

УДК 634.37:581.1:58.032.3

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-3-63-74

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ И СОРТОВ *FICUS*
В УСЛОВИЯХ ЛЕТНЕГО ДЕФИЦИТА ВЛАГИ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА**

Гребенникова О. А., Пилькевич Р. А.

*ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр», Ялта, Россия
E-mail: oksanagrebennikova@yandex.ru*

В статье представлены результаты изучения засухоустойчивости 6 генотипов листопадных видов рода *Ficus*, произрастающих на коллекционных участках Никитского ботанического сада. Проведенные исследования позволили установить характерные особенности показателей водного режима, содержания пролина, активности ферментов и выявить перспективные генотипы, обладающие повышенной адаптационной способностью к дефициту влаги и возможностью осуществлять физиолого-биохимические процессы в условиях засухи – сорта Сабруция Розовая, Сары Стамбульский и вид *F. palmata*.

Ключевые слова: *Ficus L.*, водный режим, водный дефицит, водоудерживающая способность, засухоустойчивость, пролин, активность ферментов.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Ficus L.* относится к семейству Moraceae Link и насчитывает более 1000 видов. В Никитском ботаническом саду, в качестве ценных плодовых растений, культивируют виды *Ficus carica L.*, *Ficus palmata Forsk.*, *Ficus virgata Roxb.* Известно, что наиболее популярной культурой является инжир (*Ficus carica L.*) благодаря регулярному плодоношению, раннему и продолжительному созреванию плодов, которые отличаются приятным вкусом, высокой калорийностью и диетическими свойствами [1]. Условия Южного берега Крыма в целом благоприятны для возделывания листопадных растений рода *Ficus*, однако высокая вероятность наступления засухи в летний период может отрицательно сказаться на жизнедеятельности и урожайности этой культуры [2]. Поэтому особое внимание должно уделяться вопросу засухоустойчивости, в котором главную роль играют водоудерживающая сила тканей листьев и способность к быстрому восстановлению физиологических процессов после воздействия засухи. Известно, что действие на растение стрессовых факторов сопровождается интенсификацией процессов окисления и образованием активных форм кислорода (АФК). Для предотвращения нарушений в клетках, вызванных высокими концентрациями АФК, в растениях существует антиоксидантная система, включающая как специфические окислительно-восстановительные ферменты (каталазу, супероксиддисмутазу и

различные оксидазы, в том числе пероксидазу и полифенолоксидазу), так и низкомолекулярные небелковые антиоксиданты (фенольные соединения, аскорбиновую кислоту, пролин и др.) [3, 4]. Уровень антиоксидантной защиты и способность быстро реагировать на экстремальные условия определяют устойчивость растений к стрессу [5]. Поэтому изучение активности окислительно-восстановительных ферментов и содержания низкомолекулярных протекторных соединений необходимо для выявления адаптационной способности растения к стрессовым условиям.

Цель работы – определить физиолого-биохимические показатели, связанные с засухоустойчивостью и на основе полученных данных выявить генотипы рода *Ficus* с высоким адаптационным потенциалом в условиях гидротермического стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили листопадные виды рода *Ficus*: *Ficus carica* L., *Ficus palmata* Forsk., *Ficus virgata* Roxb., произрастающие на коллекционных участках Никитского ботанического сада. Вид *F. carica* L. был представлен 4 сортами: Крымский Черный, Сары Стамбульский, Сабруция Розовая и Опылитель Никитский (каприфига).

Изучение параметров водного режима проводили на протяжении периода вегетации 2018–2019 гг. Обводнённость тканей листьев определяли весовым методом (высушиванием навесок в термостате при 105°C до постоянного веса); водный дефицит, водоудерживающую способность и стойкость к обезвоживанию – по классическим методикам [6–8].

Биохимические параметры в листьях изучали в начале (май) и в конце (август) летнего периода 2019 г на следующих этапах эксперимента: 1. полевая обводнённость; 2. полное обводнение; 3. увядание (в течение 5 часов в мае и 2–4 часов в августе); 4. восстановление тургора тканей. Определение содержания пролина проводили по модифицированной методике Чинарда с использованием нингидринового реактива [9]. Активность пероксидазы определяли спектрофотометрически по скорости реакции окисления бензидина, полифенолоксидазы – в присутствии пирокатехина и п-фенилендиамина [10], каталазы – титриметрическим методом [11]. Повторность опытов трёхкратная. Полученные данные обрабатывали с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2018 г. результаты анализа водоудерживающей способности в наиболее засушливые периоды летних месяцев на ЮБК показали, что для вида *F. palmata*, сортов Сабруция Розовая и Сары Стамбульский характерна относительно высокая способность удерживать влагу. Потеря воды в первые часы увядания у этих генотипов не превышала 10–12 %, а после 6–7 часов обезвоживания потеря воды составляла не более 30 % (табл. 1). При этом сорта Сары Стамбульский и Сабруция Розовая обладают повышенными репарационными возможностями, предельная сублетальная граница потери влаги находится между 25 и 28 %. Минимальный

уровень водоудерживающих сил, и сравнительно невысокая репарация тканей листьев отмечены у вида *F. virgata* и сорта Крымский Чёрный. Сублетальным водным дефицитом для этих растений становится потеря влаги в количестве 15 %. В зависимости от погодных условий летнего сезона степень обезвоживания у данных генотипов через 5 часов увядания достигает 35–42 %, что свидетельствует о низкой стабильности водного режима. Показатели устойчивости Опылителя Никитского занимали промежуточное положение.

Таблица 1
Водоудерживающая и репарационная способность листьев генотипов
рода *Ficus* (май 2018 г.)

Генотип	Содержание воды в листьях, % от массы сырого вещества	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % от массы сырого вещества	Водный дефицит в листьях, %	Утрачено воды в процессе увядания, %					
				1 час	2 час	3 час	Листья, восст. тургор, %	7 час	Листья, восст. тургор, %
Опылитель Никитский	69,8±1,3	74,4±1,7	6,9±0,9	12,6	14,5	18,7	70	*	
Крымский Чёрный	69,6±1,5	72,3±1,3	7,2±1,1	8,8	15,9	22,0	55	*	
Сабруция Розовая	68,5±1,1	73,0±1,0	4,6±0,7	6,0	10,2	14,5	99	29,2	90
Сары Стамбульский	67,7±0,9	71,5±1,2	5,5±0,5	6,4	11,0	15,2	100	28,6	95
<i>F. virgata</i>	68,2±1,2	72,8±1,4	6,8±1,0	9,5	16,8	20,6	66	*	
<i>F. palmata</i>	66,7±1,0	70,7±1,1	6,0±0,8	5,3	12,0	17,4	98	30,0	75

Примечание: * – дальнейшее увядание прекращено из-за недостаточного восстановления тургора

Погодно-климатические условия летнего сезона 2019 г. были нетипичными для ЮБК. В мае наблюдалась тёплая, сухая, с незначительными осадками погода – их сумма не превысила 1 мм (3 % от нормы). В среднем за месяц температура воздуха составила +17,2°C (на 1,8°C выше нормы). Весь месяц характеризовался, в основном, повышенным температурным фоном. Из-за отсутствия хозяйственно-полезных осадков влажность почвы на метровой глубине понизилась до 28 % НВ. К

окончанию месяца температур свыше +10 °С накопилось: эффективных 282 °С, активных 802 °С, что соответственно на 63 °С и 109 °С превысило норму [12].

Обводнённость тканей листьев изучаемых растений варьировала в пределах 69,0–74,6 %, что составляло 94,6–99,6 % от полной влагоёмкости (табл. 2). Дефицит влаги в листьях разных генотипов имел существенные отличия, достигая максимального значения у сорта Крымский Чёрный (10,7 %). Минимальными показателями обводнённости листьев наряду с относительно низкими величинами водного дефицита обладали растения вида *F. palmata*. Самым высоким содержанием воды в листьях и минимальным дефицитом влаги (2,7 %) выделился сорт Опылитель Никитский. В эксперименте искусственного увядания листьев продолжительностью 5 часов проявились особенности водоудерживающих сил и репарационных возможностей исследуемых растений. Листья сортов Крымский Чёрный, Сары Стамбульский и вида *F. palmata* демонстрировали практически идентичную динамику водоотдачи, теряя по окончании опыта одинаковое количество влаги. Однако после дальнейшей регидратации восстановление тургесцентности площади листовой поверхности осуществлялось на различном уровне. Сравнительно повышенной водоудерживающей способностью отличались листья сорта Сабруция Розовая, которые теряли наименьшее количество воды, однако впоследствии восстанавливали зелёную окраску и тургор лишь наполовину. Максимально быстро теряли воду листья сорта Опылитель Никитский и вида *F. virgata*, и как следствие, глубокий уровень обезвоживания (24,0 и 34,4 %) оказывался летальным. Полученные результаты показали, что в начале летнего периода лучшими характеристиками водного режима обладали вид *F. palmata* и сорт Сабруция Розовая.

В августе наблюдалась изменчивая в первой половине месяца и жаркая, временами очень жаркая и суховейно-засушливая погода во второй половине. Средняя температура воздуха за месяц составила 24,9 °С (на 2,3 °С выше нормы), продолжительность солнечного сияния – 317 часов при норме 312. В начале месяца было относительно прохладно, прошли небольшие осадки. Среднесуточные температуры временами опускались до +21 °С и были ниже нормы, а максимальная днём не превышала +25 °С. Вторая половина августа подверглась влиянию антициклона, принёсшего на полуостров тропический воздух, среднесуточные температуры колебались в пределах +29–32 °С, иногда превышая норму на 10 °С. Максимальная температура воздуха днём достигала +36,8 °С, относительная влажность при этом опускалась ниже 30 % (в течение 2 дней). Всего осадков в Никитском саду выпало 22,3 мм (72 % от нормы), основная их часть (13,7 %) пришлось на начало месяца. Отсутствие осадков на фоне жаркой суховейно-засушливой погоды привело к снижению запасов продуктивной влаги в метровом слое под плодовыми культурами до 8 % НВ. Высокий температурный фон второй половины августа способствовал интенсивному накоплению сумм активных температур выше +10 и +20°С, которые значительно опережали норму.

Таблица 2
Водоудерживающая способность и восстановление тургора листьев инжира
(май 2019 г.)

Генотип	Содержание воды в листьях, % от массы сырого вещества	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % от массы сырого вещества	Водный дефицит в листьях, %	Утрачено воды в процессе увядания, %					Листья, восст. тургор, %
				1 час	2 час	3 час	4 час	5 час	
Опылитель Никитский	74,6±1,9	76,9±2,1	2,7	9,8	13,7	17,7	20,5	24,0	25
Крымский Чёрный	71,3±1,4	75,4±2,0	10,7	4,4	7,9	11,6	13,3	17,2	10
Сары Стамбульский	73,3±1,3	73,6±1,7	8,4	7,5	9,6	12,3	14,5	16,7	40
Сабруция Розовая	74,7±1,5	75,6±2,2	6,6	5,3	7,7	9,8	12,0	14,0	50
<i>F. virgata</i>	73,8±2,2	73,7±1,9	9,6	11,7	18,0	23,4	29,2	34,4	30
<i>F. palmata</i>	69,0±0,7	70,2±1,8	3,5	7,4	10,4	13,3	15,4	17,9	60

В августе показатели содержания воды в листьях изучаемых объектов имели незначительные различия и колебались на уровне 65,7–68,4 %, что составляло от 96,0 до 98,7 % полного обводнения (табл. 3).

Водный дефицит тканей листьев находился в пределах 4,7–9,7 %. У всех исследуемых растений отмечалась более быстрая потеря влаги, чем в 2018 г., потеря влаги: в первые часы увядания листья утратили от 17,7 до 24,4 % воды. Границы сублетального водного дефицита у сортов Опылитель Никитский, Крымский Чёрный и вида *F. virgata* отмечены в рамках потери 22–24 % воды, которая наступала через 2–3 часа увядания. Дальнейшее обезвоживание приводило к необратимым повреждениям тканей, проявляющихся в виде некротических пятен площадью до 60 % поверхности листовых пластинок. Вид *F. palmata* показал средний уровень устойчивости, восстановив 80 % тканей. Наилучшие показатели продемонстрировали сорта Сары Стамбульский и Сабруция Розовая, для них отдача 26,3 и 29,8 % воды соответственно не являлась сублетальной – листья обоих генотипов восстановили равное количество тканей на высоком уровне (95 %).

Изучение биохимических параметров листьев видов и сортов рода *Ficus* в течение летнего периода выявило, что содержание пролина и активность ферментов обусловлены видовыми и сортовыми различиями.

Таблица 3

**Водоудерживающая способность и восстановление тургора листьев инжира
(август 2019 г.)**

Генотип	Содержание воды в листьях, % от массы сырого вещества	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % от массы сырого вещества	Водный дефицит в листьях, %	Утрачено воды в процессе увядания, %				Листья, восст. тургор, %
				1 час	2 часа	3 часа	4 часа	
Опылитель Никитский	67,1±1,3	68,8±1,7	7,1	14,0	22,1			45
Крымский Чёрный	67,4±2,0	70,0±1,9	5,7	14,1	24,4			40
Сабруция Розовая	68,4±1,7	69,3±2,0	4,7	13,1	18,2	24,6	26,3	95
Сары Стамбульский	66,5±1,0	68,2±1,6	6,3	13,0	20,0	25,4	29,8	95
<i>F. virgata</i>	66,8±0,9	69,6±1,7	9,7	10,1	17,7	22,9		50
<i>F. palmata</i>	65,7±1,9	66,8±1,8	7,1	12,8	19,9	27,0		80

В начале летнего периода содержание пролина в листьях рода *Ficus* варьировало от 115 мкг/г у вида *F. palmata* до 539 мкг/г у сорта Опылитель Никитский (табл. 4). При полном обводнении в листьях большинства изучаемых генотипов содержание пролина снижалось. Наиболее интенсивное снижение аминокислоты происходило в листьях неустойчивых к засухе генотипов, максимальное – у сорта Опылитель Никитский (в 2,2 раза). В листьях вида *F. palmata* и сорта Сары Стамбульский содержание пролина при обводнении увеличилось (на 47,0 % и 15,8 % соответственно). При увядании листьев и последующем восстановлении в них тургора происходило увеличение концентрации данной аминокислоты в 1,3 (сорт Опылитель Никитский) – 3,5 раз (сорт Сары Стамбульский), что свидетельствует о дальнейшем развитии стресса и, как следствие, необратимых нарушениях в протекании метаболических процессов.

Активность пероксидазы в листьях инжира колебалась от 0,023 усл.ед./г·с у сорта Сары Стамбульский до 0,312 усл.ед./г·с у вида *F. virgata*, причем у неустойчивых к засухе генотипов данный показатель был выше (в 1,5–13,6 раз). При полном обводнении активность фермента снижалась у видов *F. virgata* (на 72,4 %), *F. palmata* (на 20,3 %) и сорта Опылитель Никитский (на 61,1 %), не изменяясь у

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ...

остальных сортов. В процессе увядания и восстановления тургора выявлено увеличение пероксидазной активности в листьях большинства исследуемых генотипов в 1,7 (вид *F. palmata*) – 4,0 раза (сорт Крымский Черный), что предполагает вовлечение данного фермента в ответные реакции листопадных видов рода *Ficus* на водный дефицит. При восстановлении тургора тканей, при устранении стрессового фактора, активность пероксидазы продолжала увеличиваться, что свидетельствует о необратимых нарушениях в метаболизме. Самые низкие способности к адаптации проявил вид *F. virgata*, в листьях которого активность пероксидазы после увядания листьев снизилась.

Таблица 4
Биохимические параметры листьев генотипов рода *Ficus* в начале летнего периода (май, 2019 г.)

	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стам- бульский	Сабруция Розовая	<i>F. virgata</i>	<i>F. palmata</i>
Содержание пролина, мкг/г						
1	539±16	200±6	133±4	146±4	208±6	115±4
2	250±7	131±4	154±5	123±4	127±4	169±5
3	366±11	262±8	191±6	192±6	189±6	181±5
4	462±13	562±16	678±20	654±19	477±14	385±11
Активность пероксидазы, усл.ед./г·с						
1	0,252±0,00	0,106±0,00	0,023±0,001	0,047±0,002	0,312±0,0	0,069±0,00
2	0,098±0,00	0,107±0,00	0,024±0,001	0,045±0,002	0,086±0,0	0,055±0,00
3	0,184±0,00	0,127±0,00	0,079±0,002	0,052±0,002	0,051±0,0	0,104±0,00
4	0,694±0,02	0,425±0,01	0,089±0,003	0,149±0,004	0,082±0,0	0,118±0,00
Активность каталазы, мл O ₂ /г·мин						
1	43,6±1,3	44,2±1,3	42,0±1,3	42,8±1,3	41,9±1,2	42,3±1,3
2	43,0±1,3	41,9±1,2	14,7±0,4	18,1±0,6	13,9±0,4	15,7±0,5
3	45,5±1,4	44,9±1,3	43,1±1,3	45,3±1,4	44,5±1,3	44,8±1,3
4	23,1±0,7	21,9±0,7	34,1±1,0	33,4±1,0	28,2±0,8	34,0±1,0
Активность полифенолоксидазы, усл.ед./г·с						
1	0,206±0,00	0,148±0,00	0,143±0,004	0,151±0,005	0,130±0,0	0,120±0,00
2	0,269±0,00	0,103±0,00	0,157±0,005	0,131±0,004	0,161±0,0	0,155±0,00
3	0,962±0,02	1,190±0,03	0,088±0,003	0,067±0,002	0,229±0,0	0,140±0,00
4	1,429±0,04	0,568±0,01	0,146±0,004	0,156±0,005	0,370±0,0	0,259±0,00

Активность каталазы в листьях исследуемых генотипов составляла 41,9–44,2 мл O₂/г·мин, что показало отсутствие видовых и сортовых отличий по этому показателю. При полном обводнении активность фермента в листьях большинства генотипов снижалась, за исключением сортов Опылитель Никитский и

Крымский Черный, отличающихся низкой засухоустойчивостью. В процессе увядания происходило увеличение активности фермента до первоначального уровня. При восстановлении тургора листьев каталазная активность снова снижалась, причем наиболее существенно у незасухоустойчивых генотипов: от 18,8 % у сорта Сары Стамбульский до 50,5 % у сорта Крымский Черный.

Активность полифенолоксидазы в листьях сортов и видов рода *Ficus* варьировала в диапазоне от 0,120 усл.ед./г·с у вида *F. palmata* до 0,206 усл.ед./г·с у сорта Опылитель Никитский. На этапе полного обводнения активность полифенолоксидазы увеличилась у большинства генотипов, снижаясь у сортов Крымский Черный и Сабруция Розовая. На стадии увядания листьев ферментативная активность снизилась у более резистентных генотипов: вида *F. palmata*, сортов Сары Стамбульский и Сабруция Розовая. При восстановлении тургора тканей в листьях изучаемых генотипов активность данного фермента увеличилась, за исключением сорта Крымский Черный.

В конце летнего периода, на фоне снижения содержания воды в листьях на 3,3–8,2 % по сравнению с показателями начала лета, концентрация пролина увеличилась в листьях наиболее устойчивых к данному стресс-фактору генотипов и понизилась у менее резистентных, варьируя от 123 мкг/г у сорта Крымский Черный до 206 мкг/г у сорта Опылитель Никитский (табл. 5). При полном обводнении листьев содержание пролина в них увеличилось у всех исследуемых генотипов. Изменение концентрации пролина в листьях сортов и видов рода *Ficus* после увядания показало, что ее выраженное возрастание происходило у чувствительного к засухе вида *F. palmata*. У сортов вида *F. carica* и вида *F. virgata* содержание пролина менялось незначительно, за исключением сорта Сары Стамбульский (возросло на 25 %).

В процессе восстановления тургесцентности наблюдалось снижение содержания данной аминокислоты у большинства изучаемых генотипов, при этом в листьях более устойчивых к засухе генотипов концентрация пролина стала ниже первоначального (полевого) уровня, а у менее устойчивых – выше. Исключение составил вид *F. virgata*, у которого уровень пролина в тканях листа после снятия стрессового воздействия практически не изменился. Поскольку известно, что пролин обладает антиоксидантным действием [5], то снижение его концентрации в процессе восстановления тургора можно объяснить участием данного вещества в регуляции процессов образования АФК, вызванного развитием стрессового состояния. Что же касается отсутствия значительных изменений у вида *F. virgata*, то это, вероятно, свидетельствует о высокой чувствительности данного вида к недостаточной водообеспеченности и дальнейшем развитии стресса.

В конце летнего сезона полевая активность пероксидазы в листьях большинства изучаемых генотипов повысилась, за исключением вида *F. virgata* и сорта Опылитель Никитский, отличающихся минимальной засухоустойчивостью и составила 0,058–0,271 усл.ед./г·с. При полном обводнении листьев у большинства генотипов активность пероксидазы снизилась. После увядания в листьях большинства генотипов активность пероксидазы увеличилась под действием стресс-фактора, за исключением сорта Опылитель Никитский, в котором наблюдалась

обратная динамика. При восстановлении тургора тканей, вероятно, в связи с устранением стрессового фактора, активность фермента в листьях всех генотипов упала до минимальных значений.

Таблица 5
Биохимические параметры листьев генотипов рода *Ficus* в конце летнего периода (август, 2019 г.)

	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стам-	Сабруция Розовая	<i>F. virgata</i>	<i>F. palmata</i>
Содержание пролина, мкг/г						
1	206±6	123±4	173±5	169±5	133±4	196±6
2	293±9	218±7	250±8	219±7	192±6	216±6
3	269±8	258±8	312±9	235±7	216±6	316±9
4	208±6	142±4	146±4	139±4	204±6	154±5
Активность пероксидазы, усл.ед./г·с						
1	0,120±0,00	0,271±0,00	0,067±0,00	0,080±0,00	0,058±0,00	0,079±0,00
2	0,215±0,00	0,219±0,00	0,050±0,00	0,052±0,00	0,025±0,00	0,084±0,00
3	0,161±0,00	0,291±0,00	0,150±0,00	0,144±0,00	0,122±0,00	0,209±0,00
4	0,038±0,00	0,104±0,00	0,017±0,00	0,018±0,00	0,010±0,00	0,031±0,00
Активность каталазы, мл О ₂ /г·мин						
1	85,3±2,5	86,0±2,6	84,1±2,5	85,8±2,6	81,6±2,4	83,8±2,5
2	84,4±2,5	85,5±2,6	85,2±2,5	84,6±2,5	86,1±2,6	86,0±2,6
3	86,6±2,6	68,6±2,1	82,6±2,5	81,5±2,4	85,4±2,6	81,0±2,4
4	108,2±3,2	77,9±2,3	82,0±2,4	75,1±2,2	102,8±3,1	94,9±2,8
Активность полифенолоксидазы, усл.ед./г·с						
1	0,208±0,00	0,298±0,00	0,143±0,00	0,144±0,00	0,257±0,00	0,167±0,00
2	0,224±0,00	0,158±0,00	0,115±0,00	0,112±0,00	0,149±0,00	0,195±0,00
3	0,298±0,00	0,201±0,00	0,124±0,00	0,121±0,00	0,152±0,00	0,216±0,00
4	0,199±0,00	0,162±0,00	0,169±0,00	0,136±0,00	0,132±0,00	0,183±0,00

Активность каталазы в полевых условиях к концу лета увеличилась до 81,6–86,0 мл О₂/г·мин, но сортовых и видовых различий выявлено не было. При полном обводнении и увядании листьев активность фермента не изменилась, за исключением сорта Крымский Черный, где она снизилась на 20 %. При восстановлении тургора тканей активность каталазы снизилась у сорта Сабруция Розовая, не изменилась у сорта Сары Стамбульский и незначительно увеличилась в листьях остальных генотипов. Отсутствие связи между активностью данного фермента и водообеспеченностью тканей листа можно объяснить реализацией защитных механизмов данной культуры к засухе с помощью других компонентов антиоксидантной системы.

В конце летнего периода активность полифенолоксидазы в листьях изучаемых генотипов составила 0,143–0,298 усл.ед./г·с, оставшись на прежнем уровне у сортов Опылитель Никитский, Сары Стамбульский и Сабруция Розовая и увеличившись у остальных генотипов. При полном обводнении у большинства генотипов полифенолоксидазная активность снизилась. После увядания в листьях сортов и видов рода *Ficus* активность данного фермента увеличилась в ответ на стресс. В листьях вида *F. virgata* увеличение активности фермента было минимальным – в пределах ошибки определения, что показывает неспособность данного вида реагировать на стресс. В листьях сортов Сабруция Розовая и Сары Стамбульский и вида *F. palmata* активность полифенолоксидазы увеличилась незначительно (на 8–11 %), тогда как у сортов Крымский Черный и Опылитель Никитский – более существенно (на 27 и 33 %), что можно объяснить различной степенью стрессового состояния. При восстановлении тургора полифенолоксидазная активность снизилась у большинства генотипов, за исключением сортов Сабруция Розовая и Сары Стамбульский. Увеличение активности полифенолоксидазы у самых устойчивых сортов после устранения стрессового фактора можно объяснить необходимостью растительного организма в окислении фенольных соединений, накопившихся под воздействием стресса.

В результате проведенных исследований установлено, что потеря воды листьями изучаемых генотипов приводит к увеличению содержания пролина, повышению пероксидазной и полифенолоксидазной активности, что указывает на вовлечение данных антиоксидантов в ответные реакции видов *F. carica*, *F. palmata* и *F. virgata* на водный дефицит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены физиолого-биохимические показатели листьев 6 генотипов видов рода *Ficus*, связанные с засухоустойчивостью в периоды летней засухи на Южном берегу Крыма. Выявлены характерные особенности водного режима видов *F. carica*, *F. palmata*, *F. virgata* в условиях воздействия засушливых факторов. Установлено, что в адаптацию листопадных видов рода *Ficus* к проявлениям засухи существенный вклад вносят содержание пролина, активность пероксидазы и полифенолоксидазы.

Анализ полученных данных позволяет предположить, что сорта Сабруция Розовая, Сары Стамбульский и вид *F. palmata*, обладающие хорошими водоудерживающими способностями, высокой степенью репарации после критического обезвоживания и возможностью антиоксидантной системы быстро реагировать на экстремальные условия, проявляют наиболее высокую адаптационную способность к действию гидротермического стресса, что свидетельствует об их потенциальной засухоустойчивости.

Список литературы

1. Чернобай И. Г. Формирование сортимента субтропических культур (*Ficus carica* L., *Zizyphus jujuba* Mill.) для южных регионов России / И. Г. Чернобай, Е. Л. Шишкина, Т. В. Литвинова // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2017. – Т 144. – С. 243–247.

2. Плугатарь Ю. В. Экологический мониторинг Южного берега Крыма / Ю. В. Плугатарь, С. П. Корсакова, О. А. Ильницкий. – Симферополь, 2015. – 164 с.
3. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance / R. Mittler // Trends Plant Sci. – 2002. – Vol. 7. – P. 405–410.
4. Yadav N. Reactive oxygen species, oxidative stress and ROS scavenging system in plants / N. Yadav, S. Sharma // J. Chem. Pharm. Res. – 2016. – Vol. 8(5). – P. 595–604.
5. Suzuki N. Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction / N. Suzuki, R. Mittler // Physiol. Plant. – 2006. – Vol. 126. – P. 45–51.
6. Еремеев Г. Н. Отбор засухоустойчивых сортов и подвоев плодовых растений: метод. указания / Г. Н. Еремеев, А. И. Лищук. – Ялта, 1974. – 18 с.
7. Кушниренко М. Д. Методы оценки засухоустойчивости плодовых растений / М. Д. Кушниренко, Г. П. Курчатова, Е. В. Крюкова. – Кишинев: Штиинца, 1975. – 20 с.
8. Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур. Методические рекомендации / под ред. А. И. Лищука. – М., 1991. – 67 с.
9. Андриященко В. К. Модификация метода определения пролина для выявления засухоустойчивых форм *Lycopersicon Tourn* / В. К. Андриященко, В. В. Саянова, А. А. Жученко // Изв. АН МССР. – 1981. – № 4. – С. 55–60.
10. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков. – Л.: Агропромиздат, 1987. – С. 43–44.
11. Воскресенская О. Л. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1. / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола, 2006. – 107 с.
12. Метеорологический бюллетень за 2019 г. (Агрометеорологическая станция «Никитский сад»).

COMPARATIVE EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SOME *FICUS* SPECIES AND VARIETIES IN THE CONDITIONS OF SUMMER MOISTURE DEFICIT ON THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Grebennikova O. A., Pilkevich R. A.

*The Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, Yalta, Russia
E-mail: oksanagrebennikova@yandex.ru*

The physiological and biochemical parameters of 6 genotypes of genus *Ficus* species leaves, associated with drought tolerance during the periods of the summer drought on the Southern coast of Crimea were determined. The specific features of the water regime of the species *F. carica*, *F. palmata*, *F. virgata* under the influence of drought factors were revealed. The species *F. virgata* turned out to be the most sensitive to insufficient water supply. Weak ability to retain moisture and insufficient turgidity was observed in the leaves of the varieties Krymskiy Cherniy and Opylitel Nikitskiy. Leaves of the species *F. palmata* are characterized by reduced water cut, good water-holding ability and restore tissue turgor at a high level. Protective and adaptive reactions to water stress of the leaves of the Sabrutsiya Rozovaya and Sary Stambulskiy varieties are manifested in the economical use of moisture and protects tissues from excessive dehydration, which ensures a sufficient level of repair for normal physiological processes.

It was established that at different periods of the summer season, the biochemical parameters of the studied genotypes at different stages of the experiment varied differently. At the beginning of the summer period, in most of the studied genotypes, the

content of proline decreased under full leaves watering, with the restoration of turgidity, it increased, and at the end of the summer, the opposite changes occurred. The activity of peroxidase during restoration of tissue turgor at the beginning of the summer period increased and decreased to a minimum at the end of summer. Catalase activity at the beginning of the summer period decreased with watering the leaves and increased with wilting but at the end of the summer demonstrated no changes with watering and wilting of the leaves and varied in different directions when the turgor was restored. The activity of polyphenol oxidase at the beginning of the summer period at the stage of complete watering and restoration of turgor increased in most genotypes, changed in different directions when wilting, and in late summer it decreased during watering and restoration of turgor and increased after wilting. Despite the amplification of the drought factors, at the end of the summer period the leaves of the studied genotypes preserved the possibility to carry out normal metabolic processes to a greater extent. It was revealed that the proline content, the activity of peroxidase and polyphenol oxidase contribute significantly to the adaptation to drought of the studied genus *Ficus* species.

Analysis of the obtained data allows suggesting that the varieties Sabrutsiya Rozovaya, Sary Stambulskiy and the species *F. palmata*, which have good water-holding abilities, a high degree of repair after critical dehydration and the ability of the antioxidant system to quickly respond to extreme conditions display the highest adaptive ability to the hydrothermal stress effects, which indicates their relative drought tolerance.

Keywords: *Ficus L.*, water regime, water deficit, water retaining ability, drought resistance, proline, enzyme activity.

References

1. Chernobay I. G., Shishkina E. L., Litvinova T. V., Assortment of subtropical crops (*Ficus carica* L., *Zizyphus jujuba* Mill.) for the southern regions of Russia, *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, **144**, 243 (2017).
2. Plugatar' Yu. V., Korsakova S. P., Il'nitskiy O. A., *Ecological monitoring of the Southern coast of Crimea*, 164 p. (Arial, 2015).
3. Mittler R., Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends Plant Sci.*, **7**, 405 (2002).
4. Yadav N., Sharma S., Reactive oxygen species, oxidative stress and ROS scavenging system in plants, *Chem. Pharm. Res.*, **8**, 595 (2016).
5. Suzuki N., Mittler R., Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction, *Physiol. Plant.*, **126**, 45 (2006).
6. Eremeev G. N., Lishchuk A. I., *Selection of drought resistance varieties and rootstocks of fruit plants: methodical guidelines*, 18 p. (Yalta, 1974).
7. Kushnirenko M. D., Kurchatova G. P., Kryukova E. V., *Methods for assessing the drought tolerance of fruit plants*, 21 p. (Shtiintsa, 1976).
8. Lishchuk A. I., *Physiological and biophysical methods in the selection of fruit crops. Guidelines*, 67 p. (M, 1991).
9. Andriuschenko V. K., Sayanova V. V., Zhuchenko A. A., Modified method for proline identification in order to select drought-resistant forms of *Lycopersicon Tourn*, *Izvestiya AN MSSR*, **4**, 55 (1981).
10. Ermakov A. I., *Methods of biochemical investigations of plants*, 44 (Agropromizdat, 1987).
11. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova M. G., *Large workbook in bioecology: textbook*, 107 p. (Yoshkar-Ola, 2006).
12. Weather report, Agrometeorological station «Nikitskiy sad» (Yalta, 2018–2019).