



УДК: 581.192:633.88

Дилафруз А. МУСТАФОЕВА,

Базовый докторант, Национального университета Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

E-mail: mustafoeva.dilafruz@mail.ru, ORCID 0009-0005-2675-741X

Бахром Н. БАБАЕВ,

Д.х.н., профессор, Национального университета Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

E-mail: bahrom-nur1963@rambler.ru, ORCID 0000-0001-7655-9642

Нодира Г. АБДУЛЛАДЖАНОВА,

Д.х.н., профессор, в.н.с. лаборатории «Химии белков и пептидов» ИБОХ АН РУз

E-mail: anodira73@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2124-3522

Аманбай Ж. ПИРНИЯЗОВ,

К.х.н., доцент, Каракалпакского Государственного Университета имени Бердаха, Нукус, Узбекистан

E-mail: pggv9017@gmail.com, ORCID 0009-0009-6618-4096

На основе рецензии доцента, к.х.н Национального Университета Узбекистана С.Маулянова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯЦИИ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ *LYCIUM BARBARUM* L. В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ И ИНТРОДУКЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ

Аннотация

Работа посвящена сравнительному изучению качественного и количественного состава макро- и микроэлементов в вегетативных (листья, стебли) органах дикорастущего и культивируемого сырья *Lycium barbarum* L. С использованием метода энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (EDXRF) определено содержание эссенциальных (K, Ca, S, P, Fe, Zn, Mn, Cu, Ni) и условно токсичных элементов. Установлено, что условия культивирования (применение минеральных удобрений, искусственное орошение) оказывают детерминирующее влияние на минеральный профиль органов растения. Показано, что культивируемые образцы характеризуются повышенным накоплением калия, алюминия и цинка, тогда как дикорастущие популяции демонстрируют специфическую селективность к аккумуляции отдельных микроэлементов (Mn, Cu, Ag) как следствие адаптации к естественным эдафическим стрессам. Полученные данные критически важны для стандартизации лекарственного растительного сырья и оценки его элементной безопасности.

Ключевые слова: *Lycium barbarum*, элементный профиль, интродукция, макроэлементы, микроэлементы, рентгенофлуоресцентный анализ, эдафические факторы, дикорастущие популяции, культивированные образцы, стандартизация.

TABIIY O'SIMLIKLAR VA INTRODUKSIYA SHAROITIDA *LYCIUM BARBARUM* L. NING MAKRO- VA MIKROELEMENTLARINING TO'PLANISHINING QIYOSIY TAHLILI

Annotatsiya

Ushbu ish yovvoyi va madaniy *Lycium barbarum* L. ning turli vegetativ (barglari, poyasi) organlaridagi makro va mikroelementlarning sifat va miqdoriy tarkibini qiyosiy o'rganishga bag'ishlangan. P, Fe, Zn, Mn, Cu, Ni) va shartli zaharli elementlar aniqlandi. Kultivatsiya sharoitlari (mineral o'g'itlardan foydalanish, sun'iy sug'orish) o'simlik organlarining mineral tarkibiga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Madaniy namunalar kaliy, alyuminiy va ruxning ko'payishi bilan tavsiflanadi, yovvoyi populyatsiyalar esa tabiiy edafik stressga moslashish natijasida individual mikroelementlarning (Mn, Cu, Ag) to'planishi uchun o'ziga xos selektivlikni namoyish etdi. Olingan ma'lumotlar dorivor o'simlik materiallarini standartlashtirish va ularning elementar xavfsizligini baholash uchun juda muhimdir.

Kalit so'zlar: *Lycium barbarum*, elementar profil, kirish, makroelementlar, mikroelementlar, rentgen floresan tahlillari, edafik omillar, yovvoyi populyatsiyalar, madaniy namunalar, standartlashtirish.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCUMULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS OF *LYCIUM BARBARUM* L. IN CONDITIONS OF NATURAL CULTIVATIONS AND INTRODUCTION CULTURE

Annotation

This work is devoted to a comparative study of the qualitative and quantitative composition of macro- and microelements in various vegetative (leaves, stems) organs of wild-growing and cultivated *Lycium barbarum* L. Using energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF), the content of essential (K, Ca, S, P, Fe, Zn, Mn, Cu, Ni) and conditionally toxic elements was determined. Cultivation conditions (use of mineral fertilizers, artificial irrigation) were found to have a determining effect on the mineral profile of plant organs.

Cultivated samples were shown to be characterized by increased accumulation of potassium, aluminum, and zinc, while wild populations exhibited specific selectivity for the accumulation of individual microelements (Mn, Cu, Ag) as a result of adaptation to natural edaphic stress. The obtained data are critical for the standardization of medicinal plant materials and the assessment of their elemental safety.

Key words: *Lycium barbarum*, elemental profile, introduction, macroelements, microelements, X-ray fluorescence analysis, edaphic factors, wild populations, cultivated samples, standardization.

Введение. *Lycium barbarum* L. (паслёновые - *Solanaceae*) является ценным фармакопейным растением, препараты на основе которого обладают выраженной антиоксидантной, гепатопротекторной и иммуномодулирующей активностью. Изучение элементного профиля экстрактов стеблей и листьев дикорастущей (обыкновенной) (*Lycium barbarum* L.) имеет ключевое значение для оценки их фармакологической ценности и токсикологической безопасности [1]. Физиологическая ценность и терапевтический потенциал сырья *L. barbarum* определяются не только комплексом органических биологически активных веществ, но и его уникальным минеральным составом. Накопление минеральных веществ в различных органах растения напрямую зависит от условий интродукции, типа почв и климатических особенностей региона выращивания [2].

Цель настоящего исследования - провести сравнительную количественную и качественную оценку содержания макро- и микроэлементов в экстрактах листьев, стеблей дикорастущего и культивируемого *Lycium barbarum*.

Краткий литературный обзор. По Nomura, C. S., и Santos, A. S. традиционно в фокусе внимания исследователей находились органические биологически активные вещества, экстрагируемые из плодов: полисахаридные комплексы, каротиноиды (преимущественно дипальмитат зеаксантина) и фенольные соединения [3]. В исследованиях Халимовой Ф. Т. приводится, что современная концепция фармакогнозии рассматривает терапевтическую активность фитопрепаратов как результат синергетического взаимодействия органических матриц и неорганических нутриентов - макро- и микроэлементов, выступающих кофакторами важнейших ферментативных процессов в организме человека [4].

Перенос дикорастущих видов в культуру (интродукция) неизбежно сопряжен с изменением экологических, эдафических и агротехнических условий (применение NPK-удобрений, оптимизация полива), что модифицирует метаболизм растений и трансформирует их аккумулирующую способность [5]. В связи с этим актуальной задачей является проведение сравнительного элементного картирования дикорастущего и культивируемого сырья *L. barbarum* для оценки стабильности накопления нутриентов и верификации его безопасности, что необходимо для стандартизации сырьевой базы.

Объекты и методология исследования

Объектами исследования служили этанольные экстракты различных органов *L. barbarum* (листья, стебли), заготовленные в фазу массового цветения и плодоношения.

• **Дикорастущие образцы (D)** были собраны в условиях естественных ценопопуляций (Узбекистан, Сурхандарьинская область, Бойсунский район). Данный регион характеризуется солонцеватыми и каменистыми типами почв.

• **Культивируемые образцы (K)** получены с экспериментальных участков Ташкентского государственного аграрного университета (ТГАУ), где применялись стандартные приемы агротехники (калийные подкормки, регулируемый полив).

Определение элементного состава жидких экстрактов проводили **энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным методом** на спектрометре *Rigaku EDXRF* (Япония). Расчет концентраций элементов осуществляли методом фундаментальных параметров (FP-method). Аналитические измерения выполнялись в 5-кратной повторности (n=5). Результаты выражены в мкг/мл экстракта.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных данных выявил выраженную гетерогенность распределения минеральных компонентов в зависимости как от анатомического органа *L. barbarum*, так и от экологических условий его произрастания. Для оценки нутритивного потенциала таких экстрактов полученные концентрации эссенциальных веществ в суточной дозе соотносят с утвержденными верхними допустимыми уровнями потребления для человека [6]. Параллельно с определением полезных макроэлементов обязательным этапом контроля является установление количественных пределов токсичных тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg) и мышьяка (As) [7].

Элементный профиль вегетативных органов (листья и стебли). На основе спектрометрического анализа жидких экстрактов листьев и стеблей составлена сводная база данных их элементного статуса (Таблица 1).

Таблица 1. Содержание элементов (мкг/мл) в экстрактах листьев и стеблей *L. barbarum*

Элемент, мкг/мл	Листья дикораст.	Листья культ.	Стебли дикораст.	Стебли культ.
Хлор (Cl)	11069,0	8878,0	748,0	952,0
Алюминий (Al)	4930,4	4220,2	2182,0	3169,0
Калий (K)	5601,3	3316,6	602,0	2020,0
Сера (S)	906,1	906,0	н/о	н/о
Кальций (Ca)	н/о	621,0	н/о	н/о
Железо (Fe)	14,8	11,6	9,50	9,78
Марганец (Mn)	н/о	19,0	н/о	н/о
Бром (Br)	4,25	23,0	н/о	6,62
Цинк (Zn)	1,66	5,62	1,64	2,71
Медь (Cu)	6,75	7,38	н/о	н/о

Примечание: н/о - не обнаружено (ниже предела чувствительности метода).

Экстракты листьев характеризуются максимальной аккумуляцией галогенов и макроэлементов. Примечательно, что в листьях дикорастущих кустарников концентрация калия (5601,3 мкг/мл) и хлора (11069 мкг/мл) существенно превышает аналогичные показатели культурных форм, что отражает физиологическую адаптацию дикорастущей популяции к галофитным условиям естественного ценоза. Напротив, кальций (621 мкг/мл) и марганец (19 мкг/мл) в детектируемых количествах обнаружены исключительно в культивируемых листьях. Уровень эссенциального цинка (Zn) в культивируемом листовом сырье возрастает более чем в 3,3 раза (до 5,62 мкг/мл). Ниже на рисунках 1-2 приводятся диаграммы содержания элементов в стеблях и листьях дикорастущего и культивированного *Lycium Barbarum*.

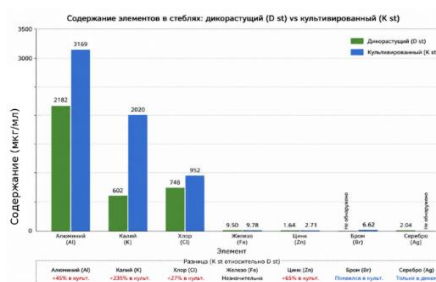


Рис.1 Содержание элементов в стеблях дикорастущего и культивируемого лициума

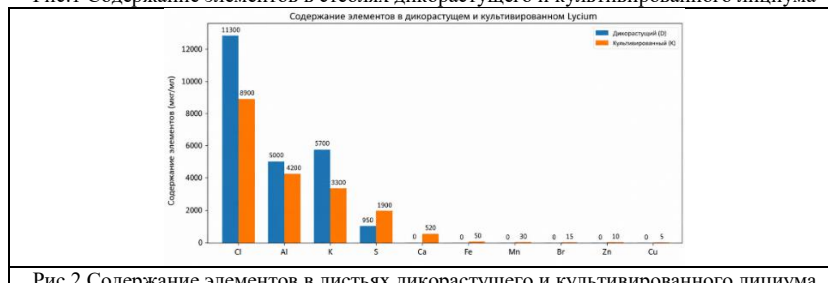


Рис.2 Содержание элементов в листьях дикорастущего и культивируемого лициума

При анализе стеблевой массы наиболее репрезентативный маркер интродукции зафиксирован по калию: его содержание в культивируемых стеблях (Kst) составляет 2020 мкг/мл, что в 3,35 раза выше по сравнению с дикорастущими образцами (602 мкг/мл). Это служит прямым следствием интенсификации поглощения элемента из оптимизированного почвенного субстрата, обогащенного калийными агрохимикатами. Также в интродуцированных стеблях отмечается рост концентраций алюминия на 45% (3169 мкг/мл) и цинка на 65% (2,71 мкг/мл). Дикорастущие стебли демонстрируют присутствие следовых количеств серебра (2,04 мкг/мл), полностью исчезающего при культивировании.

Оценка экологической чистоты сырья. Критически важным этапом стандартизации фитопрепаратов является подтверждение их экологической чистоты. Согласно полученным результатам, во всех исследуемых экстрактах вегетативных как дикорастущего, так и культурного происхождения, содержание тяжелых металлов и условно токсичных элементов - свинца (Pb), кадмия (Cd), ртути (Hg) и мышьяка (As) - находится ниже предела обнаружения прибора (ND). Это свидетельствует о соответствии сырья базовым гигиеническим нормативам, высокой экологической чистоте районов сбора (включая естественные ценозы Бойсуна) и валидности используемой технологической схемы экстракции. Оценка интенсивности этого процесса и расчет коэффициентов биологического поглощения требуют обязательного сопоставления с фоновыми показателями загрязнения грунта на плантациях [8]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) данных загрязнителей в сухом экстракционном сырье жестко регламентированы национальными стандартами качества [9]. Для фитопрепаратов и биологически активных добавок на основе Годжи содержание свинца не должно превышать 5,0-6,0 мг/кг, а кадмия - 1,0 мг/кг от общей массы сухого вещества. Соответствие полученных экспериментальных данных этим пороговым значениям позволяет официально подтвердить экологическую чистоту разрабатываемого средства и рекомендовать его для дальнейших биофармацевтических исследований [10].

Закключение. Проведенное аналитическое исследование подтвердило, что условия интродукции коренным образом преобразуют минеральный статус *Lycium barbarum* L. Искусственный агроценоз способствует формированию более плотного и стабильного макро- и микроэлементного профиля (преимущественно за счет контролируемого накопления K, Ca, P, Fe, Zn). Дикорастущие популяции, напротив, аккумулируют специфические наборы микроэлементов, что продиктовано механизмами выживания и адаптации к дефициту ресурсов и засолению почв в дикой природе. Отсутствие детектируемых количеств токсичных тяжелых металлов во всех образцах гарантирует безопасность применения экстрактов *L. barbarum* в фармацевтической и пищевой отраслях.

ЛИТЕРАТУРА

- Wetters S., Horn T., Nick P. Goji, checking a trend – Elemental profiling and authentication of *Lycium barbarum* and *Lycium chinense* using ICP-MS // *Food Chemistry*. - 2018. - Vol. 239. - P. 344–352.
- Nomura, C. S., & Santos, A. S. (2018). Elemental Analysis of Goji Berries Using Axially and Radially Viewed Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry. *Spectroscopy*, 33(10), 38–43.
- Халимова, Ф. Т. (2022). Ягоды годжи в профилактике и лечении компонентов метаболического синдрома. *Звезда востока*, (4), 112–118.
- Niro S. et al. Nutritional evaluation of Goji berries (*Lycium barbarum* L.) from different geographical origins // *Journal of Food Composition and Analysis*. - 2022. - Vol. 107. - P. 104375.
- Боков, Д. О., Самылина, И. А., & Барагунова, Е. А. (2019). Влияние факторов интродукции и агротехнических приемов на накопление биологически активных веществ и минеральный профиль лекарственных растений. *Фармация*, 68(4), 15–22.
- СанПиН РУз № 0366-19 «Санитарно-гигиенические требования к безопасности пищевой продукции». - Ташкент, 2019.
- WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. - Geneva: World Health Organization, 2007. - 105 p.
- СанПиН РУз № 0191-05 «Санитарно предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) экзогенных вредных веществ в почве». - Ташкент, 2005.
- Государственная Фармакопея Республики Узбекистан (ГФ РУз). Том 1. - Ташкент: Министерство здравоохранения РУз, 2021. - Определение тяжелых металлов в ЛРС.
- European Pharmacopoeia (Ph. Eur. 11th Edition). - Strasbourg: Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare of the Council of Europe, 2023. - Chapter