

УДК 581 : 576.5 : 634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2022-6-78-287-300

**АДАПТАЦИОННАЯ
УСТОЙЧИВОСТЬ ЯБЛОНИ
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ
КЛИМАТА**

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

Ульяновская Елена Владимировна
д-р с.-х. наук
заведующая лабораторией сортоизучения
и селекции садовых культур
e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

Караваева Алла Витальевна
младший научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru

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

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

В последние годы получение стабильных высоких урожаев яблони ограничивается воздействием неблагоприятных факторов зимнего периода, в том числе возникшими в результате локального изменения климата. Цель настоящей работы – оценить адаптационную устойчивость яблони к зимним стрессам по физиолого-биохимическим параметрам, выделить наиболее устойчивые сорта для возделывания в условиях Краснодарского края. Объектами исследований являлись сорта яблони различного эколого-географического

UDC 581 : 576.5 : 634.224

DOI 10.30679/2219-5335-2022-6-78-287-300

**ADAPTIVE STABILITY
OF THE APPLE TREE
IN THE CONDITIONS
OF A CHANGING CLIMATE**

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

Ulyanovskaya Elena Vladimirovna
Dr. Sci. Agr.
Head of Laboratory of Variety study
and Breeding of Garden crops
e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

Karavaeva Alla Vitalevna
Junior Research Associate
of Plant of Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru

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

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

In recent years, obtaining stable high yields of apple trees is limited by the impact of unfavorable factors of the winter period, including those resulting from local climate change. The purpose of this work is to evaluate the adaptation stability of the apple tree to winter stress on physiological and biochemical parameters, allocate the most stable varieties for the cultivation in the conditions of the Krasnodar region. Objects of research were the varieties of apple trees of various ecologic-geographical origin: Orfey, Idadred, Ligol, Prikubanskoye. Comparative studies of these varieties

происхождения: Орфей, Айдаред, Лигол, Прикубанское. Проведены сравнительные исследования данных сортов по параметрам водного режима, содержанию водорастворимых сахаров, растворимых белков, антоцианов в течение зимних периодов 2020-2022 гг. Выявлено, что изучаемые сорта яблони в условиях нестабильного климата юга России реализуют сходный механизм формирования зимостойкости, имеющий количественные отличия содержания некоторых метаболитов в предзимний и зимний периоды. Установлено, что криопротекторная функция водорастворимых сахаров максимально проявилась у сортов Орфей и Лигол, их содержание увеличилось в 2,57 и в 2,69 раза, соответственно. Растворимые белки внесли наибольший вклад в формирование защитного ответа у сортов Орфей и Прикубанское в январе, их содержание увеличилось в 1,78 и 1,92 раза соответственно, в сравнении с декабрем. Защитная функция антоцианов максимально проявилась в декабре у сорта Орфей, в коре которого произошло увеличение их содержания в 5,23 раза. Физиолого-биохимическая адаптация сортов яблони к пониженным температурам зимнего периода достигается за счет увеличения фракции связанной воды в общем содержании воды, увеличения содержания водорастворимых сахаров, белков и антоцианов в коре и почках. По полученным данным, сорта яблони Орфей и Прикубанское проявили себя более адаптивными в сравнении с другими изучаемыми сортами в условиях предзимнего и зимнего периодов и рекомендуются для возделывания в Краснодарском крае.

Ключевые слова: ЯБЛОНЯ, СОРТ, АДАПТИВНОСТЬ, ЗИМОСТОЙКОСТЬ, ВОДРАСТВОРИМЫЕ САХАРА, БЕЛОК, АНТОЦИАНЫ

in the parameters of the water regime, the content of water-soluble sugars, soluble proteins, anthocyanins during the winter periods of 2020-2022 were carried out. It was revealed that the studied varieties of an apple tree in the conditions of an unstable climate of the South of Russia implement a similar mechanism for the formation of winter hardiness, which has quantitative differences in the content of some metabolites in the pre-winter and winter periods. It has been established that the cryoprotective function of water-soluble sugars has manifested as much as possible in the varieties Orfey and Ligol, their content increased by 2.57 and 2.69 times, respectively. Soluble proteins have made the greatest contribution to the formation of a protective response in varieties Orfey and Prikubanskoye in January, their content increased by 1.78 and 1.92 times, respectively, compared to December. The protective function of the anthocyanins was maximally manifested in December in the Orfey variety, in the bark of which there was an increase in their content by 5.23 times. The physiological and biochemical adaptation of the apple trees to the low temperatures of the winter period is achieved by increasing the fraction of the bound water in the total water content, increase the content of water-soluble sugars, proteins and anthocyanins in the bark and buds. According to the obtained data, the apple tree varieties Orfey and Prikubanskoye proved to be more adaptive in comparison with other studied varieties in the conditions of the pre-winter and winter periods and are recommended for cultivation in the Krasnodar region.

Keywords: APPLE, VARIETY, ADAPTABILITY, WINTER HARDINESS, WATER-SOLUBLE SUGARS, PROTEIN, ANTHOCYANINS

Введение. Яблоня – ведущая плодовая культура Краснодарского края. Почвенно-климатические условия региона благоприятны для возделывания сортов яблони с высокими потребительскими качествами плодов.

Однако в последние годы получение стабильных высоких урожаев ограничивается воздействием неблагоприятных факторов зимнего периода, в том числе возникшими в результате локального изменения климата.

Анализ метеорологических условий с 1971 года выявил следующие климатические изменения в зимний период:

- увеличение в последние десятилетия частоты наступления ранних морозов (ниже -15°C) в фазу подготовки растений к физиологическому покою (ноябрь-декабрь);
- повышение частоты длительных оттепелей в начале и середине зимы;
- уменьшение частоты наступления и силы морозов в фазу вынужденного покоя (январь-февраль), участились длинные оттепели в этот период [1].

Колебания метеорологических факторов в осенне-зимний период приводят к снижению адаптивных свойств, потере зимостойкости плодовых растений, в том числе и яблони [2, 3]. В связи с этим актуальным является изучение физиолого-биохимических особенностей сортов яблони различного эколого-географического происхождения в условиях меняющегося климата.

Физиолого-биохимические изменения, происходящие в тканях растений в период подготовки к зиме, связаны с накоплением углеводов, белков, фенольных и других веществ, обладающих протекторно-регулирующим действием, которые в значительной степени повышают адаптационно защитный процесс. Этот процесс связан как со многими структурными, физиологическими, биохимическими изменениями в растительных клетках [4, 5], так и с изменением экспрессии из определенного набора генов [6, 7].

Имеются данные, свидетельствующие о том, что уменьшение количества крахмала и повышение содержания сахаров у различных растений в течение зимы связаны с морозостойкостью [8-10]. В условиях Турции у сортов яблони различного эколого-географического происхождения (Аме-

рика, Турция) высокое содержание растворимых сахаров вследствие гидролиза крахмала обнаружено в середине зимы, а уменьшение сахаров наблюдается ранней весной [11].

Во второй половине зимы в условиях юга России отмечено относительное постоянство в содержании растворимых сахаров (особенно фруктозы) у морозоустойчивых сорто-подвойных сочетаний яблони однолетнего возраста при действии низких отрицательных температур после оттепели и отсутствие такового у неморозоустойчивых [12].

Обнаружено, что закаливание растений сопровождается значительным увеличением содержания растворимых белков. Продуцирование адаптивных форм белков и ферментов (изоферментов) позволяет устойчивым растениям более эффективно выполнять свои физиологические функции в условиях неблагоприятного температурного режима [13]. Показано, что синтез дегидринов усиливается во время закаливания и, возможно, они препятствуют образованию льда в клетках [14, 15].

Накопление антоцианов в форме цианидинов в коре побегов различных древесных растений, придающих коре красноватые и коричневые тона, связано с защитной функцией при действии низких температур, [16, 17]. Также в связи с проблемой морозостойкости большое внимание уделяется вопросам состояния воды внутри клетки [18]. Таким образом, вышеперечисленные параметры можно рассматривать в качестве критериев адаптационной оценки яблони к условиям зимнего периода.

Цель настоящей работы – оценить адаптационную устойчивость яблони к зимним стрессам по физиолого-биохимическим параметрам, выделить наиболее устойчивые сорта для возделывания в условиях Краснодарского края.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в осенне-зимний период 2020-2022 гг. на базе генетической коллекции ЦКП «Се-

веро-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (СКФНЦСВВ). Объекты исследования – 4 сорта яблони: Орфей (Россия, СКФНЦСВВ), 2013 г. посадки на подвое СК2 при схеме посадки 4×1,2; Айдаред (США), Лигол (Польша), Прикубанское (Россия, СКФНЦСВВ) 2010 г. посадки на подвое СК4 при схеме посадки 4,5×0,9. Сорт Айдаред – контроль.

Для исследований отбирали полностью вызревшие годовичные побеги с трех деревьев каждого сорта в 5-кратной повторности. Побеги нарезали на кусочки длиной 15-20 мм, рассекали продольно скальпелем на 2 отрезка и отделяли кору от сердцевины. Показатели водного режима определяли весовым методом после высушивания навесок в термостате при 105 °С до постоянной массы и выражали в % от сырой массы [19].

Содержание растворимых сахаров определяли с использованием антронового реактива по спектру поглощения (длина волны – 670 нм), снятому на фотоколориметре ФЭК-56 согласно методике [20]. Содержание растворимых белков определяли при помощи спектрофотометра Unicо 2800 [21].

Содержание антоцианов и халконов в коре побегов определяли по спектру поглощения (длина волны 490 нм для антоцианов и 364 нм для халконов), снятому на фотоколориметре ФЭК-56. Полученные результаты измерений оптической плотности выражали в условных единицах согласно методике [22].

Расчеты выполняли с использованием программного пакета Microsoft Excel 2010. Оценивали существенность разницы между анализируемыми показателями на 95 % уровне достоверности ($HCp_{0,5}$), рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение.

Обсуждение результатов. В осенне-зимние месяцы, когда отбирали материал для исследований (ноябрь-февраль) в 2020-2021 гг., минимальная температура воздуха опускалась до -12,57 °С, максимальная поднималась

до +19,0 °С. В 2021-2022 гг. минимальная температура воздуха опускалась до -9,3 °С, максимальная поднималась до +20 °С. Среднемесячное количество выпавших осадков в исследуемый период 2020-2021 гг. составляло 21,4-108,7 мм; в 2021-2022 гг. – 47-160,4 мм.

От состояния водного обмена дерева зависят многие физиологические процессы, в том числе и способность переносить зимние неблагоприятные условия. Осенью снижение оводненности тканей побегов яблони обусловлено снижением активности обменных процессов в связи с вхождением в зимний покой. В это время происходит активный процесс перестройки белковых структур, нуклео- и липопротеидов клетки, связанный с накоплением осмолитов и других криопротекторов, обуславливающих зимостойкость.

В проведенных нами исследованиях в ноябре выявлены различия по оводненности почек (общего содержания воды) различных сортов яблони. Содержание общей воды варьировало от 35,12 % у сорта Айдаред до 46,01 % у сорта Орфей. Значительных изменений общего содержания воды в почках изучаемых сортов яблони в течение зимы не наблюдалось. Стабильные значения оводненности почек сохранялись в течение зимнего периода. Подобный факт отмечен у листопадных древесных растений, различающихся по морозостойкости в Японии [23].

Известно, что важную роль в устойчивости растительных организмов к низким температурам играет соотношение между фракциями воды (свободной и связанной), что определяет степень ее подвижности внутри клетки. В процессе закалки увеличивается содержание связанной формы воды, обуславливающей устойчивость к зимним стрессам. Высокий показатель соотношения связанной формы воды к свободной свидетельствует о высокой устойчивости сорта.

В ноябре самый высокий показатель соотношения связанной и свободной форм воды (3,02) наблюдали у сорта Лигол, у остальных сортов он имел значения 2,33-2,59 (рис. 1). В декабре и в последующие месяцы зимне-

го периода у сорта Лигол он почти не изменялся и имел значения 3,31-3,57. У остальных изучаемых сортов этот показатель был выше в течение зимы и имел значения 3,31-4,57. Самые высокие показатели соотношения связанной и свободной форм воды (4,55-4,57), свидетельствующие об устойчивости в зимний период, наблюдали у сортов Орфей, Прикубанское.

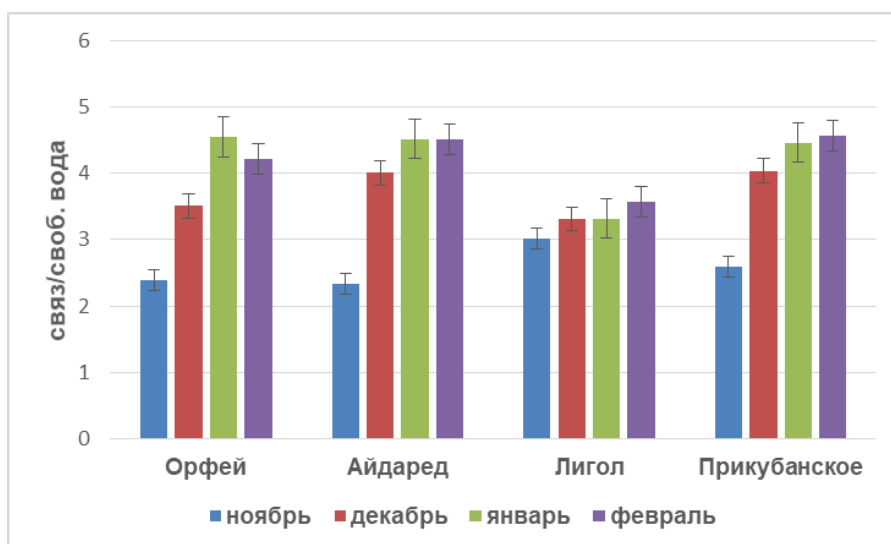


Рис. 1. Соотношение связанной и свободной воды в почках яблони в осенне-зимний период 2020-2022 гг. (средние значения).

НСР_{0,5}: ноябрь – 1,41; декабрь – 3,27; январь – 2,41; февраль – 2,11.

Предотвращение летального обезвоживания клеток при действии низких отрицательных температур происходит за счет накопления сахаров, которые повышают водоудерживающую способность клеток и повышают устойчивость к охлаждению. Имеются данные, что гидролиз крахмала и накопление в цитоплазме водорастворимых сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы) при действии низких температур усиливается у морозостойких сортов древесных и травянистых растений [8-10].

В наших исследованиях в предзимний период, в ноябре наименьшее количество водорастворимых сахаров накоплено у сорта Лигол – 5,59 мг/г сухого веса, у остальных сортов оно составляло 8,38-13,49 мг/г сухого веса (рис. 2).

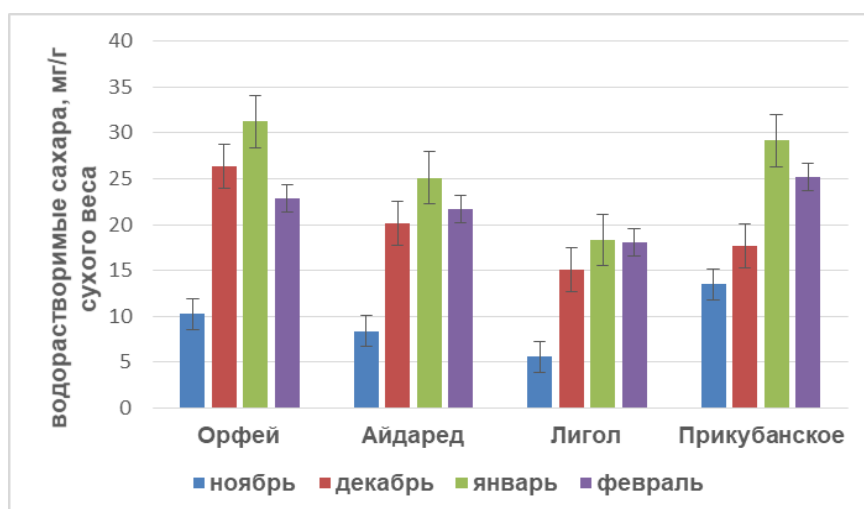


Рис. 2. Динамика содержания водорастворимых сахаров в коре яблони в осенне-зимний период 2020-2022 гг. (средние значения).
НСР_{0,5}: ноябрь – 1,52; декабрь – 2,01; январь – 3,23; февраль – 1,29.

В декабре в результате гидролиза крахмала их содержание увеличилось, причем максимально у сортов Орфей – в 2,57 раз и у сорта Лигол – в 2,69 раз. В январе содержание водорастворимых сахаров увеличилось в сравнении с декабрем в 1,18-1,65 раз в зависимости от сорта; в феврале – уменьшилось у всех сортов в 1,01-1,36 раз в зависимости от сортовой принадлежности. Следовательно, криопротекторная функция сахаров максимально проявилась у всех сортов в декабре.

При изучении зимостойкости особое внимание уделяется белкам, так как они играют важную роль в жизнедеятельности клетки. Белки являются главными компонентами клеточных мембран; обладая гидрофильными свойствами, они участвуют в связывании воды, обуславливают вязкость протоплазмы, являются компонентами ферментных систем и контролируют системы мембранного транспорта [13, 14].

В наших исследованиях обнаружено, что к ноябрю все изучаемые сорта яблони накопили от 4,26 до 4,80 мг/г сухого веса растворимых белков в зависимости от сортовой принадлежности (рис. 3).

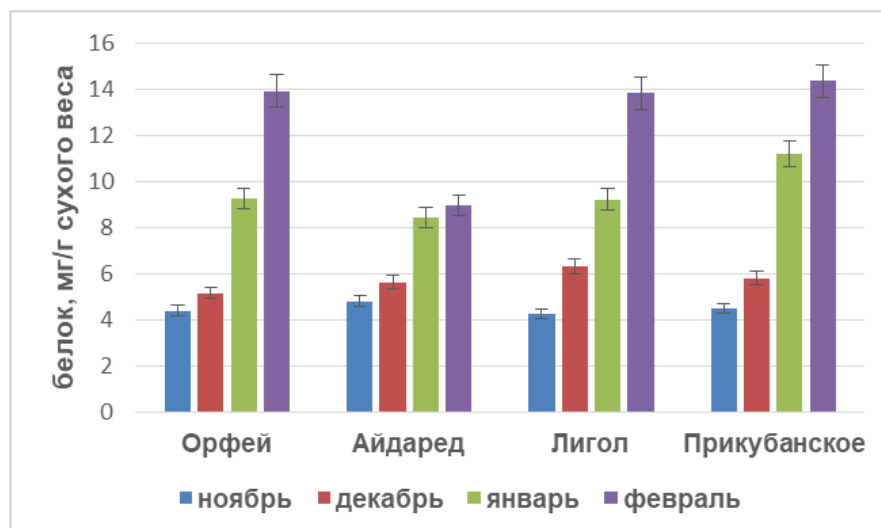


Рис. 3. Динамика содержания растворимых белков в почках яблони в осенне-зимний период 2020-2022 гг. (средние значения).
НСР_{0,5}: ноябрь – 4,56; декабрь – 2,27; январь – 4,12; февраль – 5,82.

В декабре в связи с понижением температуры содержание белков у сорта Лигол увеличилось в 1,48 раза, у остальных сортов – в 1,17-1,29 раза. В последующие месяцы зимнего периода содержание белков увеличивалось у всех сортов в ответ на стрессовые воздействия в 1,06-1,92 раза в зависимости от сортовой принадлежности. Наибольший вклад в формирование защитного ответа низкомолекулярные белковые соединения внесли у сортов Орфей и Прикубанское в январе, когда их содержание в сравнении с декабрем увеличилось в 1,78 и 1,92 раза соответственно.

Известно, что антоцианы связаны с повышением устойчивости растений к охлаждению и замораживанию, покровные ткани некоторых зимостойких растений содержат высокие концентрации антоцианов. Помимо этой функции антоцианы и халконы являются компонентами антиоксидантной защиты, предохраняя организм от окислительного стресса [16, 17].

В наших исследованиях в ноябре содержание антоцианов в коре изучаемых сортов яблони составляло 4,6-7,5 у.е. (рис. 4).

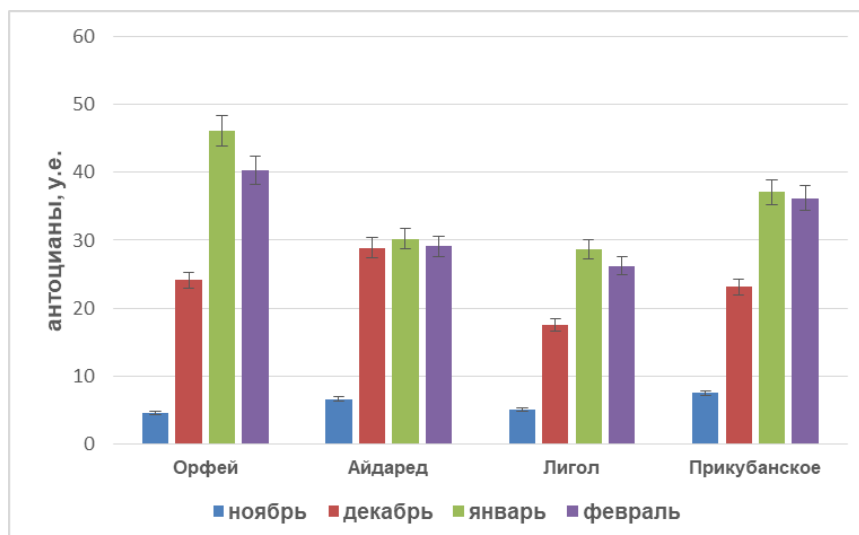


Рис. 4. Динамика содержания антоцианов в коре яблони в осенне-зимний период 2020-2022 гг. (средние значения).
НСР_{0,5}: ноябрь – 22,12; декабрь – 13,03; январь – 12,45; февраль – 16,43.

В течение декабря и января содержание антоцианов значительно увеличивалось в ответ на низкие температуры: в декабре в 3,08-5,23 раза; в январе – в 1,04-1,91 раза в зависимости от сорта. Особенно проявилась защитная функция антоцианов у сорта Орфей в декабре, где наблюдали увеличение их содержания в 5,23 раза в сравнении с ноябрем. Это согласуется с фактом активации биосинтеза антоцианов при действии низких температур у кребов яблони [16]. В феврале содержание антоцианов в коре всех изучаемых сортов несколько уменьшилось – в 1,02-1,14 раза, в связи с прекращением их синтеза. Динамика содержания халконов не выявила их участия в формировании защитного ответа изучаемых сортов яблони (данные не представлены).

Выводы. Проведены сравнительные физиолого-биохимические исследования сортов яблони различного эколого-географического происхождения по параметрам водного режима, содержанию водорастворимых сахаров, растворимых белков, антоцианов в течение зимних периодов 2020-2022 гг. Выявлено, что изучаемые сорта яблони в условиях нестабильного климата юга России реализуют сходный механизм формирования

зимостойкости, имеющий количественные отличия содержания некоторых метаболитов в предзимний и зимний периоды.

Показано, что значительных изменений общего содержания воды в почках изучаемых сортов яблони в течение зимы не наблюдалось. Самые высокие показатели соотношения связанной и свободной форм воды (4,55-4,57), свидетельствующие об устойчивости в зимний период, наблюдали у сортов Орфей и Прикубанское.

Установлено, что криопротекторная функция водорастворимых сахаров максимально проявилась у сортов Орфей и Лигол, их содержание увеличилось в 2,57 и в 2,69 раз соответственно. Растворимые белки внесли наибольший вклад в формирование защитного ответа у сортов Орфей и Прикубанское в январе, когда их содержание увеличилось в 1,78 и 1,92 раза соответственно в сравнении с декабрем. Установлено, что защитная функция антоцианов максимально проявилась в декабре у сорта Орфей, в коре которого произошло увеличение их содержания в 5,23 раза.

Физиолого-биохимическая адаптация сортов яблони к пониженным температурам зимнего периода достигается за счет увеличения фракции связанной воды в общем содержании воды, увеличения содержания водорастворимых сахаров, белков и антоцианов в зимующих органах. Установлено, что по физиолого-биохимическим исследованиям сорта яблони Орфей и Прикубанское проявили себя более адаптивными в сравнении с другими изучаемыми сортами в условиях предзимнего и зимнего периодов и рекомендуются для возделывания в Краснодарском крае.

Литература

1. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Шестакова В.В., Ульяновская Е.В. Устойчивость сортов яблони к абиотическим стрессорам в агроландшафте Краснодарского края // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, центральной Азии и Сибири. Т. 1. / Под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. С. 486-490.
2. 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. – № 4. – P. 44 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00044>

3. К раскрытию механизма взаимодействия «генотип-среда» по фазам онтогенеза и использование его в селекции плодовых культур / И.А. Драгавцева, И.Л. Ефимова [и др.] // Научные труды СКФНЦСВВ. Т. 25. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2019. С. 76-85.
4. Cyril J., Powell G. L., Duncan R. R., Baird W. V. Changes in membrane polar lipid fatty acids of seashore paspalum in response to low temperature exposure / Crop Science. – 2002. – № 42. – P. 2031-2037.
5. Taulavuori E., Hellström E.K., Taulavuori K., Laine K. Comparision of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* L. during snow removal, reacclimation and cold acclimation / J. Exp. Bot. – 2001. – № 52 (365). – P. 2375-2380.
6. Artlip T., Wisniewski M., Arora R., Norelli J. An apple rootstock overexpressing a peach CBF gene alters growth and flowering in the scion but does not impact cold hardiness or dormancy / Hort. Res. – 2016. – № 3. – P. 16006. doi:10.1038/hortres.2016.6
7. Wisniewski M., Norelli J., Artlip T. Overexpression of a peach CBF gene in apple: a model for understanding the integration of growth, dormancy, and cold hardiness in woody plants / Plant Physiology. – 2015. – № 6. – P. 85. [https://doi.org/ 10.3389/fpls.2015.00085](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00085)
8. Karami H., Rezaei M., Sarkhosh A. et al. Cold Hardiness Assessment in Seven Commercial Fig Cultivars (*Ficus carica* L.) / Gesunde Pflanzen. – 2018. – № 70. – P. 195-203. <https://doi.org/10.1007/s10343-018-0431-2>
9. Peixoto M.M., Friesen P.C., Sage R.F. Winter cold tolerance thresholds in field-grown *Miscanthus* hybrid rhizomes / Journal of Experimental Botany. – 2015. – № 66. – P. 4415-4425.
10. Charrier G., Améglio T. The timing of leaf fall affects cold acclimation by interactions with air temperature through water and carbohydrate contents / Environmental and Experimental Botany. – 2011 – № 72. – P. 351-357. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.12.
11. Sivaci A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings / Scientia Horticulturae. – 2006. – № 109. – P. 234-237. doi: 10.1016/j.scienta.2006.04.01
12. Дорошенко Т.Н. Физиолого-экологические аспекты южного плодоводства. Краснодар, 2000. 234 с.
13. 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. – № 17(4). – P. 857-866. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61760-X
14. Haimi P., Vinskienė J., Stepulaitienė I., Baniulis D., Stanienė G., Šikšnianienė J. B., Rugienius R. Patterns of low temperature induced accumulation of dehydrins in Rosaceae crops – evidence for post-translational modification in apple / Journal of Plant Physiology. – 2017. – № 218. – P. 175-181. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.08.008>
15. Rachenko M.A., Rachenko A.M. The variation of the content of dehydrin proteins in the bark of *Malus app.* trees differing in winter hardiness in Southern Cisbaikalia conditions / Zemdirbyste-Agriculture. – 2020. – № 107 (2). – P. 185-190. DOI 10.13080/z-a.2020.107.024
16. Гончаровская И.В., Левон В.Ф., Клименко С.В., Кузнецов В.В. Содержание антоцианов и халконов в побегах крупноплодных сортов и кребов яблони в связи с зимостойкостью // Фенольные соединения: функциональная роль в растениях: сборник докладов X Международного Симпозиума (14-19 мая 2018 г., Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН). Москва: PRESS-BOOK.RU, 2018. С. 106-110.
17. Красова Н.Г. Адаптивный потенциал сортов яблони // Садоводство и виноградарство. 2015. № 3. С. 38-45. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2015-3-38-45>
18. Ashworth E.N., Wisniewski M.E. Response of Fruit Tree Tissues to Freezing Temperatures // Hortscience. – 1991. – № 26 (5). – P. 501-504.

19. Кушниренко М.Д., Гончарова Э.А., Бондарь Е.М. Методы изучения водного обмена и засухоустойчивости растений. Кишинев, 1970. 79 с.
20. 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.
21. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос, 1976. 255 с.
22. Соловьева М.А. Оценка зимостойкости плодовых культур // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Ленинград: ВИР, 1988. С.163-164.
23. Кейку С., Ивайя М. Низкотемпературные экзотермы ксилемы вечнозеленых и листопадных широколиственных древесных пород Японии в связи с их морозостойкостью и ареалом распространения // Холодоустойчивость растений // Пер. с англ. Г.Н. Зверевой, М.М. Тюриной. Под ред. и с предисл. Г.А. Самыгина. М.: Колос, 1983. С. 178-188.

References

1. Nen'ko N.I., Kiseleva G.K., Shestakova V.V., Ul'yanovskaya E.V. Ustojchivost' sortov yabloni k abioticheskim stressoram v agrolandshafte Krasnodarskogo kraja // Novye metody i rezul'taty issledovanij landshaftov v Evrope, central'noj Azii i Sibiri. T. 1. / Pod red. V. G. Sycheva, L. Myullera. M.: FGBNU «VNII agrohimii», 2018. S. 486-490.
2. 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. – №4. – P. 44. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00044>
3. K raskrytiyu mekhanizma vzaimodejstviya «genotip-sreda» po fazam ontogeneza i ispol'zovanie ego v selekcii plodovyh kul'tur / I.A. Dragavceva, I.L. Efimova I.L. [i dr.] // Nauchnye trudy SKFNCSVV. T. 25. Krasnodar: FGBNU SKFNCSVV, 2019. S. 76-85.
4. Cyril J., Powell G. L., Duncan R. R., Baird W. V. Changes in membrane polar lipid fatty acids of seashore paspalum in response to low temperature exposure / Crop Science. – 2002. – № 42. – P. 2031-2037.
5. Taulavuori E., Hellström E.K., Taulavuori K., Laine K. Comparision of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* L. during snow removal, reacclimation and cold acclimation / J. Exp. Bot. – 2001. – № 52 (365). – P. 2375-2380.
6. Artlip T., Wisniewski M., Arora R., Norelli J. An apple rootstock overexpressing a peach CBF gene alters growth and flowering in the scion but does not impact cold hardi-ness or dormancy / Hort. Res. – 2016. – № 3. – P. 16006. doi:10.1038/hortres.2016.6
7. Wisniewski M., Norelli J., Artlip T. Overexpression of a peach CBF gene in apple: a model for understanding the integration of growth, dormancy, and cold hardiness in woody plants / Plant Physiology. – 2015. – № 6. – P. 85 <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00085>
8. Karami H., Rezaei M., Sarkhosh A. et al. Cold Hardiness Assessment in Seven Commercial Fig Cultivars (*Ficus carica* L.) / Gesunde Pflanzen. – 2018. – №70. – P. 195-203 <https://doi.org/10.1007/s10343-018-0431-2>
9. Peixoto M.M., Friesen P.C., Sage R.F. Winter cold tolerance thresholds in field-grown *Miscanthus* hybrid rhizomes / Journal of Experimental Botany. – 2015. – № 66. – P. 4415-4425.
10. Charrier G., Améglio T. The timing of leaf fall affects cold acclimation by interactions with air temperature through water and carbohydrate contents / Environmental and Experimental Botany. – 2011 – № 72. – P. 351-357. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.12.

11. Sivaci A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings / *Scientia Horticulturae*. – 2006. – № 109. – P. 234-237. doi: 10.1016/j.scienta.2006.04.01
12. Doroshenko T.N. Fiziologo-ekologicheskie aspekty yuzhnogo plodovodstva. Krasnodar, 2000. 234 s.
13. 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. – № 17(4). – P. 857-866. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61760-X
14. Haimi P., Vinskiene J., Stepulaitiene I., Baniulis D., Stanienė G., Šikšnianienė J. B., Rugienius R. Patterns of low temperature induced accumulation of dehydrins in Rosaceae crops – evidence for post-translational modification in apple / *Journal of Plant Physiology*. – 2017. – № 218. – P. 175-181. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.08.008>
15. Rachenko M.A., Rachenko A.M. The variation of the content of dehydrin proteins in the bark of *Malus* spp. trees differing in winter hardiness in Southern Cisbaikalia conditions / *Zemdirbyste-Agriculture*. – 2020. – № 107 (2). – P. 185-190. DOI 10.13080/z-a.2020.107.024
16. Goncharovskaya I.V., Levon V.F., Klimenko S.V., Kuznecov V.V. Soderzhanie antocianov i halkonov v pobegah krupnoplodnykh sortov i krebov yabloni v svyazi s zimostojkost'yu // *Fenol'nye soedineniya: funktsional'naya rol' v rasteniyah: sbornik dokladov X Mezhdunarodnogo Simpoziuma (14-19 maya 2018 g., Institut fiziologii rastenij im. K.A. Timiryazeva RAN)*. Moskva: PRESS-BOOK.RU, 2018. S. 106-110.
17. Krasova N.G. Adaptivnyj potencial sortov yabloni // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2015. № 3. S. 38-45. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2015-3-38-45>
18. Ashworth E.N., Wisniewski M.E. Response of Fruit Tree Tissues to Freezing Temperatures // *Hortscience*. – 1991. – № 26 (5). – P. 501-504.
19. Kushnirenko M.D., Goncharova E.A., Bondar' E.M. Metody izucheniya vodnogo obmena i zasuhoustojchivosti rastenij. Kishinev, 1970. 79 s.
20. Vorob'ev N.V. Opredelenie soderzhaniya saharozy, fruktozy i glyukozy v rastitel'nykh tkanyakh s pomoshch'yu antronnogo reaktiva // *Byulleten' NTI VNII risa*. 1985. № 33. S.11-13.
21. Pleshkov B.P. Praktikum po biohimii rastenij. Moskva: Kolos, 1976. 255 s.
22. Solov'eva M.A. Ocenka zimostojkosti plodovykh kul'tur // *Diagnostika ustojchivosti rastenij k stressovym vozdeystviyam (metodicheskoe rukovodstvo)*. Leningrad: VIR, 1988. S. 163-164.
23. Kejku S., Ivajya M. Nizkotemperaturnye ekzotermny ksilemy vechnozelenykh i listopadnykh shirokolistvennykh drevesnykh porod Yaponii v svyazi s ih morozostojkost'yu i arealom rasprostraneniya // *Holodoustojchivost' rastenij* // *Per. s angl.* G.N. Zverevoy, M.M. Tyurinoy. Pod red. i s predisl. G.A. Samygina. M.: Kolos, 1983. S. 178-188.