

УДК 581:576.5:634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2023-4-82-110-124

**ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ
РЕАКЦИЙ ВИНОГРАДА
В НЕСТАБИЛЬНЫХ
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
ЗИМНЕГО ПЕРИОДА**

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

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

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

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

UDC 581:576.5:634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2023-4-82-110-124

**FORMATION
OF GRAPE ADAPTIVE REACTIONS
UNDER UNSTABLE
CLIMATIC CONDITIONS
OF THE WINTER PERIOD**

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

Ilina 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

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

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

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

Необходимым условием для выявления наиболее адаптивных генотипов винограда в нестабильных климатических условиях зимнего периода является постоянный мониторинг метаболических процессов в виноградной лозе в ответ на изменение климатических факторов. Цель работы – провести анализ физиолого-биохимических изменений, происходящих в виноградной лозе при воздействии стрессовых факторов зимнего периода, выделить наиболее адаптивные сорта для возделывания в Анапо-Таманской зоне Краснодарского края. Объекты исследований – сорта винограда различного эколого-географического происхождения: Кристалл (контроль) – евро-амуро-американского происхождения; Достойный, Красностоп АЗОС – внутривидового происхождения *Vitis vinifera* L.; Восторг – амуро-американского происхождения; Зариф – восточного происхождения; Алиготе – западно-европейского происхождения. Общепринятыми физиолого-биохимическими методиками установлено, что в декабре начался гидролиз крахмала с превращением его в растворимые сахара, выполняющие важную криопротекторную функцию. В январе содержание сахаров продолжало увеличиваться, а крахмала – снижаться. Максимальная степень гидролиза крахмала обнаружена у сортов Кристалл и Восторг – уменьшение в 3,19 и 2,04 раза, а максимальное накопление крахмала в предзимний период обнаружено у сорта Красностоп АЗОС – 8,12 мг/г сухого веса. У Красностоп АЗОС обнаружено повышенное содержание сахаров в предзимний период – 9,21 мг/г сухого веса, в сравнении с другими изучаемыми сортами. У Восторг и Кристалл отмечено наибольшее увеличение содержания сахаров – в 3,5 и 2,28 раза. Антоцианы максимально проявили свою защитную функцию у Красностоп АЗОС и Восторг. После искусственного промораживания побегов у Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг содержание ионов в вытяжке из клеток коры увеличилось незначительно: калия в 1,04 раза, кальция в 1,01-1,03 раза. По содержанию крахмала, сахаров, антоцианов, ионов калия и кальция

A necessary condition for identifying the most adaptive grape genotypes in unstable climatic conditions of the winter period is the constant monitoring of metabolic processes in the vine in response to changing climatic factors. The purpose of the work is to analyze the physiological and biochemical changes that occur in the vine under the influence of winter stress factors, to identify the most adaptive varieties for cultivation in the Anapo-Taman zone of the Krasnodar region. The objects of research are grape varieties of various ecological and geographical origin: Kristall (control) – Euro-Amur-American origin; Dostoinyi, Krasnostop AZOS – intraspecific origin *Vitis vinifera* L; Vostorg – Amur-American origin; Zarif – Eastern origin; Aligote – Western European origin. By generally accepted physiological and biochemical methods, it was established that starch hydrolysis began in December with its transformation into soluble sugars, which perform an important cryoprotective function. In January, the content of sugars continued to increase, while that of starch continued to decrease. The maximum degree of starch hydrolysis was found in the Kristall and Vostorg varieties – a decrease of 3.19 and 2.04 times, and the maximum accumulation of starch in the pre-winter period was found in the Krasnostop AZOS variety – 8.12 mg/g dry weight. An increased content of sugars in the pre-winter period was found in Krasnostop AZOS variety – 9.21 mg/g dry weight in comparison with other studied varieties. Vostorg and Kristall variety had the highest increase in sugar content – 3.5 and 2.28 times. Anthocyanins showed their protective function to the maximum in Krasnostop AZOS and Vostorg varieties. After artificial freezing of shoots of Kristall, Krasnostop AZOS and Vostorg varieties, the content of ions in the extract from the cells of the cortex increased slightly: potassium by 1.04 times, calcium by 1.01-1.03 times. In terms of the content of starch, sugars, anthocyanins, potassium

сорта Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг проявили наибольший потенциал устойчивости к низким температурам в условиях зимы 2021-2023 гг. в сравнении с другими изучаемыми сортами.

Ключевые слова: ВИНОГРАД, КРАХМАЛ, САХАРА, АНТОЦИАНЫ, АДАПТИВНОСТЬ

and calcium ions, the Kristall, Krasnostop AZOS and Vostorg varieties showed the greatest potential for resistance to low temperatures in the winter of 2021-2023 in comparison with other studied varieties.

Key words: GRAPES, STARCH, SUGAR, ANTHOCYANES, ADAPTABILITY

Введение. Климат является важнейшим фактором окружающей среды, обуславливающим рост и развитие виноградной лозы. Метеорологические условия и экологические факторы среды Анапо-Таманской зоны Краснодарского края достаточно благоприятны для возделывания винограда в промышленных объемах.

Но, несмотря на рост среднегодовой температуры воздуха в этой зоне увеличилась частота низких отрицательных температур, оказывающих стрессовый эффект на виноградные насаждения. Если в 1977-1996 годы температура ниже -18°C снижалась 1 раз, то в 1997-2017 годы это снижение наблюдали 5 раз [1].

В связи с глобальным изменением климата физиология устойчивости винограда, а также других сельскохозяйственных культур привлекает большое внимание исследователей всего мира [2-9]. Некоторые зарубежные ученые прогнозируют, что в ближайшем будущем виноградная лоза будет еще более уязвима к пониженным температурам [10].

Поэтому изучение формирования адаптивных реакций винограда в нестабильных климатических условиях зимнего периода с целью выявления наиболее адаптивных генотипов представляет теоретический и практический интерес. Необходимым для этого является постоянный мониторинг физиолого-биохимических показателей виноградного растения в ответ на изменение таких климатических факторов как температура и осадки.

Реакции растений на новые изменившиеся экологические условия в большинстве случаев имеют адаптивное значение. Они осуществляются на

анатомическом, морфологическом, физиологическом уровне и способствуют повышению устойчивости организма. В процессы защиты и адаптации включается также гормональная система, обусловленная экспрессией генов. В ходе акклимации у растений появляется устойчивость в новых условиях, которая не наследуется, но разворачивается на тех возможностях, которые генетически детерминированы [11, 12].

Отмечено, что в период подготовки к зимнему покою в тканях виноградной лозы происходят сложные физиолого-биохимические изменения на клеточном уровне, направленные на повышение их устойчивости к низким температурам. Углеводы (крахмал, водорастворимые сахара) являются самыми распространенными запасными веществами винограда, а также других растений (яблони, миндаля, сливы, грецкого ореха, злаков), и играют важную роль в устойчивости к зимним неблагоприятным условиям [13-24].

В процессе филогенеза растения приобрели эффективные стратегии адаптации к низкотемпературным стрессовым воздействиям, сопряженные с изменениями в их метаболизме. В ходе метаболических перестроек синтезируются многочисленные криопротекторы, такие как аминокислота пролин, антоцианы, халконы, аскорбиновая кислота. Эти метаболиты оказывают стабилизирующий эффект на мембраны клеток, в результате которого они сохраняют свою функциональную активность в условиях низких температур [25].

Цель настоящей работы – провести анализ физиолого-биохимических изменений, происходящих в виноградной лозе при воздействии стрессовых факторов зимнего периода, выявить сорта с повышенной адаптационной способностью в экологических условиях Анапо-Таманской зоны Краснодарского края.

Объекты и методы исследований. Объекты исследований: межвидовые гибриды винограда различного эколого-географического происхождения: Кристалл (контроль) – евро-амуро-американского происхождения; Достойный, Красностоп АЗОС – внутривидового происхождения *Vitis vinifera* L.;

Восторг – амуро-американского происхождения; Зариф – восточного происхождения; Алиготе – западно-европейского происхождения. Растения 1995 года посадки, подвой Кобер 5ББ. Формировка – двусторонний высокоштамбовый спиральный кордон АЗОС. Схема посадки $3 \times 2,5$ м, почва – чернозем южно-карбонатный. Образцы сортов винограда предоставлены Центром коллективного пользования «Анапская ампелографическая коллекция» АЗОС – филиала СКФНЦСВВ, расположенном в г. Анапа.

Для определения динамики содержания углеводов использовали антроновый метод и фотоколориметр ФЭК-56 [26]. Содержание антоцианов в коре побегов определяли по методике [27]. Динамику содержания ионов калия и кальция устанавливали методом капиллярного электрофореза, используя прибор Капель 104Р [28].

Перед искусственным промораживанием побеги выдерживали 5 дней в холодильной камере при температуре $+4$ °С. Промораживание проводили в морозильной камере Gronland при температуре -20 °С в течение 1 суток. Далее проводили оттаивание побегов при температуре 4 °С в течение 5 дней [13]. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Microsoft Office Excel 2010 [29].

Использовали приборное обеспечение Центра коллективного пользования технологичным оборудованием по направлениям: геномные и постгеномные технологии, физиолого-биохимические и микробиологические исследования; почвенные, агрохимические и экотоксикологические исследования; пищевая безопасность.

Обсуждение результатов. За изучаемый период (2021-2023 гг.) в ноябре максимальная температура воздуха достигала $+20$ °С, а минимальная -1 °С. В декабре максимальная температура воздуха составляла $+19$ °С, минимальная -8 °С. В январе зафиксирована максимальная температура воз-

духа +18 °С, минимальная -10 °С. В феврале максимальная температура воздуха достигала +15 °С, минимальная -7 °С. Максимальное количество осадков за месяц отмечено в январе 2022 года (127 мм), минимальное – ноябре этого же года (28,9 мм) (рис. 1).

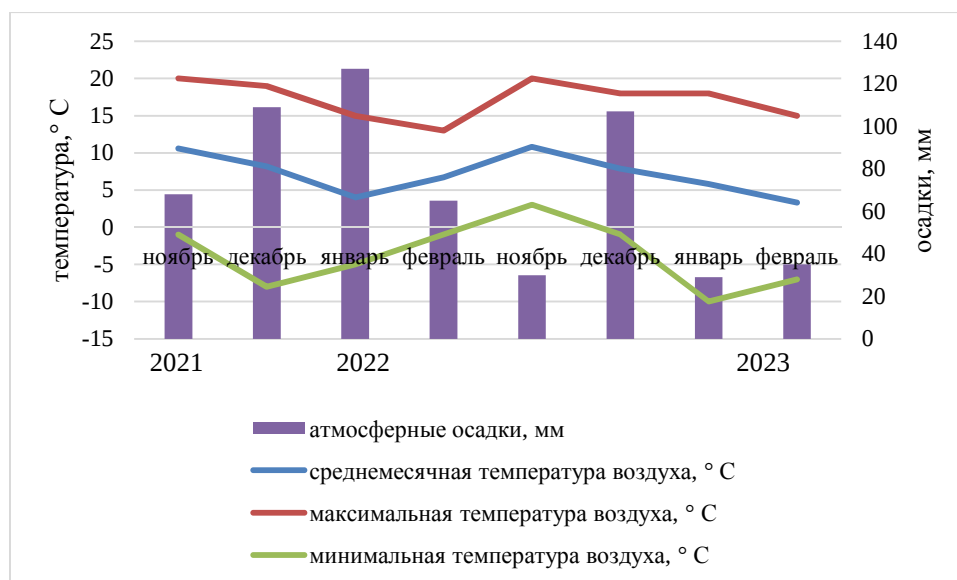


Рис. 1. Погодные условия места возделывания винограда («Анапская ампелографическая коллекция» АЗОС – филиал СКФНЦСВВ, г. Анапа, 2021-2023 гг.)

Углевод крахмал – основное запасное вещество тканей побегов. Максимальное содержание крахмала наблюдается в начале осени, когда в ходе замедления ростовых процессов виноград входит в состояние глубокого покоя. Поздней осенью при снижении температуры воздуха происходит расщепление крахмала на сахара. Этот процесс имеет сортовую специфику и зависит от множества сопутствующих факторов (вызревания тканей, минерального питания, агротехники). Чем более морозоустойчив сорт, тем большая часть крахмала переходит в сахара [16-24].

Кроме того, сахара образуются не только в результате гидролиза крахмала, они откладываются как запасные вещества в течение лета, и при неблагоприятных зимних условиях выполняют защитные функции. В период действия низких положительных температур, близких к 0 °С при закаливании также происходит накопление продуктов фотосинтеза.

Как правило, у сортов с повышенной морозостойкостью интенсивность фотосинтеза выше, чем у неморозостойких и превышает активность дыхания. По этой причине накапливаются сахара, которые выполняют разнообразные функции при низкотемпературной адаптации [21].

В наших исследованиях в ноябре содержание крахмала было максимальным и составляло 4,75-8,12 мг/г сухого веса. В декабре с понижением среднемесячных температур воздуха на 2,4 °С в 2021 г. и 2,9 °С в 2022 г. начался гидролиз крахмала с превращением его в растворимые сахара. В январе содержание сахаров продолжало увеличиваться, а крахмала – снижаться. В январе в сравнении с ноябрем содержание крахмала снизилось в 0,42-3,19 раз в зависимости от сорта. В большей степени содержание крахмала снизилось у сорта Кристалл – в 3,19 раз.

Содержание сахаров в ноябре составляло 4,32-9,21 мг/г сухого веса. В январе произошло их резкое увеличение – в 1,50-3,50 раз. В феврале в сравнении с январем содержание крахмала и растворимых сахаров изменялось незначительно (рис. 2).

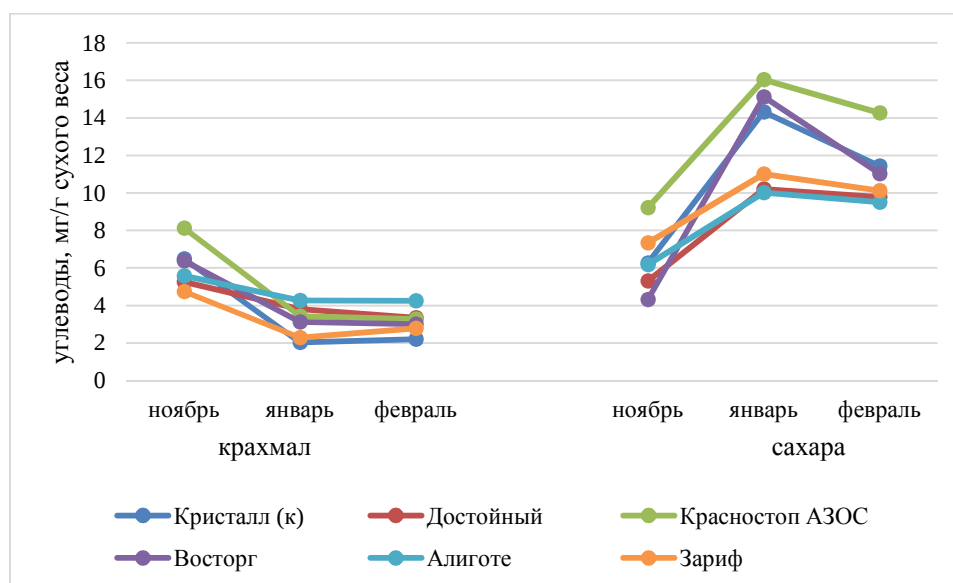


Рис. 2. Динамика содержания крахмала и растворимых сахаров в побегах винограда в 2021-2023 гг.

Накапливаемые сахара выполняют осморегуляторную функцию, действуя как осмолиты, при этом поддерживая регулирование гомеостаза клеток. Другая функция – антифризная, при которой в результате увеличения содержания сахаров протопласт постепенно обезвоживается, точка замерзания его содержимого снижается, а лед образуется в межклетниках [21].

Итак, максимальная степень гидролиза крахмала с превращением его в сахара обнаружена у сортов Кристалл и Восторг – уменьшение в 3,19 и 2,04 раз, а максимальное накопление крахмала в предзимний период обнаружено у сорта Красностоп АЗОС – 8,12 мг/г сухого веса.

У Красностоп АЗОС также обнаружено повышенное содержание сахаров в предзимний период (9,21 мг/г сухого веса) в сравнении с другими изучаемыми сортами. А у Восторг и Кристалл отмечено самое большое увеличение содержания сахаров – в 3,5 и 2,28 раза, образовавшихся в результате гидролиза крахмала в январе.

Хотя накопление углеводов при адаптации к зимним неблагоприятным условиям является универсальным явлением для растений, одно лишь возрастание содержания сахаров – не всегда надежный критерием для определения зимостойкости.

Другими полифункциональными протекторами растений являются антоцианы. Обычно они накапливаются в коре различных растений, придавая ей красновато-коричневую окраску. Многие исследователи связывают увеличение содержания антоцианов в коре и других тканях растений с морозоустойчивостью.

Также антоцианы снижают окислительную нагрузку на растение, выполняя антиоксидантную функцию [21]. По предположениям китайских исследователей избыток углеводов может индуцировать биосинтез антоцианов [22].

Именно поэтому повышенное содержание антоцианов в проведенных нами исследованиях отмечено в январе и феврале в сравнении с ноябрем.

Если в ноябре содержание антоцианов составляло 2,03-3,52 усл. ед., то в январе определено 3,07-4,34 усл. ед., в феврале – 3,71-4,97 усл. ед. В течение зимовки у всех сортов наблюдали повышение содержания антоцианов, которые выполняли в данном случае защитную функцию. В ноябре повышенное содержание антоцианов отмечено у сорта Красностоп АЗОС (3,52 усл. ед.), в январе у сорта Восторг в большей степени произошло увеличение антоцианов (в 1,75 раз) (рис. 3).

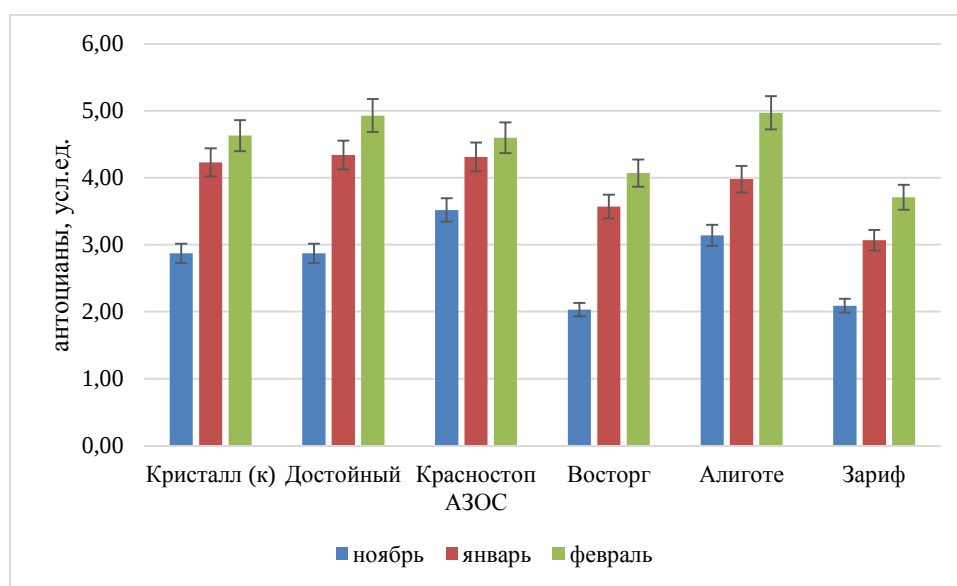


Рис. 3. Динамика содержания антоцианов в коре винограда в 2021-2023 гг.

Согласно современным представлениям повреждение растений от воздействия низких температур начинается с «протекания» клеточных мембран. При этом повреждается механизм активного транспорта ионов, увеличивается пассивный выход таких ионов, как калий, кальций. Содержание ионов калия и кальция в вытяжке из замороженных и оттаявших, но еще живых клеток может служить критерием оценки морозостойкости сорта [30].

После искусственного промораживания побегов в январе, в период проявления максимальной морозостойкости, содержание ионов калия и кальция в вытяжке из клеток коры увеличилось в связи с их утечкой.

Содержание ионов калия после промораживания в большей степени увеличилось у сортов Достойный (в 1,55 раз) и Зариф (в 1,31 раз), свидетельствующее об их неустойчивости. У Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг содержание ионов калия после промораживания увеличилось незначительно – в 1,04 раз, что подтверждает их большую устойчивость (рис. 4).

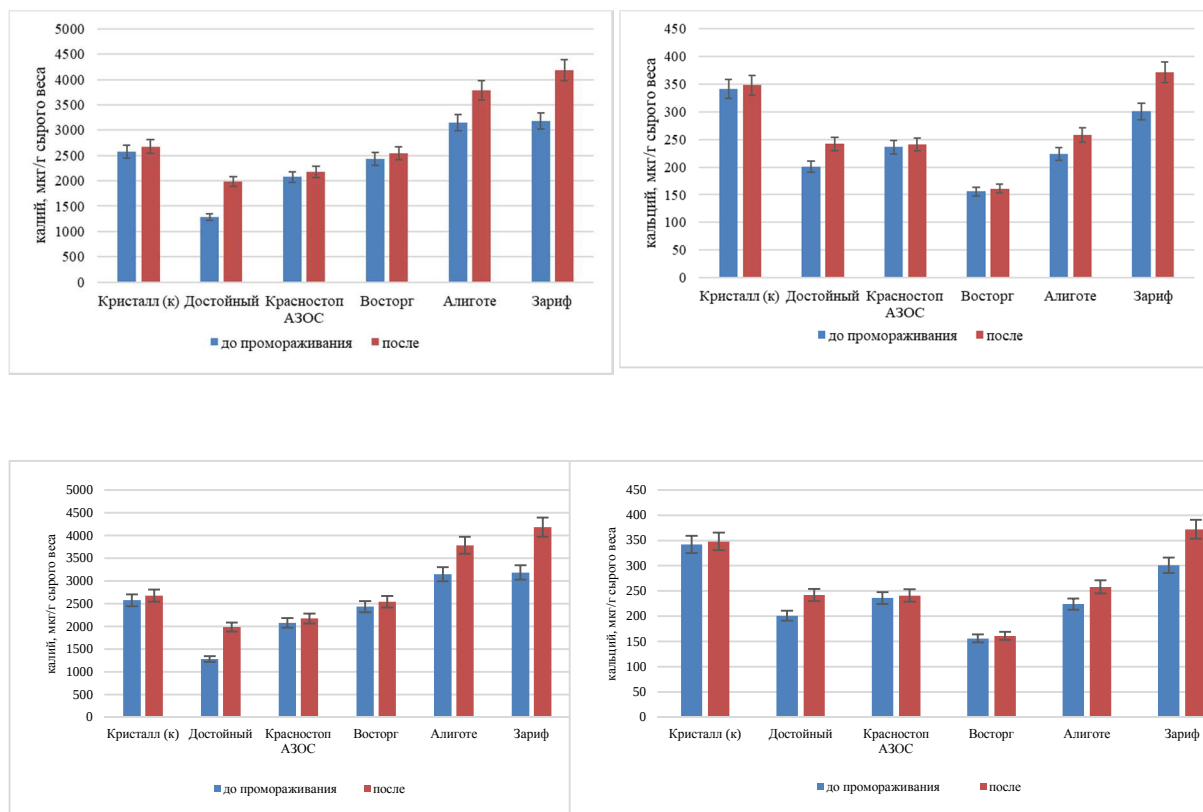


Рис. 4. Содержание ионов калия и кальция в вытяжке из клеток коры винограда. НСР_{0,5}: до проморозки – 0,51; после проморозки – 1,34.

Аналогичное нарушение активного мембранного транспорта наблюдалось и с ионами кальция. Содержание ионов кальция после промораживания в большей степени увеличилось у сортов Достойный (в 1,20 раза) и Зариф (в 1,23 раза), свидетельствующее об их неустойчивости. У Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг содержание ионов калия после проморозки увеличилось незначительно – в 1,01-1,03 раза, что говорит об их большей устойчивости к низким температурам (см. рис. 4).

Выводы. Проведен анализ физиолого-биохимических изменений, происходящих в побегах различных сортов винограда при воздействии стрессовых факторов зимнего периода 2021-2023 гг. Показана значимая роль углеводов (крахмала, сахаров) в процессах зимовки. Установлено, что в декабре начался гидролиз крахмала с превращением его в растворимые сахара, выполняющие важную криопротекторную функцию. В январе содержание сахаров продолжало увеличиваться, а крахмала – снижаться.

Максимальная степень гидролиза крахмала обнаружена у сортов Кристалл и Восторг – уменьшение в 3,19 и 2,04 раза, а максимальное накопление крахмала в предзимний период обнаружено у сорта Красностоп АЗОС – 8,12 мг/г сухого веса. У Красностоп АЗОС также обнаружено повышенное содержание сахаров в предзимний период – 9,21 мг/г сухого веса в сравнении с другими изучаемыми сортами. А у Восторг и Кристалл отмечено наибольшее увеличение содержания сахаров – в 3,5 и 2,28 раза, образовавшееся в результате гидролиза крахмала. Антоцианы максимально проявили свою защитную функцию у Красностоп АЗОС и Восторг.

После искусственного промораживания побегов у сортов Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг содержание ионов в вытяжке из клеток коры увеличилось незначительно: калия в 1,04 раза, кальция в 1,01-1,03 раза, что подтверждает их большую устойчивость к низким температурам.

Установлено, что по содержанию крахмала, сахаров, антоцианов, ионов мембранного транспорта (калия и кальция) в зимний период сорта Кристалл, Красностоп АЗОС, Восторг обладают повышенной адаптационной способностью в условиях Анапо-Таманской зоны Краснодарского края.

Литература

1. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Новикова Л. Ю., Наумова Л.Г., Лукьянова А.А. Влияние изменений климата на фенологию винограда [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019. № 57(3). С. 29-50. Режим доступа: <http://journalkubansad.ru/pdf/19/03/03.pdf> DOI: 10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50 (дата обращения: 20.05.2023).

2. Егоров Е.А. Селекция винограда – ключевое звено в развитии виноградо-винодельческой отрасли // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(4). С. 408-413. DOI: 10.18699/VJ21.045. EDN: RCOSKU
3. Biasi R., Brunori E., Ferrara C., Salvati L. Assessing impacts of climate change on phenology and quality traits of *Vitis vinifera* L.: the contribution of local knowledge // Plants. 2019. № 8(5). 21. <https://doi.org/10.3390/plants8050121>.
4. Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Структурирование ампелографической коллекции по фенотипическим характеристикам и сравнение реакции сортов винограда на изменение климата // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(6). С. 142-149. DOI: 10.18699/VJ19.551 EDN: WETEMA
5. Raza A., Razzaq A., Mehmood S. S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review // Plants. 2019. № 8(2). 34. DOI: 10.3390/plants8020034.
6. Chapter 3. Hybrids and abiotic stress tolerance in horticultural crops / Eds. A.Kumar et al. Woodhead Publishing, 2021. P. 33-50. DOI: 10.1016/B978-0-12-822849-4.00015-2
7. Алейникова Г.Ю., Петров В.С. Влияние климатических изменений на продуктивность и фенологию винограда // Русский виноград. 2020. Т. 11. С. 81-91. DOI: 10.32904/2412-9836-2020-11-81-91 EDN: BZGSUA
8. Cleland E.E., Allen J.M., Crimmins T.M., Dunne J.A., Pau S., Travers S.E., Zavalet, E.S., Wolkovich E.M. Phenological tracking enables positive species responses to climate change // Ecology. 2012. Vol. 93(8). P. 1765-1771. DOI: 10.1890/11-1912.1
9. Arora R., Taulavuori K. Increased risk of freeze damage in woody perennials VIS-À-VIS climate change: Importance of deacclimation and dormancy response // Frontiers in Environmental Science. 2016. Vol. 4. 44. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00044
10. Antivilo F.G., Paz R.C., Echeverria M., Keller M. Thermal history parameters drive changes in physiology and cold hardiness of young grapevine plants during winter // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 262(15). P. 227-236. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.017
11. Arora R., Rowland L.J. Physiological research on winter-hardiness: deacclimation resistance, reacclimation ability, photoprotection strategies, and a cold acclimation protocol design // HortScience. 2011. Vol. 46(8). P. 1070-1078. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1070
12. Wu D., Kukkonen S., Luoronen J., Pulkkinen P., Heinonen J., Pappinen A., Repo T. Influence of late autumn preconditioning temperature on frost hardiness of apple, blueberry and blackcurrant saplings // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 258. 108755. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108755
13. Киселева Г.К., Ильина И.А., Петров В.С., Запорожец Н.М., Соколова В.В., Вялков В.В. Использование фермента пероксидазы для диагностики устойчивости сортов винограда (*Vitis vinifera* L.) к низким температурам // Садоводство и виноградарство. 2022. № 4. С. 27-33. DOI: 10.31676/0235-2591-2022-4-27-33 EDN: WLIAPJ
14. Ильина И.А., Киселева Г.К., Запорожец Н.М., Соколова В.В. Физиолого-биохимические особенности адаптации видов рода *Vitis* (*Tournef*) L. к стресс-факторам зимнего периода на фоне меняющегося климата // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С.46-53. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-46-53 EDN: BWDTHF
15. Дубровина А.С., Алейнова О.А., Маняхин А.Ю., Киселёв К.В. Роль генов кальций-зависимых протеинкиназ СРК16, СРК25, СРК30 И СРК32 в биосинтезе стилибенов и стрессоустойчивости винограда *Vitis amurensis* Rupr // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. № 54(4). С. 391-399. DOI: 10.7868/S0555109918040086 EDN: XUKTAD

16. Jiang H.Y., Li W., He B.J., Gao Y.H., Lu J.X. Sucrose metabolism in grape (*Vitis vinifera* L.) branches under low temperature during overwintering covered with soil // Plant Growth Regul. 2014. Vol. 72(3). P. 229-238. DOI: 10.1007/s10725-013-9854-z
17. Zhang J., Wu X., Niu R., Liu Y., Liu N., Xu W., Wang Y. Cold resistance evaluation in 25 wild grape species // Vitis. 2012. Vol. 5. P. 153-160. DOI: 10.5073/vitis.2012.51.153-160
18. Karimi R. Cold hardiness evaluation of 20 commercial table grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20(3). P. 433-450. DOI: 10.1080/15538362.2019.1651242
19. Călugăr A., Cordea M.I., Babeş A., Fejer M. Dynamics of Starch Reserves in Some Grapevine Varieties (*Vitis vinifera* L.) During Dormancy // Bulletin UASVM Horticulture. 2019. Vol. 76(2). P.185-192. DOI: 10.15835/buasvmcn-hort:2019.0008
20. Kaya Ö. Bud Death and Its Relationship with Lateral Shoot, Water Content and Soluble Carbohydrates in Four Grapevine Cultivars Following Winter Cold // Erwerbs-Obstbau. 2020. Vol. 62(1). P. 43-50. DOI: 10.1007/s10341-020-00495-w
21. 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(43). С.6-33.
22. Wang Y., Ya H.U., Chen B., Zhu Y., Dawuda M.M. Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks // Journal of Integrative Agriculture. 2018. Vol. 17(4). P. 857-866. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61760-X
23. Sivaci A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings // Scientia Horticulturae. 2006. Vol. 109. P. 234-237. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.04.01
24. Karami H., Rezaei M., Sarkhosh A., Rahemi M., Jafari M.J.G.P Cold Hardiness Assessment in Seven Commercial Fig Cultivars (*Ficus Carica* L.) // Gesunde Pflanzen. 2018. Vol. 70 (4). P.195-203. DOI: 10.1007/s10343-018-0431-2
25. Gusta L.V., Wisniewski M. Understanding plant cold hardiness: an opinion // Physiol. Plant. 2013. Vol. 147(1). P.4-14. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2012.01611.x
26. Leyva A., Quintana A., Sánchez M., Rodríguez E.N., Cremata J., Sánchez J.C. Rapid and sensitive anthrone-sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: method development and validation // Biologicals. 2008. Vol. 36(2). P.134-141. DOI: 10.1016/j.biologicals.2007.09.001
27. Соловьева М.А. Оценка зимостойкости плодовых культур. В кн.: Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Ленинград: ВИР, 1988. С. 163-164.
28. Якуба Ю.Ф., Ильина И.А., Киселева Г.К., Захарова М.В., Лифарь Г.В. Методика определения массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция в побегах и листьях плодовых культур и винограда с применением капиллярного электрофореза // Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С.62-67. EDN: VROMIH
29. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012.
30. Палта Дж.П., Ли П.Хс. В кн.: Холодоустойчивость растений / под ред. и с предисл. Г.А. Самыгина. М.: Колос, 1983. С.79-96.

References

1. Petrov V.S., Aleinikova G.Yu., Novikova L.Yu., Naumova L.G., Lukyanova A.A. The influence of climate changes the grape phenology [Electronic resource] // Fruit growing and viticulture of South Russia. 2019. № 57(3). P. 29-50. Available at: <http://journalkubansad.ru/pdf/19/03/03.pdf> DOI: 10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50 (accessed date: 20.05.2023) (in Russian).

2. Egorov E.A. Grape breeding is a key link in the development of the grapes and wine-making industry // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. № 25(4). P.408-413. DOI: 10.18699/VJ21.045 EDN: RCOSKU ([in Russian](#)).
3. Biasi R., Brunori E., Ferrara C., Salvati L. Assessing impacts of climate change on phenology and quality traits of *Vitis vinifera* L.: the contribution of local knowledge // Plants. 2019. № 8(5). 121. <https://doi.org/10.3390/plants8050121>.
4. Novikova L.Yu., Naumova L.G. Structuring ampelographic collections by phenotypic characteristics and comparing the reaction of grape varieties to climate change // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23, № 6. P. 142-149. DOI: 10.18699/VJ19.551. EDN: WETEMA. ([in Russian](#)).
5. Raza A., Razzaq A., Mehmood S. S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review // Plants. 2019. № 8(2). 34. DOI: 10.3390/plants8020034.
6. Chapter 3. Hybrids and abiotic stress tolerance in horticultural crops / Eds. A.Kumar et al. Woodhead Publishing, 2021. P. 33-50. DOI: 10.1016/B978-0-12-822849-4.00015-2
7. Aleinikova G.Yu., Petrov V.S. Influence of climatic change on grapevine's productivity and phenology // Russian grapes. 2020. Vol. 11. P.81-91. DOI: 10.32904/2412-9836-2020-11-81-91 EDN: BZGSUA ([in Russian](#)).
8. Cleland E.E., Allen J.M., Crimmins T.M., Dunne J.A., Pau S., Travers S.E., Zavalet, E.S., Wolkovich E.M. Phenological tracking enables positive species responses to climate change // Ecology. 2012. Vol. 93(8). P. 1765-1771. DOI: 10.1890/11-1912.1
9. Arora R., Taulavuori K. Increased risk of freeze damage in woody perennials VIS-À-VIS climate change: Importance of deacclimation and dormancy response // Frontiers in Environmental Science. 2016. Vol. 4. 44. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00044
10. Antivilo F.G., Paz R.C., Echeverria M., Keller M. Thermal history parameters drive changes in physiology and cold hardiness of young grapevine plants during winter // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 262(15). P. 227-236. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.017
11. Arora R., Rowland L.J. Physiological research on winter-hardiness: deacclimation resistance, reacclimation ability, photoprotection strategies, and a cold acclimation protocol design // HortScience. 2011. Vol. 46(8). P. 1070-1078. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1070
12. Wu D., Kukkonen S., Luoranan J., Pulkkinen P., Heinonen J., Pappinen A., Repo T. Influence of late autumn preconditioning temperature on frost hardiness of apple, blueberry and blackcurrant saplings // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 258. 108755. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108755
13. Kiseleva G.K., Ilyina I.A., Petrov V.S., Zaporozhets N.M., Sokolova V.V., Vyalkov V.V. Use of the peroxidase enzyme to diagnose the resistance of grape varieties (*Vitis vinifera* L.) to low temperatures // Horticulture and viticulture. 2022. № 4. P. 27-33. DOI: 10.31676/0235-2591-2022-4-27-33 EDN: WLIAPJ_ ([in Russian](#)).
14. Ilyina I.A., Kiseleva G.K., Zaporozhets N.M., Sokolova V.V. Physiological and biochemical features of adaptation of the genus *Vitis* (Tournef) L. species to winter stress factors on the changing climate background // Bulletin of KSAU. 2023. № 1. P.46-53. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-46-53 EDN: BWDTHF ([in Russian](#)).
15. Dubrovina A.S., Aleinova O.A., Manyakhin A.Yu., Kiselev K.V. The role of calcium-dependent protein kinases genes CPK16, CPK25, CPK30, and CPK32 in stilbene biosynthesis and the stress resistance of grapevine *Vitis amurensis* Rupr // Applied Biochemistry and Microbiology. 2018. Vol. 54(4). P. 391-399. DOI: 10.7868/S0555109918040086 EDN: XUKTAD ([in Russian](#)).

16. Jiang H.Y., Li W., He B.J., Gao Y.H., Lu J.X. Sucrose metabolism in grape (*Vitis vinifera* L.) branches under low temperature during overwintering covered with soil // Plant Growth Regul. 2014. Vol. 72(3). P. 229-238. DOI: 10.1007/s10725-013-9854-z
17. Zhang J., Wu X., Niu R., Liu Y., Liu N., Xu W., Wang Y. Cold resistance evaluation in 25 wild grape species // Vitis. 2012. Vol. 5. P. 153-160. DOI: 10.5073/vitis.2012.51.153-160
18. Karimi R. Cold hardiness evaluation of 20 commercial table grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20(3). P. 433-450. DOI: 10.1080/15538362.2019.1651242
19. Călugăr A., Cordea M.I., Babeş A., Fejer M. Dynamics of Starch Reserves in Some Grapevine Varieties (*Vitis vinifera* L.) During Dormancy // Bulletin UASVM Horticulture. 2019. Vol. 76(2). P.185-192. DOI: 10.15835/buasvmcn-hort:2019.0008
20. Kaya Ö. Bud Death and Its Relationship with Lateral Shoot, Water Content and Soluble Carbohydrates in Four Grapevine Cultivars Following Winter Cold // Erwerbs-Obstbau. 2020. Vol. 62(1). P. 43-50. DOI: 10.1007/s10341-020-00495-w
21. 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. Biology series. 2018. № 1 (43). P.6-33. (in Russian).
22. Wang Y., Ya H.U., Chen B., Zhu Y., Dawuda M.M. Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks // Journal of Integrative Agriculture. 2018. Vol. 17(4). P. 857-866. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61760-X
23. Sivaci A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings // Scientia Horticulturae. 2006. Vol. 109. P. 234-237. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.04.01
24. Karami H., Rezaei M., Sarkhosh A., Rahemi M., Jafari M.J.G.P Cold Hardiness Assessment in Seven Commercial Fig Cultivars (*Ficus Carica* L.) // Gesunde Pflanzen. 2018. Vol. 70 (4). P.195-203. DOI: 10.1007/s10343-018-0431-2
25. Gusta L.V., Wisniewski M. Understanding plant cold hardiness: an opinion // Physiol. Plant. 2013. Vol. 147(1). P.4-14. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2012.01611.x
26. Leyva A., Quintana A., Sánchez M., Rodríguez E.N., Cremata J., Sánchez J.C. Rapid and sensitive anthrone-sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: method development and validation // Biologicals. 2008. Vol. 36(2). P.134-141. DOI: 10.1016/j.biologicals.2007.09.001
27. Solovyova M.A. Assessment of winter hardiness of fruit crops. In: Diagnosis of plant resistance to stress (methodological guide). Leningrad: VIR, 1988. P. 163-164. (in Russian).
28. Yakuba Yu.F., Ilyina I.A., Kiseleva G.K., Zakharova M.V., Lifar G.V. Method for determining the mass concentration of ammonium, potassium, sodium, magnesium, calcium cations in the shoots and leaves of fruit crops and grapes using capillary electrophoresis // Modern instrumental-analytical methods for studying fruit crops and grapes. Krasnodar: NCF SCHVW, 2015. P. 62-67. EDN: VROMIH (in Russian).
29. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. M.: Alliance, 2011. 350 p. EDN: QLCQEP (in Russian)
30. Palta J.P., Lee P.H. Properties of cell membranes in relation to freezing damage. In the book: Cold resistance of plants / ed. and with preface. G.A. Samygin. M.: Kolos, 1983. P. 79-96. (in Russian)