

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>
УДК: 634.775.1:581.9

Н.А. Голубкина^{1*}, Н.А. Багрикова²,
В.А. Лапченко³, Е.В. Лапченко³,
Т.С. Науменко², Г.Д. Левко¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14
² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» 298648, Россия, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
³ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН филиал ФИЦ ИнБЮМ 298188, Россия, Республика Крым, г. Феодосия, пос. Курортное, ул. Науки, 24
*Автор для переписки: segolubkina45@gmail.com

Финансирование. Работа проводилась в соответствии с договором о научном сотрудничестве между ФГБНУ ФНЦО и «НБС-ННЦ», а также в рамках темы Гос. задания № 124030100098-0 (Лапченко В.А., Лапченко Е.В.) и Гос. заданий ФГБНУ «НБС-ННЦ» № 123091200005-9, 122041900097-3 и 122041100253-1 (Багрикова Н.А., Науменко Т.С.)

Конфликт интересов. Голубкина Н.А. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Вклад авторов: Н.А. Голубкина: концептуализация, проведение биохимических исследований, написание и редактирование рукописи. Н.А. Багрикова, В.А. Лапченко, Е.В. Лапченко и Т.С. Науменко: сбор материала и подготовка проб для анализа, а также редактирование рукописи. Г.Д. Левко: валидация и курирование данных.

Для цитирования: Голубкина Н.А., Багрикова Н.А., Лапченко В.А., Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Левко Г.Д. Биохимический состав натурализовавшихся на территории Крымского полуострова *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri* и перспективы их использования. *Овощи России*. 2024; (5): 64-72. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>

Поступила в редакцию: 20.05.2024

Принята к печати: 11.08.2024

Опубликована: 27.09.2024

Nadezhda A. Golubkina^{1*}, Natalia A. Bagrikova^{2*},
Vladimir A. Lapchenko³, Helene V. Lapchenko³,
Tatiana S. Naumenko², Gennady D. Levko¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia

² Federal State Budgetary Institute of Science «Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS»

52, Nikitsky spusk, vil. Nikita, Yalta, Republic of the Crimea, 298648, Russia

³ T.I. Viazemsky Karadag scientific station – Nature reserve of RAS

24, Nauki str., Kurortnoye settlement, Feodosia, Republic of Crimea, 298188, Russia

*Corresponding Author: segolubkina45@gmail.com

Funding. The investigation was achieved according to the agreement on the scientific cooperation between Federal Scientific Vegetable Center and Nikitsky Botanic Garden and according to the topic of government assignments № 124030100098-0 (Lapchenko V.A., Lapchenko H.V.) and № 123091200005-9, 122041900097-3 and 122041100253-1 (Bagrikova N.A., Naumenko T.S.)

Conflict of interest. Golubkina N.A. has been a member of the editorial board of the journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

Authors Contribution: Golubkina N.A.: conceptualization, biochemical analysis and writing the draft and final version of the manuscript. Bagrikova N.A., Lapchenko V.A., Lapchenko H.V. and Naumenko T.S.: collection of samples and sample preparation for the analysis and also manuscript editing. Levko G.D.: validation and data curation.

For citation: Golubkina N.A., Bagrikova N.A., Lapchenko V.A., Lapchenko H.V., Naumenko T.S., Levko G.D. Biochemical composition of three *Opuntia* species *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri*. Prospects of their utilization. *Vegetable crops of Russia*. 2024; (5): 64-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>

Received: 20.05.2024

Accepted for publication: 11.08.2024

Published: 27.09.2024

Биохимический состав натурализовавшихся на территории Крымского полуострова *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri* и перспективы их использования

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Опунция отличается высокой экологической адаптивностью и широко распространена во многих странах мира. Устойчивость к дефициту воды и высокая биологическая активность определяют перспективность ее выращивания в качестве сырья для пищевой и фармацевтической промышленности. Опунция хорошо растет в Крыму, встречается в Астраханской области и даже в средней полосе России. Оценка перспектив выращивания опунции в Крыму для практического применения предполагает изучение биохимических характеристик, вариабельность которых в значительной степени определяется местом произрастания.

Материал и методы. Уровень антиоксидантной активности и титруемую кислотность устанавливали титрометрически, содержание полифенолов – спектрофотометрически, накопление моносахаров и общее содержание сахаров определяли феррицианидным методом, содержание слизи – гравиметрически.

Результаты. Исследование биохимических характеристик кладодий, соцветий и плодов 3 видов опунции: *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii*, – собранных на Южном и Юго-восточном побережье Крыма, выявило широкую вариабельность содержания слизи в плодах (4.3-16.56% на сухую массу), сахаров, и общей антиоксидантной активности. Содержание полифенолов снижалось в ряду: соцветия (18.4-21.0)>плоды (11.7-18)>кладодии (10.2-20.0). Уровень накопления моносахаров в плодах достигал (6.2-31) % и в кладодиях (8.1-16.0%). Общее содержание сахаров в плодах было 32.6-95%, в кладодиях (15.5-29.7%). Содержание селена было выше в кладодиях (102-176 мкг/кг с.м.), чем в плодах (46.8-72 мкг/кг с.м.). Наибольший уровень антиоксидантной активности и титруемой кислотности были у *O. engelmannii*, в то время как максимальное содержание сахаров, слизи и самый высокий уровень индекса вкуса были характерны для *O. humifusa*. Однако, масса плодов была минимальной у *O. humifusa* и максимальной у *O. engelmannii*. Результаты предполагают перспективы использования плодов, кладодий и соцветий всех трех видов опунции с предпочтительным применением *O. humifusa* в пищевой промышленности, косметике и фармакологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

опунция, биохимические характеристики, перспективы применения.

Check for updates



Biochemical composition of three *Opuntia* species *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri*. Prospects of their utilization

ABSTRACT

Relevance. *Opuntia* distinguished by high adaptability is widespread in many countries of the world. Tolerance to water deficiency and high biological activity provide prospects of its cultivation for food and pharmaceutical industry. In Russia *Opuntia* is grown in the Crimea, Caucasus, Donbass, Astrakhan region and even in the Central Russia. Evaluation of the *Opuntia* cultivation efficiency in the Crimea for various utilization supposes the importance of its biochemical characteristics which variability greatly depends on the place of habitat.

Materials and Methods. Total antioxidant activity and titratable acidity were determined using titration methods, polyphenol content – using spectrophotometric method, monosaccharide and total sugar concentrations were assessed via reaction with ferricyanide, mucilage levels were determined gravimetrically.

Results. Investigation of cladode, inflorescence and fruit biochemical parameters of three *Opuntia* species: *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii*, – gathered at the Southern and South-Eastern part of the Crimean peninsular revealed wide variability of fruit mucilage (4.3-16.56% d.w.), sugar and total antioxidant activity. Polyphenol content decreased according to: inflorescence (18.4-21.0) > fruit (11.7-18) > cladodes (10.2-20.0). Fruit monosaccharide content reached (6.2-31) % while in cladodes these values were in the range of 8.1-16.0%. Total sugar content was equal to 32.6-95% in fruit and 15.5-29.7% in cladodes. Concentration of selenium as a natural antioxidant was higher in the cladodes (102-176 µg/kg d.w.) than in fruit (46.8-72 µg/kg d.w.). The highest levels of the total antioxidant activity and titratable acidity were registered in *O. engelmannii* while the highest sugar, mucilage and taste index were typical for *O. humifusa*. Nevertheless, *O. humifusa* was characterized by the lowest fruit mass (6.0-6.3 g) contrary to *O. engelmannii* (36-40 g). The results suppose prospects of fruit, cladode and inflorescence utilization in food industry, cosmetics and pharmacology with the preference to *O. humifusa*.

KEYWORDS:

Opuntia, biochemical characteristics, prospects of utilization

Введение

Род *Opuntia* Mill. характеризуется значительным разнообразием, образуя множество разновидностей, форм и гибридов как *in situ*, так и *ex situ*, и включает по данным разных авторов [1-3] и баз данных [4,5] от 90 до 250 видов. В нативном ареале опунции произрастают в Южной и Северной Америке и на прилегающих островах. Многие виды были интродуцированы и широко распространились в Европе, Африке, Азии, Австралии, на Канарских островах, не менее 27 видов являются инвазионными в разных регионах земного шара [6,7]. Широкий спектр мест обитания обусловлен способностью опунций произрастать в условиях дефицита воды при среднегодовом количестве осадков от 250 до 1200 мм [8], а также значительной генетической вариабельностью и высокой экологической адаптивностью растений [9,10], связанной, в частности, с максимальной эффективностью фотосинтеза и усвоения воды по сравнению с растениями С3 и С4 [9-11].

На территории Российской Федерации натурализовавшиеся растения опунций отмечены на Черноморском побережье Кавказа, Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, на Донбасе, Крымском полуострове [7, 12-16]. Наибольшее количество видов натурализовались на территории Крымского полуострова, так как климатические условия региона, в частности южного побережья, подходят для культивирования опунций в открытом грунте. Наиболее распространенными являются три вида: опунция приземистая (*O. humifusa* (Raf.) Raf.), опунция команчская (*O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth.) и опунция Энгельманна разновидность Линдгеймера (*O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) B.D. Parfitt & Pinkava) [15].

В то же время следует отметить, что наибольшей популярностью в мире пользуется *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. благодаря высоким вкусовым качествам плодов, отсутствию колючек и высокому урожаю в засушливых регионах. Промышленное выращивание этого вида осуществляется в Италии, Испании, Мексике, Бразилии, Чили, Аргентине и Калифорнии [16,17]. В условиях Италии масса плодов опунции *O. ficus-indica* достигает 100–270 г [18]. В связи с вышесказанным, наибольшее количество исследований биологически активных соединений опунции проведено именно на этом виде опунции, в то время как биохимический состав других видов исследован в меньшей степени, что представляется особенно важным в связи с высокой вариабельностью биохимических показателей в зависимости от места произрастания, времени года и возраста растений [19-21].

Интерес к опунциям значительно вырос в последние десятилетия в связи со значительными перспективами их использования (не только плодов, но и кладодий) в самых разнообразных отраслях народного хозяйства благодаря высокому содержанию полифенолов, витаминов, беталаиновых пигментов, слизи и пищевых волокон [22-24].

Цель настоящей работы – установить содержание биологически активных соединений и антиоксидантов в разных частях растений трех видов опунций *O. humifusa*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha*, натурализовавшихся на Южном и Юго-Востоchnoм побережье Крыма.

Материалы и методы

Образцы соцветий, плодов и кладодий трех видов опунций *O. humifusa*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha* собирали в период июнь-август 2022 г. на территориях природных заповедников «Мыс Мартыан» (44°30'38" с. ш. 34°15'25" в. д.) на Южном берегу Крыма и «Карадагский» (44°93'61" N, 35°23'33" E) в юго-восточной части полуострова. Образцы измельчали, высушивали при комнатной температуре до постоянной массы и гомогенизировали.

Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу [25]. 1 г сухого порошка опунции экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70 % этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70 % спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na₂CO₃ и 0,25 мл разбавленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли показатель поглощения раствора при 730 нм на спектрофотометре Unico 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мкг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Для определения антиоксидантной активности (АОА) использовали метод визуального титрования, основанный на титровании раствора 0.01 N KMnO₄ в кислой среде этанольным экстрактом опунции до обесцвечивания, свидетельствующего о полном восстановлении Mn⁺⁶ до Mn⁺² [25]. В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Моносахара определяли феррицианидным методом, основанным на реакции моносахаридов с феррицианидом калия [26]. Общее содержание сахаров устанавливали аналогично после кислого гидролиза водного экстракта 20 % соляной кислотой. В качестве внешнего стандарта использовали фруктозу. Результаты выражали в % на сухую массу.

Титруемую кислотность определяли потенциометрически путем титрования 50 мл смеси образца с водой при соотношении 1:5 0.1 N раствором NaOH до pH 8.1 на иономере Эксперт 001 (Эконикс, Россия). Результаты представляли в мг-экв лимонной кислоты на г сухой массы [27].

Индекс вкуса (ИВ) плодов опунции определяли на основании общего содержания сахаров и титруемой кислотности [28] по формуле:

$$TI = TA + TS / (20 \times TA),$$

где *TI* – индекс вкуса, *TA* – титруемая кислотность, *TS* – общее содержание сахаров.

Содержание слизи устанавливали гравиметрически [29]. Порошок высушенных плодов опунции гомогенизировали с дистиллированной водой (1:2) и оставляли на 24 часа при комнатной температуре. Смесь отфильтровывали через нейлоновую ткань, получаемый гель центрифугировали при 10000 об/мин в течение 30 минут, после чего добавляли трехкратный объем 95 % этилового спирта и смесь оставляли при комнатной температуре на 2 часа. Осадок отделяли и высушивали при 70°C до постоянного веса.

Содержание селена определяли флуориметрическим методом [30]. Высушенные гомогенизированные образцы разлагали смесью азотной и хлорной кислот с последующим восстановлением селената (Se^{+6}) в селенит (Se^{+4}) действием 6 N HCl. Концентрацию Se определяли по величине флуоресценции комплекса (пиазоселенола) селенистой кислоты с 2,3-диаминонафталином в гексане по величине эмиссии при 519 нм при длине волны возбуждения 376 нм. Повторность трехкратная. Точность определения контролировалась путем использования в каждом определении внешнего стандарта порошка стеблей кервеля, обогащенного Se, с концентрацией Se 1865 мкг/кг.

Результаты исследования подвергали статистической обработке с использованием теста Дункана и компьютерной статистической программы Excel.

Результаты и обсуждения

На территории Крымского полуострова и в других регионах многие виды опунций используются в зеленом строительстве, в том числе для создания рокариев, так как растения прекрасно размножаются вегетативным способом, образуют плотные группы. Кроме того, разные виды опунций применялись в работах по укреплению эрозионных склонов и песчаных массивов. Кроме того, растения отличаются необычностью форм, обильным цветением и яркой окраской спелых плодов [7,15]. В Никитском ботаническом саду готовят компоты из плодов опунций [31]. В настоящее время три вида, являющиеся объектами наших исследований, в Крыму рассматриваются как инвазионные виды, так как внедряются в естественные сообщества. Поэтому при использовании этих видов необходим строгий контроль за их распространением за пределы мест культивирования

[7]. Имеются данные, что в других регионах земного шара плоды и кладодии этих видов имеют более широкое применение в пищевой, сельскохозяйственной, фармацевтической, косметической и других отраслях, так как плоды используются при изготовлении конфет, желе, джемов, безалкогольных напитков, добавок в пищу, красителей [32-35], в косметологии [36], при лечении онкологических заболеваний [37], кладодии – для очистки сточных вод [38,39], растения – в качестве живых изгородей, в том числе для проведения границ сельскохозяйственных угодий, а также в зеленом строительстве [34, 40].

Для расширения спектра направленного использования этих видов опунций необходимо проведение биохимического анализа не только плодов, но также кладодий и соцветий. На рисунке 1 представлены общий вид кладодий и плодов опунций *O. humifusa*, *O. phaeacantha* и разновидности *O. engelmannii*, произрастающих на территории Крыма. В соответствии с размерами плодов *O. humifusa* – 2.0–5.0 см длина и 1.2–2.2 см диаметр, *O. phaeacantha* 3.0–5.5 см длина, 2.0–3.1 см диаметр, *O. engelmannii* – 3.0–8.0 см длина, до 3.0–4.7 см диаметр [7], наиболее крупные плоды имеют массу до 39 г, мелкие до 6 г (табл. 1). По сравнению с плодами *O. ficus-indica*, выращиваемой в Италии в промышленном масштабе, плоды произрастающих в Крыму видов отличаются меньшими размерами, что определяет существенно более низкую массу плодов.

Показатели антиоксидантного статуса

Данные табл. 1 свидетельствует о высокой антиоксидантной активности произрастающих в Крыму опунций. Показательно, что максимальный уровень антиоксидантной активности характерен для соцветий опунции, что предполагает перспективность их использования для выделения биологически активных соединений. Результаты исследования свидетельствуют о снижении общей антиоксидантной активности в ряду: соцветия>плоды>кладодии. Наиболее выражено такое снижение для *O. engelmannii* (от 46 до 17.1 мг-экв ГК/г с.м.), и наименее выражено у *O. phaeacantha* (от 32.5 до 26.2 мг-экв ГК/г с.м.). Сходная закономерность наблюдалась и по показателю накопления полифенолов (табл. 1).



O. humifusa

O. phaeacantha f. rubra

O. engelmannii var. lindheimeri

Рис. 1. Общий вид кладодий и плодов произрастающих в Крыму видов опунций
Fig. 1. General view of cladodes and fruits of prickly pear, growing in Crimea

Таблица 1. Показатели антиоксидантного статуса и содержания слизи трех видов опунции, произрастающих в Крыму.
Table 1. Indicators of antioxidant status and mucus content of three prickly pear species, growing in Crimea

Показатель Parameter	Орган Organ	<i>O. humifusa</i>	<i>O. phaeacantha</i>	<i>O. engelmannii</i>
Масса, г Mass, g	Плод Fruit	6.3 b	15.4 b	38.9 a
Окраска лепестков Petal color	Соцветия Florets	желтый	красный	желтый
АОА, мг-экв ГК г сух.м. Antioxidant activity, mg GAE/g d.w.	Соцветия Florets	30.7 b	32.5 b	46.0 a
	Плоды Fruit	20.7 b	33.9 a	24.8 ab
	Кладодии Cladodes	17.5 b	26.2 a	17.1 b
ТР, мг-экв ГК г сух.м. Phenolics, mg GAE/g d.w.	Соцветия Florets	21.0 b	18.5 b	28.8 a
	Плоды Fruit	11.7 c	15.2 b	18.1 a
	Кладодии Cladodes	10.2 b	20.0 a	12.4 b
Селен, мкг/кг сух.м. Se, µg/kg d.w.	Плоды Fruit	46.8 b	52.3 b	74.9 a
	Кладодии Cladodes	147 b	105 c	176 a
ТА, мг-экв ЛК/г сух.м. Titratable acidity, mg-eq citric acid/g d.w.	Соцветия Florets	1.81 a	1.06 a	2.11 a
	Плоды Fruit	1.09 b	0.85 b	2.00 a
	Кладодии Cladodes	0.85 b	0.66 c	1.68 a
Индекс вкуса на сух. м. Taste Index	Плоды Fruit	5.00 c	2.80 b	3.02 b
	Кладодии Cladodes	2.59 a	1.83 b	2.65 a
Слизь, % на сух.м. Mucilage, % per d.w.	Плоды Fruit	16.5 a	4.30 c	8.23 b

АОА- общая антиоксидантная активность, ТР- общее содержание полифенолов, ТА- титруемая кислотность. Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Выявлено, что доля полифенолов в общей антиоксидантной активности принципиально различается между тремя исследованными видами. У *O. humifusa* доля полифенолов в общей антиоксидантной активности кладодий достоверно меньше, чем в соцветиях и плодах, в то время как у *O. phaeacantha* доля полифенолов в кладодиях максимальна (рис. 2). Важно отметить, что среди трех исследованных видов опунций только у *O. humifusa* общая антиоксидантная активность соцветий в максимальной степени определялась содержанием полифенолов, в то время как для *O. engelmannii* этот показатель был достоверно ниже. Напротив, *O. phaeacantha* и *O. engelmannii* характеризовались наибольшим вкла-

дом полифенолов в антиоксидантную активность кладодий.

Установлено, что накопление природного антиоксиданта селена в трех исследованных видах опунции также неравномерно и, в отличие от распределения полифенолов и общей антиоксидантной активности, количество селена в кладодиях значительно превышало уровень накопления микроэлемента в плодах (табл. 1). Этот факт косвенно подтверждает важную физиологическую роль селена в росте и развитии опунции и свидетельствует о пищевой ценности кладодий. Известно, что селен способен защищать растения от разных форм оксидантного стресса, включая засуху, высокие температуру и инсоляцию [41].

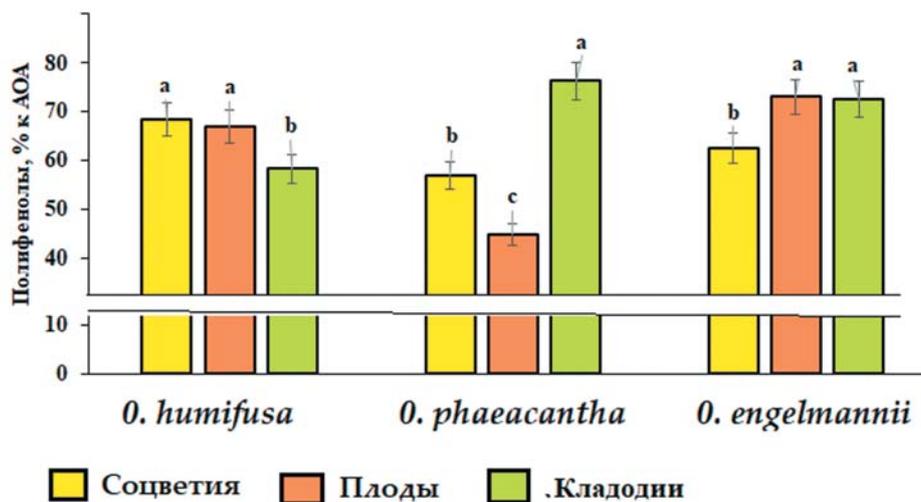


Рис. 2. Доля полифенолов в общей антиоксидантной активности соцветий, плодов и кладодий исследованных видов опунций. Для каждого вида опунции значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Fig. 2. The share of polyphenols in the total antioxidant activity of flowers, fruits and cladodes of the studied prickly pear species. For each species values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Моно- и дисахара опунции
и содержание органических кислот

Содержание сахаров и органических кислот определяет вкусовые качества плодов. Нами было установлено, что плоды опунции приземистой (*O. humifusa*) наиболее богаты сахарами, уровень которых в плодах этого вида превышает содержание сахаров у *O. engelmannii* и *O. phaeacantha* в 2 и 2.67 раз соответственно. При этом сахара в плодах *O. humifusa* представлены в основном дисахарами при минимальном содержании моносахаров, в то время как в плодах *O. engelmannii* преобладают моносахара, а в плодах *O. phaeacantha* уровни накопления моно и дисахаров сравнимы. Другие особенности выявлены в накоплении сахаров кладодиями опунций, где для всех трех видов преобладают моносахара. Общее содержание сахаров в кладодиях было максимальным у *O. humifusa* и *O. engelmannii* и минимальным у *O. phaeacantha*. При

этом содержание сахаров в плодах было в среднем в 2 раза выше, чем в кладодиях (рис. 3).

Известно, что биосинтез органических кислот и сахаров в растениях взаимосвязаны. Действительно, более низкий уровень сахаров в кладодиях по сравнению с плодами находится в хорошем соответствии с аналогичным снижением уровня органических кислот, а коэффициент корреляции между титруемой кислотностью и концентрацией моносахаров составляет 0.749 (рис. 4).

Интересно отметить, что максимальное накопление органических кислот характерно для соцветий опунций, причем, различия в накоплении органических кислот между соцветиями и кладодиями наиболее выражено у *O. humifusa* (Рис. 5). Оценка вкусовых качеств плодов опунции на основании показателей кислотности и содержания сахаров выявила наиболее высокие вкусовые качества плодов у *O. humifusa* (см. табл. 1).

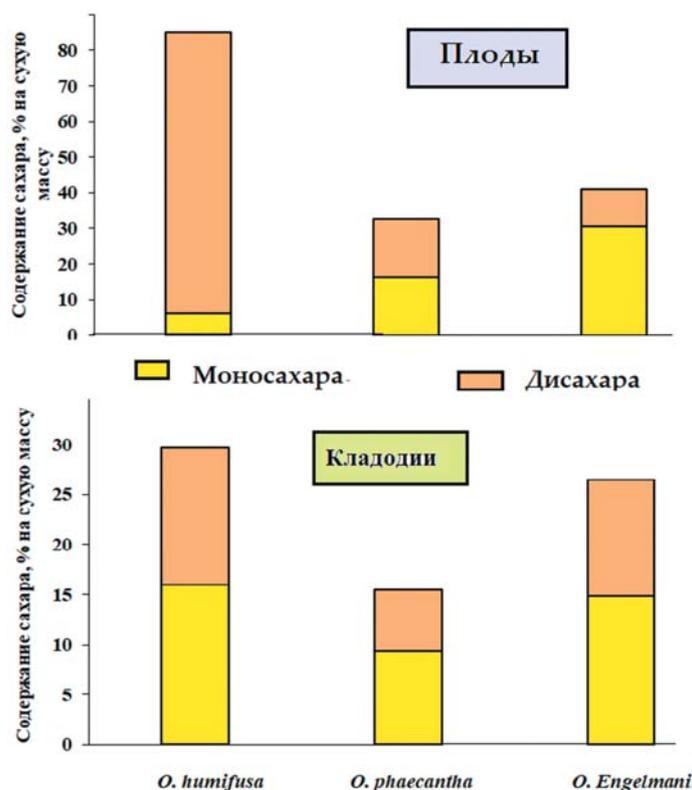


Рис. 3. Сахарный профиль исследованных видов опунций
Fig. 3. Sugar profile of *Opuntia* specie studied

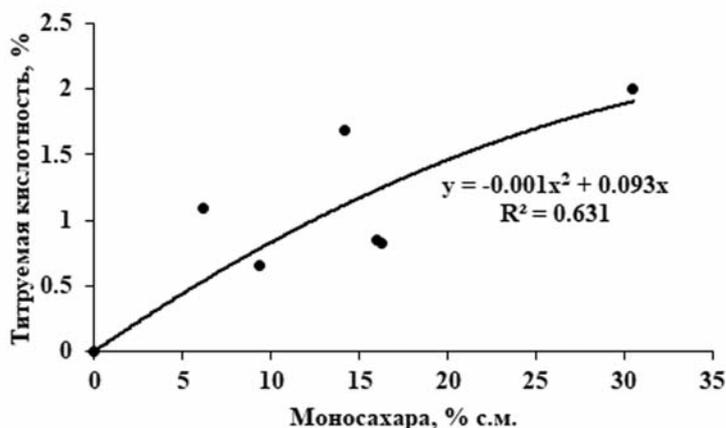


Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием моносахаров и титруемой кислотностью в плодах и кладодиях трех видов опунции ($r=0.749$; $p<0.05$)
Fig. 4. Correlation between monosaccharide content and titratable acidity in *Opuntia* fruit and cladode ($r=0.749$; $p<0.05$)

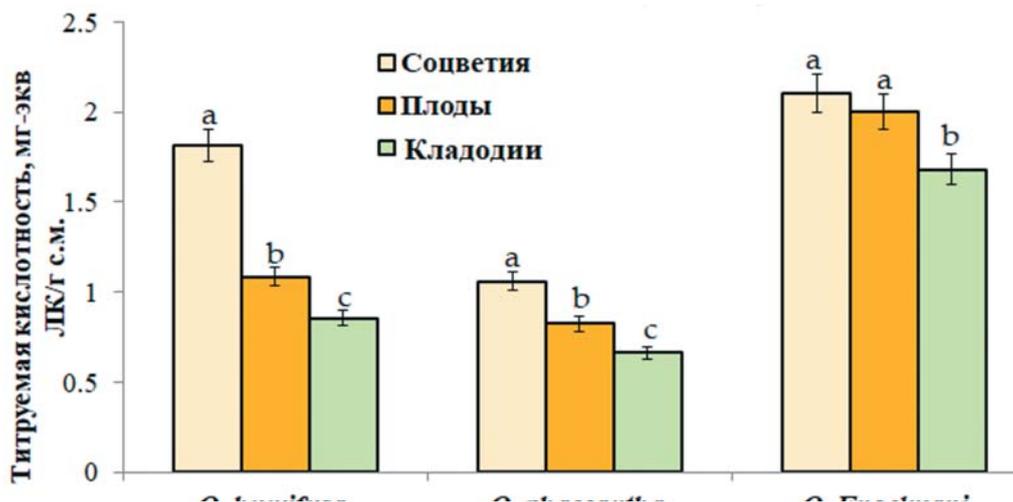


Рис. 5. Титруемая кислотность соцветий, плодов и кладодий изученных видов опунций. Для каждого вида опунции значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$
 Fig. 5. Titratable acidity of *Opuntia* florets, fruit and cladodes. For each species values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Содержание слизи

Согласно литературным данным содержание слизи в плодах *O. ficus-indica*, составляет около 19% [42] (рис. 6). По результатам наших исследований установлены сходные значения содержания слизи в плодах *O. humifusa*, в то время как у *O. phaeacantha* они в 4 раза, а у *O. engelmannii* – в 2 раза меньше. В то же время ряд авторов относят *O. engelmannii* к группе опунций с высоким содержанием слизи [43]. Вполне вероятно, что разновидность *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, произрастающая в Крыму, отличается меньшим содержанием слизи, по сравнению с видом, описанным в работе [43].

Анализ литературных источников и полученных нами данных (рис. 2–6; табл. 1, 2) определяет расширение спектра использования опунций в разных отраслях народного хозяйства (рис. 7).

Исследованные виды опунций, произрастающие на южном и юго-восточном побережье Крыма, в значительной степени отражают потенциальные возможности применения, указанные на рис. 7. Плоды *O. humifusa* благодаря высокому содержанию слизи и полифенолов в косметологии, микрокапсулировании, в качестве загустителя и, очевидно, перспективны для

получения биodeградируемых пленок для повышения сохранности фруктов, также как и в других регионах Европы, Америки, Азии [32,44]. Показана антиканцерогенная активность плодов *O. humifusa* в защите от рака молочной железы [37]. Высокая адсорбционная способность кладодий этого вида опунции используется в настоящее время для очистки сточных вод [38,39].

Плоды, кладодии и соцветия *O. phaeacantha* характеризуются наибольшей антиоксидантной активностью и содержанием полифенолов, что может служить основой получения функциональных продуктов питания с высоким содержанием антиоксидантов (табл. 2). В настоящее время плоды этого вида опунции в других регионах используются для приготовления конфет, джемов, желе, безалкогольных напитков и беталаиновых красителей [33]. Однако, данные настоящего исследования указывают на большую перспективность использования в пищевой промышленности *O. humifusa*, чем *O. phaeacantha* на основании более высокого содержания сахаров, слизи и высокого показателя индекса вкуса плодов. Результаты настоящего исследования свидетельствуют о перспективности использования также соцветий и кладодий как источников природных антиоксидантов.

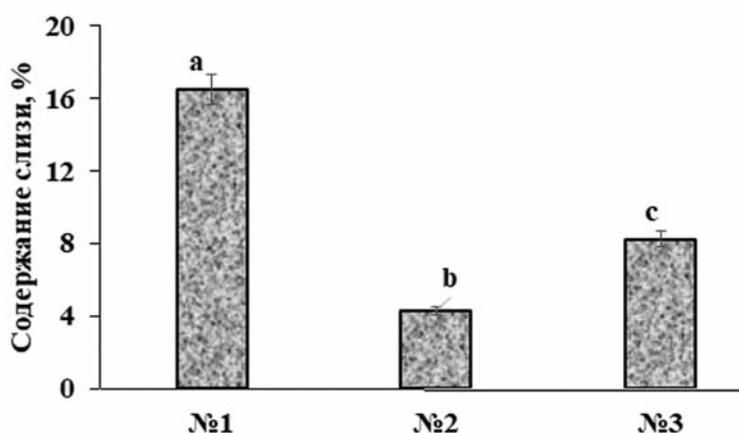


Рис. 6. Содержание слизи в плодах опунции (1 – *O. humifusa*, 2 – *O. phaeacantha* и 3 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*), в расчете на сухую массу. Значения с разными индексами достоверно различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$
 Fig. 6. Mucilage content in *Opuntia* fruit (1 – *O. humifusa*, 2 – *O. phaeacantha* и 3 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*), per d.w. Values with different letters differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$



Рис. 7. Использование опунций
Fig. 7. Prickly pear utilization

Таблица 2. Перспективы использования исследованных видов опунций
Table 2. Prospects of *O. humifusa*, *O. phaeacantha* and *O. engelmannii* utilization

Вид Species	Плоды Fruit	Кладодии Cladodes	Соцветия Florets
<i>O. humifusa</i>	Слизь, моносахара, сумма сахаров, ИВ Mucilage, monosaccharides, total sugar, Taste Index	–	Орг. к-ты Organic acids
<i>O. phaeacantha</i>	АОА	TP, АОА	TP
<i>O. engelmannii</i>	Орг. к-ты Organic acids Сумма сахаров Total sugar	Орг. к-ты, АОА, ИВ Organic acids, AOA, Taste Index	Орг. к-ты, АОА organic acids

АОА- общая антиоксидантная активность, TP- общее содержание полифенолов, ИВ- индекс вкуса

Что касается *O. engelmannii*, то в настоящее время этот вид чаще всего используют как декоративное растение, для создания живой изгороди, а плоды применяют в пищевой промышленности [34]. С другой стороны, высокое содержание органических кислот, сахаров и высокий уровень общей антиоксидантной активности предполагают существование более широкого спектра применения *O. engelmannii*.

Заключение

Результаты проведенного исследования представляют первую подробную биохимическую харак-

теристику распределения антиоксидантов, сахаров и селена между плодами, кладодиями и соцветиями трех видов опунций, произрастающих на южном и юго-восточном побережье Крыма и предполагают расширение спектра их использования в различных отраслях народного хозяйства. При этом необходимо проводить контроль за распространением этих видов за пределы мест их культивирования, исключить их использование в природных местообитаниях с целью укрепления оползневых склонов, так как это приводит к деградации растительных сообществ, в том числе сокращению численности редких видов.

● Литература

1. Backeberg C. Das Kakteen lexicon. Enumeratio diagnostic Cactacearum. Jena, 1976. 589 p.
2. Anderson E.F. The cactus family. Portland. 2001. 777 p.
3. Hunt D.R. CITES *Cactaceae* Checklist. England. 2016. 174 p.
4. The Plant List. 2013. Version 1.1. URL: <http://www.theplantlist.org/>
5. POWO – Plant of the World On-line. 2024. URL: <https://powo.science.kew.org/>
6. Novoa A., Le Roux, J.J., Robertson, M.P., Wilson, J.R.U., Richardson, D.M. Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*. 2015;7:plu078. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
7. Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э., Чичканова Е.С., Перминова Я.А. Характеристика плодов и семян натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (*Cactaceae*). *Ботанический журнал*. 2021;106(10):1002-1015. <https://doi.org/10.31857/S0006813621100033>
<https://elibrary.ru/skhenh>
8. Le Houérou H.N. Cacti (*Opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in the Mediterranean basin. *Acta Hort*. 2002;581:21-46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.581.1>
9. Mohamed-Yasseen Y., Barringer S.A., Splittstoesser W.E. A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. *J. Arid Environ*. 1996;32:347-353.
10. Nobel P.S. Environmental Biology, in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta-Barrios, E. (Eds.), Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. *FAO-Plant Production and Protection Paper, Rome*. 1995;132:36-48.
11. Ramadan M.F., Ayoub T.E.M., Rohn S. *Opuntia* spp.: Chemistry, bioactivity and industrial application. – Springer, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7>
12. Афанасьев В.Е. О способах иммиграции новых видов во флору Астраханской области. *Вестник Астраханского гос. технического университета*. 2009;1(48):89-91. <https://elibrary.ru/kufpvn>
13. Бялт В.В. *Opuntia* Mill. В кн.: Конспект флоры Восточной Европы. Т. 1. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2012. С.198-200.
14. Ostapko V.M. Escape in the wild of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Donbass. *Industrial Botany*. 2020;20(3):76-81. <https://elibrary.ru/zktdf>
15. Багрикова Н.А., Перминова Я.А. Характеристика и распространение натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (*Cactaceae*). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):149-160. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-149-160>
<https://elibrary.ru/wujyeb>
16. Inglese P., Basile F., Schirra M., Cactus per fruit production, in: Nobel, P. S. (Ed.), Cacti. Biology and Uses, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London. 2002. P.163-183.
17. Barba F.J., Garcia C., Fessard A., Munkatac P.E.S., Lorenzo J.M., Abouadiad A., Ouadiad A., Remize F. *Opuntia Ficus Indica* Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. *Food Rev. Int*. 2020;38(5):930-952. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844>
18. Rocchetti G., Pellizzoni M., Montesano D., Lucini L. Italian *Opuntia ficus-indica* Cladodes as Rich Source of Bioactive Compounds with Health-Promoting Properties. *Foods*. 2018;7(2):24. <https://doi.org/10.3390/foods7020024>
19. Dok-Go H., Lee K.H., Kim H.J., Lee E.H., Lee J., Song Y.S., Lee Y.H., Jin C., Lee Y.S., Cho J. Neuro-protective effects of antioxidative flavonoids quercetin, β -dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. *Brain Res*. 2003;965:130–136. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(02\)04150-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(02)04150-1)
20. Stintzing F.C., Herbach K.M., Mosshammer M.R.; Carle, R.; Yi, W.; Sellappan, S.; Akoh, C.C.; Bunch, R.; Felker, P. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *J. Agric. Food Chem*. 2005;53:442–451.
21. Shoukat R., Cappai M., Pia G., Pilia L. An Updated Review: *Opuntia ficus indica* (OFI) Chemistry and Its Diverse Applications. *Appl. Sci*. 2023;13:7724. <https://doi.org/10.3390/app13137724>
22. Madrigal-Santillán E., García-Melo F., Morales-González J.A., Vázquez-Alvarado P., Muñoz-Juárez S., Zuñiga-Pérez C., Sumaya-Martínez M.T., Madrigal-Bujaidar E., Hernández-Ceruelos A. Antioxidant and anticlastogenic capacity of prickly pear juice. *Nutrients*. 2013;5(10):4145-4158. <https://doi.org/10.3390/nu5104145>
23. Nunez-Castelum J.A., Conzalez-Fernandez R., Hernandez-Herrera A., Campas-Baypoli O. N., Rodriguez-Ramirez R., Lobo-Galo N., Valero-Galvan J. Morphological characteristics, chemical composition and antioxidant activity of seeds by four wild *Opuntia* species from North of Mexico. *JPAED*. 2018;20:23-33.
24. Dubeux J.C.B., dos Santos M.V.F., da Cunha M.V., dos Santos D.C., de Almeida Souza R.T., de Mello A.C.L., de Souza T.C. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *AFST*. 2021;275:114890. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
25. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods of their utilization. Moscow 2020, Infra-M, 257 p.
26. Swamy P.M. Laboratory Manual on Biotechnology. Rastogi Publications: Meerut, India, 2008. 617 p
27. ISO 750-2013 Fruit and vegetable products. Determination of titratable acidity. 2013. Standartinform, Moscow.
28. Navez B., Letard M., Graselly D., Jost J. 'Les critères de qualité de la tomate', Infos-Ctifl 1999, 155. P. 41-47.
29. Otálora M.C., Wilches-Torres A., Lara C.R., Cifuentes G.R., Gómez Castaño J.A. Use of *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics. *Polymers*. 2022;14:3832. <https://doi.org/10.3390/polym14183832>
30. Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. *Anal. Chim. Acta*. 1984;165:187-194. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)85199-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)85199-5)
31. Компот из опунции. 2018. URL: <https://nikitasad.ru/bez-rubriki/kompot-iz-opuntsii/>
32. Yoon J.-A., Hahm S.-W., Son Y.-S. Nutrients Contents in Different Parts of Prickly Pear (*Opuntia humifusa*) and Possible Anti-Breast Cancer Effect 2009. *Korean J. Food Nutr*. 2009;22(4).
33. Obi K., Frolova L., Fuierer P. Preparation and performance of prickly pear (*Opuntia phaeacantha*) and mulberry (*Morus rubra*) dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*. 2020;208:312–320. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.006>
34. Waal H.O. *Opuntia ficus-indica* and *O. engelmannii* and its utilisation as processed animal feed. *Acta Hort*. 2022;1343:18. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.18>
35. Ngoc L.T.N., Moon J.Y., Lee Y.C. Beneficial Effects of *Opuntia humifusa* (Korean Cheonnyuncho) on Human Health Based on Antioxidant Properties: Systematic Review and Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(1):174. <https://doi.org/10.3390/antiox12010174>
36. Cha M.N., Jun H.I., Lee W.J., Kim M.J., Kim, M.K., Kim Y.S. Chemical

composition and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) fruit. *Food Sci Biotechnol.* 2013;22:523-529. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0110-0>

37. Shin D.-S., Han G.-J., Oh S.-G., Park, H.-Y. Functional component analysis and physical property of Cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*) powder. *Korean J. Food Preservation.* 2015;22(6):838-844. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.6.838>

38. Adjeroud N., Elabbas S., Merzouk B., Hammoui Y., Felkai-Haddache L., Remini H., Leclerc J.-P., Madani K. Effect of *Opuntia ficus-indica* Mucilage on Copper Removal from Water by Electrocoagulation-Electroflotation. *Technique. J. Electroanal. Chem.* 2018;811:26–36. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.12.081>

39. Salehi E., Emam-Djomeh Z., Fathi M., Askari G. Emerging Natural Hydrocolloids. John Wiley & Sons; Chichester, UK: 2019.

40. Багрикова Н.А., Голубкина Н.А., Науменко Т.С. Антиоксидантный статус натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia*. Труды НОЦ-Ботанический сад МГУ. Вып. VII Роль коллекций в сохранении биоразнообразия суккулентных растений ex-situ: материалы Всероссийской Научно-Практической Конференции с Международным участием (Москва, 16-20 октября 2023). М., 2024. С.21-25.

41. Liu H., Xiao C., Qiu, T., Deng, J., Cheng, H., Cong, X., Cheng, S., Rao, S., Zhang, Y. Selenium Regulates Antioxidant, Photosynthesis, and Cell Permeability in Plants under Various Abiotic Stresses: A Review. *Plants.* 2023;12:44. <https://doi.org/10.3390/plants12010044>

42. Sepúlveda E., Saenz C., Aliaga E., Aceituno C. Extraction and Characterization of Mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.* 2007;68(4):534-545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>

43. Melgar B., Pereira E., Oliveira M., Ferreira I.C.F.R. Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. *Food Res. Int.* 2017;101:259-265. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.024>

44. Allegra A., Sortino G., Inglese P., Settanni L., Todaro A., Gallotta A. The Effectiveness of *Opuntia ficus-indica* Mucilage Edible Coating on Post-Harvest

Maintenance of 'Dottato' Fig (*Ficus carica* L.) Fruit. *Food Packag. Shelf Life.* 2017;12:135-141. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2017.04.010>

• References (In Russ.)

7. Bagrikova N.A., Ryff L.E., Chichkanova E.S., Perminova YA.A. Features of fruits and seeds of *Opuntia* (*Cactaceae*) species naturalized in Crimea. *Botanicheskii zhurnal.* 2021;106(10):1002-1015 <https://doi.org/10.31857/S0006813621100033>. <https://elibrary.ru/skhenh>

12. Afanasyev V.E. On methods of immigration of new species into the flora of the Astrakhan region. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University.* 2009;1(48):89-91. <https://elibrary.ru/kufpvv>

13. Byalt V.V. *Opuntia* Mill. In: Conspectus florae of Eastern Europe. Vol. 1. St. Petersburg; Moscow: KMK; 2012. P. 198-200.

14. Ostapko V.M. Escape in the wild of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Donbass. *Industrial Botany.* 2020;20(3):76-81. <https://elibrary.ru/zkttdf>

15. Bagrikova N.A., Perminova Ya.A. Characteristics and distribution of the *Opuntia* (*Cactaceae*) representatives naturalized in Crimea. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding.* 2022;183(3):149-160. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-149-160>

<https://elibrary.ru/wujyeb>

25. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods of their utilization. Moscow 2020, Unfra-M, 257 p.

31. Prickly pear kompote. 2018. URL: <https://nikitasad.ru/bez-rubriki/kompotiz-opuntsii/>

40. Bagrikova N.A., Golubkina N.A., Naumenko T.S. Antioxidant status of *Opuntia* in the Crimea. Int. Conf. 'The role of collections in preserving the biodiversity of succulent plants ex situ' 2023. 16-20.10.23. Moscow State University Botanic Garden Reports, Moscow. 2024;(VII):21-25.

Об авторах:

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, автор для переписки, segolubkina45@gmail.com, SPIN-код: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Наталья Александровна Багрикова – доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории природных экосистем Никитский Ботанический Сад РАН, nbagrik@mail.ru, SPIN-код: 9298-0370, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Владимир Александрович Лапченко – научный сотрудник, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагский Природный Заповедник, ozon.karadag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6441-710X>

Елена Витальевна Лапченко – инженер, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагский Природный Заповедник, elenalapchenko@gmail.com

Татьяна Сергеевна Науменко – канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, Никитский Ботанический Сад РАН, tanya_yalta@inbox.ru, SPIN-код: 3875-8548, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Геннадий Дмитриевич Левко – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаб. зеленых, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0003-0865-3228>, gennadylevko@yandex.ru

About the Authors:

Nadezhda A. Golubkina – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of Laboratory-Analytical Department, Correspondence Author, segolubkina45@gmail.com, SPIN-code: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Natalia A. Bagrikova – Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of Natural Ecosystems Laboratory, Nikitsky Botanic Garden RAS, nbagrik@mail.ru, SPIN-code: 9298-0370, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Vladimir A. Lapchenko – Researcher, Department of Biodiversity and Ecological Monitoring, Karadag Nature Reserve, ozon.karadag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6441-710X>

Helene V. Lapchenko – Engineer, Department of Biodiversity and Ecological Monitoring, Karadag Nature Reserve, elenalapchenko@gmail.com

Tatiana S. Naumenko – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of aromatic and medicinal plants, Nikitsky Botanic Garden RAS, tanya_yalta@inbox.ru, SPIN-code: 3875-8548, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Gennady D. Levko – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0865-3228>, gennadylevko@yandex.ru