

УДК 581.1.036:634.11(471.63)

EDN OKEVWJ

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

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ЯБЛОНИ К ЖАРЕ И ЗАСУХЕ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

Реферат. В условиях локальных климатических изменений у некоторых сортов яблони происходит снижение адаптивности и урожайности, поэтому вопросы устойчивости яблони к повышенным температурам и недостаточной водообеспеченности приобретают особую значимость. Цель исследований – оценить сорта яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе по физиолого-биохимическим показателям, выделить сорта с высокой адаптационной устойчивостью для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции. Работу проводили в 2019–2021 гг. в лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (г. Краснодар). Объекты исследований – сорта яблони: Интерпрайс, Айдаред (Америка) Флорина (Франция), Орфей, Прикубанское (СКЗНИИСуВ, Россия), Лигол (Польша). Сорт Орфей – контроль. Определение содержания пролина и абсцизовой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза. Содержание фотосинтетических пигментов находили спектрофотометрическим методом в 85 % ацетоновой вытяжке. По физиолого-биохимическим показателям выделены высокоустойчивые к жаре и засухе сорта яблони Орфей и Прикубанское. В условиях напряженности стрессовых факторов летнего периода (жара и засуха) у этих сортов обнаружено максимальное увеличение содержания пролина (в 3,8–4,0 раз) в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 1,9–2,9 раз), свидетельствующее о большей адаптивности листовых тканей. Стабильное содержание суммы хлорофиллов в течение лета свидетельствует о высокой фотосинтетической способности сортов Орфей и Прикубанское. Низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – 3,1–3,6 у сортов Орфей и Прикубанское в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 4,3–4,9 раз) объясняется повышенной защитной функцией каротиноидов в условиях избыточной инсоляции. Сорта Орфей и Прикубанское по физиолого-биохимическим показателям проявили себя более адаптивными к жаре и засухе, и рекомендованы для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции.

Ключевые слова: яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.), сорт, адаптивность, засухоустойчивость, повышенные температуры, физиолого-биохимические показатели.

Для цитирования: Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Хохлова А. А., Караваева А. В., Схаляхо Т. В. Оценка устойчивости сортов яблони к жаре и засухе в условиях Краснодарского края // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 84–92. EDN: OKEVWJ.

For citation: Kiseleva G. K., Ulyanovskaja E. V., Khokhlova A. A., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V. Evaluation of drought and heat resistance of apple tree varieties under conditions of Krasnodar Krai // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 84–92. EDN: OKEVWJ.

Введение

Почвенно-климатические условия Краснодарского Края благоприятствуют возделыванию сортов яблони с высокими потребительскими качествами плодов.

Однако в последние годы в результате локального изменения климата участилось проявление экстремально высоких температур на фоне продолжительной засухи в летний период. В сложившихся климатических условиях некоторые сорта яблони не успевают адаптироваться к изменяющимся экологическим факторам, происходит снижение их устойчивости, и, в конечном счете урожайности [1].

Поэтому вопросы устойчивости яблони к повышенным температурам и низкой водообеспеченности приобретают особую значимость. В отечественной и зарубежной литературе использование физиолого-биохимических параметров для выделения наиболее устойчивых генотипов различных плодово-ягодных и других культур, в том числе и яблони занимают важное место [2–6].

Повышенные температуры и недостаток воды вызывают значительные изменения большинства физиологических процессов у растений, что отражается на физиолого-биохимических показателях. В процессе эволюции растения выработали различные стратегии и защитные ответы на жару и засуху, чтобы свести к минимуму последствия стрессового воздействия. Ответные реакции генетически детерминированы, отсутствуют в условиях нормального увлажнения и возникают в ответ на действие стрессора.

Яблоня обладает тонкими механизмами сохранения водного гомеостаза при недостаточной водообеспеченности. К ним относится сокращение потерь воды за счет торможения увеличения листовой поверхности, уменьшения площади листовой поверхности, сбрасывания листьев [7]. К важным адаптивным реакциям растений на водный стресс относятся повышение содержания пролина и других осмопротекторов, которые нейтрализуют активные формы кислорода, защищают макромолекулы от повреждения свободными радикалами и поддерживают осмотический потенциал клетки [8].

Показано, что в формирование устойчивости к водному стрессу вовлечено множество генов. Проанализировано несколько белков, транскрипционных факторов, которые участвуют в регуляции ответа на жару и засуху. Так, повышенная экспрессия гена MdATG18a в растениях яблони повышала их устойчивость к засухе [9].

Цель исследований – оценить сорта яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе по физиолого-биохимическим показателям, выделить сорта с высокой адаптационной устойчивостью для возделывания в условиях Краснодарского Края и использования в селекции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на базе коллекционных насаждений ЗАО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар), лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Центра коллективного пользования технологичным оборудованием по направлениям: геномные и постгеномные технологии, физиолого-биохимические и микробиологические исследования, почвенные, агрохимические и экотоксикологические исследования, пищевая безопасность.

Объекты исследований: Сорта Интерпрайс, Флорина, Орфей, 2013 г. посадки на подвое СК2 при схеме посадки $4 \times 1,2$. Сорта Айдаред, Лигол, Прикубанское 2010 г. посадки на подвое СК4 при схеме посадки $4,5 \times 0,9$. Сорт Орфей – контроль.

Интерпрайс – сорт американской селекции. Плодоношение ежегодное. Плоды массой 180–200 г. Отличается высокой зимостойкостью, средней засухоустойчивостью, высоким иммунитетом к парше, монилиальному ожогу, жваччине и мучнистой росе.

Флорина – сорт французской селекции. Отличается высокой урожайностью и морозостойкостью. Обладает иммунитетом к парше, мучнистой росе, монилиозу и бактериальному ожогу. Устойчив в засухе и низким температурам (до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.)

Орфей – сорт селекции Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства (СКЗНИИСИВ, Россия). Отличается сдержанным ростом, иммунитетом к парше, морозоустойчивостью, засухоустойчивостью, скороплодностью. Плоды достигают массы 220 г.

Айдаред – сорт американской селекции. Отличается средней зимостойкостью, высокой засухоустойчивостью, не устойчив к парше. Плодоношение регулярное.

Лигол – сорт польской селекции. Отличается высокой урожайностью, ранним вступлением в плодоношение, достаточной зимостойкостью, устойчивостью против парши, склонен к периодичности плодоношения.

Прикубанское – сорт селекции СКЗНИИСИВ (Россия). Характерна высокая засухоустойчивость, морозоустойчивость выше средней, относительно устойчив к парше. Плоды достигают массы 210–250 г.

Листья отбирали со средней части однолетних побегов (7–9 лист от основания побега) в среднем ярусе кроны равномерно по всей ее окружности. Исследования проводили в трехкратной повторности на десяти листьях каждого сорта. Содержание пролина и абсцизовой кислоты определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 104Р согласно методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью прямого детектирования поглощающих компонентов пробы [10, 11]. Содержание фотосинтетических пигментов находили спектрофотометрическим методом в 85 % ацетоновой вытяжке [12]. Статистическую обработку полученного экспериментального материала проводили согласно методике [13]. Расчеты выполняли с использованием программного пакета Microsoft Excel 2010.

Почвенный покров опытного участка представлен выщелоченными предкавказскими черноземами. Содержание гумуса (по Тюрину) – 3,5 %.

Климат Краснодарского Края – умеренно-континентальный, характеризуется избытком солнечной радиации при умеренном увлажнении. Амплитуда колебания температуры в течение года возможна в пределах от $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая сумма активных температур воздуха выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 3300–3600 $^{\circ}\text{C}$, длительность безморозного периода 185–195 дней. Метеорологические условия различались в годы исследований.

В 2019 г. засуха отмечалась в августе (осадки – 11,0 мм), при этом максимальная температура воздуха составляла $+39,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). В 2020 г. наиболее жарким был июль, максимальная температура воздуха поднималась до $+38,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), а наиболее засушлив был август (осадки – 10,7 мм). В 2021 г. максимальная температура воздуха в июле достигала $37,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выше среднемноголетних значений на $4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), осадки – 28,4 мм, а в августе выпало 75 мм осадков.

Результаты и их обсуждение

В условиях высокотемпературного и водного стрессов растения пытаются восстановить метаболический гомеостаз за счет образования осмопротекторов (пролина, сахарозы). Благодаря осмотической регуляции при засухе сохраняются тургор и открытость устьиц – следовательно, возможность нормального роста и поддержания физиологических процессов.

В наших исследованиях содержание пролина у различных сортов яблони в июне варьировало от 5,1 мкг/г сырой массы у сорта Флорина до 8,3 мкг/г сырой массы у сорта Прикубанское. В течение лета шло накопление этой аминокислоты, и

максимальное его содержание пришлось на август. Максимальное увеличение пролина в сравнении с июнем обнаружено у сортов Орфей и Прикубанское – в 4,0 и 3,8 раз соответственно. У других сортов это увеличение было в 1,9–2,9 раз (таблица).

Таблица – Содержание пролина в листьях яблони в течение лета (средние значения за 2019–2021 гг.), мкг/г сырой массы

Сорт	Июнь	Июль	Август
Интерпрайс	5,8 ± 0,5	8,2 ± 0,1	11,2 ± 0,5
Флорина	5,1 ± 0,2	9,6 ± 0,8	12,8 ± 0,7
Орфей	7,3 ± 0,6	18,5 ± 1,3	29,3 ± 0,8
Айдаред	6,2 ± 1,3	13,1 ± 0,6	18,1 ± 0,5
Лигол	5,2 ± 0,8	10,7 ± 0,2	12,5 ± 1,5
Прикубанское	8,3 ± 0,9	19,8 ± 1,3	31,6 ± 1,2
НСР ₀₅	0,52	0,86	1,03

Содержание пролина зависит от уровня абсцизовой кислоты (АБК), которая активирует его синтез и накопление. АБК вызывает отток ионов калия из замыкающих клеток устьиц, в результате чего устьица закрываются и предотвращается опасность высыхания листовой поверхности [14].

В периоды с особо недостаточной водообеспеченностью (август 2019–2020 гг.) проявилась четкая зависимость между содержанием пролина и накоплением АБК (рисунок 1).

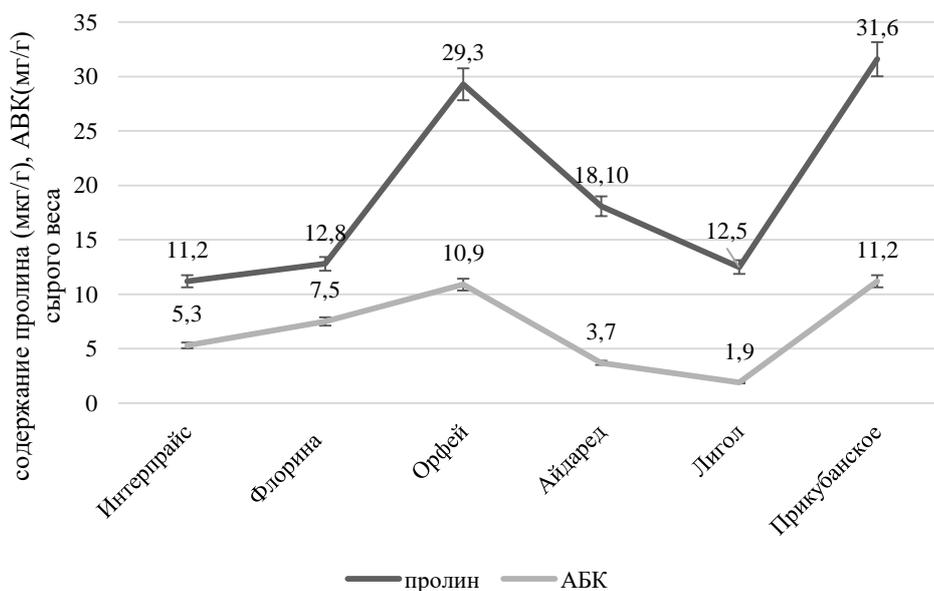


Рисунок 1 – Содержание пролина и абсцизовой кислоты в листьях яблони в периоды с особо недостаточной водообеспеченностью (среднее за август 2019–2020 гг.)

Жара и засуха приводят к перегреву листовых тканей, угнетению процессов фотосинтеза, снижению содержания хлорофилла у неустойчивых растений. Так, у устойчивых к засухе сортов яблони содержание хлорофилла в листьях оставалось стабильным в период водного стресса в сравнении с неустойчивыми сортами [2].

В проведенных нами исследованиях содержание суммы хлорофиллов (a+v) являлось сортовой особенностью и варьировало от 4,87 мг/г сухого веса у сорта Лигол

до 7,01 мг/г сухого веса у сорта Айдаред. Наиболее стабильным содержание суммы хлорофиллов (a+v) в течение лета оставалось у сортов Орфей, Прикубанское, свидетельствующее о более высокой фотосинтетической способности в условиях засухи и повышенной адаптивности листовых тканей (рисунок 2).

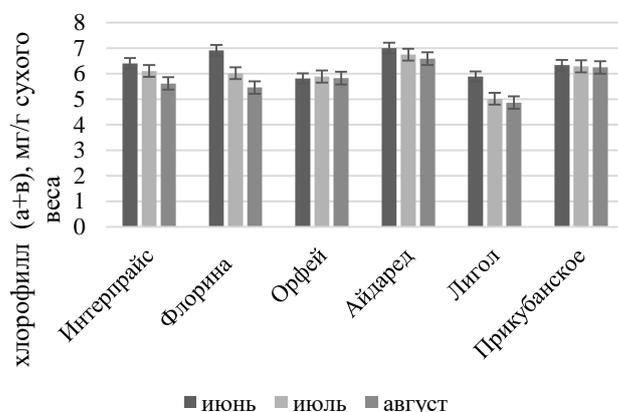


Рисунок 2 – Содержание суммы хлорофиллов (a+v) в листьях яблони в течение лета 2019–2021 гг.

Примечание. НСР₀₅: июнь – 1,53; июль – 2,84; август – 1,53.

Стрессовые условия летнего периода также повлияли на другие фотосинтетические пигменты – каротиноиды. Как известно, каротиноиды участвуют в поглощении света в качестве дополнительных пигментов и выполняют защитную функцию, предотвращая разрушение хлорофилла от необратимого фотоокисления. Изменение количества каротиноидов при постоянном содержании хлорофиллов может быть связано с адаптацией пигментного аппарата к изменению интенсивности освещения и осадков [5].

В наших исследованиях содержание каротиноидов существенно не изменялось в течение лета и составляло 1,06–2,04 мг/г сухого веса (рисунок 3).

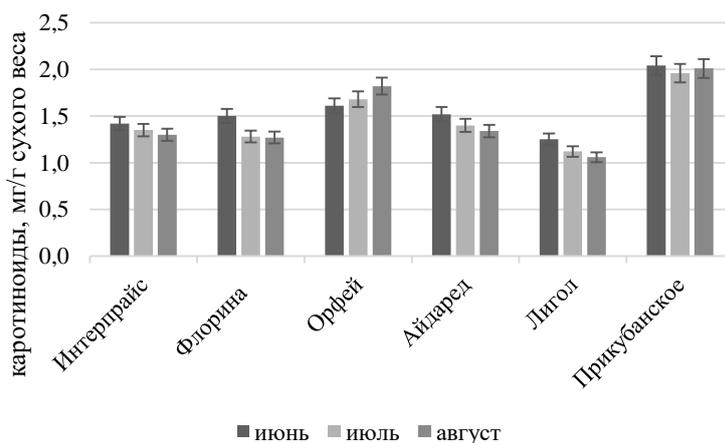


Рисунок 3 – Содержание каротиноидов в листьях яблони в течение лета 2019–2021 гг.

Примечание. НСР₀₅: июнь – 2,12; июль – 1,57; август – 0,91.

Изменялось только соотношение между фотосинтетическими пигментами. Благодаря увеличению доли каротиноидов в пигментном составе листа сорта Орфей и Прикубанское активировали механизм устойчивости к повышенным температурам и засухе. У этих сортов отмечено наиболее низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – 3,1–3,6. У других изучаемых сортов это соотношение составляло 4,3–4,9.

Выводы

В результате проведенной физиолого-биохимической оценки устойчивости шести сортов яблони различного эколого-географического происхождения к жаре и засухе выделены высокоустойчивые сорта отечественной селекции Орфей и Прикубанское.

В условиях напряженности стрессовых факторов летнего периода (жара и засуха) у этих сортов обнаружено:

- максимальное увеличение содержания пролина (в 3,8–4,0 раз) в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 1,9–2,9 раз), свидетельствующее о большей адаптивности листовых тканей;
- стабильное содержание суммы хлорофиллов в течение лета, свидетельствующее о высокой фотосинтетической способности;
- низкое количественное соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам 3,1–3,6 в сравнении с другими изучаемыми сортами (в 4,3–4,9 раз), объясняющееся повышенной защитной функцией каротиноидов в условиях избыточной инсоляции.

Сорта Орфей и Прикубанское проявили себя более адаптивными для возделывания в условиях Краснодарского Края и могут являться источниками устойчивости к жаре и засухе для использования в селекционном процессе.

Литература

1. Ненько Н. И., Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Яблонская Е. К., Караваева А. В. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54(1). С. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158rus.
2. Bhusal N., Han S.-G., Yoon T.-M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica* Borkh.) // Scientia Horticulturae. 2019. No. 246. P. 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021.
3. Luo Y. Y., Li R. X., Jiang Q. S., Bai R., Duan D. Changes in the chlorophyll content of grape leaves could provide a physiological index for responses and adaptation to UV-C radiation // Nordic Journal of Botany. 2019. No. 23 (14). P.1–11. DOI: 10.1111/njb.02314.
4. Панфилова О. В., Голяева О. Д. Физиологические особенности адаптации сортов и отборных форм смородины красной к засухе и повышенным температурам // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 52 (5). С. 1056–1064. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.1056rus.
5. Рындин А. В., Белоус О. Г., Маляровская В. И., Притула З. В., Абиляфова Ю. С., Кожевникова А. М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 40–48. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.3.40rus.
6. Bai T., Li Z., Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy // American Journal of Plant Sciences. 2019. No. 10(5). P. 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051
7. Bassett C. L., Glenn D. M., Forsline P. L., Wisniewski M. E., Ferrell Jr. R. E. Characterizing water use efficiency and water deficit responses in apple (*Malus × domestica* Borkh. and *Malus sieversii* Ledeb.) M. Roem. // HortScience. 2011. No. 46. P. 1079–1084. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1079.
8. Zhu D., Che Y., Xiao P., Hou L., Guo Y., Liu X. Functional analysis of a grape WRKY30 gene in drought resistance // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2018. No. 132 (3). P. 449–459. DOI: 10.1007/s11240-017-1341-1.
9. Sun X., Wang P., Jia X., Huo L.Q., Che R.M., Ma F.W. Improvement of drought tolerance by overexpressing MdATG18a is mediated by modified antioxidant system and activated autophagy in transgenic apple // Plant Biotechnology Journal. 2018. No. 16 (2). P. 545–557. DOI: 10.1111/pbi.12794.
10. Якуба Ю. Ф., Ильина И. А., Захарова М. В., Лифарь Г. В. Методика определения массовой концентрации свободных аминокислот в побегах и листьях плодовых культур и винограда с

применением капиллярного электрофореза // Учебно-методическое пособие «Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда». Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 80–86.

11. Ненько Н. И., Сундырева М. А., Шестакова В. В., Якуба Ю. Ф. Методика определения содержания свободной абсцизовой кислоты в листьях плодовых культур и винограда // Учебно-методическое пособие «Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда». Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. С. 9–12.

12. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа, 1975, 380 с.

13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

14. Chen K., Li G. J., Bressan R. A., Song C. P., Zhu J. K., Zhao Y. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants // Journal of Integrative Plant Biology. 2020. No. 62(1). P. 25–54. DOI:10.1111/jipb.12899.

References

1. Nenko N. I., Kiseleva G. K., Ulyanovskaya E. V., Yablonskaya E. K., Karavaeva A. V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2019. Vol. 54(1). P. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158eng.

2. Bhusal N., Han S.-G., Yoon T.-M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica* Borkh.) // Scientia Horticulturae. 2019. No. 246. P. 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021.

3. Luo Y. Y., Li R. X., Jiang Q. S., Bai R., Duan D. Changes in the chlorophyll content of grape leaves could provide a physiological index for responses and adaptation to UV-C radiation // Nordic Journal of Botany. 2019. No. 23 (14). P.1–11. DOI: 10.1111/njb.02314.

4. Panfilova O.V., Golyaeva O.D. Physiological features of red currant varieties and selected seedling adaptation to drought and high temperatures // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2017. No. 52 (5). P. 1056–1064. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.1056eng.

5. Ryndin A. V., Belous O. G., Malyarovskaya V. I., Pritula Z. V., Abilfazova Yu. S., Kozhevnikova A. M. Physiological and biochemical approaches in studying adaptation mechanisms of subtropical, fruit and ornamental crops grown in Russian subtropics // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2014. No. 3. P. 40–48. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.3.40eng.

6. Bai T., Li Z., Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy // American Journal of Plant Sciences. 2019. No. 10(5). P. 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051.

7. Bassett C. L., Glenn D. M., Forsline P. L., Wisniewski M. E., Ferrell Jr. R.E. Characterizing water use efficiency and water deficit responses in apple (*Malus × domestica* Borkh. and *Malus sieversii* Ledeb.) M. Roem. // HortScience. 2011. No. 46. P. 1079–1084. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.8.1079.

8. Zhu D., Che Y., Xiao P., Hou L., Guo Y., Liu X. Functional analysis of a grape WRKY30 gene in drought resistance // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2018. No. 132 (3). P. 449–459. DOI: 10.1007/s11240-017-1341-1.

9. Sun X., Wang P., Jia X., Huo L.Q., Che R.M., Ma F.W. Improvement of drought tolerance by overexpressing MdATG18a is mediated by modified antioxidant system and activated autophagy in transgenic apple // Plant Biotechnology Journal. 2018. No. 16 (2). P. 545–557. DOI:10.1111/pbi.12794.

10. Yakuba Yu. F., Il'ina I. A., Zakharova M. V., Lifar G. V. Method for determining the mass concentration of free amino acids in the shoots and leaves of fruit crops and grapes using capillary electrophoresis // Educational and methodological manual “Modern instrumental and analytical methods for the study of fruit crops and grapes”. Krasnodar: SKZNIISiV, 2015. P. 80–86.

11. Nenko N. I., Sundryeva M. A., Shestakova V. V., Yakuba Yu.F. Method for determining the content of free abscisic acid in the leaves of fruit crops and grapes // Educational and methodological manual “Modern instrumental and analytical methods for the study of fruit crops and grapes”. Krasnodar: SKZNIISiV, 2015. P. 9–12.

12. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. Large workshop on plant physiology. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 380 p.

13. Dospikhov B. A. Methods of fields research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2014. 351 p.

14. Chen K., Li G. J., Bressan R. A., Song C. P., Zhu J. K., Zhao Y. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants // Journal of Integrative Plant Biology. 2020. No. 62(1). P. 25–54. DOI: 10.1111/jipb.12899.

UDC 581.1.036:634.11(471.63)

Kiseleva G. K., Ulyanovskaja E. V., Khokhlova A. A., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V.
**EVALUATION OF DROUGHT AND HEAT RESISTANCE OF APPLE TREE
VARIETIES UNDER CONDITIONS OF KRASNODAR KRAI**

Summary. *Under conditions of local climatic changes, some varieties of apple trees experience a decrease in adaptability and productivity, so the issues of their resistance to elevated temperatures and insufficient water supply are of particular importance. The purpose of the research was twofold: evaluate apple tree varieties of various ecological and geographical origin to heat and drought according to physiological and biochemical parameters; identify varieties with high adaptive resistance for cultivation under conditions of Krasnodar Krai and for use in breeding. The work was carried out in 2019–2021 in the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry of the FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making” (Krasnodar). Research objects – apple tree varieties ‘Enterprise’, ‘Idared’ (USA), ‘Florina’ (France), ‘Orfey’, ‘Prikubanskoe’ (North Caucasian Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture” (SKZNIISiV), Russia), ‘Ligol’ (Poland). Control – variety ‘Orfey’. Proline and abscisic acid content was determined by capillary electrophoresis. The content of photosynthetic pigments was found by spectrophotometric method in 85% acetone extract. According to the physiological and biochemical parameters, apple tree varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoye’ were identified as highly resistant to heat and drought. Under conditions of tension of stress factors of the summer period (heat and drought), they showed the maximum increase in the content of proline (by 3.8–4.0 times) in comparison with other studied varieties (by 1.9–2.9 times), which indicates greater adaptability of leaf tissues. The stable content of the sum of chlorophylls during the summer indicates a high photosynthetic ability of the varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoe’. The low quantitative ratio of the sum of chlorophylls to carotenoids (3.1–3.6) in ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoe’ in comparison with other studied varieties (by 4.3–4.9 times) is explained by the increased protective function of these organic pigments under conditions of excessive insolation. Varieties ‘Orfey’ and ‘Prikubanskoye’ have proved to be more adaptive to heat and drought in terms of physiological and biochemical parameters. They are recommended for cultivation under conditions of Krasnodar Krai and for use in breeding.*

Keywords: *apple tree (Malus domestica Borkh.), variety, adaptability, drought resistance, elevated temperatures, physiological and biochemical parameters.*

Киселева Галина Константиновна, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru.

Ульяновская Елена Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции семечковых культур, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru.

Хохлова Анна Александровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Центра коллективного пользования «Приборно-аналитический», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: anemona2009@yandex.ru.

Каравеева Алла Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru.

Схалыах Татьяна Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,

виноградства, виноделия»; 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: tShalyho@mail.ru.

Kiseleva Galina Konstantinovna, Cand. Sc. (Biol.), associate professor, senior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry, FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru.

Ulyanovskaya Elena Vladimirovna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of pome crops breeding, FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: ulyanovska_e@mail.ru

Khokhlova Anna Aleksandrovna, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Center for Collective Use “Instrument-Analytical”; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: anemona2009@yandex.ru.

Karavaeva Alla Vitalievna, junior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: alla.karavaeva.65@mail.ru.

Skhalyakho Tatyana Vyacheslavovna, junior researcher, Laboratory of plant physiology and biochemistry; FSBSI “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making”; 39, 40 Let Pobedy ave., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: tShalyho@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 31.03.2022.

Дата принятия к печати – 21.04.2022.