

ПЛОДОВОДСТВО И ДЕКОРАТИВНОЕ САДОВОДСТВО

УДК 634.37: 577.15:581.1

DOI 10.25684/2712-7788-2024-1-170-13-25

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ В ПОЧКАХ НЕКОТОРЫХ ГЕНОТИПОВ РОДА *FICUS* НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Оксана Анатольевна Гребенникова

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр,

298648, г. Ялта, пгт Никита, ул. спуск Никитский, 52

E-mail: oksanagrebennikova@yandex.ru

В почках некоторых генотипов рода *Ficus* с различной степенью морозостойкости с декабря по март в течение трех лет изучалась активность пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы. Активность пероксидазы определяли спектрофотометрически по скорости реакции окисления бензидина, полифенолоксидазы – колориметрически в присутствии пирокатехина и *п*-фенилендиамина, каталазы – титриметрическим методом.

Анализ изменения активности ферментов в холодные периоды трех лет исследования показал, что активность пероксидазы и полифенолоксидазы зависит от конкретных погодных условий года. Каталазная активность выявила видоспецифичность и минимальную зависимость от погодных условий, повышаясь в течение всего холодного периода на протяжении трех лет исследований. При этом динамика активности данных ферментов в почках резистентных и неустойчивых генотипов отличалась. Предполагается участие данных ферментов в реализации защитных механизмов изученных генотипов рода *Ficus* при низкотемпературном стрессе. На протяжении всего периода исследования, неустойчивые генотипы отличались от резистентного более высокого уровня активности изучаемых ферментов в почках. Показатели активности пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы в почках могут использоваться в качестве биохимических маркеров для оценки уровня морозостойкости генотипов листопадных видов рода *Ficus*.

Ключевые слова: *Ficus* L.; активность ферментов; пероксидаза; каталаза; полифенолоксидаза; морозостойкость

Введение

Род *Ficus* L. (семейство Moraceae Link) включает более 1000 видов. В Никитском ботаническом саду культивируют виды *Ficus carica* L., *Ficus virgata* Reinw. ex Blume. и *Ficus palmata* Forssk. Самой возделываемой культурой является инжир (*Ficus carica* L.) благодаря высокой урожайности, регулярному плодоношению, раннему и продолжительному созреванию плодов, обладающих приятным вкусом, калорийностью и диетическими свойствами (Марчук и др., 2017; Чернобай и др., 2017). Климатические условия Южного берега Крыма в целом благоприятны для произрастания данных видов: среднее из абсолютных минимумов температуры воздуха зимой достигает -8°C , абсолютный минимум в районе Никитского сада редко опускается до -15°C . Однако зимой нередко случаются оттепели с возвратным похолоданием, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности и урожайности этой культуры (Плугатарь и др., 2015). Действие стрессоров, к которым относятся и низкие температуры, вызывает активизацию процессов неферментативного окисления и образование активных форм кислорода (АФК) (Demidchik, 2015; Gill, Tuteja, 2010; Mika et al., 2004). Для предотвращения окислительного повреждения в растениях сформирована антиоксидантная система, включающая как низкомолекулярные небелковые антиоксиданты, так и специфические ферменты (Чиркова, 2002; Miller, 2002). Важнейшими ферментами, обеспечивающими антиоксидантную защиту растений, являются пероксидаза и каталаза. Пероксидазе принадлежит ключевая роль в процессах лигнификации, клеточного роста, дифференциации и развитии клеток, а также в

адаптации растения к действию абиотических и биотических стрессоров (Passardi et al., 2005; Yoshida et al., 2003). Каталаза – гемсодержащий фермент, способствующий быстрой утилизации перекиси водорода, катализируя ее превращение до воды и кислорода (Мирошниченко, 1992; Bowler, Fluhr 2000; Das, Roychoudhury, 2014). Данный фермент также участвует в защитной реакции растений на стресс (Aghaei et al., 2009). Помимо ферментов антиоксидантной системы в растениях присутствует ряд оксидоредуктаз также формирующих устойчивость к действию стресса. К таким ферментам относится полифенолоксидаза, принимающая участие в окислении дубильных веществ и полифенолов, выполняющих защитные функции. Индукция экспрессии генов полифенолоксидазы в ответ на воздействие стрессовых факторов, по мнению ряда авторов, напрямую связана с устойчивостью растений (Li, Steffens, 2002; Mayer, 2006; Thipyarong et al., 2004). Активность ферментов зависит от восприимчивости организма к воздействию стрессовых факторов и стадии развития растений (Racchi, 2013).

Не смотря на актуальность изучения вопроса об изменении активности ферментов при воздействии неблагоприятных факторов и в процессе адаптации к новым условиям среды, для генотипов рода *Ficus* такая информация отсутствует.

Таким образом, целью исследования явилось сравнительное изучение динамики активности пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы в почках некоторых генотипов рода *Ficus* с различной степенью морозостойкости на Южном берегу Крыма.

Материалы и методы

Объектами исследования служили листопадные виды рода *Ficus*: *Ficus carica* L., *Ficus palmata* Forssk., *Ficus virgata* Reinw. ex Blume. (Plant List), произрастающие на коллекционных участках Никитского ботанического сада. Вид *F. carica* L. был представлен сортами: Крымский Черный, Сары Стамбульский, Сабруция Розовая и Опылитель Никитский (каприфига). У исследуемых генотипов предварительно была выявлена степень морозостойкости (Гребенникова, Браилко, 2018). Наиболее морозостойкими являются сорта Опылитель Никитский и Сабруция Розовая. У сорта Сары Стамбульский выявлена меньшая морозостойкость. Минимальной криорезистентностью характеризуются виды *F. virgata*, *F. palmata* и сорт Крымский Черный.

Для анализа ежемесячно (в третьей декаде) отбирались терминальные почки с декабря по март, в течение трех лет: 2017-2018 гг., 2018-2019 гг. и 2019-2020 гг.

Погодные условия холодных периодов в годы исследований приведены согласно данным агрометеорологической станции «Никитский сад» (44°31' с.ш., 34°15' в.д., высота 208 м над у.м.), опубликованным в агрометеорологических бюллетенях (форма ТСХ-8) и месячных обзорах агрометеорологических условий (или обзорах сложившихся за месяц агрометеорологических условий) (Табл. 1).

Активность пероксидазы определяли спектрофотометрически по скорости реакции окисления бензидина, полифенолоксидазы – колориметрически в присутствии пирокатехина и *n*-фенилендиамина (Ермаков, 1987). Определения проводили на спектрофотометре Evolution 220 UV/VIS фирмы Thermo Scientific. Активность каталазы определяли титриметрическим методом (Воскресенская и др., 2006). Повторность опытов трехкратная. Для статистической обработки полученных данных использовали программное приложение MS Excel 2007.

Таблица 1

Основные метеорологические показатели за периоды исследования

Table 1

The main meteorological indicators for the periods of the study

Годы Years	Месяцы Months	Среднемесячная температура, °C Average monthly temperature, °C				Количество осадков, мм Precipitation amount, mm	
		t _{мин} t _{min}	t _{макс} t _{max}	t _{ср} t _{average}	t _{норма} t _{norm}	Суммарное количество Total precipitation	Климатическая норма Climatic norm
1	2	3	4	5	6	7	8
2017- 2018 гг.	декабрь	-0,1	16,9	8,5	5,5	86,8	83,0
	январь	-3,5	12,9	4,6	3,1	92,5	73,0
	февраль	-2,9	14,0	4,9	3,3	69,2	64,0
	март	-3,4	19,7	6,9	5,3	78,2	50,0
2018- 2019 гг.	декабрь	-0,8	11,0	5,6	5,5	129,1	83,0
	январь	-1,4	13,5	4,9	3,1	109,1	73,0
	февраль	-1,4	13,5	5,4	3,3	43,3	64,0
	март	-1,3	19,0	8,7	5,3	45,0	50,0
2019- 2020 гг.	декабрь	0,1	15,0	7,9	5,5	62,4	83,0
	январь	-1,4	11,9	5,0	3,1	25,9	73,0
	февраль	-7,1	13,3	5,3	3,3	6,2	64,0
	март	-1,6	22,1	9,3	5,3	3,0	50,0

Результаты

В период исследования 2017-2018 гг. активность пероксидазы в почках исследуемых генотипов в начале холодного сезона варьировала в пределах от 1,18 до 2,66 усл.ед./г·с (рис. 1). Максимальная активность в почках выявлена у вида *F. virgata*, минимальная – у сорта Опылитель Никитский.

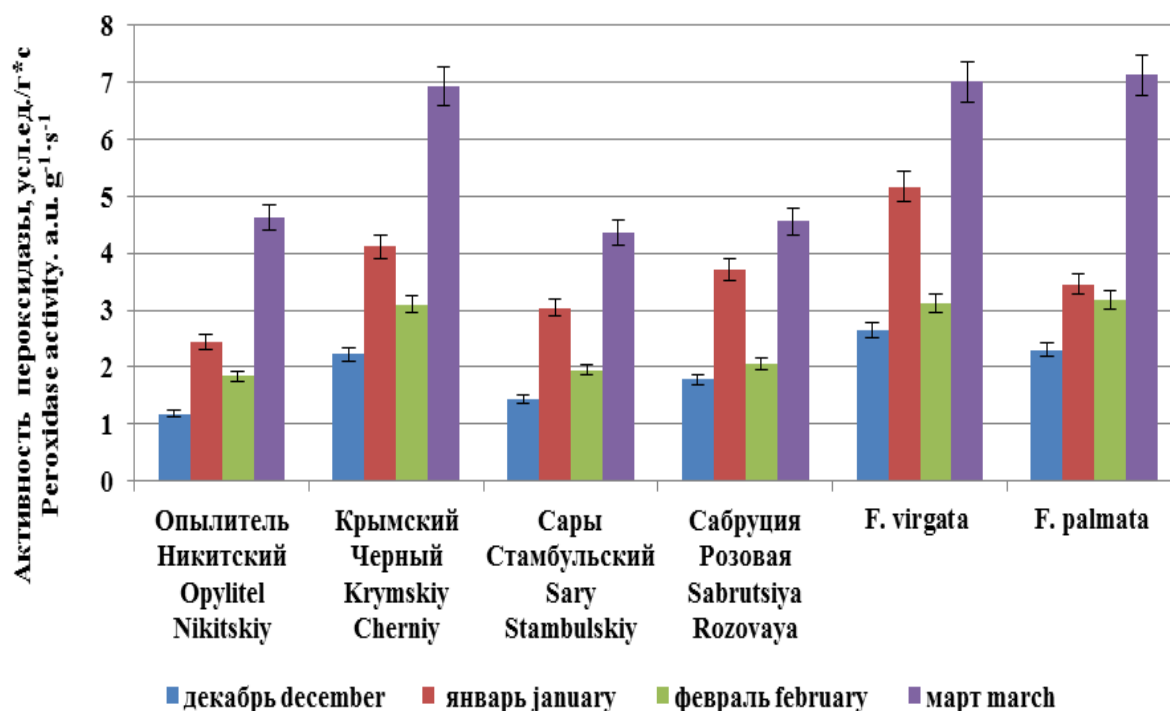


Рис. 1. Активность пероксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2017 г. по март 2018 г.
Fig. 1. Peroxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2017 to March 2018

В зимние месяцы пероксидазная активность у всех генотипов, не зависимо от видовой принадлежности, изменялась волнообразно, достигая максимума в марте. Активность данного фермента в почках резистентных и неустойчивых генотипов за исследуемый период имела сходства и различия. Так, пероксидазная активность в почках изучаемых генотипов, не зависимо от степени их морозостойкости, повышалась в январе, при понижении температуры, затем снижалась в феврале и снова повышалась в марте. При этом, пероксидазная активность в почках резистентных генотипов в ответ на значительное понижение температуры в январе повышалась более интенсивно: на 107-111%, тогда как у неустойчивых генотипов – на 50-94%. В марте активность пероксидазы в почках повышалась более существенно – в 2,2-2,5 раза. Неустойчивые генотипы выделялись более высоким уровнем пероксидазной активности на протяжении всего периода исследования, за исключением вида *F. palmata* в январе.

В период исследования 2018-2019 гг. пероксидазная активность в почках исследуемых генотипов в начале холодного сезона была выше и варьировала в более широком диапазоне: от 3,03 до 7,95 усл.ед./г·с, по сравнению с предыдущим годом, что, вероятно связано с менее благоприятными погодными условиями: низкой температурой и повышенным количеством осадков (рис. 2). Максимальная активность зафиксирована в почках сорта Крымский Черный, минимальная – у сорта Сабруция Розовая. Активность фермента в почках изучаемых генотипов в этом году изменялась видоспецифично. У всех сортов *F. carica* увеличивалась с декабря по февраль, достигая максимальных значений, а затем снижалась. При этом в почках резистентных сортов и относительно устойчивого сорта Сары Стамбульский пероксидазная активность повышалась более значительно, особенно в январе. Так, в январе активность пероксидазы в почках сорта Крымский Черный повысилась на 12,1%, в феврале – на 19,3%, а в почках остальных сортов инжира – на 21,1-26,1% в январе и на 24,8-26,8% в феврале.

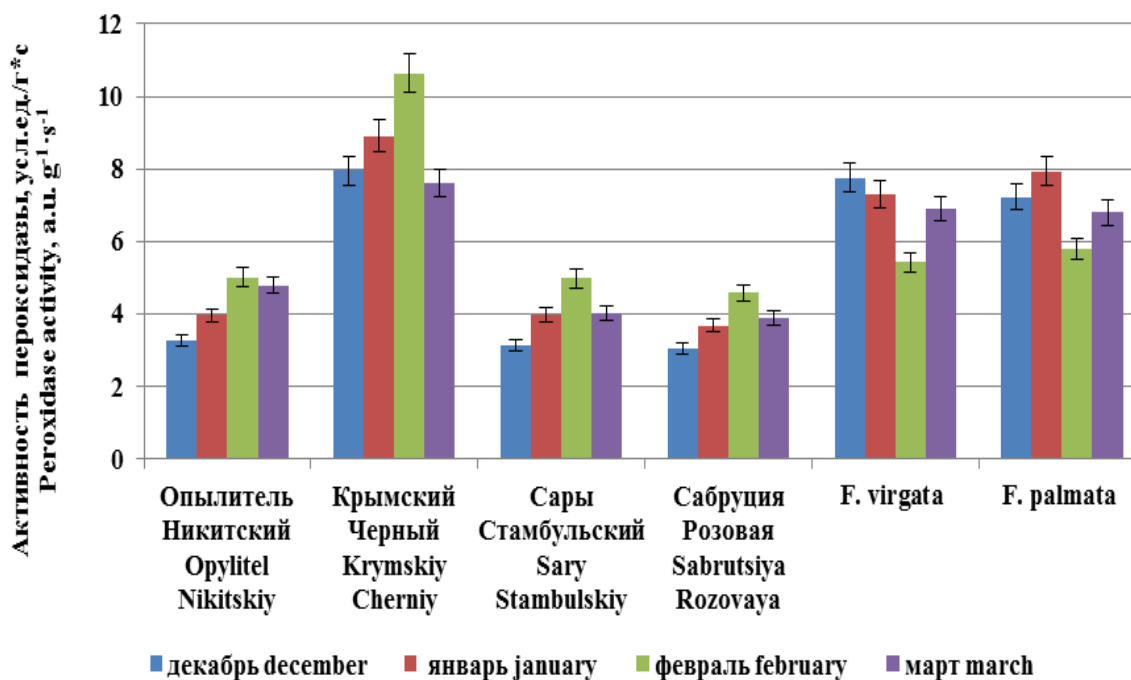


Рис. 2. Активность пероксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018 г. по март 2019 г.
Fig. 2. Peroxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2018 to March 2019

У вида *F. virgata* активность пероксидазы в почках снижалась с декабря по февраль, повышаясь в марте. В почках вида *F. palmata* пероксидазная активность изменялась волнообразно, достигая максимального значения в январе, а минимального – в феврале. С декабря по март неустойчивые к морозу генотипы выделялись более высокой пероксидазной активностью. В период исследования 2019-2020 гг. активность пероксидазы в почках исследуемых генотипов в начале холодного сезона составляла от 1,23 до 3,26 усл.ед./г·с (рис. 3). Максимальная активность пероксидазы в почках выявлена у вида *F. virgata*, минимальная – у сорта Сабруция Розовая. Активность фермента в почках всех генотипов повышалась с декабря по февраль и снижалась в марте. Пероксидазная активность в январе увеличилась на 33,1-39,8%, в большей степени в почках резистентных генотипов. В феврале активность пероксидазы повысилась более существенно: на 61,8-85,1% у неустойчивых генотипов, на 90,0% у лабильного сорта Сары Стамбульский и в 2,5-2,6 раз у резистентных сортов, что, вероятно, связано со значительным понижением температуры. С декабря по март неустойчивые к морозу генотипы выделялись более высокой пероксидазной активностью.

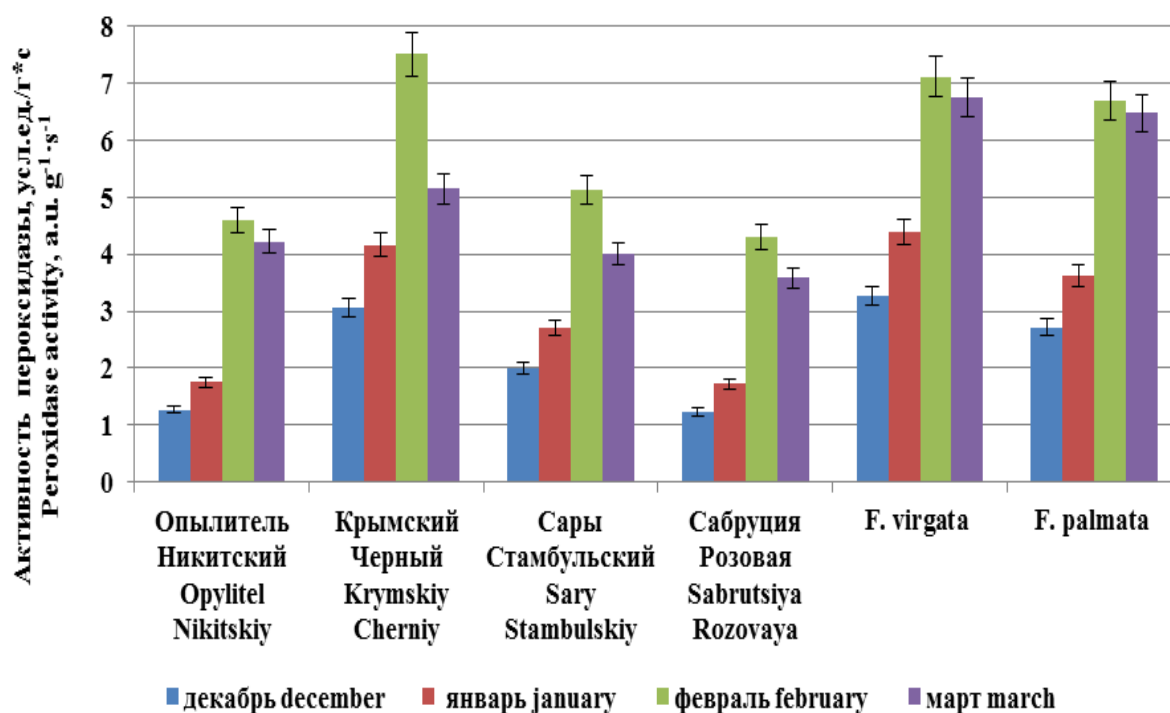


Рис. 3. Активность пероксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2019 г. по март 2020 г.
Fig. 3. Peroxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2019 to March 2020

Таким образом, динамика пероксидазной активности в разные годы исследований различалась, что демонстрирует зависимость данного показателя от погодных условий. Так, активность пероксидазы в почках изучаемых генотипов повышалась в ответ на значительное понижение температуры, причем у устойчивых генотипов более интенсивно, что свидетельствует о быстрой активации фермента в ответ на неблагоприятные погодные условия. Полученные результаты согласуются с выводами исследователей, что устойчивость растений к стрессу определяется способностью быстро реагировать на экстремальные условия (Suzuki, Mittler, 2006). При этом, независимо от года исследования, на протяжении всего холодного периода, резистентные генотипы отличались от неустойчивых более низким уровнем активности пероксидазы в почках.

В период исследования 2017-2018 гг. в начале холодного сезона активность каталазы в почках исследуемых генотипов колебалась в пределах от 2,7 до 11,8 г O_2 /г·мин (рис. 4). Максимальная активность каталазы выявлена в почках вида *F. palmata*, минимальная – у сорта Опылитель Никитский. Каталазная активность в почках всех изучаемых генотипов увеличивалась с декабря по март. В январе каталазная активность повышалась более интенсивно в почках неустойчивых генотипов: на 57,6-80,8%, а в резистентных – на 40,7-42,6%. В феврале наблюдалась обратная тенденция активизации фермента: в почках устойчивых генотипов активность повышалась на 47,4-62,7%, у неустойчивых – на 22,3-25,8%. В марте уровень повышения активности фермента в почках был максимальным, варьируя от 58,0% у вида *F. virgata* до 169,6% у сорта Опылитель Никитский и не зависел от морозоустойчивости. В почках неустойчивых генотипов активность фермента была выше на протяжении всего холодного периода, за исключением сорта Крымский Черный в феврале.

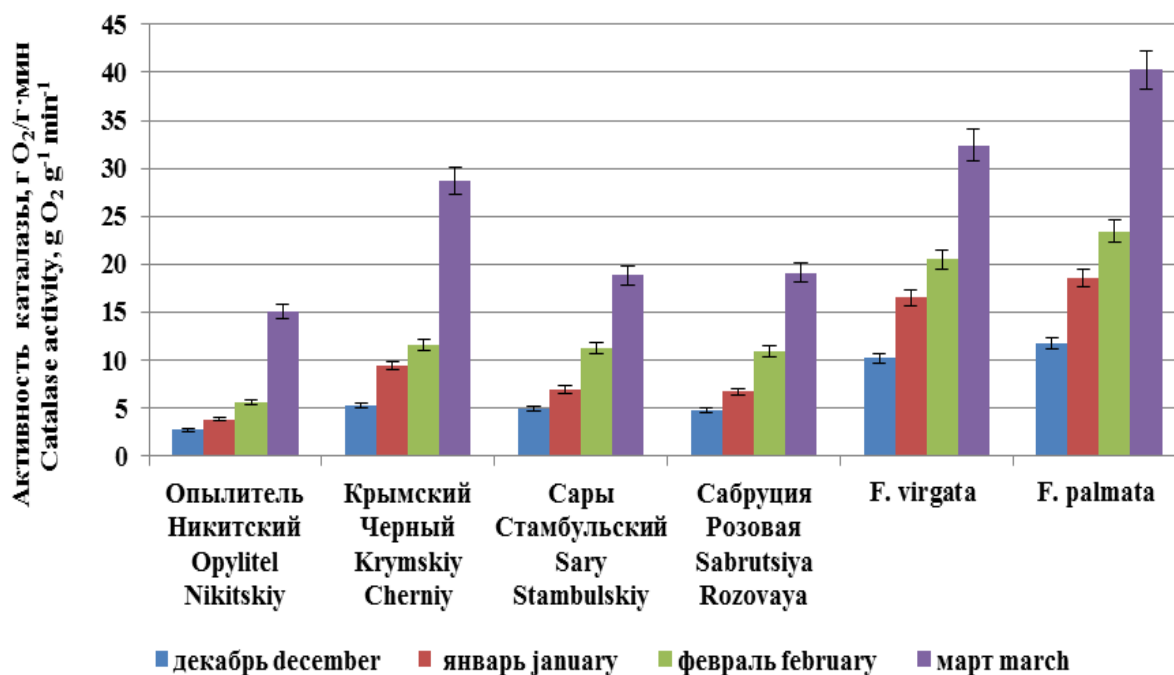


Рис. 4. Активность каталазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2017 г. по март 2018 г.
Fig. 4. Catalase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2017 to March 2018

В период исследования 2018-2019 гг. в начале холодного сезона активность каталазы в почках исследуемых генотипов варьировала в более узком диапазоне от 4,2 до 10,9 г O_2 /г·мин, что связано с высоким уровнем осадков в декабре, оказывающим влияние на показатели водного режима и физиологическое состояние растений (рис. 5). Максимальная активность каталазы выявлена для вида *F. palmata*, минимальная – для сорта Опылитель Никитский. Активность каталазы в почках изучаемых генотипов, за исключением сорта Крымский Черный, снижалась с декабря по январь, а затем увеличивалась до марта. Снижение активности фермента в январе происходило интенсивнее у неустойчивых видов. В феврале и марте уровень изменения активности каталазы не зависел от устойчивости генотипа к морозу. С декабря по март неустойчивые к морозу генотипы выделялись более высокой каталазной активностью в почках.

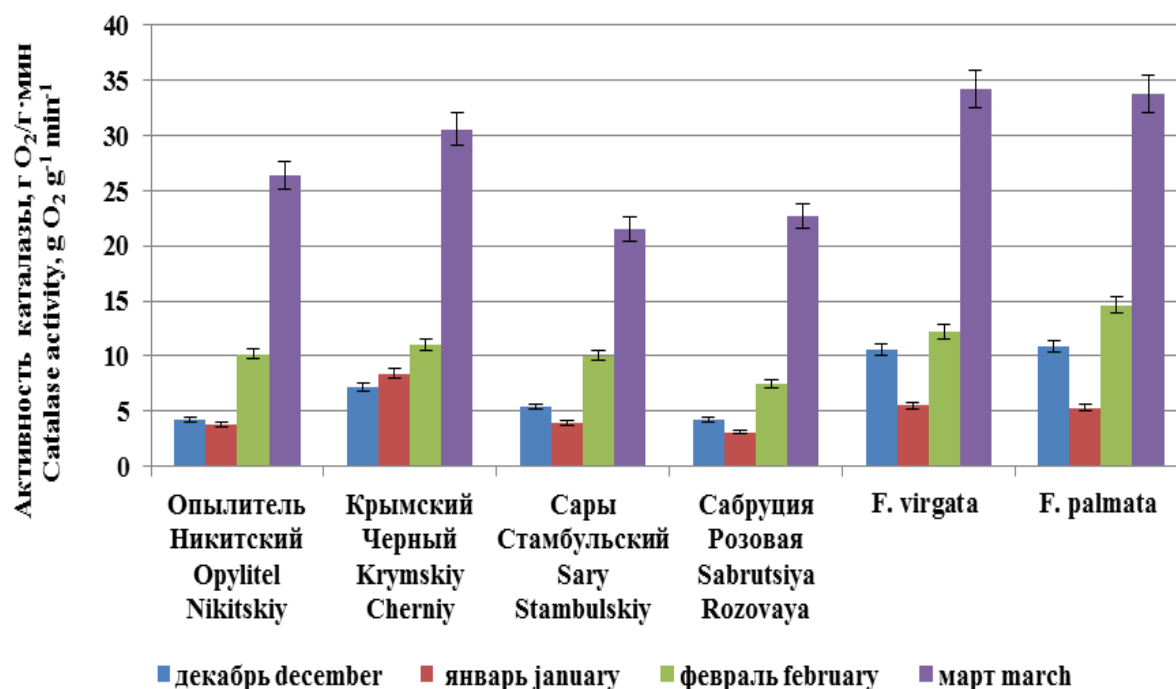


Рис. 5. Активность каталазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018 г. по март 2019 г.
Fig. 5. Catalase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2018 to March 2019

В период исследования 2019-2020 гг. в начале холодного сезона активность каталазы в почках исследуемых генотипов варьировала в диапазоне от 2,7 до 10,2 г O_2 /г·мин (рис. 6). Максимальная активность каталазы в почках выявлена у вида *F. palmata*, минимальная – у сорта Опылитель Никитский. Активность каталазы в почках изучаемых генотипов увеличивалась на протяжении всего периода исследований. С декабря по январь увеличение каталазной активности происходило интенсивнее в почках неустойчивых генотипов: на 73,5-88,5% по сравнению с устойчивыми, в которых активность возрастала на 59,3-63,9%.

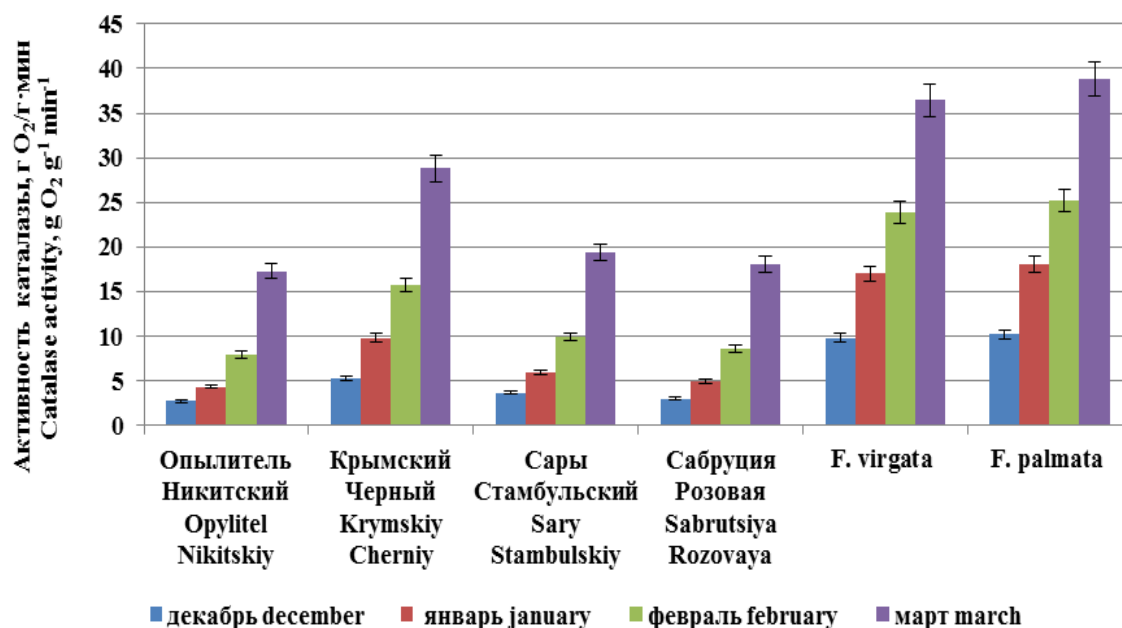


Рис. 6. Активность каталазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2019 г. по март 2020 г.
Fig. 6. Catalase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2019 to March 2020

С января по февраль рост активности каталазы напротив был интенсивнее в почках резистентных генотипов: на 67,8-83,7% по сравнению с неустойчивыми, где активность увеличилась на 39,2-60,2%. С февраля по март каталазная активность увеличивалась значительно в почках неустойчивых генотипов: на 52,7-68,9% по сравнению с устойчивыми, в которых активность возрастала на 31,1-46,3%. На протяжении всего холодного периода неустойчивые к морозу генотипы выделялись более высокой каталазной активностью в почках.

Так, на протяжении трех лет исследований происходил рост каталазной активности в течение всех холодных периодов. Исключение составил сезон 2018-2019 гг., когда ферментная активность достигала минимума в январе, что вероятно, связано с повышенным уровнем осадков, оказывающих влияние на показатели водного режима растений. Полученные данные демонстрируют минимальную зависимость данного показателя от погодных условий. При этом активность данного фермента является видоспецифическим показателем: на протяжении трех лет максимальная активность была зафиксирована в почках вида *F. palmata*, а минимальная – у сорта Опылитель Никитский. На протяжении всех холодных периодов не зависимо от года исследования, неустойчивые генотипы отличались от резистентного более высокого уровня каталазной активности в почках.

В период исследования 2017-2018 гг. полифенолоксидазная активность в почках исследуемых генотипов в декабре варьировала в диапазоне от 0,80 до 1,18 усл.ед./г·с (рис. 7).

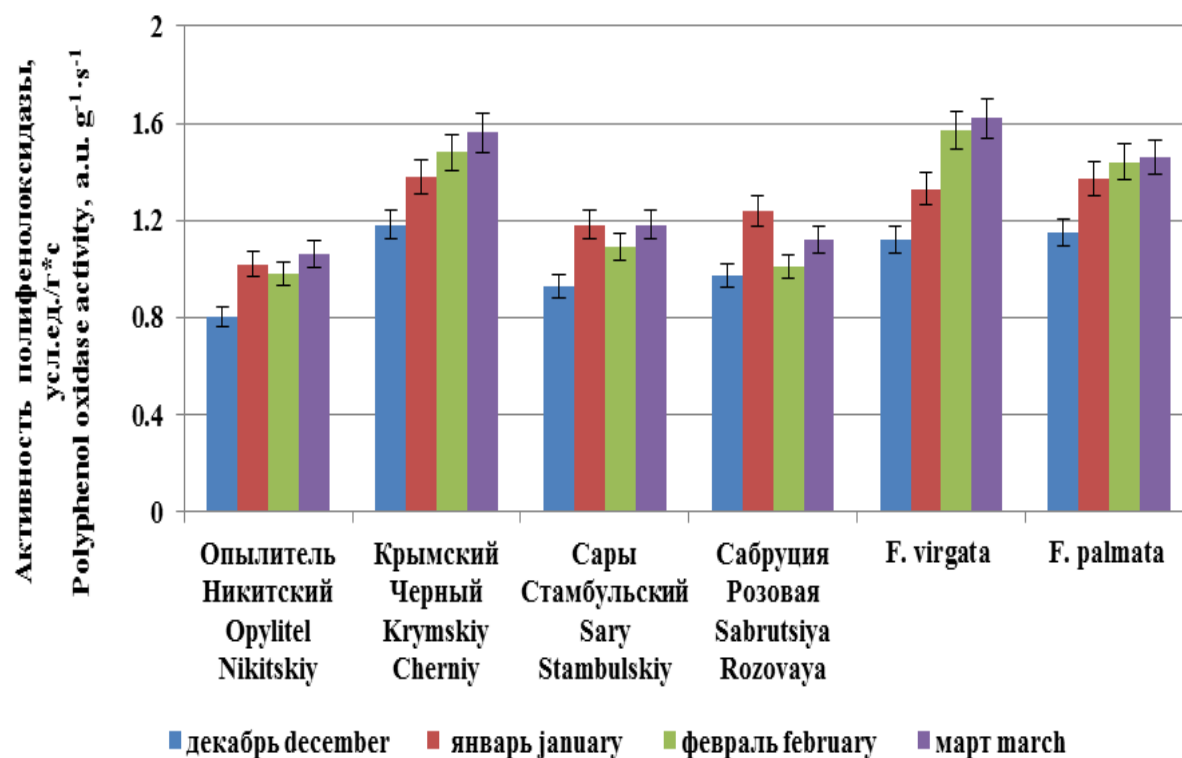


Рис. 7. Активность полифенолоксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2017 г. по март 2018 г.
Fig. 7. Polyphenol oxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2017 to March 2018

Максимальная полифенолоксидазная активность была выявлена в почках сорта Крымский Черный, минимальная – сорта Опылитель Никитский. Активность полифенолоксидазы в почках резистентных сортов инжира, Опылитель Никитский и Сабруция Розовая изменялась волнообразно, достигая максимальных значений в январе

и марте. Аналогичную динамику демонстрировал и относительно устойчивый сорт Сары Стамбульский. У неустойчивых генотипов, сорта Крымский Черный и видов *F. palmata* и *F. virgata* активность полифенолоксидазы в почках увеличивалась с декабря по март. В январе, после первого значительного понижения температуры, полифенолоксидазная активность возросла более интенсивно в почках резистентных генотипов: на 26,9-27,8% по сравнению с неустойчивыми, где активность фермента увеличилась на 16,9-19,1%. В марте активность фермента незначительно повысилась лишь в почках сорта Сабруция Розовая. На протяжении всего периода исследования неустойчивые генотипы отличались более высоким уровнем полифенолоксидазной активности. В период исследования 2018-2019 гг. активность полифенолоксидазы в декабре была выше и колебалась в более широком диапазоне: от 0,96 до 1,50 усл.ед./г·с (рис. 8), что, вероятно, связано с менее благоприятными погодными условиями: низкой температурой и большим количеством осадков. Максимальная полифенолоксидазная активность была зафиксирована в почках сорта Крымский Черный, минимальная – сорта Опылитель Никитский. Активность полифенолоксидазы в почках резистентных сортов инжира, Опылитель Никитский и Сабруция Розовая, практически не изменялась по февраль, увеличиваясь в марте, что связано с относительно стабильной погодой в зимние месяцы и началом вегетации инжира в конце марта. Аналогичную динамику проявлял и относительно устойчивый сорт, Сары Стамбульский, за исключением более значимого снижения полифенолоксидазной активности в почках в январе (на 10,3%). В почках сорта Крымский Черный активность полифенолоксидазы изменялась волнообразно, достигая максимального значения в декабре. В почках видов *F. palmata* и *F. virgata* активность полифенолоксидазы снижалась с декабря по февраль и возрастала в марте. Неустойчивые генотипы отличались более высоким уровнем полифенолоксидазной активности в декабре и марте.

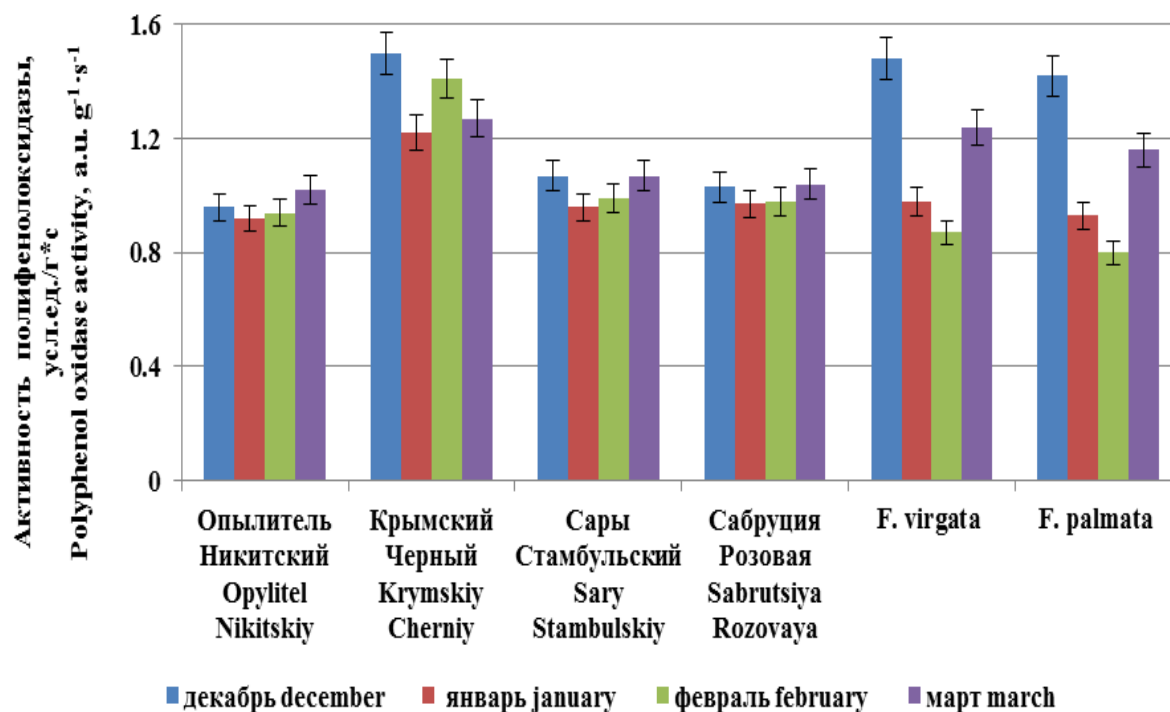


Рис. 8. Активность полифенолоксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018г. по март 2019 г.
Fig. 8. Polyphenol oxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2018 to March 2019

В период исследования 2019-2020 гг. активность полифенолоксидазы в декабре 2019 года находилась на уровне декабря 2017 г, колебаясь в пределах от 0,82 до 1,27

усл.ед./г·с (рис. 9). Максимальной полифенолоксидазной активностью отличались почки вида *F. palmata*, минимальной – сорта Опылитель Никитский. Активность полифенолоксидазы в почках всех сортов *F. carica* увеличивалась с декабря по февраль и практически не изменялась до марта. Неустойчивый сорт, Крымский Черный, отличался более интенсивным повышением полифенолоксидазной активности в почках в январе: на 20%, по сравнению с остальными сортами, где активность возрастала на 7,9-8,5%. В феврале, напротив, в почках данного сорта повышение активности полифенолоксидазы было минимальным: на 9,8% по сравнению с 17,6-19,1% у других сортов. У неустойчивых видов, *F. palmata* и *F. virgata*, активность полифенолоксидазы в почках увеличивалась с декабря по январь и затем практически не изменялась. Неустойчивые генотипы отличались более высоким уровнем полифенолоксидазной активности на протяжении всего периода исследования.

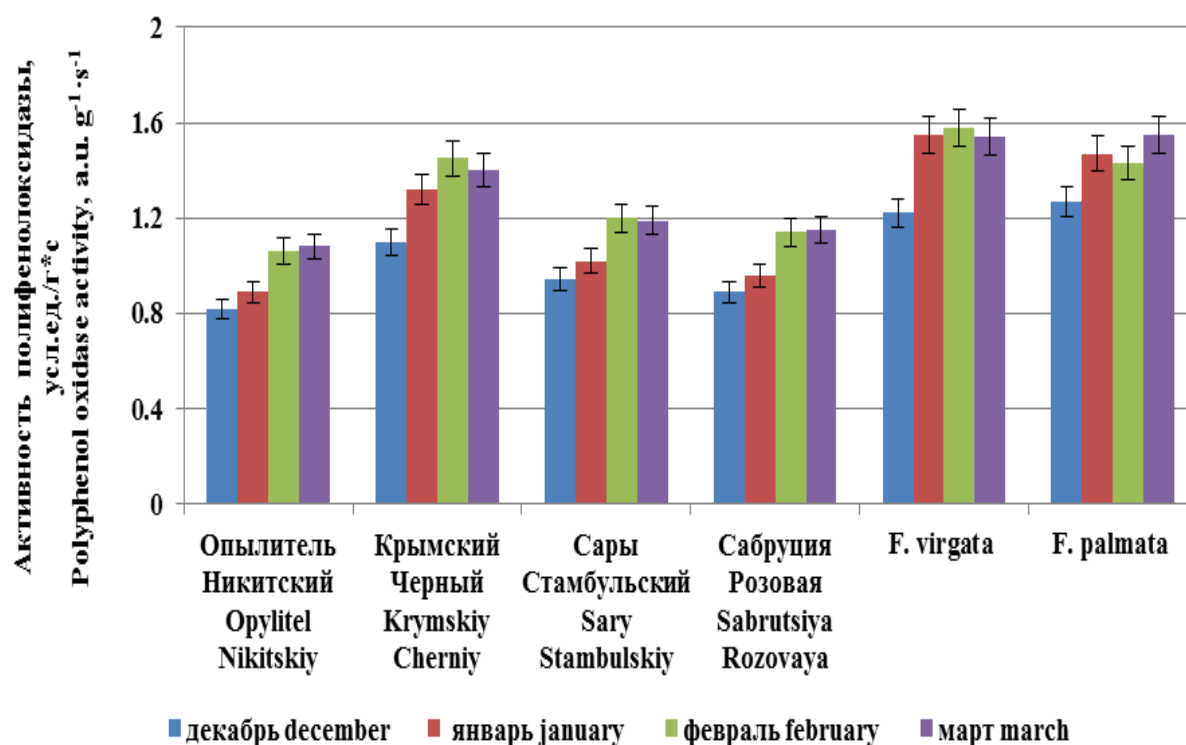


Рис. 9. Активность полифенолоксидазы в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018 г. по март 2019 г.

Fig. 9. Polyphenol oxidase activity in the buds of *Ficus* genotypes from December 2019 to March 2020

Динамика активности полифенолоксидазы в разные периоды исследования имела существенные отличия, что позволяет предположить зависимость данного показателя от погодных условий. В почках резистентных сортов происходило повышение ферментной активности в ответ на понижение температуры. В почках неустойчивых генотипов между изменениями полифенолоксидазной активности и температуры зависимости не прослеживалось, что, вероятно, связано с медленной активацией фермента. При этом, не зависимо от года исследования, на протяжении всего холодного периода резистентные генотипы отличались от неустойчивых, более низким уровнем активности полифенолоксидазы в почках наряду с активацией фермента в ответ на понижение температуры.

Заключение

Исследована динамика изменения активности пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы в почках некоторых видов и сортов рода *Ficus* с различной степенью устойчивости к морозу. Динамика активности пероксидазы и полифенолоксидазы в разные годы исследования имела значительные отличия, что демонстрирует зависимость данного показателя от погодных условий. Выявлены отличия динамики активности данных ферментов в почках между резистентными и неустойчивыми генотипами. Каталазная активность отличалась видоспецифичностью и минимальной зависимостью от погодных условий, повышаясь в течение холодного периода на протяжении трех лет исследований. Предполагается наличие функциональной связи между изменением активности исследуемых ферментов и уровнем морозостойкости изученных генотипов. На протяжении всего холодного периода, не зависимо от года исследования, неустойчивые генотипы отличались от резистентных, более высоким уровнем активности изучаемых ферментов в почках. Значения активности данных ферментов в почках могут использоваться в качестве биохимических маркеров для оценки уровня морозостойкости генотипов листопадных видов рода *Ficus*.

Литература

- Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии. Йошкар-Ола: МарГУ., 2006. 107 с.
[Voskresenskaya O.L., Alyabyшева E.A., Polovnikova, M.G. Big workshop on bioecology. Yoshkar-Ola: MarSU., 2006. 107 p. (in Russian)]
- Гребенникова О.А., Браилко В.А. Потенциальная морозоустойчивость различных видов инжира и активность ферментов // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. Т. 67. С. 160-165.
[Grebennikova O.A., Brailko V.A. Potential frost resistance of different fig species and enzyme activity // Subtropical and ornamental horticulture. 2018. 67: 160-165. (in Russian)]
- Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Агропромиздат, 1987. 430 с.
[Ermakov A.I. Methods of biochemical research in plants. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 430 p. (in Russian)]
- Марчук Н.Ю., Дунаевская Е.В., Шишкина Е.Л. Содержание биологически активных веществ в плодах двух сортов инжира коллекции Никитского ботанического сада // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2017. Вып. 125. С. 97-103.
[Marchuk N.Yu., Dunaevskaya E.V., Shishkina E.L. The content of biologically active substances in the figs of two cultivars in the collection of Nikitsky Botanical Gardens // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. 2017. 125: 97-103. (in Russian)]
- Мирошниченко О.С. Биогенез, физиологическая роль и свойства каталазы // Биополимеры и клетка. 1992. № 8(6). С. 3-25.
[Miroshnichenko O.S. Biogenesis, physiological role and properties of catalase // Biopolymers and Cell. 1992. 8(6): 3-25. (in Russian)]
- Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. Симферополь: ИТ Ариал, 2015. 161 с.
[Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Ilnitsky O.A. Environmental monitoring of the Southern Coast of the Crimea. Simferopol: PH Arial, 2015. 161 p. (in Russian)]
- Чернобай И.Г., Шишкина Е.Л., Литвинова Т.В. Формирование сортимента субтропических культур (*Ficus carica* L., *Zizyphus jujuba* Mill.) для южных регионов

России // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2017. Т 144. С. 243-247.

[Chernobay I.G., Shishkina E.L., Litvinova T.V. Compositing of subtropical crops assortment (*Ficus carica* L., *Zizyphus jujuba* Mill.) for southern regions of Russia // Works of the State Nikit. Botan. Gard. 2017. 144: 243-247. (in Russian)]

Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2002. 244 с.

[Chirkova T.V. Physiological basis of plant resistance. St. Petersburg: St. Petersburg State University Publishing House, 2002. 244 p. (in Russian)]

Aghaei K., Ehsanpour A.A., Komatsu S. Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes // J. Integr Plant Biol. 2009. V. 51. №. 12. P. 1095-1103.

Bowler C., Fluhr B. The role of calcium and activated oxygen as signals for controlling cross-tolerance // Trend plant sci. 2000. № 5. P.241-243.

Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants // Frontiers in Environmental Science. 2014. V. 2. No. 53. P. 1-13.

Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany. 2015. V. 109. P. 212-228.

Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol. Biochem. 2010. V. 48. № 12. P. 909-930.

Li L., Steffens J.C. Overexpression of polyphenol oxidase in transgenic tomato plants results in enhanced bacterial disease resistance // Planta. 2002. V. 215. P. 239-247.

Mayer A.M. Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review // Phytochemistry. 2006. V. 67. P. 2318-2331.

Mika A., Minibayeva F., Beckett R., Lütthje S. Possible functions of extracellular peroxidases in stress-induced generation and detoxification of active oxygen species // Phytochemistry Reviews. 2004. V. 3. P. 173-193.

Miller R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends Plant Sci. 2002. V. 7. P. 405-410.

Passardi F., Cosio C., Penel C., Dunand C. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife // Plant Cell Rep. 2005. V. 24. P. 255-265.

Racchi, M.L. Antioxidant defenses in plants with attention to *Prunus* and *Citrus* spp. // Antioxidants. 2013. N 2. P. 340-369.

Suzuki N, Mittler R. Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction // Physiol. Plant. 2006. V. 126. P. 45-51.

Thipyapong P., Hunt M.D., Steffens J.C. Antisense downregulation of polyphenol oxidase results in enhanced disease susceptibility // Planta. 2004. V. 220. P. 105-117.

Yoshida K., Kaothien P., Matsui T., Kawaoka A., Shinmyo A. Molecular biology and application of plant peroxidase genes // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2003. V. 60. P. 665-670.

Статья поступила в редакцию: 11.10.2023 г.

Grebennikova O.A. Enzyme activity dynamics in the buds of some *Ficus* genus genotypes on the Southern Coast of the Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2023. Vol. 1 (170). P. 13-25

The activity of peroxidase, catalase and polyphenol oxidase in the buds of some *Ficus* genus genotypes with varying degrees of frost resistance from December to March for three years was studied. The activity of peroxidase was determined spectrophotometrically by the rate of benzidine oxidation reaction, polyphenol oxidase – colorimetrically in the presence of pyrocatechol and p-phenylenediamine, catalase – by the titrimetric method.

Analysis of changes in enzyme activity during the cold periods of the three years of the study showed that the activity of peroxidase and polyphenol oxidase depends on the specific weather conditions of the year. Catalase activity revealed species specificity and minimal dependence on weather conditions, increasing during the entire cold period over the course of three years of research. At the same time, the dynamics of the activity of these enzymes in the buds of resistant and unstable genotypes differed. It is assumed that these enzymes are involved in the implementation of protective mechanisms of the studied genotypes of the genus *Ficus* under low-temperature stress. Throughout the entire study period, unstable genotypes differed from resistant genotypes by a higher level of activity of the studied enzymes in the buds. Indicators of the activity of peroxidase, catalase and polyphenoloxidase in the buds can be used as biochemical markers to assess the level of frost resistance of genotypes of deciduous species of the genus *Ficus*.

Key words: *Ficus L.*; enzyme activity; peroxidase; catalase; polyphenol oxidase; frost resistance