

ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ ВИНОГРАДА НА НЕСТАБИЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/19

Г.К. Киселева, к.б.н.
И.А. Ильина, д.т.н.
В.В. Соколова, к.с.-х.н.
Н.М. Запорожец, к.с.-х.н.
В.С. Петров, д.с.-х.н.
А.В. Караваева, м.н.с.
Т.В. Схаляхо, м.н.с.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Россия, Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, kubansad@kubannet.ru

Аннотация

Нестабильные погодные условия, в том числе, связанные с резкими температурными колебаниями зимнего периода, влекут за собой снижение устойчивости сельскохозяйственных растений, в частности – винограда. Основная доля промышленного виноградарства приходится на юг России, где отмечается повышение среднегодовой температуры, проявляющееся в увеличении дней с плюсовыми температурами в осенне-зимний период и резкими перепадами до критических минимумов, что приводит к значительным повреждениям виноградных растений, вплоть до их гибели. В статье представлены результаты исследований, направленных на раскрытие закономерностей формирования адаптивных реакций сортов винограда различного эколого-географического происхождения на нестабильные климатические условия зимнего периода в условиях Анапо-Таманской зоны Краснодарского края с целью разработки методических подходов формирования адаптивного сортимента винограда для конкретных почвенно-климатических зон. В результате проведенных исследований изучены особенности физиолого-биохимических изменений, происходящих в побегах сортов винограда различного эколого-географического происхождения в осенне-зимний период, связанных с формированием ответных защитных реакций на меняющиеся климатические условия в естественных условиях на опытных участках и в условиях лабораторных опытов с искусственным промораживанием. Выявлены сортовые различия в формировании адаптивных реакций винограда на абиотические условия среды произрастания. В условиях искусственного низкотемпературного стресса сорта винограда отвечают активацией функционирования антиоксидантной системы, защитный эффект которой определяется накоплением различных низкомолекулярных антиоксидантов, в частности аскорбиновой кислоты. Установлено, что индукция защитного ответа по содержанию пролина, сахарозы, аскорбиновой кислоты в побегах в большей степени выражена у сортов Кристалл, Восторг в сравнении с другими изучаемыми сортами.

Ключевые слова: сорт винограда, устойчивость, осенне-зимний период, пролин, сахароза, аскорбиновая кислота

FORMATION OF ADAPTIVE REACTIONS OF GRAPES TO UNSTABLE CLIMATIC CONDITIONS OF THE WINTER PERIOD

G.K. Kiseleva, cand. biol. sci.
I.A. Ilina, dr. tech. sci.
V.V. Sokolova, cand. agr. sci.
N.M. Zaporozhets, cand. agr. sci.
V.S. Petrov, dr. agr. sci.
A.V. Karavaeva, junior researcher
T.V. Skhalyakho, junior researcher

North Caucasian Federal scientific center for horticulture, viticulture, winemaking 350901, Krasnodar region, Krasnodar, street of them 40 Let Pobedy, 39, kubansad@kubannet.ru

Abstract

Unstable weather conditions, including those associated with sharp temperature fluctuations in the winter period, entail a decrease in the stability of agricultural plants, in particular grapes. The main share of industrial viticulture is in the south of Russia, where there is an increase in the average annual temperature, which manifests itself in an increase in days with positive temperatures in the autumn-winter period and sharp drops to critical minimum, which leads to significant damage to grape plants, up to their death. The article presents the results of studies aimed at revealing the patterns of formation of adaptive responses of grape cultivars of various ecological and geographical origin to unstable climatic conditions of the winter period in the conditions of the Anapa-Taman zone of the Krasnodar Territory in order to develop methodological approaches for the formation of an adaptive grape assortment for specific soil and climatic zones. As a result of the research, the features of the physiological and biochemical changes were studied that occur in the shoots of grape cultivars of various ecological and geographical origin in the autumn-winter period, associated with the formation of response protective reactions to changing climatic conditions in natural conditions on experimental plots and in laboratory experiments with artificial freezing. Varietal differences in the formation of adaptive reactions of grapes to abiotic conditions of the growing environment were revealed. Under conditions of artificial low-temperature stress, grape cultivars respond by activation of the functioning of the antioxidant system, the protective effect of which is determined by the accumulation of various low-molecular antioxidants, in particular ascorbic acid. It has been established that the induction of a protective response by the content of proline, sucrose, ascorbic acid in the shoots is more pronounced in the cultivars Crystal, Vostorg in comparison with other studied cultivars.

Key words: grape variety, resistance, autumn-winter period, proline, sucrose, ascorbic acid

Введение

В последние десятилетия во многих регионах возделывания винограда происходит снижение его устойчивости к действию абиотических стрессоров в условиях меняющегося климата. По прогнозам некоторых зарубежных ученых в условиях глобального потепления

в будущем виноградная лоза будет более восприимчива к переохлаждению (Antivilo, 2018; Alikadic, 2019).

Отечественные виноградари также отмечают, что в нестабильных погодных условиях юга России происходит снижение устойчивости сортов винограда к низким температурам зимнего периода (Петров, 2019; Петров, 2018; Алейникова, 2018).

Зимостойкость является наследственным свойством генотипа противостоять комплексу неблагоприятных зимних условий. Степень реализации потенциала зимостойкости зависит от генотипических особенностей сорта, от условий вегетации, от хода метеорологических факторов при подготовке к перезимовке.

В осенний период, во время закалки под влиянием гормонов ростовые процессы затормаживаются, включаются механизмы защиты клеток от обезвоживания и замерзания, виноградное растение претерпевает ряд метаболических изменений, которые позволяют ему выдерживать критические низкие температуры, происходит увеличение устойчивости (Стоев, 2013).

Так, понижение температуры инициирует в растениях изменения углеводного метаболизма, происходит интенсивный гидролиз крахмала с образованием сахаров, являющихся защитными веществами, которые ослабляют процессы денатурации белковых веществ при замораживании и стабилизируют структуру протоплазмы.

Предотвращение летального обезвоживания клеток при действии низких отрицательных температур происходит как за счет накопления сахаров, так и других совместимых осмолитов, например, пролина, который повышает водоудерживающую способность клеток и повышает устойчивость к охлаждению (Kaya, 2020; Köse, 2017; Kaya, 2017; Ershadi, 2016; Zhang, 2012).

Наряду с выше перечисленными метаболитами в устойчивости к низким температурам задействованы другие физиолого-биохимические параметры – антоцианы, халконы, защитные белки, органические кислоты и др. (Karimi, 2015).

Физиолого-биохимические исследования, позволяющие изучить формирование защитного ответа в изменяющихся условиях, важны для выявления индивидуальных особенностей сортов винограда и выделения наиболее устойчивых для использования в селекционных целях.

Цель настоящей работы – изучить формирование адаптивных реакций сортов винограда различного эколого-географического происхождения на нестабильные климатические условия зимнего периода, выявить наиболее адаптивные сорта винограда в условиях Анапа-Таманской зоны Краснодарского края.

Материалы и методы

Материал для исследований (однолетние побеги) отбирался в осенне-зимний период 2020...2021 гг. на участках ампелографической коллекции Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия (АЗОСВиВ) – филиале ФГБНУ СКФНЦСВВ, расположенной в г. Анапа.

Объектами исследований являлись сорта винограда различного эколого-географического происхождения: межвидовые гибриды европейско-американского происхождения Достойный, Красностоп АЗОС, Восторг, западно-европейского происхождения – Алиготе, восточно-европейского происхождения – Зариф. Контроль – высоко зимостойкий сорт Кристалл – межвидовой гибриды евро-амуро-американского происхождения. Растения 1995 года посадки, подвой Кобер 5ББ. Формировка – двусторонний высокоштамбовый спиральный кордон АЗОС. Возделывание растений на черном паре при схеме посадки 3,0 × 2,5 м.

Содержание малонового диальдегида определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) (Ненько, 2017). Содержание пролина и аскорбиновой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 104Р согласно методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью прямого детектирования поглощающих компонентов пробы (Ненько, 2015). Содержание сахарозы – с использованием антронового реактива по спектру поглощения (длина волны – 670 нм), снятому на фотоколориметре ФЭК-56 (Воробьев, 1985).

Искусственному промораживанию побегов предшествовало выдерживание их 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 (Ненько, 2017). Исследования проводили в 3-кратной повторности, каждая повторность состояла из 10 кусочков однолетних побегов. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов вариационной статистики (Доспехов, 2012). Все исследования проводили на приборном обеспечении Центра коллективного пользования ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Результаты и их обсуждение

За изучаемый период в ноябре 2020 г. максимальные температуры воздуха достигали 19 °С, минимальные – 0 °С, среднемесячные – +8,7 °С. В декабре 2020 г. максимальные температуры воздуха достигали 19 °С, минимальные –5 °С, среднемесячные 5,4 °С. В январе 2021 г. максимальная температура воздуха составляла 17 °С, среднемесячная 6,2 °С, а минимальная – –10 °С. Среднемесячное количество осадков составляло 42 мм, 33 мм, 44 мм соответственно.

Известно, что основной причиной повреждения растений при пониженных температурах являются нарушения структуры и функций клеточных мембран, в состав которых входят липиды. После первичного повреждения мембран начинается их лизис, при котором происходит расщепление и уменьшение содержания фосфолипидов и накопление свободных жирных кислот, которые вступают в реакции перекисного окисления с участием свободных радикалов (Колупаев, 2016).

Интенсивность перекисного окисления липидов мембран – важный показатель физиологического состояния растительного организма и его ответной реакции на высокотемпературный стресс, об интенсивности которого можно судить по содержанию малонового диальдегида (МДА). Повышенное количество малонового диальдегида свидетельствуют о более слабой устойчивости растений винограда к низким температурам (Kalkan, 2017).

Обнаружено, что в январе (в период проявления максимальной морозостойкости) в сравнении с ноябрем содержание малонового диальдегида у изучаемых сортов, кроме сорта Зариф имело низкие значения. Это свидетельствует о том, что к этому времени все сорта сформировали повышенную устойчивость к низким температурам.

Наименьшие значения содержания малонового диальдегида в январе отмечены у сортов Кристалл – 0,17 мкмоль/г сырого веса и Восторг – 0,18 мкмоль/г сырого веса, свидетельствующие об их повышенной устойчивости в сравнении с другими изучаемыми сортами (рисунок 1).

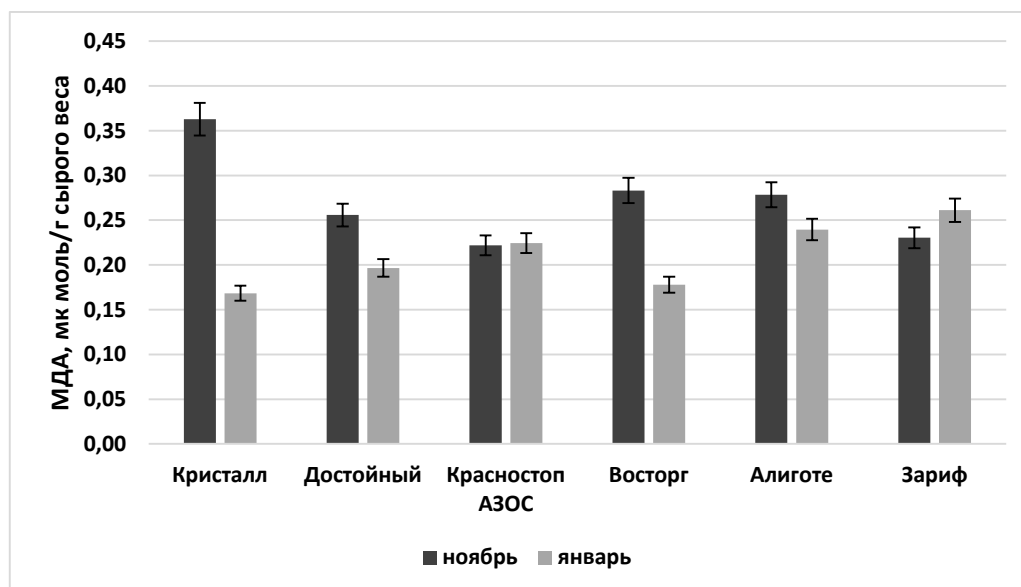


Рисунок 1 – Содержание малонового диальдегида в побеге винограда в осенне-зимний период 2020...2021 гг. НСР_{0,5}: ноябрь – 0,21; январь – 0,94

Как отмечено выше, углеводы (крахмал, сахара) играют определяющую роль в перезимовке виноградной лозы. Накапливаясь осенью, в период низкотемпературной адаптации сахара выполняют ряд защитных функций, одной из которой является антифризная. В результате повышения общего содержания сахаров, точка замерзания содержимого клеток снижается, и образование льда происходит в межклетниках. При этом протопласт постепенно обезвоживается, что препятствует внутриклеточному образованию льда (Кауа, 2020).

В различных эколого-географических условиях произрастания выявлена связь между морозостойкостью и увеличением концентрации сахарозы и пролина в зимующих почках виноградной лозы, т.е. у морозостойких сортов содержание сахарозы и пролина было повышенным в течение зимнего периода (Кауа, 2020; Ershadi, 2016).

В проведенных нами исследованиях показано, что сахароза выполнила роль осмопротектора при адаптации к зимним условиям. Содержание сахарозы в побегах винограда в ноябре составляло 1,57...5,08 мг/г сухого веса. В январе ее содержание у всех изучаемых сортов, кроме сорта Достойный повысилось. В большей степени вклад сахарозы в адаптивные процессы проявился у сорта Восторг, у которого содержание сахарозы повысилось в 6,3 раз. У сорта Алиготе это увеличение составляло 1,68 раз, у остальных изучаемых сортов 2,36...2,63 раз (рисунок 2).

При изучении механизмов адаптации растений к абиотическим факторам среды особый интерес вызывает аминокислота пролин. Известно, что пролин обладает криозащитными свойствами и способностью накапливаться в значительном количестве в вегетативных органах растений при низкотемпературном стрессе.

Также накоплено большое количество косвенных доказательств, что пролин обладает антиоксидантными свойствами. Антиоксидантные свойства пролина связывают с его способностью стабилизировать структуры белков и мембран за счет образования гидрофильных оболочек. Такие образования препятствуют инактивации белков гидроксильными радикалами и синглетным кислородом, образование которых индуцируется в условиях действия многих стрессоров (Колупаев, 2016).

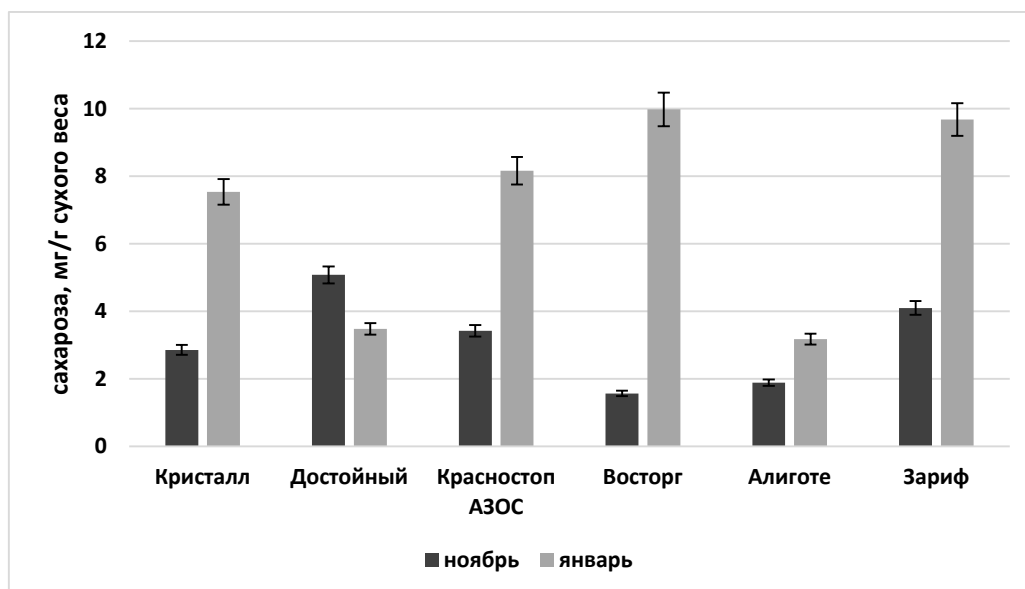


Рисунок 2 – Содержание сахарозы в побегах винограда в осенне-зимний период 2020...2021 гг. НСР_{0,5}: ноябрь – 1,21; январь – 0,14

Содержание пролина в побегах винограда в ноябре составляло 4,4...26,1 мкг/г сырого веса. При понижении температуры в январе его содержание уменьшилось у всех изучаемых сортов в связи с исполнением своей функции – поддержание осмотического баланса клеток. Наибольший вклад пролина проявился у сортов Восторг и Зариф, у которых его содержание уменьшилось в 9,81 и 5,11 раз соответственно. У остальных сортов уменьшение было не столь значительное – в 1,06...2,35 раз (рисунок 3).

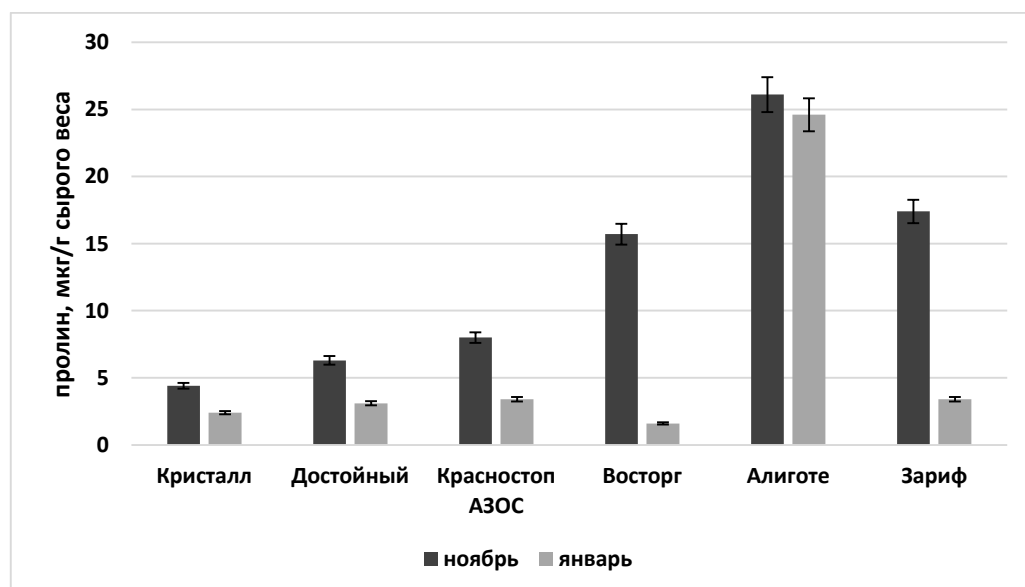


Рисунок 3 – Содержание пролина в побегах винограда в осенне-зимний период 2020...2021 гг. НСР_{0,5}: ноябрь – 0,57; январь – 0,69

Изучение повреждений сортов винограда после естественных морозов дают полезную информацию, но стрессы зимнего периода, вызывающие повреждения, изменчивы и случаются нечасто. Метод искусственного промораживания, имитирующий критические низкие температуры зимнего периода, дает ценную информацию для изучения морозостойкости.

Для более детальной оценки изучаемых сортов винограда на устойчивость к условиям II компонента зимостойкости (устойчивость к критическим морозам в середине зимы) моделировали низкотемпературный стресс при температуре -20°C . После искусственного промораживания у сортов Достойный, Красностоп АЗОС не отмечено увеличения содержания малонового диальдегида, свидетельствующее об их повышенной устойчивости в этот период на действие критических низких температур (рисунок 4).

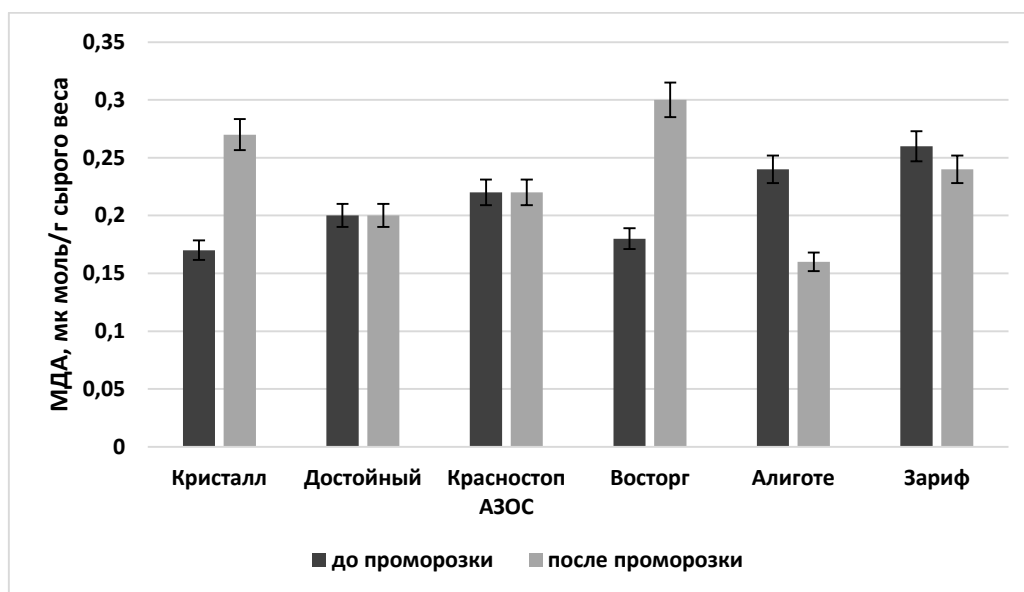


Рисунок 4 – Содержание малонового диальдегида в побегах винограда в эксперименте по искусственному промораживанию в январе 2021 г. НСР_{0,5}: до проморозки – 0,94; после проморозки – 1,48

Выявлено, что исследованные сорта винограда отвечают на действие искусственно вызванного низкотемпературного стресса стимуляцией функционирования антиоксидантной системы, защитный эффект которой определяется накоплением различных низкомолекулярных антиоксидантов, в частности аскорбиновой кислоты. Обладая способностью обратимо окисляться и восстанавливаться, аскорбиновая кислота является признанным антиоксидантом, она способна реагировать с супероксидными и гидроксильными радикалами и тем самым снижать их концентрацию в клетке (Smirnoff, 2000).

Аскорбиновой кислоте отводится большая роль в устойчивости растений к низким температурам. Известно, что высокозимостойкие сорта яблони накапливали больше аскорбиновой кислоты, чем менее зимостойкие (Красова, 2016).

Проведен сравнительный анализ содержания аскорбиновой кислоты до и после проморозки. В период проявления максимальной морозостойкости в январе высокое содержание аскорбиновой кислоты в побегах накопилось у сортов Кристалл (26,32 мкг/г

сырого веса) и Восторг (41,3 мкг/г сырого веса), свидетельствующее об их повышенной зимостойкости в сравнении с другими изучаемыми сортами (рисунок 5).

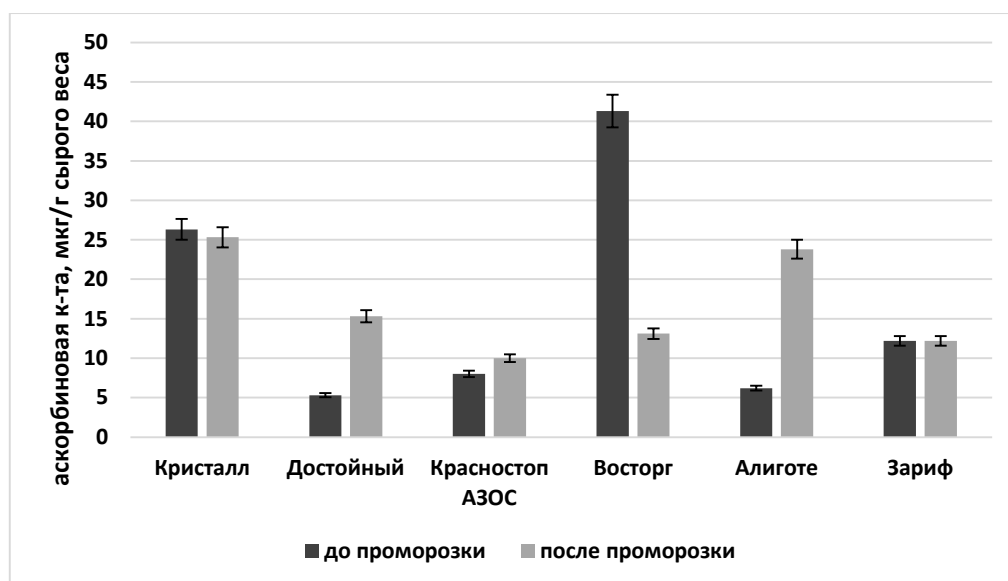


Рисунок 5 – Содержание аскорбиновой кислоты в побеге винограда в эксперименте по искусственному промораживанию в январе 2021 г. НСР_{0,5}: до проморозки – 3,01; после проморозки – 1,16

После искусственного промораживания содержание аскорбиновой кислоты у различных сортов изменялось по-разному. У сортов Кристалл и Зариф оно почти не изменилось, у Восторг уменьшилось. У сортов Достойный, Красностоп АЗОС, Алиготе наблюдалось увеличение содержания аскорбиновой кислоты в 2,89; 1,25; 3,84 раз соответственно. Повышение содержания аскорбиновой кислоты связано с детоксикацией активных форм кислорода в условиях низкотемпературного стресса.

Выводы

Изучены особенности физиолого-биохимических изменений, происходящие в побегах винограда в осенне-зимний период 2020...2021 гг., связанные с формированием ответных защитных реакций на меняющиеся климатические условия. Выявлены сортовые различия в формировании ответных реакций, которые связаны с происхождением.

Установлено, что наименьшие значения содержания малонового диальдегида в период проявления максимальной морозостойкости отмечены у сортов Кристалл – 0,17 мкмоль/г сырого веса и Восторг – 0,18 мкмоль/г сырого веса, свидетельствующие об их повышенной устойчивости в сравнении с другими изучаемыми сортами. Выявлено, что осмолиты пролин и сахароза вовлекаются в формирование адаптационной устойчивости изучаемых сортов винограда в течение зимнего периода. Наибольший вклад пролина в адаптивные процессы в большей степени проявился у сортов Восторг и Зариф, у которых его содержание уменьшилось в 9,81 и 5,11 раз соответственно, а вклад сахарозы – у сорта Восторг, у которого ее содержание повысилось в 6,3 раз.

В зимний период высокое содержание аскорбиновой кислоты в побегах накопилось у сортов Кристалл (26,32 мкг/г сырого веса) и Восторг (41,3 мкг/г сырого веса), свидетельствующее об их повышенной зимостойкости в сравнении с другими изучаемыми

сортами. Увеличения содержания аскорбиновой кислоты после воздействия искусственного низкотемпературного воздействия заморозки у сортов Дстойный, Красностоп АЗОС, Алиготе – в 2,89; 1,25; 3,84 раз соответственно связано с детоксикацией активных форм кислорода в условиях низкотемпературного стресса.

Показано, что индукция защитного ответа по физиолого-биохимическим параметрам содержания пролина, сахарозы, аскорбиновой кислоты в побегах в зимний период в большей степени выражена у сортов Кристалл, Восторг в сравнении с другими изучаемыми сортами.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Алейникова Г.Ю. Фенология винограда в условиях локального изменения климата // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2018. № 3. С. 4-6. EDN: [RZRPIH](#).
2. Воробьев Н.В. Определение содержания сахарозы, фруктозы и глюкозы в растительных тканях с помощью антронового реактива // Бюллетень НТИ ВНИИ риса. 1985. № 33. С. 11-13.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 351 с. EDN: [QLCQEP](#).
4. Красова Н.Г. Использование генофонда ВНИИСПК в селекции сортов яблони // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2016. Т. 3, № 1. С. 77-83. EDN: [WQTWAP](#).
5. Колупаев Ю.Е. Антиоксиданты растительной клетки, их роль в АФК-сигналинге и устойчивости растений // Успехи современной биологии. 2016. Т. 136, № 2. С. 181-198. EDN: [VWRXZB](#).
6. Ненько Н.И., Ильина И.А., Воробьева Т.Н. Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда / под общ. ред. Н.И. Ненько. Краснодар: СКЗНИИСив. 2015. 115 с. EDN: [VROMIH](#).
7. Ненько Н.И., Киселева Г.К. Физиолого-биохимические методы оценки сортов плодовых культур для адаптивной селекции и промышленного возделывания // Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда. Краснодар, 2017. С. 66-78. EDN: [ZSYKJX](#).
8. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г., Лукьянова А.А. Влияние изменений климата на фенологию винограда // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019. № 57. С. 29-50. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50. EDN: [HDLGEU](#).
9. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Наумова Л.Г., Лукьянова А.А. Адаптивная реакция на лозови сортове в условия на климатични промени // Лозарство и винарство. 2018. № 6. С. 18-31. EDN: [ZDAKCD](#).
10. Стоев К.Д. Физиология винограда и основы его возделывания. М.: Книга по требованию, 2013. 386 с.
11. Alikadic A., Pertot I., Eccel E., Dolci C., Zarbo C., Caffarra A., Filippi R.D., Furlanello C. The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study // Agricultural and Forest Meteorology. 2019. № 271. P. 73-82.
12. 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. № 262. P. 227-236. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.017.

13. Ershadi A., Karimi R., Naderi K.M. Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars // *Acta physiologiae plantarum*. 2016. Vol. 38, №1. DOI: 10.1007/s11738-015-2021-6.
14. Karimi R., Ershadi A. Role of exogenous abscisic acid in adapting of 'Sultana' grapevine to low temperature stress // *Acta physiologiae plantarum*. 2015. Vol. 37, №8. DOI: 10.1007/s11738-015-1902-z.
15. Kalkan N.N., Kaya Ö., Karadogan B., Köse C. Determination of cold damage and lipid peroxidation levels of Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar having different trunk height in winter buds // *The Journal of Agricultural Science*. 2017. № 32. P. 11-17. DOI:10.28955/alinterizbd.297798.
16. 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. № 62(1). P. 43-50. DOI:10.1007/s10341-020-00495-w.
17. Kaya Ö., Köse C. Determination of resistance to low temperatures of winter buds on lateral shoot present in Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar // *Acta physiologiae plantarum*. 2017. Vol. 39, №9. DOI:10.1007/s11738-017-2513-7.
18. Smirnoff N., Wheeler G.L. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function // *Critical reviews in plant sciences*. 2000. Vol. 19, № 4. P. 267-290. DOI:10.1080/07352680091139231.
19. 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. 51, № 4. P. 153-160.

References

1. Aleinikova, G.U. (2018). Grapevine phenology in conditions of local climate change. *Magarach. Viticulture and winemaking*, 3, 4-6. EDN: RZRPIH. (In Russian, English abstract).
2. Vorobev, N.V. (1985). Determination of the content of sucrose, fructose and glucose in plant tissues using the anthrone reagent. *Bulletin of the NTI All-Russian Research Institute of Rice*, 33, 11-13. (In Russian).
3. Dosphehov, B.A. (2012). *Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow. EDN: QLCQEP. (In Russian).
4. Krasova, N.G. (2016). The use of VNIISPK genepool in apple breeding. *Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops*, 3(1), 77-83. EDN: WQTWAP. (In Russian, English abstract).
5. Kolupaev, U.E. (2016). Plant cell antioxidants and their role in ROS signaling and plant resistance. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 136(2), 181-198. EDN: VWRXZB. (In Russian, English abstract).
6. Nenko, N.I., Ilina, I.A., & Vorobeva, T.N. (2015). *Modern instrumental-analytical methods for the study of fruit crops and grapes. Under the general editorship*. Krasnodar: SKZNIISiV. EDN: VROMIH. (In Russian).
7. Nenko, N.I., & Kiseleva, G.K. (2017). Physiological and biochemical methods for assessing varieties of fruit crops for adaptive breeding and industrial cultivation. In *Modern methodology, tools for assessing and selecting breeding material for horticultural crops and grapes* (pp. 66-78). Krasnodar. EDN: ZSYKJX. (In Russian).
8. Petrov, V.S., Aleinikova, G.U., Novikova, L.U., Naumova, L.G., & Lukyanova, A.A. (2019). The influence of climate changes the grape phenology. *Fruit growing and viticulture of South Russia*, 57, 29-50. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50>. EDN: HDLGEU. (In Russian, English abstract).
9. Petrov, V.S., Aleinikova, G.U., Naumova, L.G., & Lukyanova, A.A. (2018). Adaptive reaction of grape varieties in conditions of climate change. *Winery and winemaking*, 6, 18-31. EDN: ZDAKCD. (In Russian).

10. Stoev, K.D. (2013). *Physiology of grapes and the basics of its cultivation*. Moscow: Book on demand, 386. (In Russian).
11. Alikadic, A., Pertot, I., Eccel, E., Dolci, C., Zarbo, C., Caffarra, A., Filippi, R.D., & Furlanello, C. (2019). The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 73-82.
12. Antivilo, F.G., Paz, R.C., Echeverria, M., & Keller, M. (2018). Thermal history parameters drive changes in physiology and cold hardiness of young grapevine plants during winter. *Agricultural and Forest Meteorology*, 262, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.017>.
13. Ershadi, A., Karimi, R., & Naderi, K.M. (2016). Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. *Acta physiologiae plantarum*, 38(1). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-2021-6>.
14. Karimi, R., & Ershadi, A. (2015). Role of exogenous abscisic acid in adapting of 'Sultana' grapevine to low temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(8), 151. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1902-z>.
15. Kalkan, N.N., Kaya, Ö., Karadogan, B., & Köse, C. (2017). Determination of cold damage and lipid peroxidation levels of Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar having different trunk height in winter buds. *The Journal of Agricultural Science*, 32, 11-17. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.297798>.
16. Kaya, Ö. (2020). Bud Death and Its Relationship with Lateral Shoot, Water Content and Soluble Carbohydrates in Four Grapevine Cultivars Following Winter Cold. *Erwerbs-Obstbau*, 62(1), 43-50. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00495-w>.
17. Kaya, Ö., & Köse, C. (2017). Determination of resistance to low temperatures of winter buds on lateral shoot present in Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(9). <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2513-7>.
18. Smirnoff, N., & Wheeler, G.L. (2000). Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical reviews in plant sciences*, 19(4), 267-290. <https://doi.org/10.1080/07352680091139231>.
19. Zhang, J., Wu, X., Niu, R., Liu, Y., Liu, N., Xu, W., & Wang, Y. (2012). Cold resistance evaluation in 25 wild grape species. *Vitis*, 51(4), 153-160.