 0,54.

После промораживания у сортов Алиготе, Зариф содержание аскорбиновой кислоты почти не изменилось, у Восторг незначительно снизилось, а у Кристалл, Достойный, Красностоп АЗОС увеличилось. У сорта Кристалл это увеличение было на 6,7 %, у Достойный – на 6,1 %, у Красностоп АЗОС – 9,6 %.

Итак, АК сыграла важную роль в детоксикации активных форм кислорода и, как низкомолекулярный антиоксидант, стала важным участником защитного ответа на низкотемпературный стресс у сортов Кристалл, Достойный, Красностоп АЗОС.

Подобный факт наблюдали у растений ячменя при воздействии низких температур, у которого отмечалось увеличение не только восстановленного аскорбата, но и общего, что свидетельствует о возможности не только

восстановления окисленной формы аскорбата, но и его синтеза *de novo* в таких условиях [14].

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что в течение осенне-зимнего периода в почках винограда происходило накопление аскорбиновой кислоты. Наибольшее ее увеличение отмечено у сортов Достойный и Красностоп АЗОС – в 3,6 и 3,9 раз соответственно, у других изучаемых сортов это увеличение было в 1,2-2,9 раз.

После искусственного промораживания наименьшие повреждения клеточных мембран, определяемые по накоплению малонового диальдегида (МДА) отмечены у сорта Красностоп АЗОС – увеличение содержания в 1,09 раз. Следующие по устойчивости следовали сорта Кристалл и Достойный – увеличение уровня МДА в 1,15 и 1,36 раз соответственно. У других изучаемых сортов, выделенных как неустойчивые, это увеличение было в 2,2-2,93 раз. У сортов с наименьшими повреждениями мембран (Красностоп АЗОС, Кристалл и Достойный) после стрессового воздействия увеличивалось содержание АК: у сорта Кристалл – на 6,7 %, у Достойный – на 6,1 %, у Красностоп АЗОС – на 9,6 %. Показано, что у сортов Кристалл, Достойный, Красностоп АЗОС аскорбиновая кислота выполнила роль низкомолекулярного антиоксиданта в подавлении развития окислительного стресса.

Итак, по накоплению аскорбиновой кислоты в течение осенне-зимнего периода, а также повышению ее синтеза в ответ на искусственный низкотемпературный стресс (промораживание) сорт Красностоп АЗОС выделен как наиболее устойчивый к экстремально пониженным температурам. Далее по устойчивости следовали сорта Достойный, Кристалл. Установлено, что содержание и накопление АК в почках винограда в зимний период может использоваться как диагностический критерий при отборе морозостойких сортов в селекционных целях.

Литература

1. Kiseleva G., Ilina I., Sokolova V., Zaporozhets N. Adaptation mechanisms of grape varieties in unstable climatic conditions of the autumn-winter period // International Scientific and Practical Conference “Innovative Technologies in Agriculture” (ITIA 2022), BIO Web of Conferences. 2022. № 47. P. 06003 DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224706003>
2. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ильина И.А., Петров В.В., Запорожец Н.М., Соколова В.В. Морозостойкость сортов винограда различного эколого-географического происхождения // Садоводство и виноградарство. 2021. № 4. С. 37-42 <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>
3. Оценка зимостойкости сортов винограда в Анапо-Таманской зоне / Н.И. Ненько [и др.] // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. Т. 25. Краснодар: СКФНЦСВВ, 2019. С. 134-139.
4. Zhang Y. Biological role of ascorbate in plants. In: Ascorbic acid in plants. Springer Briefs in Plant Science. New York: Springer; 2013. P. 7-33 DOI: 10.1007/978-1-4614-4127-4_7
5. Чухахина Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений: Монография. Калининград, 1997. 120 с.
6. Kaur R., Nayyar H. Ascorbic acid a potent defender against environmental stresses // Oxidative Damage to Plants Antioxidant Networks and Signaling / Ed. P. Ahmad. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. P. 235-287.
7. El-Beltagi H. S., Mohamed H. I., Sofy M. R. Role of ascorbic acid, glutathione and proline applied as singly or in sequence combination in improving chickpea plant through physiological change and antioxidant defense under different levels of irrigation intervals // Molecules. 2020. №. 25 (7). P. 1702.
8. Ishikawa T. et al. Biosynthesis and regulation of ascorbic acid in plants // Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants. Springer, Cham, 2018. P. 163-179.
9. Oberschelp G. P. J. et al. Harder, better, faster, stronger: Frost tolerance of *Eucalyptus benthamii* under cold acclimation // Plant Physiology and Biochemistry. 2022. № 186. P. 64-75
10. Платонова Н. Б. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в свежих листьях чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) произрастающего во влажных субтропиках России // IX Съезд общества физиологов растений России «Физиология растений-основа создания растений будущего». 2019. С. 352-352.
11. Zeng G. et al. Characterization of 24-epibrassinolide-mediated modulation of the drought stress responses: Morphophysiology, antioxidant metabolism and hormones in grapevine (*Vitis vinifera* L.) // Plant Physiology and Biochemistry. 2022. № 184. P. 98-111 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.019>
12. Zonouri M., Javadi T., Ghaderi N. Effect of foliar spraying of ascorbic acid on cell membrane stability, lipid peroxidation, total soluble protein, ascorbate peroxidase and leaf ascorbic acid under drought stress in grapes // International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2014. № 2. №. 42. P. 349-354.
13. Красова Н. Г. Адаптивный потенциал сортов яблони // Садоводство и виноградарство. 2015. № 3. С. 38-45.
14. Колупаев Ю. Е., Горелова Е. И., Ястреб Т. О. Механизмы адаптации растений к гипотермии: роль антиоксидантной системы // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія. 2018. № 1. С. 6-33.
15. Kumar S., Malik J., Thakur P., Kaistha S., Sharma K.D., Upadhyaya H.D. Growth and metabolic responses of contrasting chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to chilling stress at reproductive phase // Acta Physiol. Plant. 2011. № 33. P. 779-787.

16. Huang M., Guo Z. Responses of antioxidant system to chilling stress in two rice cultivars differing in sensitivity // *Plant Biol.* 2005. № 49. P. 81-84.

17. Dai F., Huang Y., Zhou M., Zhang G. The influence of cold acclimation on antioxidative enzymes and antioxidants in sensitive and tolerant barley cultivars // *Plant Biol.* 2009. № 53. P. 257-262.

18. Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений / Под ред. Вл.В. Кузнецова, В.В. Кузнецова, Г.А. Романова. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. 487 с.

19. Якуба Ю.Ф., Ильина И.А., Захарова М.В., Лифарь Г.В. Методика определения массовой концентрации аскорбиновой, хлорогеновой и кофейной кислот в побегах и листьях плодовых культур и винограда с применением капиллярного электрофореза // *Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда / Под общей редакцией Н.И. Ненько.* Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 68-73.

20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.

References

1. Kiseleva G., Ilina I., Sokolova V., Zaporozhets N. Adaptation mechanisms of grape varieties in unstable climatic conditions of the autumn-winter period // *International Scientific and Practical Conference “Innovative Technologies in Agriculture” (ITIA 2022), BIO Web of Conferences.* 2022. No. 47, P. 06003 DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224706003>

2. Nen'ko N.I., Kiseleva G.K., Il'ina I.A., Petrov V.V., Zaporozhec N.M., Sokolova V.V. Frost resistance of grape varieties of various ecological and geographical origin // *Horticulture and viticulture.* 2021. No. 4. P. 37-42 <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>. (in Russian)

3. Assessment of winter hardiness of grape varieties in the Anapo-Taman zone / N.I. Nenko [and others] // *Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking.* T. 25. Krasnodar: SKFNTsSVV, 2019. P. 134-139. (in Russian)

4. Zhang Y. Biological role of ascorbate in plants. In: *Ascorbic acid in plants.* Springer Briefs in Plant Science. New York: Springer; 2013. P. 7-33 DOI: 10.1007/978-1-4614-4127-4_7

5. Chupahina G. N. Plant ascorbic acid system: Monograph. Kaliningrad, 1997. 120 p. (in Russian)

6. Kaur R., Nayyar H. Ascorbic acid a potent defender against environmental stresses // *Oxidative Damage to Plants Antioxidant Networks and Signaling / Ed. P. Ahmad.* Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. P. 235-287.

7. El-Beltagi H. S., Mohamed H. I., Sofy M. R. Role of ascorbic acid, glutathione and proline applied as singly or in sequence combination in improving chickpea plant through physiological change and antioxidant defense under different levels of irrigation intervals // *Molecules.* 2020. no. 25(7). P. 1702.

8. Ishikawa T. et al. Biosynthesis and regulation of ascorbic acid in plants // *Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants.* Springer, Cham, 2018. P. 163-179.

9. Oberschelp G. P. J. et al. Harder, better, faster, stronger: Frost tolerance of *Eucalyptus benthamii* under cold acclimation // *Plant Physiology and Biochemistry.* 2022. No. 186. P. 64-75

10. Platonova N. B. Dynamics of ascorbic acid content in fresh tea leaves (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) growing in the humid subtropics of Russia. 2019. S. 352-352. (in Russian)

11. Zeng G. et al. Characterization of 24-epibrassinolide-mediated modulation of the drought stress responses: Morphophysiology, antioxidant metabolism and hormones in grapevine (*Vitis vinifera* L.) // Plant Physiology and Biochemistry. 2022. No. 184. P. 98-111 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.019>

12. Zonouri M., Javadi T., Ghaderi N. Effect of foliar spraying of ascorbic acid on cell membrane stability, lipid peroxidation, total soluble protein, ascorbate peroxidase and leaf ascorbic acid under drought stress in grapes // International journal of Advanced Biological and biomedical research. 2014. No. 2. No. 42. P. 349-354.

13. Krasova N. G. Adaptive potential of apple varieties // Horticulture and viticulture. 2015. No. 3. S. 38-45. (in Russian)

14. Kolupaev Yu. E., Gorelova E. I., Yastreb T. O. Mechanisms of plant adaptation to hypothermia: the role of the antioxidant system // Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Biology. 2018. No. 1. S. 6-33. (in Russian)

15. Kumar S., Malik J., Thakur P., Kaistha S., Sharma K.D., Upadhyaya H.D. Growth and metabolic responses of contrasting chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to chilling stress at reproductive phase // Acta Physiol. Plant. 2011. No. 33. P. 779-787.

16. Huang M., Guo Z. Responses of antioxidant system to chilling stress in two rice cultivars differing in sensitivity, Plant Biol. 2005. No. 49. P. 81-84.

17. Dai F., Huang Y., Zhou M., Zhang G. The influence of cold acclimation on antioxidative enzymes and antioxidants in sensitive and tolerant barley cultivars // Plant Biol. 2009. No. 53. P. 257-262.

18. Molecular genetic and biochemical methods in modern plant biology / Ed. V.I. V. Kuznetsova, V.V. Kuznetsova, G.A. Romanova. M.: Binom. Knowledge Laboratory, 2012. 487 p. (in Russian)

19. Yakuba Yu.F., Il'ina I.A., Zakharova M.V., Lifar G.V. Method for determining the mass concentration of ascorbic, chlorogenic and caffeic acids in the shoots and leaves of fruit crops and grapes using capillary electrophoresis // Modern instrumental and analytical methods for the study of fruit crops and grapes / Under the general editorship of N.I. Nenko. Krasnodar: SKZNIISiV, 2015. S. 68-73.20.

20. Dospekhov B.A. Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., revised. and additional M.: Alliance, 2014. 351 p. (in Russian)