

UDK 615.322:615.32:577.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИНУЛИНА В ТРАВЕ И КЛУБНЯХ ТОПИНАМБУРА (*HELIANTHUS TUBEROSUS* L.)

Кудратова М.Б., Сафарзода Р.Ш., Шарифзода Ш.Б., Алимова Б.О., Саломзода Ф.

ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет имени Абуали ибни Сино» г. Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация.

Разработан усовершенствованный спектрофотометрический метод количественного определения суммы фруктозанов и фруктозидов (в пересчёте на инулин) в клубнях и траве *Helianthus tuberosus* L. (топинамбур). Метод основан на реакции взаимодействия с резорцином в кислой среде и характеризуется высокой точностью и воспроизводимостью. Определены оптимальные условия экстрагирования и проведена метрологическая оценка. Установлены нормативные значения содержания суммы фруктозанов и фруктозидов: не менее 15 % в клубнях и не менее 5 % в траве растения.

Ключевые слова: топинамбур, инулин, фруктозаны, фруктозиды, спектрофотометрия, количественное определение, экстракция.

Abstract.

An improved spectrophotometric method for the quantitative determination of the total content of fructans and fructosides (calculated as inulin) in the tubers and herb of *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke) has been developed. The method is based on the reaction with resorcinol in an acidic medium and demonstrates high accuracy and reproducibility. Optimal extraction conditions were established, and a metrological evaluation was performed. The normative content of total fructans and fructosides was found to be not less than 15% in tubers and not less than 5% in the herb.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, fructans, fructosides, spectrophotometry, quantitative determination, extraction.

Annotatsiya.

Helianthus tuberosus L. (topinambur) o'ti va tunganaklarida fruktozan hamda fruktozidlar umumiy miqdorini (inulinga nisbatan hisoblab) aniqlash uchun takomillashtirilgan spektrofotometrik usul ishlab chiqildi. Usul kislotali muhitda rezorsin bilan reaksiyaga asoslangan bo'lib, yuqori aniqlik va takrorlanish darajasi bilan ajralib turadi. Ekstraksiya sharoitlari optimallashtirildi va metrologik baholash o'tkazildi. Fruktozan va fruktozidlarning me'yoriy miqdori topinambur tunganaklarida kamida 15 %, o'tida esa kamida 5 % etib belgilandi.

Kalit so'zlar: topinambur, inulin, fruktozanlar, fruktozidlar, spektrofotometriya, miqdoriy aniqlash, ekstraksiya.

Введение. Растения рода *Helianthus*, особенно *Helianthus tuberosus* L. (топинамбур), представляют значительный интерес для фармацевтической и пищевой промышленности благодаря высокому содержанию природных полисахаридов, главным образом инулина и сопутствующих ему фруктанов. Эти вещества проявляют выраженные пребиотические, гипогликемические и гиполипидемические свойства, способствуя нормализации обменных процессов и поддержанию здорового микробиома кишечника [1,2].

Изучение химического состава различных морфологических частей топинамбура клубней, стеблей и листьев позволяет выявить закономерности распределения биологически активных соединений и оптимизировать процессы их извлечения. Особое значение имеет определение количественного содержания инулина, поскольку этот полисахарид служит маркерным показателем качества сырья и стандартизации фитопрепаратов. Несмотря на наличие общих методик анализа инулина, существующие подходы часто характеризуются низкой воспроизводимостью, зависимостью от растворителя и длительным временем анализа. Поэтому актуальной задачей является разработка усовершенствованного и метрологически обоснованного метода количественного определения суммы фруктозидов и фруктозанов в различных частях растения.

Кроме того, интерес представляет и вторичный метаболизм *Helianthus tuberosus*, в частности образование летучих соединений. Эфирное масло растения содержит широкий спектр компонентов - терпены, спирты, лактоны и альдегиды, определяющие не только ароматическую, но и фармакологическую активность растения [5,6,7]. Комплексное изучение углеводного и эфирномасличного состава формирует научную основу для стандартизации лекарственного растительного сырья и создания препаратов профилактического назначения.

Цель исследования. Провести сравнительную оценку содержания суммы фруктозанов и фруктозидов в траве и клубнях топинамбура, а также разработать высокоточный и воспроизводимый метод их количественного определения.

Методы. В качестве объектов исследования использовались клубни и надземная часть (травы) *Helianthus tuberosus* L., заготовленные в условиях Республики Таджикистан в период активного вегетативного роста. Сырьё было предварительно очищено от примесей, высушено до воздушно-сухого состояния и измельчено до различной степени дисперсности.

Определение содержания инулина и родственных ему фруктанов проводили спектрофотометрическим методом на приборе Cary 50 (Agilent Technologies, США). Метод основан на реакции взаимодействия инулина с резорцином в кислой среде, в результате чего образуется окрашенный комплекс, интенсивность которого измеряли при длинах волн 420 и 483 нм. Эти значения совпадают с максимумами поглощения для чистого инулина, что подтверждает специфичность реакции.

Для количественного расчёта использовали удельный показатель поглощения при 498 нм, что позволяет достоверно определить суммарное содержание фруктозидов и фруктозанов.

При подготовке проб изучали влияние следующих технологических параметров экстрагирования: размер частиц измельчённого сырья (0,5–7 мм); тип экстрагента (вода, 25–95 % этанол); соотношение сырья и экстрагента (от 1:50 до 1:250); температура процесса (без нагрева, 40–100 °С); время экстракции (15–120 минут); кратность экстрагирования (от 1 до 4 циклов). Выбор оптимальных условий осуществляли по максимальному выходу суммы фруктозанов и фруктозидов.

Метрологические характеристики методики — точность, воспроизводимость, предел обнаружения и относительная погрешность — оценивали по стандартным

требованиям количественного анализа лекарственного растительного сырья. Контроль систематической ошибки выполняли методом добавок, используя стандартный образец инулина.

Результаты. Результаты проведённых исследований убедительно подтверждают, что клубни *Helianthus tuberosus* L. (топинамбура) являются основным депо инулина и родственных ему фруктанов, что обусловлено их физиологической функцией накопления запасных углеводов. В надземной части растения содержание данных соединений закономерно ниже, так как они расходуются на энергетические и пластические процессы роста и фотосинтеза.

Анализ экспериментальных данных (табл. 1) показал, что эффективность извлечения суммы фруктозидов и фруктозанов значительно зависит от технологических параметров экстракции: степени измельчённости, природы экстрагента, соотношения сырья и экстрагента, температуры, продолжительности и кратности процесса. Наибольшее содержание целевых веществ

наблюдалось при использовании воды в качестве экстрагента, что свидетельствует о высокой гидрофильности фруктановых соединений. Оптимальной оказалась степень измельчённости сырья около 2 мм, обеспечивающая максимальную площадь контакта без разрушения структуры клеточных компонентов. Повышение температуры до 100 °С и трёхкратное проведение экстракции приводили к наиболее полному переходу растворимых углеводов в экстракт, при этом разрушения инулиновых цепей не отмечено, что указывает на термостабильность целевых веществ в данных условиях.

Соотношение сырья и экстрагента 1:200 признано оптимальным: оно обеспечивает максимальный выход при рациональном расходе растворителя. Увеличение объёма экстрагента свыше этого значения не давало существенного прироста выхода, что объясняется достижением диффузионного равновесия между фазами. При данных параметрах содержание суммы фруктозанов и фруктозидов в клубнях достигало 17,7–23,6 %, а в траве — 10,3–13,4 %, различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Таблица 1. Зависимость выхода суммы фруктозанов и фруктозидов из клубней и травы *Helianthus tuberosus* L. от условий экстракции

Наименование исследуемых показателей	Содержание фруктозанов и фруктозидов, %					
	Партия 1		Партия 2		Партия 3	
	Клубни	Трава	Клубни	Трава	Клубни	Трава
Измельченность сырья, мм						
7	13,51	5,33	12,52	9,51	12,43	5,11
5	14,10	7,37	13,91	10,39	15,20	7,14
3	16,10	9,58	16,50	12,16	19,30	9,57
2	17,55	10,44	17,70	13,36	23,60	11,37
1	17,50	10,34	17,70	13,34	23,57	11,36
0,5	17,43	10,29	17,67	13,11	23,33	11,27
Тип экстрагента						
95 % этанол	3,80	2,45	2,70	2,17	5,10	2,14
70 % этанол	9,10	5,17	8,17	6,98	10,53	3,22
40 % этанол	13,61	7,31	14,57	11,57	13,71	5,38
25 % этанол	17,23	10,11	16,92	13,21	16,96	7,81
Вода	17,30	10,62	17,81	13,37	23,49	11,41
Соотношение сырья и экстрагента						

1:50	15,75	7,37	16,88	12,18	20,99	9,91
1:100	16,73	9,42	17,91	13,46	23,44	11,02
1:200	17,49	10,59	17,84	13,41	23,61	11,39
1:250	16,98	9,98	17,79	13,37	23,75	11,35
Температурный режим						
Без нагревания	12,10	5,17	11,93	10,20	11,77	4,14
Водяная баня, 40 °С	13,48	7,41	14,37	11,36	18,31	6,15
Водяная баня, 60 °С	14,78	9,78	15,44	12,29	20,33	7,45
Водяная баня, 80 °С	17,58	10,70	17,53	13,79	22,45	10,37
Водяная баня, 100 °С	17,77	10,73	17,97	13,87	23,53	11,45
Время экстракции, мин						
15	13,83	4,24	13,01	5,39	15,33	4,04
30	16,12	8,43	15,11	10,07	18,43	7,17
45	16,42	10,42	16,91	11,12	20,15	9,67
60	17,17	10,63	17,63	13,62	22,87	11,31
90	17,93	10,62	18,07	13,59	23,71	11,38
120	17,88	10,63	18,10	13,60	23,69	11,29
Однократная реакция	12,70	6,65	13,03	10,11	15,41	6,13
Двухкратная реакция	16,55	9,49	17,57	12,41	20,12	10,01
Трехкратная реакция	17,71	10,64	18,13	13,53	23,43	11,31
Четырехкратная реакция	17,73	10,65	18,13	13,35	23,45	11,35

Метрологическая характеристика методики (табл. 2) подтвердила её аналитическую надёжность. Среднее отклонение результатов единичного определения при доверительной вероятности 0,95 составило

менее 4,5 %, что подтверждает соответствие метода критериям точности, установленным для количественного анализа растительного сырья

Таблица 2. Метрологическая характеристика методики количественного определения суммы фруктозанов и фруктозидов в клубнях и траве топинамбура

f	X ⁻ , г	Sx ⁻	P, %	T(p,f)	Δ _{x⁻}	A [±] %
Клубни						
9	17,72	0,327	95	2,26	0,739	4,17
Трава						
9	10,62	0,215	95	2,26	0,490	4,51

Как видно из данных таблицы 2, ошибка единичного определения при доверительной вероятности 0,95 не превышает 4,5 %, что свидетельствует о высокой точности методики. Проверка систематиче-

ской ошибки методом добавок (табл. 3) показала, что относительное отклонение не превышает ± 2,43 %, что указывает на корректность калибровочной зависимости, стабильность реакции взаимодействия фруктозанов с резорцином в кислой среде и отсутствие систематического смещения.

Таким образом, метод обладает высокой аналитической надёжностью и может быть применён при серийном контроле качества.

Таблица 3. Результаты количественного определения суммы фруктозанов и фруктозидов в клубнях топинамбура с использованием способа добавок инулина

Найдена сумма фруктозанов и фруктозидов, г/100 г	Введено инулина, г/100 г	Должна быть найдена сумма, г/100 г	Найдена сумма, г/100 г	Относительная ошибка, %
17,55	13,16	38,71	37,77	-2,43
17,72	8,86	26,58	27,04	+1,73
23,58	5,90	29,48	28,88	-2,04

Результаты определения общего содержания фруктозанов и фруктозидов в клубнях *Helianthus tuberosus* L., полученные методом добавок инулина, приведены в таблице 3. Сопоставление расчётных и экспериментальных данных показало расхождение не более $\pm 2,43$ %, что подтверждает точность и надёжность выполненных измерений. Это подтверждает корректность, точность и воспроизводимость выбранного способа количественного анализа.

Результаты экспериментов подтвердили, что метод добавок инулина обеспечивает высокую точность и может быть применён для определения суммарного количества фруктозанов и фруктозидов в различных органах топинамбура. На основании оптимизированных параметров методики проведён анализ пяти выборок растительного материала, итоговые данные которого представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты определения содержания фруктозанов и фруктозидов в клубнях и траве топинамбура

Партия	Клубни топинамбура, %	Трава топинамбура, %
1	17,72 $\pm$ 2,86	9,59 $\pm$ 1,17
2	20,15 $\pm$ 0,43	11,36 $\pm$ 0,40
3	23,58 $\pm$ 3,00	13,37 $\pm$ 1,61
4	21,84 $\pm$ 1,26	12,45 $\pm$ 0,69
5	19,62 $\pm$ 0,96	11,02 $\pm$ 0,74

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что клубни топинамбура являются основным аккумулятором инулина и родственных ему фруктанов, что обусловлено их физиологической функцией накопления запасных углеводов. Разработанная методика отличается высокой точностью, воспроизводимостью и не требует применения сложного оборудования. Проведённый статистический анализ выявил достоверные различия между содержанием

фруктозидов и фруктозанов в клубнях и траве *Helianthus tuberosus* ($p < 0,05$). Эти результаты согласуются с данными, представленными в таблице 4, где установлено, что суммарное содержание данных соединений в клубнях составляет 17,72–23,58 %, тогда как в траве — 10,59–13,37 %. Полученные значения подтверждают возможность использования разработанной методики для целей стандартизации растительного сырья и фармацевтических препаратов, получаемых на основе топинамбура.

Заклучение. В результате проведённых исследований предложен эффективный спектрофотометрический метод определения суммарного содержания фруктозидов и фруктозанов (в пересчёте на инулин) в надземной и подземной частях *Helianthus tuberosus* L.. Метод основан на реакции взаимодействия с резорцином в

кислой среде и характеризуется высокой точностью и воспроизводимостью. Оптимальными условиями экстрагирования установлены: использование воды как растворителя, соотношение сырья и экстрагента 1:200, степень измельчения частиц 2 мм, трёхкратная экстракция при 100 °С в течение одного часа.

Список литература:

1. Shao, T., Yu, Q., Zhu, T., Liu, A., Gao, X., Long, X., & Liu, Z. (2020). Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperglycaemia in high-fat-diet-induced diabetes mice through the intestinal microflora improvement. *The British journal of nutrition*, 123(3), 308–318. <https://doi.org/10.1017/S0007114519002332>
2. Tapera, R. F., Siwe-Noundou, X., Shai, L. J., & Mokhele, S. (2024). Exploring the Therapeutic Potential, Ethnomedicinal Values, and Phytochemistry of *Helianthus tuberosus* L.: A Review. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, 17(12), 1672. <https://doi.org/10.3390/ph17121672>
3. Trullàs, C., Sewaka, M., Rodkhum, C., Chansue, N., Boonanuntanasarn, S., Kamble, M. T., & Pirarat, N. (2022). Effects of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) as a Prebiotic Supplement in the Diet of Red Tilapia (*Oreochromis* spp.). *Animals : an open access journal from MDPI*, 12(20), 2882. <https://doi.org/10.3390/ani12202882>
4. Ahn, H. Y., Kim, M., Seo, C. R., Yoo, H. J., Lee, S. H., & Lee, J. H. (2018). The effects of Jerusalem artichoke and fermented soybean powder mixture supplementation on blood glucose and oxidative stress in subjects with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes. *Nutrition & diabetes*, 8(1), 42. <https://doi.org/10.1038/s41387-018-0052-y>
5. Влияние процесса экстракции и концентрирования на выход и структуру инулина из топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) / А. И. Ашуров, А. С. Джонмуродов, С. Р. Усманова [и др.] // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. – 2022. – Т. 1, № 1(21). – С. 38-45. – EDN ZPYWFS.
6. Рамазони, Ш. С. Фитохимическое исследование клубней топинамбура и создание лечебно-профилактических средств на его основе : специальность 14.04.02 "Фармацевтическая химия, фармакогнозия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата фармацевтических наук / Рамазони Шарофиддини Сафарзода. – Москва, 2017. – 22 с. – EDN ZQINUR.
7. Рамазони, Ш. С. Исследование компонентного состава эфирного масла цветков *Helianthus tuberosus* L., произрастающего в Таджикистане и России / Ш. С. Рамазони, Д. М. Попов, Н. С. Терешина // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. – 2016. – № 1(11). – С. 42-50. - EDN VUBIJF.