

УДК 581 : 576.5 : 634.224

**УСТОЙЧИВОСТЬ ИММУННЫХ И НЕ ИММУННЫХ К ПАРШЕ
СОРТОВ ЯБЛОНИ К СТРЕССОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА ***

Ненько Н.И., д-р с.-х.наук, **Киселева Г.К.**, канд.биол.наук,
Ульяновская Е.В., д-р с.-х.наук, **Шестакова В.В.**, канд. с.-х.наук, **Караваяева А.В.**

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский
зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства»
(Краснодар)*

Реферат. Приведены результаты физиолого-биохимических исследований сортов яблони с различной устойчивостью к парше в условиях летнего периода. Выявленные адаптационные особенности доказывают необходимость использования потенциальных возможностей отечественных сортов яблони в селекционном процессе как источников признаков жаростойкости и засухоустойчивости.

Ключевые слова: яблоня, оводненность, абсцизовая кислота, малоновый диальдегид, засухоустойчивость

Summary. The results of physiological and biochemical study of apple varieties with different resistant to scab in a summer period. Identified the adaptation features prove the necessity to use the potential of the domestic apple varieties in the selection process as a source of heat resistance and drought tolerance.

Key words: apple, water content, abscisic acid, malondialdehyde, drought resistance

Введение. Повышение устойчивости плодовых растений, в частности яблони, к абиотическим и биотическим стрессовым воздействиям среды занимает одно из главных мест в решении проблемы конструирования высокопродуктивных плодовых ценозов. Особую остроту эта проблема приобрела в последние годы в связи с локальными изменениями погодно-климатических условий и участвовавшими эпифитотиями болезней плодовых культур [1, 2]. Неблагоприятные погодные условия, приводящие к экстремальным воздействиям на растения, снижают их урожайность, это приводит к обострению экологической обстановки в отечественном садоводстве.

Природно-климатические условия Краснодарского края благоприятствуют выращиванию высококачественных плодов яблони, способных выдерживать конкуренцию на международном рынке. В то же время получение стабильных высоких урожаев ограничивается воздействием таких неблагоприятных факторов внешней среды, как зимние морозы, особенно после длительной теплой погоды, летние засухи, эпифитотии парши. В связи с этим одним из приоритетных селекционных направлений в селекции яблони является создание иммунных к парше сортов, устойчивых к засухе [3-5].

Сравнительные исследования по физиолого-биохимическим показателям сортов яблони с различной устойчивостью к парше (иммунных и не иммунных) в периоды наибольшей напряженности стрессовых факторов летнего вегетационного периода позволит выявить адаптационные механизмы устойчивости яблони к засухе и парше.

Цель настоящей работы – физиолого-биохимическими исследованиями выявить механизмы адаптационной устойчивости иммунных и не иммунных к парше сортов яблони в стрессовых условиях летнего периода.

* Поддержано грантом №16-44-230077 р_юг_а Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований служили иммунные к парше сорта яблони Рассвет, Фортуна, Союз, Дейтон, Лигол, Прикубанское и не иммунные – Родничок, Эрли Мак, Айдаред. Сорта Рассвет (2п=2х), Фортуна (2п=2х), Союз (2п=3х), Родничок (2п=3х) (Россия, СКЗНИИСиВ) 2000 года посадки на подвое М 9, при схеме посадки 2 х 5. Сорта Эрли Мак (2п=2х) (США), Дейтон (2п=2х) (США) 1998 года посадки на подвое М 9 при схеме посадки 2 х 5; Айдаред (США), Лигол (Польша), Прикубанское (Россия, СКЗНИИСиВ) 2010 года посадки на подвое СК 4 при схеме посадки 0,9 х 4,5. Отбор листьев для физиолого-биохимических исследований проводился в ЗАО ОПХ «Центральное» СКЗНИИСиВ (г. Краснодар). Использованы современные высокоточные физиолого-биохимические методы исследования водного обмена, содержания хлорофилла (а+б), каротиноидов, фенолкарбоновых, органических, абсцизовой, индолилуксусной кислот, пероксидазы, малонового диальдегида, пролина, сахарозы с привлечением высокоэффективного аналитического оборудования на базе ЦКП «Приборно-аналитический» и лаборатории физиологии и биохимии растений СКЗНИИСиВ [6-9].

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов вариационной статистики [10].

Обсуждение результатов. Экстремально высокие температуры летнего вегетационного периода и сопровождающая их засуха ингибируют рост и развитие растений, это может привести не только к потере урожая плодовых культур, но иногда и к гибели плодовых насаждений. Сорта яблони, устойчивые к засухе, при нарастающем обезвоживании тканей имеют биохимические механизмы защиты, способствующие в условиях засухи поддерживать достаточно высокий уровень физиологических процессов и устойчивость ферментных систем [11 - 18].

Летний период в 2014-2016 гг. был жарким. В июле и августе 2014 г температура воздуха достигала $35 \div 37$ °С, в 2015 г. – $39 \div 38$ °С и в 2016 г. – 37 °С. В августе 2014-2015 гг. отмечалась засуха (осадки – 0 мм при температуре воздуха 36 и 38 °С). В течение летнего периода 2016 г. отмечалось снижение оводненности листьев у изучаемых сортов яблони на 4,8-19,1 % (рис. 1) . В 2016 году у изучаемых диплоидов яблони различного эколого-географического происхождения оводненность тканей листового аппарата в большей мере лимитировалась минимальной температурой воздуха (Ккоррел.= - 0,3 ÷ - 0,8) и количеством выпавших осадков (Ккоррел = 0,59-0,95); у триплоидов – количеством выпавших осадков (Ккоррел.= 0,75-0,94) и минимальной температурой воздуха (Ккоррел.= - 0,5 ÷ -0,8) (рис. 2).

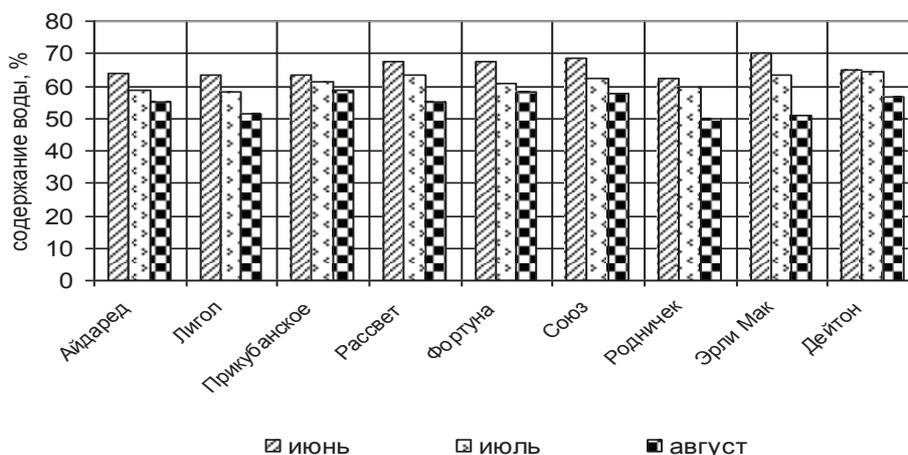


Рис. 1. Оводненность листьев яблони в условиях лета 2016 г.

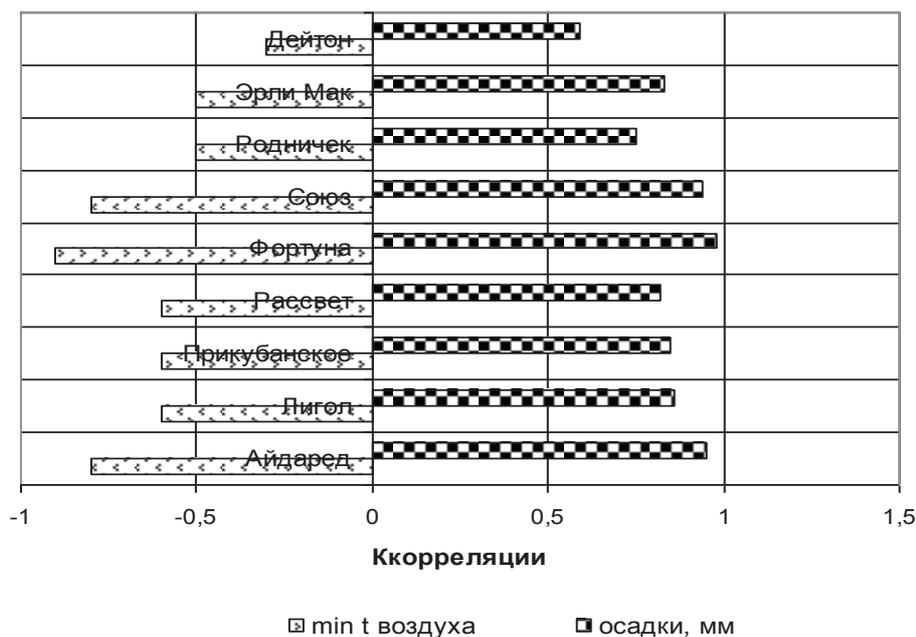


Рис. 2. Зависимость оводненности листьев яблони от гидротермических условий лета 2016 г.

В августе 2016 г. у изучаемых сортов яблони отмечалось снижение содержания связанной формы воды и увеличение содержания свободной и пролина в листьях в 5,2 раза, а у сортов Союз и Родничок в 9,8-15,9 раз, что свидетельствует об их адаптации к засухе и экстремально высокой температуре.

В условиях 2016 г. установлены корреляционные взаимосвязи между содержанием связанной и свободной форм воды и содержанием пролина и сахарозы в листьях яблони (рис. 3).

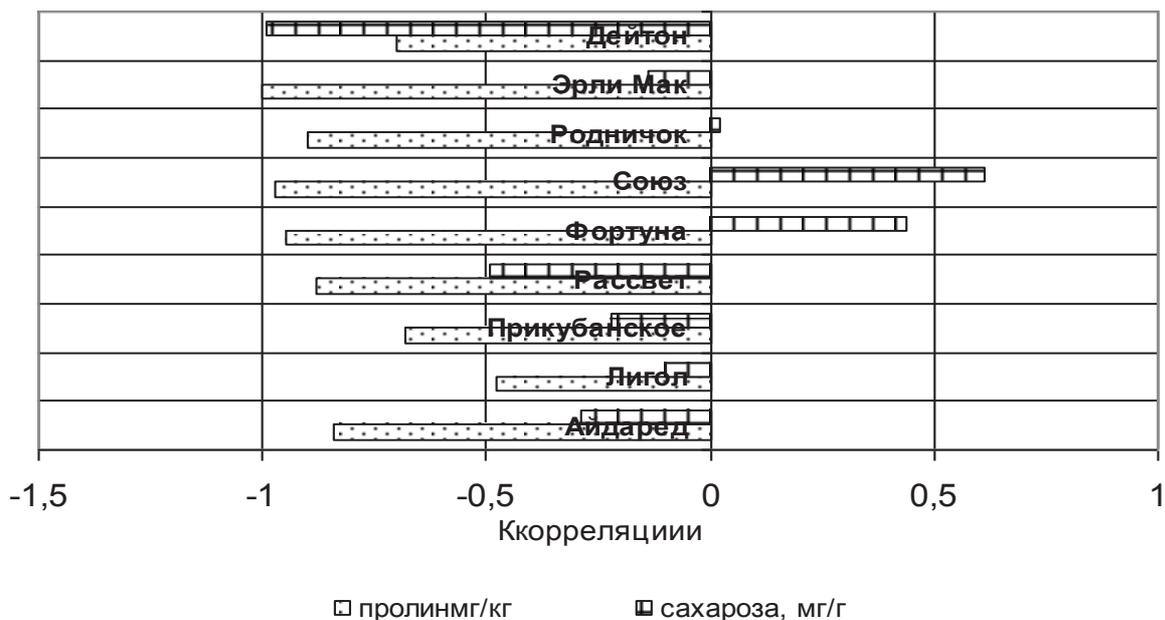


Рис. 3. Зависимость содержания связанной воды от содержания пролина и сахарозы в листьях яблони в летний период 2016 г.

Установлено, что содержание связанной и свободной форм воды в листьях растений яблони коррелировало, в основном, с содержанием пролина, входящего в состав стресс-протекторных белков ($K_{\text{коррел.}} = -0,48 \div -1$), а у сортов Фортуна и Союз – с содержанием сахарозы ($K_{\text{коррел.}} = 0,44-0,61$).

В июле, в сравнении с июнем, у всех изучаемых сортов яблони повысилось содержание аскорбиновой и фенолкарбоновых (хлорогеновая + кофейная) кислот в листьях, а в августе у сортов Союз, Родничок и Фортуна – фенолкарбоновых кислот, защищающих клеточные мембраны от разрушения (рис. 4).

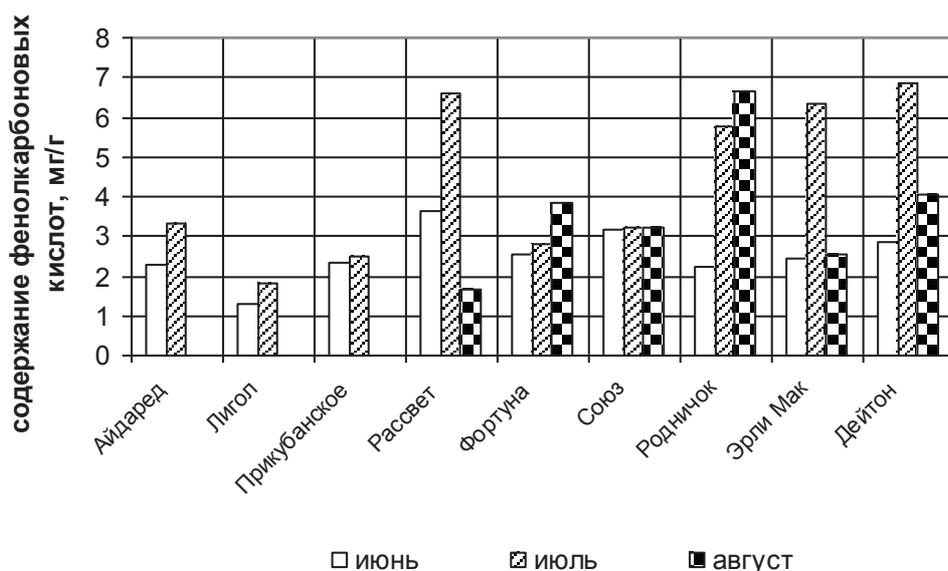


Рис. 4. Динамика содержания суммы фенолкарбоновых кислот в листьях яблони, 2016 г.

В июле, в сравнении с июнем, у изучаемых сортов (кроме Эрли Мак) отмечается увеличение содержания пигментов (хлорофилл а+б и каротин), а в августе – снижение, кроме сортов Фортуна, Родничок, Дейтон, Лигол, что характеризует их, как более засухоустойчивые (рис. 5, 6).

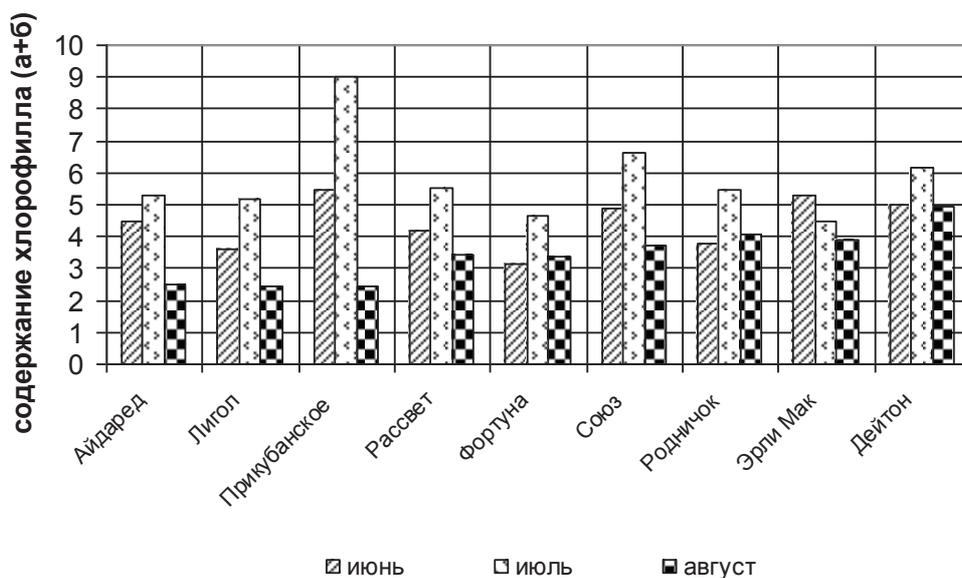


Рис. 5. Динамика содержания хлорофилла (а+б) в листьях яблони, 2016 г.

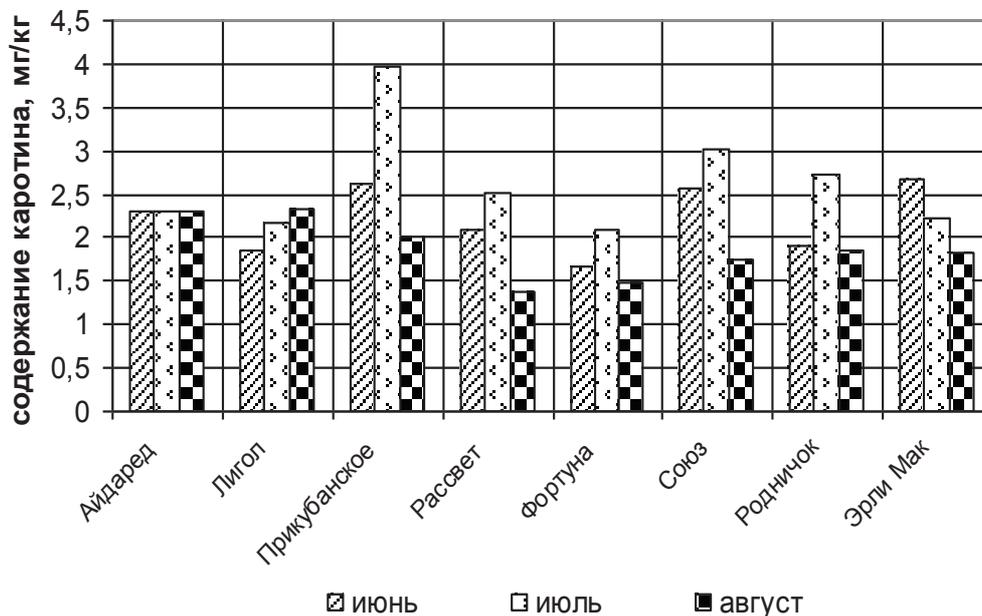


Рис. 6. Динамика содержания каротина в листьях яблони, 2016 г.

В июле и августе отмечено повышение содержания органических кислот цикла Кребса и увеличение содержание АБК, кроме сортов Союз и Родничок, что свидетельствует об активации обменных процессов, связанных с адаптацией к засухе и жаре (рис. 7, 8).

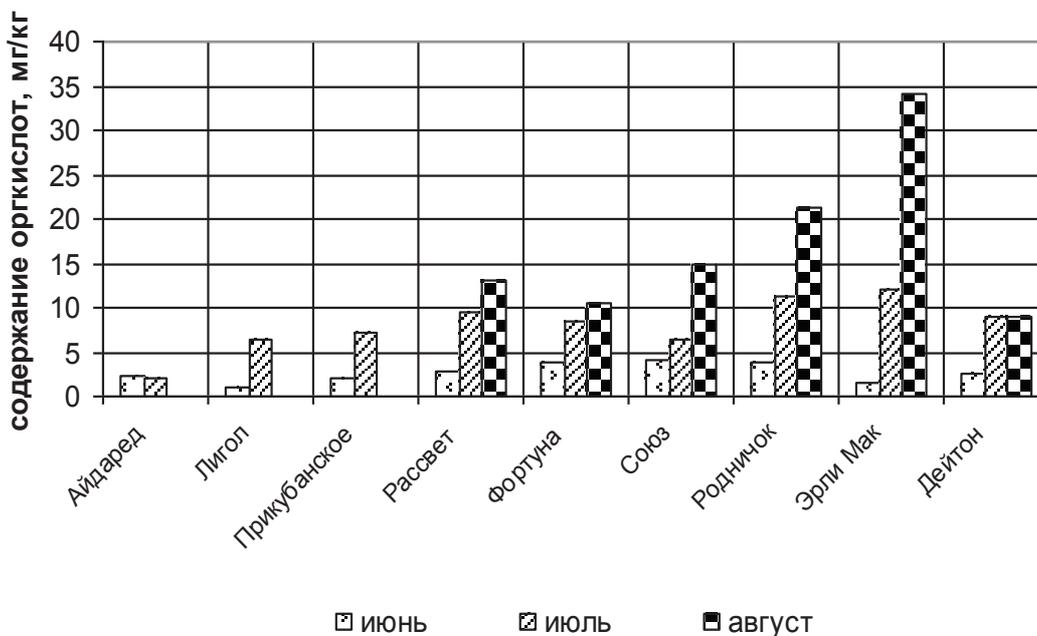


Рис. 7. Динамика содержания суммы органических кислот в листьях яблони, 2016 г.

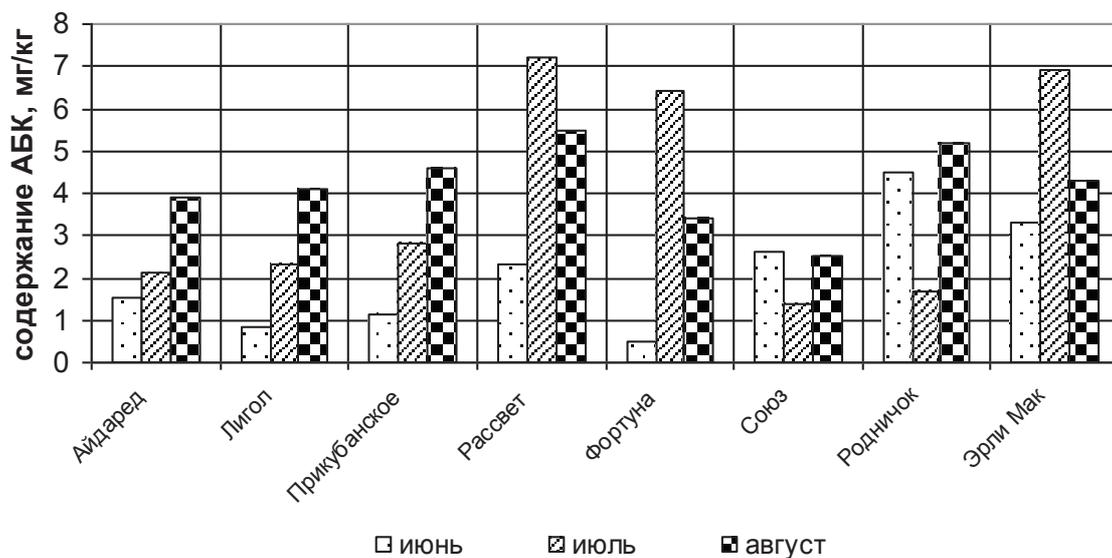


Рис. 8. Динамика содержания АБК в листьях яблони, 2016 г.

В июле наблюдается повышение жаростойкости сортов яблони, о чем свидетельствует увеличение содержания аскорбиновой кислоты (рис. 9).

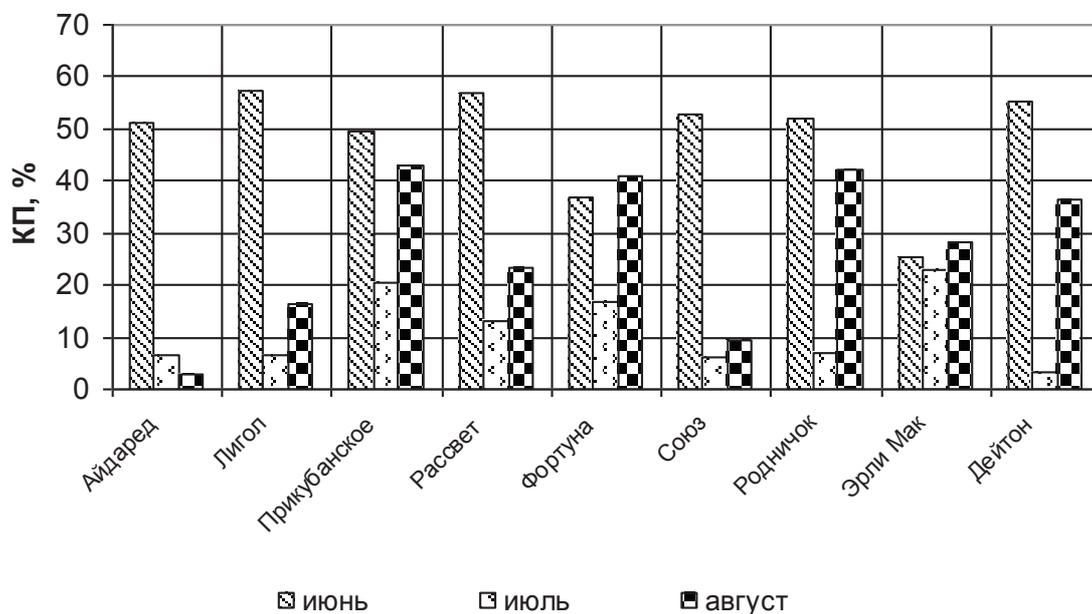


Рис. 9. Жаростойкость сортов яблони, 2016 г.

Снижение жаростойкости растений в августе связано активацией обменных процессов в связи с репарацией. Уменьшение содержания ИУК у сортов Фортуна, Союз, Дейтон в августе говорит о замедлении ростовых процессов (рис. 10).

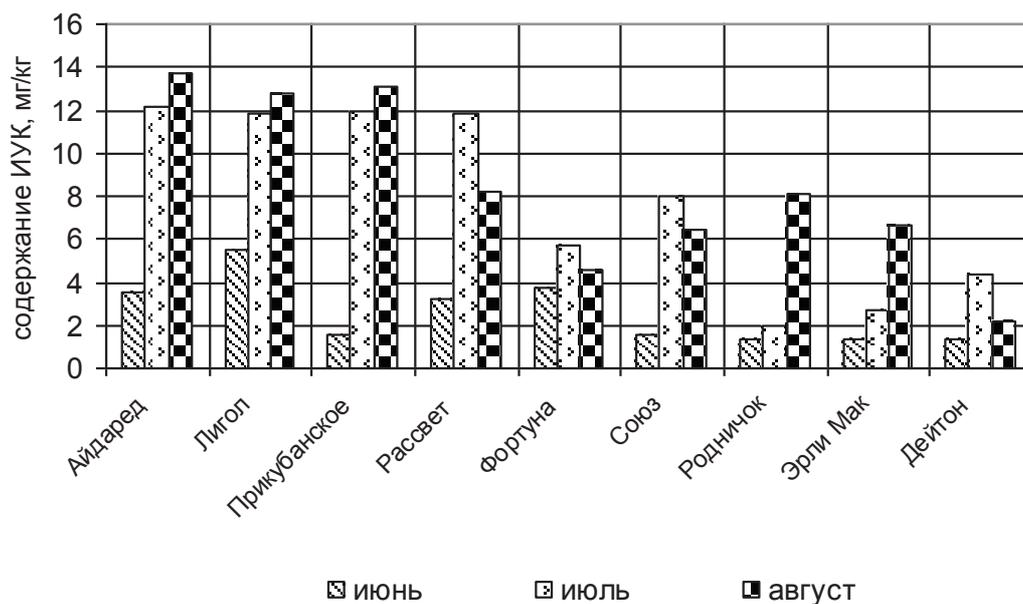


Рис. 10. Динамика содержания ИУК в листьях яблони, 2016 г.

Биохимическая адаптация растений яблони к абиотическим факторам летнего периода может быть охарактеризована такими показателями, как активность фермента пероксидазы и содержание малонового диальдегида (МДА) – продукта деградации полиненасыщенных жирных кислот в мембранах клеток под воздействием активных форм кислорода, характеризующего степень повреждающего действия стресс-фактора на растения [19-21].

Устойчивость мембран к разрушению коррелировала преимущественно с активностью пероксидазы, разрушающей перекисные соединения, содержанием аскорбиновой кислоты и фенолкарбоновых кислот, защищающих липиды от разрушения и малонового диальдегида – продукта деструкции мембран (рис. 11, 12).

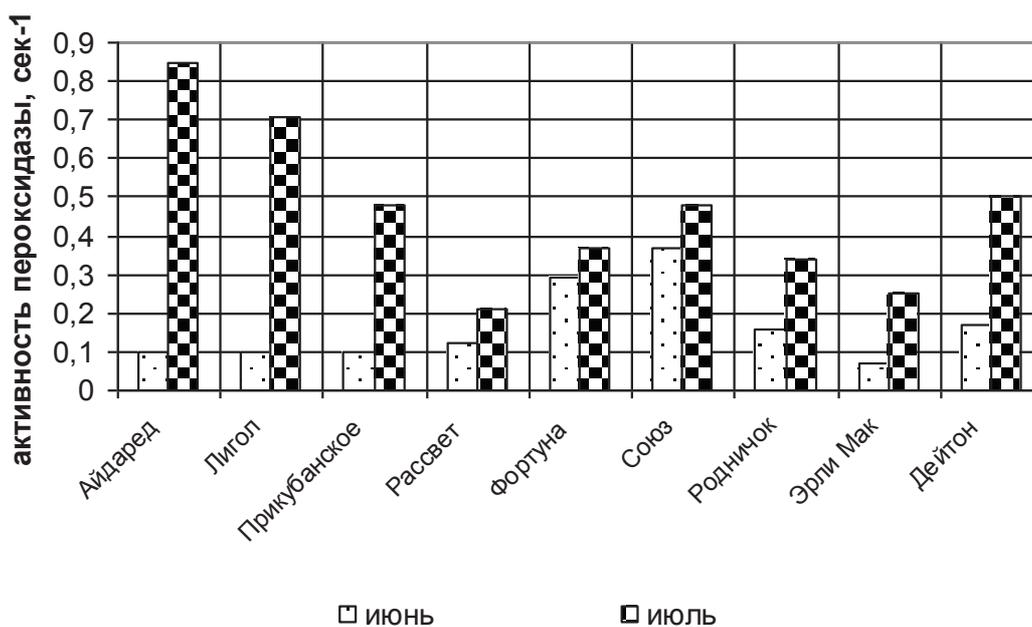


Рис. 11. Активность пероксидазы в листьях яблони, 2016 г.

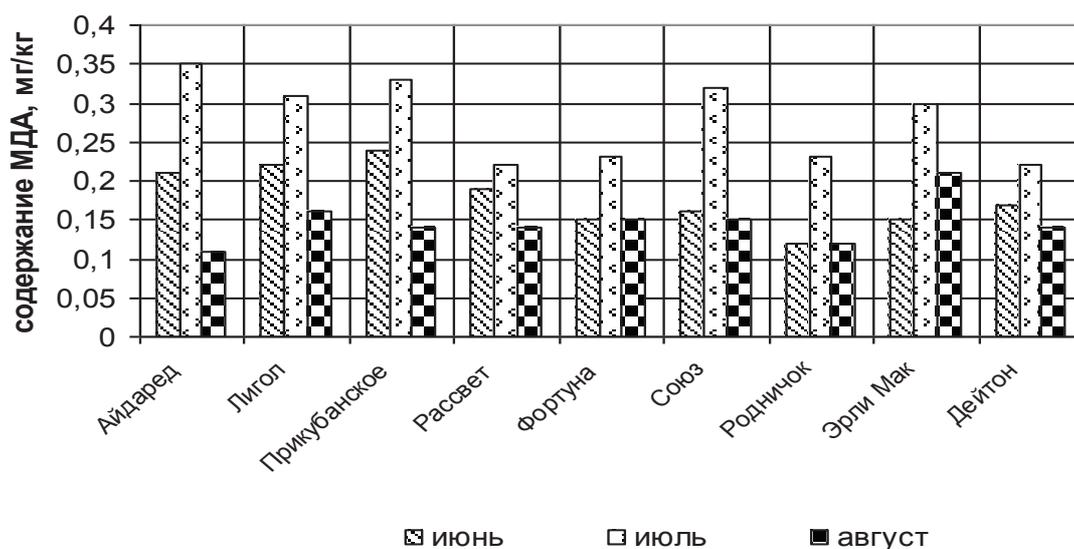


Рис. 12. Динамика содержания МДА в листьях яблони, 2016 г.

Итак, для сортов яблони селекции СКЗНИИСиВ, а также американской и польской селекции установлены оптимальные физиолого-биохимические параметры устойчивости к стрессорам летнего периода 2014-2016 гг. (таб.).

Параметры наиболее значимых биохимических показателей адаптации сортов яблони к стрессорам летнего периода 2014 -2016 гг.

Биохимический показатель	Происхождение сорта		
	Селекции СКЗ-НИИСиВ	США	Польша
Оводненность листьев, %	50,03-77,81	51,1-70,19	51,75-62,36
Содержание свободн. воды, %	10,70-48,07	13,67-63,06	11,05-48,86
Содержание связанной воды, %	51,93-89,30	30,45-87,22	51,14-88,95
Отношение связанная вода/свободная	1,1-8,3	0,6-6,3	0,44-5,98
Содержание сахарозы, мг/г	0,19-10,14	0,2-12,0	0,03-14,08
Содержание крахмала, мг/г	0,59-7,95	0,54-6,89	0,53-6,10
Коэфф. повреждения мембран, %	1,1-76,56	2,90-86,66	6,40-60,4
Содержание пролина, мг/кг	0,03-387,1	7,3-593,7	14,6-316,0
Содержание белка, мг/г	6,02-22,09	5,77-21,15	5,98-19,44
Содержание ИУК, мг/кг	1,0113,4	0,48-13,7	1,9-12,8
Содержание АБК, мг/кг	0,11-6,4	0,07-6,9	0,25-4,1
Активность пероксидазы, сек ⁻¹	0,1-70,69	0,04-58,85	0,14-52,54
Сумма фенолкарбоновых кислот, мг/г	0,01-6,65	0,06-6,86	0,02-4,1
Содержание хлорофилла а+б, мг/г	2,47-8,99	2,18-8,35	2,44-7,03
Содержание каротина, мг/г	1,13-4,27	1,03-3,66	1,36-2,99

Заключение. Выявлены адаптационные механизмы устойчивости иммунных и не иммунных к парше сортов яблони к стрессорам летнего периода. Выделены наиболее значимые физиолого-биохимические показатели метаболических процессов, участвующих в формировании механизмов адаптационной устойчивости сортов яблони к стрессорам летнего периода (содержание пролина, пероксидазы, малонового диальдегида, абсцизовой и индолилуксусной кислот).

Установлено, что у иммунных к парше диплоидных сортов яблони селекции СКЗНИИСиВ, наследующих признак жаростойкости по отцовской форме, он определяется генами, контролирующими синтез пероксидазы, у триплоидов – пероксидазы, аскорбиновой и фенолкарбоновых кислот; у не иммунного к парше сорта Эрли Мак (США) – аскорбиновой и фенолкарбоновых кислот.

Не иммунный к парше сорт Айдаред (США) более устойчив к засухе и менее устойчив к жаре, что позволяет использовать его в селекционном процессе как источник признака засухоустойчивости. Слабо восприимчивый к парше сорт яблони Прикубанское, иммунные к парше сорта Фортуна, Родничок, Союз селекции СКЗНИИСиВ и не иммунный к парше сорт Эрли Мак обладают комплексом признаков засухоустойчивости и жаростойкости и могут быть использованы в селекционном процессе, как источники комплекса этих признаков.

Литература

1. Ненько, Н.И. Особенности водного режима сортов яблони различной ploидности в связи с адаптацией к засухе [[Электронный ресурс](#)] / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, А.В. Караваева, Е.В. Ульяновская // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2015. – № 31(1). – С. 98-109. – Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/01/11>.
2. Ненько, Н.И. Сравнительная физиолого-биохимическая характеристика устойчивости сортов яблони различного эколого-географического происхождения к абиотическим стрессам / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В., Ульяновская // Садоводство и виноградарство. – 2016. – № 1. – С. 29-33.
3. Киселева, Г.К. Физиолого-биохимические закономерности адаптации *Malus domestica* Borkh. разной ploидности к засухе // Г. К. Киселева, Ненько Н.И., Ульяновская // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – №3 (23). – С. 182-187.
4. Ненько, Н.И. Физиолого-биохимическая оценка устойчивости растений яблони к стрессорам зимнего и летнего периодов / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, А.В. Караваева, Е.В. Ульяновская // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016.– № 3. – Т. 6. – С. 65-71.
5. Ненько, Н.И. Изучение механизмов устойчивости яблони к засухе для формирования многолетних агроценозов / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В. Ульяновская, В.В. Шестакова, А.В. Караваева // Научные труды СКЗНИИСиВ. – Краснодар, СКЗНИИСиВ, 2016. – Т. 9. – С. 59-70.
6. Ненько, Н.И. Физиологические методы в адаптивной селекции плодовых культур / Н.И. Ненько, Т.Н. Дорошенко, Т.А. Гасанова // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. – Краснодар, СКЗНИИСиВ, 2012. – С. 189-198.
7. Ненько, Н.И. Физиолого-биохимические методы изучения исходного и селекционного материала / Н.И. Ненько, И.А. Ильина, В.С. Петров, М.А. Сундырева // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – С. 530-540.

8. Ненько, Н.И. Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда / Н.И. Ненько, И.А. Ильина, Т.Н. Воробьева [и др.]; под общей редакцией Ненько Н.И. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. – 115 с.
9. Якуба, Ю.Ф. Методика определения массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция в побегах и листьях плодовых культур и винограда с применением капиллярного электрофореза / Ю.Ф. Якуба, И.А. Киселева, М.В. Захарова, Г.В. Лифарь // Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда; под общей редакцией Ненько Н.И. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. – С. 62-67.
10. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., Колос, 1979. – 416 с.
11. Ненько, Н.И. Физиолого-биохимическая характеристика сортов яблони с различной устойчивостью к парше в условиях летнего периода / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В. Ульяновская, А.В. Караваева, В.В. Шестакова // Научные труды СКЗНИИСиВ. – Краснодар, СКЗНИИСиВ, 2016. – Т. 10. – С.73-78.
12. Ненько, Н.И. Физиолого-биохимические механизмы сопряженной устойчивости яблони к засухе и парше / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В. Ульяновская, А.В. Караваева // Факторы устойчивости растений и микроорганизмов в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всеросс. науч. конф. с межд. участ. (12-15 сент. 2016 г.). – Иркутск, 2016. – С. 133-134.
13. Киселева, Г.К. Метаболические изменения фотосинтетического аппарата яблони в условиях высокотемпературного стресса / Г.К.Киселева, Н.И. Ненько, Е.В. Ульяновская, А.В. Караваева // Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма: материалы науч. конф. (21-24 июня 2016 г.). – Санкт-Петербург, 2016. – С. 61-62.
14. Nenko, N.I. Adaptation mechanisms of stability of apple tree to drought for creation of fruit agrocenoses / N.I. Nenko, G.K. Kiseleva, E.V. Ulyanovskaya, V.V. Shestakova, A.V. Karavaeva // Global Science and Innovation (23-24 марта 2016 г.). – Чикаго, США, 2016. – С. 167-172.
15. Ненько, Н.И. Формирование адаптационной устойчивости к летней засухе сортов яблони различной плоидности / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В. Ульяновская // Фундаментальные и прикладные аспекты современных эколого-биологических и медико-технологических исследований. – Ришон ле Цион: Medial, 2016. – Т. 2. – С. 83-108.
16. Ненько, Н.И. Адаптационные механизмы устойчивости яблони к засухе и парше / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, Е.В. Ульяновская, В.В. Шестакова // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe /East European Scientific Journal. – 2016. – №10. – С. 59-61.
17. Nenko, N.I. The mechanisms of the adaptation of the types of the apple tree of different origin to the abiotic factors of the summer period / N.I. Nenko, G.K. Kiseleva, H.V. Ulyanovskaya // Agriculture & Food. – 2015. – Volume 3. – P. 202-208.
18. Гончарова, Э. А. Водный статус культурных растений и его диагностика: монография / Э.А. Гончарова. – СПб.: ВИР, РИО, 2005. – 125 с.
19. Skriver, K. Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress / Skriver K, Mundy J. // Plant Cell. – 1990. – № 2. – P. 503-512.
20. [Henfrey, J.](#) Physiological stress responses in apple under replant conditions / [Joana Lua Henfrey](#), [Gerhard Baab](#), [Michaela Schmitz](#) // [Scientia Horticulturae](#). – 2015. – V. 194. – P. 111-117.
21. Кошкин, Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учебник / Е.И.Кошкин. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.