

ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ЯБЛОНИ ПО ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Г.К. Киселева , Е.В. Ульяновская, А.А. Хохлова, А.В. Караваева

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, Россия, kubansad@kubannet.ru

Аннотация

Проведены сравнительные физиолого-биохимические исследования яблоны по содержанию некоторых метаболитов в течение зимнего периода 2020...2023 гг. в условиях Краснодарского края. Объекты исследований: сорта яблоны различного эколого-географического происхождения – Enterprise (Америка), Florina (Франция), Орфей, Марго, Багрянец Кубани (Россия). Общепринятыми физиолого-биохимическими методами исследований обнаружено, что в побегах сортов Enterprise, Орфей, Марго содержалось повышенное количество крахмала, сахаров и аскорбиновой кислоты в предзимний период. В зимний период у этих сортов углеводов крахмал имел большое значение в перенесении зимних неблагоприятных условий, его содержание уменьшалось в 1,6...1,9 раз, в то время как у сортов Florina и Багрянец Кубани содержание крахмала изменялось незначительно. Увеличение содержания растворимых сахаров в результате гидролиза крахмала отмечено у сортов Enterprise, Орфей, Марго в 1,3...1,4 раз, у сортов Florina и Багрянец Кубани содержание растворимых сахаров изменялось незначительно. Показано, что в течение зимнего периода происходило накопление аскорбиновой кислоты в побегах всех сортов яблоны, причем в большей степени у Enterprise, Орфей, Марго – в 2,1...2,4 раз, у сортов Florina, Багрянец Кубани – в 1,9 и 1,7 раз соответственно. Физиолого-биохимическая адаптация сортов яблоны к пониженным температурам зимнего периода достигалась за счет гидролиза крахмала, повышения содержания водорастворимых сахаров и аскорбиновой кислоты в зимующих побегах. Установлено, что сорта яблоны Enterprise, Орфей и Марго проявили себя более адаптивными в сравнении с сортами Florina и Багрянец Кубани в условиях осенне-зимнего периода и рекомендуются для возделывания в Краснодарском крае.

Ключевые слова: яблоны, зимний период, побеги, крахмал, сахара, аскорбиновая кислота, адаптация

THE ASSESSMENT OF THE APPLE ADAPTIVE POTENTIAL BY PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS IN THE KRASNODAR TERRITORY

G.K. Kiseleva , E.V. Ulyanovskaya, A.A. Khokhlova, A.V. Karavaeva

Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making, 350901, Krasnodar, Russia, ul. 40-Jetiyu Pobedy, 39, kubansad@kubannet.ru

Abstract

During the winter period of 2020—2023 in the conditions of the Krasnodar Territory, the comparative physiological and biochemical studies of apples were carried out for the content of some metabolites. The objects of the studies were apple cultivars of various ecological and geographical origins: Enterprise (America), Florina (France), Orpheus, Margo and Bagryanets Kubani (Russia). Using generally accepted physiological and biochemical research methods, it was

found that the shoots of Enterprise, Orpheus, and Margo contained increased amounts of starch, sugars and ascorbic acid in the pre-winter period. In winter, in these cultivars the starch carbohydrate was of great importance in enduring unfavorable winter conditions, its content decreased by 1.6—1.9 times, while in Florina and Bagryanets Kubani the starch content changed slightly. An increase in the content of soluble sugars as a result of starch hydrolysis was noted in Enterprise, Orpheus and Margo by 1.3—1.4 times; in Florina and Bagryanets Kubani the content of soluble sugars changed slightly. It was shown that during the winter period there was an accumulation of ascorbic acid in the shoots of all apple cultivars, and to a greater extent in Enterprise, Orpheus and Margo by 2.1—2.4 times, in Florina and Bagryanets Kubani by 1.9 and 1.7 times, respectively. Physiological and biochemical adaptation of apple cultivars to low temperatures in winter was achieved through hydrolysis of starch, increasing the content of water-soluble sugars and ascorbic acid in wintering shoots. It was found that Enterprise, Orpheus and Margo proved to be more adaptive in comparison with Florina and Bagryanets Kubani during the autumn-winter period and they are recommended for cultivation in the Krasnodar Territory.

Key words: apple, winter, shoots, starch, sugar, ascorbic acid, adaptation

Введение

В связи с изменением климата во всем мире многие сорта возделываемых культур утрачивают адаптационные возможности и имевшуюся устойчивость к действию абиотических и биотических стрессоров, в том числе и в Краснодарском крае (Raza et al., 2019; Dalhaus et al., 2020; Киселева и др., 2022; Красова и др., 2022; Клименко, 2023a; Клименко, 2023b;). В связи с этим необходимо совершенствовать существующий сортимент яблони на устойчивость к стресс-факторам среды поскольку современное южное садоводство, направленное на интенсификацию производства требует наличия высоко адаптивных и продуктивных сортов различных плодовых культур, в том числе и яблони (Егоров и др., 2020). Создание таких сортов невозможно без использования физиолого-биохимических критериев оценки, которые широко используются для выделения устойчивых к низкотемпературным стрессам растений во всем мире (Прудников и др., 2018; Fernandez et al., 2019; Киселева и др., 2022; Киселева и др., 2023).

Содержание крахмала, растворимых сахаров, белков могут быть использованы в качестве показателей устойчивости растений к низким температурам. Показано, что растворимые сахара выступают в качестве полифункциональных протекторов – не только выполняют функции осмолитов, что важно для морозостойкости растений, но и стабилизируют клеточные мембраны, выступая в качестве эффективных антиоксидантов (Красова, 2015; Колупаев и др., 2018). Содержание пролина, малонового диальдегида, активность пероксидазы использовали для выявления морозостойких сортов черешни, сливы а также холодоустойчивых подвоев яблони (Прудников и др., 2018; Wang et al., 2018). Выявлены криозащитные функции белков дегидринов в коре яблони в условиях Забайкалья (Rachenko, Rachenko, 2020).

Антоцианы и аскорбиновая кислота участвуют в адаптационных процессах к низким температурам. Их накопление в побегах и коре различных видов яблони (домашней, декоративных, кребов), винограда было связано с защитной функцией при действии низких температур (Красова, 2015; Гончаровская и др., 2018; Киселева и др., 2023).

Цель настоящей работы – оценить адаптивный потенциал зимостойкости сортов яблони различного происхождения по физиолого-биохимическим параметрам, выявить устойчивые сорта для возделывания в условиях Краснодарского края.

Материалы и методы

Исследования проводили в осенне-зимний период 2020...2023 гг. на базе генетической коллекции Центра коллективного пользования «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (СКФНЦСВВ), расположенной в ЗАО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар). Объекты исследований: сорта яблони различного эколого-географического происхождения – Энтерпрайс (Америка), Флорина (Франция), Орфей, Марго, Багрянец Кубани (селекции Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства (СКЗНИИСИВ, Россия). Все сорта 2013 г. посадки на подвое СК2 при схеме посадки 4,0 × 1,2. Сорт Орфей – контроль.

Для исследований отбирали полностью вызревшие годовые побеги с трех деревьев каждого сорта в 5-кратной повторности. Содержание крахмала и растворимых сахаров определяли с использованием антронового реактива по спектру поглощения (длина волны – 670 нм), снятому на фотоколориметре ФЭК-56 согласно методике (Leyva et al., 2008). Содержание аскорбиновой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 104Р согласно методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью прямого детектирования поглощающих компонентов пробы (Якуба и др., 2015). Измерения проводили в трехкратной аналитической повторности. Достоверность различий оценивали методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2014) в программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В условиях южного садоводства основные стрессовые факторы зимнего периода – это ранние морозы (в конце осени и начале зимы, III декада ноября – I и II декада декабря), критические зимние морозы в середине зимы, морозы во время оттепели (II декада февраля), возвратные морозы (конец февраля, март) и весенние заморозки. В период глубокого покоя большинство сортов яблони могут выдержать понижение температуры до минус 25...27°C, за исключением ряда западноевропейских и новозеландских сортов (Ульяновская, Беленко, 2021).

В зиму 2020...2021 гг. минимальная температура воздуха опускалась в январе до -12,6°C, в 2021...2022 гг. – в декабре до -12,6°C, в зиму 2022...2023 гг. – в феврале до -14,5°C (рисунок 1).

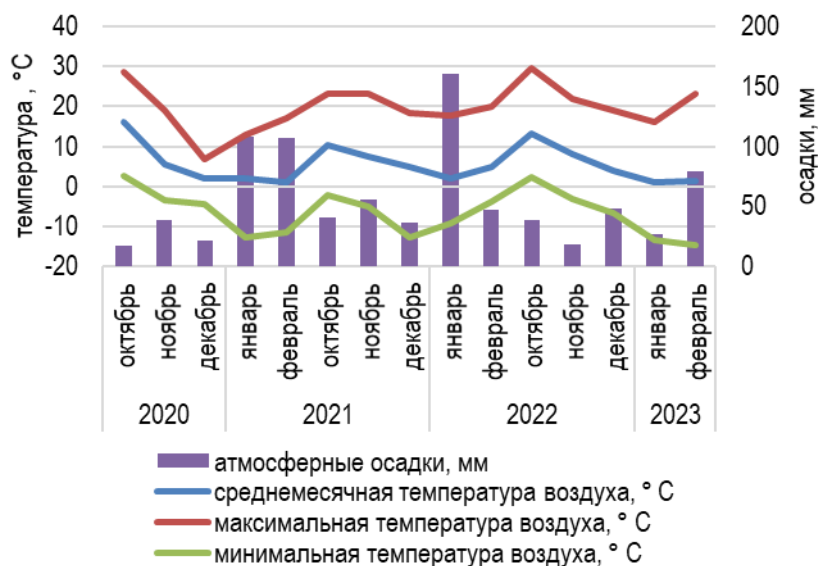
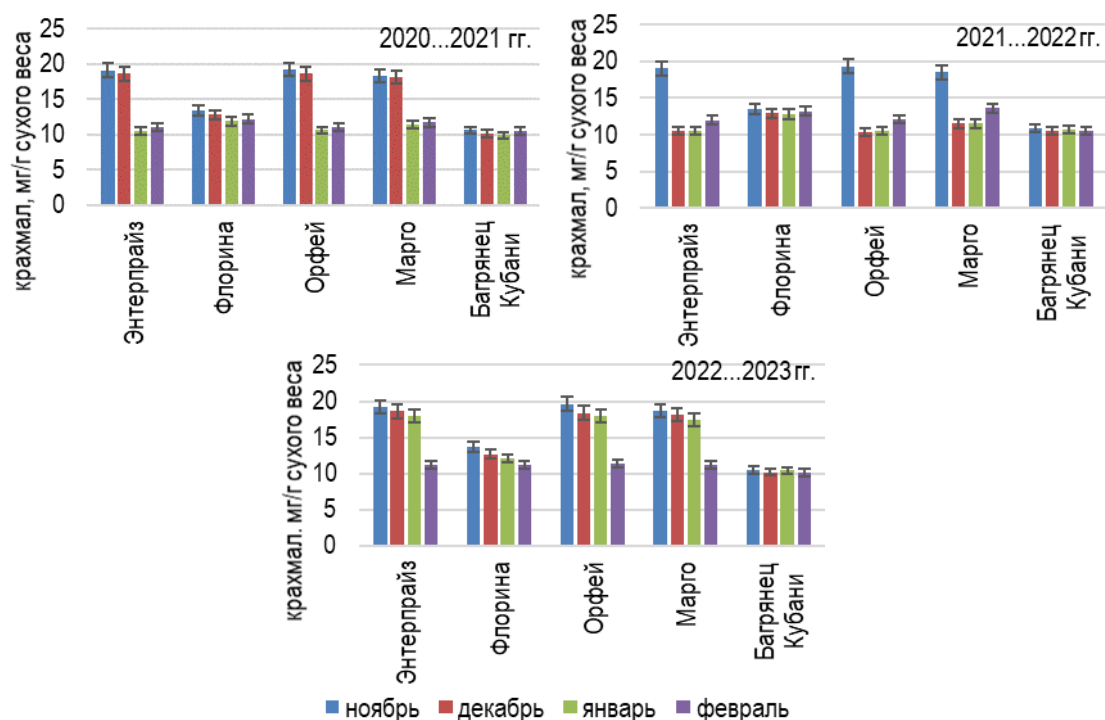


Рисунок 1 – Метеорологические условия на участке исследований (ЗАО ОПХ «Центральное», г. Краснодар, 2020...2023 гг.).

Устойчивость яблони к стрессовым низким температурам зависит от предшествующих температур осеннего периода. В осенние месяцы минимальные температуры воздуха варьировали в октябре от -2 до +2,7°C, в ноябре от -5,1 до -3,2°C. Повышенное количество атмосферных осадков за месяц (106,9...160,4 мм) отмечено в январе – феврале 2021 г., а также в январе 2022 г., в остальной период их количество составляло 17,7...79,0 мм в месяц.

Важную роль в обеспечении зимостойкости играют крахмал и сахара. Накопление и динамика содержания крахмала зависит от сортовых особенностей и погодно-климатических условий года. В проведенных исследованиях осенне-зимнего периода 2022...2023 гг. максимальное содержание крахмала у всех сортов обнаружено в ноябре, оно варьировало в диапазоне 10,5...19,6 мг/г сухого веса (рисунок 2).



Примечание: НСР_{0,5}: ноябрь – 2,4; декабрь – 2,0; январь – 1,5; февраль – 1,1

Рисунок 2 – Динамика содержания крахмала в побегах яблони (ЗАО ОПХ «Центральное», г. Краснодар, 2020...2023 гг.)

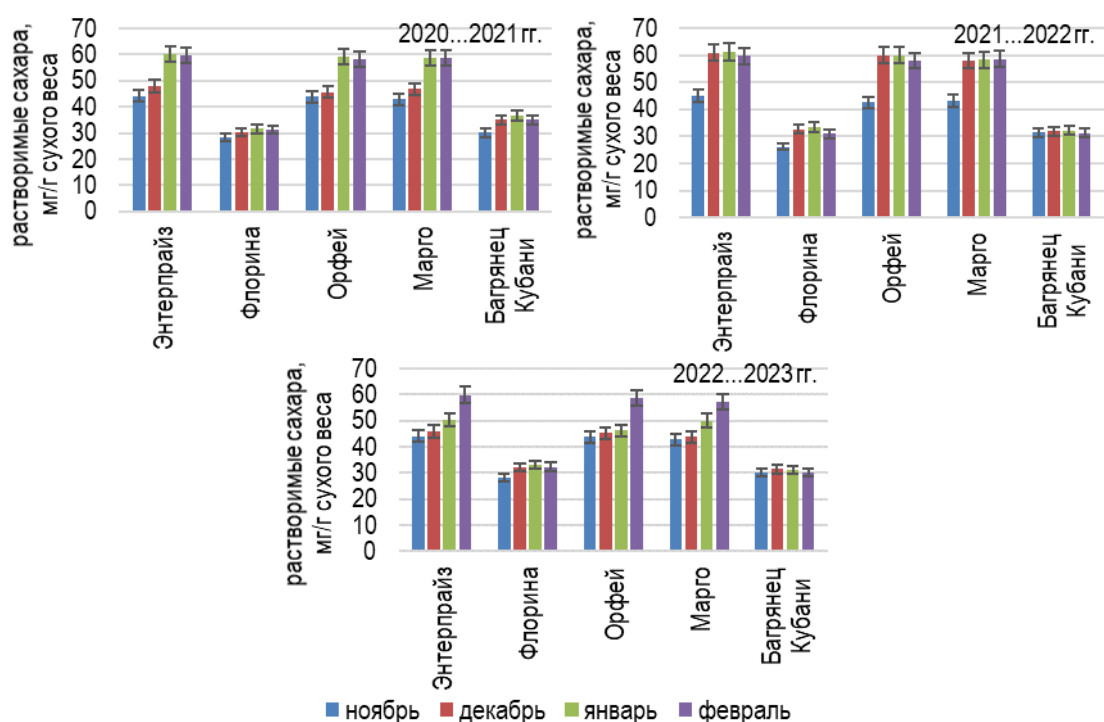
В зимние месяцы его содержание уменьшалось в связи гидролизом и образованием растворимых сахаров. У большинства изучаемых сортов в период уменьшения крахмала отмечено повышение содержания суммы сахаров, которое свидетельствовало о произошедшем гидролизе. В первую зиму гидролиз отмечен в январе 2021 года, а во вторую зиму – в декабре 2021 года после резкого понижения температуры до -12,6°C. В последующую зиму – в феврале 2023 года после резкого понижения температуры до -13,7°C.

Во все годы исследований после прохождения гидролиза у сортов Florina и Багрянец Кубани содержание крахмала снижалось в течение зимы, но незначительно. Напротив, у сортов Enterprise, Орфей, Марго содержание крахмала уменьшалось в сравнении с ноябрем в 1,6...1,9 раз. (см. рисунок 2). Так, к концу зимы, в феврале содержание крахмала у них имело наименьшие значения и составляло 10,1...13,6 мг/г сухого веса в зависимости от сорта. Следовательно, у сортов Enterprise, Орфей, Марго крахмал сыграл большую роль в перенесении неблагоприятных зимних условий.

При осеннем закаливании накопление сахаров является распространенным явлением

для многих растений, причем не только плодовых. Низкомолекулярные сахара выполняют в растении защитные функции, проявляя осмопротекторные и антиоксидантные свойства, повышая устойчивость к низким отрицательным температурам (Красова, 2015, Wang et al., 2018).

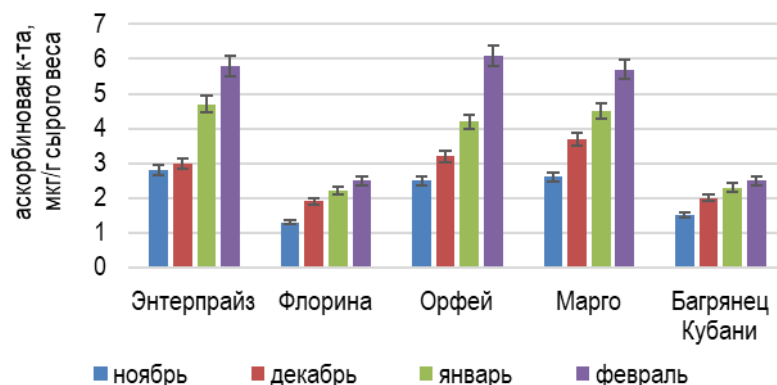
В наших исследованиях в предзимний период, в ноябре 2020...2023 гг. наибольшее количество водорастворимых сахаров (глюкоза, фруктоза, сахароза) накоплено у сортов Enterprise, Орфей, Марго – 42,5...44,9 мг/г сухого веса. В сравнении с ноябрем содержание этих метаболитов увеличилось в течение зимовки в 1,3...1,4 раз в зависимости от сорта. У сортов Florina и Багрянец Кубани содержание водорастворимых сахаров в ноябре составляло 26,2...31,5 мг/г сухого веса, и в течение зимовки изменялось незначительно. Повышенное содержание крахмала в предзимний период, высокое содержание растворимых сахаров в побегах сортов Enterprise, Орфей, Марго свидетельствует об их повышенной устойчивости к низким температурам зимнего периода (рисунок 3).



Примечание: НСР_{0,5}: ноябрь – 3,5; декабрь – 3,8; январь – 4,3; февраль – 4,7
Рисунок 3 – Динамика содержания растворимых сахаров в побегах яблони (ЗАО ОПХ «Центральное», г. Краснодар, 2020...2023 гг.)

Другим важным метаболитом, при участии которого формируется устойчивость к зимним неблагоприятным воздействиям является аскорбиновая кислота. В ряде работ показана ее роль в формировании зимостойкости плодовых и других культур, зимостойкие сорта которых накапливали повышенные количества аскорбиновой кислоты, чем менее зимостойкие (Красова, 2015; Колупаев и др., 2018; Киселева и др., 2023). В этих случаях аскорбиновая кислота выступает как антиоксидант, защищающий клетки растений от окислительных повреждений при действии стрессоров.

В проведенных нами исследованиях минимальное содержание аскорбиновой кислоты в побегах изучаемых сортов яблони обнаружено в ноябре, которое составляло 1,3...2,8 мкг/г сырого веса (рисунок 4).



Примечание: НСР_{0,5}: ноябрь – 1,0; декабрь – 1,1; январь – 1,4; февраль – 1,7
 Рисунок 4 – Динамика содержания аскорбиновой кислоты в побегах яблони (ЗАО ОПХ «Центральное», г. Краснодар, 2020...2023 гг.)

В последующие зимние месяцы исследований под влиянием понижающихся температур ее содержание имело тенденцию к увеличению. В декабре оно составляло 1,9...3,7 мкг/г сырого веса, в январе 2,2...4,7 мкг/г сырого веса, в феврале 2,5...6,1 мкг/г сырого веса в зависимости от сорта. Подобное увеличение содержания аскорбиновой кислоты под действием понижающихся температур обнаружено у некоторых холодоустойчивых сортов растений (Красова, 2015; Колупаев и др., 2018; Киселева и др. 2023).

В наших исследованиях сорта Enterprise, Орфей, Марго содержали большие количества аскорбиновой кислоты в сравнении с сортами Florina и Багрянец Кубани во все месяцы зимнего периода. В наименьшей степени содержание аскорбиновой кислоты в изучаемый период увеличилось в побегах сортов Флорина, Багрянец Кубани – в 1,9 и 1,7 раз соответственно (см. рисунок 4). У Enterprise, Орфей, Марго увеличение аскорбиновой кислоты наблюдали в 2,1...2,4 раз. В связи с этим их можно выделить как устойчивые к зимним пониженным температурам.

Заключение

Проведены сравнительные физиолого-биохимические исследования сортов яблони различного эколого-географического происхождения по содержанию некоторых метаболитов в течение зимнего периода 2020...2023 гг. Обнаружено, что в побегах сортов Enterprise, Орфей, Марго содержалось повышенное количество крахмала, сахаров и аскорбиновой кислоты в предзимний период. В зимний период у этих сортов углеводов крахмал имел большое значение в перенесении зимних неблагоприятных условий, его содержание уменьшалось в 1,6...1,9 раз, в то время как у сортов Florina и Багрянец Кубани содержание крахмала изменялось незначительно. Увеличение содержания растворимых сахаров (важных осмопротекторов) в результате гидролиза крахмала отмечено у сортов Enterprise, Орфей, Марго в 1,3...1,4 раз, у сортов Florina и Багрянец Кубани содержание растворимых сахаров изменялось незначительно.

Показано, что в течение зимнего периода происходило накопление аскорбиновой кислоты в побегах всех сортов яблони, причем в большей степени у Enterprise, Орфей, Марго – в 2,1...2,4 раз, у сортов Florina и Багрянец Кубани – в 1,9 и 1,7 раз соответственно. Итак, физиолого-биохимическая адаптация сортов яблони к пониженным температурам зимнего периода достигалась за счет гидролиза крахмала, повышения содержания водорастворимых сахаров и аскорбиновой кислоты в зимующих побегах.

По проведенной физиолого-биохимической оценке адаптивного потенциала яблони установлено, что сорта яблони Enterprise, Орфей и Марго проявили себя предположительно более адаптивными в сравнении с сортами Florina и Багрянец Кубани в условиях осенне-

зимнего периода и рекомендуются для возделывания в Краснодарском крае.

Благодарности

Исследования выполнены по государственному заданию НИОКР по теме «Провести мобилизацию, сохранение, изучение генофонда садовых культур и винограда, исследование его генетической структуры, идентификацию генов хозяйственно-ценных признаков с применением ДНК-технологий и создать сорта и подвои нового поколения с высоким потенциалом адаптивности, продуктивности, качества плодов и технологичности» (№ 0498-2023-0001)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. 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: сб. докл. X Международного Симпозиума М.: PRESS-BOOK.RU, 2018. С. 106-110. EDN: [XVKCRF](#)
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е издание, переработанное и дополненное. М.:Альянс, 2014. 351 с.
3. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А., Куликов И.М., Борисова А.А. Роль селекционно-питомниководческих центров в инновационном развитии отрасли садоводства // Садоводство и виноградарство. 2020. № 4. С. 49-57. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-4-49-57>. EDN: [YTIUCU](#)
4. Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Караваева А.В., Схалыхо Т.В. Адаптационная устойчивость яблони в условиях меняющегося климата // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 78. С. 287-300. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-287-300>. EDN: [BBIRYM](#)
5. Киселева Г.К., Ильина И.А., Соколова В.В., Запорожец Н.М., Хохлова А.А., Схалыхо Т.В. Роль аскорбиновой кислоты в адаптации *Vitis L.* к низким температурам // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 79. С. 93-107. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-93-107>. EDN: [FKHMAY](#)
6. Клименко В.П. Толерантность сортов винограда к ожидаемым стрессам водного дефицита // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2023а. Т. 25, № 2. С. 145-154. <https://doi.org/10.34919/IM.2023.25.2.007>. EDN: [RRUOSV](#)
7. Клименко В.П. Механизмы регуляции гомеостаза растений винограда в условиях водного дефицита // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023б. № 82. С. 125-148. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-4-82-125-148>. EDN: [FVKHMU](#)
8. Колупаев Ю.Е., Горелова Е.И., Ястреб Т.О. Механизмы адаптации растений к гипотермии: роль антиоксидантной системы // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія. 2018. № 1. С. 6-33.
9. 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>. EDN: [TTLVFT](#)
10. 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. Т. 183, № 4. С. 48-59. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-48-59>. EDN: [UEBNEX](#)

11. Прудников П.С., Ожерельева З.Е., Кривушина Д.А., Гуляева А.А. Физиолого-биохимическая оценка зимостойкости сортов *Prunus domestica* L. // Современное садоводство. 2018. № 2. С. 15-21. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10203>. EDN: XTFSRF
12. Ульяновская Е.В., Беленко Е.А. Генетические ресурсы рода *Malus* для создания современных адаптивных сортов яблони // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 72. С.1-17. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-6-72-1-17>. EDN: NCFROT
13. Якуба Ю.Ф., Ильина И.А., Захарова М.В., Лифарь Г.В. Методика определения массовой концентрации аскорбиновой, хлорогеновой и кофейной кислот в побегах и листьях плодовых культур и винограда с применением капиллярного электрофореза // Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда / под общей редакцией Н.И. Ненько. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 68-73. EDN: VSJXNZ
14. Dalhaus T., Schlenker W., Blanke M.M., Bravin E., Finger R. The effects of extreme weather on apple quality // Scientific reports. 2020. № 10. P. 7919. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64806-7>
15. 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. 2019. № 33. P. 1187-1201. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01855-0>
16. Leyva A., Quintana A., Sanchez M., Rodriguez E.N., Cremata J., Sanchez J.C. Rapid and sensitive anthrone-sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: method development and validation // Biologicals. 2008. Vol. 36, № 2. P. 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2007.09.001>
17. 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. Vol. 107, № 2. P. 185-190. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.024>. EDN: RHASQR
18. Raza A., Razzaq A., Mehmood S.S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review // Plants. 2019. Vol. 8, № 2. P. 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
19. Wang Y., Ya H.U., Chen B., Zhu Y., Dawuda M.M. Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks // Journal of Integrative Agriculture. 2018. Vol. 17, № 4. P. 857-866 [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61760-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61760-X)

References

1. Goncharovskaya, I.V., Levon, V.F., Klimenko, S.V., & Kuznetsov, V.V. (2018). Contents of anthocyanins and chalcones in sprouts of large-fruited cultivars and crabs of apple trees in connection with the hardiness. In *Phenolic compounds: functional role in plants: proc. symposium*, (pp. 106-110). Moscow: PRESS-BOOK.RU. EDN: XVKCRF. (In Russian, English abstract).
2. Dosphehov, B.A. (2014). *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow. (In Russian).
3. Egorov, E.A., Shadrina, Zh.A., Kochyan, G.A., Kulikov, I.M., & Borisova, A.A. (2020). The role of breeding and nursery centers in the innovative development of the horticulture branch. *Horticulture and viticulture*, 4, 49-57. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-4-49-57>. EDN: YTIUCU. (In Russian, English abstract).
4. Kiseleva, G.K., Ulyanovskaya, E.V., Karavaeva, A.V., & Shalyakho, T.V. (2022). Adaptive stability of the apple tree in the conditions of a changing climate. *Fruit growing and viticulture of*

- South Russia*, 78, 287-300. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-287-300>. EDN: BBIRYM. (In Russian, English abstract).
5. Kiseleva, G.K., Ilyina, I.A., Sokolova, V.V., Zaporozhets, N.M., Khokhlova, A.A., & Shalyakho, T.V. (2023a). Role of ascorbic acid in adaptation of *Vitis L.* to low temperatures. *Fruit growing and viticulture of South Russia*, 79, 93-107. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-93-107>. EDN: FKHMAV. (In Russian, English abstract).
 6. Klimenko, V.P. (2023a). Tolerance of grape varieties to expected stresses of water deficit. *Magarach. Viticulture and winemaking*, 25(2), 145-154. <https://doi.org/10.34919/IM.2023.25.2.007>. EDN: RRUOSV. (In Russian, English abstract).
 7. Klimenko, V.P. (2023b). Mechanisms for regulating the homeostasis of grape plants under conditions of water deficiency. *Fruit growing and viticulture of South Russia*, 82, 125-148. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-4-82-125-148>. EDN: FVKHMU. (In Russian, English abstract).
 8. Kolupaev, Yu.E., Gorelova, E.I., & Yastreb, T.O. (2018). Mechanisms of plant adaptation to hypothermia: the role of the antioxidant system. *News of the Kharkiv National Agrarian University. Series: Biology*, 1, 6-33. (In Russian).
 9. Krasova, N.G. (2015). The adaptive potential of apple varieties. *Horticulture and viticulture*, 3, 38-45. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2015-3-38-45>. EDN: TTLVFT. (In Russian, English abstract).
 10. Krasova, N.G., Ozhereleva, Z.E., Galasheva, A.M., Makarkina, M.A., & Lupin, M.V. (2022). Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 183(4), 48-59. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-48-59>. EDN: UEBNEX. (In Russian, English abstract).
 11. Prudnikov, P.S., Ozhereleva, Z.E., Krivushina, D.A., & Gulyaeva, A.A. (2018). Physiological-biochemical assessment gravity of *Prunus domestica L.* *Contemporary horticulture*, 2, 15-21. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10203>. EDN: XTFSRF. (In Russian, English abstract).
 12. Ulyanovskaya, E.V., & Belenko, E.A. (2021). Genetic resources of the genus *Malus* for the creation of modern adaptive apple varieties. *Fruit growing and viticulture of South Russia*, 72, 1-17. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-6-72-1-17>. EDN: NCFROT. (In Russian, English abstract).
 13. Yakuba, Yu.F., Ilyina, I.A., Zakharova, M.V., & Lifar, G.V. (2015). Methodology for determining the mass concentration of ascorbic, chlorogenic and caffeic acids in the shoots and leaves of fruit crops and grapes using capillary electrophoresis. In N.I. Nenko (Ed.), *Modern instrumental and analytical methods for studying fruit crops and grapes* (pp. 68-73). Krasnodar: SKZNIISiV. EDN: VSJXNZ. (In Russian).
 14. Dalhaus, T., Schlenker, W., Blanke, M.M., Bravin, E., & Finger, R. (2020). The effects of extreme weather on apple quality. *Scientific reports*, 10, 7919. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64806-7>
 15. Fernandez, E., Cuneo, I.F., Luedeling, E., Alvarado, L., Farias, D., & Saa, S. (2019). Starch and hexoses concentrations as physiological markers in the dormancy progression of sweet cherry twigs. *Trees*, 33, 1187-1201. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01855-0>
 16. Leyva, A., Quintana, A., Sanchez, M., Rodriguez, E.N., Cremata, J., & Sanchez, J.C. (2008). Rapid and sensitive anthrone-sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrates in biopharmaceutical products: method development and validation. *Biologicals*, 36(2), 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2007.09.001>
 17. Rachenko, M.A., & Rachenko, A.M. (2020). 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*, 107(2), 185-190. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.024>.
EDN: RHASQR
18. Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
19. Wang, Y., Ya ,H.U., Chen, B., Zhu, Y., Dawuda, M.M. (2018). Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks. *Journal of integrative agriculture*, 17(4), 857-866 [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61760-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61760-X)

Авторы:

Галина Константиновна Киселева, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», galina-kiseleva-1960@mail.ru

Елена Владимировна Ульяновская, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», ulyanovskaya_e@mail.ru

Анна Александровна Хохлова, кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», anemona2009@yandex.ru

Алла Витальевна Караваева, младший научный сотрудник ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», alla.karavaeva.65@mail.ru

Authors details:

Galina K. Kiseleva, PhD in Biology, assistant professor, senior researcher at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making, galina-kiseleva-1960@mail.ru

Elena V. Ulyanovskaya, Dr. Sci. in Agriculture, head of laboratory at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making, ulyanovskaya_e@mail.ru

Anna A. Khokhlova, PhD in Biology, research associate at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making, anemona2009@yandex.ru

Alla V. Karavaeva, junior researcher at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine making, alla.karavaeva.65@mail.ru.