

Научная статья
УДК 631.4:581.192.4: 581.5
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>

Накопления элементов в системе «Почва-растение» *Capparis spinosa* L., произрастающего в различных регионах: сравнительный аспект

Камолиддин Чориевич Курбонов, Гузал Икромовна Аманова,
Алимжон Давлатбоевич Матчанов, Жамолитдин Фазлитдинович Зиявитдинов,
Наиль Жадитович Сагдиев

Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Автор, ответственный за переписку: Зиявитдинов Жамолитдин Фазлитдинович,
Jamolitdin@mail.ru

Аннотация

Capparis spinosa L. представляет собой ксерофитный вид, обладающий высокой устойчивостью к засухе, экстремальным температурам и дефициту почвенной влаги. Благодаря своим биологическим особенностям растение эффективно предотвращает эрозию почв и сдерживает процессы деградации земель. Работа посвящена изучению роли минерального обмена в адаптации *C. spinosa* к условиям засоления. На основе сравнительного анализа элементного состава почв и вегетативных органов растений, отобранных в контрастных экотопах, выявлены ключевые механизмы солеустойчивости данного вида. В почвах и образцах *C. spinosa* идентифицированы и количественно определены 25 элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Pb, Cd, Cr, Hg). Содержание макроэлементов в почвах уменьшалась в такой последовательности: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S. В исследуемых образцах *C. spinosa* обнаружена высокоэффективная аккумуляция калия (K) (КБП > 10), тогда как для серы (S), фосфора (P) и натрия (Na) проявляются свойства гипераккумуляции (КБП > 1.0-10.0), а для магния (Mg) и стронция (Sr) средней аккумуляцией (КБП > 0.1-1.0). *C. spinosa* аккумулирует кальций (Ca), железо (Fe) и алюминий (Al) в ограниченных количествах для осуществления метаболических процессов (КБП > 0.01-0.1).

Ключевые слова

Capparis spinosa, макроэлементы, микроэлементы, соли тяжелых металлов, Аралкум, почвенный разрез, ICP-OES, Коэффициент Биологического Поглощения (КБП)

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова. Дополнительное финансирование (гранты) на проведение данных исследований не привлекалось.

Для цитирования

Курбонов К.Ч., Аманова Г.И., Матчанов А.Д. и др. Накопления элементов в системе «Почва-растение» *Capparis spinosa* L., произрастающего в различных регионах: сравнительный аспект. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):101. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>

BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>

Elemental composition in the “soil-plant” system of *Capparis spinosa* L. growing in different regions: a comparative aspect

Kamoliddin Ch. Kurbonov, Guzal I. Amanova, Alimzhon D. Matchanov,
Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, Nail Zh. Sagdiev

Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Corresponding author: Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, Jamolitdin@mail.ru

Capparis spinosa L. is a xerophytic species with high resistance to drought, extreme temperatures, and soil moisture deficiency. Due to its biological characteristics, the plant effectively prevents soil erosion and land degradation. This study focuses on the role of mineral metabolism in the adaptation of *C. spinosa* to saline conditions. Based on a comparative analysis of the elemental composition of soils and vegetative plant organs sampled from contrasting ecotopes, the key mechanisms of salt tolerance in this species have been identified. In soils and *C. spinosa* samples, 25 elements were identified and quantified: nine macroelements (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), twelve microelements, and four heavy metals (Pb, Cd, Cr, Hg). The content of macroelements in soils decreased in the following sequence: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S. In the studied *C. spinosa* samples, highly efficient potassium (K) accumulation was detected (BAC > 10), while sulfur (S), phosphorus (P), and sodium (Na) exhibited hyperaccumulation properties (BAC > 1.0-10.0). Magnesium (Mg) and strontium (Sr) showed moderate accumulation (BAC > 0.1-1.0). *C. spinosa* accumulates calcium (Ca), iron (Fe), and aluminium (Al) in limited quantities to support metabolic processes (BAC > 0.01-0.1).

Keywords

Capparis spinosa, macroelements, microelements, heavy metal salts, Aralqum, soil profile, ICP-OES, Biological Absorption Coefficient (BAC)

Финансирование

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov. No additional funding (grants) was obtained for this research.

For citation

Kurbonov K.Ch., Amanova G.I., Matchanov A.D. et al. Elemental composition in the “soil-plant” system of *Capparis spinosa* L. growing in different regions: a comparative aspect. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):101. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>

Введение

Introduction

Макро- и микроэлементы поступают в растения в основном через корневую систему, при этом листовая поверхность также может участвовать в этом процессе. Почва является ключевым источником этих элементов, а их адсорбция корнями – основной путь поступления [1]. Эффективность поглощения элементов растениями определяется несколькими факторами включая агрофизические и агрохимические свойства почв, химическую природу самих элементов и физиологические особенности растений [2]. Растения являются эффективными накопителями минеральных соединений. Макроэлементы необходимы для структурного построения тканей, поддержания осмотического

давления, а также ионного и кислотно-основного баланса. Микроэлементы в свою очередь повышают устойчивость растительного организма к различным стрессовым факторам [3]. Семейство *Capparidaceae* включает в себя 350 видов, в том числе каперс колючую (*Capparis spinosa* L.). *C. spinosa* широко распространена в основном в Средиземноморском регионе, в Южной Европе, Северной Африке, Западной и Центральной Азии. Это ксерофитное многолетнее растение с колючей ветвистой, глубокой и широкой корневой системой [4].

Спиртовые экстракты органов растения *C. spinosa* обладают антиоксидантным [5, 9], гепатопротекторным [6], нейропротекторным [7], антибактериальным [8, 9], противогрибковым [5, 9], противораковым [12] и противовоспалительным [13] действием, также используются при лечении сахарного

диабета [11] и артрита [14]. Активные соединения, способствующие этим эффектам, в основном связаны с действием флавоноидов, фенольных кислот, алкалоидов, эфирных масел, жирных кислот и полисахаридов [15]. *C. spinosa* является устойчивой к засухе, высоким температурам и значительным потерям влаги в почве, а также весьма полезным видом для предотвращения эрозии почв и деградации земель [16].

Анализ структурных изменений минерального состава различных органов *C. spinosa* в период с апреля по сентябрь выявил пиковое накопление минералов в плодах к сентябрю [17]. Эти плоды, как и семена [18], демонстрируют высокое содержание микроэлементов. Важно отметить, что исследования также показали существенные различия в концентрациях металлов (в том числе тяжелых) и неметаллов между видами *C. spinosa* и *C. ovata*, произрастающими на двух разных территориях Турции [19].

В исследованиях *C. spinosa*, широко распространенного в Ферганской долине, было установлено, что наибольшее количество макро- и микроэлементов накапливается в плодах и цветках растения, а наименьшее – в корнях и корневой коре [20]. Также было проанализировано изменение содержания элементов в *C. spinosa* под влиянием свойств почвы, вида растения, природно-климатических условий и других факторов. Отмечены изменения в составе элементов в зависимости от физиологических особенностей органов растения [21].

Исследования показали, что в почвах Приаралья наблюдается постоянное увеличение концентрации минеральных солей включая сульфаты, хлориды, карбонаты и нитраты. Это свидетельствует о продолжающихся процессах почвообразования, которые в свою очередь оказывают воздействие на формирование растительного покрова [22].

Усвоение растениями минеральных элементов из почвы выражается через Коэффициент Биологического Поглощения (КБП). Для его расчета используется следующая формула: $КБП = \frac{C_{растение}}{C_{почва}}$. Данный показатель служит важным критерием для определения способности растений абсорбировать минеральные элементы, а также для отбора видов, перспективных для фитомелиорации. КБП имеет относительное значение, и могут наблюдаться изменения в количестве и качестве элементов, содержащихся в растениях одного и того же вида в разных почвенных условиях [23]. При значении коэффициента биологического поглощения выше единицы (КБП > 1) растение может усваивать больше элементов из почвы, если меньше единицы (КБП < 1), то растение может усваивать меньше элементов из почвы. В соответствии со шкалой, основанной на диапазоне значений КБП, растения подразделяются на следующие группы:

высокоаккумуляторные (1.0-10), среднеаккумуляторные (0.1-1.0), малоаккумуляторные (0.01-0.1) и неаккумуляторные (≈ 0.01) [24].

Согласно данным, предоставленным автором М.Н. Erdanov, на территории Сурхандарьинской области распространены такыры и сероземы. Такыровидные сероземы характеризуются тяжелым механическим составом и плоским рельефом. Содержание гумуса в такырных сероземах низкое и составляет 0.40-1.03%. В пустынной зоне Шерабада светлые и типичные сероземы подвержены процессам засоления, что обуславливает необходимость комплексных мелиоративных мероприятий для повышения их плодородия [25]. Сравнительная характеристика почв Ташкентского, Самаркандского, Мирзачульского регионов и Сурхан-Шерабадской долины подробно рассмотрена в исследованиях G.T. Parpiyev и R.Q. Qo'ziyev [26]. Материалы, представленные сотрудниками Института биоорганической химии [27], отражают особенности почв засушливой части Приаралья включая механический состав, содержание гумуса, уровень pH, специфику солевого состава и степень засоления, а также концентрацию токсичных солей.

В наших предыдущих исследованиях [28] были выделены водорастворимые соли из почв четырех регионов с последующим определением их качественного и количественного состава. Анализ выполнен с использованием порошкового рентгеновского дифрактометра. Установлено, что содержание водорастворимых солей в почвах исследуемых территорий уменьшается в следующем порядке: Аралкум (0.87%), Сурхандарья (0.71%), Ташкент (0.59%), Самарканд (0.39%). Определено, что соли представлены преимущественно фосфатами, хлоридами, сульфатами и карбонатами. Наибольшая доля хлорида натрия выявлена в почвах Приаралья (8.3%), тогда как минимальная – в Ташкентской области (0.4%).

На сегодняшний день объем научно-исследовательских работ, посвященных изучению *C. spinosa* в Узбекистане, особенно на территориях, подверженных значительному антропогенному воздействию – таких, как высохшее дно Аральского моря, является недостаточным. С учетом уникальных адаптивных способностей и потенциальной ценности этого вида проведение комплексных исследований в данном направлении приобретает особую актуальность и является одним из важнейших вопросов.

Цель исследований: сравнительное изучение качественного и количественного состава макро- и микроэлементов в *C. spinosa*, произрастающей в различных природно-климатических зонах Узбекистана, характеризующихся разной степенью засоления почв (Самаркандская, Сурхандарьинская, Ташкентская области и Аралкум).

Методика исследований

Research method

Объектом исследований явились биоматериалы *C. spinosa*, сбор которых осуществлялся в августе-сентябре 2024 г. в четырех различных засоленных зонах Узбекистана. Подготовку растительных образцов проводили путем их сушки при комнатной температуре без прямого воздействия солнечного света. Отбор проб грунта выполнялся непосредственно в местах произрастания растений с формированием земляных срезов на двух глубинах: 0-20 см и 40-50 см. Для определения механического состава образцы почвы измельчались в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивались через сито с соответствующими отверстиями (метод Качинского) [29].

Для подготовки образцов к анализу по 0.1 г (точная навеска) каждого образца помещали в тефлоновые бюксы. Минерализацию растительного материала проводили добавлением 3 мл

концентрированной HNO_3 и 2 мл H_2O_2 . Для расщепления минералов грунта к образцам в бюксы добавляли 3 мл концентрированной HNO_3 , 2 мл H_2O_2 и 1 мл концентрированной HCl . Полученную смесь подвергали микроволновому разложению в системе *Speedwave Xpert* (Германия). Влажное разложение осуществлялось в течение 35-45 мин при температуре 230°C и давлении 40 бар. После охлаждения автоклава содержимое количественно переносили в мерные колбы объемом 100 мл и доводили до метки деионизированной водой. Количество макро- и микроэлементов определяли на приборе ICP-OES Avio-200 (Perkin Elmer, США). Для калибровки использовали Интеллектуальный многоэлементный стандарт Agilent Technologies, Inc (Артикул: 5191-3933) [30].

Следует отметить, что результаты данных исследований применимы исключительно к образцам почв и органов (корней, стеблей, листьев) *C. spinosa*, собранным в указанных географических координатах (рис. 1).

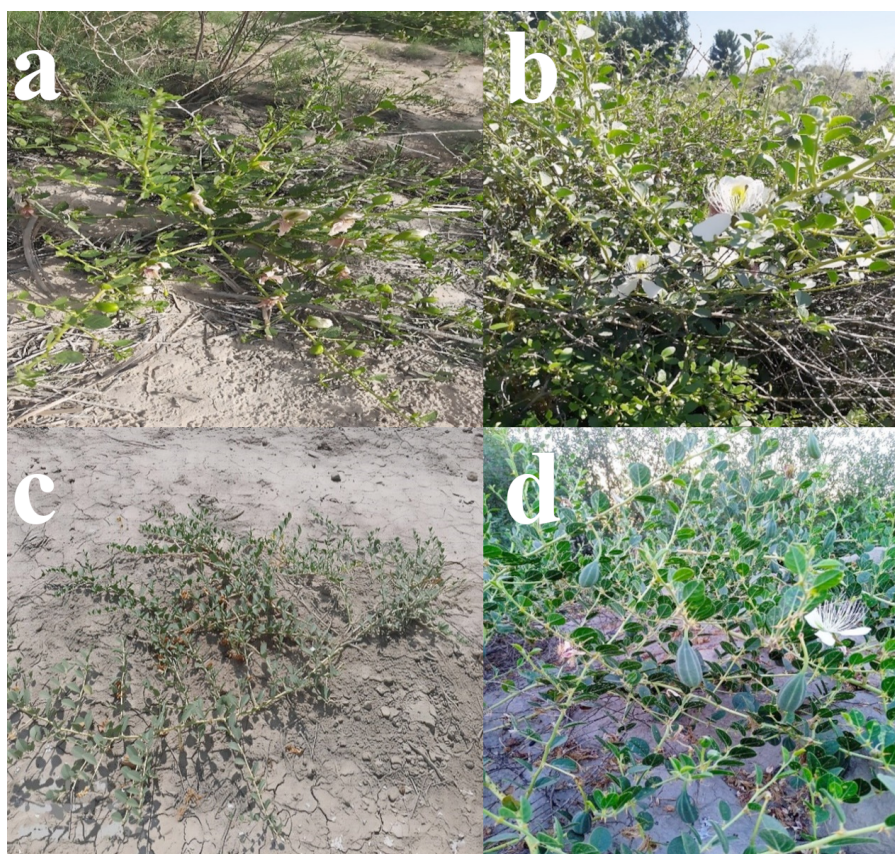


Рисунок 1. Фотографии *C. spinosa*. Географические координаты местности сбора растения и отбора почвы: (a) – Аралқум, Муйнақский район Республикасы Қарақалпақстан, N43°77'43.3, E60°20'28.1; (b) – Самарқанд, Нарпайский район Самарқандской области, N40°01'33.7, E65°89'75.1; (c) – Музrabатский район Сурхандарьинской области, N37°23'37.9, E66°40'04.3; (d) – Янгиульський район Ташкентской области, N41°13'34.7, E68°85'21.8.

Figure 1. Photographs of *C. spinosa*. Geographical coordinates of the plant and soil sampling sites: (a) Aralqum, Muynak District, Karakalpak Republic: N43°77'43.3, 60°20'28.1; (b) Samarkand, Narpay District, Samarkand Region: N40°01'33.7, E65°89'75.1; (c) Muzrabot District, Surkhandarya Region: N37°23'37.9, E66°40'04.3; (d) Yangiyul District, Tashkent Region: N41°13'34.7, E68°85'21.8.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Место отбора проб почвы и растения находится в Сурхандарьинской области и представляет собой равнину, спускающуюся с севера на юг к Амударье и приближающуюся к южной части горного хребта Кохитанг на западе. Средняя температура в январе составляет от 0 до +2°C, в июле – от +37 до +48°C; лето длинное, жаркое и сухое. Годовое количество осадков составляет 110-120 мм, вегетационный период – 250-280 дней; на территорию сильно влияет афганский ветер. Почва засоленная, произрастают верблюжья колючка (*Alhagi pseudalhagi*), саксаул (*Haloxylon aphyllum*) и тростник (*Phragmites communis*).

Местность Самарканда, где отобраны образцы, представляет собой долины, а вдоль северной границы протекает река Зарафшан. Климат резко континентальный, жаркий и сухой летом, холодный зимой. Средняя температура в январе составляет от 0 до –2°C, в июле – от +27 до +44°C. Вегетационный период – 200 дней. Годовое количество осадков – 200 мм. Большая часть осадков выпадает весной и зимой. Почвы – серые с орошаемыми участками. Среди дикорастущих растений произрастают марь (*Chenopodium albomi*), Пырей ползучий (*Elytrigia repens*), тростник (*P. communis*), гребенщик (*Tamarix ramosissima*).

Место отбора проб в Ташкентской области расположено в предгорьях. Почвы – серые, травянистые. Климат континентальный, средняя температура в январе составляет –2°C, в июле – +26-42°C, вегетационный период – 210 дней. Годовое количество осадков – 280-282 мм. Среди дикорастущих растений встречаются тростник (*P. communis*), верблюжья колючка (*A. pseudalhagi*), свиной пальчатый (*Cynodon dactylon*).

Местность Аралкум, где были отобраны образцы, расположено на высохшем дне Аральского моря. Почва болотисто-луговая, аллювиально-глинистая. Климат строго континентальный. Средняя температура в январе колеблется от –5 до –7.4°C, а в июле – от +26.3 до +43°C. Вегетационный период составляет 213 дней. Среднегодовое количество осадков – 105 мм, преимущественно весной и зимой. В дикой природе произрастают верблюжья колючка (*A. pseudalhagi*), гребенщик (*T. ramosissima*) и саксаул (*H. aphyllum*).

Результаты механического состава образцов почв, определенные методом Качинского, представлены в таблице 1.

В ходе проведенных исследований установлено, что механический состав почв – от песка рыхлого до глины легкой.

С использованием метода ICP-OES был проведен анализ элементного состава почвенных

горизонтов и органов *C. spinosa*, произрастающей на исследуемых территориях (табл. 2, 3).

В почвах идентифицированы и количественно определены 25 элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Pb, Cd, Cr, Hg) (табл. 2). Содержание макроэлементов уменьшалась в такой последовательности: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S.

Как известно, у *C. spinosa* – мощная стержневая корневая система, уходящая в глубину до 70 см [31]. После 4-5 месяцев роста корневая система каперса составляет 62.5% от общей биомассы растения [32]. Благодаря глубоко проникающим длинным корням растение способно переносить длительные засухи и воздействие высоких температур [33]. Корни выделяют кислотные соединения, которые могут проникать сквозь камни и трещины, чтобы добраться до водных ресурсов, а также происходит усваивание макро- и микроэлементов [34]. Кроме того, у *C. spinosa* очень хорошо развиты сосуды ксилемы в стеблях, что обеспечивает эффективную гидравлическую проводимость [35, 36]. Стоит отметить, что толстые слои коры на стержневых и мочковатых корнях, а также утолщенная зона перехода способны накапливать воду и растворенных в нем питательных веществ и защищать сосудисто-волокнистый пучок от повреждений в условиях засухи [32].

Исходя из вышесказанного нами изучено содержание макро- и микроэлементов в различных органах растений и определены КБП – усвоение растениями минеральных элементов. Полученные результаты приведены в таблицах 3-5.

Исследования показали, что, как и в изученных почвах, органы *C. spinosa* содержат 25 различных элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Cr, Pb, Cd, Hg). Выявлена четкая тенденция снижения содержания макроэлементов в органах *C. spinosa* в зависимости от региона произрастания в такой последовательности: Аралкум, Сурхандарья, Ташкент, Самарканд. Учитывая, что стержневые и мочковатые корни усваивают воду и растворенные в ней почвенные минеральные вещества по всей длине корневой системы, целесообразно рассчитывать КБП по среднему значению содержания макро- и микроэлементов в почве (табл. 5).

Количество кальция в исследуемых почвах оказалось самым высоким. Но растения усваивает его в малых количествах со значением КБП < 1 и *C. spinosa* по отношению кальция является среднеаккумуляторным растением. Кальций поглощается в форме катиона из его растворимых солей. Общее содержание кальция у разных видов растений составляет 5-30 мг на 1 г сухой массы, что соответствует нашим данным.

Таблица 1. Результаты гранулометрического состава почв.
Table 1. Results of soil granulometric analysis.

Место отбора <i>Sampling location</i>	Географические координаты <i>Geographical coordinates</i>	Генетический горизонт, см <i>Genetic horizon, cm</i>	Цвет <i>Color</i>	Количество фракции, % <i>Fraction content, %</i>							
				Песок <i>Sand</i>		Пыль <i>Dust</i>			Ил <i>Silt</i>	Физ. Глина <i>Physical clay</i>	
				>0.25 мм <i>>0.25 mm</i>	0.25-0.1 мм <i>0.25-0.1 mm</i>	0.1-0.05 мм <i>0.1-0.05 mm</i>	0.05-0.01 мм <i>0.05-0.01 mm</i>	0.01-0.005 мм <i>0.01-0.005 mm</i>			0.005-0.001 мм <i>0.005-0.001 mm</i>
Аралкум <i>Aralqum</i>	N43°77'43.3 E60°20'28.1	0-20	Темно-серый <i>Dark-gray</i>	1.4	8.1	27.8	43.7	32.6	34.3	3.6	19.1
		40-50	Сине-серый <i>Blue-gray</i>	2.6	11.4	21.7	32.2	24.7	23.8	3.2	26.2
Сурхандарья <i>Surkhaniyaya</i>	N37°23'37.9 E 66°40'04.3	0-20	Коричневый <i>Brown</i>	0.4	0.1	4.9	69.3	–	–	–	25.3
		40-50	Светло-коричневый <i>Light-brown</i>	1.2	0.3	2.5	42.2	–	–	–	–
Самарканд <i>Samarqand</i>	N40°01'33.7 E65°89'75.1	0-20	Серый <i>Gray</i>	1.2	0.3	10.1	47.2	–	–	–	41.2
		40-50	Серый <i>Gray</i>	1.6	0.4	14.1	48.7	–	–	–	–
Ташкент <i>Tashkent</i>	N41°13'34.7 E68°85'21.8	0-20	Темно-коричневый <i>Dark-brown</i>	2.8	0.7	22.3	28.4	15.8	19.4	10.6	45.8
		40-50	Коричневый <i>Brown</i>	2.4	0.6	10.3	28.1	17.3	31.5	9.9	58.7

Таблица 2. Элементный состав генетических горизонтов почв, мкг/г. Среднее арифметическое ± стандартное отклонение, n=5.

Table 2. Elemental composition of soil genetic horizons, µg/g. Arithmetic mean ± standard deviation, n = 5.

Элементы <i>Elements</i>	Самарканд / <i>Samarkand</i>		Сурхандарья / <i>Surkhandaryya</i>		Ташкент / <i>Tashkent</i>		Аралкүм / <i>Aralqum</i>	
	Глубина, см / <i>Deepness, cm</i>							
	0-20	40-50	0-20	40-50	0-20	40-50	0-20	40-50
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>								
K	1697±18	2112±42	1479±13.2	1677±15.7	2571±37.4	2330±37.4	1789±52.7	2233±66.2
Ca	13370±97	16090±132	19700±82.8	17470±170	15920±122	22050±122	16550±190	18530±188
Na	1428±21	1742±36	1314±10.9	1683±15.6	1149±27	2076±59.1	2172±67.9	1156±43.7
Mg	1798±22	1873±25	1914±14.9	1864±22.4	1824±31	1940±43.2	1911±56.4	1783±50.9
Fe	14890±129	16480±203	13110±75.9	13600±109	18890±90	18770±132	14670±187	14890±171
Sr	177±79	312.1 ±0.97	317.4±1.36	294.6±0.62	209.6±0.35	171±0.59	172.4±0.51	225.3±0.76
Al	6610±40	7692±37	5607±14.8	5738±24	11290±64	10900±176	7727±56.3	7368±57.1
S	45.61±0.28	54.15±0.38	145.2±0.49	145.1±0.51	80.56±0.51	83.46±0.47	80.56±0.59	86.5±0.56
P	49.48±0.29	55.47±0.42	227.9±0.73	248.1±0.41	54.65±0.47	64.88±0.4	54.65±0.51	53.88±0.72
Микроэлементы / <i>Microelements</i>								
Mn	282.8±0.64	353.90±0.8	388.7±0.82	395.7±0.48	487.6±0.48	403.2±0.48	421.5±0.88	420.6±0.53
Zn	37.69±0.46	46.65±0.39	27.66±0.46	30.48±0.31	58.97±0.53	65.96±0.61	34.59±0.86	35.38±0.51
Li	12.39±0.28	15.38±0.36	8.5±0.18	9.99±0.18	17.09±0.52	16.79±0.51	11.96±0.57	12.56±0.47
Rb	0.00	14.04±0.32	8.35±0.19	11.56±0.19	15.92±0.5	15.11±0.43	15.96±0.58	15.11±0.58
Se	4.62±0.29	4.75±0.51	4.36±0.15	4.07±0.14	5.16±0.44	4.38±0.31	4.18±0.31	4.65±0.55
Ba	96.98±0.46	101.8±0.71	43.82±0.44	49.67±0.34	110.0±0.55	116.8±0.85	73.06±0.55	94.5±0.49
Ag	4.03±0.13	3.6±0.37	3.65±0.17	3.8±0.13	4.32±0.48	4.23±0.5	4.42±0.4	4.2±0.5
Be	3.13±0.24	3.03±0.27	3.01±0.11	3.02±0.15	2.94±0.52	2.92±0.34	3.08±0.54	3.09±0.42
Ni	13.83±0.33	17.31±0.46	10.75±0.12	12.64±0.27	25.21±0.54	23.9±0.54	15.85±0.49	14.37±0.42
Cu	10.57±0.3	14.59±0.42	7.31±0.09	7.38±0.3	19.56±0.44	17.95±0.7	14.85±0.51	14.37±0.45
Co	2.48±0.16	4.06±0.49	2.94±0.11	3.92±0.12	6.01±0.48	5.54±0.43	3.98±0.57	3.8±0.47
As	0.28±0.08	0.98±0.28	0.36±0.05	0.75±0.02	0.97±0.11	0.59±0.16	0.78±0.32	0.62±0.13
Тяжёлые металлы / <i>Heavy metals</i>								
Cr	14.93±0.17	17.48±0.33	11.36±0.09	11.28±0.29	34.01±0.43	36.76±0.59	16.5±0.5	16.42±0.5
Cd	2.48±0.19	2.4±0.32	2.5±0.13	2.51±0.1	2.34±0.42	2.35±0.37	2.51±0.3	2.47±0.37
Pb	1.43±0.15	1.17±0.58	2.45±0.1	2.9±0.17	1.66±0.4	1.38±0.25	1.89±0.45	2.49±0.42
Hg	0.01±0.002	0.01±0.003	0.01±0.003	0.01±0.002	0.01±0.001	0.01±0.001	0.01±0.004	0.01±0.001

Таблица 3. Элементный состав органов растения *C. spinosa* Самаркандской и Приаральской популяций, мкг/г. Среднее арифметическое \pm стандартное отклонение, n=5.

Table 3. Elemental composition of *C. spinosa* plant organs from the Samarkand and Aral Sea populations, $\mu\text{g/g}$. Arithmetic mean \pm standard deviation, n = 5.

Элементы <i>Elements</i>	Самарканд / <i>Samarkand</i>			Аралкум / <i>Aralqum</i>		
	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>						
K	4534 \pm 40.3	12410 \pm 72.04	25420 \pm 35.5	31260 \pm 96.8	29970 \pm 176.1	40810 \pm 162.2
Ca	2857 \pm 42.5	5561 \pm 29.6	5199 \pm 45.2	4190 \pm 58.5	3644 \pm 44.1	12720 \pm 262.2
Na	3006 \pm 47.9	3921 \pm 34.1	4542 \pm 27.1	5120 \pm 67.5	2408 \pm 58.8	4574 \pm 60.7
Mg	1511 \pm 43.7	1596 \pm 28.2	1841 \pm 45.5	1769 \pm 59	1535 \pm 55.3	1947 \pm 52.2
Fe	157.4 \pm 0.9	41.05 \pm 0.76	724.5 \pm 0.86	649.6 \pm 2	289.5 \pm 1.69	239.3 \pm 1.13
Sr	56.11 \pm 0.48	52.98 \pm 0.71	364 \pm 0.82	197.2 \pm 0.96	151.4 \pm 0.85	506.9 \pm 1.5
Al	41.21 \pm 1.01	10.98 \pm 0.51	327.1 \pm 0.79	423 \pm 0.98	115 \pm 0.61	98.05 \pm 0.88
S	141 \pm 0.7	83.97 \pm 0.63	245.1 \pm 0.64	353 \pm 0.75	119.2 \pm 0.69	736 \pm 1.19
P	154.4 \pm 0.88	171.6 \pm 0.46	132.7 \pm 0.68	63.7 \pm 0.73	74.91 \pm 0.69	205 \pm 1.15
Микроэлементы / <i>Microelements</i>						
Mn	6.55 \pm 0.74	3.18 \pm 0.37	51.54 \pm 0.72	41.5 \pm 0.91	19.16 \pm 0.51	53.55 \pm 0.67
Zn	6.13 \pm 0.52	2.91 \pm 0.31	17.06 \pm 0.65	67.04 \pm 0.74	42.18 \pm 0.57	53.58 \pm 0.68
Li	2.93 \pm 0.48	2.29 \pm 0.38	12.28 \pm 0.06	1.96 \pm 0.57	2.25 \pm 0.57	4.55 \pm 0.54
Rb	0.68 \pm 0.28	6.33 \pm 0.3	9.12 \pm 0.77	21.52 \pm 0.91	24.23 \pm 0.63	27.41 \pm 0.89
Se	5.12 \pm 0.48	4.91 \pm 0.3	1.95 \pm 0.46	4.6 \pm 0.41	4.64 \pm 0.41	2.97 \pm 0.54
Ba	2.98 \pm 0.82	5.63 \pm 0.27	3.27 \pm 0.66	2.08 \pm 0.48	4.2 \pm 0.67	3.25 \pm 0.82
Ag	3.7 \pm 0.51	3.96 \pm 0.51	2.76 \pm 0.6	3.82 \pm 0.73	4.05 \pm 0.64	3.96 \pm 0.56
Be	2.89 \pm 0.62	2.98 \pm 0.42	2.14 \pm 0.48	2.93 \pm 0.5	3.06 \pm 0.48	2.96 \pm 0.36
Ni	3.59 \pm 0.74	2.38 \pm 0.31	0.69 \pm 0.11	2.18 \pm 0.67	2.01 \pm 0.45	1.5 \pm 0.42
Cu	0.82 \pm 0.41	0.33 \pm 0.13	3.54 \pm 0.32	1.93 \pm 0.44	0.21 \pm 0.06	0.28 \pm 0.11
Co	1.51 \pm 0.41	2.81 \pm 0.25	1.72 \pm 0.36	2.13 \pm 0.59	2.76 \pm 0.38	2.61 \pm 0.53
As	0.03 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01
Тяжёлые металлы / <i>Heavy metals</i>						
Cr	0.43 \pm 0.16	1.27 \pm 0.04	0.63 \pm 0.01	1.71 \pm 0.71	0.58 \pm 0.1	0.85 \pm 0.14
Pb	0.22 \pm 0.11	0.36 \pm 0.08	0.02 \pm 0.001	0.14 \pm 0.04	0.71 \pm 0.06	0.51 \pm 0.13
Cd	0.1 \pm 0.05	0.13 \pm 0.06	0.17 \pm 0.01	0.11 \pm 0.04	0.08 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01
Hg	0.01 \pm 0.008	0.01 \pm 0.007	0.01 \pm 0.008	0.01 \pm 0.007	0.02 \pm 0.008	0.02 \pm 0.01

Таблица 4. Элементный состав органов растения *C. spinosa* Ташкентской и Сурхандарьинской популяций, мкг/г. Среднее арифметическое \pm стандартное отклонение, n=5.

Table 4. Elemental composition of *C. spinosa* plant organs from the Tashkent and Surkhandarya populations, $\mu\text{g/g}$. Arithmetic mean \pm standard deviation, n = 5.

Элементы <i>Elements</i>	Ташкентская популяция / <i>Tashkent population</i>			Сурхандарьинская популяция / <i>Surkhandarya population</i>		
	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>						
K	24580 \pm 173	24950 \pm 160	27610 \pm 147	24390 \pm 184	16010 \pm 111	39250 \pm 173
Ca	5369 \pm 60	3056 \pm 80.5	11390 \pm 112	5745 \pm 60	6338 \pm 46.2	5241 \pm 72.9
Na	3266 \pm 85.9	1751 \pm 54.1	2563 \pm 68.1	3136 \pm 45.1	2006 \pm 58	3934 \pm 68.9
Mg	1748 \pm 68.1	1642 \pm 59.4	1958 \pm 44	1687 \pm 44.8	1528 \pm 48.05	1838 \pm 58.1
S	327.5 \pm 1.76	134 \pm 1.24	456.1 \pm 1.38	266.3 \pm 1.11	84.94 \pm 0.68	398.5 \pm 1.32
P	226 \pm 1.33	256.5 \pm 2.71	271.8 \pm 1.3	224.4 \pm 0.93	202.2 \pm 1.05	231.9 \pm 1.34
Sr	14.1 \pm 1.18	9.01 \pm 1.33	13.5 \pm 1.24	12.57 \pm 1.04	15.59 \pm 1.15	11.8 \pm 1.32
Fe	717.1 \pm 0.91	171.3 \pm 1.39	755.6 \pm 1.39	461.4 \pm 1.14	47 \pm 0.8	114.5 \pm 0.88
Al	37.7 \pm 0.94	33.4 \pm 1.18	50.9 \pm 1.45	29 \pm 0.85	10.57 \pm 0.95	17.87 \pm 1.39
Микроэлементы / <i>Microelements</i>						
Zn	41.33 \pm 0.85	15.13 \pm 0.95	15.9 \pm 1.43	62.16 \pm 0.88	30.03 \pm 0.99	19.3 \pm 1.14
Mn	32.65 \pm 1.41	12.54 \pm 0.9	80.87 \pm 1.41	15.84 \pm 0.98	8.86 \pm 0.79	19.02 \pm 1.15
Rb	0.52 \pm 0.11	0.23 \pm 0.11	0.41 \pm 0.04	0.51 \pm 0.04	0.19 \pm 0.07	0.11 \pm 0.09
Li	1.36 \pm 0.18	2.57 \pm 0.45	3.44 \pm 0.9	2.30 \pm 0.47	2.12 \pm 0.66	10.67 \pm 1.11
Ba	0.98 \pm 0.34	3.99 \pm 0.87	0.33 \pm 0.02	2.79 \pm 0.6	5.68 \pm 0.86	5.02 \pm 0.49
Ag	3.65 \pm 0.61	3.81 \pm 0.92	3.81 \pm 0.87	3.84 \pm 0.74	3.88 \pm 0.58	3.64 \pm 0.48
Se	4.38 \pm 0.56	4.72 \pm 0.83	3.18 \pm 0.95	3.82 \pm 0.63	3.89 \pm 0.62	2.12 \pm 0.44
Be	2.78 \pm 0.63	2.89 \pm 0.73	2.83 \pm 0.67	2.91 \pm 0.5	2.92 \pm 0.54	2.78 \pm 0.41
Co	2.21 \pm 0.42	1.23 \pm 0.98	2.3 \pm 0.79	2.45 \pm 0.44	2.72 \pm 0.48	2.58 \pm 0.46
Ni	0.84 \pm 0.27	0.47 \pm 0.27	0.7 \pm 0.34	0.66 \pm 0.22	2.09 \pm 0.44	1.25 \pm 0.47
Cu	2.71 \pm 0.62	0.51 \pm 0.26	0.52 \pm 0.11	1.83 \pm 0.54	0.68 \pm 0.42	0.13 \pm 0.04
As	0.07 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01
Тяжёлые металлы / <i>Heavy metals</i>						
Pb	0.35 \pm 0.09	0.45 \pm 0.21	0.33 \pm 0.11	0.72 \pm 0.1	0.48 \pm 0.1	0.19 \pm 0.06
Cd	0.05 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01
Cr	0.75 \pm 0.23	0.02 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	0.71 \pm 0.2	1 \pm 0.49	0.72 \pm 0.1
Hg	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.007	0.02 \pm 0.007	0.02 \pm 0.008

Таблица 5. Коэффициенты биологического поглощения корней и аккумуляции в надземных органах растения *C. spinosa* минеральных веществ почвы. К – Корень, С – Стебель, Л – Листья.

Table 5. Biological absorption coefficients of roots and accumulation of soil minerals in above-ground organs of *C. spinosa*. R – Root, S – Stem, L – Leaves.

	Сурхандарья <i>Surkhandarya</i>			Самарканд <i>Samarkand</i>			Ташкент <i>Tashkent</i>			Аралкум <i>Aralqum</i>		
	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L
К	15.46	10.15	24.87	2.38	6.52	13.3	10.03	10.18	11.27	15.54	14.90	20.29
Ca	0.31	0.34	0.28	0.19	0.38	0.35	0.28	0.16	0.60	0.24	0.21	0.73
Na	2.10	1.34	2.63	1.90	2.47	2.87	2.03	1.09	1.59	3.08	1.45	2.75
Mg	0.89	0.81	0.97	0.82	0.87	1.00	0.93	0.87	1.04	0.96	0.83	1.05
Fe	0.03	<0.01	0.03	0.01	<0.01	0.05	0.04	<0.01	0.04	0.04	0.02	0.02
Sr	0.04	0.05	0.04	0.23	0.22	1.49	0.07	0.05	0.07	0.99	0.76	2.55
Al	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.02	0.01
S	1.83	0.60	0.79	2.83	1.68	4.91	3.99	1.63	5.56	4.23	1.43	8.81
P	0.94	0.85	0.97	2.94	3.27	2.53	3.78	4.29	4.55	1.17	1.38	3.78

Если количество кальция в почве находится в избытке, то он в растениях аккумулируется в основном в листьях (Ташкент, Приаралье). Кальций используется в растительных клетках как вторичный посредник для контролирования многих процессов (закрытие устьиц, тропизм, рост пыльцевых трубок, акклиматизация к холоду, экспрессия генов, фотоморфогенез). Недостаток кальция вызывает прекращение образования боковых корней и корневых волосков. Также нарушается структура плазмалеммы и мембран клеточных органелл. Но, как показывают проведенные нами эксперименты, высокое содержание кальцинированных минералов в почвах прорастания растения не повлияло на их содержание в корневой системе и надземных органах, что означает существование в стенках корневой системы регулятора ионного канала.

Вторым элементом по содержанию в исследуемых пробах почвы оказалось железо. Но в органах растений его КБП оказалось < 0.1, и *C. spinosa* по отношению к этому металлу относится к малоаккумуляторной группе. Согласно данным литературы, среднее содержание железа в растительных тканях варьирует в пределах 20-80 мг/кг сухой массы [37]. В ходе анализа установлено, что

в органах *C. spinosa* содержание данного элемента было приблизительно в 100 раз ниже указанных значений. Железо относится к числу эссенциальных микроэлементов, необходимых для нормального функционирования растений: оно участвует в процессах фотосинтеза, дыхания, метаболизма азота, а также в биосинтезе нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) [38].

В исследуемых пробах почвы содержание калия – одного из важнейших макроэлементов, необходимого для полноценного развития растений, оказалось высоким. Его КБП растениями составил > 1 (2-15); высокий коэффициент аккумуляции (10-20) в листьях. Калий играет ключевую роль в обмене веществ и выполняет несколько важных функций: активизирует ферменты, участвующие в синтезе белков и углеводов, участвует в фотосинтезе, поддерживает рост и развитие побегов весной, улучшает вкус плодов урожая или качество цветения летом, отвечает за подготовку к холодам осенью [39].

Четвертым элементом по содержанию в исследуемых пробах почвы оказался натрий. Несмотря на то, что ионы натрия оказывают токсическое действие на растения, его КБП для *C. spinosa*

составил больше 1 (1.9-3.08). Аккумуляция происходит в стеблях (1.03-2.47) и листьях (1.59-2.75). Согласно имеющимся в литературе данным, адаптационная стратегия соленакапливающих галофитов при экстремальном засолении основана на транспорте ионов Na^+ в надземные органы и их компартментации в вакуолях. Данный механизм обеспечивает снижение водного потенциала в клетках, способствуя поддержанию водного баланса. Важную роль в этом механизме играет активность Н-АТФазы стеллярной паренхимы стебля наряду с Na^+/H^+ -антипортером, которые локализованы в плазмалемме и тонопласте паренхимных клеток стебля [40]. Этот механизм способствует преодолению осмотического действия почвенного засоления, но его токсическое действие является не менее вредным для растений. «Засоляющие» ионы Na^+ в высокой концентрации дезинтегрируют клеточные мембраны и ингибируют активность ферментов, участвующих в ключевых физиологических процессах растений (клеточное деление, синтез белка, фотосинтез и др.) [41].

Содержание марганца в исследуемых пробах почвы варьирует в пределах 0.8-1.05 мкг/г. Его КБП для *C. spinosa* составил ≤ 1 и равномерно аккумулируется в корнях, стеблях и листьях. По данным литературы, содержание в растениях марганца обычно составляет до 0,001%. Он накапливается в листьях и активизирует работу более 35 ферментов, участвующих в реакциях окисления-восстановления, декарбоксилирования и гидролиза [42]. Марганец необходим для фотолитического разложения воды с выделением кислорода и ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза, а также способствует накоплению сахаров и их оттоку из листьев.

Наблюдалось уменьшение количества макроэлементов Fe, Sr, Al, S, P в почве и органах растения *C. spinosa*. Отмечено, что содержание железа (Fe) и алюминия (Al) в почве 4 регионов выше, чем в составе органов растений. Установлено, что содержание серы (S) и фосфора (P), напротив, выше в органах *C. spinosa*, чем в почве, что обусловлено избирательным накоплением этих элементов растением в ходе метаболизма.

Несмотря на то, что алюминий является одним из наиболее распространенных элементов в земной коре, он не относится к числу эссенциальных для растений микроэлементов, так как экспериментальные данные о его биологической роли до сих пор отсутствуют [43].

КБП серы в исследуемых растениях составил > 1 (1.8-4.2); коэффициент аккумуляции (0.8-8.8) в листьях является высоким. Сера входит в состав глутатиона и аминокислот, витаминов и кофакторов, участвует при образовании дисульфидных мостиков в белках. Известно, что S-соединения работают в качестве сигнальных молекул

в регуляции стресса и в нормальных метаболических процессах [44].

Количество фосфора в органах растений (кроме Сурхандарьинской популяции) в 2-3 раза выше, чем в почве, и КБП составил > 1 (1.17-3.78). В основном накапливается в листьях с коэффициентом аккумуляции 2.53-4.55, а в стеблях – намного меньше (0.85-4.29). Он участвует во многих физиологических процессах включая энергетический обмен, деление клеток, синтез ДНК и РНК, фотосинтез и дыхание [45].

С другой стороны, количество микроэлементов в образцах растений четырех регионов уменьшается в следующем порядке: в Самаркандской популяции – Mn, Zn, Li, Rb, Se; в Сурхандарьинской популяции – Zn, Mn, Li, Rb, Ba; в Ташкентской популяции – Mn, Rb, Zn, Se, Ag; в популяции Приаралья – Zn, Mn, Rb, Se, Ag.

Каждый из микроэлементов в растительных клетках выполняет специфические функции и не может быть заменен другими элементами. Они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях в клетке, в процессе фотосинтеза, в обмене азота, углеводов и других веществ. Микроэлементы, являясь компонентами активных центров ряда ферментов и витаминов, способствуют повышению устойчивости растений к болезням и абиотическим стрессам. Недостаток микроэлементов приводит к нарушениям ростовых процессов и развития растений [1].

Выводы

Conclusions

Комплексный анализ методом ICP-OES позволил изучить качественный и количественный состав 25 элементов в почвах и в различных органах (корнях, стеблях, листьях) *C. spinosa* из четырех регионов. Показано, что содержание макроэлементов (Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S) в почвах и растениях всех исследуемых областей снижается в определенной последовательности.

Таким образом, для растения *C. spinosa*, произрастающего в четырех различных климатических и почвенных условиях, элемент калия является мощным аккумулятором (КБП > 10). Установлено, что элементы S, P и Na являются гипераккумуляторами (КБП > 10.0), элементы Mg, Sr – средними аккумуляторами (КБП $> 0.1-1.0$), элементы Ca, Fe и Al не обладают аккумуляторными свойствами (КБП $> 0.01-0.1$).

Установлены существенные межпопуляционные различия в элементном составе *C. spinosa* из Аралкумы и других областей, проявляющиеся в неодинаковом накоплении элементов надземными и подземными органами. Выявлено повышенное содержание калия (особенно у растений

Аралкумы) и натрия, для которого характерна выраженная биоаккумуляция. С учетом исключительной устойчивости *C. spinosa* к засолению и засухе, а также его способности к адаптации к экстремальным условиям рекомендуется активное внедрение этого растения в программы по восстановлению деградировавших экосистем, особенно в Аралкум. Его можно использовать в комплексе с другими адаптированными видами для проведения мелиоративных работ, фитомелиорации засоленных земель и предотвращения эрозии почв.

Помимо экологического потенциала, результаты исследований подчеркивают необходимость

дальнейшего, более глубокого анализа химического состава, биологических и фармакологических свойств *C. spinosa*. Это растение представляет собой ценное сырье для решения широкого круга задач: от озеленения засоленных территорий и ландшафтного дизайна до использования в пищевой промышленности (например, в качестве пряности или источника масла) и фармацевтической индустрии благодаря его доказанным лечебным свойствам. Таким образом, *C. spinosa* обладает значительным потенциалом для устойчивого развития регионов с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями.

Список источников

1. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. *Тяжелые металлы и растения*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, Институт биологии КарНЦ РАН, 2014:192.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской акад. наук, 2012:218.
3. Бубенчикова В.Н., Логутов С.В., Сухомлинов Ю.А., Малутина А.Ю. Сравнительная оценка макро- и микроэлементного состава некоторых видов растений семейств Asteraceae и Rosaceae. *Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2011;(2).181-184.
4. Fici S. Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L. (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 2001;228:123-141. <https://doi.org/10.1007/s006060170024>
5. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, Antifungal and Phytochemical Investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
6. Tir M., Feriani A., Labidi A. et al. Protective effects of phytochemicals of *Capparis spinosa* seeds with cisplatin and CCl4 toxicity in mice. *Food Bioscience*. 2019;28:42-48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.002>
7. Baradaran Rahimi V., Rajabian A., Rajabi H. et al. The effects of hydro-ethanolic extract of *Capparis spinosa* (*C. spinosa*) on lipopolysaccharide (LPS) – induced inflammation and cognitive impairment: Evidence from *in vivo* and *in vitro* studies. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;256:112706. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112706>
8. Mazarei F., Jooyandeh H., Noshad M., Hojjati M. Polysaccharide of caper (*Capparis spinosa* L.) leaf: Extraction optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017;95:224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.049>

References

1. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Heavy metals and plants*. Petrozavodsk, Russia: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2014:192. (In Russ.)
2. Ilyin V.B. *Heavy metals and non-metals in the soil-plant system*. Novosibirsk, Russia: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012:218. (In Russ.)
3. Bubenchikova V.N., Logutov S.V., Sukhomlinov Yu.A., Malyutina A.Yu. Comparative evaluation of macro- and microelement composition of some plants species of Asteraceae and Rosaceae families. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2011;(2).181-184. (In Russ.)
4. Fici S. Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L. (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 2001;228:123-141. <https://doi.org/10.1007/s006060170024>
5. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, Antifungal and Phytochemical Investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
6. Tir M., Feriani A., Labidi A. et al. Protective effects of phytochemicals of *Capparis spinosa* seeds with cisplatin and CCl4 toxicity in mice. *Food Bioscience*. 2019;28:42-48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.002>
7. Baradaran Rahimi V., Rajabian A., Rajabi H. et al. The effects of hydro-ethanolic extract of *Capparis spinosa* (*C. spinosa*) on lipopolysaccharide (LPS) – induced inflammation and cognitive impairment: Evidence from *in vivo* and *in vitro* studies. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;256:112706. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112706>
8. Mazarei F., Jooyandeh H., Noshad M., Hojjati M. Polysaccharide of caper (*Capparis spinosa* L.) leaf: Extraction optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017;95:224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.049>

9. Mahboubi M., Mahboubi A. Antimicrobial activity of *Capparis spinosa* as its usages in traditional medicine. *Herba Polonica*. 2014;60(1):39-48. <https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0004>
10. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, antifungal and phytochemical investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
11. Mollica A., Zengin G., Locatelli M. et al. Anti-diabetic and anti-hyperlipidemic properties of *Capparis spinosa* L.: *In vivo* and *in vitro* evaluation of its nutraceutical potential. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.001>
12. Sheikh M., Eshraghi H.R., Khoshnia M. et al. Cytotoxicity effect of *Capparis spinosa* L. on the HepG2 human hepatocellular carcinoma cell line. *Medical Laboratory Journal*. 2017;11(4):9-12.
13. El Azhary K., Tahiri Jouti N., El Khachibi M. et al. Anti-inflammatory potential of *Capparis spinosa* L. in vivo in mice through inhibition of cell infiltration and cytokine gene expression. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17:81. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1569-7>
14. Maresca M., Micheli L., Di Cesare Mannelli L. et al. Acute effect of *Capparis spinosa* root extracts on rat articular pain. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016;193:456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.032>
15. Sun Y., Yang T., Wang Ch. *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*. 2023;409:135258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258>
16. Sakcali M.S., Bahadir H., Ozturk M. Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant Suitable for combating desertification. Pakistan. *Journal of Botany*. 2008;40(4):1481-1486.
17. Gull T., Sultana B., Bhatti I.A., Jamil A. Seasonal variation in proximate composition and minerals profile of different parts of wildy grown *Capparis spinosa*. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2015;52(3):747-754.
18. Al-Snafi A.E. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capparis spinosa* -an overview. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*. 2015;15(2):93-100.
19. Özcan M.M., Harmankaya M., Al juhaimi F. et al. Metal, non-metal and heavymetal contents of *Caper* parts. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015»*. 2015:342.
20. Jalolov I.J., Shermatova U.X. Dynamics of accumulation of alkaloids, micro and macroelements in different organs of *Capparis spinosa* L. *Science and Innovation International Scientific Journal*. 2022;(1):696-704. (In Uzbek.)
21. Isagaliev M., Abakumov E., Turdaliev A. et al. *Capparis spinosa* L. Cenopopulation and Biogeochemistry in South
9. Mahboubi M., Mahboubi A. Antimicrobial activity of *Capparis spinosa* as its usages in traditional medicine. *Herba Polonica*. 2014;60(1):39-48. <https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0004>
10. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, antifungal and phytochemical investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
11. Mollica A., Zengin G., Locatelli M. et al. Anti-diabetic and anti-hyperlipidemic properties of *Capparis spinosa* L.: *In vivo* and *in vitro* evaluation of its nutraceutical potential. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.001>
12. Sheikh M., Eshraghi H.R., Khoshnia M. et al. Cytotoxicity effect of *Capparis spinosa* L. on the HepG2 human hepatocellular carcinoma cell line. *Medical Laboratory Journal*. 2017;11(4):9-12.
13. El Azhary K., Tahiri Jouti N., El Khachibi M. et al. Anti-inflammatory potential of *Capparis spinosa* L. in vivo in mice through inhibition of cell infiltration and cytokine gene expression. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17:81. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1569-7>
14. Maresca M., Micheli L., Di Cesare Mannelli L. et al. Acute effect of *Capparis spinosa* root extracts on rat articular pain. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016;193:456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.032>
15. Sun Y., Yang T., Wang Ch. *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*. 2023;409:135258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258>
16. Sakcali M.S., Bahadir H., Ozturk M. Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant Suitable for combating desertification. Pakistan. *Journal of Botany*. 2008;40(4):1481-1486.
17. Gull T., Sultana B., Bhatti I.A., Jamil A. Seasonal variation in proximate composition and minerals profile of different parts of wildy grown *Capparis spinosa*. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2015;52(3):747-754.
18. Al-Snafi A.E. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capparis spinosa* -an overview. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*. 2015;15(2):93-100.
19. Özcan M.M., Harmankaya M., Al juhaimi F. et al. Metal, non-metal and heavymetal contents of *Caper* parts. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015»*. 2015:342.
20. Jalolov I.J., Shermatova U.X. Dynamics of accumulation of alkaloids, micro and macroelements in different organs of *Capparis spinosa* L. *Science and Innovation International Scientific Journal*. 2022;(1):696-704. (In Uzbek.)
21. Isagaliev M., Abakumov E., Turdaliev A. et al. *Capparis spinosa* L. Cenopopulation and Biogeochemistry in South

- Uzbekistan. *Plants*. 2022;11(13):1628.
<https://doi.org/10.3390/plants11131628>
22. Amanova G.I., Abdirahimova S.Sh., Saitova A.Q. et al. Comparative analysis of chemical elements contained in various organs of the Nitrebush (*Nitraria schoberi* L.) growing in the Aralqum areas. *European Chemical Bulletin*. 2023;12(S3):4280-4290.
<https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.s3.490>
23. Lima e Cunha M.C., Nardi L.V.S., Pereira V.P. et al. Evaluation of biological absorption coefficient of trace elements in plants from the Pitinga mine district, Amazonian region. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. 2014;35(1): 19-29.
<https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140002>
24. Pašava J., Kříbek B., Žák K. et al. Environmental impacts of mining of Ni-Mo black shale-hosted deposits in the Zunyi region, southern China: Preliminary results of the study of toxic metals in the system rock–soil–plant. *Bulletin of Geosciences*. 2003;78(3):251-260.
25. Erdanov M.N. Geographical aspects of studying the soil cover of Surkhondarya. *Ekonomika i sotsium*. 2023;(10(113)):52-57. (In Uzbek.)
26. Parpiyev G.T. *Pale-oasis soils*. Tashkent, Republic of Uzbekistan: Lesson Press, 2023:250. (In Uzbek.)
27. Idirisov K., Bobomurodov Sh., Abdirahimova S. et al. Fractional and salt composition of soils of the drained part of the bottom of the big Aral Sea. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2023;(2):31-43.
28. Kurbonov K., Isaboev X., Kosimov I., Ziyavitdinov Zh. Comparative analysis of the content of water-soluble salts in the soil of different regions where *Capparis spinosa* L. grows. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2025;(3):53-60. (In Uzbek.)
29. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. *КонсультантПлюс*. URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 23.09.2025).
30. Al-Juhaimi F., Kulluk D.A., Mohamed Ahmed I.A. et al. Quantitative determination of macro and micro elements and heavy metals accumulated in wild fruits analyzed by ICP-OES method. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195:1370.
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-12025-8>
31. *Capparis spinosa* L. Каперсы колючие. *Planta Medica*. URL: <https://planta-medica.uz/> (дата обращения: 23.09.2025).
32. Gan L., Zhang C., Yin Y. et al. Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2013;54:156-161.
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0162-3>
33. Özkahraman I. Caper. Forest Ministry, Various publications. Series Nos 2. Ankara: AGM publications, 1997.
- in South Uzbekistan. *Plants*. 2022;11(13):1628.
<https://doi.org/10.3390/plants11131628>
22. Amanova G.I., Abdirahimova S.Sh., Saitova A.Q. et al. Comparative analysis of chemical elements contained in various organs of the Nitrebush (*Nitraria schoberi* L.) growing in the Aralqum areas. *European Chemical Bulletin*. 2023;12(S3):4280-4290.
<https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.s3.490>
23. Lima e Cunha M.C., Nardi L.V.S., Pereira V.P. et al. Evaluation of biological absorption coefficient of trace elements in plants from the Pitinga mine district, Amazonian region. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. 2014;35(1):19-29.
<https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140002>
24. Pašava J., Kříbek B., Žák K. et al. Environmental impacts of mining of Ni-Mo black shale-hosted deposits in the Zunyi region, southern China: Preliminary results of the study of toxic metals in the system rock–soil–plant. *Bulletin of Geosciences*. 2003;78(3):251-260.
25. Erdanov M.N. Geographical aspects of studying the soil cover of Surkhondarya. *Ekonomika i sotsium*. 2023;(10(113)):52-57. (In Uzbek.)
26. Parpiyev G.T. *Pale-oasis soils*. Tashkent, Republic of Uzbekistan: Lesson Press, 2023:250. (In Uzbek.)
27. Idirisov K., Bobomurodov Sh., Abdirahimova S. et al. Fractional and salt composition of soils of the drained part of the bottom of the big Aral Sea. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2023;(2):31-43.
28. Kurbonov K., Isaboev X., Kosimov I., Ziyavitdinov Zh. Comparative analysis of the content of water-soluble salts in the soil of different regions where *Capparis spinosa* L. grows. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2025;(3):53-60. (In Uzbek.)
29. GOST 12536-2014. Soils. Laboratory methods for determining the particle size distribution (grain size) and microaggregate composition. *ConsultantPlus*. (In Russ.) URL: <https://www.consultant.ru/> (accessed: September 23, 2025).
30. Al-Juhaimi F., Kulluk D.A., Mohamed Ahmed I.A. et al. Quantitative determination of macro and micro elements and heavy metals accumulated in wild fruits analyzed by ICP-OES method. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195:1370.
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-12025-8>
31. *Capparis spinosa* L. Prickly caper. *Planta Medica*. (In Russ.) URL: <https://planta-medica.uz/> (accessed: September 23, 2025).
32. Gan L., Zhang C., Yin Y. et al. Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2013;54:156-161.
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0162-3>
33. Özkahraman I. Caper. Forest Ministry, Various publications. Series Nos 2. Ankara: AGM publications, 1997.

34. Sozzi G.O. *Caper bush: botany and horticulture*. Horticultural Reviews, 2001;27:188. <https://doi.org/10.1002/9780470650813.ch4>
35. Psaras G.K., Sofroniou I. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. *IAWA Journal*. 1999;20(4):419-429. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001567>
36. Levizou E., Drilias P., Kyparissis A. Exceptional photosynthetic performance of *Capparis spinosa* L. under adverse conditions of Mediterranean summer. *Photosynthetica*. 2020;42(2);229-235. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000040594.85407.f4>
37. Копылова Л.В. Оценка уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и интенсивность поглощения их древесными растениями. *Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского*. 2012;(1 (42)):70-75.
38. Ning X., Lin M., Huang G. et al. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
39. Leigh R.A., Wyn Jones R.G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*. 1984;97:1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>
40. Луньков Л.В., Андреев И.М., Мясоедов Н.А. и др. Функциональная идентификация протонатной АТФазы (H⁺-АТФазы) и Na⁺/H⁺-антипортера в плазматической мембране, выделенной из клеток корня галофита *Suaeda altissima* (сведа высокая). *Физиология растений*. 2005;52(5):717-725.
41. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости. *Успехи современной биологии*. 2007;127(5):482-493.
42. Рогачева С.М., Каменец А.Ф., Шилова Н.А. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016;18(5(3)):484-488.
43. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013;14(4):7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
44. Mian A., Oomen R.J.F.L., Isayenkov S. et al. Over-expression of an Na⁺-and K⁺-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. *The Plant Journal: for cell and plant biology*. 2011;68(3):468-479. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04701.x>
45. Maathuis F.J.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*. 2013;65(3):849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>
34. Sozzi G.O. *Caper bush: botany and horticulture*. Horticultural Reviews, 2001;27:188. <https://doi.org/10.1002/9780470650813.ch4>
35. Psaras G.K., Sofroniou I. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. *IAWA Journal*. 1999;20(4):419-429. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001567>
36. Levizou E., Drilias P., Kyparissis A. Exceptional photosynthetic performance of *Capparis spinosa* L. under adverse conditions of Mediterranean summer. *Photosynthetica*. 2020;42(2);229-235. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000040594.85407.f4>
37. Kopylova L.V. Assessing the level of soil contamination with heavy metals and the intensity of their absorption by woody plants. *Uchenye zapiski Zabaykalskogo Gosudarstvennogo humanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N.G. Chernyshevskogo*. 2012;(1(42)):70-75. (In Russ.)
38. Ning X., Lin M., Huang G. et al. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
39. Leigh R.A., Wyn Jones R.G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*. 1984;97:1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>
40. Lun'kov R.V., Andreev I.M., Myasoedov N.A. et al. Functional identification of H⁺-ATPase and Na⁺/H⁺ antiporter in the plasma membrane isolated from the root cells of salt-accumulating halophyte. *Suaeda altissima*. *Fiziologiya rastenij*. 2005;52(5):717-725. (In Russ.)
41. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. Plant response to salinity and formation of salt tolerance. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2007;127(5):482-493. (In Russ.)
42. Rogacheva S., Kamenetz A., Shilova N. The effect of soluble manganese compounds at higher plants and assessment of plants's phytoextraction ability. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016;18(5-3):484-488. (In Russ.)
43. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013;14(4):7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
44. Mian A., Oomen R.J.F.L., Isayenkov S. et al. Over-expression of an Na⁺-and K⁺-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. *The Plant Journal: for cell and plant biology*. 2011;68(3):468-479. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04701.x>
45. Maathuis F.J.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*. 2013;65(3):849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>

Сведения об авторах

Камолiddин Чориевич Курбонов, докторант лаборатории клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; qurbonovkamol808@gmail.com

Гузаль Икромовна Аманова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; guzal.amanova.87@mail.ru

Алимжон Давлатбоевич Матчанов, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией низкомолекулярных биологически активных соединений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; olim_0172@mail.ru

Жамолитдин Фазлитдинович Зиявитдинов, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; Jamolitdin@mail.ru

Наиль Жадитович Сагдиев, кандидат химических наук, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; n_sagdiev@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025
Одобрена после рецензирования 18.02.2026
Принята к публикации 18.02.2026

Information about the authors

Kamoliddin Ch. Kurbonov, doctoral student of the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; qurbonovkamol808@gmail.com

Guzal I. Amanova, CSc (Bio), Junior Research Associate at the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; guzal.amanova.87@mail.ru

Alimzhon D. Matchanov, DSc (Chem), Professor, Head of the Laboratory of Low-Molecular Biologically Active Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; olim_0172@mail.ru

Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, DSc (Chem), Professor, Head of the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; Jamolitdin@mail.ru

Nail Zh. Sagdiev, CSc (Chem), Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; n_sagdiev@mail.ru

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office September 23, 2025
Approved after reviewing February 18 2026
Accepted for publication February 18, 2026