

Экспериментально-аналитическое исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура

Ольга И. Коннова¹ okonnova88@gmail.com  0000-0002-2146-5443
Юрий А. Максименко¹ amxs1@yandex.ru  0000-0001-7973-1903

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Значительное место в номенклатуре функциональных продуктов питания занимает пищевая продукция, содержащая инулин, который во всем мире используется как пищевой продукт диетического и диабетического питания, пребиотик, структуро- и вкусообразователь. Клубни топинамбура являются сырьем для получения инулина. В статье рассматривается использование ультразвукового излучения в качестве эффективного метода для ускорения процесса извлечения инулина из клубней топинамбура и повышения его выхода. Данный подход к процессу экстрагирования дает возможность не только уменьшить продолжительность технологической операции, но и заметно увеличить удельный выход целевых компонентов. Рекомендовано техническое исполнение экстрактора с использованием ультразвукового излучения и разработан рациональный режим его эксплуатации. В результате математической обработки результатов экспериментов получены аппроксимирующие зависимости удельной производительности от влияющих параметров, выполнен анализ и построены поля значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина. Для реализации в промышленности предлагается следующий вариант выполнения стадии экстракции: формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой в соотношении гидромодуля мезга:вода от 1:4 до 1:8, экстрагирование проводить в течение 20-60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² на экстракционную смесь массой 2,5 - 13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15-30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20..30 объемов/час при температуре смеси 313 – 353 К при этом удельная производительность составит 4,708 – 14,566 кг/(м³·ч).

Ключевые слова: клубни топинамбура, инулин, ультразвуковая экстракция, механическое перемешивание, циркуляционное перемешивание, процесс экстракции.

Experimental-analytical study of the process of ultrasonic extraction of inulin from jerusalem tubers

Olga I. Konnova¹ okonnova88@gmail.com  0000-0002-2146-5443
Yuriy A. Maksimenko¹ amxs1@yandex.ru  0000-0001-7973-1903

¹ Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. Significant place in the range of functional foods occupied by food products containing inulin, which is used all over the world as a food product for dietary and diabetic nutrition, a prebiotic, a structure- and flavor-forming agent. Jerusalem artichoke tubers are the raw material for the production of inulin. The article discusses the use of ultrasonic radiation as an effective method for accelerating the process of extracting inulin from Jerusalem artichoke tubers and increasing its yield. This approach to the extraction process makes it possible not only to reduce the duration of the technological operation, but also to significantly increase the specific yield of the target components. The technical design of the extractor using ultrasonic radiation has been recommended and a rational mode of its operation has been developed. As a result of mathematical processing of the experimental results, approximating dependences of the specific productivity on the influencing parameters were obtained, an analysis was performed and fields of values of the specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin were constructed. For implementation in industry, the following option for performing the extraction stage is proposed: the formation of an extraction mixture by mixing the pulp with water in the pulp:water hydromodulus ratio from 1:4 to 1:8, the extraction is carried out for 20-60 minutes using ultrasonic influence with a frequency of 22 kHz and intensity of 50 W/cm² per extraction mixture weighing 2.5 - 13.5 kg with mechanical stirring of the extraction mixture at a speed of 15-30 rpm and its circulation stirring with a circulation rate of 20..30 volumes/hour at a mixture temperature of 313 - 353 K. In this case, the specific productivity will be 4.708 – 14.566 kg/(m³ h).

Keywords: jerusalem artichoke tubers, inulin, ultrasonic extraction, mechanical mixing, circulation mixing, extraction process.

Введение

В настоящее время в России селекционированы высокопродуктивные сорта топинамбура с различным содержанием инулина и объем его выращивания в ряде регионов увеличивается, но следует признать, что отсутствуют научно-обоснованные промышленные технологии комплексной переработки топинамбура, в частности, его клубней с получением инулина,

что очевидно является сдерживающим фактором развития производств и вывода на внутренний и внешние рынки отечественного инулина и другой пищевой продукции.

Ультразвуковая экстракция позволяет интенсифицировать массообменные процессы, увеличивать выход получаемых продуктов и повышать их качественные показатели, что отмечено в многочисленных научно-исследовательских работах [1–9].

Для цитирования

Коннова О.И., Максименко Ю.А. Экспериментально-аналитическое исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 102–108. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-102-108

For citation

Konnova O.I., Maksimenko Yu.A. Experimental-analytical study of the process of ultrasonic extraction of inulin from jerusalem tubers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 102–108. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-102-108

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Цель работы – исследование процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура, анализ зависимости удельной производительности от влияющих параметров и определение рациональных режимов процесса ультразвуковой экстракции инулина.

Материалы и методы

При исследовании процессов экстракции инулина в качестве сырья использовались клубни топинамбура сорта «Интерес», характеризующиеся высокой урожайностью, средним содержанием сухих веществ 0,22 кг/кг и содержанием инулина 0,154 кг/кг, что установлено в ходе исследований. Клубни топинамбура были выращены в Астраханской области в Камызякском районе.

В соответствии с предложенным способом получения инулина и рядом рекомендаций [9–11], клубни топинамбура определенной массы измельчали до размера частиц 1–5 мм для получения мезги, перед экстрагированием проводили бланширование мезги при температуре 70 ± 2 °С в течение 15 мин, формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой осуществлялось в соотношении гидро модуля сырье (мезга): вода от 1:4 до 1:8.

Изучение процесса экстрагирования проводилось на экспериментальной установке, принципиальная схема и общий вид которой представлены на рисунках 1 и 2.

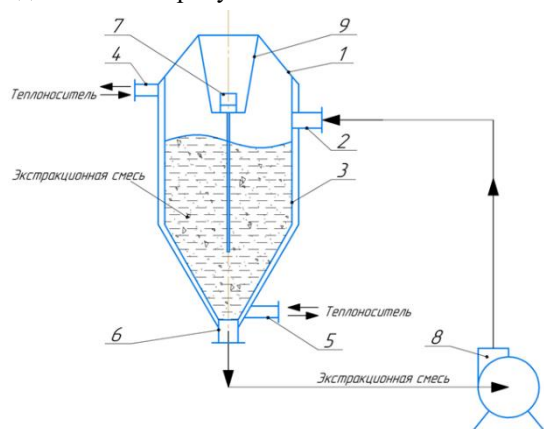


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процесса ультразвуковой экстракции: 1 – емкость; 2, 6 – технологические патрубки; 3 – контур терморегуляции (обогрев, охлаждение); 4, 5 – патрубки для входа/выхода теплоносителя; 7 – ультразвуковой генератор; 8 – насос

Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup for studying the ultrasonic extraction process: 1 – container; 2, 6 – process pipes; 3 – thermoregulation circuit (heating, cooling); 4, 5 – pipes for the inlet/outlet of the coolant; 7 – ultrasonic generator; 8 – pump

Экспериментальная установка работает следующим образом. Экстракционная смесь формируется и далее перемешивается за счет циркуляции в объеме цилиндроконического корпуса 1, перемешивание смеси производится в результате отбора части смеси через патрубок 6, которая далее направляется насосом 8 в верхнюю часть аппарата через патрубок 2, что позволяет равномерно распределять экстракционную смесь в объеме аппарата. Регулировка расхода насоса 8 осуществлялась за счет изменения параметров электрического питания частотным преобразователем.



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки для исследования процесса ультразвуковой экстракции
Figure 2. General view of the experimental setup for studying the ultrasonic extraction process

Кратность циркуляции смеси составляла 20–30 объемов/час и установлена в ходе предварительных экспериментов из условия эффективного перемешивания суспензии с учетом ряда рекомендаций [12–14]. Для создания и поддержания требуемой температуры взаимодействия при экстрагировании в аппарате использовался контур терморегуляции 3. Ультразвуковое воздействие на экстракционную смесь реализовывалось посредством технологического аппарата «Волна УЗТА–0,4/22–ОМ» с таймером и регулятором выходной мощности (30–100%) и ультразвукового генератора 7 со стержневым рабочим элементом, который погружен в смесь.

В ходе экспериментов во времени процесса, при различном сочетании влияющих параметров, периодически отбиралось достаточное количество раствора для определения текущего содержания сухих веществ.

Эксперименты проводились до достижения равновесной концентрации сухих веществ в экстрактном растворе $C_{с.в. экс.}$, после достижения которой в ходе эксперимента, концентрация не менялась во времени эксперимента. После завершения процесса экстракции вывод смеси из аппарата для дальнейшего разделения на экстракт и отработанное сырье осуществлялся через патрубок 6.

В качестве основных параметров (факторы экспериментов), влияющих на массообменные процессы при экстрагировании и варьируемых при экспериментальных исследованиях приняты:

- соотношение гидромодуля (масса сырья: масса экстрагента);
- температура экстракционной смеси (сырье и экстрагент) – $T_{см}$, К;
- масса сырья, подвергаемая обработке с использованием ультразвукового воздействия

(1 ультразвуковой генератор) частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² – $M_{сырья}$, кг.

Уровни и диапазоны варьирования параметров (таблица 1) установлены в ходе предварительных исследований из условия рациональной организации процесса экстракции и получения результатов по производительности процесса, которые при условии масштабного перехода могут быть реализованы при промышленном производстве.

Таблица 1.

Влияющие параметры и уровни их варьирования

Table 1.

Influential parameters and framework for their consideration

Факторы Factors Уровни Levels	Гидромодуль Hydromodule	$T_{см}$, К	$M_{сырья}$, кг
1	1:4	313	0,5
2	1:6	333	1
3	1:8	353	1,5

Таким образом, в ходе исследований формирование экстракционной смеси осуществлялось при смешивании мезги с водой осуществлялось в соотношении гидромодуля сырье (мезга) : вода от 1:4, 1:6 и 1:8, экстрагирование проводилось в течение 20–60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² на экстракционную смесь массой 2,5–13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15–30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20–30 объемов/час при температуре смеси 313–353К.

Параметры, определяемые по итогам выполнения экспериментов: $M_{экс}$, кг – масса экстракта (после фильтрования); $C_{с.в. экс}$, кг/кг – концентрация сухих веществ в экстракте; $C_{инулина в с.в. экс}$, кг/кг – концентрация инулина в сухих веществах экстракта; τ , мин (ч) – продолжительность экстракции.

Масса инулина в экстракте рассчитывалась по зависимости:

$$M_{инулина в экс} = M_{экс} \times C_{инулина в экс}, \quad (1)$$

При рационализации процесса ультразвуковой экстракции инулина из клубней топинамбура целевой функцией выбрана удельная производительность, которая соответствует массе инулина, перешедшего в экстрактивный раствор, с единицы рабочего объема экстрактора в единицу времени Π , кг/(м³·ч), для вычисления которой масса инулина в составе экстракта $M_{инулина в экс}$, кг была отнесена к рабочему объему экстрактора $V = 0,02$ м³ и продолжительности τ , ч:

$$\Pi = M_{инулина в экс} / (V \times \tau). \quad (2)$$

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов целевой функции при различных вариантах значений влияющих факторов с учетом результатов экспериментов представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:4

Table 2.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of hydromodulus of 1:4

№	T , К	$M_{сырья}$, кг	V , м ³ m ³	$M_{инулина в экс}$, кг	τ , мин min	τ , ч h	Π , кг/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,06992	40	0,667	5,244
2		1		0,13643	44	0,733	9,302
3		1,5		0,1944	51	0,850	11,436
4	333	0,5		0,0774	32	0,533	7,260
5		1		0,1478	40	0,667	11,088
6		1,5		0,2112	48	0,800	13,200
7	353	0,5		0,0852	29	0,483	8,820
8		1		0,1599	33	0,550	14,534
9		1,5		0,2185	45	0,750	14,566

Таблица 3.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:6

Table 3.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of hydromodulus of 1:6

№	T, K	M _{сырья} , КГ kg	V, м ³ m ³	M _{инулина в экс} , КГ kg	τ, мин min	τ, ч h	П, КГ/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,0741	44	0,733	5,050
2		1		0,1386	47	0,783	8,846
3		1,5		0,1935	54	0,900	10,752
4	333	0,5		0,0814	37	0,617	6,598
5		1		0,1529	42	0,700	10,920
6		1,5		0,2071	51	0,850	12,184
7	353	0,5		0,0871	35	0,583	7,466
8		1		0,1593	38	0,633	12,575
9		1,5		0,2170	47	0,783	13,849

Таблица 4.

Результаты исследований и расчета удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:8

Table 4.

Results of research and calculation of specific productivity of the process of ultrasonic extraction of inulin at a ratio of the hydromodulus of 1:8

№	T, K	M _{сырья} , КГ kg	V, м ³ m ³	M _{инулина в экс} , КГ kg	τ, мин min	τ, ч h	П, КГ/(м ³ ·ч)
1	313	0,5	0,02	0,0738	47	0,783	4,708
2		1		0,1352	50	0,833	8,114
3		1,5		0,1936	56	0,933	10,373
4	333	0,5		0,0825	38	0,633	6,510
5		1		0,1522	42	0,700	10,875
6		1,5		0,2093	53	0,883	11,849
7	353	0,5		0,0832	38	0,633	6,571
8		1		0,1537	41	0,683	11,244
9		1,5		0,2213	50	0,833	13,280

В результате математической обработки результатов получены аппроксимирующие зависимости удельной производительности от влияющих параметров:

$$П(T, M_{сырья}) = (A_{П} \cdot T^2 + B_{П} \cdot T + C_{П}) \cdot M_{сырья}^2 + (D_{П} \cdot T^2 + E_{П} \cdot T + F_{П}) \cdot M_{сырья} + (G_{П} \cdot T^2 + H_{П} \cdot T + K_{П}), \quad (3)$$

где $A_{П}$, $B_{П}$, $C_{П}$, $D_{П}$, $E_{П}$, $F_{П}$, $G_{П}$, $H_{П}$, $K_{П}$ – эмпирические коэффициенты (таблица 5).

Таблица 5.

Значения эмпирических коэффициентов

Table 5.

Values of empirical coefficients

Гидромодуль Hydromodule Коэффициент Ratio	1:4	1:6	1:8
$A_{П}$	-0,010432448	0,000983005	0,007492302
$B_{П}$	6,760164835	-0,751951780	-5,064318915
$C_{П}$	-1097,723102228	135,278759295	848,825186772
$D_{П}$	0,020937110	-0,000826269	-0,012864170
$E_{П}$	-13,579585210	0,761857062	8,742551770
$F_{П}$	2213,110247140	-144,254417394	-1465,877870280
$G_{П}$	-0,008429490	-0,000681383	0,002381840
$H_{П}$	5,568147290	0,432741895	-1,608628290
$K_{П}$	-917,739388960	-69,328160993	270,310128810

Размерность эмпирических коэффициентов равна отношению размерности функции к размерности аргумента (или произведения аргументов).

На рисунках 3–5 представлены поля значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина, построенные

с использованием функциональной зависимости (3), анализ которых позволяет сделать вывод о росте целевой функции при увеличении температуры экстракционной смеси, максимальное значение которой 353 К ограничено условием обеспечения качественных показателей продукции.

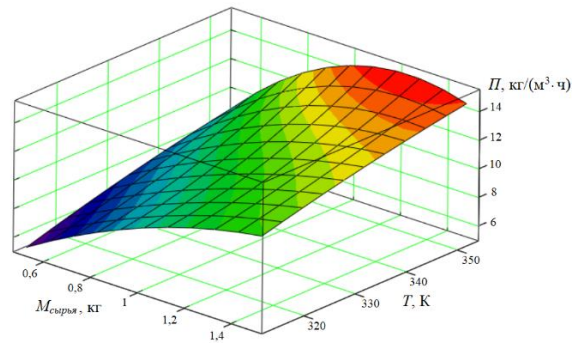


Рисунок 3. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:4
Figure 3. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:4

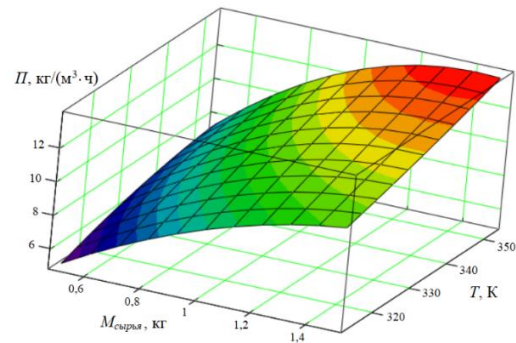


Рисунок 4. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:6
Figure 4. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:6

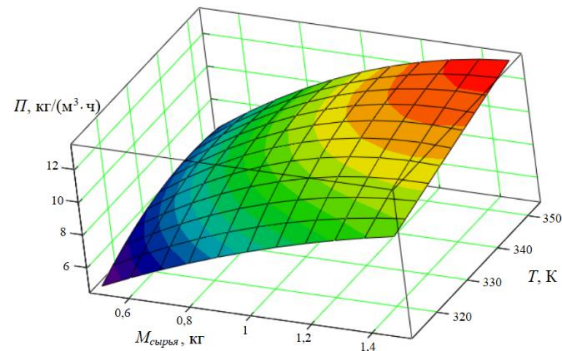


Рисунок 5. Поле значений удельной производительности процесса ультразвуковой экстракции инулина при соотношении гидромодуля 1:8
Figure 5. Field of values of specific productivity of the ultrasonic extraction process of inulin at a hydromodulus ratio of 1:8

После экстрагирования последовательно выполнялись следующие операции: фильтрование экстракта, осветление экстракта, фильтрование осветленного экстракта, ультрафильтрацию осветленного экстракта, концентрирование вакуум-выпариванием экстракта и распылительная сушка. Были определены показатели качества опытных образцов инулина (таблица 6). Предлагаемый способ может быть применен в промышленности и позволяет получить инулин высокого качества и увеличить его выход.

Таблица 6.
Показатели качества инулина
Table 6.
Inulin quality indicators

Показатель Index	Значение Value
Внешний вид Appearance	Порошок тонкого помола без посторонних примесей Finely ground powder without any extraneous impurities
Цвет Colour	Белый со светло-кремовым оттенком White with a light creamy tinge
Вкус Flavour	Сладкий, без посторонних привкусов Sweet, without any off-flavours
Запах Odour	Без запаха Odourless
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	5
Массовая доля целевого компонента (инулина), % Mass fraction of target component (inulin), %	93,0–98,0
Посторонние примеси Foreign impurities	Отсутствуют None

Заключение

На основе результатов исследований сделан вывод о перспективности применения ультразвуковой экстракции при получении инулина из клубней топинамбура и для внедрения в промышленности предлагается использовать конструкцию экстрактора [15, 16], разработанную авторами и следующий вариант выполнения стадии экстракции: формирование экстракционной смеси при смешивании мезги с водой в соотношении гидромодуля мезга: вода от 1:4 до 1:8, экстрагирование проводить в течение 20–60 мин с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см 2 на экстракционную смесь массой 2,5–13,5 кг при механическом перемешивании экстракционной смеси со скоростью 15–30 об/мин и ее циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20–30 объемов/час при температуре смеси 313–353 К при этом удельная производительность составит 4,708–14,566 кг/(м³·ч). Исследования будут продолжены для научно-практического обоснования технологии инулина из клубней топинамбура различных сортов, основанной на рациональном сочетании взаимозависимых процессов подготовки сырья, экстракции, фильтрации, вакуум-выпаривания и распылительной сушки с учетом современных

методов интенсификации тепломассообменных процессов и энерго- и ресурсосбережения для организации эффективной промышленной

переработки клубней топинамбура и выпуска высококачественной пищевой продукции, в том числе функционального назначения.

Литература

- 1 Макарова Н.В., Еремеева Н.Б. Сравнительное изучение влияния ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.) // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 167–177. doi: 10.14258/jcprm.2020014425
- 2 Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С. Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства Caryophyllaceae // Химия растительного сырья. 2018. № 2. С. 145–151. doi: 10.14258/jcprm.2018023703
- 3 Матвеев Д.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В. и др. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 164–172.
- 4 Дьякова Н.А. Экспериментальный подбор оптимальных технологических параметров ультразвуковой экстракции инулина // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2021. Т. 20. № 4. С. 188–193. doi: 10.37903/vsgma.2021.4.26
- 5 Даудова Т.Н., Исригова Т.А., Даудова Л.А., Омарова М.М. Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1(45). С. 160–163. doi: 10.52671/20790996_2021_1_160
- 6 Кареткин Б.А., Шакир И.В., Прудсков Б.М., Панфилов В.И. Исследование ультразвуковой экстракции и способов очистки фруктанов из клубней топинамбура // Химическая промышленность сегодня. 2014. № 1. С. 39–46.
- 7 Tan Q.L.P., Que A.H.N. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2023. V. 165. №. 1. Р. 58–67. doi: 10.26907/2542-064X.2023.1.58-67
- 8 Castellino M., Renna M., Leoni B., Calasso M. et al. Conventional and unconventional recovery of inulin rich extracts for food use from the roots of globe artichoke // Food Hydrocolloids. 2020. V. 107. P. 105975 doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105975
- 9 Муцаев Р.В., Алексанян И.Ю., Поликарпова Н.Э. Интенсификация процесса экстракции инулина из растительного сырья // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 1. С. 69–76.
- 10 Пат. № 2548502, RU, C08B 37/00, C08B 37/18, A23L 1/236. Способ получения инулина из инулинсодержащего сырья / Бархатова Т.В., Назаренко М.Н., Кожухова М.А., Христюк В.Т. № 2013151539/13; Заявл. 19.11.2013; Оpubл. 20.04.2015.
- 11 Пат. № 2148588, RU, C08B 37/00, C08B 37/18. Способ получения инулина из клубней топинамбура / Манешин В.В., Артемьев В.Д., Васильева Ю.П. № 98115947/04; Заявл. 20.08.1998; Оpubл. 10.05.2000.
- 12 Максименко Ю.А., Алексанян И.Ю., Нугманов А.Х.Х., Лысова В.Н. Гидромеханическое оборудование химических и пищевых технологий. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2020. 116 с.
- 13 Тимановский, Е.А. Исследование процесса перемешивания, основные характеристики // Colloquium-Journal. 2018. № 12–6(23). С. 47–48.
- 14 Вобликова Т.В., Шлыков С.Н., Пермьяков А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2019. 204 с.
- 15 Патент на полезную модель № 225428, RU, B01D 11/02, F26B 5/02. Ультразвуковой экстрактор / Коннова О.И., Золотовская О.В., Свирина С.А. и др. № 2024107398; Заявл. 21.03.2024; Оpubл. 22.04.2024.
- 16 Коннова О.И., Золотовская О.В., Свирина С.А., Максименко Ю.А. Разработка рациональной конструкции ультразвукового экстрактора // Технологии и продукты здорового питания: материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 21 марта 2024 года. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2024. С. 190–195.
- 17 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 3. №. 2. P. 13–22.
- 18 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient // Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. V. 26. P. 100281.
- 19 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Cabrera F.A. et al. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods // Food Research International. 2018. V. 103. P. 226–233.
- 20 Srinameb B., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanotai A. et al. Preparation of inulin powder from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber // Plant foods for human nutrition. 2015. V. 70. P. 221–226.

References

- 1 Makarova N.V., Eremeeva N.B. Comparative study of the effect of ultrasound exposure on the extraction of antioxidant compounds of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.). Chemistry of plant raw materials. 2020. no. 1. pp. 167–177. doi: 10.14258/jcprm.2020014425 (in Russian).
- 2 Zibareva L.N., Filonenko E.S. Effect of ultrasound exposure on the extraction of biologically active compounds of plants of the Caryophyllaceae family. Chemistry of plant raw materials. 2018. no. 2. pp. 145–151. doi: 10.14258/jcprm.2018023703 (in Russian).
- 3 Matveev D.A., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V. and others. Liquid extraction of plant materials with maximum preservation of biologically active substances. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2021. no. 1. pp. 164–172. (in Russian).
- 4 Dyakova N.A. Experimental selection of optimal technological parameters for ultrasonic extraction of inulin // Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. 2021. vol. 20. no. 4. pp. 188–193. doi: 10.37903/vsgma.2021.4.26 (in Russian).

- 5 Daudova T.N., Isrigova T.A., Daudova L.A., Omarova M.M. Intensification of extraction of anthocyanin dyes by ultrasonic treatment of wild fruits. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2021. no. 1(45). pp. 160–163. doi: 10.52671/20790996_2021_1_160 (in Russian).
- 6 Karetkin B.A., Shakir I.V., Prudskov B.M., Panfilov V.I. Study of ultrasonic extraction and purification methods of fructans from Jerusalem artichoke tubers. Chemical industry today. 2014. no. 1. pp. 39–46. (in Russian).
- 7 Tan Q.L.P., Que A.H.N. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Polyscias fruticosa* (L.) Harms root. Scientific notes of Kazan University. Series Natural sciences. 2023. vol. 165. no. 1. pp. 58–67. doi: 10.26907/2542–064X.2023.1.58–67
- 8 Castellino M., Renna M., Leoni B., Calasso M. et al. Conventional and unconventional recovery of inulin rich extracts for food use from the roots of globe artichoke. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 107. pp. 105975 doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105975
- 9 Mutsaev R.V., Aleksanyan I.Yu., Polikarpova N.E. Intensification of the process of inulin extraction from plant raw materials. Food Industry. 2018. vol. 3. no. 1. pp. 69–76. (in Russian).
- 10 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khristyuk V.T. Method for obtaining inulin from inulin-containing raw materials. Patent RF, no. 2548502, 2015.
- 11 Maneshin V.V., Artemyev V.D., Vasilyeva Yu.P. Method for obtaining inulin from Jerusalem artichoke tubers. Patent RF, no. 2148588, 2000.
- 12 Maksimenko Yu.A., Aleksanyan I.Yu., Nugmanov A.Kh.Kh., Lysova V.N. Hydromechanical equipment for chemical and food technologies. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2020. 116 p. (in Russian).
- 13 Timanovsky, E.A. Study of the mixing process, main characteristics. Colloquium-Journal. 2018. no. 12–6(23). pp. 47–48. (in Russian).
- 14 Voblikova T.V., Shlykov S.N., Permyakov A.V. Processes and equipment for food production. St. Petersburg, Lan Publishing House, 2019. 204 p. (in Russian).
- 15 Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Svirina S.A. et al. Ultrasonic extractor. Patent RF for Utility Model, no. 225428, 2024.
- 16 Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Svirina S.A., Maksimenko Yu.A. Development of a rational design of an ultrasonic extractor. Technologies and products of healthy food: materials of the XIII National scientific and practical conference with international participation, Saratov, March 21, 2024. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024. pp. 190–195. (in Russian).
- 17 Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. Foods and Raw Materials. 2015. vol. 3. no. 2. pp. 13–22.
- 18 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. vol. 26. pp. 100281.
- 19 Rubel I.A., Iraporda C., Novosad R., Cabrera F.A. et al. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. Food Research International. 2018. vol. 103. pp. 226–233.
- 20 Srinameb B., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanotai A. et al. Preparation of inulin powder from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. Plant foods for human nutrition. 2015. vol. 70. pp. 221–226.

Сведения об авторах

Ольга И. Коннова ассистент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Юрий А. Максименко д.т.н., профессор, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga I. Konnova assistant, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Yuriy A. Maksimenko Dr. Sci. (Engin.), professor, technological machines and equipment department, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/07/2024	После редакции 13/08/2024	Принята в печать 02/09/2024
Received 24/07/2024	Accepted in revised 13/08/2024	Accepted 02/09/2024