

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 631.522/.524
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-64-73



Устойчивость яблони к стрессам зимнего периода в условиях Краснодарского края

Г. К. Киселева, Е. В. Ульяновская, Т. В. Схаляхо, А. В. Караваева

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Константиновна Киселева, galina-kiseleva-1960@mail.ru

Актуальность. Физиолого-биохимические исследования устойчивости сортов яблони разного эколого-географического происхождения к зимним стрессам в условиях глобального потепления важны для выявления наиболее адаптивных сортов с целью использования в селекционном процессе. Устойчивость связывается с содержанием углеводов, антоцианов, активностью пероксидазы.

Материалы и методы. Изучались 2 сорта яблони селекции Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ) и 3 зарубежных сорта зимнего срока созревания по общепринятым физиолого-биохимическим методикам.

Результаты и обсуждение. Сорта яблони селекции СКФНЦСВВ 'Орфей' и 'Прикубанское' в сравнении с сортами зарубежной селекции 'Энтерпрайз', 'Флорина', 'Лигол' содержали повышенное содержание общей воды (на 2,5%), крахмала (на 9,5 мг/г), водорастворимых сахаров (на 19,3 мг/г) в побегах в течение зимнего периода. В процессе зимовки у сортов отечественной селекции содержание антоцианов увеличивалось в 2,9–4,3 раза, у остальных сортов – в 2,4–2,8 раза. Закономерностей между уровнем общей активности пероксидазы и зимостойкостью различных сортов яблони не выявлено.

Заключение. Сорта 'Орфей' и 'Прикубанское' обладают повышенной адаптивностью к зимним условиям нестабильного климата юга России и рекомендуются для возделывания в Краснодарском крае, а также для использования в селекционном процессе.

Ключевые слова: *Malus domestica*, зимостойкость, углеводы, антоцианы, пероксидаза

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственной программы FGRE-2022-0001 Министерства науки и высшего образования РФ.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Схаляхо Т.В., Караваева А.В. Устойчивость яблони к стрессам зимнего периода в условиях Краснодарского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):64-73. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-64-73

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-64-73

Winter stress resistance of apple tree under the conditions of Krasnodar Territory

Galina K. Kiseleva, Elena V. Ulyanovskaya, Tatyana V. Skhalyakho, Alla V. Karavaeva

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, Russia

Corresponding author: Galina K. Kiseleva, galina-kiseleva-1960@mail.ru

Background. Physiological and biochemical research on winter stress resistance of apple-tree cultivars of different ecogeographic origin under global warming is important for identifying the most adaptable genotypes for use in breeding practice. Such resistance is associated with the content of carbohydrates and anthocyanins, and the activity of peroxidase.

Materials and methods. Two winter apple-tree cultivars developed at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making (NCFSCHVW) and 3 foreign winter cultivars were studied using conventional physiological and biochemical methods.

Results and discussion. The apple-tree cultivars 'Orfey' and 'Prikubanskoye' bred at the NCFSCHVW, when compared with foreign cvs. 'Enterprise', 'Florina' and 'Ligol', demonstrated higher contents of total water (by 2.5 %), starch (by 9.5 mg/g) and water-soluble sugars (by 19.3 mg/g) in shoots during the winter period. In the process of wintering, the anthocyanin content increased 2.9–4.3 times in the domestic cultivars, and 2.4–2.8 times in foreign ones. No regularities were found between the level of total peroxidase activity and winter hardiness of the studied apple cultivars.

Conclusion. Cvs. 'Orfey' and 'Prikubanskoye' showed increased adaptability to the winter conditions in the unstable climate of Southern Russia, and can be recommended for cultivation in Krasnodar Territory and use in breeding practice.

Keywords: *Malus domestica*, winter hardiness, carbohydrates, anthocyanins, peroxidase

Acknowledgements: the work was done within the framework of the FGRE-2022-0001 State Program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Kiseleva G.K., Ulyanovskaya E.V., Skhalyakho T.V., Karavaeva A.V. Winter stress resistance of apple tree under the conditions of Krasnodar Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):64-73. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-64-73

Введение

В последние годы в Краснодарском крае произошли существенные климатические изменения. Так, если для 1981–2000 гг. были характерны морозы ранней осенью, то с 2011 г. и по настоящее время морозы преобладают в середине зимы и весной, частота низкотемпературных стрессов возросла с 9 до 33%, или в 3,7 раза, в сравнении с периодом 1981–2000 гг. Вместе с тем за последние десять лет зимы стали менее холодными, что обусловлено общей тенденцией потепления климата в мире. В Краснодарском крае анализ климатических изменений за период 1961–2020 гг. установил, что среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,7°C за последние 50 лет. Несмотря на то что яблоня, в сравнении с другими плодовыми культурами (вишня, слива, персик и др.), более зимостойка и морозоустойчива, мягкие теплые зимы зачастую способствовали преждевременному выходу деревьев из зимнего покоя, при этом у некоторых сортов происходило снижение адаптационной устойчивости, приводящее к снижению урожайности (Ulyanovskaya, Belenko, 2021).

Вопросы адаптационной устойчивости возделываемых растений в условиях глобального потепления находятся в центре внимания исследователей всего мира (Kazlouskaya, 2015; Arora, Taulavuori, 2016; Raza et al., 2019; Dalhaus et al., 2020). G. Malagi et al. (2015) установили, что в условиях мягких зим фазы зимнего покоя выявляются нечетко. Фаза глубокого покоя, если она действительно существует в условиях мягких зим, длится очень короткое время. Так, в условиях Бразилии, для которой характерны мягкие зимы с повышенными температурами, растения яблони быстрее переходили из глубокого покоя в вынужденный, чем в условиях Франции (Malagi et al., 2015).

В связи с этим актуальным является физиолого-биохимическое изучение ответных реакций плодовых растений на нестабильные климатические условия. В зарубежной и отечественной литературе проведено достаточно исследований по изучению защитно-приспособительных механизмов адаптации растений к пониженным температурам в условиях глобального изменения климата. В предзимний период в тканях растений происходят различные метаболические перестройки, связанные с накоплением крахмала, белков, сахаров, фенольных и других соединений, которые обладают криопротекторным действием и усиливают адаптационную устойчивость (Krasova et al., 2014; Călugăr et al., 2019; Fernandez et al., 2019; Rachenko M.A., Rachenko A.M., 2020; Krasova et al., 2022).

Достаточно детально изучены физиолого-биохимические особенности устойчивости яблони к неблагоприятным факторам зимнего периода в различных почвенно-климатических зонах. В условиях средней полосы России выявлено, что параметры водного обмена, активность пероксидазы, динамика накопления растворимых сахаров, пролина, аскорбиновой кислоты, антоцианов служат диагностическими показателями зимостойкости различных сортов яблони (Krasova et al., 2012; Krasova et al., 2014).

Китайские исследователи, изучив десять подвоев яблони, выявили, что в механизмах устойчивости к низким температурам задействованы растворимые белки, растворимые углеводы, пролин, антоцианы, ферменты пероксидазы и супероксиддисмутазы (Wang et al., 2018). Имеются данные, свидетельствующие о том, что умень-

шение содержания крахмала и увеличение растворимых сахаров в зимний период связаны с устойчивостью к низким отрицательным температурам. Так, в условиях Турции у сортов яблони разного происхождения (Америка, Турция) высокое содержание растворимых сахаров вследствие гидролиза крахмала обнаружено в середине зимы, а уменьшение сахаров наблюдалось ранней весной (Sivaci, 2006).

Показано, что у недостаточно зимостойких сортов яблони и винограда активность пероксидазы повышалась после зимних стрессов, поскольку побеги и почки морозоустойчивых сортов характеризуются более глубоким изменением свойств коллоидов протоплазмы, вследствие чего они меньше реагируют на изменение температурного фактора в течение зимнего периода (Krasova et al., 2014; Kiseleva et al., 2022). Таким образом, вышеперечисленные параметры можно рассматривать в качестве критериев адаптационной оценки яблони к условиям зимнего периода.

Цель данной работы – оценить адаптационную устойчивость сортов яблони разного эколого-географического происхождения к условиям изменяющегося климата по физиолого-биохимическим параметрам, выделить наиболее зимостойкие сорта для возделывания в условиях Краснодарского края.

Материалы и методы

Растительный материал

Сбор материала проводили в опытно-производственном хозяйстве «Центральное» (г. Краснодар) с ноября по март 2021–2023 гг. Исследования проводили на базе Центра коллективного пользования «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ). Объектами исследований были побеги и кора побегов сортов яблони селекции СКФНЦСВВ и зарубежных сортов зимнего срока созревания. Сорт 'Орфей' – контроль (табл. 1).

Группа сортов на подвое СК2 – 'Энтерпрайз', 'Флорина', 'Орфей' 2013 года посадки при схеме посадки 4 × 1,2 м. Группа сортов на подвое СК4 – 'Лигол', 'Прикубанское' 2010 года посадки при схеме посадки 4,5 × 0,9 м. Основные различия между этими подвоями заключены в силе роста привитых на них деревьев. Подвой СК2 – полукарликовый, СК4 – карликовый. Оба подвоя – селекции СКФНЦСВВ.

Материалом исследования служили однолетние побеги с пяти деревьев каждого изучаемого сорта в пятикратной повторности.

Количественная оценка физиолого-биохимических показателей

Оводненность побегов определяли весовым методом после высушивания навесок в термостате при 105°C до постоянной массы и выражали в % от сырой массы (Galasheva, Krasova, 2013). Крахмал и сахара определяли фотоколориметрическим антроновым методом. В основе метода лежит гидролиз углеводов в серной кислоте с образованием производных фурфурола, которые при взаимодействии с антроном дают комплексное соединение синевато-зеленого цвета. Оптическую плотность растворов измеряли на фотоколориметре ФЭК-56 при длине волны $\lambda = 620$ нм (Leyva et al., 2008). Содержание антоцианов в коре побегов оценивали с помощью фотоколориметра ФЭК-56 по методике, предложенной М. А. Соловье-

Таблица 1. Используемые в исследовании сорта яблони

Table 1. Apple cultivars used in the current study

Название, подвой / Name, rootstock	Происхождение / Origin	Организация, страна селекции / Institution, country of breeding	Год включения в Госреестр* / Year of inclusion in the State Register	Регион допуска / Approved region of cultivation
'Орфей', СК2	Голден Делишес тетраплоидный × OR18T13 ('Вольф Ривер' × М. × <i>atrosanguinea</i> 804/240-57)	СКФНЦСВВ, Краснодар, совместно с ВНИИСПК, Орел, Россия	2019	Северо-Кавказский
'Энтерпрайз', СК2	Получен от скрещивания сортов 'Макинтош' и 'Голден Делишес' и дикой разновидности <i>Malus</i>	Университет Пердью, США	2020	Северо-Кавказский
'Флорина', СК2	Путем многократных скрещиваний с использованием вида <i>Malus floribunda</i> 821 и сортов 'Ром Бьюти', 'Голден Делишес', 'Старкинг', 'Джонатан'	Франция	2000	Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский, Нижневолжский
'Лигол', СК4	'Линда' × 'Голден Делишес'	Институт садоводства и цветоводства, Скерневице, Польша	2017	Центрально-Черноземный, Нижневолжский
'Прикубанское', СК4	'Ред Делишес' × 'Опалесцент'	СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия	2002	Северо-Кавказский

Примечание: * – Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации

Note: * – State Register for Selection Achievements Admitted for Usage in the Russian Federation

вой (Solovyeva, 1988). Активность пероксидазы определяли колориметрическим методом, основанным на определении скорости реакции окисления бензидина (Ermakov, 1987). Обработку данных проводили статистическими методами с использованием программы Microsoft Office Excel 2010 (Dospekhov, 2012).

Результаты и обсуждение

Зимостойкое состояние дерева формируется осенью после снижения интенсивности роста, в процессе закалывания под воздействием постепенного понижения температуры воздуха до низкой положительной и сокращения продолжительности светового дня. В условиях Краснодарского края зимы стали теплее за счет того, что самый холодный месяц года январь в последнее десятилетие имеет стабильные положительные значения среднемесячной температуры воздуха. В январе 2021 г. среднемесячная температура воздуха была +1,9°C, а в январе 2022 г. – +1,1°C. Также в январе (за период 1961–2021 гг.) установлена вероятность повторяемости критических отрицательных температур, которые для плодовых почек яблони составляют –23,0...–28,0°C. В январе 2021 г. минимальная температура воздуха опускалась до –9,3°C, а в 2022 г. – до –13,4°C. Повреждение яблони низкими отрицательными температурами зависит от предшествующих стрессу температур. В осенние месяцы исследуемого периода минимальные температуры воздуха

варьировали от + 2,2 до –5,1°C, а в декабре 2021 и 2022 г. имели значения –12,6°C и –6,7°C соответственно.

В осенний период подготовки к неблагоприятным зимним условиям для яблони характерно увеличение оводненности тканей зимующих побегов (Galasheva, Krasova, 2013). В проведенных нами исследованиях в течение осенне-зимнего периода 2021/2022 г. содержание воды в однолетних побегах яблони существенно не изменялось, значения оводненности варьировали от 47,8 до 50,3%. В течение 2022/2023 г. содержание воды варьировало от 47,5 до 50,5% (табл. 2).

Несколько повышенная оводненность тканей побегов (на 1,9–2,5%) в сравнении с другими изучаемыми сортами отмечена у сортов 'Орфей' и 'Прикубанское' во все месяцы изучаемого периода.

По данным Красовой Н. Г. с соавторами (Krasova et al., 2012), в условиях средней полосы России оводненность побегов яблони колебалась в течение зимнего периода в соответствии с изменениями температуры воздуха и была выше у зимостойких сортов в сравнении с незимостойкими (Krasova et al., 2012). Следовательно, сорта 'Орфей' и 'Прикубанское' – более зимостойкие в сравнении с другими сортами по показателям оводненности побегов.

Как правило, у высокзимостойких сортов в условиях холодных зим отмечается повышенная оводненность тканей побегов и почек, но обнаружен интересный единичный факт: у низкзимостойкого сорта 'Ева' в услови-

Таблица 2. Оводненность (%) однолетних побегов яблони
(опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2021–2023 гг.)

Table 2. Water content (%) in one-year-old apple-tree shoots
(Tsentrallye Experiment and Production Farm, Krasnodar, 2021–2023)

Сорт	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
2021/2022 г.					
‘Орфей’	50,3 ± 4,5	49,5 ± 2,3	50,2 ± 3,4	49,7 ± 4,2	52,0 ± 3,6
‘Энтерпрайс’	49,2 ± 3,5	48,5 ± 1,9	48,1 ± 1,6	49,9 ± 3,1	52,1 ± 3,1
‘Флорина’	47,8 ± 3,9	47,8 ± 2,2	48,8 ± 4,1	48,5 ± 2,4	51,9 ± 3,7
‘Лигол’	48,2 ± 3,6	48,5 ± 3,9	48,1 ± 3,5	49,1 ± 5,1	52,5 ± 2,8
‘Прикубанское’	49,5 ± 2,5	50,2 ± 3,7	49,7 ± 4,6	50,1 ± 2,3	52,2 ± 1,6
НСР ₀₅	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4
2022/2023 г.					
‘Орфей’	50,4 ± 4,2	49,9 ± 4,2	50,5 ± 1,1	49,5 ± 2,1	52,9 ± 3,1
‘Энтерпрайс’	49,8 ± 3,8	47,5 ± 1,5	49,1 ± 2,1	48,9 ± 3,2	51,7 ± 1,5
‘Флорина’	49,3 ± 2,1	48,1 ± 2,3	48,2 ± 3,1	47,9 ± 4,2	52,9 ± 2,6
‘Лигол’	49,2 ± 4,1	47,7 ± 5,1	48,7 ± 4,5	49,2 ± 3,5	53,3 ± 2,8
‘Прикубанское’	49,8 ± 3,5	50,0 ± 3,4	49,7 ± 3,6	50,3 ± 2,5	52,4 ± 3,1
НСР ₀₅	0,7	0,9	0,8	0,7	0,5

Примечание: НСР₀₅ – наименьшая существенная разность

Note: LSD₀₅ – least significant difference

я мягкой зимы на юге Бразилии содержание воды в почках яблони, особенно в верхушечных, увеличивалось (Schmitz et al., 2015).

В наших исследованиях весной, с возобновлением вегетации после выхода из состояния зимнего покоя, оводненность побегов заметно увеличилась, причем в большей степени у сортов ‘Флорина’ и ‘Лигол’ – на 3,4% в 2021/2022 г. и на 4,1–5% в 2022/2023 г. (см. табл. 2). Наши данные согласуются с данными японских исследователей, которые наблюдали резкое увеличение оводненности побегов молодых яблонь в марте (Botirov, Arakawa, 2021). В условиях средней полосы России увеличение оводненности побегов наблюдалось в апреле при повышении температуры воздуха (Krasova et al., 2012).

Адаптация растений к зимним неблагоприятным условиям сопровождается различными перестройками метаболизма, совокупность которых придает клеткам устойчивость к действию низких повреждающих температур. Важную роль в адаптации растений к пониженным температурам играют углеводы. Накопление сахаров при закалке растений является универсальным явлением. Для повышения осмотического давления на первых фазах закалки в естественных условиях произрастания наиболее важны моносахариды (глюкоза, фруктоза), а позже (для связывания воды) – дисахариды (сахароза). Накопление и динамика содержания крахмала в различных органах плодовых растений также напрямую связаны с погодными условиями и зимостойкостью (Sivaci, 2006; Krasova et al., 2012; Wang et al., 2018).

Нами установлено, что к ноябрю больше всего крахмала накапливалось у сортов ‘Орфей’, ‘Прикубанское’ – 18,6–19,7 мг/г сухого веса, у остальных сортов оно со-

ставляло 10,2–15,2 мг/г сухого веса. Повышенное содержание суммы водорастворимых сахаров (глюкоза, фруктоза, сахароза) в это время также отмечено у сортов ‘Орфей’, ‘Прикубанское’ (42,1–47,4 мг/г сухого веса), у остальных сортов оно составляло 28,1–35,2 мг/г сухого веса (рис. 1).

Под действием низких температур в зимний период происходит гидролиз крахмала, в результате которого синтезируются различные сахара – осмотически активные соединения. Многочисленными исследованиями показано, что сахара обладают хорошо выраженными протекторными свойствами и повышают устойчивость растений к низким отрицательным температурам (Sivaci, 2006; Krasova et al., 2014).

В наших исследованиях у большинства исследуемых сортов в период уменьшения крахмала отмечено повышение содержания суммы водорастворимых сахаров, свидетельствующее о происходящем гидролизе. В первую зиму гидролиз отмечен в декабре 2021 г. после резкого понижения температуры до –12,6°C, в последующую зиму – в январе после резкого понижения температуры до –13,7°C.

В оба года исследований содержание крахмала уменьшалось в большей степени у сортов ‘Орфей’, ‘Прикубанское’ – в 1,8–2,0 раза, у сорта ‘Энтерпрайс’ отмечено увеличение в 1,3–1,4 раза. У сортов ‘Флорина’ и ‘Лигол’ содержание крахмала в течение исследуемого периода существенно не изменялось и составляло 10,2–12,3 мг/г сухого веса (см. рис. 1).

Как правило, накопление водорастворимых сахаров вследствие гидролиза крахмала под воздействием низких отрицательных температур усиливается у морозо-

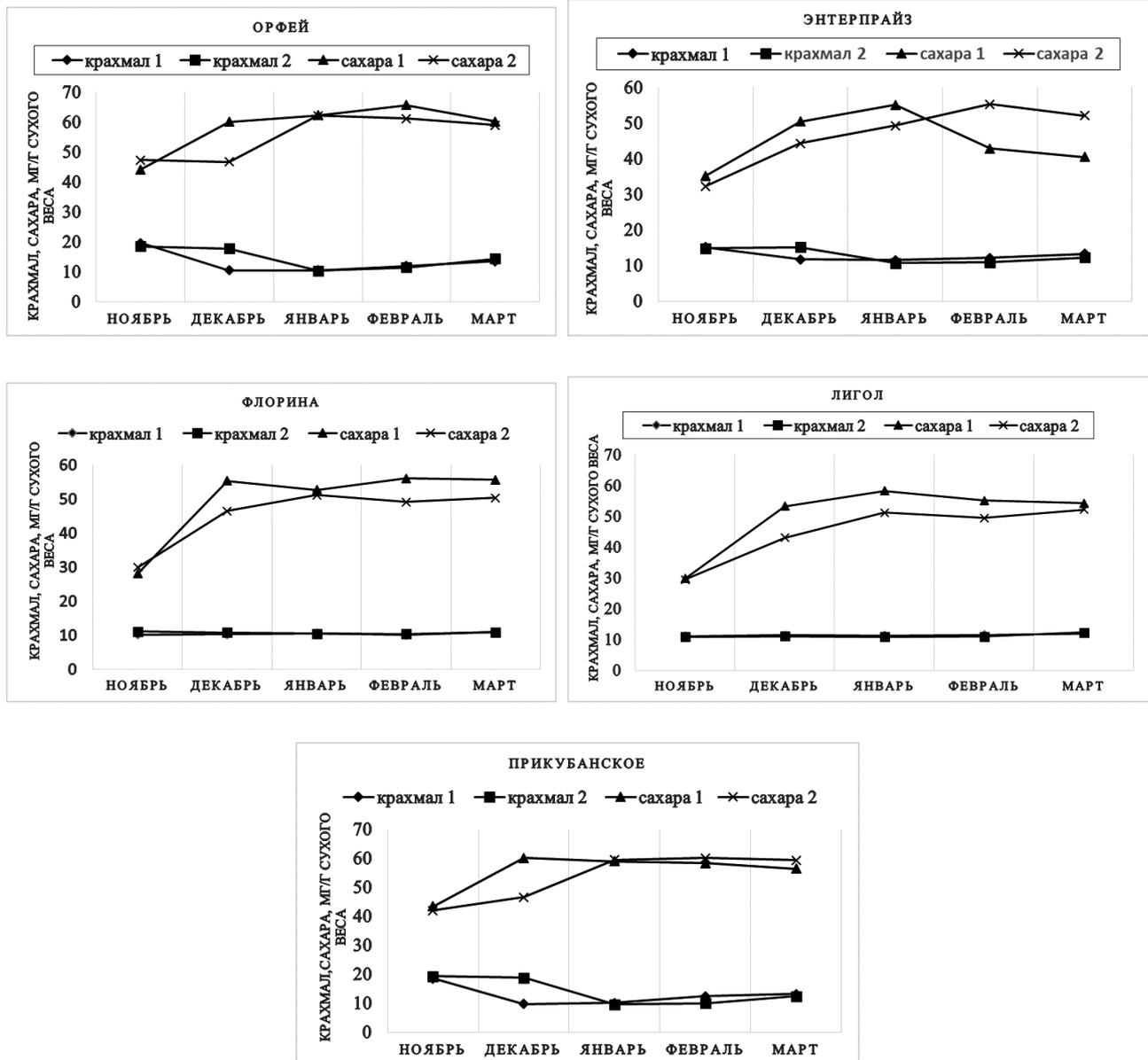


Рис. 1. Динамика содержания углеводов в побегах яблони (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар): 1 – 2021/2022 г.; 2 – 2022/2023 г.

Fig. 1. Carbohydrate content dynamics in apple-tree shoots (Tsentrallye Experiment and Production Farm, Krasnodar): 1 – 2021/2022; 2 – 2022/2023

стойких сортов. Следовательно, 'Орфей', 'Прикубанское' можно отнести к сортам, устойчивым к зимним неблагоприятным условиям.

После уменьшения содержания крахмала его количество несколько увеличилось в марте (до 14,4 мг/г сухого веса) в связи с активацией ростовых процессов. Наши данные согласуются с исследованиями других ученых, проведенных в различных климатических условиях (Sivaci, 2006; Krasova et al., 2012; Wang et al., 2018).

В условиях средней полосы России у яблони осенью отмечается повышенное содержание крахмала, в декабре-январе оно резко уменьшается, в конце зимы и начале весны вновь наблюдается увеличение его содержания (Krasova et al., 2012). В условиях Турции также происходили сезонные изменения содержания углеводов в побегах яблони – максимальное содержание крахмала прихо-

дилось на октябрь, а максимальное содержание сахаров – на февраль (Sivaci, 2006).

Антоцианы вносят определенный вклад в реализацию потенциала зимостойкости растений. Во многих исследованиях подтверждена положительная роль этих метаболитов в процессах адаптации и устойчивости растений к охлаждению и замораживанию. Известно, что покровные ткани некоторых зимостойких растений содержат высокие концентрации антоцианов. В проведенных нами исследованиях в ноябре содержание антоцианов в коре изучаемых сортов яблони составляло 4,0–8,9 усл. ед. в зависимости от сорта и года исследования (рис. 2, 3).

В течение зимы у всех сортов содержание антоцианов увеличивалось в ответ на пониженные температуры. Особенно значительное повышение их количества отме-

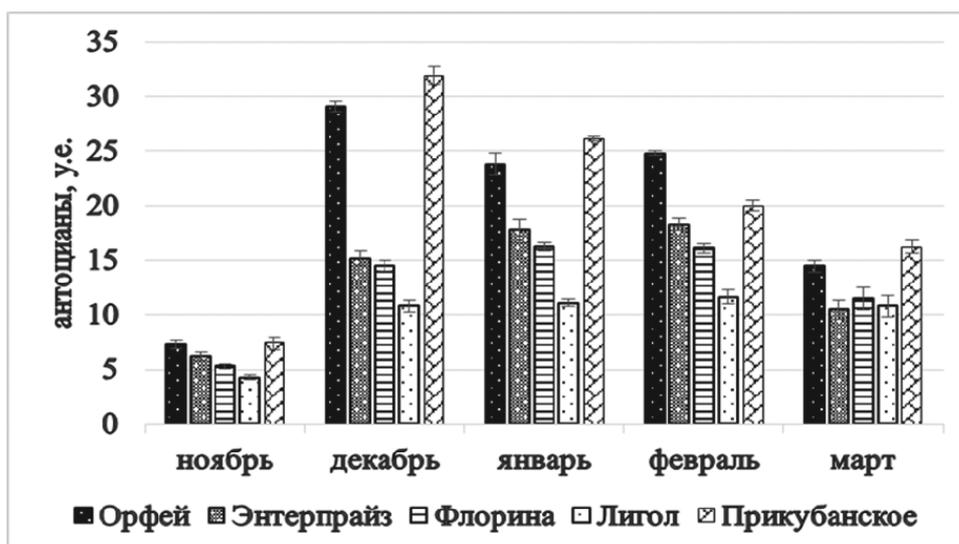


Рис. 2. Динамика содержания антоцианов в коре яблони (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2021/2022 г.)

Fig. 2. Anthocyanin content dynamics in apple-tree bark (Tsentrallnoye Experiment and Production Farm, Krasnodar, 2021/2022)

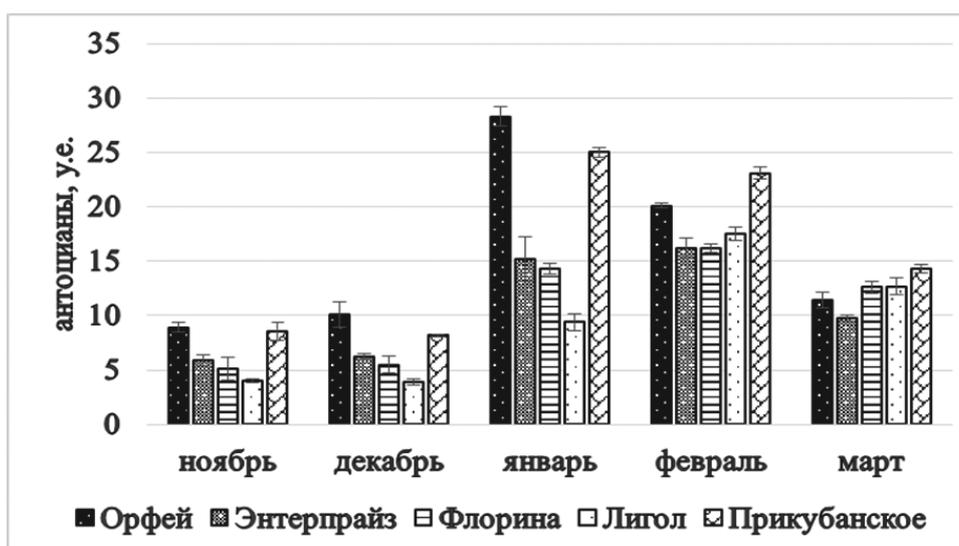


Рис. 3. Динамика содержания антоцианов в коре яблони (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2022/2023 г.)

Fig. 3. Anthocyanin content dynamics in apple-tree bark (Tsentrallnoye Experiment and Production Farm, Krasnodar, 2022/2023)

чено в декабре 2021 г. и в январе 2023 г. во время прохождения гидролиза крахмала с образованием водорастворимых сахаров. Это согласуется с предположением китайских исследователей, что избыток углеводов может индуцировать биосинтез антоцианов (Wang et al., 2018).

Так, в декабре 2021 г. содержание антоцианов повысилось в 2,5–4,3 раза в сравнении с ноябрем; в январе 2023 г. – в 2,4–3,1 раза в зависимости от сорта. В большей степени защитная функция антоцианов проявилась у сортов 'Орфей' и 'Прикубанское', у которых наблюдалось увеличение их содержания в 2,9–4,3 раза. У других

изучаемых сортов это увеличение было в 2,4–2,8 раза (см. рис. 2, 3). Это позволяет рассматривать эндогенный уровень антоцианов в качестве индикатора состояния растений и использовать их в целях диагностики на морозостойкость. В марте наблюдалось уменьшение содержания антоцианов в 1,1–1,7 раза в зависимости от сорта (см. рис. 2, 3).

Данные наших исследований согласуются с данными Н. Г. Красовой с соавторами (Krasova et al., 2014), выявивших, что при воздействии низких температур увеличивается содержание антоцианов в зимующих однолетних

побегах и особенно в коре. Показано, что увеличение антоцианов в коре коррелировало с повышением морозостойкости.

В развитие морозоустойчивости растений и процессы адаптации к низким температурам вовлечен фермент пероксидаза. Этот фермент является функционально очень лабильным, способным реагировать на большинство нарушений гомеостаза растений. В большинстве случаев повышение активности пероксидазы свидетельствует о стрессовой реакции и торможении ростовых процессов. Ее активность зависит от фенологической фазы развития растений: в период вызревания тканей –

снижается, в момент выхода почек из состояния покоя – повышается (Krasova et al., 2014; Wang et al., 2018).

В ноябре у всех изучаемых сортов яблони активность пероксидазы составляла 1,8–14,4 усл. ед. на мг белка. В декабре 2021 г. и январе 2023 г. активность пероксидазы резко повышалась в ответ на понижение температуры. В первом случае это повышение было в 1,2–4,8 раза, во вторую зиму – в 1,4–1,9 раза в зависимости от сорта (рис. 4, 5). Наблюдаемое увеличение общей активности пероксидазы вызвано неспецифической защитной реакцией растительного организма на стрессовое воздействие.

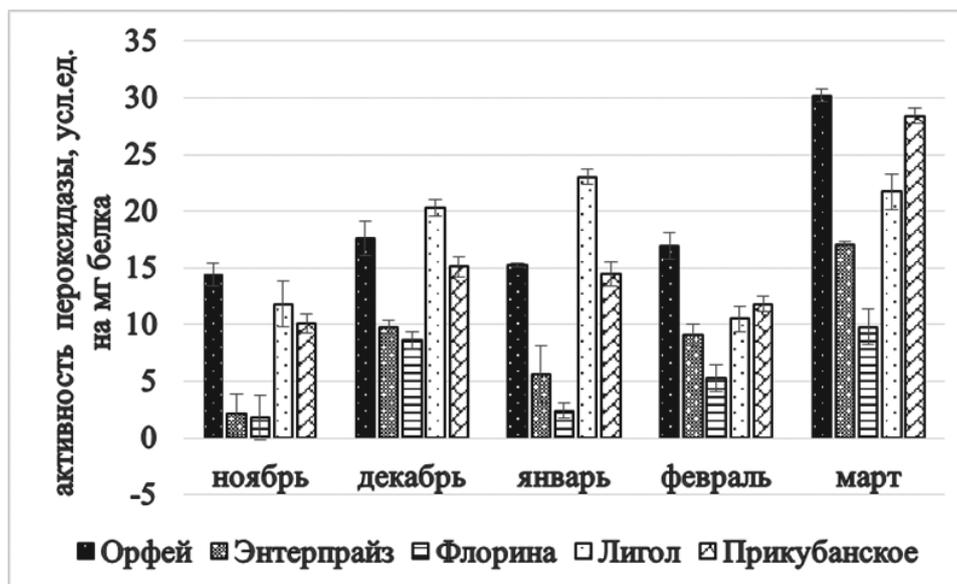


Рис. 4. Динамика активности пероксидазы в побегах яблони (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2021/2022 г.)

Fig. 4. Peroxidase activity dynamics in apple-tree shoots (Tsentrалnoye Experiment and Production Farm, Krasnodar, 2021/2022)

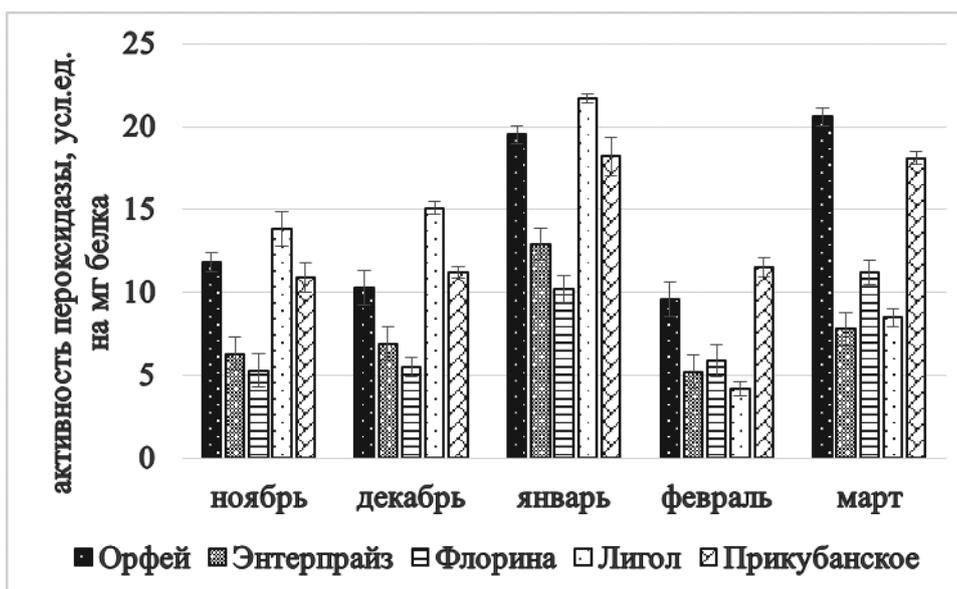


Рис. 5. Динамика активности пероксидазы в побегах яблони (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2022/2023 г.)

Fig. 5. Peroxidase activity dynamics in apple-tree shoots (Tsentrалnoye Experiment and Production Farm, Krasnodar, 2022/2023)

В остальные месяцы зимнего периода активность пероксидазы у одних сортов повышалась, у других снижалась – проявлялись индивидуальные особенности сортов. Возможно, это связано с тем, что при нарушении гомеостаза растительного организма происходит не только изменение ее активности, но и изменения в наборе молекулярных форм фермента (изоформ), которые расширяют границы функционирования пероксидазы (Kiseleva et al., 2022). В марте у всех изучаемых сортов активность пероксидазы повышалась в связи с активацией ростовых процессов в 1,5–2,4 раза в сравнении с февралем.

Заключение

Сорта отечественной селекции ‘Орфей’ и ‘Прикубанское’ в сравнении с интродуцированными сортами ‘Энтерпрайз’, ‘Флорина’, ‘Лигол’ обладают повышенной адаптивностью к условиям нестабильного климата юга России и рекомендуются для возделывания и использования в селекционном процессе. Об этом свидетельствуют выявленные физиолого-биохимические особенности:

- повышенная оводненность тканей побегов во все месяцы изучаемого периода (на 1,9–2,5%) в сравнении с другими сортами;

- повышенное накопление крахмала к началу зимовки – 18,6–19,7 мг/г сухого веса, в то время как у остальных сортов оно составляло 10,2–15,2 мг/г сухого веса;

- повышенное содержание суммы водорастворимых сахаров (42,1–47,4 мг/г сухого веса), в отличие от остальных сортов, у которых оно составляло 28,1–35,2 мг/г сухого веса;

- в результате гидролиза содержание крахмала уменьшалось в 1,8–2,0 раза, у остальных сортов оно практически не изменялось;

- в большей степени увеличение содержания антоцианов в 2,9–4,3 раза, в отличие от остальных сортов – в 2,4–2,8 раза.

References / Литература

- 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;4:44. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00044
- Botirov A., Arakawa O. Root growth changes in the winter planting of young ‘Miyabi Fuji’ apple trees. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2021;8(3):227-233. DOI: 10.22059/ijhst.2021.315746.428
- Călugăr A., Cordea M.I., Babeş A., Fejer M. Dynamics of starch reserves in some grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) during dormancy. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*. 2019;76(2):185-192. DOI: 10.15835/buasvmcnhort:2019.0008
- Dalhaus T., Schlenker W., Blanke M.M., Bravin E., Finger R. The effects of extreme weather on apple quality. *Scientific Reports*. 2020;10(1):7919. DOI: 10.1038/s41598-020-64806-7
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial with fundamentals of statistical processing of research results (Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). Moscow: Kniga po trebovaniyu; 2012. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012).
- Ermakov A.I. (ed.). Methods of biochemical research on plants (Metody biokhimitskogo issledovaniya rasteniy). Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- Fernandez E., Cuneo I.F., Luedeling E., Alvarado L., Farias D., Saa S. Starch and hexoses concentrations as physiological markers in dormancy progression of sweet cherry twigs. *Trees – Structure and Function*. 2019;33(4):1187-1201. DOI: 10.1007/s00468-019-01855-0
- Galasheva A.M., Krasova N.G. Water regime dynamics of apple varieties having different winter hardiness. *Contemporary Horticulture*. 2013;4(8):58-65. [in Russian] (Галашева А.М., Красова Н.Г. Водный режим сортов яблони различной зимостойкости. *Современное садоводство*. 2013;4(8):58-65).
- Kazlouskaya Z.A. Apple breeding in Belarus (Seleksiya yabloni v Belarusi). Minsk: Belaruskaya Navuka; 2015. [in Russian] (Козловская З.А. Селекция яблони в Беларуси. Минск: Белорусская наука; 2015).
- 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(4):27-33. [in Russian] (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(4):27-33). DOI: 10.31676/0235-2591-2022-4-27-33
- Krasova N.G., Galasheva A.M., Golyshkina L.V., Yanchuk T.V. The effect of low temperatures on some physiological and biochemical parameters in apple-tree cultivars with different winter hardiness (Vliyaniye nizkikh temperatur na nekotorye fiziologo-biokhimitskiye pokazateli sortov yabloni razlichnoy zimostoykosti). *Bulletin of Agrarian Science*. 2012;3(36):86-90. [in Russian] (Красова Н.Г., Галашева А.М., Гольшикина Л.В., Янчук Т.В. Влияние низких температур на некоторые физиолого-биохимические показатели сортов яблони различной зимостойкости. *Вестник аграрной науки*. 2012;3(36):86-90).
- Krasova N.G., Galasheva A.M., Ozherelieva Z.E., Golyshkina L.V., Makarkina M.A. About resistance of apple genotypes to winter unfavorable conditions. *Agricultural Biology*. 2014;49(1):42-49. [in Russian] (Красова Н.Г., Галашева А.М., Ожерельева З.Е., Гольшикина Л.В., Макаркина М.А. Об устойчивости яблони к неблагоприятным условиям зимнего периода. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;49(1):42-49).
- Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Galasheva A.M., Makarkina M.A., Lupin M.V. Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):48-59. [in Russian] (Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М., Макаркина М.А., Лупин М.В. Оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):48-59). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-48-59
- 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;36(2):134-141. DOI: 10.1016/j.biologics.2007.09.001

- Malagi G., Sachet M.R., Citadin I., Herter F.G., Bonhomme M., Regnard J.L. et al. The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. *Trees – Structure and Function*. 2015;29(5):1365-1380. DOI: 10.1007/s00468-015-1214-3
- 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):185-190. DOI: 10.13080/z-a.2020.107.024
- Raza A., Razaq A., Mehmood S.S., Zou X., Zhang X., Lv Y. et al. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*. 2019;8(2):34. DOI: 10.3390/plants8020034
- Schmitz J.D., Herter F.G., Regnard J.L., Leit G.B., Bonhomme M., Cochard H. et al. Is acrotonic budburst pattern in spring a typical behavior of the low-chilling apple cultivar 'Eva' in mild winter conditions? An approach combining ex planta single-node cutting test and in planta bud water content during dormancy. *Scientia Horticulturae*. 2015;188:84-88. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.03.024
- Sivaci A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings. *Scientia Horticulturae*. 2006;109(3):234-237. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.04.012
- Solovyeva M.A. Assessment of winter hardiness in fruit crops (Otsenka zimostoykosti plodovykh kultur). In: *Diagnostics of Plant Resistance to Stress (Guidelines) (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam [metodicheskoye rukovodstvo])*. Leningrad; 1988. p.163-164. [in Russian] (Соловьева М.А. Оценка зимостойкости плодовых культур. В кн.: *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство)*. Ленинград; 1988. С.163-164).
- Ulyanovskaya E.V., Belenko E.A. Genetic resources of the genus *Malus* for the creation of modern adaptive apple varieties. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2021;72(6):1-17. [in Russian] (Ульяновская Е.В., Беленко Е.А. Генетические ресурсы рода *Malus* для создания современных адаптивных сортов яблони. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021;72(6):1-17). DOI: 10.30679/2219-5335-2021-6-72-1-17
- Wang Y.X., Hu Y., Chen B.H., Zhu Y.F., Dawuda M.M., Sofkova S. Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018;17(4):857-866. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61760-X

Информация об авторах

Галина Константиновна Киселева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, galina-kiseleva-1960@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7583-1261>

Елена Владимировна Ульяновская, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ulyanovskaya_e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3987-7363>

Татьяна Вячеславовна Схаляхо, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, tShalyho@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4822-1139>

Алла Витальевна Караваева, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, alla.karavaeva.65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6531-309X>

Information about the authors

Galina K. Kiseleva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, galina-kiseleva-1960@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7583-1261>

Elena V. Ulyanovskaya, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ulyanovskaya_e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3987-7363>

Tatyana V. Skhalyakho, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, tShalyho@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4822-1139>

Alla V. Karavaeva, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, alla.karavaeva.65@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6531-309X>

Вклад авторов: Киселева Г.К. – 40%; Ульяновская Е.В. – 20%; Схаляхо Т.В. – 20%; Караваева А.В. – 20%.

Contribution of the authors: Kiseleva G.K. – 40%; Ulyanovskaya E.V. – 20%; Skhalyakho T.V. – 20%; Karavaeva A.V. – 20%.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023; одобрена после рецензирования 28.12.2023; принята к публикации 04.03.2024. The article was submitted on 02.05.2023; approved after reviewing on 28.12.2023; accepted for publication on 04.03.2024.