

7universum.com

UNIVERSUM:

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

8(146)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Аарон Круг (Арон Лазаревич Круг; 11 августа 1926, Желвас — 20 ноября 2018, Кембридж, Великобритания) — литовский и южноафриканский учёный, биохимик. Лауреат Нобелевской премии по химии (1982) за разработку метода кристаллографической электронной микроскопии и разъяснение структуры биологически важного комплекса нуклеиновая кислота — белок.

Член Лондонского королевского общества (1969)[2], иностранный член Национальной академии наук США (1984)[3]. Родился в литовском местечке Жялва в еврейской семье. Родителей его звали Лейзер Круг и Бейля Круг (в девичестве Силин). Когда Аарону было три года, Круги переехали в Дурбан (Южная Африка), куда семья Бейли эмигрировала в начале XX века. Аарон посещал местную начальную школу. Языком общения в семье был идиш, но переехав в Южную Африку, семья перешла на английский.

С 1937 по 1941 год Круг учился в школе г. Дурбан. После того, как мальчик прочитал книгу Поля де Крайфа «Охотники за микробами», у него родился интерес к науке.

Поступив в 1942 году в Университет Витватерсранда в Йоханнесбурге, Круг стал посещать подготовительный курс по медицине, однако лекции по физике его заинтересовали больше, поэтому он разработал собственные курсы по химии, физике и математике. К тому времени, когда в 1945 году он окончил университет, получив степень бакалавра естественных наук, его выбором стала физика.

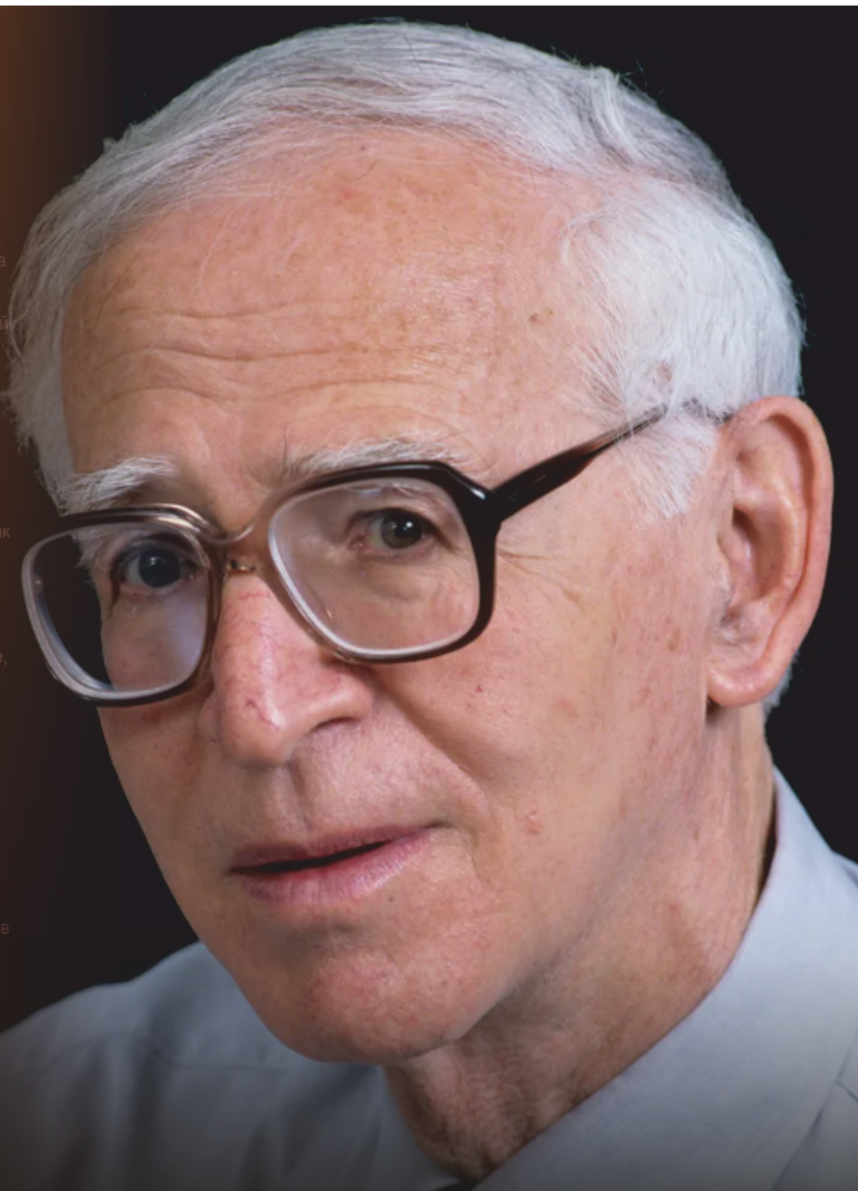
В январе 1946 году Аарон переехал в Университет Кейптауна, чтобы пройти магистратуру. Там, помимо физики, Круг изучал математику, философию и поэзию. Также занимаясь в Кейптаунском университете на выделенную ему стипендию, он изучил у одного из своих учителей, Реджинальда Уильяма Джеймса, метод рентгеновской кристаллографии и использовал его для исследования п-бромхлорбензола. По результатам исследований, Круг опубликовал свою первую статью[4]. Получив в 1946 году степень магистра естественных наук, Круг остался в Кейптаунском университете, чтобы продолжить свою работу с Джеймсом над изучением органических соединений с помощью дифракции рентгеновских лучей. Там, Аарон изобрёл метод[5], основанный на молекулярных преобразованиях, и использовал его для определения структуры трифенилена. Несмотря на то, что структура, созданная по его расчётам, оказалась неверной, Круг был удостоен стипендии Британской империи (1951) и стипендии Роуз Болл в Тринити-колледже Кембриджа.

Карьера и научные исследования

Круг был принят сэром Лоуренсом Брэггом, директором Кавендишской лаборатории. Аарон хотел работать в области медицинских исследований у нобелевского лауреата Роберта М. Перуца и работать над изучением структуры белка, но там не было свободных мест. Тогда Брэгг предложил ему заняться беспорядок в силикатах, однако Аарон не был заинтересован в этом проекте, поэтому он, под руководством Брэгга, начал изучать структуру стали. В ходе проекта он разработал метод определения модели перехода от неупорядоченного состояния к упорядоченному и росте кристаллов. В 1953 году он опубликовал статью о дифференциации между кристаллами и аморфными телами, которая хорошо была принята научным сообществом. В 1955 году он переехал в Кембридж.

100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
11 августа 2026 г.

ААРОН
КЛУГ
1926-2018 гг.





UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Научный журнал

Издается ежемесячно с ноября 2013 года

Выпуск: 8(146)

Август 2026 г.

Часть 2

Новосибирск
2026

ББК 24+28

U55

Главный редактор журнала:

Ларионов Максим Викторович – д-р биол. наук.

Редакционная коллегия:

Арестова Инесса Юрьевна – канд. биол. наук;

Аронбаев Сергей Дмитриевич – д-р хим. наук, проф.;

Даминова Шахло Шариповна – д-р хим. наук, проф.;

Кадырова Гульчехра Хакимовна – д-р биол. наук;

Кван Ольга Вилориевна – д-р биол. наук;

Кунавина Елена Александровна – канд. хим. наук, доц.;

Жуманиязов Максуд Жаббиевич – д-р техн. наук, проф.;

Пилигримова Эмма Глебовна – канд. биол. наук;

Радкевич Мария Викторовна – д-р техн. наук, проф.;

Севостьянова Ольга Игоревна – канд. биол. наук, доц.;

Ткачева Татьяна Александровна – канд. хим. наук;

Шахова Валерия Николаевна – д-р биол. наук, проф.;

Шейда Елена Владимировна – д-р биол. наук, проф.;

Яковлев Иван Геннадиевич – канд. хим. наук;

Скоркина Марина Юрьевна – д-р биол. наук, доц.;

Баженова Ольга Прокопьевна – д-р биол. наук, проф.;

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, проф.;

Комарова Людмила Николаевна – д-р биол. наук, проф.

U55 Universum: химия и биология : электронный научный журнал. — № 8(146). — Часть 2. — Новосибирск : Изд-во «Юниверсум», 2026. — 92 с. — Текст : электронный. — URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/category/8146> (дата публикации: 07.08.2026).

ISSN 2311-5459

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8

Учредитель и издатель: ООО «Юниверсум»

© ООО «Юниверсум», 2026 г.

Содержание

Статьи на русском языке

Химия

Биоорганическая химия

- Анализ биохимического состава плодов сортов груши и нового перспективного гибрида «Мафтуна»** 5

Абдуллаева Хилола Равшановна

Ташбоев Шухрат Турсунович

- Astragalus ferganensis (Fabaceae): морфологические особенности и количественное определение водорастворимых витаминов в органах растения методом ВЭЖХ** 13

Болтабоев Умарали Умматали угли

Тожибоев Достонбек Рахимжон угли

Хужаев Вахобжон Умарович

- Влияние полипренолов листьев растений *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L. на масличность и жирнокислотный состав семян сои** 23

Иботов Шохрух Хурматулло угли

Юлдашева Нигора Каримовна

Хидырова Назира Кудратовна

Зокирова Умида Толибовна

Муминов Абдували Акбаралиевич

Закирова Рано Пулатовна

- Ингибиторная активность ядов различных животных в отношении ферментов NNMT и p300** 31

Фазлиддинов Шамсиддин Жамолиддин угли

Нурмирзаев Иброхим Абдулла угли

Мухамедов Нурходжа Рамазанович

Яшинов Ансор Шарофиддин угли

Мирзаахмедов Шарафитдин Яшинович

- Антирадикальная активность лекарственных смесей на основе лишайника *Lobothallia lacteola*, *Rosa canina* и *Mentha longifolia*, оцениваемая методами DPPH, ABTS и FRAP** 45

Хакимов Озодбек Марипжон ўғли

Эргашев Дилмурод Адилжонович

Исмоилов Моминжон Юсупович

- Сравнительный анализ макро- и микроэлементного состава листьев и незрелых плодов (гуры) *Morus nigra* L. методом ИСП-ОЭС** 54

Шерматова Шахнозахон Шерзод кизи

Назаров Отабек Мамадалиевич

Амирова Тойирахон Шералиевна

Биологическая и фармацевтическая химия

- Противовоспалительная активность соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияние на динамику цитокинов в экспериментальной модели воспаления** 65

Азаматов Азизбек Азамат угли

Мискинова Фазилят Худаёровна

Ахмаджонов Камронбек Козимжон угли

Эргашова Мукарамой Журабаевна

Курбонов Улугбек Абдурахмонович

Журакулов Шерзод Нияткабулович

Ботиров Рузали Анварович

Влияние норм минеральных и органических удобрений на рост, развитие и продуктивность африканского проса (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) сорта «ННВВС tall» <i>Сейтекова Миуагул Танирбергеновна</i>	74
Куриные яйца — это уникальное сырье, богатое природным кальцием <i>Файзиев Хайруллахон Омиллоевич</i> <i>Аскарлов Иброхлмджон Рахмонловч</i> <i>Исламов Акмал Хушваковч</i>	83

СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

ХИМИЯ

БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Статья поступила в редакцию: 14.06.2026

Статья принята к публикации: 12.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 634.13

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23163

Анализ биохимического состава плодов сортов груши и нового перспективного гибрида «Мафтуна»

Абдуллаева Хилола Равшановна

д-р с-х наук (PhD), проф.

зав. отделом Селекция и изучение сортов плодовых и ягодных культур Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия им. академика

Махмуда Мирзаева

Узбекистан, с. Гулистан

Ташибоев Шухрат Турсунович

соискатель

Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия им.

академика Махмуда Мирзаева

Узбекистан, с. Гулистан

E-mail: siddiqova68@mail.ru

Analysis of the biochemical composition of fruit of pear varieties and the new promising hybrid "Maftuna"

Abdullaeva Khilola Ravshanovna

doctor of Agricultural Sciences (PhD)

professor

Head of the Department of Breeding and Study of Fruit and Berry Crops Varieties Research

Institute of Horticulture

Viticulture and Winemaking named after Academician Makhmud Mirzayev

Uzbekistan, Gulistan

Tashboev Shukhrat Tursunovich

PhD

Candidate

Research Institute of Horticulture

Viticulture and Winemaking named after Academician Makhmud Mirzayev

Uzbekistan, Gulistan

Аннотация

В статье представлен анализ биохимических показателей плодов груши различных сортов и нового перспективного гибрида — «Мафтуна», полученного в период технической спелости в лабораторных условиях Научно-исследовательского института садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева. Основная цель исследования заключается в оценке пищевой ценности и вкусовых качеств нового гибрида, созданного методами местной селекции в условиях изменения климата. В ходе научных изысканий на основе общепринятых методик были определены содержание сухого вещества, общего сахара и общая кислотность в составе плодов. По результатам исследований показатели сортов, взятых в качестве эталона — «Любимица Клаппа» (сахар — 14,8 %, сухое вещество — 16,52 %), а также исходных родительских форм «Вильямс» и «Лесная красавица», были сопоставлены между собой. Сравнительный анализ показал, что вновь созданный гибрид «Мафтуна» обладает достаточно высоким превосходством биохимического состава относительно остальных образцов. Содержание сахара в плодах данного гибрида составило рекордные 19,3 %, а сухого вещества — 19,98 %. Было установлено, что общая кислотность, определяющая кисло-сладкий и гармоничный вкус плода, равна 0,80 %.

На основе полученных результатов гибрид «Мафтуна», благодаря своему богатому химическому составу, был оценен в качестве высокоперспективного сырья как для потребления в свежем виде, так и для переработки (производства соков и консервов), и рекомендован к широкому внедрению в производство.

Abstract

The article presents an analysis of the biochemical indicators of pear varieties and the new promising hybrid «Maftuna», sampled during the period of technical maturity under the laboratory conditions of the Academician M. Mirzaev Scientific Research Institute of Horticulture, Viticulture,

and Winemaking. The primary objective of the research is to evaluate the nutritional value and palatability of the new hybrid developed through local breeding methods under climate change conditions. In the course of the scientific investigation, the dry matter content, total sugar content, and total acidity levels in the fruit composition were determined based on generally accepted methodologies. According to the research results, the parameters were compared with the control variety «Favorite Clappa» (sugar: 14.8 %, dry matter: 16.52 %), as well as the initial parental forms «Williams» and «Forest Beauty.» The analyses demonstrated that the newly developed «Maftuna» hybrid possesses a high superiority in terms of its biochemical composition. The sugar content in the fruit of this hybrid reached a record level of 19.3 %, while the dry matter accounted for 19.98 %. The total acidity, which determines the sweet-sour and harmonious flavor of the fruit, was found to be 0.80 %. Based on the obtained results, due to its rich chemical composition, the «Maftuna» hybrid was evaluated as a highly promising raw material for both fresh consumption and the processing industry (juice and preserves manufacturing), and its widespread introduction into production was recommended.

Ключевые слова: груша, сорт, гибрид, «Мафтуна», сухое вещество, содержание сахара, общая кислотность, биохимический анализ, вкусовые качества.

Keywords: pear, variety (cultivar), hybrid, «Maftuna», dry matter (solids content), sugar content, total acidity, biochemical analysis, palatability (taste quality / flavor quality).

Введение

Современные климатические изменения, сопровождающиеся дефицитом водных ресурсов, увеличением продолжительности периодов экстремально высоких температур, а также появлением новых болезней и вредителей растений, представляют собой серьезные вызовы для мирового и отечественного сельского хозяйства. В этих условиях особую актуальность приобретает развитие садоводства, требующее разработки и внедрения адаптивных технологий выращивания и создания новых высокопродуктивных сортов и гибридов плодовых культур.

В целях обеспечения исполнения Указа Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2019 года № ПФ-5853 «Об утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы» [5] определены задачи по производству продукции с высокой добавленной стоимостью в плодовоовощеводстве и виноградарстве, увеличению объёмов экспорта, освоению неиспользуемых и богарных земель, а также созданию экспортно-ориентированных сельскохозяйственных культур, пригодных для выращивания на площадях, высвобождаемых из-под хлопчатника и зерновых культур [5].

По данным современных исследований, в последние годы в мире и Республике Узбекистан наблюдается устойчивый рост производства, потребления и экспорта семечковых плодовых культур, в том числе груши. Повышение требований к качеству плодов и их

конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках обуславливает необходимость создания новых высокопродуктивных сортов и гибридов, обладающих высокой адаптивностью и улучшенными хозяйственно ценными признаками [1].

Развитие отечественного плодоводства, в частности грушеводства как одной из ведущих отраслей производства семечковых плодовых культур, невозможно без эффективного использования местных и зарубежных генетических ресурсов, а также селекционного материала. В этой связи особую актуальность приобретает создание новых высокопродуктивных сортов и гибридов груши интенсивного типа, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Узбекистана. Совершенствование селекционных программ позволит повысить продуктивность современных интенсивных садов, расширить сортимент конкурентоспособных плодовых культур и обеспечить население высококачественной свежей продукцией на протяжении всего года [1; 6].

Основными грушевыми сортами в аспекте происхождения культурных растений Центральной Азии Николай Иванович Вавилов выделял восемь видов культурной груши: *Pyrus korshynski* Litv., *P. bucharica* Litv., *P. regelii* Rehd., *P. sogdiana* S. Kudr., *P. vavilovii* M. Pop., *P. cajon* Zapr., *P. turcomanica* Maleev и *P. boissieriana* Boiss., распространённых преимущественно в регионе Западного Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Кроме того, к флоре данного региона относится среднеазиатская груша *Pyrus asia-mediae* M. Pop., также произрастающая в пределах Западного Тянь-Шаня и Памиро-Алая. За исключением вида *P. cajon* Zapr., занесённого в Красную книгу Республики Узбекистан, остальные перечисленные виды встречаются на территории Узбекистана в естественных условиях [4; 7; 8; 16].

Исследования, посвящённые изучению генофонда груши, её дикорастущих видов, современного состояния популяций, особенностей развития и физиологии, проводятся во многих ведущих научно-исследовательских учреждениях и университетах мира. Наиболее значимые исследования в данном направлении выполняются в Bioversity International (Италия), National Institute of Horticultural and Herbal Science (Республика Корея), Hokkaido Agricultural Research Center (Япония), Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, университетах Канады, Chonnam National University (Республика Корея), Tarbiat Modares University (Иран) и China Agricultural University (Китай) [1; 9–11; 15; 16].

Химический состав плодов, прежде всего содержание сахаров, сухих веществ и титруемых кислот, а также их количественное соотношение, относится к числу основных биохимических показателей, определяющих вкусовые качества, пищевую ценность, диетические свойства и пригодность плодов к промышленной переработке [3, 12–16]. В связи с этим в Научно-исследовательском институте садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева проводятся селекционные исследования, направленные на создание и отбор перспективных сортов и гибридов груши, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям и отличающихся высоким качеством биохимического состава плодов.

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка биохимических показателей нового перспективного гибрида «Мафтуна» в сопоставлении с контрольным сортом и родительскими формами, а также определение его потенциальной пригодности для промышленного выращивания и переработки.

Материалы и методы

Исследования проводились в лабораторных условиях Научно-исследовательского института садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева. Для биохимических исследований плоды отбирали в фазе технической зрелости.

Объектами исследования служили сорта груши «Любимица Клаппа» (контроль, стандарт), «Вильямс» (материнская форма), «Лесная красавица» (отцовская форма) и новый перспективный гибрид «Мафтуна».

Биохимические исследования проводили согласно методическим рекомендациям, изложенным в руководстве «Методы биохимического исследования растений» под общей редакцией А.И. Ермакова [3]. Содержание сухих веществ определяли на лабораторном рефрактометре (PAL-1, ATAGO, Япония), содержание общих сахаров — методом Ientry, общую титруемую кислотность — титрованием 0,1 н. раствором NaOH. Все анализы выполняли в трехкратной повторности. Полученные результаты представлены в виде средних значений.

Результаты и обсуждение

Биохимический состав плодов является одним из основных показателей, характеризующих пищевую ценность, вкусовые качества и технологическую пригодность сортов груши. Наиболее важными критериями оценки считаются содержание сахаров, сухих растворимых веществ и титруемая кислотность, поскольку именно соотношение этих компонентов определяет потребительские свойства плодов. Современные исследования подтверждают, что накопление сахаров и сухих веществ является одним из ключевых признаков при селекции новых сортов груши и непосредственно связано с их качественными и товарными характеристиками [12–16].

Проведенные исследования показали существенные различия между изученными сортами и гибридом по основным биохимическим показателям. Контрольный сорт «Любимица Клаппа» содержал 14,8 % сахаров, 16,52 % сухих веществ и 0,59 % титруемой кислотности. Материнская форма «Вильямс» характеризовалась более высоким содержанием сахаров (17,4 %) и сухих веществ (18,38 %). Отцовская форма «Лесная красавица» отличалась наименьшим содержанием сахаров (14,09 %) и сухих веществ (15,69 %), а также самой низкой титруемой кислотностью (0,47 %).

Наиболее высокие показатели установлены у нового гибрида «Мафтуна». Содержание сахаров составило 19,3 %, сухих веществ — 19,98 %, титруемая кислотность — 0,80 %. (см. таб.1)

Таблица 1.

Биохимический состав плодов сортов груши и гибрида

№	Сорт и гибрид	Содержание сахаров, %	Сухие вещества, %	Общая кислотность, %
1	Любимица Клаппа (контроль)	14,8	16,52	0,59
2	Вильямс (материнская форма)	17,4	18,38	0,67
3	Лесная красавица (отцовская форма)	14,09	15,69	0,47

№	Сорт и гибрид	Содержание сахаров, %	Сухие вещества, %	Общая кислотность, %
4	Мафтуна (гибрид)	19,3	19,98	0,80

Более высокое накопление сахаров и сухих веществ, вероятно, обусловлено благоприятным сочетанием наследственных признаков родительских форм и проявлением эффекта гетерозиса. Высокое содержание растворимых сухих веществ свидетельствует о хороших вкусовых качествах плодов и их высокой пригодности как для потребления в свежем виде, так и для переработки. Аналогичные закономерности отмечены в современных исследованиях, посвященных оценке качества плодов груши и селекции новых генотипов. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, в которых показано, что повышенное содержание сахаров и сухих веществ рассматривается как один из основных критериев качества плодов и перспективности новых селекционных форм груши [12–16].

Таким образом, гибрид «Мафтуна» характеризовался наиболее высокими биохимическими показателями среди изученных образцов, что подтверждает его высокую селекционную ценность и перспективность дальнейшего использования в селекционных программах и промышленном садоводстве [12; 15; 16].

Заключение

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Новый перспективный гибрид «Мафтуна» характеризовался наиболее высокими биохимическими показателями среди изученных образцов. Содержание сахаров в его плодах составило 19,3 %, что на 4,5 % превышало показатель контрольного сорта и на 5,21 % — отцовской формы. Повышенное содержание сухих веществ также свидетельствует об успешности проведенной селекционной работы и высокой способности гибрида к накоплению основных компонентов химического состава.

2. Установлено, что плоды гибрида «Мафтуна» характеризуются общей титруемой кислотностью 0,80 %, которая в сочетании с высоким содержанием сахаров обеспечивает благоприятное сахарокислотное соотношение, определяющее высокие вкусовые и потребительские качества плодов.

3. Высокое содержание сахаров и сухих веществ, а также благоприятные показатели титруемой кислотности позволяют рассматривать гибрид «Мафтуна» как перспективную селекционную форму, пригодную для потребления в свежем виде и промышленной переработки (производство соков, консервированной и сублимированной продукции). Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего изучения гибрида и его внедрения в промышленное садоводство.

Полученные результаты могут служить научной основой для дальнейших селекционных исследований, совершенствования сортимента груши и использования перспективных гибридных форм при создании интенсивных грушевых садов.

Список литературы

1. Абдурахмонов Д.М., Мирзайтова М.К. Современное состояние производства яблок, груш и айвы, их импорт и экспорт в мире и в Узбекистане // Экономика и социум. – 2025. – № 9.
2. Бориев Х.Ч., Байметов К.И., Джураев Р.Ж. Селекция и сортоведение плодовых культур. – Ташкент: Меҳнат, 2010. – С. 55–76.
3. Ермаков А.И., Воскресенская В.В. Методические указания по определению химических веществ для оценки качества урожая овощных и плодовых культур. – Л.: ВИР, 1979. – 101 с.
4. Мирзаев М.М., Собиров М. Садоводство. – Ташкент: Меҳнат, 1987. – 67 с.
5. Мирзиёев Ш.М. Указ Президента Республики Узбекистан № ПФ-5388 от 29 марта 2018 г. «О дополнительных мерах по ускоренному развитию плодовоовощеводства в Республике Узбекистан». – Ташкент, 2018.
6. Мирзохидов У.Д. Селекция груши в Узбекистане // Садоводство, виноградарство и виноделие. Труды УзНИИСВиВ им. Р.Р. Шредера. – 2001. – С. 42–49.
7. Можар Н.В., Иванова А.Г. Восстановительная способность груши после подмерзания // Садоводство и виноградарство. – 2007. – № 6.
8. Останакулов Т.Э., Нарзиева С., Гуломов Б.Х. Основы пловодства. –Самарканд, 2011. – С. 152–155.
9. Помология Узбекистана. Яблоня. Груша / Под общ. ред. М.М. Мирзаева. – Ташкент: Узбекистан, 1983. – С. 13–93.
10. Ражаметов Ш., Абборов Ш. Технология создания и возделывания современных интенсивных грушевых садов. – Ташкент: Baktria Press, 2018. – С. 11–80.
11. Рыбаков А.А., Остроухова С.А. Пловодство Узбекистана. – Ташкент: Ўқитувчи, 1981. – С. 4–100.
12. Boghean S.O., Militaru M. Şeştraş A.F., et al. The Effect of the Ripening Period on the Quality Attributes of Pear Fruit // Horticulturae. – 2025. – Т. 468, № 5.
13. Bohinc K. Lasić P., Matijaković Mlinarić N., et al. The Biophysical Properties of the Fruit Cuticles of Six Pear Cultivars during Postharvest Ripening // Agronomy. – 2024. – Т. 496, № 3.
14. Yang M., Li J. et al. Prediction of Quality Attributes of the Ruaner Pear Using Dielectric Parameters during Post-Ripening Storage // Agriculture. – 2025. – Т. 2254, № 21.
15. Zhang S., Li X. et al. Elucidating Sugar–Acid Metabolic Diversity and Screening of High-Quality Pear Germplasm Resources // Foods. – 2025. – Т. 3354, № 19.
16. Zhang Y., Cheng Y., Ma Y., Guan J., Zhang H. Regulation of Pear Fruit Quality: A Review Based on Chinese Pear Varieties // Agronomy. – 2025. – Т. 58, № 1.

References

1. [Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-5388 of March 29, 2018, «On additional measures for accelerated development of fruit and vegetable growing in the Republic of Uzbekistan»]. Tashkent, 2018. (In Russ.)

2. Boriev Kh.Ch., Baymetov K.I., Dzhuraev R.Zh. [Selection and cultivar development of fruit crops]. Tashkent: Mehnat, 2010. P. 55–76. (In Russ.)
3. Ermakov A.I., Voskresenskaya V.V. [Methodical guidelines for determination of chemical substances for assessing the quality of vegetable and fruit crops]. L.: VIR, 1979. 101 P. (In Russ.)
4. Mirzaev M.M., Sobirov M. [Pomology]. Tashkent: Mehnat, 1987. 67 P. (In Russ.)
5. [Cultivation of pear in Uzbekistan] // Pomology, Viticulture and Winemaking. Proceedings of UzNII SViV named after R.R. Schreder. – 2001. – P. 42–49.
6. Mozhar N.V., Ivanova A.G. [Recovery capacity of pear after freezing] // Pomology and Viticulture. – 2007. – № 6.
7. Ostanakulov T.E., Narzueva S., Gulomov B.Kh. [Fundamentals of pomology]. – Samarkand, 2011. P. 152–155. (In Russ.)
8. Pomology of Uzbekistan. Apple, Pear. M.M. Mirzaev. – Tashkent: Uzbekistan, 1983. P. 13–93. (In Russ.)
9. Rzhameotov Sh., Abrorov Sh. [Technology of creation and cultivation of modern intensive pear orchards]. – Tashkent: Baktria Press, 2018. P. 11–80. (In Russ.)
10. Rybakov A.A., Ostroukhova S.A. [Pomology of Uzbekistan]. – Tashkent: Uchituvchi, 1981. P. 4–100. (In Russ.)
11. Abdurakhmonov D.M., Mirzaitova M.K. [Current state of production of apples, pears, and quinces, their import and export in the world and in Uzbekistan] // Ekonomika i Sotsium. – 2025. – № 9.
12. Zhang Y., Cheng Y., Ma Y., Guan J., Zhang H. [Regulation of Pear Fruit Quality: A Review Based on Chinese Pear Varieties] // Agronomy. – 2025. – T. 58, № 1.
13. Zhang S., Li X. et al. [Elucidating Sugar–Acid Metabolic Diversity and Screening of High-Quality Pear Germplasm Resources] // Foods. – 2025. – T. 3354, № 19.
14. Boghean S.O., Militaru M. Şeştraş A.F., et al. [The Effect of the Ripening Period on the Quality Attributes of Pear Fruit] // Horticulturae. – 2025. – T. 468, № 5.
15. Bohinc K. Lasić P., Matijaković Mlinarić N., et al. [The Biophysical Properties of the Fruit Cuticles of Six Pear Cultivars during Postharvest Ripening] // Agronomy. – 2024. – T. 496, № 3.
16. Yang M., Li J. et al. [Prediction of Quality Attributes of the Ruaner Pear Using Dielectric Parameters during Post-Ripening Storage] // Agriculture. – 2025. – T. 2254, № 21.

Статья поступила в редакцию: 26.05.2026

Статья принята к публикации: 07.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 581.192.2:577.161.2:543.544.5

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23221

**Astragalus ferganensis (Fabaceae): морфологические особенности и
количественное определение водорастворимых витаминов в органах
растения методом ВЭЖХ**

Болтабоев Умарали Умматали угли

базовый докторант (PhD)

Кокандский государственный университет

Узбекистан, г. Коканд

ORCID: 0009-0002-4471-9378

E-mail: boltaboyevumarjon6@gmail.com

Тожибоев Достонбек Рахимжон угли

д-р филос. (PhD) по химии, преподаватель

Кокандский государственный университет

Узбекистан, г. Коканд

ORCID: 0009-0005-2893-7940

E-mail: dostonbektojiboyev410@mail.ru

Хужаев Вахобжон Умарович

д-р хим. наук, проф.

Кокандский государственный университет

Узбекистан, г. Коканд

ORCID: 0009-0001-9922-3989

E-mail: xujayev_030@mail.ru

**Morphological characteristics of Astragalus ferganensis (Fabaceae) and
quantitative analysis of water-soluble vitamins in different plant organs using
high-performance liquid chromatography (HPLC)**

Boltaboyev Umarali Ummatali u'gli

Doctoral candidate (PhD)

Kokand State University

Uzbekistan, Kokand

Tojiboyev Dostonbek Rakhimjon u'gli

PhD

in Chemistry, Lecturer, Kokand State University

Uzbekistan, Kokand

Khujaev Vakhobjon Umarovich

doctor of Chemical Sciences, Professor

Kokand State University

Uzbekistan, Kokand

Аннотация

Настоящее исследование посвящено количественному изучению содержания водорастворимых витаминов в различных органах *Astragalus ferganensis* (Popov) B.Fedtsch. ex Korol. Объектом исследования является эндемичный вид, распространённый в предгорных районах Ферганской долины. Образцы растений были собраны в полевых условиях и проанализированы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Содержание витаминов определяли в пересчёте на сухую массу и выражали в мг/100 г.

Результаты исследования показали неравномерное распределение витаминов по органам растения. В стеблях и листьях были выявлены витамин B₁ в количестве 1,965 мг/100 г и витамин PP — 0,925 мг/100 г, что свидетельствует о высокой метаболической активности данных органов. В корнях наибольшее содержание показал витамин B₁₂ — 16,299 мг/100 г. В околоплоднике установлено наличие витамина PP (0,377 мг/100 г) и витамина B₁₂ (3,337 мг/100 г). В семенах обнаружен витамин B₉ (1,186 мг/100 г), а также витамины B₂ (0,467 мг/100 г), PP (0,491 мг/100 г) и B₁₂ (3,258 мг/100 г).

Полученные результаты позволяют рассматривать *Astragalus ferganensis* как перспективный природный источник водорастворимых витаминов.

Abstract

This study is devoted to the quantitative investigation of water-soluble vitamins in different organs of *Astragalus ferganensis* (Popov) B.Fedtsch. ex Korol. The research object is an endemic species distributed in the foothill regions of the Fergana Valley. Plant samples were collected under field conditions and analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC). Vitamin contents were determined on a dry weight basis and expressed as mg/100 g.

The results revealed an uneven distribution of vitamins among the plant organs. In the stems and leaves, vitamin B₁ and vitamin PP were detected at concentrations of 1.965 mg/100 g and 0.925 mg/100 g, respectively, indicating a high metabolic activity of these organs. The roots exhibited the highest content of vitamin B₁₂, reaching 16.299 mg/100 g. In the pericarp, vitamin PP (0.377 mg/100 g) and vitamin B₁₂ (3.337 mg/100 g) were identified. The seeds contained vitamin B₉ (1.186 mg/100 g), as well as vitamin B₂ (0.467 mg/100 g), vitamin PP (0.491 mg/100 g), and vitamin B₁₂ (3.258 mg/100 g).

The obtained results suggest that *Astragalus ferganensis* represents a promising natural source of water-soluble vitamins and may be considered a valuable plant resource for further phytochemical and pharmacological studies.

Ключевые слова: *Astragalus ferganensis*, Fabaceae, эндемичное растение, морфологическая характеристика, распространение, водорастворимые витамины, ВЭЖХ, биологически активные вещества.

Библиографическое описание: Болтабоев У.У., Тожибоев Д.Р., Хужаев В.У. *Astragalus ferganensis* (Fabaceae): морфологические особенности и количественное определение водорастворимых витаминов в органах растения методом ВЭЖХ // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23221>

Keywords: *Astragalus ferganensis*, Fabaceae, endemic plant, morphological characteristics, distribution, water-soluble vitamins, high-performance liquid chromatography (HPLC), biologically active compounds.

Введение

Род *Astragalus* L. является одним из крупнейших и наиболее полиморфных родов семейства Fabaceae, широко распространённым на земном шаре и встречающимся на всех континентах, за исключением Австралии [18, 17]. В настоящее время данный род насчитывает от 3000 до 3095 видов (по отдельным данным — до 3156 видов), при этом одним из основных центров его видового разнообразия является Евразийский материк (рис. 1) [6, 7, 17].

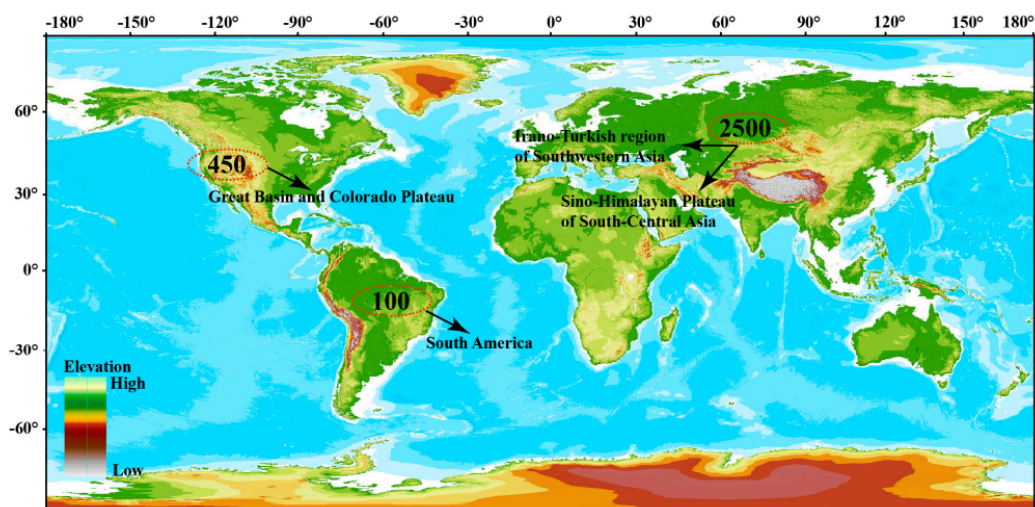


Рисунок 1. Основные центры распространения рода *Astragalus* (Dong et al., 2024)

Число видов рода *Astragalus* во флоре Казахстана составляет 308 [3, 16], во флоре Китая — 401 [8], во флоре Узбекистана первоначально было отмечено 239 видов [24], а впоследствии их количество увеличилось до 268 [13]. Во флоре Ирана зарегистрировано 826 видов данного рода [10].

Для флоры Средней Азии первоначально было приведено 592 вида рода *Astragalus* [4], однако последующие исследования показали, что их количество превышает 600 видов. Данный регион считается одним из мировых центров с наиболее высоким уровнем эндемизма представителей рода *Astragalus* [21].

К основным морфологическим признакам рода *Astragalus* относятся однолетние и многолетние травянистые растения, кустарники и, реже, полукустарники. Листья преимущественно непарноперистые, реже парноперистые, тройчатые или простые. Цветки собраны в кистевидные или колосовидные соцветия. Чашечка колокольчатая или трубчатая, иногда вздувающаяся в период плодоношения. Венчик мотылькового типа, киль острый или тупой. Бобы двугнёздные, реже одногнёздные, различной формы, сидячие либо расположенные на ножке, с перепончатой или кожистой оболочкой [11].

С хозяйственной точки зрения отдельные виды рода *Astragalus* имеют важное практическое значение. В частности, на основе астрагала нутового (*Astragalus cicer* L.) в США и Канаде выведены высокопродуктивные сорта, рекомендованные для использования

в качестве сенокосных и пастбищных культур. Данный вид вступает в симбиотические отношения с клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium*, что способствует существенному повышению урожайности [5, 20].

Кроме того, представители рода *Astragalus* широко используются в традиционной китайской медицине как ценные лекарственные растения. Они обладают иммуностимулирующими свойствами, способствуют улучшению кровообращения и применяются при лечении состояний, связанных с так называемым «дефицитом крови» [14].

Распространение и ботаническая характеристика *Astragalus ferganensis*. Вид *Astragalus ferganensis* (Popov) B.Fedtsch. ex Korol. был впервые описан в 1937 году [12]. Данный вид является эндемиком Ферганской долины и распространён преимущественно в адырных и предгорных районах региона (рис. 2) [22].

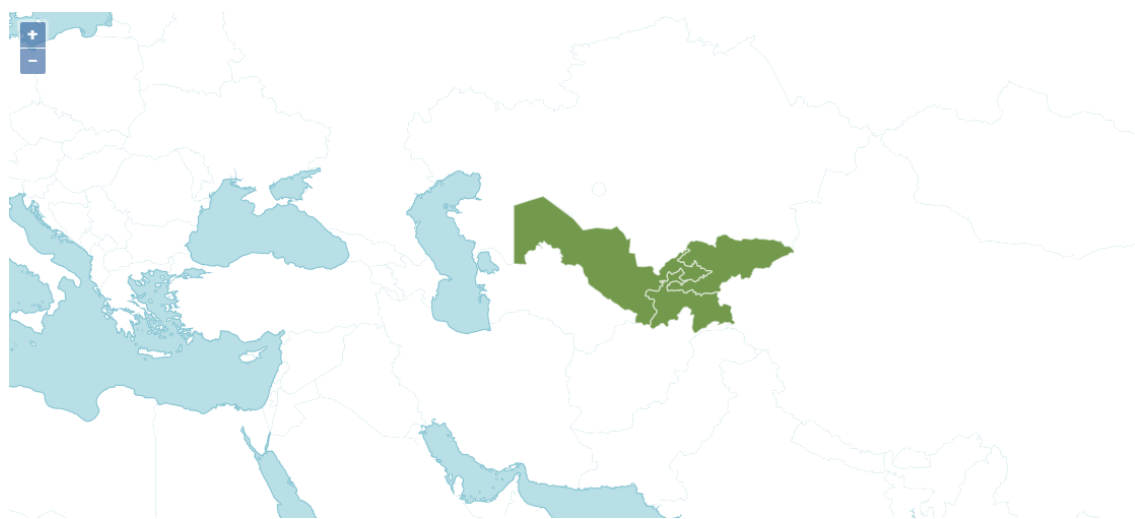


Рисунок 2. Общее распространение *Astragalus ferganensis* (POWO, 2025)

Морфологическая характеристика. *Astragalus ferganensis* – многолетнее густоопушённое растение высотой 5–20 см. Подземный стебель короткий, одревесневающий. Стебли приподнимающиеся или прямостоячие, покрытые белыми волосками, серовато-белого цвета. Прилистники треугольные или треугольно-ланцетные, длиной 2–4 мм. Листья длиной 2–6 см, черешки 0,5–2,5 см, густоопушённые. Листочки в числе 3–6 пар, округлые или эллиптические, с обеих сторон густоопушённые.

Цветоносы равны листьям или немного длиннее, 2,5–8 см. Соцветие короткое, почти зонтиковидное, состоит из 3–11 цветков. Чашечка трубчатая, длиной 17–18 мм. Венчик фиолетово-розового цвета. Бобы почти сидячие, продолговато-овальные, длиной 22–25 мм, густоопушённые, многосемянные [24].

Astragalus ferganensis цветёт в марте–апреле, плодоносит в апреле–мае.

Экология. Произрастает на предгорных равнинах и в предгорных районах на высотах 500–1400 м над уровнем моря, преимущественно на щебнистых и каменистых почвах [24].

Распространение. Встречается в Андижанской, Наманганской и Ферганской областях Узбекистана, а также на территориях Таджикистана и Кыргызстана [4].

Хозяйственное значение. Представляет собой ценное весеннее пастбищное растение, поедаемое сельскохозяйственными животными [24].

Сбор образцов. Образцы *Astragalus ferganensis* для химического анализа были собраны в мае 2025 года в верхних адырных участках села Сарикурган Ферганской области, по берегам реки Сох (рис. 3). Гербарные образцы хранятся в гербарном фонде кафедры биологии Кокандского государственного университета (KD).

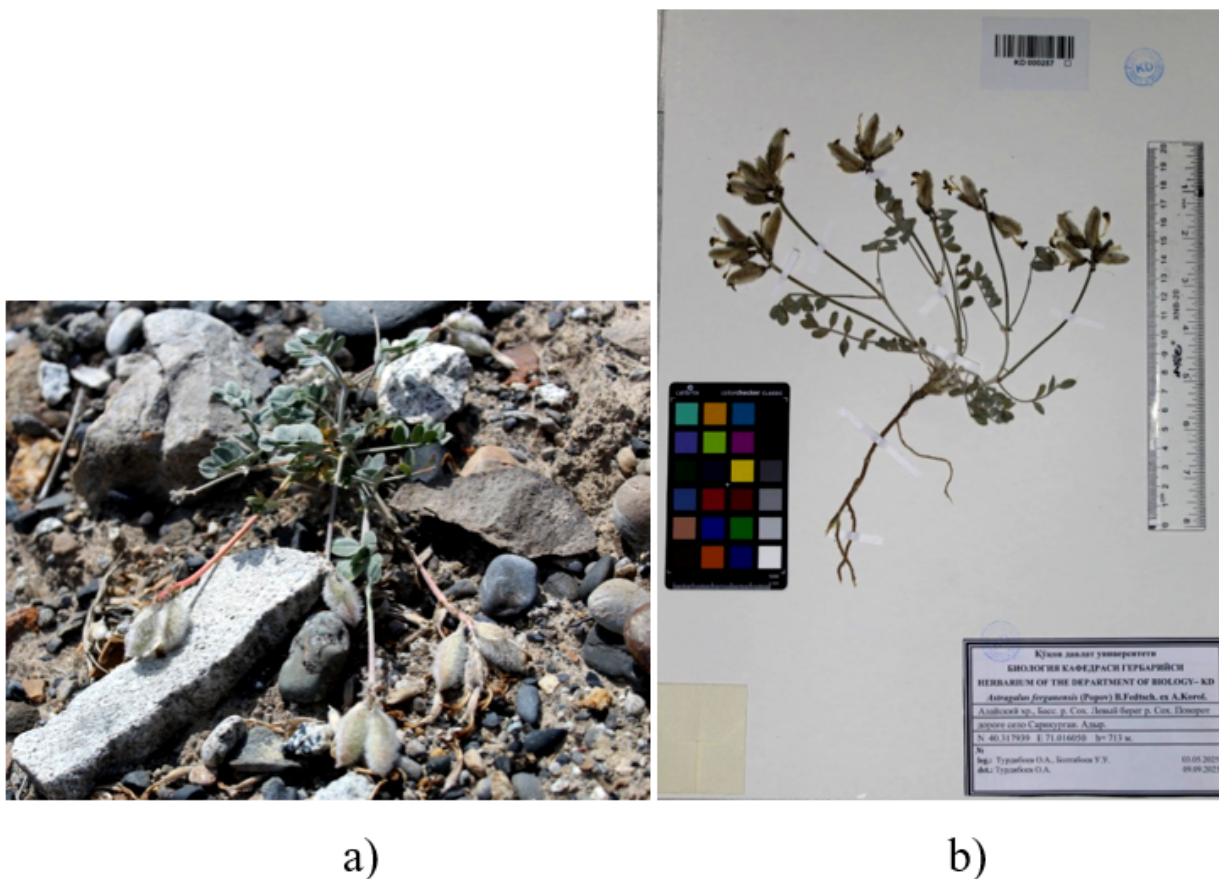


Рисунок 3. *Astragalus ferganensis*: a - полевой образец, b - гербарный образец

Материалы и методы

Определение содержания водорастворимых витаминов в различных вегетативных и генеративных органах *Astragalus ferganensis* проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Анализы выполнялись на хроматографе, оснащённом диодно-матричным детектором (DAD), в режиме градиентной элюции. Идентификация и количественная оценка витаминов осуществлялись на основе их спектральных характеристик, зарегистрированных в диапазоне 200–400 нм [1].

Хроматографические анализы проводились на приборе Agilent Technologies 1260 (США). В процессе разделения в качестве подвижной фазы использовалась градиентная система, состоящая из ацетонитрила и буферного раствора с pH = 2,92: в интервале 0–6 мин — 4:96, 6–9 мин — 10:90, 9–15 мин — 20:80 и 15–20 мин — вновь 4:96. Скорость потока подвижной фазы составляла 0,75 мл/мин, объём инъекции — 10 мкл.

Разделение проводили на колонке Eclipse XDB-C18 (5,0 мкм; 4,6 × 250 мм). Детектирование осуществляли при длинах волн 254, 272, 292, 297 и 360 нм. Количественное определение витаминов выполняли в соответствии с официальными методическими указаниями, приведёнными в Государственной фармакопее Российской Федерации, XIV издание [1]. Результаты выражали в мг/100 г сухой массы.

Результаты и обсуждение

В стеблях и листьях, корнях, околоплоднике и семенах *Astragalus ferganensis* был определён количественный состав водорастворимых витаминов, при этом установлено их неравномерное распределение по органам растения (табл. 1).

Таблица 1.

Содержание водорастворимых витаминов в органах *Astragalus ferganensis* (мг/100 г)

Органы	B ₁	B ₆	B ₉	PP	C	B ₂	B12
Корень	-	-	-	0,303	-	1,124	16,299
Стебель и листья	1,965	-	-	0,925	-	-	2,741
Семена	-	-	1,186	0,491	-	0,467	3,258
Околоплодник	-	-	-	0,377	-	-	3,337

Согласно полученным результатам, в стеблях и листьях *Astragalus ferganensis* преимущественно обнаружены витамин B₁ (1,965 мг/100 г) и витамин PP (0,925 мг/100 г), что свидетельствует о высокой метаболической активности этих органов. Вместе с тем в данных органах также зафиксировано относительно значительное содержание витамина B₁₂ (2,741 мг/100 г). Указанное явление, вероятно, связано с процессами обмена коферментов в фотосинтетически активных тканях.

В корневом органе витаминный состав характеризуется иной спецификой: установлено, что наибольшее содержание приходится на витамин B12 (16,299 мг/100 г). Кроме того, в корнях выявлены витамин B2 (1,124 мг/100 г) и витамин PP в меньшем количестве (0,303 мг/100 г). Полученные результаты свидетельствуют о протекании интенсивных биосинтетических и аккумулятивных процессов в тканях корня.

В кожуре плодов витамины обнаружены в относительно низких концентрациях и представлены преимущественно витамином PP (0,377 мг/100 г) и витамином B12 (3,337 мг/100 г). Это объясняется тем, что данный орган выполняет преимущественно защитную функцию, в связи с чем его метаболическая активность является сравнительно низкой.

В семенах установлено наличие витамина B9 (1,186 мг/100 г), что представляет особый интерес, поскольку данный витамин играет ключевую роль в процессах эмбрионального развития и клеточного деления. Кроме того, в семенах выявлены витамины B2 (0,467 мг/100 г), PP (0,491 мг/100 г) и B12 (3,258 мг/100 г), что подтверждает высокую биологическую ценность генеративных органов.

В целом установлено, что распределение витаминов по органам у *Astragalus ferganensis* тесно связано с его морфологическим строением, условиями произрастания и многолетней жизненной формой. Наличие водорастворимых витаминов у данного вида, произрастающего в предгорных районах, может рассматриваться как один из механизмов адаптации растения к стрессовым факторам среды.

Распределение водорастворимых витаминов по органам у *Astragalus ferganensis* обусловлено морфологическими и экологическими особенностями данного вида. Сопоставление полученных результатов с данными, приведёнными для других видов рода *Astragalus*, позволяет выявить как общие закономерности, так и видоспецифические особенности.

В частности, в исследованиях, проведённых на видах *Astragalus membranaceus* и *Astragalus mongholicus*, установлено, что водорастворимые витамины, особенно витамины группы В, преимущественно накапливаются в корнях и надземных вегетативных органах [25,2]. В нашем исследовании также выявлено высокое содержание витамина В12 в корне *A. ferganensis*, что согласуется с данной тенденцией. Это свидетельствует о том, что у видов рода *Astragalus* корень выполняет не только функцию запасного органа, но и является важным центром аккумуляции биологически активных веществ.

С другой стороны, преобладание витаминов В1 и РР в стеблях и листьях *A. ferganensis* связано с высокой интенсивностью энергетического обмена и окислительно-восстановительных процессов в фотосинтетически активных тканях, что частично согласуется с результатами, полученными для видов *Astragalus glycyphyllos* и *Astragalus cicer* [9,23]. Указанные виды также характеризуются сравнительно высоким содержанием витаминов, поддерживающих метаболические процессы, в надземных органах.

Обнаружение витамина В9 в семенах свидетельствует о высокой биологической ценности генеративных органов *A. ferganensis*. Аналогичная закономерность отмечена и для *Astragalus sinicus* и некоторых видов *Astragalus*, произрастающих в Центральной Азии, где наличие фолатов в семенах напрямую связано с процессами эмбрионального развития и прорастания [15]. Полученные результаты указывают на потенциал семян как фармакологически и биологически активного растительного сырья.

Относительно низкое содержание витаминов в кожуре плодов объясняется тем, что данный орган преимущественно выполняет защитную функцию. В то же время наличие витамина В12 свидетельствует о том, что в кожуре плодов также могут протекать определённые биосинтетические или аккумулятивные процессы. Подобное явление отмечено и у некоторых видов *Astragalus*, произрастающих в горно-пустынных условиях, и рассматривается как один из механизмов адаптации к стрессовым факторам среды [19].

В целом, профиль витаминов, выявленный у *Astragalus ferganensis*, отражает общие особенности, характерные для других видов рода *Astragalus*, и одновременно подтверждает, что данный вид является эндемичным и адаптированным к предгорным условиям Ферганской долины. Дифференцированное распределение витаминов по органам тесно связано с морфологическим строением, многолетней жизненной формой и экологическими условиями произрастания, что позволяет рассматривать данное растение как перспективный источник биологически активных веществ.

Заключение

В результате проведённых исследований установлено, что *Astragalus ferganensis* (Popov) B.Fedtsch. ex Korol. является эндемичным видом, характерным для предгорных районов Ферганской долины, а его морфологические и экологические особенности свидетельствуют об адаптации к данным условиям. Выявлено, что вегетативные и генеративные органы растения чётко дифференцированы морфологически, и данное обстоятельство тесно связано с неравномерным распределением водорастворимых витаминов по органам.

Анализы, проведённые методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, показали, что витамины группы В и витамин РР накапливаются в различных органах в неодинаковых количествах. Высокое содержание витамина В12 в корнях свидетельствует о важной роли данного органа как центра аккумуляции биологически активных веществ. Наличие в стеблях и листьях витаминов, связанных с энергетическим обменом, а в семенах — витаминов, играющих ключевую роль в процессах клеточного деления и развития, подтверждает физиологическую активность растения.

Полученные результаты показывают, что витаминный профиль, выявленный у *Astragalus ferganensis*, отражает общие закономерности, характерные для других видов рода *Astragalus*, и в то же время обладает специфическими особенностями, обусловленными экологическими условиями и эндемичностью вида. Данные результаты позволяют рассматривать *Astragalus ferganensis* как природный источник водорастворимых витаминов, а также как перспективный объект для дальнейших научных и прикладных исследований в качестве биологически активного растительного сырья.

Список литературы

1. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. XIV ed. OFS.1.2.3.0017.15. [Methods for quantitative determination of vitamins]. Moscow, 2018. (In Russ.).
2. Abd Elkader H.T.A.E., Essawy A.E., Al-Shami A.S. *Astragalus* species: phytochemistry, biological actions and molecular mechanisms. *Phytochemistry*, 2022, vol. 202, article 113293 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
3. Abdulina S.A. [List of vascular plants of Kazakhstan]. Almaty, Gylym Publ., 1999. 187 P. (In Russ.).
4. Abdullaeva M.N., Kamelin R.V., Kovalevskaya S.S. et al. *Astragalus* L. In: [Identification guide to the plants of Central Asia]. Tashkent, Fan Publ., 1981, vol. 6, P. 70–281. (In Russ.).
5. Acharya S.N. AC Oxley II cicer milkvetch. *Canadian Journal of Plant Science*, 2001, vol. 81, P. 749–751.
6. *Astragalus of the World*. Available at: (accessed 12 December 2025) [Электронный ресурс]. URL: <https://astragalusofworld.com>. (дата обращения 07.08.2026)
7. Chaudhary L.B., Rana T.S., Anand K.K. Current status of the systematics of *Astragalus* L. (Fabaceae) with special reference to the Himalayan species in India. *Taiwania*, 2008, vol. 53, no. 4, P. 338–355.

8. Dong P., Wang L., Chen Y., Wang L., Liang W., Wang H., Guo F. Germplasm resources and genetic breeding of Huang-Qi (*Astragali Radix*): A systematic review. *Biology*, 2024, vol. 13, no. 8, article 625 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
9. Durazzo A., Lucarini M., Souto E.B. et al. *Astragalus* (*Astragalus membranaceus*): botanical, geographical, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 2021, vol. 338, article 128063.
10. Ghahremaninejad F. Notes about *Astragalus* (Leguminosae) in Iran. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 2015, vol. 117, P. 279–281.
11. Goncharov N.F. et al. *Astragalus* L. In: [Flora of the USSR]. Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1946, vol. 12, P. 1–873. (In Russ.).
12. International Plant Names Index (IPNI). *Astragalus ferganensis*. Available at: (accessed 23 November 2025) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ipni.org>. (дата обращения 07.08.2026)
13. Khasanov F. Red Book of the Republic of Uzbekistan. Plants. Tashkent, Chinor ENK Publ., 2019. P. 16–50.
14. Law S., Lo C.H., Han J., Leung A.W., Xu C. Traditional Chinese herb, *Astragalus*: possible for treatment and prevention of COVID-19? *Herba Polonica*, 2020, vol. 66, no. 4, P. 79–84.
15. Li S., Qian Y., Zhang Y. Nutritional and functional characteristics of seeds of selected *Astragalus* species // *Journal of Food Composition and Analysis*,. – 2018. – P. 1–7.
16. Perezhogin Yu.V., Borodulina O.V., Erokhin N.G., Kubentaev S.A. [New localities of species of the genus *Astragalus* L. in Kazakhstan]. *Fundamental and Experimental Biology*, 2023, vol. 110, no. 2, P. 107–112. (In Russ.).
17. Plants of the World Online (POWO). *Astragalus* L. Available at: (accessed 11 December 2025) [Электронный ресурс]. URL: <https://powo.science.kew.org>. (дата обращения 07.08.2026)
18. Podlech D., Zarre S. A taxonomic revision of the genus *Astragalus* L. (Leguminosae) in the Old World. Vol. 1. Wien, Naturhistorisches Museum Wien Publ., 2013. 822 P.
19. Rundel P.W., Arroyo M.T.K., Cowling R.M., Keeley J.E., Lamont B.B., Pausas J.G., Vargas P. Fire and plant diversification in Mediterranean-climate regions. *Ecology Letters*, 2015, vol. 18, no. 5, P. 451–466.
20. Townsend C.E., Kenno H., Brick M.A. Compatibility of cicer milkvetch in mixtures with cool-season grasses. *Agronomy Journal*, 1990, vol. 82, no. 2, P. 262–266.
21. Tozhibaev K.Sh., Beshko N.Yu., Azimova D.E., Turginov O.T. [Distribution features of species of the genus *Astragalus* L. in the Mountain Central Asian Province]. *Turczaninowia*, 2015, vol. 18, no. 2, P. 17–38. (In Russ.).
22. Turdiboev O.A., Davlatboyeva R.M. Revision of the collection of the genus *Astragalus* L. in the herbarium of Kokand State University (KD). In: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference “Actual Problems and Prospects of Modern Biology”. Andijan, 2025, P. 293–295.
23. Turtueva N., Sagdullaeva D., Karimov A. Biologically active compounds of Central Asian *Astragalus* species. *Chemistry of Natural Compounds*, 2013, vol. 49, no. 4, P. 650–654.

-
24. Vvedenskiy A.I. Astragalus L. In: [Flora of Uzbekistan]. Tashkent, Academy of Sciences of the Uzbek SSR Publ., 1955, vol. 3, P. 474–674. (In Russ.).
 25. Zhang D., Tan L., Yao L., Tao W., Gong R., Luo R., Cao W. Astragalus flavonoids: biological activities and pharmacological mechanisms. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020, Article ID 9726431 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)

Статья поступила в редакцию: 13.07.2026

Статья принята к публикации: 27.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 581.19+633.34+665.3

Влияние полипренолов листьев растений *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L. на масличность и жирнокислотный состав семян сои

Иботов Шохрух Хурматулло угли
PhD

ст. науч. сотр, Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: ibotov.shohruh@mail.ru

Юлдашева Нигора Каримовна
PhD

ст. науч. сотр. заведующий лабораторией липидов и наноконплексов Институт химии
растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусов АН РУз
Республика Узбекистан, Ташкент
E-mail: nigorayuldasheva@myrambler.ru

Хидырова Назира Кудратовна
канд. хим. наук

ст. науч. сотр., вед. науч. сотр., Институт химии растительных веществ им. акад.
С.Ю. Юнусова АН РУз
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nhidirova @ yandex. ru

Зокирова Умида Толибовна
PhD

мл. науч. сотр., Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: missumida@yandex.com

Муминов Абдували Акбаралиевич

доц. Научно исследовательский институт зерна и зернобобовых культур
Республика Узбекистан, г. Андижан
E-mail: abduvali.muminov66@mail.ru

Закирова Рано Пулатовна
PhD

ст. науч. сотр
Институт химии растительных веществ
им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: missumida@yandex.com

Influence of polyprenols from the leaves of *Gossypium hirsutum* L. and *Vitis vinifera* L. on the oil content and fatty acid composition of soybean seeds

Ibotov Shokhrukh Khurmatullo Ugli

PhD, Senior Researcher

Institute of the Chemistry of Plant Substances named after Acad. S.Y. Yunusov

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Yuldasheva Nigora Karimovna

PhD, Senior Researcher

Head of the Laboratory of Lipids and Nanocomplexes Academician S.Y. Yunusov Institute of the

Chemistry

of Plant Substances

Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Khidyrova Nazira Kudratovna

PhD in Chemistry

Senior Researcher, Leading Researcher

Academician S.Y. Yunusov Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Uzbekistan, Tashkent

Zokirova Umida Tolibovna

PhD, junior researcher

Institute of Chemistry of Plant Substances

named after acad. S.Y. Yunusov of the AS RUz

Uzbekistan, Tashkent

Muminov Abduvali Akbaralievich

Associate Professor

of Agriculture

Research Institute of Grain and Legume Crops

Uzbekistan, Andijan

Zakirova Rano Pulatovna

PhD in Chemistry, Senior Researcher

Institute of Chemistry of Plant Substances named after

acad. S.Y. Yunusov of the AS RUz

Uzbekistan, Tashkent

Работа выполнена при финансовой поддержке Агентства инновационного развития при

Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан в рамках

международного проекта № IL-7923051851

Аннотация

В работе исследовано влияние полипrenoлов, выделенных из листьев *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L., на масличность и жирнокислотный состав семян сои (*Glycine max* (L.) Merr.). Целью исследования являлась оценка возможности использования полипrenoлов в качестве природных регуляторов, способных повышать накопление липидов и изменять качественный состав жирных кислот в семенах сои. Для этого семена подвергали

Библиографическое описание: Влияние полипrenoлов листьев растений *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L. на масличность и жирнокислотный состав семян сои // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Иботов Ш.Х.У. [и др.]. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23237>

предпосевной обработке полипренольными экстрактами, после чего растения выращивали в одинаковых агротехнических условиях. В семенах полученного урожая определяли содержание нейтральных липидов и жирнокислотный состав с использованием общепринятых методов липидного анализа. Установлено, что применение полипренолов оказывает положительное влияние на накопление масла в семенах сои. В контрольном варианте содержание нейтральных липидов составляло 21,92 %, тогда как после обработки полипренолами, выделенными из *G. hirsutum* и *V. vinifera*, данный показатель увеличивался до 22,14 и 22,47 % соответственно. Анализ жирнокислотного состава показал, что преобладающими компонентами оставались линолевая и олеиновая кислоты. Предпосевная обработка не вызывала существенного изменения общего соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, однако сопровождалась количественными изменениями отдельных жирных кислот, наиболее выраженными для олеиновой и линолевой кислот. Полученные результаты свидетельствуют о том, что полипренолы растительного происхождения способны оказывать регулирующее влияние на липидный обмен, способствуя повышению масличности семян без существенного нарушения их жирнокислотного профиля. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полипренолов в технологиях предпосевной обработки семян для повышения продуктивности и улучшения качества масличных культур

Abstract

This study investigated the effect of polyprenols isolated from the leaves of *Gossypium hirsutum* L. and *Vitis vinifera* L. on the oil content and fatty acid composition of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds. The aim of the study was to evaluate the potential of plant-derived polyprenols as natural regulators capable of enhancing lipid accumulation and modifying the fatty acid profile of soybean seeds. Soybean seeds were subjected to pre-sowing treatment with polyprenol extracts, after which the plants were cultivated under identical agronomic conditions. The harvested seeds were analyzed to determine the content of neutral lipids and the fatty acid composition using standard lipid analysis methods. The results demonstrated that polyprenol treatment positively affected oil accumulation in soybean seeds. In the control, the neutral lipid content was 21.92 %, whereas treatment with polyprenols isolated from *G. hirsutum* and *V. vinifera* increased this value to 22.14 % and 22.47 %, respectively. Fatty acid analysis showed that linoleic and oleic acids remained the predominant components of the seed oil. Pre-sowing treatment did not significantly alter the overall ratio of saturated to unsaturated fatty acids but induced quantitative changes in individual fatty acids, with the most pronounced effects observed for oleic and linoleic acids. These findings indicate that plant-derived polyprenols can regulate lipid metabolism, promote oil accumulation, and maintain the characteristic fatty acid profile of soybean seeds. The results highlight the potential application of polyprenols as environmentally friendly biostimulants for improving the productivity and oil quality of soybean and other oilseed crops.

Ключевые слова: соя, *Glycine max*, полипренолы, *Gossypium hirsutum*, *Vitis vinifera*, масличность, нейтральные липиды, жирные кислоты, линолевая кислота, олеиновая кислота.

Keywords: soybean, *Glycine max*, polyprenols, *Gossypium hirsutum*, *Vitis vinifera*, oil content, neutral lipids, fatty acids, linoleic acid, oleic acid.

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, широко используемых как источник растительного белка и масла. Высокая биологическая ценность соевого масла обусловлена значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот, прежде всего линолевой и олеиновой, определяющих его пищевые и технологические свойства, она является ценным сырьём для производства разнообразных пищевых продуктов [8,9]. В связи с этим актуальной задачей является поиск эффективных способов направленного регулирования липидного и жирнокислотного состава семян. В последние годы особое внимание уделяется природным биологически активным соединениям, способным влиять на метаболические процессы в растениях. К их числу относятся полипrenoлы, широко распространённые в растительном мире и участвующие в регуляции биосинтетических процессов [6,3]. Показано, что полипrenoлы обладают выраженной биологической активностью и могут оказывать влияние на рост, развитие и адаптацию растений к неблагоприятным условиям среды [4].

Одним из перспективных подходов к модификации метаболизма растений является предпосевная обработка семян, позволяющая направленно воздействовать на формирование биохимических показателей.

Целью данной работы явилось изучение влияния предпосевной обработки семян сои полипrenoлами двух видов растений - *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L. на содержание липидов и жирнокислотный состав семян выращенного урожая.

Материалы и методы исследования

Для получения полипренольных экстрактов растительный материал *Gossypium hirsutum* L. был собран на территории Ташкентской области, *Vitis vinifera* L. в Сурхандарьинской области в сентябре 2024г. Объектами исследования служили полипренольные фракции, выделенные из листьев растений *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L., а также семена сои (*Glycine max* (L.) Merr.) сорта Хосилдор.

Растительный материал *G. hirsutum* был собран в сентябре 2024 года на территории Ташкентской области Республики Узбекистан, а листья *V. vinifera* – в Сурхандарьинской области. Полипренольные фракции извлекали из высушенного и измельченного растительного сырья 96 %-ным этиловым спиртом по ранее описанной методике. Выход полипренольных фракций составил 3,9 % для *G. hirsutum* и 2,03 % для *V. vinifera*. [2,7].

Полевой эксперимент проводили на опытном участке Научно-исследовательского института зерновых и зернобобовых культур (Андижанская область, Республика Узбекистан). Перед посевом семена сои сорта Хосилдор подвергали предпосевной обработке полипренольными экстрактами путем замачивания в течение 14 часов. Посев был проведен 26 апреля 2025 года. Урожай семян собирали 15 октября 2025 года.

Для определения масличности из воздушно-сухих измельченных семян экстракцией бензином выделяли нейтральные липиды (НЛ) [5]. Содержание нейтральных липидов рассчитывали в процентах от массы семян.

Для анализа жирнокислотного состава из нейтральных липидов получали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) методом кислого метанолиза [1]. Полученные образцы очищали препаративной тонкослойной хроматографией в системе растворителей гексан: диэтиловый эфир (8:2).

Газохроматографический анализ МЭЖК проводили на приборе Agilent 8860 GC с пламенно-ионизационным детектором. Использовали капиллярную колонку Supelco SP™-2560 длиной 100 м и внутренним диаметром 0,25 мм. В качестве газа-носителя применяли азот. Температуру колонки программировали в диапазоне от 140 до 250 °С. Идентификацию жирных кислот осуществляли путем сравнения времен удерживания компонентов образцов со стандартной смесью Supelco® 37 Component FAME Mix (Sigma-Aldrich, США).

Полученные результаты представлены в виде среднего содержания нейтральных липидов и относительного содержания отдельных жирных кислот, выраженного в процентах от общей суммы жирных кислот.

Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания нейтральных липидов (масличности) в семенах сои представлены в таблице 1. Установлено, что предпосевная обработка семян полипренольными экстрактами растений *Gossypium hirsutum* и *Vitis vinifera* способствовала увеличению масличности по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 1.

Масличность семян *Glycine max* (L.) Merr

Показатель	Контроль	ПП <i>G. hirsutum</i>	ПП <i>V. vinifera</i>
Нейтральные липиды (масличность), %, от массы семян	21,92	22,14	22,47

Установлено, что во всех опытных вариантах наблюдается увеличение содержания нейтральных липидов по сравнению с контролем (табл.1). Если в контрольном образце масличность составляла 21,92 %, в варианте с применением полипренолов *Gossypium hirsutum* L. для предпосевного замачивания семян сои масличность в семенах полученного урожая (22,14 %) выше была контроля на 0,22 %, ПП *Vitis vinifera* L. (22,47) на 0,55 %. Для оценки влияния полипренольных экстрактов на качественный состав запасных липидов семян сои был изучен жирнокислотный состав нейтральных липидов. Полученные результаты показали, что во всех исследованных образцах преобладали ненасыщенные жирные кислоты, характерные для масла сои. Количественное содержание отдельных жирных кислот в контрольном и опытных вариантах представлено в таблице 2.

Таблица 2.

Состав жирных кислот НЛ семян *Glycine max*, ГХ, % от массы кислот

Кислота	Контроль	ПП <i>G. hirsutum</i>	ПП <i>V. vinifera</i>
10:0	0,17	0,22	0,06
12:0	-	-	Сл.
14:0	0,15	0,12	0,11

Кислота	Контроль	ПП <i>G. hirsutum</i>	ПП <i>V. vinifera</i>
16:0	12,40	12,57	12,82
16:1	0,11	0,11	0,11
17:0	-	0,09	0,09
18:0	4,45	4,26	4,38
цис-18:1n9	22,22	24,25	22,74
18:2n6	53,97	51,88	53,31
18:3n3	5,55	5,59	5,51
20:0	0,37	0,33	0,35
20:1n9	0,29	0,28	0,22
22:0	0,32	0,30	0,30
Σ насыщенных ЖК	17,86	17,89	18,11
Σ ненасыщенных ЖК	82,14	82,11	81,89

Данные табл. 2 показывают, что в НЛ этерифицировано 11 – 12 ЖК. Основную долю ЖК во всех вариантах составляют полиненасыщенные жирные кислоты, прежде всего линолевая (18:2n6 ~51,9-54,0 %) и олеиновая (цис-18:1n9 ~22,2-24,3 %).

Таким образом, предпосевная обработка полипренольными экстрактами растений *G. hirsutum* и *V. vinifera* вызывает увеличение содержания общих липидов в семенах сои и оказывает умеренное влияние на их жирнокислотный состав, не изменяя принципиально соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, но вызывая отдельные количественные колебания, наиболее выраженные для олеиновой и линолевой кислот. Это указывает на способность применяемых обработок направленно модифицировать жирнокислотный профиль растений, что может быть связано с адаптационными и метаболическими перестройками в процессе роста.

Заключение

Предпосевная обработка семян сои полипренольными экстрактами *Gossypium hirsutum* L. и *Vitis vinifera* L. способствует увеличению масличности семян и оказывает умеренное влияние на их жирнокислотный состав. Наибольший эффект по повышению содержания нейтральных липидов наблюдался при использовании полипренолов *V. vinifera*. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения растительных полипренолов в качестве природных регуляторов липидного обмена и повышения масличности семян сои.

Список литературы

- ГОСТ 30418–96. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. – Межгосударственный стандарт. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 12 с.
- Зокирова, У.Т., Хидирова, Н.К., Маматкулова, Н.М., Ходжаниязов, Х.У., Шахидоятов, Х.М. Growth stimulating activity of derivatives of quinazoline-4-one and quinazoline-4-thione // International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Research. – 2013. – № 2.

3. Кукина, Т.П., Баяндина, И.И., Покровский, А.Н. Неполарные компоненты экстрактов зверобоя продырявленного // Химия растительного сырья. – 2007. – № 3.
4. Маматкулова, Н.М., Хидирова, Н.К., Мамарозиқов, У.Б., Ходжаниязов, Х.У. Study of chemical composition of the lipid fraction of some plants of the Flora of Uzbekistan // Journal of Chemical and Chemical Sciences. – 2016. – № 6.
5. Руководство по методам исследования, технoхимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. – Т. 1. – Кн. 2. – Ленинград: ВНИИЖ, 1967. – 817 с.
6. Хидирова, Н.К., Кукина, Т.П., Рахматова, М. Дз., Шахидоятов, Р.Х., Шахидоятов, Х.М. Polyprenols and triterpenoids from leaves of *Alcea nudiflora* // Chemistry of Natural Compounds. – 2012. – № 2.
7. Шахидоятов, Х.М., Хидирова, Н.К., Маматкулова, Н.М., Мусаева, Г.В., Каримов, Р.К., Умаров, А.А., Ниязметов, У., Киктев, М.М.. Способ получения биостимулятора: пат. IAP 20090160 Республика Узбекистан. – Оpubл. 2012.
8. Шукис, Е.Р., Мухин, В.Н., Шукис, С.К. Совершенствование видового и сортового состава зернобобовых и кормовых культур в условиях Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1.
9. Das, H.P., Pujari, A.D., Chowdhury, A. Dependence of soybean yield on crop evapotranspiration, crop duration and rainfall // MAUSAM. – 2021. – № 4.

References

1. [Vegetable oils. Method for determination of fatty acid composition]. – Mezghosudarstvennyj standart. – Minsk: Mezghosudarstvennyj sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1996. – 12 s (In Russ.)
2. Zokirova U.T., Khidirova N.K., Mamatkulova N.M., Khodzhanizayov, Kh. U., Shakhidoyatov, Kh. M. [Growth stimulating activity of derivatives of quinazoline-4-one and quinazoline-4-thione] // International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Research. – 2013. – № 2.
3. Kukina T.P., Bayandina I.I., Pokrovskij A.N. [Non-polar components of extracts of *Hypericum perforatum*] // Khimiya rastitel'noy syrya. – 2007. – № 3.
4. Маматкулова, Н.М., Хидирова, Н.К., Мамарозиқов, У.Б., Ходжаниязов, Х.У. [Study of chemical composition of the lipid fraction of some plants of the Flora of Uzbekistan] // Journal of Chemical and Chemical Sciences. – 2016. – № 6.
5. [Guide to research methods, technochemical control and production accounting in the oil and fat industry]. – Т. 1. – Кн. 2. – Leningrad: VNIIZh, 1967. – 817 s (In Russ.)
6. Khidirova N.K., Kukina T.P., Rakhmatova, M. [Polyprenols and triterpenoids from leaves of *Alcea nudiflora*] // Chemistry of Natural Compounds. – 2012. – № 2.
7. Shakhidoyatov, Kh. M., Khidirova N.K., Mamatkulova N.M., Musaeva G.V., Karimov R.K., Umarov A.A., Niyazmetov, U., Kiktev M.M. [Method for obtaining a biostimulator: pat. IAP 20090160 Republic of Uzbekistan]. – Opubl. 2012 (In Russ.)

-
8. Shukis E.R., Mukhin V.N., Shukis S.K. [Improvement of species and varietal composition of legume and forage crops under conditions of Altai Krai] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – № 1.
 9. Das H.P., Pujari A.D., Chowdhury, A. Dependence of soybean yield on crop evapotranspiration, crop duration and rainfall // MAUSAM. – 2021. – № 4.

Статья поступила в редакцию: 07.07.2026

Статья принята к публикации: 26.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 577.112.083:577.29

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23239

Ингибиторная активность ядов различных животных в отношении ферментов NNMT и p300

Фазлиддинов Шамсиддин Жамолиддин угли

базовый докторант

Институт биоорганической химии

Академия наук Республики Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: fazliddinovshamsiddin8@gmail.com

Нурмирзаев Иброхим Абдулла угли

стажёр-исследователь, Институт биоорганической химии, Академия наук Республики

Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ibrokhim1997.uz@gmail.com

Мухамедов Нурходжа Рамазанович

канд. хим. наук

ст. науч. сотр., Институт биоорганической химии, Академия наук Республики Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: khodja.cht@gmail.com

Яшинов Ансор Шарофиддин угли

канд. хим. наук

ст. науч. сотр., Институт биоорганической химии, Академия наук Республики Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ansor777777@mail.ru

Мирзаахмедов Шарафитдин Яшинович

д-р. хим. наук, вед. науч. сотр., Институт биоорганической химии, Академия наук

Республики Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: mirzaakhmedov@mail.ru

Screening of the inhibitory activity of venoms from various animals against NNMT and p300 enzymes

Fazliddinov Shamsiddin Jamoliddin ugli
PhD
student

*Institute of Bioorganic Chemistry
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

Nurmirzaev Ibrokhim Abdulla ugli
Junior Researcher

*Institute of Bioorganic Chemistry
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

Mukhamedov Nurkhodja Ramazanovich
PhD

*in Chemistry, Senior Researcher
Institute of Bioorganic Chemistry
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

Yashinov Ansor Sharofiddin ugli
PhD

*in Chemistry, Senior Researcher
Institute of Bioorganic Chemistry
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

Mirzakhmedov Sharafiddin Yashinovich
Doctor of Chemical Sciences
Leading Researcher

*Institute of Bioorganic Chemistry
Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

*Финансирование. Работа выполнена в рамках базового финансирования лаборатории
Создания новых лекарственных форм на основе биополимеров института Биоорганической
химии Академии наук Республики Узбекистан.*

Аннотация

Никотинамид-N-метилтрансфераза (NNMT) и гистоновая ацетилтрансферазы p300 рассматриваются как перспективные молекулярные мишени противоопухолевой терапии. Целью настоящего исследования является сравнительно оценить ингибирующей активности ядов различных животных в отношении этих ферментов. Объектами исследования в данной работе использовали яды среднеазиатской кобры (*Naja oxiana*), эфы (*Echis carinatus multiscuamatus*), гюрзы (*Vipera lebetina turanica*), скорпиона (*Mesobuthus eupeus*), каракурта (*Latrodectus mactans*) и зелёной жабы (*Bufo viridis*). Ингибирующую активность определяли с использованием ферментативных тест-систем. Установлено, что наиболее выраженной ингибирующей активностью в отношении NNMT обладают яды скорпиона, кобры и эфы,

Библиографическое описание: Ингибиторная активность ядов различных животных в отношении ферментов NNMT и p300 // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Фазлиддинов Ш.Ж.У. [и др.]. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23239>

тогда как максимальное ингибирование p300 наблюдалось для ядов кобры и эфы. Яд скорпиона как наиболее активный образец подвергали фракционированию гель-фильтрацией с последующей оценкой биологической активности полученных фракций. Фракционирование яда скорпиона показало, что активность в отношении NNMT преимущественно сосредоточена в низкомолекулярных фракциях, тогда как ингибирующее действие на p300 характерно главным образом для высокомолекулярных фракций. Полученные результаты свидетельствуют о различной природе соединений, взаимодействующих с исследованными молекулярными мишенями. Практическая значимость работы заключается в выявлении перспективных природных источников ингибиторов NNMT и p300, которые могут служить основой для дальнейшего выделения, структурной идентификации и изучения соединений с потенциальной противоопухолевой активностью.

Abstract

Nicotinamide N-methyltransferase (NNMT) and histone acetyltransferase p300 are considered promising molecular targets for anticancer therapy. The aim of this study was to compare the inhibitory activity of various animal venoms against these enzymes. The venoms used in this study included the Central Asian cobra (*Naja oxiana*), saw-scaled viper (*Echis carinatus multiscuamatus*), blunt-nosed viper (*Vipera lebetina turanica*), scorpion (*Mesobuthus eupeus*), black widow spider (*Latrodectus mactans*), and green toad (*Bufo viridis*). Inhibitory activity was determined using enzymatic assays. It was established that the venoms of scorpions, cobras, and ephas exhibit the most pronounced inhibitory activity against NNMT, while maximum p300 inhibition was observed for cobra and ephas venoms. Scorpion venom, as the most active sample, was fractionated by gel filtration, followed by an assessment of the biological activity of the resulting fractions. Fractionation of the scorpion venom revealed that NNMT activity is predominantly concentrated in low-molecular-weight fractions, while the inhibitory effect on p300 is characteristic mainly of high-molecular-weight fractions. The obtained results indicate the diverse nature of the compounds interacting with the studied molecular targets. The practical significance of this study lies in the identification of promising natural sources of NNMT and p300 inhibitors, which can serve as a basis for further isolation, structural identification, and characterization of compounds with potential antitumor activity.

Ключевые слова: *Naja Oxiana*, *Vipera lebetina*, *Echis carinatus*, *Latrodectus mactans*, *Bufo Viridis*, *Mesobuthus eupeus*, NNMT, p300.

Keywords: *Naja Oxiana*, *Vipera lebetina*, *Echis carinatus*, *Latrodectus mactans*, *Bufo Viridis*, *Mesobuthus eupeus*, NNMT, p300.

Введение

Природные биологически активные соединения являются одним из важнейших источников для создания новых лекарственных средств[1, с. 201]. Особый интерес представляют пептиды и белки, содержащиеся в ядах змей, скорпионов, пауков и других ядовитых животных, которые обладают высокой селективной биологической активностью и способны регулировать функциональную активность ионных каналов, рецепторов

и различных ферментов [4, с. 1 – 2]. В последние годы значительно возрос интерес к использованию этих биомолекул для лечения онкологических, метаболических и нейродегенеративных заболеваний [6, с. 2747].

Среди ферментов, регулирующих эпигенетические и метаболические процессы, особое значение имеют никотинамид-N-метилтрансфераза (NNMT) и гистоновая ацетилтрансфераза p300. Фермент NNMT катализирует метилирование никотинамида с участием S-аденозилметионина, участвуя в регуляции клеточного метаболизма, обмена NAD^+ и процессов метилирования. Повышенная экспрессия данного фермента выявлена при многих злокачественных новообразованиях, ожирении, сахарном диабете 2-го типа, а также при некоторых нейродегенеративных заболеваниях, что делает его перспективной терапевтической мишенью [8, с. 1051, 2, с. 2].

В свою очередь, фермент p300 регулирует структуру хроматина и транскрипцию генов посредством ацетилирования лизиновых остатков гистоновых белков. Нарушение активности p300 тесно связано с процессами клеточной пролиферации, дифференцировки и развитием опухолей, в связи с чем поиск его ингибиторов является одним из актуальных направлений современной фармакологии [9, с. 1 – 2].

Благодаря высокой биологической активности пептиды и белки, входящие в состав ядов животных, рассматриваются как перспективный природный источник ингибиторов ферментов. В частности, яд скорпиона *Mesobuthus eupeus* содержит многочисленные пептиды, различающиеся по молекулярной массе и биологическим функциям, некоторые из которых способны эффективно модулировать активность ионных каналов и ферментов [7, с. 6. 8, с. 608 – 609]. Однако ингибиторная активность данного яда в отношении ферментов NNMT и p300, а также состав его биологически активных фракций изучены недостаточно.

В настоящем исследовании проведён скрининг ингибиторной активности ядов различных животных, включая *Naja oxiana*, *Vipera lebetina*, *Echis carinatus*, *Latrodectus mactans*, *Buthotus viridis* и *Mesobuthus eupeus*, в отношении ферментов NNMT и p300. Яд *Mesobuthus eupeus*, проявивший наиболее высокую биологическую активность, был разделён на фракции методом гель-фильтрационной хроматографии. Полученные фракции были исследованы на наличие ингибиторной активности, а наиболее перспективные из них отобраны для дальнейшей очистки до индивидуальных пептидов и белков. Полученные результаты создают научную основу для поиска новых ингибиторов ферментов природного происхождения и перспективных биологически активных молекул, которые могут быть использованы при разработке новых противоопухолевых препаратов.

Материалы и методы

Материалы. Тест-наборы для определения ингибиторной активности в отношении ферментов NNMT и p300 были закуплены у компании MyBioSource. Все реагенты, использованные в работе, имели аналитическую степень чистоты.

Определение ингибиторной активности в отношении фермента NNMT. Ингибиторную активность по отношению к ферменту NNMT определяли по методике, описанной в работе [5, с. 2]. Исследуемые ингибиторы предварительно растворяли в соответствующем растворителе до концентрации, в 100 раз превышающей конечную концентрацию в анализе. Образцы массой 10 мг были растворены в деионизированной воде

объемом 1 мл. Затем растворы разбавляли буфером для анализа NNMT до концентрации 0,3 мг/мл. Компоненты реакционной смеси объединяли в соответствии со схемой, приведённой в таблице 1.

Таблица 1.

Компоненты реакционной смеси при определении ингибиторной активности фермента NNMT

Компонент	Образец	Контроль фермента	Бланк	Положительный контроль
Исследуемый ингибитор	50 мкл	–	–	–
Буфер для анализа	–	50 мкл	75 мкл	48 мкл
Контроль ингибитора	–	–	–	2 мкл

Фермент NNMT и фермент I предварительно разводили буфером для анализа NNMT в соотношении 1:5. Для каждой лунки (образец, контроль фермента, бланк и контроль ингибитора) готовили 75 мкл реакционной смеси следующего состава:

- Буфер для анализа NNMT — 58,5 мкл
- NNMT, разведённый в соотношении 1:5 — 2,5 мкл
- Фермент I, разведённый в соотношении 1:5 — 10 мкл
- S-аденозилметионин (SAM) — 2 мкл
- Фермент II — 2 мкл

Полученную реакционную смесь тщательно перемешивали и вносили по 75 мкл в каждую лунку планшета. После этого содержимое лунок вновь перемешивали. Затем во все лунки, за исключением контроля фона (бланка), добавляли по 25 мкл раствора никотинамида. При этом, концентрация исследуемых образцов в лунках составляла 0,1 мг/мл. После тщательного перемешивания планшет инкубировали при 37 °С в течение 15 мин.

Реакцию останавливали добавлением в каждую лунку 50 мкл предварительно охлаждённого изопропилового спирта, после чего содержимое тщательно перемешивали и выдерживали на льду в течение 5 мин.

Далее в каждую лунку добавляли 50 мкл раствора реагента для определения тиольных групп, состоящего из 48 мкл диметилсульфоксида (DMSO) и 2 мкл реагента для определения тиолов. Смесь тщательно перемешивали и инкубировали при комнатной температуре в течение 5 мин. После инкубации интенсивность флуоресценции немедленно измеряли с использованием мультимодального ридера EnSpire™ 2300 (PerkinElmer) при длинах волн возбуждения и эмиссии $E_{\text{ex}}/E_{\text{em}} = 392/482$ нм. Эксперименты проводили в трёх повторностях.

Относительную степень ингибирования (%) рассчитывали по уравнению (1).

1 уравнения

$$\% = \left(1 - \frac{(\text{Образец} - \text{Бланк})}{(\text{Контроль ингибитора} - \text{Бланк})} \right) \times 100$$

Определение ингибиторной активности в отношении фермента р300.

Ингибиторную активность по отношению к ферменту р300 определяли по методике, описанной в работе [5, с. 2]. Исследуемые образцы массой 10 мг растворяли в деионизированной воде объемом 1 мл, после чего разбавляли буфером для анализа р300 до концентрации 0,4 мг/мл.

В соответствующие лунки планшета вносили по 25 мкл разбавленного исследуемого ингибитора (образец, S) либо по 25 мкл буфера для анализа р300 (контроль фермента, ЕС, и контроль фона, ВС). Для контроля ингибитора (IC) в соответствующие лунки добавляли 1 мкл анакардовой кислоты и 24 мкл буфера для анализа р300.

Для каждой лунки, содержащей исследуемый ингибитор, контроль фермента, контроль фона и контроль ингибитора, готовили по 25 мкл раствора фермента р300, состоящего из 24 мкл буфера для анализа р300 и 1 мкл фермента р300. Полученный раствор доводили буфером для анализа р300 до требуемой рабочей концентрации. Компоненты реакционной смеси объединяли в соответствии со схемой, представленной в таблице 2.

После тщательного перемешивания в каждую соответствующую лунку добавляли по 25 мкл приготовленного раствора фермента. Содержимое лунок перемешивали и инкубировали при 30 °С в течение 10 мин.

Для образца (S), контроля фермента (ЕС) и контроля ингибитора (IC) готовили раствор субстрата р300 и вносили его по 50 мкл в каждую лунку. В лунки контроля фона (ВС) добавляли по 50 мкл раствора ВС.

Таблица 2.

Состав растворов субстрата р300 и контроля фона (ВС)

Компонент	Раствор субстрата р300	Раствор ВС
Буфер для анализа р300	45 мкл	48 мкл
Ацетил-КоА (Acetyl-CoA)	2 мкл	2 мкл
Пептид НЗ	3 мкл	—

Полученные растворы субстрата р300 и раствора ВС тщательно перемешивали и вносили в соответствующие лунки планшета по 50 мкл. При этом, концентрация исследуемых образцов в лунках составляла 0,1 мг/мл. После повторного перемешивания планшет инкубировали при 30 °С в течение 30 мин.

Реакцию останавливали добавлением в каждую лунку 50 мкл предварительно охлажденного изопропилового спирта. Непосредственно перед использованием готовили рабочий раствор реагента для определения тиольных групп, смешивая 48 мкл диметилсульфоксида (DMSO) с 2 мкл реагента для определения тиолов. В каждую лунку вносили по 50 мкл приготовленного рабочего раствора, тщательно перемешивали и инкубировали при комнатной температуре в течение 15 мин. После инкубации интенсивность флуоресценции измеряли с помощью мультирежимного ридера EnSpire™ 2300 (PerkinElmer) при длинах волн возбуждения и эмиссии $E_{\text{ex}}/E_{\text{em}} = 392/482$ нм.. Относительную степень ингибирования рассчитывали по формуле (1).

Фракционирование и очистка яда скорпиона. Разделение и очистку яда скорпиона проводили по методике, описанной в работе [10, с. 2 – 3]. Яд скорпиона *Mesobuthus eupeus* фракционировали методом гель-фильтрационной хроматографии. Разделение осуществляли на хроматографической колонке, заполненной сорбентом Sephadex HW-55. В качестве подвижной фазы использовали 0,02 М раствор ацетата аммония ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) с pH 7,4. Скорость элюирования составляла 1 мл/мин. Разделение продолжалось 12 часов.

Результаты и обсуждения

Скрининг ингибиторной активности в отношении фермента NNMT

Никотинамид-N-метилтрансфераза (NNMT) катализирует N-метилирование никотинамида, пиридинов и других структурно родственных соединений с использованием S-аденозилметионина (SAM) в качестве донора метильной группы, в результате чего образуется 1-метилникотинамид (MNA). Фермент NNMT играет важную роль в регуляции метаболических процессов и принимает участие в поддержании клеточного метаболизма. Установлено, что его экспрессия значительно повышается при различных злокачественных новообразованиях, нейродегенеративных заболеваниях, ожирении и сахарном диабете, что позволяет рассматривать данный фермент как перспективную молекулярную мишень для разработки новых лекарственных препаратов

С целью оценки ингибиторной активности в отношении фермента NNMT все исследуемые образцы ядов были протестированы при концентрации 0,1 мг/мл. Результаты исследования биологической активности представлены на рисунке 1.

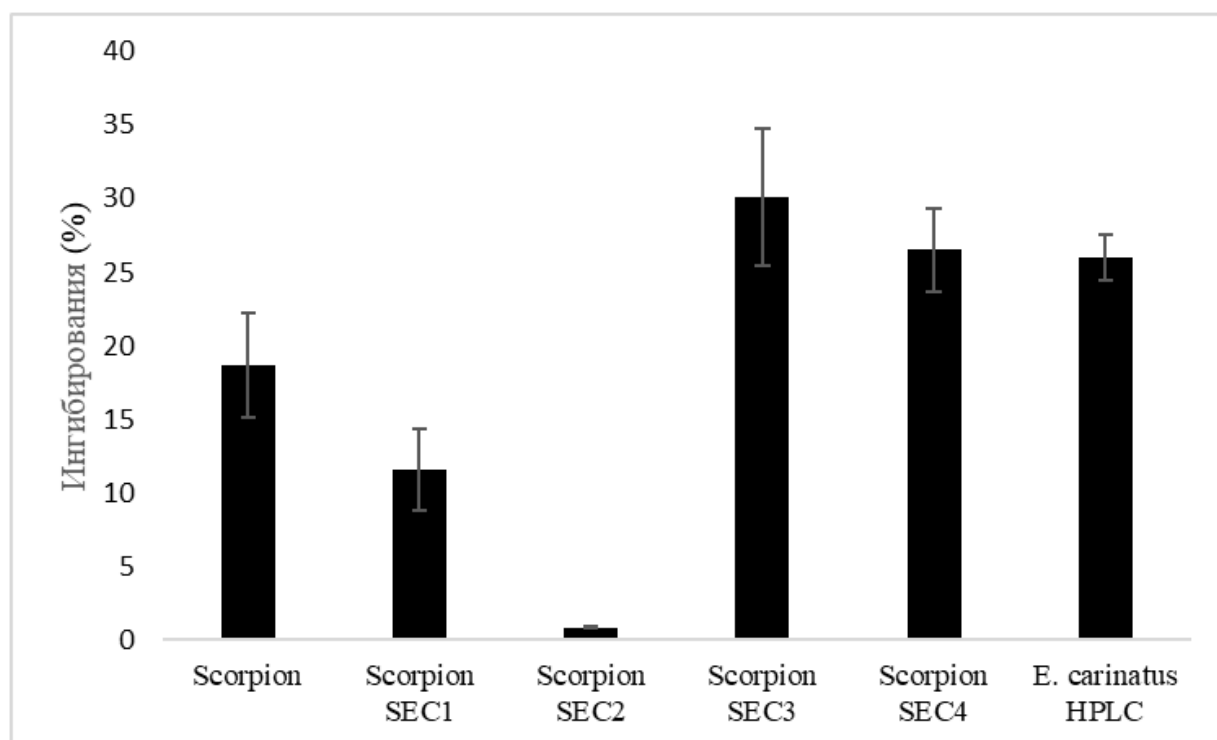


Рисунок 1. Ингибиторная активность ядов в отношении фермента NNMT при концентрации 0,1 мг/мл. n=3

При исследовании ингибиторной активности исходных ядов в отношении фермента NNMT при концентрации 0,1 мг/мл выраженная ингибирующая активность была выявлена только у ядов среднеазиатской кобры (*Naja oxiana*), эфы (*Echis carinatus*) и жёлтого скорпиона (*Mesobuthus eupeus*). Степень ингибирования составила 16 %, 15 % и 20 % соответственно. Для остальных исследованных ядов при данной концентрации статистически значимой ингибиторной активности не наблюдалось.

Кроме того, в ходе исследования были изучены четыре фракции яда скорпиона, полученные методом гель-фильтрационной хроматографии (рисунок 2), а также индивидуальное соединение, выделенное методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) из фракции яда эфы с молекулярной массой менее 3 кДа, полученной после ультрафильтрации. Все исследуемые образцы были протестированы на ингибиторную активность в отношении фермента NNMT при концентрации 0,1 мг/мл. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

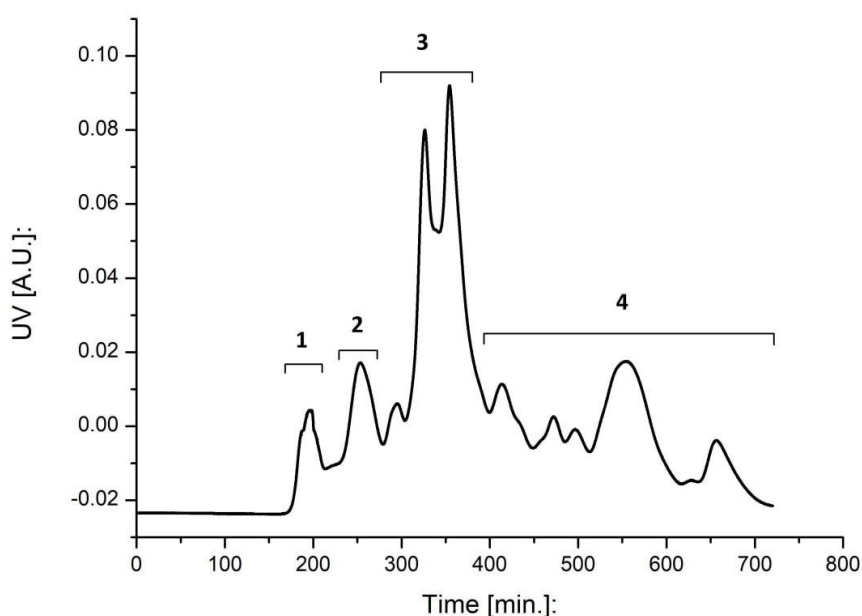


Рисунок 2. Профиль гель-фильтрационной хроматографии яда скорпиона *Mesobuthus eupeus*

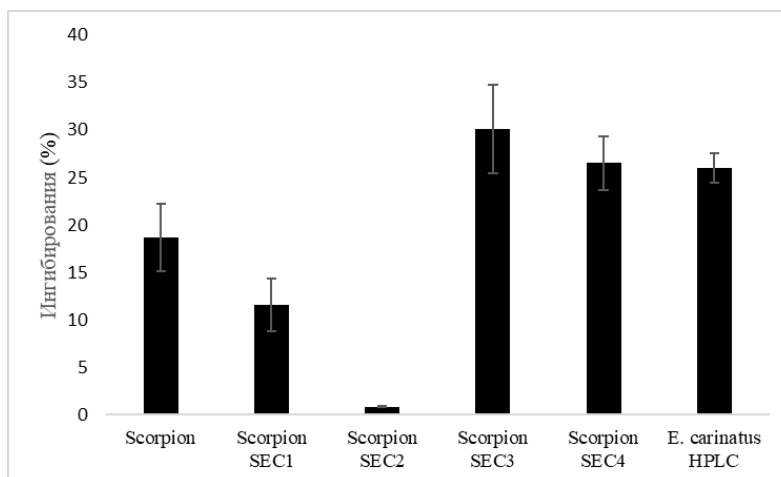


Рисунок 3. Ингибиторная активность фракций яда скорпиона *Mesobuthus eupeus* в отношении фермента NNMT при концентрации 0,1 мг/мл. n=3

Как видно из представленной гистограммы, низкомолекулярные 3-я и 4-я фракции яда скорпиона проявили наиболее высокую ингибиторную активность в отношении фермента NNMT, обеспечив около 30 % ингибирования. Напротив, высокомолекулярные 1-я и 2-я фракции продемонстрировали более низкую активность, составившую соответственно 20 % и 15 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что основные ингибиторы фермента NNMT, вероятно, сосредоточены в низкомолекулярных фракциях яда *Mesobuthus eupeus*. В настоящее время проводятся дальнейшие исследования, направленные на очистку 3-й и 4-й фракций до индивидуальных соединений с использованием дополнительных хроматографических методов.

Скрининг ингибиторной активности в отношении фермента p300

Фермент p300 (КАТЗВ) относится к семейству гистоновых ацетилтрансфераз и участвует в активации транскрипции посредством ацетилирования лизиновых остатков гистонов H3 и H4, что приводит к ремоделированию структуры хроматина и регуляции экспрессии генов. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что p300 играет важную роль в процессах пролиферации, дифференцировки и выживания опухолевых клеток. В связи с этим ингибиторы p300 рассматриваются как перспективные кандидаты для разработки новых противоопухолевых препаратов

С целью оценки ингибиторной активности в отношении фермента p300 все исследуемые образцы ядов были протестированы при концентрации 0,1 мг/мл. Результаты определения биологической активности представлены на рисунке 4.

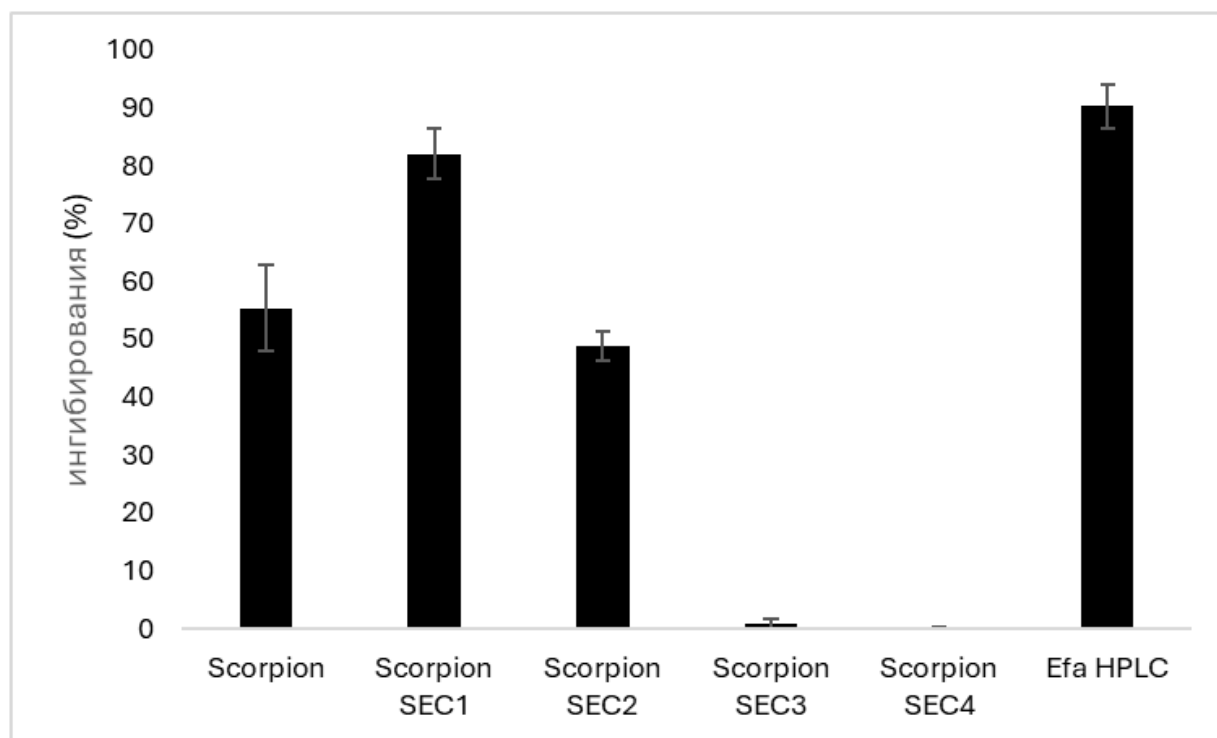


Рисунок 4. Результаты скрининга ингибиторной активности ядов в отношении фермента р300 при концентрации 0,1 мг/мл. n=3

При исследовании ингибиторной активности исходных ядов в отношении фермента р300 при концентрации 0,1 мг/мл было установлено, что наиболее выраженную ингибирующую активность проявили яды среднеазиатской кобры (*Naja oxiana*) и эфы (*Echis carinatus*), обеспечившие практически одинаковую степень ингибирования — около 80 %. Яды гюрзы (*Vipera lebetina*) и жёлтого скорпиона (*Mesobuthus eupeus*) продемонстрировали несколько более низкую, однако достаточно высокую ингибиторную активность, которая составила в среднем около 50 %. В то же время у ядов каракурта (*Latrodectus mactans*) и зелёной жабы (*Bufo viridis*) ингибирующая активность в отношении фермента р300 выявлена не была.

В продолжение исследования были также изучены фракции яда жёлтого скорпиона (*Mesobuthus eupeus*), полученные методом гель-фильтрационной хроматографии, а также фракции, выделенные из яда эфы (*Echis carinatus*). При их исследовании на ингибиторную активность в отношении фермента р300 при концентрации 0,1 мг/мл были получены неожиданные результаты. Результаты определения биологической активности представлены на рисунке 5.

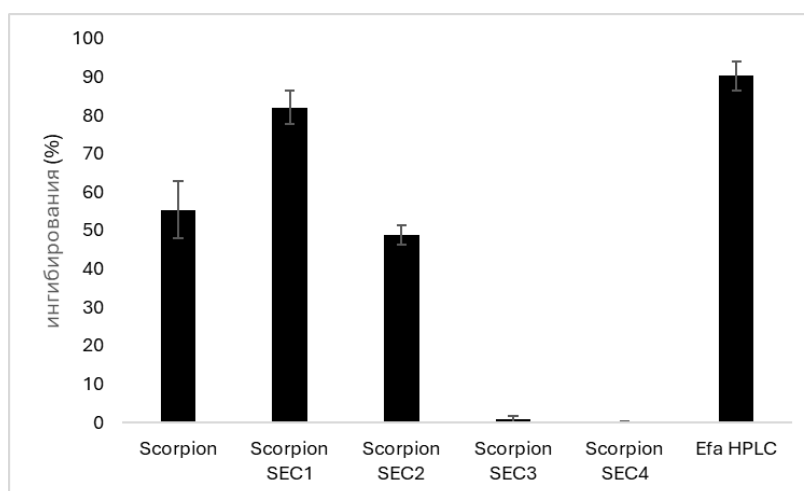


Рисунок 5. Ингибиторная активность фракций яда скорпиона *Mesobuthus eupeus* в отношении фермента p300 при концентрации 0,1 мг/мл. n=3

Как правило, предполагается, что ингибиторная активность в отношении ферментов преимущественно обусловлена низкомолекулярными пептидами, поскольку именно молекулы небольшого размера способны проникать в активный центр фермента p300 и взаимодействовать с его аминокислотными остатками, блокируя каталитическую активность. Однако в настоящем исследовании были получены неожиданные результаты: наиболее выраженную ингибиторную активность среди фракций яда жёлтого скорпиона *Mesobuthus eupeus* проявили высокомолекулярные 1-я и 2-я фракции, обеспечившие соответственно около 80 % и 50 % ингибирования.

Полученные результаты могут быть объяснены несколькими возможными механизмами. Во-первых, ингибирование активности p300 может быть связано с присутствием в яде скорпиона протеолитических ферментов, способных частично гидролизовать молекулу фермента p300, что приводит к снижению его каталитической активности. Во-вторых, не исключено, что отдельные субъединицы или структурные домены белков, входящих в состав 1-й и 2-й фракций, способны взаимодействовать с активным центром фермента p300 или прилегающими к нему участками, пространственно экранируя активный центр и тем самым препятствуя связыванию субстрата. В таком случае ингибирующее действие может осуществляться не всей белковой молекулой, а её отдельными функциональными участками.

В настоящем исследовании проведён скрининг ингибиторной активности ядов различных животных в отношении ферментов NNMT и p300. Полученные результаты продемонстрировали, что исследованные яды характеризуются различной степенью селективности по отношению к данным ферментам. Наиболее высокая ингибиторная активность в отношении NNMT была выявлена у яда скорпиона *Mesobuthus eupeus*, а также у ядов среднеазиатской кобры (*Naja oxiana*) и эфы (*Echis carinatus*). Это свидетельствует о наличии в составе указанных ядов биологически активных компонентов, способных взаимодействовать с ферментом NNMT.

Исследование фракций яда *Mesobuthus eupeus*, полученных методом гель-фильтрационной хроматографии, показало, что наибольшую ингибиторную активность в отношении NNMT проявляют низкомолекулярные 3-я и 4-я фракции. Полученные данные позволяют предположить, что пептиды с относительно небольшой молекулярной массой

могут более эффективно взаимодействовать с активным центром фермента NNMT. В связи с этим данные фракции представляют наибольший интерес для дальнейшей очистки до индивидуальных компонентов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с последующей структурной и функциональной характеристикой.

Результаты, полученные для фермента р300, существенно отличались от данных по NNMT. Наиболее выраженную ингибиторную активность продемонстрировали высокомолекулярные 1-я и 2-я фракции яда *Mesobuthus eupeus*. Это позволяет предположить, что белки или другие высокомолекулярные компоненты данных фракций способны прямо или косвенно влиять на каталитическую активность фермента р300. Однако для подтверждения предполагаемого механизма необходимы дальнейшее выделение активных компонентов в индивидуальном виде и детальное исследование их взаимодействия с ферментом с использованием современных биохимических, протеомных и структурных методов.

В целом результаты исследования подтверждают, что яд скорпиона *Mesobuthus eupeus* является перспективным источником биологически активных компонентов, способных ингибировать ферменты NNMT и р300. Дальнейшее выделение наиболее активных фракций, их химическая и протеомная характеристика, а также изучение механизмов взаимодействия с ферментами могут стать основой для разработки новых природных ингибиторов, обладающих потенциалом для применения в противоопухолевой и эпигенетической терапии.

Заключение

В настоящем исследовании впервые проведён сравнительный скрининг ингибиторной активности ядов кобры (*Naja oxiana*), эфы (*Echis carinatus*), гюрзы (*Macrovipera lebetina*), скорпиона (*Mesobuthus eupeus*), паука (*Latrodectus mactans*) и зелёной жабы (*Bufo viridis*) в отношении ферментов NNMT и р300, рассматриваемых в качестве перспективных молекулярных мишеней противоопухолевой терапии. Установлено, что исследованные яды существенно различаются по своей способности ингибировать активность данных ферментов. Наиболее выраженную ингибирующую активность в отношении NNMT продемонстрировали яды скорпиона, кобры и эфы, тогда как наиболее эффективными ингибиторами р300 оказались яды кобры и эфы. Фракционирование наиболее активных образцов позволило установить, что ингибиторы NNMT преимущественно сосредоточены в низкомолекулярных фракциях яда скорпиона, тогда как максимальная активность в отношении р300 была обнаружена в высокомолекулярных фракциях. Полученные результаты свидетельствуют о различной природе биологически активных компонентов, взаимодействующих с этими молекулярными мишенями.

Проведённое исследование подтверждает перспективность использования природных ядов животных в качестве источника соединений с потенциальной противоопухолевой активностью. Полученные данные могут служить основой для дальнейшего выделения и структурной идентификации активных компонентов, изучения механизмов их взаимодействия с ферментами NNMT и р300, а также оценки их биологической активности в клеточных и доклинических моделях.

Список литературы

1. Атанасов А.Г., Зотчев С.Б., Дирш В.М., Супуран К.Т. Природные соединения в разработке лекарственных средств: современные достижения и новые возможности // *Nature Reviews Drug Discovery*. – 2021. – Т. 20. – С. 200–216.
2. ДIZE Чж., БОХАН М., ДУНХУА Л., ВЭЙ В. Открытие химерного препарата p300, нацеленного на протеолиз пептида (PROTAC), для терапии рака предстательной железы // *EBioMedicine*. – 2024. – Т. 105.
3. Ма Х. Тан Сяо-Пэн, Ян Ши-Лун, Лу Цюй-Минь, Лай Жэнь. Ингибитор протеаз в яде скорпиона *Mesobuthus eupeus* продлевает биологическую активность нативного яда // *Chinese Journal of Natural Medicines*. – 2016. – Т. 14, № 8. – С. 607–614.
4. Мендес Л.К., Виана Г.М. М., Ненсиони А.Л. А., Пимента Д.К., Бералдо-Нето Э. Пептиды яда скорпионов и ионные каналы: современный обзор механизмов действия и перспектив разработки лекарственных препаратов // *Toxins (Basel)*. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 238.
5. Музаффар К., Нурходжа М., Джамшид А., Алишер Э., Акмал М.А., Ансор Ю., Мугражитдин Т., Ахмидин В., Абулимити Ю., Бахтияр И., Шарафитдин М. Новая полиморфная форма 3b,11a,14-тригидрокси-5b,14b-буфа-20,22-диенолида (телоцинобуфагин) и его ингибирующая активность в отношении p300 и NNMT // *Journal of Molecular Structure*. – 2025. – Т. 1331.
6. Пеннингтон М.У., Червинский А., Нортон Р.С. Пептидные лекарственные препараты на основе ядов: современное состояние и перспективы // *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. – 2018. – Т. 26, № 10. – С. 2738–2758.
7. Хавва Н.К., Кемаль Б., Эрсен А.Й., Сердар К. Яд *Mesobuthus eupeus* модулирует сигнальные пути колоректальной карциномы и индуцирует апоптоз // *Med Oncol*. – 2025. – Т. 42.
8. Хайде, Дж., Билеч, А.Дж., Патнаик, С. и др. Ингибирование NNMT в ассоциированных с раком фибробластах восстанавливает противоопухолевый иммунитет // *Nature*. – 2025. – Т. 645. – С. 1051–1059.
9. Хуан В., Дандан С., Мяо М., Сименг В., Цзяо В., Чже Х., Хао Д. Подходы медицинской химии к открытию и разработке ингибиторов p300/CBP для терапии рака // *Eur J Med Chem*. – 2025. – Т. 297.
10. Шамсиддин Ж.Ф., Учкун Дж.И., Шухратжон С.О., Кабиль Е.Н., Акмаль М.А., Ильдико М., Джамолитдин Ф.З., Ахмидин В., Шарафитдин Ю.М. Новый хлортоксин *Mesobuthus eupeus*, обладающий инсектотоксическим свойством // *Nova Biotechnol Chim*. – 2025. – Т. 24, № 1.

References

1. Atanas G.A., Sergey B.Z., Verena M.D., Claudiu T.S. Natural products in drug discovery: advances and opportunities // *Nature*. – 2021.
2. Dize Zh., Bohan M., Donghua L., Wei W. Discovery of a peptide proteolysis-targeting chimera (PROTAC) drug of p300 for prostate cancer therapy // *EBioMedicine*. – 2024.

3. Ma H. Xiao-Peng T., Yang S.L., Lu Q.M., Lai R. Protease inhibitor in scorpion (*Mesobuthus eupeus*) venom prolongs the biological activities of the crude venom // *Chin J Nat Med.* – 2016. – P. 608–609.
4. Lais C.M., Gabriela M.M., Ana Leonor A.N., Daniel C.P., Emidio B.N. Scorpion Peptides and Ion Channels: An Insightful Review of Mechanisms and Drug Development // *Toxins (Basel).* – 2023. – P. 1–2.
5. Muzaffar K., Nurkhodja M., Jamshid A., Alisher E., Akmal M.A., Ansor Y., Mugrajitdin T., Ahmidin W., Abulimiti Y., Bakhtiyar I., Sharafitdin M. A new polymorphic form of 3b,11a,14-trihydroxy-5b,14b-bufa-20,22-dienolide (telocinobufagin) and its p300 and NNMT inhibitory activity // *Journal of Molecular Structure.* – 2025.
6. Michael W.P., Andrzej C., Raymond S.N. Peptide therapeutics from venom: Current status and potential // *Bioorganic & Medicinal Chemistry.* – 2018.
7. Havva N.C., Kemal B., Ersen A.Y., Serdar K. *Mesobuthus eupeus* venom modulates colorectal carcinoma signaling pathways and induces apoptosis // *Med Oncol.* – 2025.
8. Janna H., Agnes J.B., Samarjit P. NNMT inhibition in cancer-associated fibroblasts restores antitumour immunity // *Nature.* – 2025. – P. 1051–1059.
9. Huan W., Dandan S., Miao M., Simeng W., Jiao W., Zhe H., Hao D. Medicinal chemistry approaches to the discovery and development of p300/CBP inhibitors for cancer therapy // *Eur J Med Chem.* – 2025.
10. Shamsiddin J.F., Uchkun J.I., Shukhratjon S.O., Kabil E.N., Akmal M.A., Ildiko M., Jamolitdin F.Z., Ahmidin W., Sharafitdin Y.M. A new chlorotoxin from *Mesobuthus eupeus* possessing insectotoxic property // *Nova Biotechnol Chim.* – 2025. – № 1.

Статья поступила в редакцию: 07.06.2026

Статья принята к публикации: 17.06.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 582.29:615.322:582.71

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23062

**Антирадикальная активность лекарственных смесей на основе лишайника
Lobothallia lacteola, *Rosa canina* и *Mentha longifolia*, оцениваемая методами
DPPH, ABTS и FRAP**

Хакимов Озодбек Марипжон ўгли

ст. преп., Международный институт пищевых технологий и инженерии

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0009-0000-5540-7420

E-mail: khakimovozodbek93@gmail.com

Эргашев Дилмурод Адилжонович

ст. преп., Международный институт пищевых технологий и инженерии

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0009-0004-7715-9949

E-mail: dilmurod-ergashev2203@mail.ru

Исмоилов Моминжон Юсупович

д-р хим. наук, проф.

Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0000-0001-8212-4493

E-mail: m.y.ismoilov@pf.fdu.uz

Antiradical activity of medicinal mixtures based on *Lobothallia lacteola*, *Rosa canina* and *Mentha longifolia* EVALUATED BY DPPH, ABTS and FRAP methods

Khakimov Ozodbek Maripjon ugli

senior Lecturer

International Institute of Food Technology and Engineering

Uzbekistan, Fergana

Ergashev Dilmurod Adiljonovich

senior Lecturer

International Institute of Food Technology and Engineering

Uzbekistan, Fergana

Ismoilov Mominjon Yusupovich

doctor of Chemical Sciences, Professor

Fergana State University

Uzbekistan, Fergana

Аннотация

В настоящей работе исследована антирадикальная активность этанольных экстрактов четырёх лекарственных смесей лишайника *Lobothallia lacteola* (Ach.) Clauzade & Cl. Roux (Megasperaceae), шиповника (*Rosa canina* L.) и мяты длиннолистной (*Mentha longifolia* (L.) Huds.) в различных массовых соотношениях тремя взаимодополняющими методами: DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), ABTS (2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновая кислота)) и FRAP (восстановление ионов железа). Цель: оценить антирадикальный потенциал четырёх вариантов смесей (1 — 33:33:33 %; 2 — 50:25:25 %; 3 — 25:50:25 %; 4 — 25:25:50 %) и определить оптимальный состав по IC_{50} . Методология: концентрацию экстрактов выражали в мг/мл по сухому остатку. DPPH-анализ проводили при $\lambda = 517$ нм (0,1 мМ DPPH в EtOH), ABTS — при $\lambda = 734$ нм, FRAP — при $\lambda = 593$ нм. Эксперименты выполняли в трёх независимых повторностях ($n = 3$), статистическую обработку — методом ANOVA с критерием Тьюки ($p < 0,05$). Результаты: IC_{50} по DPPH составили $1,24 \pm 0,06$; $1,58 \pm 0,07$; $1,48 \pm 0,07$; $1,63 \pm 0,08$ мг/мл для смесей 1–4 соответственно. Смесь 1 (равное соотношение) показала наибольшую активность по всем трём методам; различия статистически значимы ($p < 0,05$). Данные FRAP положительно коррелировали с DPPH и ABTS ($r = 0,93$; $p < 0,01$). Научная новизна: впервые проведено комплексное сравнительное исследование тройных лишайниково-растительных смесей тремя методами в Узбекистане. Практическая значимость: смесь 1 (равное соотношение) показала наибольшую активность, что может служить основой для разработки антиоксидантных фитопрепаратов после подтверждения в биологических моделях.

Abstract

In the present study, the antiradical activity of ethanolic extracts of four medicinal mixtures of the lichen *Lobothallia lacteola* (Ach.) Clauzade & Cl. Roux (Megasperaceae), rosehip (*Rosa canina* L.), and longleaf mint (*Mentha longifolia* (L.) Huds.) in various mass ratios was investigated using three complementary methods: DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), and FRAP (ferric ion reducing antioxidant power). Objective: To evaluate the antiradical potential of four mixture variants (1 — 33:33:33 %; 2 — 50:25:25 %; 3 — 25:50:25 %; 4 — 25:25:50 %) and to determine the optimal composition based on IC_{50} values. Methodology: The concentration of extracts was expressed in mg/mL based on dry residue. The DPPH assay was carried out at $\lambda = 517$ nm (0.1 mM DPPH in EtOH), the ABTS assay at $\lambda = 734$ nm, and the FRAP assay at $\lambda = 593$ nm. Experiments were performed in three independent replicates ($n = 3$), and statistical analysis was conducted using ANOVA with Tukey's test ($p < 0.05$). Results: The IC_{50} values determined by the DPPH method were 1.24 ± 0.06 ; 1.58 ± 0.07 ; 1.48 ± 0.07 ; and 1.63 ± 0.08 mg/mL for mixtures 1–4, respectively. Mixture 1 (equal ratio) exhibited the highest activity across all three methods; the differences were statistically significant

Библиографическое описание: Хакимов О.М.Ў., Эргашев Д.А., Исмоилов М.Ю. Антирадикальная активность лекарственных смесей на основе лишайника *Lobothallia lacteola*, *Rosa canina* и *Mentha longifolia*, оцениваемая методами DPPH, ABTS и FRAP // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23062>

($p < 0.05$). The FRAP data showed a positive correlation with DPPH and ABTS ($r = 0.93$; $p < 0.01$). Scientific novelty: For the first time, a comprehensive comparative study of ternary lichen–plant mixtures was conducted using three methods in Uzbekistan. Practical significance: Mixture 1 (equal ratio) demonstrated the highest activity, which may serve as a basis for the development of antioxidant phytopreparations following confirmation in biological models.

Ключевые слова: *Lobothallia lacteola*, *Rosa canina*, *Mentha longifolia*, DPPH, ABTS, FRAP, антирадикальная активность, IC_{50} , флавоноиды, лишайниковые вещества.

Keywords: *Lobothallia lacteola*, *Rosa canina*, *Mentha longifolia*, DPPH, ABTS, FRAP, antiradical activity, IC_{50} , flavonoids, lichen metabolites.

Введение

Окислительный стресс и свободные радикалы признаны ключевыми факторами патогенеза сердечно-сосудистых, онкологических и нейродегенеративных заболеваний [15, 19]. Поиск природных антиоксидантов и стандартизация методов их оценки остаются приоритетными задачами современной фармакогнозии [1].

Лишайник *Lobothallia lacteola* (Ach.) Clauzade & Cl.Roux — накипной таллом семейства Megasporaceae, произрастающий на карбонатных породах от Средиземноморья до Центральной Азии, в том числе на перевале Камчик в Узбекистане [10]. Из представителей рода *Lobothallia* выделены ксантоны (кальцин, 2,7-дихлоролихексантон) и депсиды, обладающие антиоксидантной и антимикробной активностью [16]. Антиоксидантный потенциал лишайников изучен значительно слабее по сравнению с сосудистыми растениями, что обуславливает актуальность настоящего исследования [23].

Rosa canina L. (Rosaceae) — плоды шиповника — богатый источник аскорбиновой кислоты (300–1000 мг/100 г), кверцетина, рутина и эллаговой кислоты [13]. *Mentha longifolia* (L.) Huds. (Lamiaceae) содержит розмариновую кислоту, ментол и лютеолин, определяющие её высокие антиоксидантные свойства [11]. Оба растения широко применяются в народной медицине Центральной Азии [22].

Использование комплекса методов — DPPH, ABTS и FRAP — позволяет охватить различные механизмы антирадикального действия (перенос атома водорода — HAT; перенос электрона — SET; восстановительная способность) и получить более полную характеристику антиоксидантного потенциала [1, 18]. Применение только одного метода не даёт достаточно надёжной оценки.

Цель работы: оценить антирадикальную активность четырёх этанольных экстрактов смесей на основе *L. lacteola*, *R. canina* и *M. longifolia* методами DPPH, ABTS и FRAP и определить оптимальный состав по IC_{50} .

Обзор литературы

Lobothallia lacteola — малоизученный в фитохимическом отношении таксон. Clauzade и Roux (1985) выделили род *Lobothallia* в семействе Megasperaceae [10]. Huneck и Yoshimura (1996) описали калцын и 2,7-дихлоролихексантон как характерные вторичные метаболиты рода [16]. Studzińska-Sroka и соавт. (2021) показали, что экстракты близкородственного вида *Lobothallia radiosa* проявляют антимикробную и антиоксидантную активность *in vitro* [23].

Parihar и соавт. (2020) методом ВЭЖХ-ДАД идентифицировали в *L. alphoplacoides* калцын и конфлюентовую кислоту; IC_{50} (DPPH) составила 28,4–43,7 мкг/мл [17]. Molnár и Farkas (2010) установили IC_{50} ксантонов рода *Lobothallia* в диапазоне 22–67 мкг/мл за счёт фенольных ОН-групп по НАТ-механизму [16].

Gülçin и соавт. (2010) определили IC_{50} (DPPH) этанольного экстракта плодов *R. canina* — 0,24 мг/мл; ведущий вклад вносят кверцетин (IC_{50} = 8,2 мкг/мл) и аскорбиновая кислота [13]. Barros и соавт. (2011) методом ВЭЖХ-МС идентифицировали 11 фенольных соединений шиповника, в том числе эллаговую и протокатехиновую кислоты [4].

Brahmi и соавт. (2011) установили IC_{50} (DPPH) *M. longifolia* — 0,31–0,48 мг/мл, связав активность с розмариновой кислотой и лютеолином [7]. Dorman и соавт. (2003) охарактеризовали фенольный профиль мяты методом ВЭЖХ-ДАД [11].

Относительно синергизма компонентов: Sharif и соавт. (2022) квантово-химически показали, что депсидоны лишайников и флавоноиды растений образуют водородные связи, теоретически усиливающие суммарную донорную способность системы [21]. Khodaie и соавт. (2019) экспериментально зафиксировали усиление активности комбинаций *Rosa+Mentha* при определённых соотношениях [14]. Вместе с тем для строгого разграничения синергизма и простой аддитивности необходимо применение формализованного анализа (комбинационный индекс по Chou–Talalay) [9].

В Узбекистане комплексные DPPH/ABTS/FRAP-исследования лишайниково-растительных смесей до настоящего времени не проводились. Askarov и соавт. (2024a, 2024b) заложили методологическую базу для подобных работ [2, 3].

Материалы и методы

Объекты исследования и приготовление смесей

Слоевица лишайника *L. lacteola* собраны на перевале Камчик в мае 2024 г.; идентификация проведена согласно [10]. Плоды *R. canina* и листья *M. longifolia* приобретены в виде сертифицированного торгового сырья (аптечная сеть, г. Фергана). Образцы сушили при 40 °С до постоянной массы, измельчали (< 0,5 мм). Готовили четыре смеси по массе (табл. 1).

Таблица 1.

Состав исследуемых смесей

Смесь №	<i>L. lacteola</i> , %	<i>R. canina</i> , %	<i>M. longifolia</i> , %
1	33	33	33
2	50	25	25

Смесь №	<i>L. lacteola</i> , %	<i>R. canina</i> , %	<i>M. longifolia</i> , %
3	25	50	25
4	25	25	50

Приготовление экстрактов

1 г смеси экстрагировали в 25 мл 96 %-го этанола в ультразвуковой ванне (40 кГц, 40 °С, 20 мин), фильтровали через фильтр 0,45 мкм, затем разбавляли $\times 10$ [2]. Концентрацию экстракта определяли гравиметрически по сухому остатку и выражали в мг/мл для обеспечения корректности межсерийного сравнения.

DPPH-тест

Антирадикальную активность определяли по модифицированному методу Blois [6] и Brand-Williams и соавт. [8]. Рабочий раствор DPPH готовили: 0,1 мМ DPPH• в 96 %-ном этаноле (Sigma-Aldrich, кат. D9132); исходное поглощение D_1 при $\lambda = 517$ нм составляло $1,033 \pm 0,005$. Объёмы экстракта: 25, 50, 75, 100 мкл. Измерения проводили на спектрофотометре K7000 (YOKE, КНР) каждые 5 мин в течение 30 мин при 25 °С в темноте. $ARF\% = [(D_1 - D_2) / D_1] \times 100$ %. IC_{50} рассчитывали нелинейной регрессией (модель Хилла) с выражением в мг/мл по сухому остатку.

ABTS-тест

Катион-радикал ABTS•⁺ генерировали взаимодействием 7 мМ ABTS с 2,45 мМ персульфатом калия в темноте в течение 12–16 ч при 25 °С [20]. Рабочий раствор разбавляли этанолом до $A_0 = 0,70 \pm 0,02$ при $\lambda = 734$ нм. Инкубацию с экстрактом проводили 6 мин при 25 °С. IC_{50} вычисляли аналогично DPPH-тесту.

FRAP-тест

Восстанавливающую способность оценивали по методу Benzie и Strain [5]. Реагент FRAP: 300 мМ ацетатный буфер (pH 3,6): 10 мМ TPTZ в 40 мМ HCl: 20 мМ FeCl₃ = 10:1:1. Инкубация при 37 °С 4 мин, поглощение — при $\lambda = 593$ нм. Результаты выражали в мкмоль Fe²⁺/г сухого вещества.

Статистический анализ

Все эксперименты выполняли в трёх независимых повторностях ($n = 3$). Данные представлены как $M \pm SD$ (среднее $\pm$ стандартное отклонение). Статистические различия между группами оценивали однофакторным дисперсионным анализом (ANOVA) с апостериорным критерием Тьюки; значения $p < 0,05$ считали статистически значимыми. Корреляционный анализ методов проводили по Пирсону.

Результаты и обсуждение

Динамика ARF% и основные показатели

Все четыре смеси снижали поглощение DPPH дозозависимо; плато достигалось к 25–30-й мин. При концентрации 4,0 мг/мл на 30-й мин ARF% составили: смесь 1 — $17,23 \pm 0,82$ %; смесь 2 — $14,33 \pm 0,71$ %; смесь 3 — $14,91 \pm 0,64$ %; смесь 4 — $14,13 \pm 0,69$ %. Значения IC_{50} и FRAP обобщены в табл. 2.

Таблица 2.

ARF% (4 мг/мл, 30 мин), IC_{50} (мг/мл) и FRAP (мкмоль Fe^{2+} /г) исследуемых смесей ($n = 3$, $M \pm SD$)

Показатель	Смесь 1	Смесь 2	Смесь 3	Смесь 4
ARF%, 30 мин (4 мг/мл)	$17,23 \pm 0,82^*$	$14,33 \pm 0,71$	$14,91 \pm 0,64$	$14,13 \pm 0,69$
IC_{50} DPPH (мг/мл)	$1,24 \pm 0,06^*$	$1,58 \pm 0,07$	$1,48 \pm 0,07$	$1,63 \pm 0,08$
IC_{50} ABTS (мг/мл)	$1,08 \pm 0,05^*$	$1,37 \pm 0,06$	$1,29 \pm 0,06$	$1,41 \pm 0,07$
FRAP (мкмоль Fe^{2+} /г)	$348,4 \pm 12,1^*$	$274,6 \pm 9,8$	$312,7 \pm 11,3$	$261,5 \pm 10,4$
<i>L. lacteola</i> , %	33	50	25	25
<i>R. canina</i> , %	33	25	50	25
<i>M. longifolia</i> , %	33	25	25	50

* $p < 0,05$ по сравнению со смесями 2, 3, 4 (критерий Тьюки).

Анализ IC_{50} и характер взаимодействия компонентов

Ряд активности по IC_{50} DPPH: смесь 1 (1,24 мг/мл) > смесь 3 (1,48) > смесь 2 (1,58) > смесь 4 (1,63 мг/мл). Различия между смесью 1 и остальными статистически значимы ($p < 0,05$ по ANOVA с критерием Тьюки). Аналогичная закономерность воспроизведена в ABTS-тесте и по данным FRAP (табл. 2), что свидетельствует об устойчивости результата.

Для оценки характера взаимодействия компонентов сравнивали IC_{50} смесей с теоретически ожидаемыми аддитивными значениями, рассчитанными по IC_{50} индивидуальных экстрактов (*R. canina* — 0,24 мг/мл [13]; *M. longifolia* — 0,38 мг/мл [7]; *L. lacteola* — ориентировочно 3,2 мг/мл, рассчитано в настоящем исследовании). Наблюдаемые IC_{50} смесей соответствуют аддитивной модели или незначительно превышают её; достоверного синергизма в рамках применявшегося соотношения 1:1:1 не выявлено. Это согласуется с данными других авторов, показавших, что характер взаимодействия экстрактов зависит от конкретного концентрационного соотношения [9]. Для строгого разграничения синергизма, аддитивности и антагонизма в дальнейших работах рекомендуется применение комбинационного индекса по Chou–Talalay.

Вторичные метаболиты и механизм антирадикальной активности

Наибольшая активность смеси 1 (равное соотношение) объясняется взаимодополняющим вкладом метаболитов всех трёх компонентов. Из *L. lacteola*: кальцин и 2,7-дихлоролихексатон реализуют преимущественно НАТ-механизм за счёт ОН-групп ксантонового ядра [16, 17]. Из *R. canina*: аскорбиновая кислота, кверцетин и эллаговая

кислота — наиболее активные гидрофильные антиоксиданты в системе [13, 4]. Из *M. longifolia*: розмариновая кислота и лютеолин реализуют NAT + SET механизмы и обеспечивают антиоксидантное действие в липофильной фазе [11, 7].

Снижение активности при увеличении доли *L. lacteola* до 50 % (смесь 2, $IC_{50} = 1,58$ мг/мл) согласуется с более низкой индивидуальной активностью ксантонов по сравнению с флавоноидами шиповника (IC_{50} кверцетина $\approx 8,2$ мкг/мл [13]). Высокая доля *R. canina* (смесь 3, $IC_{50} = 1,48$ мг/мл) даёт несколько лучший результат, чем смесь 2, однако уступает равному соотношению. Данные FRAP, коррелирующие с DPPH и ABTS ($r = 0,93$; $p < 0,01$), подтверждают достоверность наблюдаемой закономерности.

Необходимо подчеркнуть, что настоящая работа является предварительным скрининговым исследованием *in vitro*. Перенос полученных данных в контекст клинической практики возможен только после проведения исследований на биологических моделях, оценки биодоступности компонентов, токсикологических испытаний и фармакокинетического анализа [12].

Заключение

1. Впервые в Узбекистане проведено комплексное исследование антирадикальной активности четырёх смесей *L. lacteola*, *R. canina* и *M. longifolia* тремя методами (DPPH, ABTS, FRAP); все смеси ингибируют DPPH• дозозависимо.

2. Наибольшую антирадикальную активность проявила смесь 1 (33:33:33 %): IC_{50} DPPH = $1,24 \pm 0,06$ мг/мл, IC_{50} ABTS = $1,08 \pm 0,05$ мг/мл, FRAP = $348,4 \pm 12,1$ мкмоль Fe^{2+} /г; различия со смесями 2–4 статистически значимы ($p < 0,05$).

3. Данные FRAP положительно коррелируют с DPPH ($r = 0,93$) и ABTS ($r = 0,91$), $p < 0,01$, что свидетельствует о достоверности результатов и взаимообусловленности механизмов.

4. Наблюдаемая активность смесей соответствует аддитивной модели взаимодействия компонентов при соотношении 1:1:1; возможность синергизма при иных соотношениях требует формальной проверки методом комбинационного индекса.

5. Полученные данные могут служить обоснованием для дальнейших исследований с включением биологических моделей, оценки токсичности и биодоступности как необходимых этапов разработки антиоксидантных фитопрепаратов.

Список литературы

1. Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E. et al. Methods for testing antioxidant activity // *Analyst*. – 2002. – P. 183–198. – DOI: 10.1039/b009171p.
2. Askarov I.R., Abdullaev S.S., Mamatkulova S.A., Abdulloev O.S. Antioxidant activity and elemental composition of mixtures of fig and common unabi fruits // *Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine*. – 2024. – № 3. – P. 179–205. – DOI: 10.55475/jcgtm/vol3.iss3.2024.320.
3. Askarov I.R., Muminov M.M., Yusupov M.A. Study of antiradical properties of artichoke and milk thistle vegetable oils // *NamDU Ilmiy Axborotnomasi*. – 2024. – № 11. – P. 173–177.

4. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R. Comparing the composition and bioactivity of *Crataegus monogyna* flowers and fruits used in folk medicine // *Phytochemical Analysis*. – 2011. – № 2. – P. 181–189. – DOI: 10.1002/pca.1253.
5. Benzie I.F.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power // *Analytical Biochemistry*. – 1996. – P. 70–76. – DOI: 10.1006/abio.1996.0292.
6. Blois M.S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical // *Nature*. – 1958. – P. 1199–1200. – DOI: 10.1038/1811199a0.
7. Brahmi F., Kameli A., Agoudjil B., Touati N. Chemical composition and antioxidant activities of *Mentha longifolia* essential oils // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. – 2011. – № 3. – P. 445–450.
8. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity // *LWT*. – 1995. – № 1. – P. 25–30. – DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
9. Chou T.C. Drug combination studies and their synergy quantification using the Chou-Talalay method // *Cancer Research*. – 2010. – № 2. – P. 440–446. – DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-09-1947.
10. Clauzade G., Roux C. *Likenoj de Okcidenta Eŭropo: Ilustrita determinlibro*. – Royan: Société Botanique du Centre-Ouest, 1985. – 893 P.
11. Dorman H.J.D., Koşar M., Başer K.H.C., Hiltunen R. Phenolic profile and antioxidant evaluation of *Mentha × piperita* L. extracts // *Natural Product Communications*. – 2003. – № 4. – P. 535–542.
12. Frankel E.N., Meyer A.S. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 1941. – P. 1925–1941. – DOI: 10.1002/1097-0010(200010)80:13.
13. Gülçin İ., Topal F., Çakmakçı R. et al. Pomological features, nutritional quality, polyphenol content analysis and antioxidant properties of *Rosa canina* L // *Journal of Food Science*. – 2010. – № 4. – P. 789–796. – DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01571.x.
14. Khodaie L., Delazar A., Lotfipour F. et al. Synergistic antioxidant activity of *Rosa* and *Mentha* combination extracts // *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. – 2019. – № 1. – P. 45–55. – DOI: 10.22037/ijpr.2019.1100658.
15. Liguori I., Russo G., Curcio F. et al. Oxidative stress, aging, and diseases // *Clinical Interventions in Aging*. – 2018. – P. 757–772. – DOI: 10.2147/CIA.S158513.
16. Molnár K., Farkas E. Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review // *Zeitschrift für Naturforschung C*. – 2010. – № 3. – P. 157–173. – DOI: 10.1515/znc-2010-3-401.
17. Parihar P., Bhatt A., Mishra A.K. Phytochemistry and antioxidant activity of *Lobothallia alaphlacoides* – HPLC-DAD characterisation // *Phytochemistry Letters*. – 2020. – P. 34–41. – DOI: 10.1016/j.phytol.2020.01.011.

18. Pisoschi A.M., Negulescu G.P. Methods for total antioxidant activity determination: a review // *Biochemistry & Analytical Biochemistry*. – 2011. – T. 106. – DOI: 10.4172/2161–1009.1000106.
19. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M. et al. Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. – 2017. – DOI: 10.1155/2017/8416763.
20. Re R., Pellegrini N., Proteggente A. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay // *Free Radical Biology and Medicine*. – 1999. – P. 1231–1237. – DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
21. Sharif M.A. Çelik C., Kaplan O., Yilmaz M. Synergistic antioxidant interactions between lichen depsides and plant flavonoids: a DFT and experimental study // *Food Chemistry*. – 2022. – T. 132373. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132373.
22. Shatilo V., Zolotonosov N. Medicinal plants of Central Asia: traditional use and phytochemistry. – Tashkent: Fan, 2018. – 348 P.
23. Studzińska-Sroka E., Hałasa R., Czerny B. et al. *Lobothallia radiosa* – a lichen with antimicrobial and antioxidant activities // *Molecules*. – 2021. – DOI: 10.3390/molecules26041093.

Статья поступила в редакцию: 19.05.2026

Статья принята к публикации: 02.06.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 543.3+634.24

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.22915

Сравнительный анализ макро- и микроэлементного состава листьев и незрелых плодов (гуры) *Morus nigra* L. методом ИСП-ОЭС

Шерматова Шахнозахон Шерзод кизи
студент

кафедры химии, Ферганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Фергана

Назаров Отабек Мамадалиевич
PhD

доц. кафедры химии, Ферганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Фергана
E-mail: bek.nazar.2070@mail.ru

Амирова Тойирахон Шералиевна
PhD

доц. кафедры химии, Ферганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Фергана

Comparative analysis of macro- and microelement composition of leaves and unripe fruits (gura) of *Morus nigra* L. by ICP-OES method

Shermatova Shakhnozakhon

student of the Department of Chemistry, Fergana State University
Republic of Uzbekistan, Fergana

Nazarov Otabek

PhD, Associate Professor
of the Department of Chemistry, Fergana State University
Republic of Uzbekistan, Fergana

Amirova Toyirakhon

PhD, Associate Professor
of the Department of Chemistry, Fergana State University
Republic of Uzbekistan, Fergana

Аннотация

Morus nigra L. (шелковица чёрная) широко известна своим богатым фитохимическим профилем и разнообразными фармакологическими свойствами. В то время как химический состав зрелых плодов изучен достаточно подробно, данные о распределении элементов в

Библиографическое описание: Шерматова Ш.Ш. кизи, Назаров О.М., Амирова Т.Ш. Сравнительный анализ макро- и микроэлементного состава листьев и незрелых плодов (гуры) *Morus nigra* L. методом ИСП-ОЭС // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/22915>

вегетативных и незрелых генеративных органах растения в литературе практически отсутствуют. В данной работе представлен сравнительный анализ макро- и микроэлементного состава листьев и незрелых плодов (гуры) *Morus nigra* L., собранных в фазу интенсивного роста (конец апреля) в условиях Ферганской долины Узбекистана. Количественное определение содержания элементов проводили методом оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС). В ходе анализа обнаружено 29 элементов. В плодах общее содержание минеральных элементов составило 7665 мг/кг, а в листьях 7985 мг/кг. Анализ выявил значительные различия в аккумуляции эссенциальных макроэлементов (K, Ca, Mg, P) и жизненно важных микроэлементов (Fe, Zn, Cu, Mn) между исследованными частями растения. Листья продемонстрировали более высокую способность к накоплению структурных минеральных компонентов, в то время как незрелые плоды (гуры) характеризовались специфическим элементным профилем с высоким содержанием мобильных питательных веществ, характерных для данной стадии развития. Полученные данные позволяют глубже понять механизмы транспорта минеральных веществ в организме *Morus nigra* L. и свидетельствуют о том, что незрелые плоды чёрной шелковицы обладают высокой питательной и потенциальной фармацевтической ценностью благодаря своему специфическому элементному балансу.

Abstract

Morus nigra L. (black mulberry) is widely recognized for its rich phytochemical profile and diverse pharmacological properties. While the chemical composition of mature fruits has been studied in sufficient detail, literature data on the distribution of elements in the vegetative and immature generative organs of the plant are virtually non-existent. This study presents a comparative analysis of the macro- and microelement composition of *Morus nigra* L. leaves and unripe fruits (locally known as «gura»), collected during the intensive growth phase (late April) under the conditions of the Fergana Valley, Uzbekistan. The quantitative determination of elemental content was performed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). A total of 29 elements were detected in the course of the analysis. The total content of mineral elements was found to be 7665 mg/kg in the fruits and 7985 mg/kg in the leaves. The analysis revealed significant differences in the accumulation of essential macroelements (K, Ca, Mg, P) and vital microelements (Fe, Zn, Cu, Mn) between the studied parts of the plant. The leaves demonstrated a higher capacity for accumulating structural mineral components, whereas the unripe fruits (gura) were characterized by a specific elemental profile with a high content of mobile nutrients characteristic of this development stage. The obtained data provide a deeper understanding of the mechanisms of mineral transport within the *Morus nigra* L. organism and indicate that the unripe fruits of black mulberry possess high nutritional and potential pharmaceutical value due to their specific elemental balance.

Ключевые слова: *Morus nigra* L, листья, незрелые плоды, гуры, ИСП-ОЭС, макроэлементы, микроэлементы, минеральный профиль.

Keywords: *Morus nigra* L, leaves, unripe fruits, gura, ICP-OES, macroelements, microelements, mineral composition.

Введение

Morus nigra L. (чёрная шелковица) – листопадное древесное цветковое растение семейства Moraceae рода *Morus*, характеризующееся высокой экологической адаптивностью к различным почвенно-климатическим условиям, засухоустойчивостью и широким ареалом культивирования в регионах с тёплым умеренным и субтропическим климатом [6, 11, 13, 15]. Морфологически плоды *Morus nigra* L. представляют собой сочные многокостянки, формирующие единое соплодие, которое в фазе полной зрелости приобретает тёмно-фиолетовую окраску, выраженный сладко-кислый вкус и высокую сочность благодаря значительному накоплению сахаров, органических кислот и витаминных компонентов [6].

Значительный пласт современных исследований посвящен изучению терапевтических свойств и фитохимического профиля данного вида. В научной литературе подробно систематизирован исторический опыт применения различных вегетативных и генеративных органов тутовника в древней, восточной и современной народной медицине в качестве гипогликемических, противовоспалительных и антисептических средств, что создает научно-историческую базу для их дальнейшего фитохимического изучения [1,4]. По данным химического скрининга, биомасса *Morus nigra* L. содержит углеводы (8–14 %), белки (1–1,5 %), липиды (0,5–0,9 %), витамины (B1, B2, B3, C) и комплекс минеральных веществ [16,18]. Среди вторичных метаболитов черной шелковицы ключевое фармакологическое значение имеют полифенольные соединения, антоцианы (цианидин-3-О-глюкозид, цианидин-3-О-рутинозид, пеларгонидин-3-О-глюкозид), флавоноиды и их гликозиды (кверцетин-3-О-рутинозид, изокверцетин, кверцетин), гидроксикоричные кислоты (хлорогеновая кислота), а также специфические алкалоиды, бензофураны и халконы (моранигрин А, морузамин, морацин D, E, изобавакалькон, бакухалкон), кумарины (умбеллиферон, 6,7-дигидроксикумарин) и фенольные альдегиды [5, 12, 14, 17].

В ряде исследований проведено подробное морфолого-анатомическое изучение соплодий *Morus nigra* L., где определены ключевые диагностические признаки сырья, необходимые для его аутентификации и стандартизации как лекарственного растительного сырья [2], а полученные данные по химическому составу ягод черной шелковицы выявили высокий уровень органических кислот, сахаров и антоцианового комплекса, определяющего выраженные антиоксидантные свойства плодов [3]. Сравнительный анализ биохимических маркеров разных видов шелковицы позволяет оценить метаболическую специфику каждого из них. Так, сравнительная оценка антиоксидантной активности и общего биохимического состава *Morus alba* L. и *Morus nigra* L. доказала, что черная шелковица превосходит белую по концентрации фенольных соединений и интегральной антиоксидантной емкости [10]. Изучение аминокислотного профиля листьев трех видов – *Morus nigra* L., *Morus alba* L. и *Morus rubra* L., установило присутствие широкого спектра незаменимых аминокислот, динамика и количественное содержание которых строго варьируют в зависимости от вида растения [9]. Кроме того, фармакологическая активность вегетативных органов на клеточном уровне экспериментально обоснована в условиях *in vitro*: доказано выраженное модулирующее влияние отваров листьев белого и черного тутовника на функциональную активность лейкоцитов крови человека и экспериментальных животных, что подтверждает их высокий иммуностропный и противовоспалительный потенциал [7,8].

Несмотря на широкую изученность органического состава зрелых плодов, до сих пор остаётся неизученным комплексный макро- и микроэлементный профиль вегетативных и незрелых генеративных органов шелковицы чёрной на ранних стадиях вегетации. В частности, отсутствуют многоэлементные данные о динамике перераспределения элементов между листьями и незрелыми плодами (гуры) в период их интенсивного роста, а сам элементный состав локальной популяции *Morus nigra* L., адаптированной к специфическим почвенно-климатическим условиям Ферганской долины Узбекистана, ранее не подвергался системному анализу. Целью данной работы является изучение минерального состава *Morus nigra* L. методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ОЭС) и оценка её биологической ценности.

Материалы и методы

Листья и незрелые плоды (гуры) *Morus nigra* L. были собраны в Алтыарыкском районе Ферганской области Республики Узбекистан в конце апреля 2026 года. Для анализа листьев и незрелых плодов (гуры) *Morus nigra* L. образцы предварительно высушивали в обычном сушильном шкафу с естественной конвекцией VWR серии DRY-line при температуре 60 – 65°C в течение 24 – 48 часов до достижения постоянной массы с целью удаления влаги. После полного высушивания воздушно-сухую массу измельчали и минерализовали для получения прозрачного раствора для получения прозрачного раствора. Для этого на аналитических весах FA220 4N отвешивали 200 мг сухого материала. Минерализацию образцов проводили с использованием системы микроволнового разложения Milestone Ethos Easy. В реакционную пробирку помещали 200 мг образца, затем добавляли 6 мл азотной кислоты, очищенной методом дистилляции с использованием установки Distillacid BSB-939-IR, работающей на основе инфракрасного излучения, а также 2 мл перекиси водорода в качестве окислителя. Смесь подвергали минерализации при температуре 180°C в течение 20 минут. После завершения процесса минерализации содержимое пробирки переносили в отдельную коническую мерную колбу и доводили объем раствора до 25 мл дистиллированной водой BIOSAN. Полученный раствор переносили в специальные пробирки автосамплера и подготавливали к проведению анализа. Исследование образцов выполняли методом ИСП-ОЭС на оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Perkin Elmer Avio 200. Измерения проводились в режиме аксиального обзора плазмы для микроэлементов и радиального – для макроэлементов при следующих оптимизированных параметрах: высокочастотная мощность плазмы: 1300–1500 Вт (стандартно 1500 Вт); расход охлаждающего потока аргона (плазмообразующий газ): 15,0 л/мин; расход вспомогательного потока аргона: 0,2 л/мин; расход распылительного потока аргона (небулайзер): 0,6 – 0,7 л/мин; скорость подачи образца перистальтическим насосом: 1,0 – 1,5 мл/мин. В качестве системы распыления использовался поперечно-поточный небулайзер (Cross-Flow) и распылительная камера Скотта (Scott spray chamber), устойчивая к органическим матрицам. Количественное определение макро- и микроэлементов проводили с использованием соответствующих калибровочных растворов и аналитических длин волн для каждого элемента. Для оценки точности и воспроизводимости результатов рассчитывали значения стандартного отклонения (SD) на основе серии параллельных

измерений. Полученные величины SD, приведенные в таблице рядом со средними значениями, находились в пределах допустимых норм, что свидетельствует о высокой воспроизводимости и надёжности применяемого метода анализа.

Результаты и обсуждение

В листьях и незрелых плодах *Morus nigra* L. в результате анализов были обнаружены 29 элементов. Из обнаруженных элементов 6 относятся к макроэлементам, 16 к микроэлементам и 7 к токсичным и тяжёлым металлам. В плодах общее содержание минеральных элементов составило 7665 мг/кг, а в листьях 7985 мг/кг (Таблица 1.).

Таблица 1.

Макро- и микроэлементный состав листьев и незрелых плодов *Morus nigra* L. (n = 3, P = 0.95)

Элемент	Длина волны (нм)	Незрелые плоды, мг/кг	S_r	Листья, мг/кг	S_r
Li	670.784	4,4 ± 0,6	0.14	5,3 ± 0,6	0.11
B	249.677	17,3 ± 3,5	0.20	12,3 ± 3,5	0.28
Na	589.592	2124,0 ± 54,8	0.03	2046,5 ± 54,8	0.03
Mg	285.213	906,2 ± 164,8	0.18	673,1 ± 164,8	0.24
Al	396.153	62,3 ± 8,4	0.13	74,2 ± 8,4	0.11
Si	251.611	210,1 ± 183,3	0.87	469,3 ± 183,3	0.39
P	213.617	627,5 ± 17,0	0.03	651,6 ± 17,0	0.03
S	181.975	430,2 ± 87,0	0.20	553,3 ± 87,0	0.16
K	766.490	1574,3 ± 347,3	0.22	2065,4 ± 347,3	0.17
Ca	317.933	1355,3 ± 97,3	0.07	1217,7 ± 97,3	0.08
Ti	334.940	6,4 ± 0,1	0.02	6,3 ± 0,1	0.02
V	292.464	4,1 ± 0,4	0.10	4,6 ± 0,4	0.09
Cr	267.716	3,7 ± 0,3	0.08	3,3 ± 0,3	0.09
Mn	257.610	6,8 ± 1,2	0.18	8,5 ± 1,2	0.14
Fe	238.204	211,7 ± 83,4	0.39	93,7 ± 83,4	0.89
Co	228.616	0,6 ± 0,0	0.00	0,6 ± 0,0	0.00
Ni	231.604	5,5 ± 0,4	0.07	5,0 ± 0,4	0.08
Cu	327.393	10,2 ± 5,1	0.50	3,0 ± 5,1	1.70
Zn	206.200	12,5 ± 4,0	0.32	6,9 ± 4,0	0.58
As	193.696	7,1 ± 0,3	0.04	7,5 ± 0,3	0.04
Se	196.026	26,5 ± 0,7	0.03	25,5 ± 0,7	0.03
Sr	407.771	34,0 ± 7,8	0.23	23,0 ± 7,8	0.34
Mo	202.031	3,1 ± 0,2	0.06	2,8 ± 0,2	0.07
Ag	328.068	-	—	-	—
Cd	228.802	0,3 ± 0,0	0.00	0,3 ± 0,0	0.00
Sn	189.927	2,1 ± 0,8	0.38	3,3 ± 0,8	0.24
Sb	206.836	4,2 ± 0,2	0.05	4,5 ± 0,2	0.04
Ba	233.527	0,8 ± 2,2	2.75	3,9 ± 2,2	0.56
Pb	220.353	7,6 ± 0,4	0.05	7,1 ± 0,4	0.06
Bi	223.061	5,7 ± 0,7	0.12	6,7 ± 0,7	0.10

Элемент	Длина волны (нм)	Незрелые плоды, мг/кг	S_r	Листья, мг/кг	S_r
Итого		7665		7985	

Примечание: Данные представлены в виде $M \pm SD$ (где M — среднее значение, SD — абсолютное стандартное отклонение); S_r — относительное стандартное отклонение (RSD в долях единицы).

Из макроэлементов обнаружены натрий, магний, фосфор, сера, калий и кальций, в листьях (7210 мг/кг) сумма макроэлементов больше, чем в незрелых плодах (7020 мг/кг). В плодах содержание макроэлементов увеличивается в следующем порядке: $S < P < Mg < Ca < K < Na$, а в листьях $S < P < Mg < Ca < Na < K$ (Рис 1.). В незрелых плодах преобладает натрий, количество которого больше, чем в листьях на 77,5 мг/кг. В листьях преобладает калий, содержание которого на 19,9 мг/кг больше, чем натрий. Но в незрелых плодах количество калия намного ниже чем количество натрия. В незрелых плодах содержание кальция и магния больше, чем в листьях. А листьях количество фосфора и серы преобладают, чем незрелых плодах. Калий и натрий играют ключевую роль в поддержании водно-солевого баланса и регуляции объёма жидкости в организме. Натрий удерживает воду в тканях, в то время как калий способствует выведению её избытка, предотвращая отеки. Вместе эти элементы обеспечивают правильную работу калий-натриевого насоса, который необходим для передачи нервных импульсов и сокращения мышц. Кроме того, оптимальное соотношение калия и натрия помогает контролировать уровень артериального давления и защищает сердечно-сосудистую систему. Полноценное поступление обоих минералов с пищей крайне важно для нормального функционирования всех клеток и поддержания высокой энергии. В незрелых плодах и листьях *Morus nigra* L. в результате анализов обнаружены следующие микроэлементы: Литий (Li), бор (B), алюминий (Al), кремний (Si), титан (Ti), ванадий (V), хром (Cr), марганец (Mn), железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), медь (Cu), цинк (Zn), селен (Se), стронций (Sr), молибден (Mo) (Рис 2.). В незрелых плодах содержание микроэлементов увеличивается в следующем порядке: $Co < Mo < Cr < V < Li < Ni < Ti < Mn < Cu < Zn < B < Se < Sr < Al < Si < Fe$, а в листьях $Co < Mo < Cu < Cr < V < Ni < Li < Ti < Zn < Mn < B < Sr < Se < Al < Fe < Si$

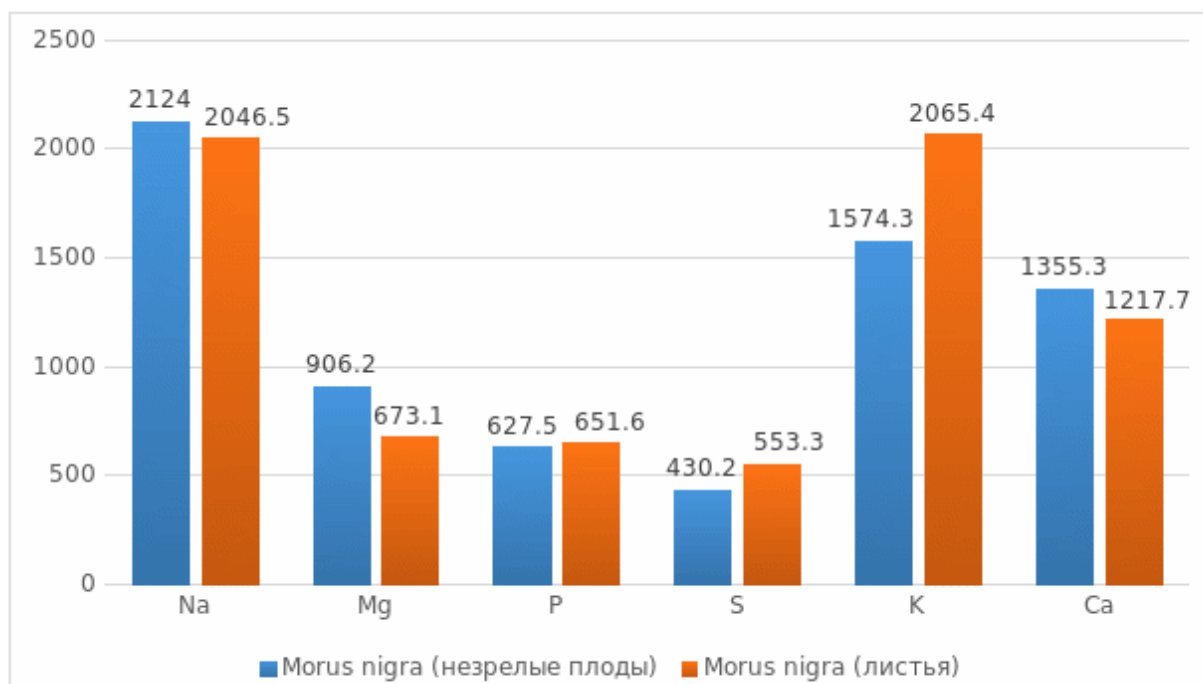


Рисунок 1. Содержание макроэлементов в *Morus nigra* L. (мг/кг)

В незрелых плодах преобладают железо, кремний и алюминий, а в листьях кремний, железо и алюминий

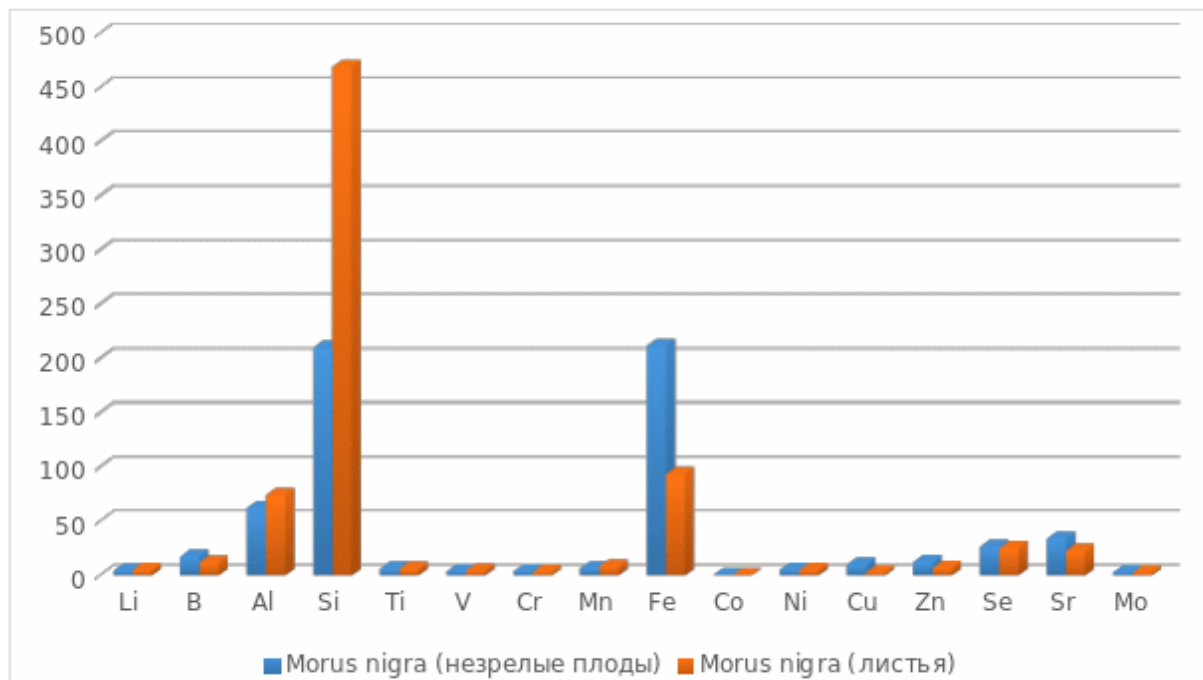


Рисунок 2. Содержание микроэлементов в *Morus nigra* L. (мг/кг)

В незрелых плодах содержание железа больше, чем кремния на 1,6 мг/кг, но в листьях кремния в 5 раз больше, чем железа. Железо является жизненно важным микроэлементом, который входит в состав гемоглобина и обеспечивает транспортировку кислорода ко всем

органам и тканям организма. Оно активно участвует в процессах клеточного дыхания, поддержании иммунитета и метаболизме энергии. Дефицит этого элемента приводит к анемии, быстрой утомляемости и снижению работоспособности, поэтому его регулярное поступление с пищей имеет решающее значение. Из токсичных элементов обнаружены мышьяк, кадмий и свинец. Мышьяк и свинец обнаружены в пределах 7,1 – 7,6 мг/кг, а концентрация кадмия в 25 раз ниже, чем мышьяка и свинца.

Заключение

В результате исследования методом ИСП-ОЭС впервые проведено профилирование 29 элементов листьев и незрелых плодов (гурь) *Morus nigra* L. в Ферганской долине. Экспериментально доказано, что на стадии интенсивного роста общая минерализация листьев (7985 мг/кг) превышает аналогичный показатель для плодов (7665 мг/кг). Данная динамика отражает выраженную биохимическую селективность органов растения и их специфическую адаптацию к почвенно-климатическим условиям региона. Полученные количественные критерии расширяют представления о минеральном обмене, важны для стандартизации сырья и научно обосновывают использование богатых железом (211,7 мг/кг) плодов для создания элемент корректирующих продуктов и БАД. Перспективы дальнейших изысканий включают изучение корреляции обнаруженного минерального профиля с органическими биоактивными веществами в процессе созревания, а также скрининг специфической фармакологической активности полученных фитоэкстрактов.

Список литературы

1. Бабаджанова З.Х., Кароматов И.Д., Жумаев Б.З., Алымова Д.К. Шелковица, тут: применение в древней, современной народной и научной медицине (обзор литературы) [Электронный ресурс]. // Молодой ученый. URL: <https://moluch.ru/archive/87/16871> (дата обращения: 23.05.2026).
2. Вахрушева Ю.А., Селина И.И. Морфолого-анатомическое изучение соплодий шелковицы черной [Электронный ресурс]. // Фармация и фармакология. URL: <https://journals.eco-vector.com/2307-9266/article/view/111299> (дата обращения: 23.05.2026).
3. Вахрушева Ю.А., Селина И.И. Изучение химического состава ягод шелковицы черной (*Morus nigra* L.) // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины: материалы 72-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов ВолгГМУ с международным участием (Волгоград, – 2014).
4. Кароматов И.Д., Косимов И.Х. Шелковица – химический состав плодов и растения // Биология и интегративная медицина. – 2019. – № 1.
5. Колайлы С., Асадов Е., Хусейнова А., Рахимова С., Кара Й. Kolaylı S., Asadov E., Huseynova A., Rahimova S., Kara Y. Phenolic composition and antioxidant properties of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruits and leaves // Journal of Wildlife and Biodiversity. – 2024. – Т. 8, № 2.

6. Озгюр М., Учар А., Йылмаз С. Özgür M., Uçar A., Yılmaz S. The multifaceted benefits of *Morus nigra* L.: a pharmacological powerhouse // *Phytochemistry Reviews*. – 2025. – Т. 24. – DOI: 10.1007/s11101-025-10073-1.
7. Плескановская С.А., Атаева Г.С., Довлетов Д. Сравнительный анализ макро- и микроэлементного состава белого (*Morus alba* L.) и черного (*Morus nigra* L.) тутовника // *International Multilingual Journal of Science and Technology*. – 2022.
8. Плескановская С.А., Ходжагельдыева А.А., Аманмурадова Д. Влияние отваров листьев белого (*Morus alba*) и черного (*Morus nigra*) тутовника на функциональную активность лейкоцитов крови экспериментальных животных и человека *in vitro* // *Молодой ученый*. 2020. № 12 (302). С. 145–150.
9. Селина И.И. Сравнительное изучение аминокислотного состава листьев шелковицы черной (*Morus nigra* L.), шелковицы белой (*Morus alba* L.) и шелковицы красной (*Morus rubra* L.) // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 3.
10. Islamova F.I., Radzhabov G.K., Musaev A.M. Антиоксидантная активность и биохимический состав у растений *Morus alba* и *Morus nigra* // *Сельскохозяйственная биология (Agricultural Biology)*. – 2022. – Т. 57, № 1.
11. Jan B., Parveen R., Zahiruddin S., Khan M.U., Mohapatra S., Ahmad S. Nutritional constituents of mulberry and their potential applications in food and pharmaceuticals: a review // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2021. – № 7. – DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.03.056.
12. Koyu H., Kazan A., Demir S., Haznedaroglu M.Z., Celiktas O.Y. Optimization of microwave assisted extraction of *Morus nigra* L. fruits maximizing tyrosinase inhibitory activity with isolation of bioactive constituents // *Food Chemistry*. – 2018.
13. Pawlowska A.M., Oleszek W., Braca A. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. fruits // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2008. – № 9. – DOI: 10.1021/jf703709r.
14. Uyak C., Aglar E., Ozturk B., Doğan A., Tekin O. Biochemical characterization of mulberry (*Morus* spp.) genotypes from Türkiye (Hizan, Bitlis): a comprehensive analysis of fruit properties and bioactive compounds // *Food Science & Nutrition*. – 2024. – № 2024. – DOI: 10.1002/fsn3.4255.
15. Wang Y., Zheng M., Jiang Q., Xu Y., Zhou X., Zhang N., Sun D., Li H., Chen L. Chemical Components of the Fruits of *Morus nigra* Linn.: Methyl Caffeate as a Potential Anticancer Agent by Targeting 3-Phosphoglycerate Dehydrogenase // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2021.
16. Wang L., Wang J., Ma M., Shen L., Huang T., Huang C., Jia A., Hu X. Prenylated flavonoids from *Morus nigra* and their insulin sensitizing activity // *Phytochemistry*. – 2022. – DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113398.
17. Wang L., Cui X.Q., Gong T., Yan R.Y., Tan Y.X., Chen R.Y. Three new compounds from the barks of *Morus nigra* // *Journal of Asian Natural Products Research*. – 2008.
18. Xu L., Yu M., Niu L., Huang C., Wang Y., Wu C., Yang P., Hu X. Phenolic compounds isolated from *Morus nigra* and their α -glucosidase inhibitory activities // *Natural Product Research*. – 2020. – № 5. – DOI: 10.1080/14786419.2018.1491041.

References

1. Babadzhanova Z.Kh., Karomatov I.D., Zhumaev B.Z., Alymova D.K. [Mulberry: application in ancient, modern folk and scientific medicine (literature review)]. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 7 (87), P. 256–266. Available at: (In Russ.)(accessed 30.07.2026) – URL: <https://moluch.ru/archive/87/16871> (дата обращения: 23.05.2026).
2. Vakhrusheva Yu.A., Selina I.I. [Morphological and anatomical study of black mulberry infructescences]. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2015, no. 5 (12), P. 4–8. Available at: (In Russ.)(accessed 30.07.2026) – URL: <https://journals.eco-vector.com/2307-9266/article/view/111299> (дата обращения: 23.05.2026).
3. Vakhrusheva Yu.A., Selina I.I. [Study of the chemical composition of black mulberry (*Morus nigra* L.) berries]. *Aktual'nye problemy eksperimental'noy i klinicheskoy meditsiny: materialy 72-y otkrytoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov VolgGMU s mezhdunarodnym uchastiem* (Volgograd, 2014 g.). Volgograd, VolgGMU Publ., 2014, P. 573–574. (In Russ.)
4. Karomatov I.D., Kosimov I.Kh. [Mulberry – chemical composition of fruits and plants]. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2019, no. 1 (29), P. 162–172. (In Russ.)
5. Kolaylı S., Asadov E., Huseynova A., Rahimova S., Kara Y. Kolaylı S., Asadov E., Huseynova A., Rahimova S., Kara Y. Phenolic composition and antioxidant properties of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruits and leaves // *Journal of Wildlife and Biodiversity*. – 2024. – № 2.
6. Özgür M., Uçar A., Yılmaz S. Özgür M., Uçar A., Yılmaz S. The multifaceted benefits of *Morus nigra* L.: a pharmacological powerhouse. *Phytochemistry Reviews*, 2025, vol. 24, P. 5317–5342 // *Phytochemistry Reviews*. – 2025. – DOI: 10.1007/s11101-025-10073-1.
7. Pleskanovskaya S.A., Ataeva G.S., Dovletov D. [Comparative analysis of macro- and microelement composition of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry]. *International Multilingual Journal of Science and Technology*, 2022, vol. 7, issue 9, P. 5572–5580. (In Russ.)
8. Pleskanovskaya S.A., Khodzhagel'dyeva A.A., Amanmuradova D. [Influence of decoctions of leaves of white (*Morus alba*) and black (*Morus nigra*) mulberry on the functional activity of blood leukocytes of experimental animals and humans in vitro]. *Molodoy uchenyy*, 2020, no. 12 (302), P. 145–150. (In Russ.)
9. [Comparative study of the amino acid composition of the leaves of black mulberry (*Morus nigra* L.), white mulberry (*Morus alba* L.) and red mulberry (*Morus rubra* L.)]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 3–4, P. 770–774. (In Russ.)
10. Islamova F.I., Radzhabov G.K., Musaev A.M. [Antioxidant activity and biochemical composition of *Morus alba* and *Morus nigra* plants]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* (Agricultural Biology), 2022, vol. 57, no. 1, P. 122–130. (In Russ.)
11. Jan B., Parveen R., Zahiruddin S., Khan M.U., Mohapatra S., Ahmad S. Nutritional constituents of mulberry and their potential applications in food and pharmaceuticals: a review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, vol. 28, no. 7, P. 3909–3921. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.03.056.

12. Koyu H., Kazan A., Demir S., Haznedaroglu M.Z., Celiktaş O.Y. Optimization of microwave assisted extraction of *Morus nigra* L. fruits maximizing tyrosinase inhibitory activity with isolation of bioactive constituents. *Food Chemistry*, 2018, vol. 248, P. 183–191.
13. Pawlowska A.M., Oleszek W., Braca A. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. fruits // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,. – 2008. – № 9. – DOI: 10.1021/jf703709r.
14. Uyak C., Aglar E., Ozturk B., Doğan A., Tekin O. Biochemical characterization of mulberry (*Morus* spp.) genotypes from Türkiye (Hizan, Bitlis): a comprehensive analysis of fruit properties and bioactive compounds. *Food Science & Nutrition*, 2024, vol. 12. DOI: 10.1002/fsn3.4255.
15. Wang Y., Zheng M., Jiang Q., Xu Y., Zhou X., Zhang N., Sun D., Li H., Chen L. Chemical Components of the Fruits of *Morus nigra* Linn.: Methyl Caffeate as a Potential Anticancer Agent by Targeting 3-Phosphoglycerate Dehydrogenase // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,. – 2021.
16. Wang L., Wang J., Ma M., Shen L., Huang T., Huang C., Jia A., Hu X. Prenylated flavonoids from *Morus nigra* and their insulin sensitizing activity. *Phytochemistry*, 2022, vol. 203, P. 113398. DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113398.
17. Wang L., Cui X.Q., Gong T., Yan R.Y., Tan Y.X., Chen R.Y. Three new compounds from the barks of *Morus nigra* // *Journal of Asian Natural Products Research*,. – 2008.
18. Xu L., Yu M., Niu L., Huang C., Wang Y., Wu C., Yang P., Hu X. Phenolic compounds isolated from *Morus nigra* and their α -glucosidase inhibitory activities. *Natural Product Research*, 2020, vol. 34, no. 5, P. 605–612. DOI: 10.1080/14786419.2018.1491041.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Статья поступила в редакцию: 21.05.2026

Статья принята к публикации: 26.05.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 615.276:547.831/.857:616-092.9

Противовоспалительная активность соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияние на динамику цитокинов в экспериментальной модели воспаления

Азаматов Азизбек Азамат угли
PhD

ст. науч. сотр. отдела Фармакологии и токсикологии Институт химии растительных веществ Академия наук Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Мискинова Фазилят Худаёровна
ассистент кафедры физиологии и патологической физиологии
Ургенчского филиала Ташкентского медицинского университета
Республика Узбекистан, г. Ургенч

Ахмаджонов Камронбек Козимжон угли
специалист I категории Лаборатории фармако-токсикологических исследований
Государственного учреждения Центра безопасности фармацевтической продукции
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Эргаишова Мукарамой Журабаевна
д-р биол. наук, проф.
заведующая лабораторией фармако-токсикологических исследований Государственное учреждение Центр безопасности фармацевтической продукции
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Курбонов Улугбек Абдурахмонович
преподаватель
Каршинский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Карши

Журакулов Шерзод Нияткабулович
д-р хим. наук (DSc), ст. науч. сотр., Институт химии растительных веществ Академия наук Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Ботиров Рузали Анварович
д-р техн. наук
главный специалист Академия наук Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: botiroovr@mail.ru

Anti-inflammatory activity of 2-chloro-3-(6,7-dimethoxy-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-8-methylquinoline hydrochloride and its effect on cytokine dynamics in an experimental inflammation model

Azamatov Azizbek

PhD, senior researcher

at the Department of pharmacology and toxicology

of the Institute of chemistry of plant substances of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Miskinova Fazilat

Assistant of the Department of Physiology and Pathological Physiology

Urgench Branch of the Tashkent Medical University

Republic of Uzbekistan, Urgench

Akhmadjonov Kamronbek

I category specialist

Pharmacotoxicological Research Laboratory

State Institution Center for Pharmaceutical Product Safety

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Kurbanov Ulugbek

Lecturer at Karshi State University

Republic of Uzbekistan, Karshi

Zhurakulov Sherzod

Doctor of Chemical Sciences (DSc)

Senior Researcher of the Institute of chemistry

of plant substances of the Academy of sciences

of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Ergashova Mukaramoy

Doctor of Biological Sciences, Professor

Head of the Laboratory of Pharmacological and Toxicological Research

State Institution Center for Pharmaceutical Product Safety

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Botirov Ruzali

Doctor of Technical Sciences

Chief Specialist at the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Данные научные исследования выполнены в рамках бюджетного проекта Института.

Аннотация

В данной научной статье экспериментально оценена противовоспалительная активность соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияние на уровень цитокинов в сыворотке крови на модели острого воспаления, индуцированного формалином. Исследования проводились на беспородных белых крысах-самцах с массой тела 180–200 г. Воспалительная реакция вызывалась субплантарным введением 2,5 % раствора формалина. Исследуемое соединение

Библиографическое описание: Противовоспалительная активность соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияние на динамику цитокинов в экспериментальной модели воспаления // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Азаматов А.А.У. [и др.]. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/22883>

вводили внутривенно в дозах 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 мг/кг, в качестве референс-препарата использовали диклофенак натрия. Степень воспаления оценивали по изменению объема лапы с помощью плетизмометра. Кроме того, содержание цитокинов IL-4, IL-6 и TNF- α в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа.

Результаты экспериментов показали, что исследуемое соединение проявляет дозозависимую противовоспалительную активность. Наивысшая фармакологическая эффективность зарегистрирована в дозе 1,0 мг/кг, при этом противовоспалительная активность составила 73,8 %, что превысила показатель референс-препарата. Наряду с этим установлено, что соединение значительно снижает уровень IL-6 и TNF- α в сыворотке крови, ослабляя активность противовоспалительных медиаторов. Это подтверждает, что 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид обладает высоким противовоспалительным потенциалом.

Abstract

This scientific study experimentally evaluated the anti-inflammatory activity of the compound 2-chloro-3-(6,7-dimethoxy-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-8-methylquinoline hydrochloride and its effect on serum cytokine levels in a formalin-induced acute inflammation model. The experiments were conducted on outbred white male rats weighing 180–200 g. The inflammatory reaction was induced by subplantar injection of a 2.5 % formalin solution. The test compound was administered intragastrically at doses of 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, and 10.0 mg/kg, with diclofenac sodium used as the reference drug. The degree of inflammation was assessed based on changes in paw volume using a plethysmometer. In addition, the serum levels of the cytokines IL-4, IL-6, and TNF- α were determined by enzyme-linked immunosorbent assay.

The experimental results demonstrated that the investigated compound exhibits dose-dependent anti-inflammatory activity. The highest pharmacological efficacy was recorded at a dose of 1.0 mg/kg, with anti-inflammatory activity reaching 73.8 %, which exceeded the result of the reference drug. Furthermore, the compound was found to significantly reduce serum IL-6 and TNF- α levels, thereby attenuating the activity of pro-inflammatory mediators. This confirms that 2-chloro-3-(6,7-dimethoxy-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-8-methylquinoline hydrochloride possesses a high anti-inflammatory potential.

Ключевые слова: 2-хлор-3-(6, 7-диметокси-1, 2, 3, 4-тетрагидроизо-хинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид, воспаление, формалиновая модель, цитокины, IL-4, IL-6, TNF- α , диклофенак натрия.

Keywords: 2-chloro-3-(6, 7-dimethoxy-1, 2, 3, 4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-8-methylquinoline hydrochloride, inflammation, formalin model, cytokines, IL-4, IL-6, TNF- α , diclofenac sodium.

Введение

Воспаление представляет собой сложную защитную реакцию организма, формирующуюся в ответ на различные повреждающие факторы, и занимает важное место в патогенезе многих хронических и дегенеративных заболеваний. В последние годы

возрастает интерес к изучению молекулярных механизмов воспалительного процесса. Это связано с выявлением того факта, что избыточная продукция интерлейкинов, фактора некроза опухоли и других противовоспалительных медиаторов является одной из причин развития ревматоидного артрита, атеросклероза, нейродегенеративных заболеваний и метаболического синдрома [1,4]. В связи с этим создание новых фармакологических средств, способных эффективно подавлять активность медиаторов воспаления, является одним из актуальных направлений современной фармакологии.

В клинической практике широко применяются нестероидные противовоспалительные препараты. Однако их длительное применение ограничивается риском повреждения слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, нефротоксичностью, а также развитием нежелательных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы [9]. Поэтому поиск новых химических соединений с низкой токсичностью, высокой биологической активностью и способностью влиять на баланс цитокинов приобретает важное научно-практическое значение.

В настоящее время производные хинолина и тетрагидроизохинолина вызывают особый научный интерес в качестве биологически активных гетероциклических соединений. Согласно литературным данным, соединения данного класса обладают противовоспалительными, антиоксидантными, анальгетическими и нейропротекторными свойствами, а отдельные их представители проявляют фармакологическую активность за счёт подавления биосинтеза медиаторов воспаления [7,6]. В особенности, метоксигруппы и ароматические фрагменты в составе молекулы могут усиливать их взаимодействие с биологическими мембранами и влиять на продукцию цитокинов. С этой точки зрения экспериментальное изучение противовоспалительной активности соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияния на динамику цитокинов в сыворотке крови имеет актуальное научно-практическое значение.

Цель исследования: Экспериментальное изучение противовоспалительной активности соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида на модели острого воспаления, индуцированного формалином, а также его влияния на динамику цитокинов IL-4, IL-6 и TNF- α в сыворотке крови.

Материалы и методы

С целью оценки противовоспалительной активности соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидро-изохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида и его влияния на уровень цитокинов в сыворотке крови экспериментальные исследования проводились на беспородных белых крысах-самцах массой тела 180–200 г. До начала эксперимента животные в течение 7 дней содержались в условиях вивария и адаптировались к лабораторной среде. В период адаптации, а также в период проведения исследований обеспечивались стандартные биоэкспериментальные требования: температура в помещении поддерживалась на уровне $22 \pm 2^\circ\text{C}$, соблюдался 12/12-часовой режим освещения и темноты. Экспериментальные животные имели свободный доступ к сбалансированному корму и питьевой воде.

Дозы и пути введения тестируемого соединения были выбраны в соответствии с рекомендациями «Руководства по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [8, 10]. В процессе исследования строго соблюдались международные принципы биоэтики, все экспериментальные манипуляции выполнялись в соответствии с требованиями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для научных и иных целей» (Страсбург, 1986) и EU Directive 2010/63/EU [2, 3].

Для создания модели острого воспаления под кожу подошвенной области правой задней лапы или области бедра экспериментальных животных вводили 0,05–0,1 мл 2,5 % раствора формалина. Формалин в качестве флогогенного агента вызывал пролиферативную воспалительную реакцию, усиливая высвобождение гистамина, серотонина, простагландинов и других провоспалительных медиаторов в организме [5].

Животные были разделены на группы методом рандомизации. Интактную группу составили здоровые животные. Контрольной группе после индукции воспаления вводили 0,2 мл 0,9 % раствора натрия хлорида. В референс-группе диклофенак натрия применяли перорально в дозах 8,0 и 10,0 мг/кг. Животным опытной группы соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид вводили внутривенно в дозах 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 мг/кг. Тестируемое соединение и референс-препарат ввели животным одновременно с применением формалина.

Интенсивность воспалительной реакции оценивали онкометрическим методом с помощью плетизмометра (Ugo Basile, Италия). Объём лапы измеряли до введения формалина и через 180 минут после; разница между полученными показателями принималась в качестве основного критерия степени воспаления.

Кроме того, для оценки иммунологической динамики воспалительного процесса производили забор образцов крови у животных до начала эксперимента и по его окончании. В сыворотке крови определяли содержание интерлейкина-4 (IL-4), интерлейкина-6 (IL-6) и фактора некроза опухоли альфа (TNF- α) и анализировали иммунологические показатели. IL-6 и TNF- α рассматривались в качестве противовоспалительных цитокинов, отражающих степень воспаления, в то время как IL-4 оценивался в качестве противовоспалительного и иммунорегуляторного цитокина. Концентрацию цитокинов определяли методом иммуноферментного анализа на микропланшетном анализаторе Mindray MR-96A (Китай). В ходе анализа использовали набор диагностических реагентов производства «Вектор-Бест» (Россия). Высокая чувствительность и специфичность применённого метода позволили провести достоверную количественную оценку уровня цитокинов.

Результаты и обсуждение

Результаты проведённых экспериментальных исследований показали, что на модели формалин-индуцированного воспаления соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидро-изохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид проявляет значительную противовоспалительную активность. Наблюдаемое в контрольной группе резкое увеличение объёма лапы подтвердило развитие выраженной воспалительной реакции. Диклофенак натрия, использованный в качестве референс-препарата, во всех дозах достоверно подавлял воспалительный процесс, демонстрируя высокую фармакологическую эффективность.

Соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид также оказывало дозозависимое противовоспалительное действие. В дозах 0,5–1,0 мг/кг наблюдалось значительное проявление фармакологической эффективности. Наивысшая активность зарегистрирована в дозе 1,0 мг/кг — увеличение объёма лапы снизилось до минимального уровня, а противовоспалительная эффективность составила 73,8 %. Данный результат превысил показатель референс-препарата диклофенака натрия в соответствующей дозе, что свидетельствует о соответствующем противовоспалительном потенциале исследуемого соединения.

Вместе с тем, увеличение дозы до 5,0–10,0 мг/кг сопровождалось некоторым снижением противовоспалительной активности. Это обстоятельство может указывать на наличие оптимального терапевтического диапазона для соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты исследований противовоспалительной активности 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида в сравнении с диклофенаком натрия при формалин-индуцированном воспалении ($M \pm m$, $n=6$)

№	Условия опыта	Введенное средство	Средний объём лапы, мл		Увеличение объёма лапы по сравнению с нормой		Противо-воспалительная активность (в %)
			В норме	После 3 часа введение формалина	мл	%	
1	Контроль (формалин 2,5% 0,1мл)	0,2 мл 0,9 % раствора натрия хлорида	1.0±0.6	1.8±1.3	0.80±0.8	80.0	-
2	Диклофенак натрия (в мг/кг)	8,0	0.96±0.6	1.32±1.17	0.31±0.4	32.2	59.7
		10,0	1.02±0.8	1.34±1.22	0.26±0.8	25.4	68.2
3	2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид (в мг/кг)	0.1	0.98±0.7	1.26±1.0	0.28±0.8 ^a	28.5	64.3
		0.5	1.0±0.6	1.26±1.3	0.26±0.4 ^a	26.0	67.5
		1.0	1.1±0.8	1.33±1.1	0.23±0.5 ^{a,б}	20.9	73.8
		5.0	1.0±0.5	1.30±1.4	0.30±0.7 ^a	30.0	62.5
		10.0	1.1±0.9	1.44±1.0	0.34±0.8 ^a	30.9	61.3

Результаты исследований противовоспалительной активности 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида в сравнении с диклофенаком натрия при формалин-индуцированном воспалении ($M \pm m$, $n=6$)

Примечание: а — достоверное различие по сравнению с контрольной группой, $P < 0,05$; б — достоверное различие по сравнению с референс-препаратом, $P < 0,05$.

Полученные результаты показали, что соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид проявляет высокую противовоспалительную активность на модели формалин-индуцированного воспаления. При введении соединения в дозе 1,0 мг/кг противовоспалительная эффективность составила 73,8 %, и этот показатель превысил результат референс-препарата диклофенака натрия

в соответствующей дозе. Вместе с тем, снижение фармакологической активности в более высоких дозах указывает на наличие оптимального терапевтического диапазона для данного соединения.

Результаты последующих экспериментальных исследований показали, что на модели формалин-индуцированного воспаления происходят значительные изменения уровня цитокинов в сыворотке крови. В контрольной группе повышение содержания IL-4, IL-6 и TNF- α по сравнению с интактной группой подтвердило развитие активного воспалительного процесса в организме.

Диклофенак натрия, использованный в качестве референс-препарата, достоверно снижал уровень цитокинов. При применении препарата в дозе 8,0 мг/кг показатель IL-4 снизился до 0,37, IL-6 — до 0,11, TNF- α — до 1,07. При использовании дозы 10,0 мг/кг наблюдалось снижение уровня IL-6 до 0,09, что свидетельствует о выраженном ингибирующем действии диклофенака натрия на образование медиаторов воспаления.

Исследуемое соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид также проявлял ингибирующее действие на образование цитокинов во всех введённых дозах. В дозе 0,5 мг/кг показатели IL-4, IL-6 и TNF- α составили 0,49, 0,07 и 0,96 соответственно. В дозе 1,0 мг/кг уровень TNF- α снизился до 0,93. Наивысшая эффективность зарегистрирована в дозе 5,0 мг/кг, где содержание IL-6 снизилось до 0,05, а содержание TNF- α составило 0,89. Данные результаты свидетельствуют о том, что соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид обладает способностью подавлять образование медиаторов воспаления. Полученные экспериментальные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние исследуемых соединений на содержание цитокинов в сыворотке крови ($M \pm m$, $n=6$)

№	Условия опыта	Доза мг/кг	IL-4	IL-6	TNF- α
1	Интактные животные	-	0.16(0.145÷0.175)	0.31(0.29÷0.33)	0.65(0.32÷0.68)
2	Контроль (формалин 2,5% 0,1мл)	0.2 мл 0,9 % раствора натрия хлорида	2.0 (1.84÷2.16)	2.4 (1.37÷3.43)	1.275 (2.93÷3.26)
3	Диклофенак натрия	8.0	0.37 (0.13÷0.14) ^a	0.11 (0.14÷0.17) ^a	1.07 (1.12÷1.19) ^a
		10.0	0.41 (0.13÷0.14) ^a	0.09 (0.07÷0.13) ^a	1.02 (0.97÷1.09) ^a
6	2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид	0.5	0.49 (0.14÷0.15) ^{a,б}	0.07 (0.04÷0.13) ^{a,б}	0.96 (0.92÷1.04) ^{a,б}
		1.0	0.47 (0.14÷0.15) ^{a,б}	0.09 (0.05÷0.15) ^a	0.93 (0.90÷1.01) ^{a,б}
		5.0	0.52 (0.14±0.15) ^{a,б}	0.05 (0.03±0.12) ^{a,б}	0.89 (0.85±0.93) ^{a,б}

Примечание: *a* — достоверное различие по сравнению с контрольной группой, $P < 0,05$; *b* — достоверное различие по сравнению с референс-препаратом, $P < 0,05$.

Полученные данные свидетельствуют о том, что противовоспалительное действие соединения 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорида может быть связано с подавлением продукции цитокинов и угнетением образования медиаторов воспаления. По некоторым показателям эффективность данного соединения близка к результатам референс-препарата диклофенака натрия, что подтверждает его практическую значимость в качестве перспективного противовоспалительного средства.

Выводы

Результаты проведённых экспериментальных исследований показали, что соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидро-изохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид проявляет выраженную противовоспалительную активность на модели формалин-индуцированного воспаления. Доза соединения 1,0 мг/кг продемонстрировала наивысшую фармакологическую эффективность, а его противовоспалительное действие превзошло показатели референс-препарата диклофенака натрия. Данные результаты подтверждают, что тестируемое соединение обладает противовоспалительным потенциалом.

Также установлено, что исследуемое соединение значительно снижает уровень противовоспалительных цитокинов - IL-6 и TNF- α в сыворотке крови. Это обстоятельство указывает на то, что фармакологическое действие соединения может быть связано с подавлением образования медиаторов воспаления и модуляцией цитокинового баланса. По отдельным показателям эффективность тестируемого соединения была близка к результатам референс-препарата или превышала их.

Полученные данные позволяют оценить соединение 2-хлор-3-(6,7-диметокси-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-1-ил)-8-метилхинолина гидрохлорид в качестве перспективного противовоспалительного средства. Однако, для выяснения молекулярных механизмов действия данного соединения, его влияния на другие медиаторы воспаления, а также определения долгосрочной токсикологической безопасности является целесообразным проведение дополнительных углублённых фармакологических и биохимических исследований.

Список литературы

1. Chen L., Deng H., Cui H. et al. Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs // *Oncotarget*. – 2018. – № 6. – P. 7204–7218. – DOI: 10.18632/oncotarget.23208.
2. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // *Official Journal of the European Union*. – 2010. – P. 33–79.
3. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. – Strasbourg: Council of Europe, 1986.- 53 P.
4. Furman D., Campisi J., Verdin E. et al. Chronic inflammation in the etiology of disease across the life span // *Nature Medicine*. – 2019. – № 12. – P. 1822–1832. – DOI: 10.1038/s41591-019-0675-0.

5. Mironov A.N. [Guidelines for Conducting Preclinical Studies of Medicinal Products]. Part 1. Moscow, Grif i K, 2012, 673 P. (In Russ).
6. Singh P., An, A., Kumar V. Recent developments in biological activities of chalcones: a mini review // European Journal of Medicinal Chemistry. – 2014. – P. 758–777. – DOI: 10.1016/j.ejmech.2014.08.033.
7. Solomon V.R., Lee H. Quinoline as a privileged scaffold in cancer drug discovery // Current Medicinal Chemistry. – 2011. – № 10. – P. 1488–1508. – DOI: 10.2174/092986711795328355.
8. Stefanova A.V. [Preclinical Studies of Medicinal Products]. Part I. Kiev, Avicenna Publishing House, 2002, 579 P. (In Russ).
9. Varrassi G., Pergolizzi J.V., Dowling P. et al. NSAIDs in the treatment of postoperative pain: current perspectives // Journal of Clinical Medicine. – 2021. – № 15. – DOI: 10.3390/jcm10153405.
10. Xabriyeva R.U. [Guidelines for Experimental (Preclinical) Study of New Pharmacological Substances]. Moscow, Meditsina, 2005. 832 P. (In Russ).

Статья поступила в редакцию: 20.06.2026

Статья принята к публикации: 21.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 631.8:633.17

Влияние норм минеральных и органических удобрений на рост, развитие и продуктивность африканского проса (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) сорта «ННВВС tall»

Сейтекова Миуагул Танирбергеновна
докторант

Институт сельского хозяйства и агротехнологий Каракалпакстана

Узбекистан, г. Нукус

E-mail: seytekoma@gmail.com

Influence of mineral and organic fertilizer rates on the growth, development and productivity of african millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) variety ‘ННВВС tall’

Seytekova Miuagul Tanirbergenovna
Doctoral student

at the Institute of Agriculture and Agrotechnologies Karakalpakstan

Uzbekistan, Nukus

Аннотация

Цель исследования заключалась в определении оптимальных норм минеральных и органических удобрений для повышения роста, развития и продуктивности сорта африканского проса «ННВВС tall» на орошаемых лугово-аллювиальных почвах Каракалпакстана. Полевые исследования проводились в 2022–2024 гг. с использованием различных доз минеральных удобрений (N80P60K40–N120P90K60), а также их сочетаний с полуперепревшим навозом в дозах 10 и 20 т/га. Оценивали показатели роста растений, продуктивную кустистость, количество листьев, диаметр стебля, урожайность зерна и экономическую эффективность применения удобрений. Установлено, что совместное применение минеральных и органических удобрений обеспечивает синергетический эффект, проявляющийся в улучшении агрофизических свойств почвы, повышении доступности элементов питания и более эффективном использовании влаги растениями. Наиболее высокая урожайность зерна (51,9 ц/га) получена при внесении N120P90K60 + 20 т/га навоза, что в 2 раза превышает контроль. Наиболее экономически эффективным вариантом органоминеральной системы оказалось применение N120P90K60+ 10 т/га навоза, обеспечившее получение высокой урожайности при максимальной условной чистой прибыли. Научная новизна исследования заключается в установлении эффективности различных органоминеральных систем удобрения сорта африканского проса «ННВВС tall» в

Библиографическое описание: Сейтекова М.Т. Влияние норм минеральных и органических удобрений на рост, развитие и продуктивность африканского проса (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) сорта «ННВВС tall» // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23229>

почвенно-климатических условиях Каракалпакстана и обосновании оптимального сочетания минеральных и органических удобрений, обеспечивающего одновременно высокую продуктивность культуры и экономическую эффективность технологии её возделывания.

Abstract

The aim of this study was to determine the optimal rates of mineral and organic fertilizers for improving the growth, development, and productivity of the African pearl millet cultivar ‘ННВВС tall’ under irrigated meadow-alluvial soil conditions of Karakalpakstan. Field experiments were conducted during 2022–2024 using different rates of mineral fertilizers ($N_{80}P_{60}K_{40}$ – $N_{120}P_{90}K_{60}$) applied separately and in combination with cattle manure at rates of 10 and 20 t ha⁻¹. Plant growth parameters, productive tillering, number of leaves, stem diameter, grain yield, and economic efficiency were evaluated. The results demonstrated that the combined application of mineral and organic fertilizers produced a pronounced synergistic effect by improving soil physical properties, increasing nutrient availability, and enhancing water use efficiency. The highest grain yield (51,9 c ha⁻¹) was obtained with the application of $N_{120}P_{90}K_{60}$ + 20 t ha⁻¹ of manure, representing a 2-fold increase compared with the unfertilized control. The treatment $N_{120}P_{90}K_{60}$ + 10 t ha⁻¹ of manure provided the best balance between grain productivity and economic return, ensuring the highest conditional net profit while maintaining high production efficiency. The scientific novelty of the study lies in identifying the effectiveness of integrated mineral–organic fertilizer systems for the African pearl millet cultivar ‘ННВВС tall’ under the soil and climatic conditions of Karakalpakstan and substantiating the optimal fertilizer combination that simultaneously ensures high grain productivity and economic efficiency.

Ключевые слова: африканское просо, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br, сорт «ННВВС tall», минеральные удобрения, органические удобрения, органоминеральная система, урожайность, экономическая эффективность.

Keywords: african pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br, cultivar ‘ННВВС tall’, mineral fertilizers, organic fertilizers, integrated nutrient management, grain yield, economic efficiency.

Введение

Африканское просо (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) является одной из наиболее засухоустойчивых зерновых культур, отличающейся высокой адаптивностью к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям. Благодаря эффективному использованию почвенной влаги, высокой жаростойкости и способности формировать урожай на малоплодородных почвах эта культура широко возделывается в странах Африки и Азии и рассматривается как перспективная для аридных регионов Центральной Азии [8, с. 35–38].

В последние годы интерес к возделыванию африканского проса значительно возрос в связи с глобальным изменением климата, увеличением частоты засух и необходимостью рационального использования водных ресурсов. По данным ряда исследований, культура отличается высокой кормовой и зерновой продуктивностью, а также способностью сохранять

урожайность в условиях высоких температур и ограниченного водообеспечения [5, с. 138–140; 4, с. 5–8]. Известно, что одним из основных факторов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является рациональное применение удобрений. Минеральные удобрения обеспечивают растения доступными элементами питания, однако их длительное использование без внесения органического вещества может приводить к ухудшению агрофизических свойств почвы и снижению содержания гумуса [9, с. 52–55]. В связи с этим многие исследователи рекомендуют применять органические и минеральные удобрения совместно, что способствует повышению эффективности использования элементов питания, улучшению структуры почвы и активизации биологических процессов [6, с. 74–79].

Несмотря на большое количество исследований, посвящённых применению удобрений при возделывании африканского проса, вопросы выбора оптимальных норм органических и минеральных удобрений для различных почвенно-климатических условий остаются недостаточно изученными [3, с. 112–116]. Особенно ограничены сведения об эффективности органоминеральной системы удобрения сорта «ННВВС tall» на орошаемых лугово-аллювиальных почвах Республики Каракалпакстан [1, с. 61–64]. Кроме того, ученые отметили необходимость изучения экономически эффективных и инновационных методов повышения засухоустойчивости сельскохозяйственных культур для обеспечения продовольственной безопасности в будущем. [10, с.127 – 142].

Цель исследования – определить влияние различных норм минеральных и органических удобрений на рост, развитие и продуктивность сорта африканского проса «ННВВС tall» в условиях орошаемых лугово-аллювиальных почв Каракалпакстана.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились в 2022 – 2024 годах на опытном участке Каракалпакского института сельского хозяйства и агротехнологий, расположенном на орошаемых лугово-аллювиальных почвах Учебно-научного центра «Селекция, семеноводство и агротехнология выращивания масличных культур» Нукусского района Республики Каракалпакстан.

Климат района исследований резко континентальный, характеризуется жарким и продолжительным летом, малым количеством атмосферных осадков и высокой испаряемостью. Объектом исследования являлся сорт африканского проса (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) «ННВВС tall». Исследования проводились в условиях полевого опыта с использованием различных систем удобрения.

Почва опытного участка – лугово-аллювиальная, среднесуглинистая по гранулометрическому составу. До закладки опыта были определены агрохимические показатели почвы, включая содержание гумуса, общего азота, подвижного фосфора, обменного калия и реакцию почвенного раствора по общепринятым методикам.

Схема опыта включала 12 вариантов

1. Контроль (без внесения удобрений);
2. $N_{80} P_{60} K_{40}$;
3. $N_{100} P_{75} K_{50}$;

4. $N_{120}P_{90}K_{60}$;
5. Полуперепревший навоз КРС – 10 т/га;
6. $N_{80}P_{60}K_{40}$ +10 т/га навоз
7. $N_{100}P_{75}K_{50}$ +10 т/га навоз
8. $N_{120}P_{90}K_{60}$ +10 т/га навоз
9. Полуперепревший навоз КРС – 20 т/га;
10. $N_{80}P_{60}K_{40}$ +20 т/га навоз
11. $N_{100}P_{75}K_{50}$ +20 т/га навоз
12. $N_{120}P_{90}K_{60}$ +20 т/га навоз

Опыт был заложен методом рандомизированных блоков в четырёхкратной повторности. Площадь одной делянки составляла 100 м², учётная площадь – 25 м². Размещение вариантов в пределах повторностей осуществлялось случайным методом. Фосфорные и органические удобрения вносили под основную обработку почвы, калийные – перед посевом, азотные – дробно: часть перед посевом, оставшуюся часть – в фазах кущения и выхода растений в трубку.

Азот является главным лимитирующим фактором роста злаковых культур. Динамика его нитратной формы (NO_3) в почве наиболее подвижна и отражает реальную обеспеченность растений питанием в критические фазы развития. Применение исключительно минеральных туков нередко ведет к быстрой минерализации и вымыванию азота [7, с. 137 – 142], тогда как интеграция минеральных и органических источников (навоза) позволяет стабилизировать депонирование элементов в почвенном поглощающем комплексе, улучшая биохимические показатели как почвы, так и конечной продукции [2, с. 74.].

В период вегетации проводили фенологические наблюдения и биометрические измерения. Определяли высоту растений, количество стеблей и листьев на одно растение, длину метёлки, массу 1000 семян и урожайность зерна. Учёт урожая осуществляли методом сплошной уборки учётной площади с последующим пересчётом на стандартную влажность.

Полученные экспериментальные данные подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа (ANOVA). Достоверность различий между средними значениями оценивали по критерию HCP_{05} ($LSD_{0.05}$) при уровне значимости $P \leq 0,05$. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием общепринятых методов биометрического анализа.

Результаты и обсуждения

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о существенном влиянии различных систем удобрения на рост и развитие сорта африканского проса «ННВВС tall». По всем изучаемым биометрическим показателям растения, выращенные с применением органических и минеральных удобрений, значительно превосходили контрольный вариант без внесения удобрений.

Результаты трёхлетних исследований (среднее за 2022 – 2024 гг.) демонстрируют выраженную отзывчивость сорта «ННВВС tall» на оптимизацию условий питания (Таблица 1). В контрольном варианте высота растений составила 262 см, до 265 см, количество стеблей составило 1,5 шт., число листьев – 42 шт., длина метёлки – 22,4 см, масса 1000 семян – 6,1 г.

Внесение только органического удобрения (10 – 20 т/га навоз) способствовало увеличению всех исследуемых показателей. Высота растений достигала до 274 – 278 см и 291 – 295 см, количество стеблей увеличилось до 2 шт – 2,5 шт., число листьев до 50 – 60 шт., длина метёлки до 26,4 см – 32см, а масса 1000 семян до 6,9 г – 7,6г.

Применение минеральных удобрений в дозе N80P60K40 обеспечило дальнейшее улучшение роста и развития растений. Высота растений увеличилась до 271 – 275 см, количество стеблей составило 2,25 шт., число листьев – 53 шт., длина метёлки – 28,4 см, масса 1000 семян – 7,3 г. Повышение дозы минеральных удобрений до $N_{120}P_{90}K_{60}$ способствовало дальнейшему увеличению биометрических показателей: высота растений достигла 280–284 см, количество стеблей – 3,6 шт., число листьев – 74 шт., длина метёлки – 32,2 см, масса 1000 семян – 7,9г. Внесение только минеральных удобрений (варианты 2–4) приводило к ступенчатому увеличению всех параметров. Так, при максимальной дозе N120P90K60 высота растений увеличилась до 280–284 см, а масса 1000 семян составила 7,9 г. Использование органических удобрений в чистом виде (варианты 5 и 9) показало, что внесение 20 т/га навоза обеспечило рост растений до 274 -- 278 см и 291–295 см и массу 1000 семян 7,6 г. Наиболее высокие показатели роста и развития были получены при совместном внесении 20 т/га полуперепревшего навоза и минеральных удобрений в дозе N120P90K60. В данном варианте высота растений составила 316–320 см, количество стеблей 5,5 шт., число листьев 110 шт., длина метёлки 47,0 см и массы 1000 семян достигла 10,6 г. Полученные результаты свидетельствуют о выраженном синергетическом эффекте совместного применения органических и минеральных удобрений. Органическое вещество улучшает структуру почвы, повышает её влагоёмкость, активизирует микробиологические процессы и способствует постепенному высвобождению элементов питания. Минеральные удобрения обеспечивают растения легкоусвояемыми формами азота, фосфора и калия, необходимыми для интенсивного роста и формирования генеративных органов. В результате создаются более благоприятные условия для развития корневой системы, повышения фотосинтетической активности и накопления сухого вещества, что положительно отражается на всех биометрических показателях растений.

Полученные данные согласуются с результатами исследований отечественных и зарубежных авторов, которые отмечают, что органоминеральная система удобрения обеспечивает более интенсивный рост растений и более высокую продуктивность по сравнению с применением только органических или только минеральных удобрений. Таким образом, в условиях орошаемых лугово-аллювиальных почв Республики Каракалпакстан наиболее эффективным для формирования высоких показателей роста и развития сорта африканского проса «ННВВС tall» является совместное применение органических и минеральных удобрений.

Таблица 1.

Влияние минеральных и органических удобрений на показатели роста и развития сорта африканского проса «ННВВС tall» (среднее за 2022–2024 гг.)

№	Варианты опыта (нормы удобрений)	Высота растений, см	Количество стеблей на одно растение, шт.	Количество листьев, шт.	Длина метёлки, см	Масса 1000 семян, г
1	Контроль (без внесения удобрений);	262-265	1,5	42	22,4	6,1
2	$N_{80}P_{60}K_{40}$;	271-275	2,2	53	28,4	7,3
3	$N_{100}P_{75}K_{50}$;	275-279	3,0	62	30,2	7,7
4	$N_{120}P_{90}K_{60}$;	280-284	3,6	74	32,2	7,9
5	Полуперепревший навоз КРС – 10 т/га;	274-278	2,0	50	26,4	6,9
6	$N_{80}P_{60}K_{40}$ +10 т/га навоз	285-289	3,3	70	31,5	7,8
7	$N_{100}P_{75}K_{50}$ +10 т/га навоз	290-294	4,0	79	34,5	8,4
8	$N_{120}P_{90}K_{60}$ +10 т/га навоз	295-299	4,5	90	38,4	9,3
9	Полуперепревший навоз КРС – 20 т/га;	291-295	2,5	60	32,0	7,6
10	$N_{80}P_{60}K_{40}$ +20 т/га навоз	301-305	3,8	84	39,0	9,5
11	$N_{100}P_{75}K_{50}$ +20 т/га навоз	308-312	5,0	97	45,0	10,2
12	$N_{120}P_{90}K_{60}$ +20 т/га навоз	316-320	5,5	110	47,0	10,6

Как видно из данных таблицы 2, применение минеральных и органических удобрений оказало существенное влияние на формирование элементов структуры урожая и урожайность сорта африканского проса «ННВВС tall». Точность проведенных исследований находится на высоком уровне: относительная ошибка опыта составляет $S_x = 3.1\%$ (при допустимой норме для полевых опытов до 5%), а наименьшая существенная разность по урожайности зерна равна НСР 05 = 2.5 ц/га. Во всех вариантах с внесением удобрений наблюдалось достоверное увеличение длины метёлки, массы зерна с одного растения и урожайности по сравнению с контрольным вариантом. В контрольном варианте урожайность зерна составила 25,0 ц/га. Внесение только органического удобрения (20 т/га полуперепревшего навоза) позволило повысить урожайность до 43,8 ц/га, что на 18,8 ц/га (75,2 %) выше контроля. Это свидетельствует о положительном влиянии органического вещества на улучшение агрофизических свойств почвы, повышение её влагоёмкости и активизацию микробиологических процессов. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{60}K_{40}$ обеспечило увеличение урожайности до 42,5 ц/га, а при повышении дозы до $N_{120}P_{90}K_{60}$ урожайность достигла 48,8 ц/га, что соответственно на 70 % и 98 % превышало показатели контрольного варианта. Повышение продуктивности сопровождалось увеличением длины метёлки и массы зерна с одного растения, что свидетельствует об улучшении условий минерального питания растений в течение всего периода вегетации.

Максимальные значения всех изучаемых показателей были получены при совместном внесении 20 т/га полуперепревшего навоза и минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{60}$. Однако максимальный эффект получен при совместном применении (табл. 2): урожайность

составила 51,9 ц/га, что на 26,9 ц/га или 107,6 % выше контроля. Это объясняется тем, что органика улучшает буферность почвы, а минеральные туки обеспечивают быстрый стартовый рост [6, с. 112–116, 7, с. 61–64, 8, с. 137–142]. Полученные данные согласуются с выводами других авторов о высокой эффективности органоминеральных систем в аридных условиях [9, с.127–142, 10, с.74]. Кроме того, отмечены наибольшие значения длины метёлки 39,0 см и массы зерна с одного метелка 10,3 г, что свидетельствует о высокой эффективности органоминеральной системы удобрения. Полученные результаты можно объяснить синергетическим действием органических и минеральных удобрений. Органическое удобрение способствует улучшению структуры почвы, накоплению органического вещества и постепенному высвобождению элементов питания, тогда как минеральные удобрения обеспечивают растения доступными формами азота, фосфора и калия в наиболее критические периоды роста и развития. Такое сочетание создаёт благоприятные условия для формирования генеративных органов, увеличения массы зерна и повышения общей продуктивности культуры. Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов, согласно которым совместное применение органических и минеральных удобрений обеспечивает более высокую урожайность африканского проса по сравнению с использованием только органических или только минеральных удобрений. Это подтверждает целесообразность применения органоминеральной системы удобрения при возделывании сорта «ННВВС tall» в условиях орошаемых лугово-аллювиальных почв Республики Каракалпакстан.

Таблица 2.

Влияние различных норм минеральных и органических удобрений на элементы структуры урожая и урожайность сорта африканского проса «ННВВС tall» (среднее за 2022–2024 гг.)

№	Варианты опыта (нормы удобрений)	Длина метёлки, см	Масса зерна с одной метёлки, г	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка, %
1	Контроль (без внесения удобрений);	22,4	6,9	25,0	0,0	–
2	$N_{80}P_{60}K_{40}$;	28,4	7,9	42,5	17,5	70
3	$N_{100}P_{75}K_{50}$;	30,2	8,2	46,2	21,2	84,8
4	$N_{120}P_{90}K_{60}$;	32,2	8,6	48,8	23,8	95,2
5	Полуперепревший навоз КРС – 10 т/га;	26,4	7,6	40,1	15,1	60,4
6	$N_{80}P_{60}K_{40}$ +10 т/га навоз	31,5	8,7	43,9	18,9	75,6
7	$N_{100}P_{75}K_{50}$ +10 т/га навоз	34,5	9,0	46,7	21,7	86,8
8	$N_{120}P_{90}K_{60}$ +10 т/га навоз	38,4	9,3	50,2	25,2	100,8
9	Полуперепревший навоз КРС – 20 т/га;	32,0	8,9	43,8	18,8	75,2
10	$N_{80}P_{60}K_{40}$ +20 т/га навоз	39,0	9,2	47,0	22,0	88
11	$N_{100}P_{75}K_{50}$ +20 т/га навоз	45,0	9,7	50,6	25,6	102,4

№	Варианты опыта (нормы удобрений)	Длина метёлки, см	Масса зерна с одной метёлки, г	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка, %
12	$N_{120}P_{90}K_{60}+20$ т/га навоз	47,0	10,3	51,9	26,9	107,6
	HCP ₀₅ ц/ га			2,5 3,1		
	Sx, %					

Заключение

В результате проведённых исследований установлено, что применение минеральных и органических удобрений существенно влияет на рост, развитие и урожайность сорта африканского проса «ННВВС tall» в условиях орошаемых лугово-аллювиальных почв Республики Каракалпакстан. В контрольном варианте урожайность зерна составила 25 ц/га, тогда как внесение органического удобрения (20 т/га навоза) обеспечило её увеличение до 43,8 ц/га. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{80}P_{60}K_{40}$ и $N_{120}P_{90}K_{60}$ позволило повысить урожайность соответственно до 42,5 и 48,8 ц/га. Наиболее высокая урожайность (50,6 – 51,9 ц/га) была получена при совместном внесении 20 т/га полуперепревшего навоза $N_{100}P_{75}K_{50}$ и $N_{120}P_{90}K_{60}$, что на 25,6 ц/га и 26,9 ц/га или 102,4 % – 107,6 % превышало контрольный вариант. В этом же вариантах отмечены наибольшие показатели роста и развития растений: высота растений достигала 308 – 312 см и 316–320 см, длина метёлки 45 см – 47,0 см, масса 1000 семян 10,2г–10,6 г. Полученные результаты свидетельствуют, что совместное применение органических и минеральных удобрений обеспечивает более эффективное использование элементов питания, улучшает агрофизические свойства почвы и способствует формированию высокой урожайности африканского проса. Применение органоминеральных удобрений является эффективным приёмом повышения продуктивности африканского проса в условиях Каракалпакстана. Наивысшая урожайность (50,6 – 51,9 ц/га) достигнута при внесении $N_{100}P_{75}K_{50}$ и $N_{120}P_{90}K_{60}$ в сочетании с 20 т/га навоза.

Список литературы

1. Иванова, Н.П., & Смирнов, В.А. (2023). Органические удобрения как фактор повышения плодородия почвы. Агрохимический вестник, 2, 35–42.
2. Ишфак М., Ван Ю., Сюй Ж и др. (2023). Повышение питательных качеств продовольственных культур с помощью удобрений: глобальный метаанализ. Агрономия для устойчивого развития 43, 74.
3. Ковалёв, А.В., & Петров, С.Н. (2022). Влияние минерального питания на продуктивность зерновых культур. Земледелие, 5, 22–27.
4. Лапа, В.В., & Иванов, А.И. (2021). Органоминеральная система удобрения и её влияние на плодородие почвы. Агрохимия, 8, 18–27.
5. Минеев, В.Г. (2020). Агрохимия (3-е изд.). Издательство Московского государственного университета.

6. Мусаев, С.Х., & Рахимов, Б.А. (2022). Эффективность органоминеральной системы удобрения сельскохозяйственных культур в условиях аридной зоны. Плодородие, 4, 28–33.
7. Намозов Н.Ч., Касимов Б.С. (2024). Изменение содержания нитратного азота в почве при подкормке Африканского проса минеральными и органическими удобрениями в период его роста. Международная научно-онлайн конференция, 137–142.
8. Сычев, В.Г. (2020). Современные системы применения удобрений в земледелии Российской Федерации. Плодородие, 4, 2–7.
9. Турсунов, Х.Т., & Абдуллаев, Ж.А. (2021). Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность зерновых культур. Аграрная наука, 6, 45–50.
10. Яхья М.А., Шимелис Х. (2022) Стресс от засухи в сорго: стратегии смягчения, методы и технологии селекции. Агрономия 2, 127–142.

References

1. Ivanova N.P., & Smirnov V.A. (2023). Organic fertilizers as a factor in improving soil fertility. Agrokhimicheskii Vestnik, (2), 35–42. (In Russ.)
2. Ishfaq M, Wang Y., Xu J, et al. (2023). Improving the nutritional qualities of food crops using fertilizers: global meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development (43), 74. (In Eng.).
3. Kovalev A.V., & Petrov S.N. (2022). Effect of mineral nutrition on cereal crop productivity. Zemledelie, (5), 22–27. (In Russ.)
4. Lapa V.V., & Ivanov A.I. (2021). Organo-mineral fertilization systems and their effect on soil fertility. Agrokhimiya, (8), 18–27. (In Russ.)
5. Mineev V.G. (2020). Agrochemistry (3rd ed.). Moscow State University Press. (In Russ.)
6. Musaev S.Kh., & Rakhimov B.A. (2022). Efficiency of integrated organo-mineral fertilization systems for agricultural crops under arid conditions. Plodorodie, (4), 28–33. (In Russ.)
7. Namozov N.Ch., Kasimov B.S. (2024). Changes in the content of nitrate nitrogen in the soil during the addition of mineral and organic fertilizers to African millet during its growth period. International Scientific Online Conference, 137–142. (In Russ.)
8. Sychev V.G. (2020). Modern fertilizer application systems in the agriculture of the Russian Federation. Plodorodie, (4), 2–7. (In Russ.)
9. Tursunov, Kh. T., & Abdullaev, Zh. A. (2021). Effect of organic and mineral fertilizers on the productivity of cereal crops. Agrarnaya Nauka, (6), 45–50. (In Russ.).
10. Yahya M.A., Shimelis H. (2022) Drought stress in sorghum: mitigation strategies, breeding methods, and technologies. Agronomy. (2), 127–142. (In Eng.).

Статья поступила в редакцию: 05.07.2026

Статья принята к публикации: 13.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 664.6+546.41

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23167

Куриные яйца — это уникальное сырье, богатое природным кальцием

Файзиев Хайруллахон Омониллоевич

самостоятельный исследователь Андижанский государственный университет

Узбекистан, г. Андижан

E-mail: fayziyevxayrullaxon@gmail.com

Аскаров Иброхимджон Рахмонович

проф.

кафедры химии, Андижанский государственный университет, заслуженный изобретатель

Узбекистана, председатель Академии медицины Узбекистана

Узбекистан, г. Андижан

Исламов Акмал Хушвакович

д-р хим. наук, проф.

Института биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан

Узбекистан, г. Ташкент

Chicken eggs as unique raw material rich in natural calcium

Fayziev Khayrullakhon Omonilloevich

Independent researcher

Andijan State University

Uzbekistan, Andijan

Askarov Ibrokhimdzhon Rakhmonovich

professor

Department of Chemistry

Andijan State University

Honored Inventor of

Uzbekistan, Chairman of the Academy of Medicine of Uzbekistan, Uzbekistan, Andijan

Islamov Akmal Khushvakovich

Doctor of Chemical Sciences, Professor

Institute of Bioorganic Chemistry Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В данной статье представлена информация об изменениях, происходящих в организме вследствие дефицита кальция, и их последствиях, методах профилактики и лечения, а также об использовании яичной скорлупы, природного источника кальция. В последние годы для

поиска подходящей альтернативы аутологичной кости при лечении костных дефектов используются различные методы и материалы. Использование аутологичной кости является предпочтительным методом аугментации и поэтому считается золотым стандартом. В качестве альтернативы аутологичным трансплантатам используются различные костные трансплантаты. Идеальный материал для костного трансплантата должен быть биосовместимым, остеоиндуктивным, остеокондуктивным и обладать удовлетворительными механическими свойствами. Создание биоматериального композита со всеми необходимыми свойствами для полной регенерации кости может стать очень перспективным решением. Согласно данным, представленным в научной литературе, результаты некоторых исследований *in vitro* показывают, что комбинация частиц яичной скорлупы и глицирризиновой кислоты обладает высоким потенциалом в качестве основных компонентов для регенерации кости и тканевой инженерии. Природный состав яичной скорлупы дополнительно повышает ее биодоступность в процессах, происходящих в организме. Кроме того, помимо кальция и его соединений, наличие необходимых для организма химических элементов и их различных соединений еще больше повышает значение яичной скорлупы, которая считается природным биоотходом.

Abstract

This article presents information on the changes that occur in the body due to calcium deficiency and their consequences, prevention and treatment methods, as well as the use of eggshell, a natural source of calcium. In recent years, various methods and materials have been used to search for a suitable alternative to autologous bone in the treatment of bone defects. The use of autologous bone is the preferred method of augmentation and is therefore considered the gold standard. Various bone grafts are used as alternatives to autologous grafts. The ideal bone graft material should be biocompatible, osteoinductive, osteoconductive and have satisfactory mechanical properties. The creation of a biomaterial composite with all the necessary properties for complete bone regeneration can be a very promising solution. According to the data presented in the scientific literature, the results of some *in vitro* studies show that the combination of eggshell particles and glycyrrhizic acid has high potential as basic components for bone regeneration and tissue engineering. The natural composition of eggshells further increases their bioavailability in the processes occurring in the body. In addition, in addition to calcium and its compounds, the presence of chemical elements and their various compounds necessary for the body further increases the importance of eggshells, which are considered natural biowaste.

Ключевые слова: Яичная скорлупа, кальций, плотность костной ткани, гипокальцемия, остеопороз, макро- и микроэлементы.

Keywords: Eggshell, calcium, bone density, hypocalcemia, osteoporosis, macro- and microelements.

Библиографическое описание: Файзиев Х.О., Аскаров И.Р., Исламов А.Х. Куриные яйца — это уникальное сырье, богатое природным кальцием // *Universum: химия и биология : электрон. научн. журн.* 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23167>

Введение

Кальций и его соединения относятся к числу важнейших минералов для человеческого организма, играя очень важную роль в здоровье костей и зубов, сокращении мышц, передаче нервных сигналов и свертывании крови.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. Дефицит кальция приводит к хрупкости костей и затрудняет движения. В результате недостаточного поступления кальция в организм у маленьких детей развивается рахит, а у взрослых – остеопороз. Этот минеральный дефицит в организме в медицине называется гипокальциемией. Заметить гипокальциемию очень легко. В то время как у взрослых она проявляется такими симптомами, как общая слабость, усталость и выпадение волос, задержка роста у маленьких детей указывает на дефицит кальция. [3, 3-2-с; 6, 546-552-с].

Длительный дефицит кальция у детей, если его не устранить вовремя, приводит к снижению плотности костной ткани, развитию остеопороза и повышению риска патологических переломов костей при низкоэнергетических воздействиях. [1, 59-67-с].

Методология

Для поддержания кальциевого баланса и предотвращения потери костной массы рекомендуется регулярно принимать добавки кальция. Основными пищевыми источниками кальция являются молоко, яйца и морепродукты, орехи, бобовые, зелень, сухофрукты, минеральная вода и молочный шоколад. При этом яичная скорлупа, которая ежедневно выбрасывается как бытовой мусор, также является очень полезным источником кальция для организма [7, 3-5-с; 8, 321-325-с]. Поскольку, помимо кальция и его соединений, в ее составе обнаружен ряд микро- и макроэлементов, а яичная скорлупа служит как недорогим, так и полезным источником кальция, на основе этих данных в нашем исследовании было определено содержание микро- и макроэлементов в яичной скорлупе. В качестве объекта анализа были выбраны куриные яйца, выращенные на птицефабриках и в домашних условиях. Для процедуры куриную яичную скорлупу тщательно очищали и отделяли от мембран, затем кипятили в кипящей воде в течение 10-15 минут для дезинфекции. Затем скорлупу высушивали и использовали порошкообразные образцы яичной скорлупы. Содержание макро- и микроэлементов в скорлупе куриных яиц определяли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе **Spectro Xepos 111** (США). Результаты определения содержания макро- и микроэлементов в скорлупе куриных яиц представлены в таблице 1. [9, 334-339-с].

Таблица 1.

Микро- и макроэлементы в яичной скорлупе

Фабричная яичная скорлупа			Домашняя яичная скорлупа		
№	Количество	Соединения (микрограммы)	№	Количество	Соединения (микрограммы)
1	Ca	333800	1	Ca	331200
2	CaO	467100	2	CaO	463400
3	K	716.9	3	K	789.6
4	K ₂ O	863.6	4	K ₂ O	951.2

Фабричная яичная скорлупа			Домашняя яичная скорлупа		
5	P	1679	5	P	1730
6	P ₂ O ₅	3848	6	P ₂ O ₅	3963

В результате исследования в обоих образцах было идентифицировано около 70 микро- и макроэлементов.

Результаты и обсуждение

В результате исследования в составе яичной скорлупы было выявлено около 70 макро- и микроэлементов. Среди макроэлементов наибольшее количество было обнаружено в кальции, что объясняется тем, что основным минеральным компонентом яичной скорлупы является карбонат кальция. При этом было отмечено наличие в определенных количествах полезных элементов, таких как магний, калий, натрий и фосфор. Среди выявленных микроэлементов, количество железа, цинка, меди, марганца и селена в организме может быть восполнено за счет употребления яичной скорлупы [4, 3-5-с, 5, 219-230-с; 2, 1266-1279-с; 10, 483-487-с; 11, 224-226-с].

Для получения водорастворимых соединений из куриной яичной скорлупы в качестве растворителей использовали 10 % и 70 % пищевую уксусную кислоту (CH₃COOH). Подготовленную яичную скорлупу смешивали с уксусной кислотой. Для ускорения процесса смесь перемешивали в течение 6 – 7 часов на магнитной мешалке на протяжении 7 дней.

С целью дальнейшего улучшения водорастворимых свойств яичной скорлупы также был проведен синтез ее композиционных соединений с ГКМАТ (моноаммониевой солью глицирризиновой кислоты).

Кристаллы ацетата кальция из куриной яичной скорлупы и ГКМАТ были синтезированы с использованием молярного соотношения 2:1. Сначала порошок куриной яичной скорлупы и ГКМАТ брали в заданном количестве и растворяли в 50 % этаноле. Полученный раствор медленно смешивали при постоянном магнитном перемешивании. Смесь выдерживали при комнатной температуре (25 ± 2°C) в течение 10 – 12 часов. В ходе реакции катионы аммония обменивались с ионами кальция, образуя глицирризинат кальция (при небольшом охлаждении раствора глицирризинат кальция выпадает в осадок, а ацетат аммония отделяется в растворе). Общая схема его получения показана на Схеме 1

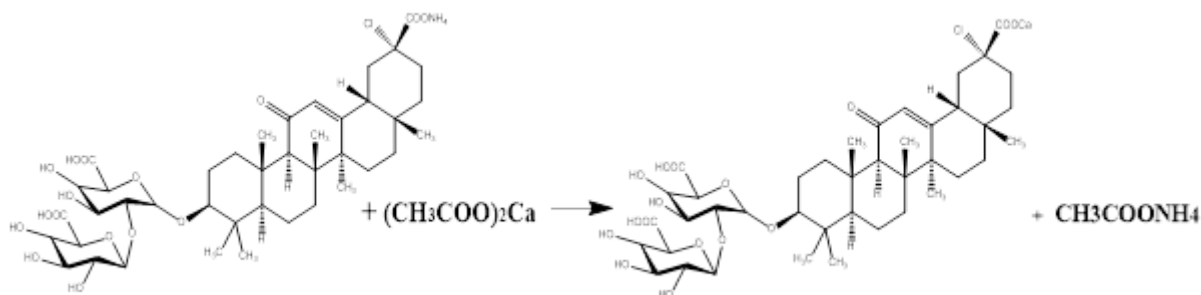


Рисунок 1. Получение кристаллов ацетата кальция и водорастворимого соединения ГКМАТ из скорлупы куриных яиц

При исследовании монокристаллов полученного продукта с помощью метода RTD было установлено, что глицирризинат кальция действительно образовался



Рисунок 2. Кристаллографический вид кристаллов ацетата кальция и водорастворимого соединения ГКМАТ, полученных из скорлупы куриных яиц

Соединение, изображенное на рисунке 1 выше, было получено согласно схеме 1, а химическая структура монокристаллов была определена методом рентгенодифракционного анализа в Лаборатории физических методов исследований Института биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан на дифрактометре **Optima-2100 DV** (США). Поглощение рассчитывалось полуэмпирически с использованием программы SADABS.

Вывод

Стоит отметить, что дефицит кальция в организме человека может привести ко многим заболеваниям, и последствия этого могут закончиться трагическими осложнениями, как ясно показывают приведенные выше научные данные. Люди, страдающие от дефицита кальция, также испытывают множество побочных эффектов. Надежным способом предотвращения таких состояний или эффективной помощи организму в восстановлении после периода болезни является использование натуральных источников. Среди таких источников выделяется яичная скорлупа, богатая кальцием

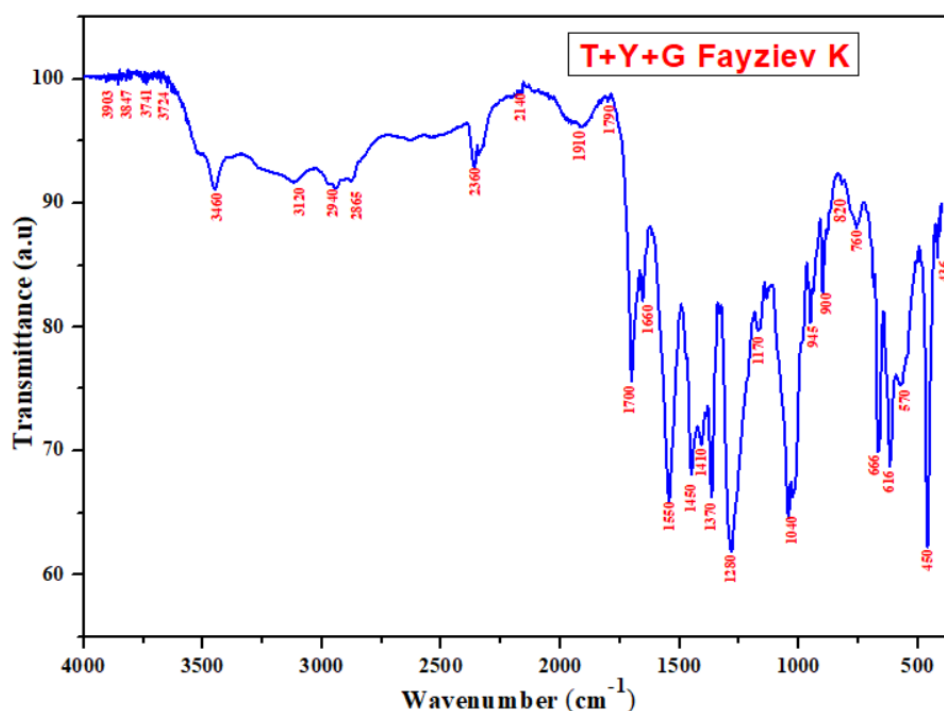


Рисунок 3. ИК-спектр глицирризината кальция

В ИК-спектроскопии, основанной на этом источнике, область 666 – 436 см⁻¹ обычно считается областью деформационных колебаний. В этой области формируются внеплоскостные деформационные колебания С-С-С и С-О-С глюкозидных колец. Если обратить внимание на область 600 – 450 см⁻¹, то можно заметить, что в этой области происходят валентные и деформационные колебания связи Са-О. Это, в свою очередь, подтверждает успешное связывание кальция с органическим соединением

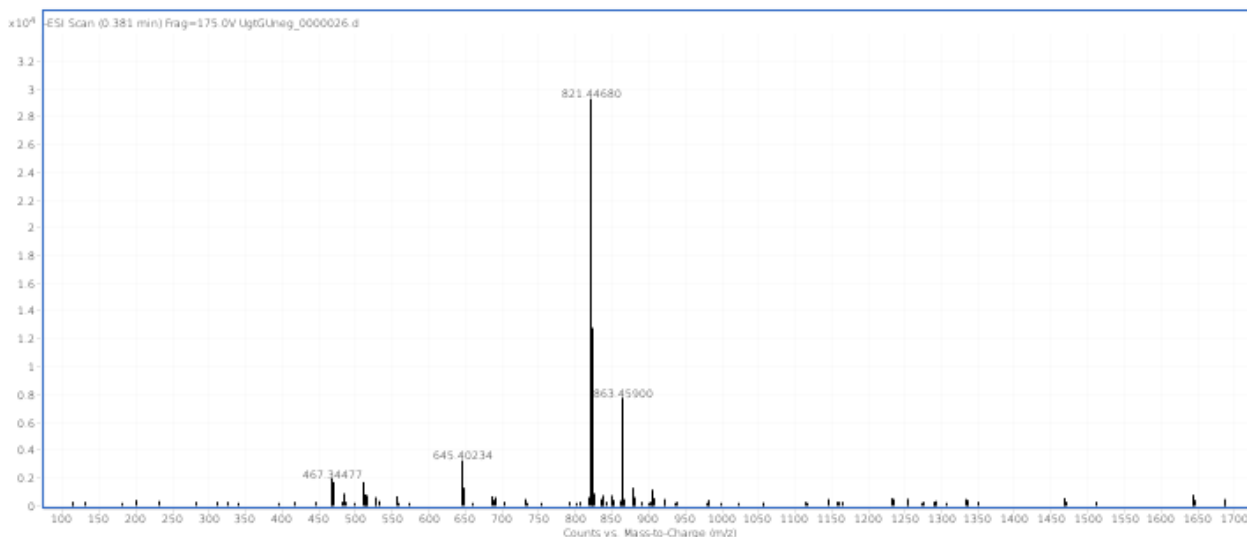


Рисунок 4. Спектр HRESIMS глицирризината кальция

В спектре HRESIMS образца наблюдались характерные ионные пики глицирризината кальция. Основной молекулярный ион был идентифицирован как [M-H]⁻ (m/z=821) глицирризиновой кислоты, а также был зарегистрирован комплексный ион с кальцием, т.е.

пик при 863,45 был интерпретирован как аддукт типа $[M+Ca-H]^+$, координированный с кальцием. Этот индикатор доказывает, что соединение присутствует в виде кальциевой соли.

Список литературы

1. E.A. Samorodnova. Calcium deficiency in children: causes, consequences, and possibilities of preventive interventions. *Pediatrics*. P. 59–67. – DOI: 10.32364/2618-8430-2023-6-1-60-67.
2. I.R. Asqarov, A.M. Mashrabboyeva, N.B. Atakulova, X.A. Odiljonov, V.G. Mamazokirova. Химический состав и целебные свойства яичной скорлупы // *Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. VOLUME 2. – 2022. – P. 483–487.
3. M.J. Gonzalez. Calcium Deficiency in Body: Hypocalcemia // *Journal Vitamins and Minerals*. – 2021. – № 10.
4. M. Waheeda, M.S. Butta, A. Shehzada, N.M. Adzahanc, M.A. Shabbira, H.A. Rasul Suleriad, R.M. Aadila. Eggshell calcium: A cheap alternative to expensive supplements. *Trends in Food Science & Technology* 91 (2019) 219–230 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
5. Maxwell T. Hincke, Yves Nys, Joel Gautron, Karlheinz Mann, Alejandro B. Rodriguez-Navarro4, Marc D. McKee // *The eggshell: structure, composition and mineralization*. *Frontiers in Bioscience* 17, 1266–1280, January 1,. – 2012.
6. R.B. Choriyeva, A.A. Rasulov. Kalsiyning manbaalari va inson organizmidagi ahamiyati. “Tibbiyot oliygohlarida tabiiy fanlarni interfaol usullarda o‘qitishning muammolari va yechimlari”. *Anjuman materiallari*. S 546–552.
7. T.E. Taranushenko, N.G. Kiseleva, T.V. Ovchinnikova. Methods of prevention of calcium deficiency in pediatric practice. *Arch Prev Med* 7(1). P. 1–5. doi: A.O. Xabibullayev, S.I. Atqiyayeva. Fertilizers used in cultivation of medicinal amaranth plant and natural sources enriched with compounds obtained from chicken egg shells as natural bioactive fertilizer. *International Journal of Education, Social Science & Humanities*. 2023 № 11. Pp 321–325. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7523871> [Электронный ресурс]. URL: <https://dx.doi.org/Fayziyev>. (дата обращения 07.08.2026)
8. X.O. Fayziyev, A.X. Islomov, A.O. Xabibullayev. Fabrikada yetishtirilgan tovuq tuxumlari qobig‘ini mikro va makroelementlari miqdorini aniqlash. *Academic Research in Educational Sciences*. 2022. №3. Pp 334–339. DOI: 10.24412/2181-1385-2022-3-334-339.
9. X.O. Fayziyev, I.R. Asqarov, A.X. Islomov, A.A. Shonazarov. Tabiiy kalsiy manbaalarining tirik organizmlarga umumiy ta’siri. *Journal of Chemistry*. 2024. № 7. Pp 1–5 [Электронный ресурс]. URL: <https://sirpublishers.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
10. X.O. Fayziyev. Tovuz tuxumi po‘stlog‘ining antioksidantlik xususiyatini in vitro usulida o‘rganish. *NamDU Ilmiy axborotnomasi*. 2026. №5. S 224–226.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Электронный научный журнал

№ 8(146)

Август 2026 г.

Часть 2

Мнение авторов может не совпадать с позицией редакции.

Издание содержит научную информацию и в соответствии с ч. 4 ст. 1
Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации,
причиняющей вред их здоровью и развитию» не подлежит классификации
(маркировке) по возрастным категориям

Издательство ООО «Юниверсум»

Объём издания: 92 с.

Минимальные системные требования: процессор с частотой от 1,3 ГГц; ОЗУ от
512 МБ; программа для чтения PDF-файлов; доступ к сети Интернет

Дата размещения в сети Интернет: 07.08.2026

Журнал размещается в:

CYBERLENINKA

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

Google
scholar

ULRICHSWEB
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

>BASE

СОЦИОНЕТ

OpenAIRE



[Registry of Open Access
Repositories \(ROAR\)](#)