

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ СОРТОВ ЯБЛОНИ С РАЗЛИЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ПАРШЕ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА

Г.К. Киселева, Н.И. Ненько, А.В. Караваева, Е.В. Ульяновская

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия, *galina-kiseleva-1960@mail.ru*

Аннотация. Высокие критические температуры летнего периода и засуха ограничивают получение стабильных урожаев яблони в условиях юга России. Выявлены физиолого-биохимические параметры, обеспечивающие метаболические механизмы адаптации иммунных и не иммунных к парше сортов яблони к высокотемпературному стрессу. Метаболическими маркерами адаптации являются содержание катионов кальция, пролина, каротиноидов, аскорбиновой, хлорогеновой, кофейной кислот, активность пероксидазы.

Ключевые слова: *яблоня, парша, высокотемпературный стресс, кальций, пролин*

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-410-413

В южной зоне садоводства Российской Федерации получение высоких стабильных урожаев яблони ограничивается участвовавшими в последнее время эпифитотиями парши и засухами на фоне высоких критических температур летнего периода [Ненько, 2018]. В связи с этим, выявление особенностей метаболической адаптации сортов яблони с различной устойчивостью к парше в условиях высокотемпературного стресса является особо актуальным.

Цель настоящей работы – выявить физиолого-биохимические параметры, обеспечивающие метаболические механизмы адаптации иммунных и не иммунных к парше сортов яблони к высокотемпературному стрессу в условиях Северо-Кавказского региона Российской Федерации.

Исследования проводили в 2016-2017 гг. на базе опытного хозяйства «Центральное» в г. Краснодаре. Объектами исследования служили иммунные к парше сорта яблони, обладающие геном устойчивости к парше *Vf*: Рассвет, Фортуна, Союз (селекции СКЗНИИСиб, Россия), Дейтон (селекции США) и не иммунные к парше: Родничок (селекции СКЗНИИСиб, Россия), Эрли Мак (селекции США), Пирс (селекции Германии) на подвое М 9 при схеме посадки 2 x 5.

Для анализа отбирали сформированные листья со средней части однолетних побегов в течение летнего вегетационного периода. Содержание катионов кальция, пролина, аскорбиновой, хлорогеновой, кофейной кислот определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель» 104 Р; каротиноидов и активность пероксидазы спектрофотометрическим методом на базе ЦКП «Приборно-аналитический» и лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ СКФНЦСВВ [Ненько, 2015]. Полученные экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов вариационной статистики [Доспехов, 1979].

Максимальные температуры воздуха отмечены в августе +37-39 °С; минимальное количество выпавших осадков в августе 2016 г. – 33,5 мм; в 2017 г. – 12 мм. Устойчивость к высокотемпературному стрессу является важной составляющей адаптивного потенциала сортов яблони. Высокотемпературное воздействие сказывается, прежде всего, на текучести мембран, в результате чего происходит увеличение их проницаемости. При этом увеличивается выход катионов кальция из клеточных стенок в цитоплазму, в результате чего возрастает ее вязкость. Повышение концентрации ионов кальция в цитозоле является одной из наиболее ранних реакций

клетки на стрессовые воздействия [Кошкин, 2010]. Содержание катионов кальция у иммунных к парше сортов яблони Рассвет, Фортуна, Союз, Дейтон составляло 0,285-0,997 мг/г сырой массы вещества; у не иммунных к парше Родничок, Эрли Мак, Пирос 0,424-1,886 мг/г сырой массы вещества, что характеризует их как неустойчивые к высокотемпературному стрессу.

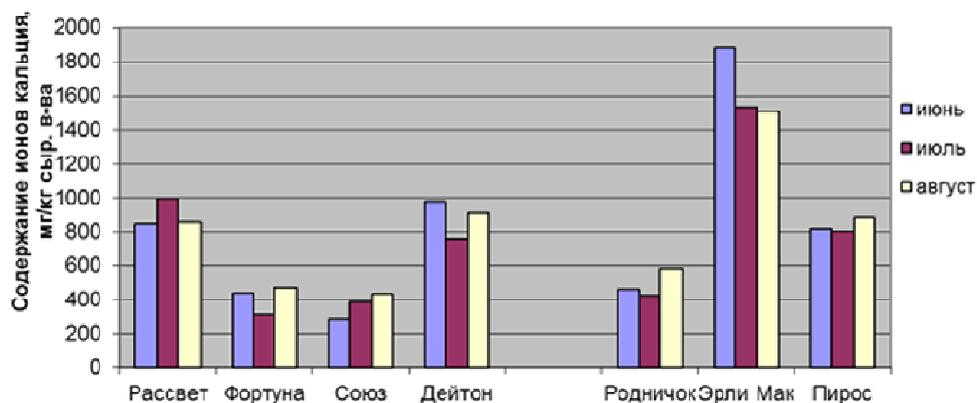


Рис. 1. Содержание катионов кальция в листовом аппарате яблони в летний вегетационный период 2016-2017 гг.

Повышение концентрации внутриклеточного кальция обеспечивает реализацию комплекса реакций, приводящих к адаптации к засухе. Во многих работах показано, что увеличение концентрации кальция в цитозоле приводит к усилению образования активных форм кислорода (АФК) в растительных клетках. Повысившийся уровень АФК в клетке активирует сигнальные пути, обуславливающие активацию транскрипции соответствующих генов и усиление антиоксидантной системы защиты (АОС), включающей различные соединения (пролин, каротиноиды) [Барабой, 1991].

Пролин оказывает стабилизирующее действие на мембраны, уменьшает осмотический стресс, защищает белки от денатурации, участвует в передаче стрессового сигнала, регулирует редокс-потенциал клетки [Hossain, 2014]. Содержание свободного пролина у иммунных к парше сортов яблони составляло 120,0-285,2 мг/г сырого вещества, у не иммунных к парше – 11,7-273,1 мг/г сырого вещества.

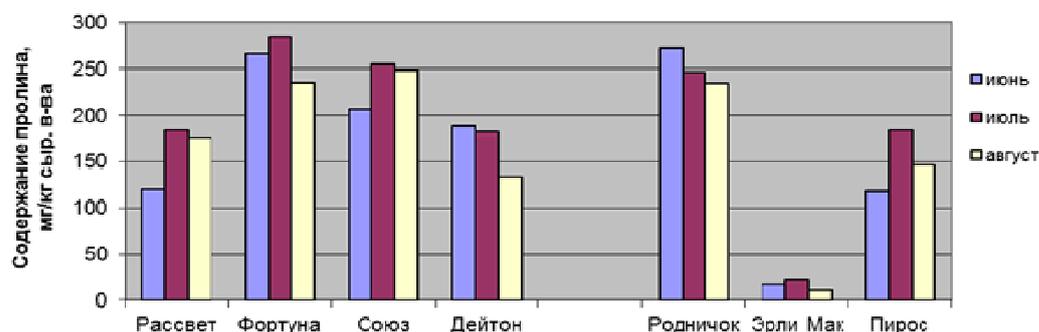


Рис. 2. Содержание свободного пролина в листовом аппарате яблони в летний вегетационный период 2016-2017 гг.

Еще одним важнейшим не ферментативным антиоксидантным звеном в системе защиты являются каротиноиды. Выступая в роли антиоксидантов, каротиноиды защищают чувствительные ткани и лабильные соединения от окисления. Наибольшие количественные показатели каротиноидов отмечены у сортов Фортуна, Союз, Родничок и составляли 1,9-2,4 мг/г сухой массы вещества. Наименьшие количественные

показатели каротиноидов отмечены у не иммунных к парше сортов яблони Эрли Мак и Пирос – 1,1-1,4 мг/г сухой массы вещества.

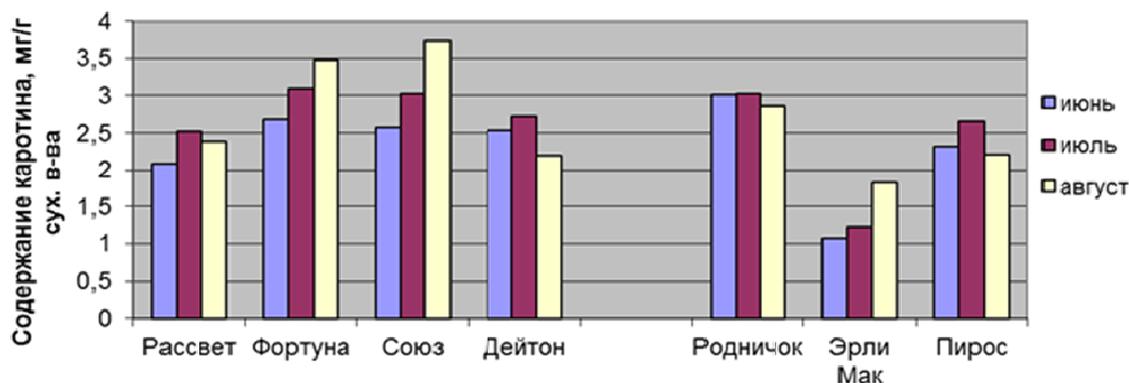


Рис. 3. Содержание каротиноидов в листовом аппарате яблони в летний вегетационный период 2016-2017 гг.

Антиоксидантный защитный механизм представляет собой неотъемлемый элемент адаптации к высокотемпературному стрессу, и его сила коррелирует с жароустойчивостью [Барабой, 1991]. Отмечена прямая корреляционная связь между жаростойкостью и содержанием каротиноидов ($r=+0,95$).

Особое место среди стрессовых метаболитов занимают пероксидаза, аскорбиновая кислота, фенольные соединения. В последние годы появляются работы, в которых авторы предлагают использовать пероксидазы как диагностический признак для оценки степени устойчивости растений к действию стрессовых факторов [Zaharah, 2009; Šircelj et al., 2007]. Более высокий уровень активности пероксидаз наблюдался в листьях неустойчивых к повышенным температурам сортов яблони. У иммунных сортов Рассвет, Фортуна, Союз, Дейтон выявлена обратная корреляционная зависимость между активностью пероксидазы и устойчивостью к повышенным температурам ($r=-0,88$).

Пероксидазы катализируют реакции восстановления перекиси водорода при участии различных субстратов: фенольных соединений, аскорбиновой кислоты. Фенольные соединения проявляют антиоксидантное действие: связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, лишая их каталитического действия; служат акцепторами образующихся при аутооксидации свободных радикалов и поэтому способны гасить свободно радикальные цепи; хинонные формы фенолов особенно энергично взаимодействуют с белками [Dixo, 1995]. Содержание суммы фенолкарбоновых кислот (хлорогеновой, кофейной), стабилизирующих клеточные мембраны у иммунных сортов Рассвет, Фортуна, Союз, Дейтон коррелировало с повышением температуры в течение летнего вегетационного периода ($r=+0,91$).

Аскорбиновая кислота, являясь антиоксидантом не ферментативного звена, участвует с помощью различных механизмов в ингибировании перекисного окисления липидов [Чупахина, 1997]. В ответ на засуху активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты увеличивалось в большей степени у устойчивых сортов яблони, что служило надежным биохимическим маркером засухи [Shunca et al., 2011]. В наших исследованиях содержание аскорбиновой кислоты у иммунных сортов Рассвет, Фортуна, Союз, Дейтон коррелировало с повышением температуры в течение летнего вегетационного периода ($r=+0,95$).

Таким образом, выявлены физиолого-биохимические параметры, обеспечивающие метаболические механизмы адаптации иммунных и не иммунных к парше сортов яблони к высокотемпературному стрессу в условиях Северо-Кавказского

региона Российской Федерации. Метаболическими маркерами адаптации к высокотемпературному стрессу являются содержание катионов кальция, пролина, каротиноидов, аскорбиновой, хлорогеновой, кофейной кислот, активность пероксидазы.

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

Литература

Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // Успехи современной биологии. – 1991. – Т. 111, № 6. – С. 923–932.

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 1979. – 463 с.

Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с.

Ненько Н.И., Ульяновская Е.В., Киселева Г.К. Устойчивость яблони к экстремальным температурам и низкой влагообеспеченности // Вестник РАСХН. – 2018. – № 1. – С. 27–30.

Ненько Н.И., Ильина И.А., Воробьева Т.Н. и др. Современные инструментально-аналитические методы исследования плодовых культур и винограда / Под общей редакцией Н.И. Ненько. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. – 115 с.

Чупахина Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений: монография. – Калининград: Калинингр. ун-т, 1997. – 350с.

Dixo R.A. Stress-induced phenylpropanoid metabolism // Plant Cell. – 1995. – No. 7. – P. 1085–1097.

Hossain M. A., Hoque M. A., Burritt D. J., Masayuki F. Proline protects plants against abiotic oxidative stress: biochemical and molecular mechanisms // Oxidative Damage to Plants. – 2014. – No. 5. – P. 477–522.

Šircelj H., Michael Tausz M., Grill D., Batič F. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters // Scientia Horticulturae. – 2007. – No. 113. – P. 362–369.

Shunca Wang, Dong Liang, Chao Li, Yonglu Hao, Fengwang Ma, Huairui Shu. Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks // Plant Physiology and Biochemistry. – 2012, No. 51. – P. 81–89.

Zaharah S., Razi I. Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. *Chokanan* in response to root restriction and water stress. // Scientia Horticulturae. – 2009. – No. 123. – P. 58–67.

FEATURES OF METABOLIC ADAPTATION OF APPLE VARIETIES WITH DIFFERENT RESISTANCE TO SCAB IN CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURE STRESS

G.K. Kiseleva, N.I. Nenko, A.V. Karavaeva, E.V. Ulyanovskaya

Federal State Budget Scientific Organization "North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture", Krasnodar, Russia, galina-kiseleva-1960@mail.ru

Abstract. High critical temperatures of the summer period and drought limit the production of stable harvests of apple trees in the conditions of the south of Russia. The physiological and biochemical parameters that provide the metabolic mechanisms of the scab- immune and non immune apple tree varieties to high-temperature stress are revealed. Our study pointed out cations of calcium, proline, carotenoid, ascorbic, chlorogenic, caffeic acid, peroxidase activity as the high temperature stress markers in apple trees.

Key words: *apple, scab, high-temperature stress, calcium, proline*