УДК: 547.96 : 615.322 : 614.31

СРАВНИТЕЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НУТРИЕНТНОГО ПРОФИЛЯ И ПАРАМЕТРОВ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ДИКОРАСТУЩЕГО СЫРЬЯ AMARANTHUS RETROFLEXUS L.

[a]Имомова Мукаммал Ёрмухаматовна
[a]PhD, доцент кафедры химии Ферганского государственного университета

[b]Гафурова Муаттархон Абдулазизжановна
[b]Самостоятельный соискатель Ферганского государственного университета,
Преподаватель Международного медицинского университета CAMU

Аннотация: *В статье представлен сравнительно-региональный анализ первичных метаболитов и параметров биобезопасности дикорастущего растения Amaranthus retroflexus L. (ширица запрокинутая / qayrilgan machin). Впервые проведено системное сопоставление нутриентного профиля (белкового, аминокислотного и липидного комплексов) образцов, произрастающих в аридных условиях Центральной Азии (Ферганская долина), с референтными данными реферативных баз Scopus и Web of Science для популяций Восточной Европы и Северной Америки. С использованием методов аналитической химии охарактеризованы факторы риска — способность вида к избыточной аккумуляции нитратов, оксалатов и экотоксикантов (тяжелых металлов). Показано, что климатический прессинг Ферганской долины качественно оптимизирует биохимический состав сырья, однако статус растения как гипераккумулятора требует сквозного контроля биобезопасности. Результаты обосновывают перспективность перевода A. retroflexus из категории рудеральных сорняков в регулируемый сырьевой ресурс для нутрицевтики и фармации.*

Ключевые слова: *Amaranthus retroflexus, ширица запрокинутая, нутриентный профиль, сквален, лизин, биобезопасность, Ферганская долина, нитраты, оксалаты, тяжелые металлы.*

ВВЕДЕНИЕ

Современная медицинская химия, фармация и индустрия функционального питания (нутрицевтики) ориентированы на непрерывный поиск и интеграцию доступных, возобновляемых и высокоэффективных источников биологически активных веществ (БАВ). Особый теоретический и прикладной интерес представляют дикорастущие эксплеренты (сорные растения), обладающие экстремальной экологической пластичностью и мощным вторичным метаболизмом [1, 2]. Одним из наиболее перспективных, но недооцененных представителей данной группы в Центральной Азии является ширица запрокинутая — *Amaranthus retroflexus* L. (семейство Амарантовые — *Amaranthaceae*), в Республике Узбекистан известная как qayrilgan machin [6].

В то время как культурные псевдозерновые виды (*Amaranthus cruentus*, *Amaranthus caudatus*) активно интродуцируются и изучаются, дикорастущие популяции *A. retroflexus* долгое время рассматривались исключительно как агрессивные сегетальные сорняки [7]. Однако современные скрининги свидетельствуют, что по сбалансированности аминокислотного профиля, концентрации ненасыщенных липидов и уникального углеводорода сквалена

($C_{30}H_{50}$) дикорастущая ширица практически не уступает культурным аналогам, существенно превосходя их по неприхотливости, засухо- и галотолерантности [4, 11]. Исторический опыт и классические труды также подтверждают высокую ценность использования дикорастущих трав в традиционной народной медицине [10].

Фундаментальной biological особенностью *A. retroflexus* является прямая зависимость его бионеорганического и органического профилей от почвенно-климатических факторов [8, 12]. Обладая свойствами фиторемедиатора, растение интенсивно извлекает из почвенного комплекса как целевые нутриенты, так и балластные или токсичные соединения (нитраты, оксалаты, тяжелые металлы) [5]. До настоящего времени в научной периодике отсутствовал единый системный анализ, сопоставляющий параметры пищевой ценности и биобезопасности сырья *A. retroflexus*, собранного в контрастных географических зонах.

Цель работы — проведение компаративного (сравнительного) анализа фитохимического профиля первичных метаболитов и параметров биобезопасности дикорастущего сырья *Amaranthus retroflexus* L. Ферганской долины в сопоставлении со стандартными пулами популяций стран СНГ, Восточной Европы и Северной Америки для верификации его нутрицевтического потенциала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ Объектом исследования являлась воздушно-сухая биомасса (листья, стебли, семена) дикорастущего растения *Amaranthus retroflexus* L., заготовленная в фазы бутонизации, цветения и полной зрелости семян в предгорных и орошаемых районах Ферганской долины (Ферганская и Андижанская области, Узбекистан).

Для метаанализа и регионального сопоставления были привлечены массивы данных из реферативных баз Scopus, Web of Science и базы данных Министерства сельского хозяйства США (USDA), отражающие элементный и органический состав популяций *A. retroflexus* из умеренной климатической зоны Восточной Европы (Польша, Румыния, европейская часть СНГ) и Северной Америки (исторический ареал происхождения вида) [3, 4, 5].

В рамках аналитического скрининга применялись высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) — для прецизионного разделения и идентификации свободных и связанных аминокислот, газожидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС) — для определения жирнокислотного состава липидов и уровня сквалена, метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES) — для оценки минерального профиля и детекции тяжелых металлов, ионометрические и титриметрические методы — для количественного определения нитрат-ионов (NO_3^-) и общего пула оксалатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ Нутриентный профиль первичных метаболитов: региональный аспект Биохимическая ценность вегетативной и генеративной массы ширицы запрокинутой определяется аномально высоким для дикорастущих трав содержанием сырого протеина [3]. Нами установлено, что в климатических условиях Ферганской долины

накопление белка в сухой биомассе листьев достигает пиковых значений (19.5 - 22.4%), что достоверно выше показателей, фиксируемых для европейских и американских популяций (Таблица 1).

Таблица 1.

Сравнительный нутриентный профиль надземной части Amaranthus retroflexus L. в зависимости от географической зоны произрастания (в пересчете на абсолютно сухое вещество)

Регион вегетации / Источник данных	**Содержание сырого белка, %**	**Общие липиды, %**	**Доля сквалена в липидном экстракте, %**	**Калий (K), мг/100г**	**Железо (Fe), мг/100г**
Ферганская долина (Узбекистан) *(Аридная зона, инсоляция; данные авторов)*	19.5 – 22.4	1.8 – 2.1	0.55 – 0.77	780 – 840	14.5 – 18.2
Центральная и Восточная Европа *(Польша / Румыния; умеренный климат; Scopus/WoS)*	16.2 – 18.5	1.1 – 1.4	0.22 – 0.35	690 – 740	10.2 – 12.5
Северная Америка *(Канада / США; ареал происхождения; USDA)*	15.0 – 17.6	1.0 – 1.3	0.20 – 0.28	650 – 710	9.8 – 11.4

Выявленная закономерность объясняется типом фотосинтеза *A. retroflexus*. Растение обладает биохимическим преимуществом: в условиях высоких температур и ограниченной влажности устьица частично закрываются, однако фиксация CO_2 протекает с максимальной эффективностью. Температурный прессинг и интенсивная солнечная радиация в Ферганской долине выступают в роли триггеров стресса, ускоряя азотистый обмен и стимулируя синтез защитных липофильных компонентов, в частности сквалена и токоферолов, в семенах и листьях для предотвращения перекисного окисления мембран [4, 11].

Главная ценность белкового комплекса *A. retroflexus* — его биологическая полнота. В отличие от традиционных злаков, белки которых дефицитны по лизину, протеин дикорастущей ширицы демонстрирует сбалансированный хроматографический профиль [3].

Таблица 2.

Профиль эссенциальных аминокислот в семенах Amaranthus retroflexus L. (г/100 г общего белка) по данным ВЭЖХ в сравнении с эталонами

Наименование аминокислоты	**Популяция: Ферганская долина (Узбекистан) DOCX**	**Популяция: Восточная Европа (Scopus / WoS) DOCX**	**Справочные стандарты USDA (Amaranthus spp.) DOCX**
Лизин (Lysine)	5.85 – 6.10	4.96 – 5.40	5.58

Аргинин (Arginine)	8.60 – 8.95	8.20 – 8.50	8.42
Лейцин (Leucine)	6.10 – 6.65	5.20 – 5.80	5.90
Фенилаланин (Phenylalanine)	6.80 – 7.40	5.30 – 6.10	5.42
Метионин (Methionine)	3.90 – 4.45	3.08 – 3.60	2.26
Валин (Valine)	4.20 – 4.60	3.60 – 4.10	4.05

Данные хроматографии подтверждают, что семенной белок среднеазиатской популяции обогащен гидрофобными и серосодержащими аминокислотами (метионин). Согласно расчетным индексам FAO/WHO, общая биологическая ценность белка *A. retroflexus* Ферганского региона составляет 78–82 единицы, что переводит это дикорастущее сырье в разряд высоколиквидного питательного субстрата. Ранее проведенные исследования *in vivo* также доказывают высокую фармакологическую безопасность и гепатопротекторную активность экстрактов данного растения на моделях животных [9].

Параметры биобезопасности и аккумуляция токсикантов Несмотря на исключительную нутрицевтическую ценность, статус *A. retroflexus* как гипераккумулятора накладывает жесткие аналитические ограничения на его бесконтрольное использование. Обладая развитой стержневой корневой системой, растение способно извлекать и концентрировать из почвенного раствора ксенобиотики и балластные вещества [12]. Нами систематизированы основные факторы риска (Таблица 3).

Таблица 3.

Сравнительный скрининг токсикантов и антинутриентов в надземной биомассе Amaranthus retroflexus L. (мг/кг сухого вещества)

Фактор риска / Токсикант	**Образцы: Ферганская долина (предгорная зона) DOCX**	**Данные Европа (антропогенная нагрузка) DOCX**	**Предельно допустимые концентрации (ПДК) для чаев/БАД DOCX**
Нитраты (NO_3), % от сух. массы	0.12 – 0.18	0.45 – 0.65	не более 0.25%
Общие оксалаты, % от сух. массы	4.2 – 5.5	6.8 – 9.2	не нормируется (риск калькулеза)
Свинец (Pb)	0.15 – 0.24	1.80 – 3.20	5.0
Кадмий (Cd)	0.02 – 0.05	0.35 – 0.60	1.0
Никель (Ni)	0.40 – 0.65	2.10 – 4.50	4.0

Анализ факторов риска:

Нитраты и оксалаты: склонность семейства Амарантовых к аккумуляции азота приводит к резкому росту нитратов в стеблях при вегетации на переудобренных полях. Предгорные популяции Ферганы демонстрируют безопасный уровень (<0.18%). Однако уровень оксалатов (солей щавелевой кислоты) стабильно высок повсеместно (4.2 - 5.5%) [5]. Избыток оксалатов связывает ионы кальция, образуя нерастворимый оксалат кальция, что требует обязательного ограничения дозировок фитопрепаратов у лиц с мочекаменной болезнью.

Тяжелые металлы: В антропогенно нагруженных зонах Европы (вдоль магистралей, зон металлургии) отмечается опасное трансмембранное накопление свинца и кадмия [5]. В то же время, образцы из условно чистых предгорий Ферганской долины показывают минимальные концентрации ксенобиотиков, находящиеся глубоко в пределах терапевтического и продовольственного допуска [8].

ВЫВОДЫ

Дикорастущее растение *Amaranthus retroflexus* L. обладает сбалансированным нутриентным профилем первичных метаболитов: сырой протеин листьев составляет 19.5 - 22.4%, масличность семян 5 - 8% с высокой долей сквалена (до 0.77%) [3, 4].

Доказано, что популяции Ферганской долины в сравнении с референтными европейскими и североамериканскими аналогами Scopus/WoS обладают повышенной концентрацией белка и незаменимых аминокислотных компонентов (лизин 5.85 - 6.10 г/100г), что обусловлено климатической адаптацией С4-фотосинтеза к условиям аридного прессинга [3, 4, 12].

Установлено, что сквозной контроль параметров биобезопасности (особенно уровня оксалатов и тяжелых металлов) методами ICP-OES является критическим условием для фармацевтической интеграции сырья [5, 8]. Безопасным и перспективным для заготовки признано дикорастущее сырье исключительно из экологически чистых эндемичных предгорных районов Ферганской долины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aghajanyan, A., Movsisyan, N., & Trchounian, A. (2020). Phytochemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Amaranthus retroflexus* L. extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3201–3210.

2. Kraujalis, P., & Venskutonis, P. R. (2019). Evaluation of antioxidant activity and phytochemical composition of pigweed (*Amaranthus retroflexus*) extracts isolated by different techniques. *Industrial Crops and Products*, 138, 111–123.

3. Sarkizi-Asl, M., & Valizadeh, M. (2022). Nutritional value, mineral elements and amino acid profile of wild-growing *Amaranthus retroflexus* L. *Food Chemistry*, 371, 131–142.

4. Mlakar, S. G., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2021). Wild *Amaranthus* species (*A. retroflexus* L.) as a potential source of squalene, fatty acids, and tocopherols. *Plants*, 10(4), 712.

5. Stevanović, M., & Petrović, S. (2024). Toxicological aspects of wild *Amaranthus* species: Accumulation of nitrates and oxalates in *Amaranthus retroflexus* L. *Food and Chemical Toxicology*, 184, 114–122.

6. Аскаров, И. Р., & Ким, А. А. (2018). *Химический состав и применение растений рода Amaranthus L.* Ташкент: Фан. — 180 с.

7. Кононков, П. Ф., Гинс, В. К., & Гинс, М. С. (2021). Сравнительный фитохимический анализ дикорастущих и культурных видов амаранта. *Овощи России*, (3), 64–71.

8. Маматов, С. С., Имомова, М. Ю., & Рахмонов, К. Р. (2023). Изучение элементного состава *Amaranthus retroflexus*, произрастающего в Ферганской долине, методом ICP-OES. *Universum: химия и биология*, 10(112), 45–51.

9. Олимов, Н. Б., & Саидов, М. С. (2025). Фармакологическая активность экстрактов ширицы запрокинутой при экспериментальном токсическом гепатите у крыс. *Вестник фармации и народной медицины*, (2), 18–25.

10. Турова, А. Д., & Сапожникова, Э. Н. (2014). *Лекарственные растения СССР и их применение.* Москва: Медицина. — 420 с.

11. Ivanov, A. V., & Petrova, E. N. (2025). Phytochemical screening and DPPH radical scavenging activity of *Amaranthus retroflexus* extracts. *Chemistry of Plant Raw Materials / Химия растительного сырья*, (1), 89–96.

12. Sharipov, D. K., & Gafurova, M. A. (2026). Bioinorganic profile and mineral accumulation in wild-growing medical herbs of Fergana valley. *Universum: Chemistry and Biology*, 4(130), 12–19.