

Физиолого-биохимические особенности сортов инжира (*Ficus carica* L.) коллекции Никитского ботанического сада

Е. Л. Шишкина¹, Е. В. Дунаевская², Р. А. Пилькевич², Н. Ю. Марчук²

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

² Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, Ялта, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Викторовна Дунаевская, agroecology2019@mail.ru

Актуальность. Выявление перспективных сортов *Ficus carica* L. с высоким содержанием БАВ в плодах и повышенной адаптивностью к дефициту влаги актуально для селекции и практического плодоводства в засушливых регионах.

Методы. Оценку засухоустойчивости и химический анализ инжира проводили по общепринятым методикам. Содержание эссенциальных элементов после сухого озоления определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант 2МТ».

Результаты. Плоды сорта 'Муасон' выделяются наибольшим содержанием сухого вещества ($26,60 \pm 1,30\%$), суммы фенольных соединений ($169,0 \pm 26,0$ мг%), сахаров (моно – $15,03 \pm 1,25\%$; сумма – $17,46 \pm 0,56\%$), водорастворимого пектина ($1,17\%$), суммы пектиновых веществ ($1,99\%$) и К (13565 ± 805 мг/кг); плоды 'Поморийского' – максимальным содержанием Са (532 ± 65 мг/кг), Mg (982 ± 121 мг/кг), Mn ($1,98 \pm 0,18$ мг/кг); 'Сабруция Розовой' – содержанием аскорбиновой кислоты ($17,32 \pm 0,78$ мг%), Fe ($15,4 \pm 2,0$ мг/кг), Zn ($10,7 \pm 1,4$ мг/кг) и Cu ($1,44 \pm 0,13$ мг/кг). Сорт 'Сабруция Розовая' обладает высокой устойчивостью к засухе, 'Поморийский' – средней степенью стойкости, 'Муасон' демонстрирует низкие показатели водного режима. Потеря листьями 15–20% влаги является критической, превышающее эту границу обезвоживание приводит к невозможности восстановления удовлетворительного тургора.

Заключение. Плоды изученных сортов инжира относятся к группе продуктов с высоким содержанием К и Mg, и удовлетворительным содержанием Fe, Zn и Mn. Выделен потенциально адаптивный, устойчивый к гидротермическому стрессу сорт 'Сабруция Розовая', обладающий повышенными водоудерживающими силами и высокой репарационной способностью тканей листьев, который рекомендуется для использования в селекционной работе на засухоустойчивость и создания промышленных насаждений в засушливых регионах.

Ключевые слова: сорт, водный режим, засухоустойчивость, сахара, пектиновые вещества, фенольные соединения, макро- и микроэлементы

Благодарности: работа выполнена по Программе № 14-50-00079, поддержанной Российским научным фондом: «Сохранение и изучение растительного генофонда Никитского ботанического сада и разработка способов получения высокопродуктивных сортов и форм садовых культур для юга России методами классической и молекулярной селекции, биотехнологии и биоинженерии»; направление: «Генофонд плодовых культур». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шишкина Е.Л., Дунаевская Е.В., Пилькевич Р.А., Марчук Н.Ю. Физиолого-биохимические особенности сортов инжира (*Ficus carica* L.) коллекции Никитского ботанического сада. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):97-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Physiological and biochemical features of fig cultivars (*Ficus carica* L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens

Elena L. Shishkina¹, Elena V. Dunaevskaya², Ruslana A. Pilkevich², Nadezhda Yu. Marchuk²¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia² Nikita Botanical Gardens – National Research Center, Yalta, Russia**Corresponding author:** Elena V. Dunaevskaya, agroecology2019@mail.ru

Background. Identification of promising fig cultivars (*Ficus carica* L.) with high content of bioactive compounds in fruits and increased adaptability to moisture deficiency is important for breeding and fruit growing in arid regions.

Methods. The chemical analysis of fruits was performed using conventional methods. The content of essential elements was measured on a Kvant 2MT atomic absorption spectrophotometer. Drought resistance was assessed using the method of determining the water-holding capacity and resistance to dehydration in the leaves of fruit crops.

Results. Fruits of cv. 'Muason' demonstrated the highest dry matter content ($26.60 \pm 1.30\%$), total phenolic compounds (169.0 ± 26.0 mg%), sugars (mono: $15.03 \pm 1.25\%$, and total: $17.46 \pm 0.56\%$), water-soluble pectin (1.17%), total pectin substances (1.99%), and K (13565 ± 805 mg/kg); fruits of cv. 'Pomoriysky' had the maximum content of Ca (532 ± 65 mg/kg), Mg (982 ± 121 mg/kg), and Mn (1.98 ± 0.182 mg/kg); 'Sabrutsiya Rozovaya' excelled in the content of ascorbic acid (17.32 ± 0.78 mg%), Fe (15.413 ± 1.989 mg/kg), Zn (10.688 ± 1.338 mg/kg), and Cu (1.435 ± 0.132 mg/kg). 'Sabrutsiya Rozovaya' showed high drought resistance, 'Pomoriysky' had a medium degree of resistance, while 'Muason' demonstrated low water regime values. The loss of 15–20% of moisture by the leaves is critical: dehydration exceeding this limit leads to the impossibility of restoring satisfactory turgor.

Conclusion. Fruits of the studied fig cultivars belong to the group of products with high K and Mg content, and satisfactory content of Fe, Zn and Mn. 'Sabrutsiya Rozovaya', a potentially adaptable cultivar with resistance to hydrothermal stress, was identified for its increased water-retaining capacities and high reparative ability of leaf tissues. It is recommended for use in the breeding for drought resistance and for establishment of large-scale plantations in arid regions.

Keywords: cultivar, water regime, drought resistance, sugars, pectin substances, phenolic compounds, macro- and micronutrients

Acknowledgements: the work was carried out under Program No. 14-50-00079 supported by the Russian Science Foundation: "Preservation and study of the plant genetic diversity at the Nikita Botanical Gardens and development of methods for obtaining highly productive cultivars and forms of horticultural crops for the south of Russia by methods of classical and molecular breeding, biotechnology and bioengineering"; Direction: "Genetic diversity of fruit crops".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shishkina E.L., Dunaevskaya E.V., Pilkevich R.A., Marchuk N.Yu. Physiological and biochemical features of fig cultivars (*Ficus carica* L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):97-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Введение

Основным направлением селекции плодовых культур в Никитском саду является создание сортов с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ), с повышенной устойчивостью к засухе и высокой урожайностью (Kharchenko et al., 2021).

БАВ, в том числе витамины, фенольные соединения, пектиновые вещества и эссенциальные макро- и микроэлементы, необходимы для здоровья и долголетия человека (Skalny, Rudakov, 2004; MR 2.3.1.2432-08..., 2009; Khadhraoui et al., 2019).

Одной из плодовых культур, с древнейших времен используемых человечеством, является инжир (*Ficus carica* L.). Плоды инжира в свежем и сушеном виде издавна потребляются в субтропических странах, где считаются основным средством питания наравне с виноградом и маслиной (Trichoroulou et al., 2006; Slavin, 2006). Они отличаются приятным вкусом, высокой калорийностью и диетическими свойствами, являются отличным сырьем для консервной промышленности (Arvaniti et al., 2019). К достоинствам инжира также следует отнести нетребовательность к почвам и уходу (Novitskaya et al., 2019).

В Никитском ботаническом саду уже с первых лет его существования усилиями многих поколений ученых создавалась коллекция *F. carica*, представленная большим разнообразием сортов. Основной ассортимент инжира (180 сортов и форм) интродуцирован в сад в 1929–1937 гг. куратором коллекции Н. К. Арендт (Arendt, 1972a). Лучшие сорта были использованы в селекционной работе по созданию генотипов с повышенной адаптивностью и ценными хозяйственными признаками; к ним относится 'Сабруция Розовая'.

В последние годы на Южном берегу Крыма (ЮБК) в летний период наблюдается существенное снижение количества осадков, увеличение дней с высокими температурами, иссушающими ветрами, проявлением почвенной и воздушной засух. По расчетам С. П. Корсаковой, будущее изменение климата свидетельствует об ожидаемом увеличении на ЮБК числа и повторяемости засух (Korsakova, 2018).

У инжира, как и у других плодовых культур, в период высоких температур воздуха и дефицита влаги (особенно июль – август) наблюдается преждевременное пожелтение и опадение листьев, потеря тургора, уменьшение массы плода, что приводит не только к снижению качества плодовой продукции, но и к значительным потерям урожая. Поэтому с учетом изменяющегося климата и дефицита водных ресурсов при закладке плодовых насаждений нужно руководствоваться не только рентабельностью сорта, вкусовыми качествами плодов, содержанием в них БАВ, но и его засухоустойчивостью. Особенно для практического плодоводства важны исследования по выявлению перспективных генотипов с высокой способностью адаптации к дефициту влаги.

Цель работы – на основе физиолого-биохимических показателей (засухоустойчивости и содержания БАВ в плодах) выявить сорта *F. carica* для успешного возделывания в регионах с засушливым субтропическим климатом и дальнейшего селекционного процесса.

Материалы и методы

Исследования проводили в течение 2015–2018 гг. на базе коллекционных насаждений Никитского ботанического

сада – Национального научного центра. Для физиолого-биохимической оценки были отобраны наиболее распространенные сорта инжира, выделенные по комплексу хозяйственно ценных признаков (Marchuk et al., 2017). В качестве объектов исследований послужили три сорта инжира: 'Поморийский', 'Сабруция Розовая' и 'Муасон' 1989 года посадки. Сорта выделяются хорошим качеством плодов и высокой урожайностью (Shishkina, 2021).

Оценку засухоустойчивости проводили по методике определения водоудерживающей способности и стойкости к обезвоживанию листьев плодовых культур (Lishchuk, 1991). Пробы отбирали в августе, после установления засушливого периода.

В плодах инжира определяли содержание сухих веществ, аскорбиновой кислоты, титруемых кислот, лейкоантоцианов, флавонолов, суммарное содержание фенольных веществ, сахаров и пектиновых веществ, а также семи эссенциальных (жизненно необходимых для человека) элементов: калия (K), кальция (Ca), магния (Mg), железа (Fe), цинка (Zn), меди (Cu) и марганца (Mn).

Для анализа отбирали зрелые плоды инжира второй генерации. Первичное сортоизучение проводили согласно методическим указаниям Н. К. Арендт (Arendt, 1972b). Химический анализ плодов проводили по общепринятым методикам: содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 28562, аскорбиновой кислоты – йодометрическим титрованием, титруемых кислот – по ГОСТ 25555.0, лейкоантоцианов – фотометрическим методом после их окисления в антоцианы, флавонолов – спектрофотометрически с использованием хлористого алюминия в присутствии избытка уксуснокислого натрия. Суммарное содержание фенольных веществ определяли колориметрическим методом с использованием реактива Фолина – Чокальтеу (Pleshkov, 1985; State Standards..., 2002). Содержание моно- и дисахаридов определяли фотометрически в водных вытяжках с использованием реактива Феллинга, содержание пектинов определяли фотометрическим методом с использованием тимола в водных вытяжках гомогената, предварительно отмытого спиртом от моно- и дисахаридов (State Standards..., 2002).

Анализ минерального состава плодов проводили методом сухого озоления (GOST 26929-94..., 1996). В полученном солянокислом растворе на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант 2МТ» (GOST 30178-96..., 1998) определяли содержание семи эссенциальных элементов: в режиме эмиссии – калий, в режиме абсорбции – кальций, магний, железо, марганец, медь и цинк. Полученные данные сравнивали с утвержденными диетологией нормами суточной потребности человека в макро- и микроэлементах, представленными от минимально необходимой (min НСПЧ) до максимально допустимой (max НСПЧ) (Skalny, 2004).

Статистическая обработка данных осуществлена с использованием программ Statistica 6.0 и Microsoft Office Excel.

Сорт 'Поморийский' получен из Болгарии (рис. 1.1). Самоплодный, с двумя урожаями. Деревья сильноорослые, с округлой редкой кроной. Плоды второй генерации крупные, массой 60–70 г, узко-грушевидные, асимметричные, с толстыми шейками на очень коротких ножках. Кожица светло-оливковая с буроватым загаром в верхней части плода. Глазок небольшой, с розовыми чешуями. Плодоложе зеленовато-белое, мякоть темно-карминовая. Созревание с конца августа.

Сорт 'Муасон' (син. 'Grosse Violette de Bordeaux', 'Фиолетовый из Бордо') получен в 1821 г. из Франции (рис. 1.2).

Самоплодный, с двумя урожаями. Деревья сильнорослые, с округлой, расширяющейся книзу кроной. Плоды второй генерации грушевидно-продолговатые, массой 30–40 г. Кожица темно-синяя, плодоложе розовато-кремовое, мякоть вишнево-красная. Плоды универсального назначения. Созревание с первой декады сентября.

Сорт 'Сабруция Розовая' селекции Никитского сада (оригинатор Н. К. Арендт) (рис. 1.3). Самобесплодный, с одним урожаем.

Деревья невысокие, с сильными толстыми ветвями и широкоокруглой, раскидистой кроной. Плоды крупные или очень крупные (масса плода 80–100 г), удлинено-грушевидные, сидячие или с короткими толстыми шейками, на небольших плодоножках. Кожица светло-оливковая, розовая с коричнево-красным налетом. Глазок маленький, закрытый. Плодоложе светло-желтое, мякоть розовая, маслянистая, без полости. Плоды столового назначения. Начало созревания с конца августа.

Результаты и обсуждение

В период исследования полив на участке отсутствовал, и влагообеспеченность растений определялась только атмосферными осадками. Оценка засухоустойчивости была проведена в августе 2015–2018 гг. В предыдущие годы в это же время можно было наблюдать преждевременное пожелтение и опадение листьев. В условиях дефицита влаги на деревьях инжира отсутствует прирост, уменьшается масса плодов, снижается урожайность, часто наблюдается закивание плодов (Chernobay, Shishkina, 2021) (рис. 2).

В августе оводненность листьев изучаемых сортов инжира в зависимости от погодных условий колеблется в пределах 58,3–70,0%, что составляет 80,5–98,5% оптимальной влагоемкости (табл. 1). Показатели реального водного дефицита в листьях в различные годы варьируют от 5,5 до 10,0%.



1

2

3

Рис. 1. Плоды трех сортов инжира коллекции Никитского ботанического сада:

1 – 'Поморийский'; 2 – 'Муасон'; 3 – 'Сабруция Розовая'

Fig. 1. Fruits of three fig cultivars from the collection of the Nikita Botanical Gardens:

1 – 'Pomoriyskiy'; 2 – 'Muason'; 3 – 'Sabrutsiya Rozovaya'



Рис. 2. Состояние растений в августе 2016 г. в условиях дефицита влаги (Никитский ботанический сад; фото Е. Л. Шишкиной)

Fig. 2. The state of plants in August 2016 under moisture deficiency (Nikita Botanical Gardens, photo by E. L. Shishkina)

Таблица 1. Водоудерживающая и репарационная способность листьев инжира в августе 2015–2018 гг.
(Никитский ботанический сад)**Table 1.** Water-retaining ability and reparative capacity of leaves in fig cultivars in August 2015–2018
(Nikita Botanical Gardens)

Сорт / Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Содержание воды в листьях, полное насыщение, % / Full water saturation of leaves, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % / Water loss in the process of withering, %					Листья, восст. тургор, % / Leaves that restored turgor, %
				1 час / 1 hour	2 час / 2 hour	3 час / 3 hour	5 час / 5 hour	7 час / 7 hour	
Август 2015 г. / August 2015									
Муасон / Muason	66,9	68,2	6,7	13,8	26,6	35,5	41,9	*	72
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	67,5	72,3	7,4	8,8	21,9	26,2	33,5	*	97
Поморийский / Pomoriyskiy	68,4	73,0	5,4	11,7	24,6	32,6	39,2	*	85
Август 2016 г. / August 2016									
Муасон / Muason	67,1	68,7	6,9	16,5	31,7	37,0	45,8	*	60
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	70,0	72,0	9,0	14,0	24,1	27,5	34,2	*	90
Поморийский / Ро- moriyskiy	68,8	70,3	7,2	15,3	24,6	30,9	35,6	*	80
Август 2017 г. / August 2017									
Муасон / Muason	58,3	71,7	8,0	19,7	26,9	33,4	45,0	48,5	25
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	58,4	72,6	6,6	12,0	17,7	21,0	27,4	29,6	95
Поморийский / Ро- moriyskiy	61,0	67,6	9,4	15,6	24,2	33,0	41,7	44,2	55
Август 2018 г. / August 2018									
Муасон / Muason	67,8	70,0	9,2	14,1	27,3	36,4	40,4	*	56
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	68,3	69,3	8,8	8,4	12,8	15,5	23,0	31,8	98
Поморийский / Pomoriyskiy	66,7	70,4	10,0	11,8	21,3	33,4	40,9	*	74

* – завядание прекращено

* – withering has stopped

Водоудерживающая способность тканей листьев дает возможность оценить потенциал растений противостоять действию обезвоживающих факторов. Эксперименты с контролируемым завяданием показали, что листья инжира уже в первые часы теряют значительное количество влаги. Установлено, что потеря листьями 15–20% влаги является критической, после чего невозможно восстановление полного тургора тканей листьев.

Наиболее высокими водоудерживающими силами отличался сорт 'Сабруция Розовая'. Ткани его листьев относительно экономно расходовали влагу, предотвра-

щая чрезмерное обезвоживание, благодаря чему после потери 30–35% восстанавливали практически полный тургор (90–98%). Среднюю водоудерживающую способность продемонстрировал сорт 'Поморийский' – после потери не более 40% влаги уровень репарации в большинстве случаев являлся удовлетворительным (75–85%). Сравнительно низкую устойчивость и нестабильность в условиях водного стресса проявил сорт 'Муасон'. Быстрая водоотдача листьями этого сорта в процессе завядания в отдельные годы приводила к утрате до 50% влаги, и в результате необратимых повреждений гибель тканей достигала 75%.

Одним из важнейших направлений селекции инжира является получение сортов с высоким содержанием БАВ, в частности эссенциальных элементов (Dunaevskaya, Shishkina, 2019).

Из трех изученных сортов наибольший процент сухого вещества наблюдался в плодах инжира 'Муасон' (табл. 2.А), что соответствует литературным данным (Al-Nameedawi, 2015) и объясняет давнее использование плодов данного сорта в первую очередь для сушки.

По данным ряда авторов (Solomon et al., 2006; Bachir Bey, Louaileche, 2015), сорта инжира с темной кожицей содержат более высокие уровни полифенолов, антоцианов и флавоноидов по сравнению с разновидностями инжира со светлой кожицей, что обуславливает их повышенную антиоксидантную активность. Плоды сорта 'Муасон' выделяются высоким содержанием лейкоантоцианов и особенно антоцианов, входящих в группу флавоноидов (см. табл. 2.А). Флавоноиды проявляют в организме антиоксидантную, бактерицидную, гипотензивную, противовоспалительную, противораковую, противомолочную, противомикробную и спазмолитическую активность (Minaeva, 1978). Доказано, что регулярное потребление этих соединений приводит к достоверному снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (Mawa et al., 2013).

Рекомендуемые уровни потребления: для взрослых – 250 мг/сут., для детей 7–18 лет – от 150 до 250 мг/сут. (Skurikhin, Tutelyan, 2002; MR 2.3.1.2432-08..., 2009).

Значительно повышает ценность плодов наличие аскорбиновой кислоты, необходимой для нормального функционирования соединительной и костной ткани, также антиоксиданта. Аскорбиновая кислота участвует в окислительно-восстановительных процессах организма, регулирует обмен веществ, в том числе липидный, влияет на состояние крови (Solomon et al., 2006; Mawa et al., 2013). По содержанию аскорбиновой кислоты выделяются плоды 'Сабруция Розовая': на 6,2% больше, чем у сорта 'Муасон', и на 18% – чем у 'Поморийского' (см. табл. 2.А). Уточненная физиологическая потребность в витамине С для взрослых – 90 мг в сутки, для детей – от 30 до 90 мг/сут. (Skurikhin, Tutelyan, 2002; MR 2.3.1.2432-08..., 2009).

По мнению В.Т. Гогия, содержание пектиновых веществ – один из важных показателей качества плодов инжира (Gogiya, 1984). Пектиновые вещества защищают организм человека от радиоактивных и ядовитых веществ, проникающих с пищей и водой; выводят излишнее количество холестерина, играя важную роль в профилактике атеросклероза (Mawa et al., 2013).

Содержание пектиновых веществ в плодах сортов 'Поморийский' и 'Сабруция Розовая' практически одинаковое (табл. 2.В). В инжире 'Муасон' доля водорастворимого пектина выше в 1,23 и 1,26 раза соответственно, а доля суммы пектиновых веществ – в 1,39 и 1,74 раза.

По содержанию сахаров также выделяется сорт 'Муасон' (см. табл. 2.В), однако, учитывая содержание титруемых кислот, в его плодах самый низкий сахарокислотный коэффициент – 43,65. По данному показателю (отношение суммы сахаров к титруемым кислотам) лидирует сорт 'Сабруция Розовая' с крупными сладкими плодами – 89,13.

Учитывая все вышеизложенное, плоды сорта 'Муасон' могут служить высококачественным сырьем для создания продуктов функционального назначения (Starostenko, Belokurova, 2015; Khadhraoui et al., 2019).

По данным А.С. Ивановой, инжир превосходит многие плодовые культуры, выращиваемые в Никитском ботаническом саду, по содержанию минеральных элементов и выделяется высоким содержанием калия (Ivanova, 1982). По нашим данным, содержание калия было от двух максимальных норм суточной потребности человека (max НСПЧ) в плодах сорта 'Сабруция Розовая' и до 4,6 max НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' (рис. 3, а). Следует учитывать, что по данным профессора А.В. Скального, НСПЧ зависит от возраста, пола, физиологического состояния и физической активности человека (Skalny, Rudakov, 2004).

Содержание кальция в исследованных образцах варьирует от 0,4 min НСПЧ (минимальных норм) в плодах сорта 'Муасон' до 1 min НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский' (рис. 3, б). Между накоплением К и Са в плодах исследуемых сортов инжира установлена статистически

Таблица 2.А. Биохимические показатели плодов инжира за 2015–2018 гг. (Никитский ботанический сад)

Table 2.A. Biochemical parameters of fig fruits for 2015–2018 (Nikita Botanical Gardens)

Сорт / Cultivar	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg%	Флавоноиды, мг% / Flavonoids, mg%	Титруемая кислотность, % / Titratable acidity, %	Лейкоантоцианы, мг% / Leucoanthocyanidins, mg%	Антоцианы, мг% / Anthocyanidins, mg%	Сумма фенольных веществ, мг% / Phenolic compounds, mg%
Поморийский / Pomoriyskiy	23,03* ± 1,58**	14,17 ± 0,09	7,35 ± 0,55	0,28 ± 0,05	50,0 ± 5,0	41,5 ± 3,5	126,00 ± 12,0
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	20,52 ± 1,92	17,32 ± 0,78	12,15 ± 0,65	0,16 ± 0,01	62,0 ± 4,0	44,0 ± 0,0	79,00 ± 4,0
Муасон / Muason	26,60 ± 1,30	16,24 ± 0,1	17,9 ± 0,00	0,40 ± 0,06	64,0 ± 8,0	291,5 ± 16,5	169,0 ± 26,0

* – среднее по годам; ** – стандартная ошибка

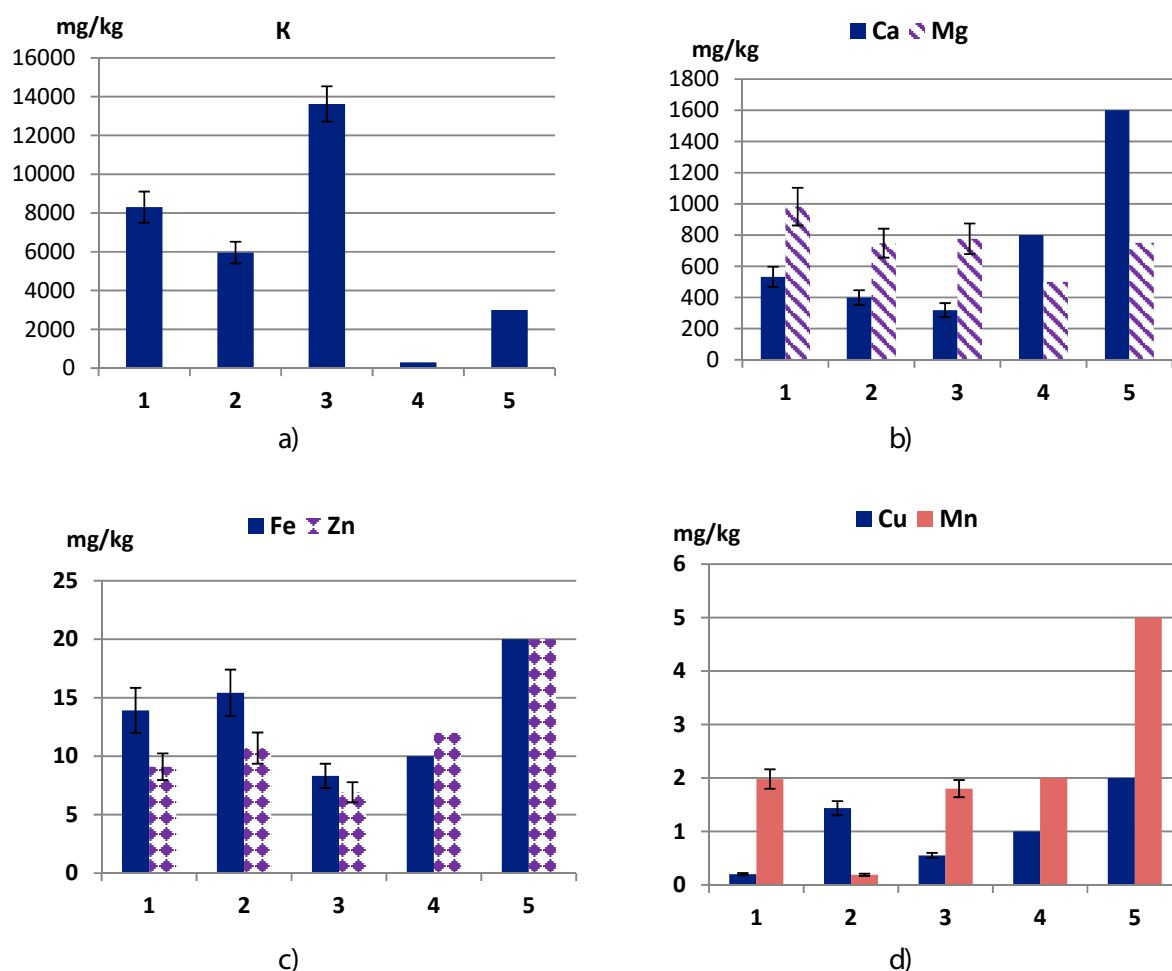
* – mean value by years; ** – standard error

Таблица 2.В. Биохимические показатели плодов инжира за 2015–2018 гг. (Никитский ботанический сад)**Table 2.B. Biochemical parameters of fig fruits for 2015–2018 (Nikita Botanical Gardens)**

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, %		Водораствори- мый пектин, % / Water-soluble pectin, %	Протопектин, % / Protopectin, %	Сумма пектино- вых веществ, % / Total pectins, %
	Моно / Mono-	Сумма / Total			
Поморийский / Pomoriyskiy	14,2* ± 1,98**	15,72 ± 1,16	0,95 ± 0,09	0,46 ± 0,03	1,41 ± 0,06
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	12,44 ± 0,74	14,26 ± 0,48	0,93 ± 0,09	0,50 ± 0,04	1,43 ± 0,07
Муасон / Muason	15,03 ± 1,25	17,46 ± 0,56	1,17 ± 0,11	0,82 ± 0,07	1,99 ± 0,09

* – среднее по годам; ** – стандартная ошибка

* – mean value by years; ** – standard error

**Рис. 3. Содержание эссенциальных элементов (мг/кг) в плодах инжира коллекции Никитского сада:**

1 – сорт 'Поморийский'; 2 – сорт 'Сабруция Розовая'; 3 – сорт 'Муасон'; 4 – min НСПЧ – минимальная норма суточной потребности человека в элементе; 5 – max НСПЧ – максимальная норма; а) содержание калия;

б) содержание кальция и магния; в) содержание железа и цинка; д) содержание меди и марганца

Fig. 3. The content of essential elements (mg/kg) in fig fruits from the collection of the Nikita Botanical Gardens:

1 – cv. 'Pomoriyskiy'; 2 – cv. 'Sabrutsiya Rozovaya'; 3 – cv. 'Muason'; 4 – minimum norm of human daily intake of the element; 5 – maximum norm of human daily intake of the element; a) potassium content; b) calcium and magnesium content;

c) iron and zinc content; d) copper and manganese content

достоверная тесная связь: $r = 0.85$, здесь и далее $n = 24$, $p < 0.05$.

Магния в плодах содержится от 1,5 min НСПЧ ('Сабруция Розовая' и 'Муасон') до 1,4 max НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский'. Статистически значимых взаимосвязей между содержанием в инжире Mg и других катионов исследуемых металлов не обнаружено.

По нормам РФ (Skurikhin, Tutelyan, 2002) плоды исследуемых сортов инжира относятся к группе продуктов с высоким содержанием K и Mg (более 10% суточной потребности в 100 г продукта). Особенно важно потребление продуктов с высоким содержанием калия и магния для поддержания сердечно-сосудистой и нервной систем организма, поскольку в период пандемии COVID-19 усилились стрессовые реакции населения, значительно повысился уровень тревожности и депрессии.

Содержание железа варьирует от 0,8 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' до 1,5 min НСПЧ в плодах сорта 'Сабруция Розовая' (рис. 3, с) и достоверно ($p < 0.05$) находится в обратной зависимости от содержания K ($r = -0.99$) и Ca ($r = -0.92$).

Накопление цинка в исследованных образцах происходит аналогично накоплению железа ($r = 0.88$, $n = 24$, $p < 0.05$): от минимального (0,6 min НСПЧ) в плодах сорта 'Муасон' до максимального (0,9 min НСПЧ) в плодах сорта 'Сабруция Розовая' (рис. 3, с). При этом выявлена обратная зависимость от содержания K ($r = -0.80$) и Ca ($r = -0.98$).

Следует отметить существенную роль цинка в формировании иммунитета: низкий уровень цинка в организме приводит к более высокой вероятности заболевания пневмонией и инфекциями верхних дыхательных путей (Borisov, 2018).

Медь в исследуемых образцах инжира накапливается аналогично кальцию: от 0,5 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' до 1 max (2 min) НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский' (рис. 3, d). Как и в случае с магнием, статистически значимых взаимосвязей между содержанием Cu и других катионов исследуемых металлов в плодах трех сортов инжира не обнаружено.

Содержание марганца в исследованных образцах – от 0,1 min НСПЧ в плодах сорта 'Сабруция Розовая' до 0,9 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' (рис. 3, d). При этом наблюдается тесная корреляция с содержанием K ($r = 0.90$, $n = 24$, $p < 0.05$) и обратная корреляция с накоплением Fe ($r = -0.94$) и Zn ($r = -0.96$).

Заключение

Таким образом, плоды инжира изученных сортов по нормам РФ относятся к группе продуктов с высоким содержанием K и Mg, и удовлетворительным содержанием Fe и Zn, а плоды сортов 'Поморийский' и 'Муасон' – еще и Mn.

Сорт 'Муасон' выделяется наибольшим содержанием сухого вещества – $26,60 \pm 1,30\%$, суммы фенольных соединений – $169,00 \pm 26,00$ мг%, сахаров (моно – $15,03 \pm 1,25\%$; сумма – $17,46 \pm 0,56\%$), водорастворимого пектина – $1,17 \pm 0,11\%$ и суммы пектиновых веществ – $1,99 \pm 0,09\%$, K – 13565 ± 805 мг/кг;

сорт 'Поморийский' – максимальным содержанием Ca – 532 ± 65 мг/кг, Mg – 982 ± 121 мг/кг и Mn – $1,98 \pm 0,182$ мг/кг;

сорт 'Сабруция Розовая' – наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты – $17,32 \pm 0,78$ мг%, Fe – $15,4 \pm 2,0$, Zn – $10,7 \pm 1,4$ и Cu – $1,4 \pm 0,13$ мг/кг.

Поскольку плоды исследуемых сортов инжира содержат комплекс БАВ, включающий пектиновые вещества, фенольные соединения и эссенциальные элементы, они могут служить высококачественным сырьем для продуктов функционального назначения.

На основании исследования физиологических показателей выявлены характерные особенности водного режима и уровень адаптивности трех сортов *F. carica* в условиях воздействия засушливых факторов. Сорт 'Поморийский' обладает средней степенью стойкости к обезвоживанию, а 'Муасон' демонстрирует низкие показатели вододерживающих сил и неудовлетворительный уровень репарации. Выделен потенциально адаптивный, устойчивый к засухе сорт селекции Никитского ботанического сада 'Сабруция Розовая', обладающий высокой степенью гидротермической устойчивости благодаря повышенной способности удерживать влагу в условиях водного стресса и высоким репарационным возможностям после глубокого увядания. Данный генотип можно рекомендовать для селекции с целью создания новых гибридных засухоустойчивых форм и внедрения в регионы с недостаточной водообеспеченностью.

References / Литература

- Al-Hameedawi A.M.S. Evaluating some characters of leaves, physical and quality fruits of three fig, *Ficus carica* L., cultivars of second crop that harvested at two maturity stages. *Theoretical and Applied Science*. 2015;3(23):171-175. DOI: 10.15863/tas.2015.03.23.29
- Arendt N.K. Fig cultivars (Sorta inzhira). *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada = Proceedings of the Nikita Botanical Gardens*. 1972a;(56):5-233. [in Russian] (Арендт Н.К. Сорта инжира. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 1972a;(56):5-233). URL: https://drive.google.com/file/d/1xqdp6vshAx8GLcWfKHM4x60_m_yph0Eu/view [дата обращения: 11.04.2022].
- Arendt N.K. Primary comparative study of fig cultivars: Guidelines (Pervichnoye sravnitelnoye izucheniye sortov inzhira: Metodicheskiye ukazaniya). Yalta; 1972. [in Russian] (Арендт Н.К. Первичное сравнительное изучение сортов инжира: Методические указания. Ялта; 1972b).
- Arvaniti O.S., Samaras Y., Gatidou G., Thomaidis N.S., Stasinakis A.S. Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*. 2019;119:244-267. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.01.055
- Bachir Bey M., Louaileche H. A comparative study of phytochemical profile and in vitro antioxidant activities of dark and light dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *The Journal of Phytopharmacology*. 2015;4(1):41-48. DOI: 10.31254/phyto.2015.4108
- Borisov V.V. Microelements selenium and zinc in female and male body: problems and solutions. *Consilium Medicum*. 2018 20(7):63-68. [in Russian] (Борисов В.В. Микроэлементы селен и цинк в организме женщины и мужчины: проблемы и решения. *Consilium Medicum*. 2018;20(7):63-68). DOI: 10.26442/2075-1753.2018.7.63-68
- Chernobay I., Shishkina E. Determination of drought resistance of fig and jujube cultivars according to leaf dehydration. *Acta Horticulturae*. 2021;1324:401-406. DOI: 10.17660/actahortic.2021.1324.62
- Dunaevskaya E.V., Shishkina E.L. Content of essential elements in fig fruits of foreign selection cultivars. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2019;(150):50-58.

- [in Russian] (Дунаевская Е.В., Шишкина Е.Л. Содержание эссенциальных элементов в плодах инжира сортов иностранной селекции. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2019;(150):50-58). DOI: 10.36305/2019-1-150-50-58
- Gogiya V.T. Biochemistry of subtropical plants (Biokhimiya subtropicheskikh rasteniy). Moscow: Kolos; 1984. [in Russian] (Гогия В.Т. Биохимия субтропических растений. Москва: Колос; 1984).
- GOST 26929-94. Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements. Moscow: Standartinform; 1996. [in Russian] (ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Москва: Стандартинформ; 1996). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827602.pdf> [дата обращения: 04.04.2022].
- GOST 30178-96. Raw material and food-stuffs. Atomic absorption method for determination of toxic elements. Moscow: Standartinform; 1998. [in Russian] (ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. Москва: Стандартинформ; 1998). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294825/4294825120.htm> [дата обращения: 04.04.2022].
- Ivanova A.S. Comparative characteristics of the qualitative composition of the fruits of some stone fruit and subtropical crops (Srvnitelnaya kharakteristika kachestvennogo sostava plodov nekotorykh kostochkovykh i subtropicheskikh kultur). *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 1982;(47):93-98. [in Russian] (Иванова А.С. Сравнительная характеристика качественного состава плодов некоторых косточковых и субтропических культур. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 1982;47:93-98).
- Khadhraoui M., Bagues M., Artés F., Ferchichi A. Phytochemical content, antioxidant potential, and fatty acid composition of dried Tunisian fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2019;92:143-150. DOI: 10.5073/JABFQ.2019.092.020
- Kharchenko A.A., Smykov A.V., Melkozerova E.A. Content of biologically active substances in fruits of certain varieties and forms of figs from the collection of the Nikitsk Botanical Garden. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021;(92):190-195. [in Russian] (Харченко А.А., Смыков А.В., Мелкозёрова Е.А. Содержание биологически активных веществ в плодах некоторых сортов и форм инжира из коллекции Никитского ботанического сада. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021;(92):190-195). DOI: 10.21515/1999-1703-92-190-195
- Korsakova S.P. The evaluation of future climate change in the Southern coast of the Crimea. *Ekosistemy = Ecosystems*. 2018;15(45):151-165. [in Russian] (Корсакова С.П. Оценка будущих изменений климата на Южном берегу Крыма. *Экосистемы*. 2018;15(45):151-165).
- Lishchuk A.I. Physiological and biophysical methods in fruit crop breeding. Guidelines (Fiziologicheskiye i biofizicheskiye metody v seleksii plodovykh kultur. Metodicheskiye rekomendatsii). Moscow; 1991. [in Russian] (Лещук А.И. Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур. Методические рекомендации. Москва; 1991).
- Marchuk N., Dunaevskaya E., Shishkina E. The content of biologically active substances in the figs of two varieties in the collection of Nikitsky Botanical Gardens. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;125:97-103. [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;125:97-103).
- Mawa S., Husain K., Jantan I. *Ficus carica* L. (Moraceae): phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2013;2013:974256. DOI: 10.1155/2013/974256
- Minaeva V.G. Flavonoids in plant ontogenesis and their practical use (Flavonoidy v ontogeneze rasteniy i ikh prakticheskoye ispolzovaniye). Novosibirsk: Nauka; 1978. [in Russian] (Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск: Наука; 1978).
- MR 2.3.1.2432-08. Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor; 2009. [in Russian] (МР 2.3.1.2432-08. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. Москва: Роспотребнадзор; 2009). URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 [дата обращения: 12.04.2022].
- Novitskaya A.P., Opanasenko N.E. *Ficus carica* L. on terraced agro-brown soils of the Southern Coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2019;(133):216-224. [in Russian] (Новицкая А.П., Опанасенко Н.Е. Инжир (*Ficus carica* L.) на агрокоричневых террасированных почвах Южного берега Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019;(133):216-224). DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-216-224
- Pleshkov B.P. Workshop on plant biochemistry (Praktikum po biokhimii rasteniy). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] (Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос; 1985).
- Shishkina E. Gene pool collection of *Ficus carica* L. and principal breeding directions. *Acta Horticulturae*. 2021;1315:195-200. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1315.30
- Skalny A.V., Rudakov I.F. Bioelements in medicine (Bioelementy v meditsine). Moscow: Oniks 21 vek, Mir; 2004. [in Russian] (Скальный А.В., Рудаков И.Ф. Биоэлементы в медицине. Москва: Оникс 21 век, Мир; 2004).
- Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. (eds). Chemical composition of Russian food products: a reference book (Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: Spravochnik). Moscow: DeLi print; 2002. [in Russian] (Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. Москва: ДеЛи принт; 2002).
- Slavin J.L. Figs: past, present, and future. *Nutrition Today*. 2006;41(4):180-184. DOI: 10.1097/00017285-200607000-00009
- Solomon A., Golubowicz S., Yablowicz Z., Grossman S., Bergman M., Gottlieb H.E. et al. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(20):7717-7723. DOI: 10.1021/jf060497h
- Starostenko I.E.H., Belokurova E.S. Products of fruits and vegetables – sources of functional ingredients in baby food. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa = Technical and Technological Problems of Services*. 2015;3(33):24-27. [in

Russian] (Старостенко И.Э., Белокурова Е.С. Продукты переработки плодов и овощей – источники функциональных ингредиентов в детском питании. *Технологические проблемы сервиса*. 2015;3(33):24-27). State Standards. Products of fruit and vegetable processing. Methods of analysis. Official edition (Gosudarstvennye standarty. Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody analiza. Izdaniye ofitsialnoye). Moscow: IPK Izdatelstvo standartov; 2002. [in Russian] (Государственные

стандарты. Продукты переработки плодов и овощей. Методы анализа. Издание официальное. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002). URL: <http://gostbank.metaltorg.ru/data/8978.pdf> [дата обращения: 12.04.2022].

Trichopoulou A., Vasilopoulou E., Georga K., Soukara S., Dilis V. Traditional foods: Why and how to sustain them. *Trends in Food Science and Technology*. 2006;17(9):498-504. DOI: 10.1016/j.tifs.2006.03.005

Информация об авторах

Елена Леонидовна Шишкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 295007 Россия, Республика Крым, Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4; schischkina.el2012@yandex.com, <https://orcid.org/0000-0003-0509-3990>

Елена Викторовна Дунаевская, научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, agroecology2019@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4507-7944>

Руслана Адольфовна Пилькевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Надежда Юрьевна Марчук, научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, neka-m@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7955-3999>

Information about the authors

Elena L. Shishkina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol 295007, Republic of Crimea, Russia, schischkina.el2012@yandex.com, <https://orcid.org/0000-0003-0509-3990>

Elena V. Dunaevskaya, Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, agroecology2019@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4507-7944>

Ruslana A. Pilkevich, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Nadezhda Y. Marchuk, Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, neka-m@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7955-3999>

Вклад авторов: Е.Л. Шишкина – 20%; Е.В. Дунаевская – 40%; Р.А. Пилькевич – 20%; Н.Ю. Марчук – 20%.

Contribution of the authors: E.L. Shishkina: 20%; E.V. Dunaevskaya: 40%; R.A. Pilkevich: 20%; N.Yu. Marchuk: 20%.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.04.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 08.04.2022; approved after reviewing on 18.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.