

УДК 633.913.21:547.475.2:663.253.34:536.485

DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-78-84

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧКАХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ И СОРТОВ РОДА *FICUS* L. НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Оксана Анатольевна Гребенникова

ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»,  
298648, Республика Крым, г.Ялта, пгт. Никита  
E-mail: oksanagrebennikova@yandex.ru

Представлены результаты динамики накопления аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в почках видов и сортов рода *Ficus* L. с различной степенью морозостойкости, произрастающих в условиях Южного берега Крыма. Установлено, что морозостойкость изученных генотипов рода *Ficus* зависит от степени накопления флавонолов и аскорбиновой кислоты и не зависит от суммарной концентрации фенольных соединений. Предполагается участие аскорбиновой кислоты и фенольных веществ в реализации защитных механизмов изученных генотипов рода *Ficus* при низкотемпературном стрессе.

**Ключевые слова:** *Ficus*; аскорбиновая кислота; фенольные соединения; флавонолы; морозостойкость

### Введение

Род *Ficus* L., относящийся к семейству Moraceae Link, насчитывает более 1000 видов. В Никитском ботаническом саду культивируют виды *F. carica*, *F. virgata* и *F. palmata*. Наиболее востребованной культурой является инжир (*Ficus carica* L.) благодаря регулярному плодоношению, раннему и продолжительному созреванию плодов, обладающих приятным вкусом, высокой калорийностью и диетическими свойствами [5, 12]. Условия Южного берега Крыма, представляющего собой северную границу субтропического климатического пояса, в основном благоприятны для возделывания инжира. Средний минимум температуры воздуха зимой достигает  $-8^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум в районе Никитского сада редко опускается до  $-15^{\circ}\text{C}$ . Однако зимой в Крыму часто наблюдаются оттепели с возвратным похолоданием, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности и урожайности этой культуры [8], поэтому изучение механизмов адаптации видов и сортов рода *Ficus* к пониженным температурам является актуальным.

Известно, что к числу веществ, определяющих биохимические процессы в период воздействия стрессов на растения, относятся аскорбиновая кислота и фенольные соединения. Аскорбиновая кислота принимает непосредственное участие в процессах фотосинтеза, дыхания и роста растений, являясь регулятором клеточного роста и кофактором многих ферментов [15]. Это соединение является признанным антиоксидантом [13, 14]. В литературе представлены данные, показывающие роль аскорбиновой кислоты в защите растительных клеток от окислительных повреждений при стрессовых условиях среды [4, 11]. Важная роль фенольных соединений обусловлена их участием в основных процессах жизнедеятельности растительных клеток, в частности – в регуляции роста и неферментативной защиты растения от окислительной токсичности [3]. Многие исследователи предполагают участие фенольных веществ в реализации

защитных механизмов растения при воздействии экстремальных внешних факторов [2, 10].

Таким образом, целью исследования являлось сравнительное изучение динамики содержания аскорбиновой кислоты и фенольных соединений, в частности флавонолов, в почках некоторых генотипов рода *Ficus* с различной степенью морозостойкости на Южном берегу Крыма.

### Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследований были выбраны 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). У исследуемых генотипов предварительно была определена степень морозостойкости [1]. Наибольшую морозостойкость выявили сорта Опылитель Никитский и Сабруция Розовая. Минимальная криорезистентность характерна для видов *F. virgata* и *F. palmata* и сорта Крымский Черный. Сорт Сары Стамбульский по морозостойкости занимает промежуточное положение.

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

Содержание аскорбиновой кислоты определяли йодометрическим титрованием [9], фенольных соединений – спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу [6], флавонолов – по методике Мурри [7]. Повторность опытов трехкратная. Для статистической обработки, полученных данных использовали программное приложение STATISTICA 6.0.

### Результаты и обсуждение

По данным агрометеостанции «Никитский сад» в декабре 2017 г. погода была теплой, на 3,0°C превышала многолетнюю среднемесячную температуру. Во второй декаде декабря минимальная температура воздуха опускалась до 0,1°C. Осадков выпало на 7% ниже нормы. Январь и февраль характеризовались относительно теплой с обильными осадками погодой. Среднемесячные температуры превышали норму на 1,5°C в январе и на 1,6°C в феврале. До минимальных значений (–3,0°C) температура воздуха опускалась в конце каждого месяца. Погода в марте была неустойчивой, умеренно-теплой и дождливой. Средняя температура воздуха была выше нормы на 1,6°C, сумма осадков составляла 156% от нормы. В первой декаде месяца минимальная температура воздуха опускалась до –3,4°C.

В период исследования 2017-2018 гг. у большинства исследуемых генотипов содержание аскорбиновой кислоты в почках увеличивалось с декабря по март, проходя через максимум в январе, после первого значительного понижения температуры, и снижалось в апреле, перед появлением листьев (табл. 1). Максимальная концентрация аскорбиновой кислоты в почках большинства генотипов отмечалась в марте, который в этом году характеризовался неустойчивой погодой. Отличалась динамика аскорбиновой кислоты в почках самого неустойчивого к отрицательным температурам вида – *F. virgata*: максимальных значений концентрация этого соединения достигала в декабре-январе, а затем изменялась волнообразно. Кроме того, следует отметить, что самый неустойчивый к отрицательным температурам вид, *F. virgata*, во время всего периода исследований выделялся максимальным содержанием аскорбиновой кислоты.

Таблица 1

Содержание аскорбиновой кислоты (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2017 г. по апрель 2018 г.

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стам- бульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	106±3	110±3	116±3	214±6	135±4	149±4
январь	194±6	114±3	168±5	224±7	149±4	170±5
февраль	170±5	159±5	141±4	180±5	157±5	153±4
март	180±5	173±5	162±5	200±6	164±5	182±5
апрель	90±3	107±3	89±3	134±4	105±3	95±3

В декабре 2018 г. наблюдалась погода, обусловленная активной циклонической деятельностью. В среднем за месяц температура воздуха составила 5,6°C, что на 0,1°C выше нормы. Наиболее холодно было в середине третьей декады декабря, когда среднесуточные температуры колебались в пределах 2-4°C, а минимальная температура опускалась до -0,8°C. Осадков за месяц выпало 156% от нормы. Январь характеризовался относительно теплой с осадками погодой. В среднем за месяц температура воздуха превышала норму на 1,8°C. Минимальная температура воздуха опускалась до -1,4°C. Осадков за месяц выпало 150% от нормы. В феврале погода была относительно теплой с осадками. В среднем за месяц температура воздуха превышала норму на 2,1°C. Максимальных значений (13,5°C) температура воздуха достигала в начале месяца, минимальных (-1,6°C) – в конце месяца. Осадков за февраль выпало 68 % от нормы. Погода марта была относительно теплая с сильными ветрами. Средняя температура воздуха составила 6,8°C, что на 3,0°C выше нормы. Осадков выпало 9% от нормы.

В период исследования 2018-2019 гг. у сортов вида *F. carica* содержание в почках аскорбиновой кислоты уменьшалось с декабря по январь, затем увеличивалось с января по март и снижалось в апреле (перед распусканием) (табл. 2). Отличительная особенность динамики вида *F. palmata* заключалась в увеличении концентрации аскорбиновой кислоты в почках, начиная с декабря месяца. Специфическая динамика аскорбиновой кислоты наблюдалась в почках самого неустойчивого к отрицательным температурам вида – *F. virgata*. В почках этого вида содержание аскорбиновой кислоты значительно снижалось с декабря по январь, а затем возрастало до самого появления листьев.

Таким образом, для большинства генотипов динамика аскорбиновой кислоты в разные годы исследований имела сходную тенденцию: увеличивалась до марта, когда фиксировался максимум ее содержания, и снижалась в апреле. Отличия заключались в снижении концентрации этого соединения с декабря по январь 2018-2019 гг., тогда как в предыдущем году наблюдалась обратная тенденция. Кроме того, в январе и феврале 2019 г. содержание аскорбиновой кислоты в почках инжира было ниже, а в марте 2019 г. – выше по сравнению с этими же месяцами 2018 г. Отличия в динамике аскорбиновой кислоты в разные годы вполне сопоставимы с особенностями погодных условий данных лет: с декабря 2017 г. по январь 2018 г. температура понижалась на фоне увеличения количества осадков, что способствовало увеличению синтеза аскорбиновой кислоты, а в следующем году наблюдалась обратная тенденция. Январь, февраль и март 2019 г. были теплее, чем в 2018 году, а в марте практически не было осадков, что привело к снижению синтеза аскорбиновой кислоты в зимние месяцы и его резкому увеличению в марте 2019 г. на фоне засухи.

Таблица 2

**Содержание аскорбиновой кислоты (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018 г. по апрель 2019 г.**

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стамбульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	95±3	112±3	129±4	176±5	138±4	110±3
январь	66±2	79±2	92±3	82±2	86±3	119±4
февраль	69±2	92±3	103±3	91±3	127±4	140±4
март	176±5	240±7	225±7	242±7	224±6	183±5
апрель	89±3	112±3	151±4	248±7	125±4	137±4

В период исследования 2017-2018 гг. у сортов вида *F. carica* содержание фенольных соединений в почках изменялось волнообразно (табл. 3). У устойчивых, Сабруция Розовая, Опылитель Никитский, и относительно устойчивого, Сары Стамбульский, к понижению температуры сортов концентрация фенольных веществ увеличивалась в январе, после первого значительного понижения температуры, и в марте (после заморозков), достигая максимальных значений. Уменьшение содержания этих веществ происходило в феврале и в апреле (перед распусканием). У неморозостойкого сорта, Крымский черный, содержание в почках фенольных соединений с декабря по февраль изменялось в противоположном направлении. У неустойчивых видов, *F. virgata* и *F. palmata*, происходило накопление данного соединения в почках с декабря по март, снижаясь только в апреле.

Таблица 3

**Содержание фенольных соединений (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2017 г. по апрель 2018 г.**

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стамбульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	202±6	381±11	427±12	431±12	521±16	214±6
январь	214±6	350±10	451±13	501±14	618±18	235±7
февраль	183±6	412±12	416±12	598±17	563±16	249±7
март	509±14	719±21	808±23	761±23	769±22	443±12
апрель	249±7	311±9	528±16	342±10	382±11	373±11

В период исследования 2018-2019 гг. содержание фенольных соединений в почках изучаемых генотипов изменялось разнонаправленно и практически не зависело от степени морозостойкости (табл. 4). Тем не менее, у устойчивых и относительно морозоустойчивого сортов вида *F. carica* концентрация фенольных веществ с декабря по январь понизилась, тогда как у неустойчивых видов, *F. virgata* и *F. palmata*, и неустойчивого сорта, Крымский черный, – изменилась в противоположном направлении. Максимальное содержание фенольных соединений у резистентных сортов и вида *F. virgata* было зафиксировано в марте, у сорта Крымский черный – в январе, у вида *F. palmata* – в апреле.

Таблица 4

**Содержание фенольных соединений (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus* с декабря 2018 г. по апрель 2019 г.**

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стамбульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	225±7	404±12	510±15	521±16	517±15	264±8
январь	210±6	427±13	482±14	575±17	497±14	311±9
февраль	272±8	396±12	528±15	583±17	357±11	249±7
март	280±8	373±11	622±18	606±18	591±18	497±15
апрель	272±8	385±12	427±13	451±13	427±13	575±17

Для большинства генотипов динамика фенольных веществ в разные годы исследований не совпадала, что показывает существенную зависимость этого показателя от конкретных погодных условий года.

В период исследования 2017-2018 гг. концентрация флавонолов в почках инжира резистентных сортов вида *F. carica* ежемесячно увеличивалась, достигая максимального содержания в апреле – во время распускания почек (табл. 5). В почках неустойчивых видов, *F. virgata* и *F. palmata*, и неустойчивого сорта, Крымский Черный, содержание флавонолов увеличивалось, проходя через минимум в марте, который в этом году отличался неустойчивой и дождливой погодой. В динамике содержания флавонолов выявлены значительные различия между генотипами инжира с разной степенью устойчивости. Так, при первом значительном понижении температуры (в январе) концентрация флавонолов увеличилась в 2,0-4,6 раз у неустойчивых генотипов и всего на 10,4-34,5% у относительно морозостойких сортов. В течение всего периода вегетации почек инжира концентрация флавонолов наиболее существенно увеличивалась у генотипов с низкой морозостойкостью: в 6,7-22,9 раз, тогда как у резистентных сортов – в 2,0-3,4 раза. В декабре содержание флавонолов было значительно выше у устойчивых сортов, за исключением сорта Опылитель Никитский (каприфига), тогда как в апреле эти различия нивелировались.

Таблица 5

Содержание флавонолов (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus*  
с декабря 2017 г. по апрель 2018 г.

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стам- бульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	29±1	6,5±0,2	55±2	23±1	68±2	7,8±0,2
январь	39±1	30±1	73±2	47±1	75±2	36±1
февраль	44±1	42±1	91±3	69±2	88±3	49±1
март	57±2	36±1	113±3	48±1	100±3	39±1
апрель	100±3	149±4	165±5	153±5	138±4	172±5

В период исследования 2018-2019 гг. содержание флавонолов в почках относительно морозостойких сортов вида *F. carica* увеличивалось с декабря по апрель (табл. 6). У неморозостойких видов, *F. virgata* и *F. palmata*, и неморозостойкого сорта, Крымский Черный, концентрация флавонолов в почках увеличивалась с декабря по апрель, проходя через минимум в феврале. В течение всего периода исследования 2018-2019 гг. содержание флавонолов было выше, чем в аналогичный период 2017-2018 гг. Это связано с погодой в декабре, который в этом году был значительно холоднее, чем в предыдущем, что способствовало максимальному накоплению флавонолов в почках инжира. Январь отличался относительно теплой погодой, что не вызвало значительного увеличения концентрации флавонолов. Тем не менее, содержание флавонолов в январе увеличилось на 13,6-20,5% у морозостойких сортов и на 66-130% у неустойчивых генотипов. Несмотря на отличающиеся погодные условия периода исследования 2018-2019 гг. от предыдущего, более теплые февраль и март, в течение вегетации почек инжира концентрация флавонолов интенсивнее увеличивалась у генотипов с низкой устойчивостью: в 3,8-3,9 раз, в отличие от морозостойких сортов, у которых содержание данных соединений увеличилось в 1,9-3,1 раза.

Таблица 6

Содержание флавонолов (мг/100 г) в почках генотипов рода *Ficus*  
с декабря 2018 г. по апрель 2019 г.

Генотип	Опылитель Никитский	Крымский Черный	Сары Стам- бульский	<i>F. virgata</i>	Сабруция Розовая	<i>F. palmata</i>
декабрь	39±1	47±1	81±2	42±1	88±3	49±1
январь	47±1	78±2	97±3	97±3	100±3	94±3
февраль	68±2	70±2	123±4	73±2	107±3	64±2
март	94±3	114±3	148±4	114±3	125±4	140±4
апрель	120±4	185±5	187±6	160±5	166±5	192±6

Таким образом, для изучаемых генотипов инжира динамика концентрации флавонолов в разные годы исследований имела сходную тенденцию: увеличивалась с декабря по апрель, причем наиболее существенно у генотипов с низкой морозостойкостью. При оценке динамики содержания флавонолов в разные годы были выявлены существенные различия между морозостойкими и неустойчивыми к отрицательным температурам генотипами листопадных видов рода *Ficus*.

### Выводы

Исследована динамика накопления аскорбиновой кислоты и фенольных соединений, в частности флавонолов, в почках некоторых видов и сортов рода *Ficus* с различной степенью устойчивости к морозу. Установлена зависимость между изменением содержания флавонолов, концентрацией аскорбиновой кислоты и степенью морозостойкости изученных генотипов инжира. Не выявлено четкой зависимости между изменением суммарного содержания фенольных соединений и степенью морозостойкости.

### Список литературы

1. Гребенникова О.А., Браилко В.А. Потенциальная морозоустойчивость различных видов инжира и активность ферментов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2018. – Т. 67. – С. 160-165.
2. Губанова Т.Б. Особенности накопления некоторых биологически активных веществ у стеблевых и листовых суккулентов с контрастной степенью морозостойкости // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2015. – № 115. – С. 61-65.
3. Запроматов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
4. Ковалёва О.Н. Экофизиологическое влияние на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в сухих семенах ярового ячменя // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 70(06). – [Электронный ресурс] – <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/14.pdf>
5. 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.
6. Методы теххимического контроля в виноделии / под ред. Гержиковой В.Г. – Симферополь: Таврида, 2002. – 259 с.
7. Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе и их практическое использование. – Новосибирск: Наука, 1978. – 270 с.

8. Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. – Симферополь: ИТ Ариал, 2015. – 161 с.
9. Рухтер А.А. Использование в селекции взаимосвязей биохимических признаков // Труды Гос. Никитск. ботан. сада. – 1999. – Т. 108. – С. 121-129.
10. Симагина Н.О., Лысякова Н.Ю. Влияние эдафических факторов на проявление аллелопатического эффекта галофитов // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского Серия «Биология, химия». – 2009. – Том 22(61). – № 3. – С. 140-147.
11. Хайрулина Т.П., Тихончук П.В., Семенова Е.А. Антиоксидантная система защиты в листьях *G.max* и *G.soja* при водном стрессе // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 12(74). – С. 30-33.
12. 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.
13. Arora A., Sairam R. K., Srivastava G. C. Oxidative stress and antioxidative system in plants // Current Science. – 2002. – Vol. 82. – P. 1227-1238.
14. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol. Biochem. – 2010. – Vol. 48. – P. 909-930.
15. Smirnoff N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multifaceted molecule // Curr. Opin. Plant Biol. – 2000. – Vol. 3. – P. 229-235.

*Статья поступила в редакцию 10.01.2021 г.*

**Grebennikova O.A. Dynamics of ascorbic acid and phenolic compounds content in the buds of genus *Ficus* some species and cultivars on the Southern Coast of the Crimea** // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2021. – № 138. – P. 78-84

The results of ascorbic acid and phenolic compounds accumulation dynamics in the buds of the genus *Ficus* species and cultivars with different degree of frost resistance, growing under the conditions of the Southern Coast of the Crimea, are presented. It was found that the frost resistance of the genus *Ficus* studied genotypes depends on the degree of flavonols and ascorbic acid accumulation and does not depend on the total concentration of phenolic compounds. The participation of ascorbic acid and phenolic substances in the implementation of defense mechanisms of the genus *Ficus* studied genotypes under low-temperature stress is assumed.

**Key words:** *Ficus* L.; ascorbic acid; phenolic compounds; flavonols; frost resistance