

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОПИНАМБУРА И ПОЛУЧАЕМЫХ НА ЕГО ОСНОВЕ ЭТИЛОВОГО СПИРТА И ПИЩЕВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

© 2022 г. И. М. Абрамова¹, М. В. Туршатов¹,
В. А. Кривченко¹, А. О. Соловьев^{1, *}, В. Д. Никитенко¹

¹Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Пищевой Биотехнологии (ВНИИ ПБТ) – филиал Федерального Государственного Бюджетного Учреждения Науки “Федеральный Исследовательский Центр питания, биотехнологии и безопасности пищи”, Москва, 111033 Россия

*e-mail: lab78@mail.ru

Поступила в редакцию 26.05.2022 г.

После доработки 28.06.2022 г.

Принята к публикации 01.07.2022 г.

Рассмотрена возможность получения этанолсодержащих продуктов путем биоконверсии инулина, содержащегося в клубнях топинамбура с дополнительным получением пищевой клетчатки, обогащенной биомассой дрожжей сахаромикетов. Определены основные показатели (сухие и редуцирующие вещества, белок, сырой протеин, клетчатка, жир, зола) трех наиболее распространенных для центрального региона сортов топинамбура: Интерес, Скороспелка, Находка. При лабораторном сбраживании топинамбура получены образцы дистиллятов и пищевой клетчатки. При сравнительном изучении состава летучих примесей в полученных дистиллятах и аналогичной продукции из зерна пшеницы установлено, что основным отличием дистиллятов топинамбура является повышенное содержание метанола на уровне 0.3–0.4 об. %. Показано, что при использовании топинамбура в качестве сырья для получения этанолсодержащей продукции, можно достичь выхода спирта до 11 дал/тонну топинамбура. Содержание клетчатки в полученных образцах, обогащенных дрожжевой биомассой, варьирует в пределах 66.4–68.8%, а содержание белка в них составило от 11 до 14%, что в 3.0–3.5 раза больше чем в исходном топинамбуре. Выход товарного продукта составил 69–72 кг/т топинамбура.

Ключевые слова: топинамбур, инулин, производство спирта, пищевая клетчатка, комплексная переработка

DOI: 10.56304/S0234275822040020

Топинамбур является овощной многолетней клубневой культурой. Известно более 300 его сортов, выращиваемых в различных регионах и странах. Кроме высокой урожайности топинамбур обладает целым набором полезных свойств с точки зрения его применения в диетологии [1–3].

Положительный оздоровительный эффект при лечении различных заболеваний и улучшение жизнедеятельности всего организма, по утверждению специалистов обусловлен сбалансированным биохимическим составом топинамбура, в который входят углеводы (инулин, фруктоза, пектин и т.д.), пищевые волокна, аминокислоты, витамины, микро- и макроэлементы [4].

Урожайность различных сортов топинамбура колеблется от 250 до 450 центнеров с 1 га посевной площади, что в пересчете на полисахариды в 1.5–2 раза превышает этот показатель у зерновых

культур. Топинамбур может произрастать в широком диапазоне почвенно-климатических условий. В Государственный реестр Российской Федерации внесены шесть наиболее культивируемых его сортов: Волжский-2, Находка, Скороспелка, Ленинградский, Вьельготский, Интерес.

Не смотря на высокую полезность и урожайность топинамбура, объем его производства значительно уступает аналогичной клубневой культуре – картофелю. В отличие от последнего, топинамбур имеет короткий срок хранения (2–3 месяца). Специфическая, неоднородная форма клубней затрудняет их посадку, механизированный сбор и обработку. Но главное, это ограниченное количество промышленных технологий переработки топинамбура в продукты массового спроса. К наиболее развитой можно отнести только технологию получения фруктозных сиропов [5, 6].

К продуктам широкого спроса, получаемых из сельскохозяйственного углеводсодержащего сырья, относится этиловый спирт, используе-

Список сокращений: асв – абсолютно сухое вещество, дал – декалитр.

Таблица 1. Качественные показатели сырья
Table 1. Quality indicators of raw materials

Показатели	Сорт топинамбура		
	Интерес	Скороспелка	Находка
Массовая доля сухих веществ, %	23.37 ± 0.21	23.68 ± 0.17	24.10 ± 0.18
Общие редуцирующие вещества, г/100 см ³	16.4 ± 0.1	16.0 ± 0.2	16.8 ± 0.1
Сырой протеин, % на асв	3.94 ± 0.09	4.08 ± 0.11	4.35 ± 0.13
Белок по Барнштейну, % на асв	3.02 ± 0.08	3.92 ± 0.09	4.11 ± 0.08
Зола, % на асв	7.29 ± 0.10	7.41 ± 0.12	7.59 ± 0.12
Сырая клетчатка, % на асв	18.19 ± 0.21	18.58 ± 0.17	19.17 ± 0.24
Содержание жира, % на асв	0.66 ± 0.05	0.45 ± 0.04	0.72 ± 0.04

мый на пищевые, медицинские, технические и химические цели.

Учитывая, высокую пищевую и потребительскую ценность топинамбура, его переработка должна быть безотходной по аналогии с технологией производства спирта из зернового сырья. В частности, из углеводов топинамбура могут быть получены спирт, дистилляты, а дисперсная фаза, обогащенная биомассой дрожжей сахаромикетов, может быть основой для производства функциональных продуктов.

С целью обеспечения рентабельности производства спирта, перерабатываемые сорта топинамбура кроме высокой урожайности должны иметь повышенное содержание полисахаридов и удобную для сбора и переработки форму клубней.

Целью работы было исследование биохимического состава 3 перспективных сортов топинамбура (Интерес, Скороспелка, Находка) для разработки комплексной безотходной его переработки на этанол и функциональные продукты.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Материалы

Основным сырьем для проведения исследований были выбраны сорта средней и повышенной урожайности, культивируемые в центральной полосе России:

- Интерес;
- Скороспелка;
- Находка.

Учитывая сезонность уборки топинамбура (осень и весна) эксперименты проводили с учетом этого фактора.

Основные показатели исследуемых образцов топинамбура представлены в табл. 1.

Кроме того были использованы следующие вспомогательные материалы:

- ферментные препараты (“Novozymes®”, Дания):
- Viscoferm® – комплексный ферментный препарат содержащий ксиланазу, целлюлазу и β-глю-

каназу с активностью по ксиланазе 900 ед. КС/г сухих веществ;

- Novozym 960® – ферментный препарат инулазы с активностью 250 ед. INU/г сухих веществ;
- сухие спиртовые дрожжи рода *Saccharomyces cerevisiae* (производитель Angel Yeast Co., КНР);
- Средство асептическое, для подавления посторонней микрофлоры “Септрол” (Россия).

Методы

Настоящие исследования проводили по методике постановки бродильных проб в лаборатории отдела технологии спирта и комплексной переработки сырья ВНИИПБТ по оптимальной схеме тепловой и ферментативной обработки, разработанной в проведенных ранее исследованиях и представленной в табл. 2 [7].

Анализ сырья и полупродуктов спиртового производства (зрелая бражка, пищевая клетчатка) проводили в соответствии с инструкцией по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства [8]:

- определение общих сухих веществ – методом инфракрасной сушики,
- степени измельчения сырья ситовым методом (проход через сито с диаметром ячейки 3 мм),
- содержания растворимых сухих веществ в сусле – рефрактометрическим методом,
- определение массовой концентрации общих редуцирующих веществ проводили с использованием колориметрического антронового метода,
- определение pH в растворах – потенциометрически,
- кислотность зрелой бражки титрованием фильтрата исследуемого раствора 0.1 N раствором NaOH в присутствии метилового красного,
- объемную долю этилового спирта измеряли денситометрически.

Состав дистиллятов анализировали на газовом хроматографе Agilent 6890 (Agilent Technologies Inc., США) с капиллярной колонкой HP-FFAP по методике ГОСТ 32039–2013 “Газохроматографический метод определения подлинности”. Со-

Таблица 2. План проведения испытаний
Table 2. Test plan

Стадии	Режимы
1. Приготовление замеса: – Вид сырья – Помол, % не менее – Гидро модуль – Продолжительность, мин – Температура, °С – Дозировка Viscoferm®, ед. КС/т сухих веществ	Топинамбур 95 1 : 1 15 50 0.25
2. Тепловая обработка: – Температура, °С – Продолжительность, мин – Концентрация растворимых СВ, %	90–92 180 10.1–11.0
3. Осахаривание – Температура, °С – Продолжительность, мин – Дозировка Novozym 960®, ед. INU/г сухих веществ	58–60 30 0.5
4. Брожение: – Дрожжи спиртовые сухие, г/л сусле – Температура, °С – Продолжительность, ч – Антибиотик – Септрол, г/м ³	0.5 33–34 72 1.0

став и концентрацию аминокислот определяли на высокоэффективном жидкостном хроматографе KNAUER (Германия) с ультрафиолетовым детектором при длине волны 570 нм. Сырой протеин и белок по Барнштейну определяли методом Кьельдаля, сырую золу методом озоления.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили, рассчитывая среднее значение определяемой величины не менее, чем из 3 повторностей и их среднеквадратичное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После окончания брожения в зрелой бражке определяли основные технологические показатели, представленные в табл. 3.

Согласно результатам анализа во всех вариантах эксперимента количество несброженных сахаров находится на уровне близком к нулю, при этом концентрация спирта во всех образцах выше 5 об. %, что свидетельствует о практически полном усвоении спиртовыми дрожжами углеводов сырья. Эффективность применяемых режимов водно-тепловой и ферментативной его обработки подтверждает достаточно высокий показатель выхода спирта, который на 10–15% выше, чем при получении из картофельного сырья. Наибольший выход спирта 11.0 дал/т топинамбура был отмечен при переработке сорта “Находка”, который отличается повышенным содержанием углеводов.

В табл. 4 приведен состав летучих примесей содержащихся в дистиллятах бражек, полученных из исследуемых образцов топинамбура и данные по содержанию летучих примесей в дистиллятах, полученных при переработке на спирт зернового сырья (пшеницы).

В процессе выделения спирта из зрелой бражки образуется жидкий остаток, содержащий в основном нерастворимую часть топинамбура (клетчатку) и биомассу спиртовых дрожжей. Дисперсную фазу каждого образца выделяли центрифугированием с последующей сушкой до влажности 10%.

Показатели полученного продукта – пищевой клетчатки, обогащенной дрожжевой биомассой представлены в табл. 5.

Согласно полученным данным содержание клетчатки в полученных образцах сухого продукта варьируется в пределах 66.4–68.8%. Содержание белка в исследуемых образцах составило от 11 до 14%, что в 3.0–3.5 раза больше чем в исходном топинамбуре. Это объясняется наличием в продукте биомассы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, накопленной в процессе спиртового брожения. Учитывая, что максимальная бродильная активность наблюдалась у сорта “Находка”, то и максимальный прирост белка (10% по абсолютной шкале) наблюдался в продукте, полученном из данного сорта топинамбура.

Аминокислотный состав образцов обогащенной биомассой дрожжей пищевой клетчатки, полученных из сортов “Скороспелка” и “Находка”

Таблица 3. Основные технологические показатели зрелой бражки
Table 3. The main technological indicators of mature mash

Показатели ^a	Сорт топинамбура		
	Интерес	Скороспелка	Находка
pH	4.65 ± 0.02	4.55 ± 0.01	4.69 ± 0.02
Кислотность, град.	0.20 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.22 ± 0.01
Объемная доля этилового спирта, % об.	5.01 ± 0.04	5.33 ± 0.02	5.53 ± 0.05
Редуцирующие вещества, г/100 см ³	0.074 ± 0.002	0.062 ± 0.003	0.070 ± 0.003
Выход спирта: дал/т ОРВ	61.1 ± 0.1	65.0 ± 0.1	65.5 ± 0.1
дал/т топинамбура	10.02 ± 0.05	10.7 ± 0.04	11.0 ± 0.02

Примечание: ^a Обозначения: дал/т ОРВ – декалитров на 1 тонну общих редуцирующих веществ.
Note: ^a Designations: dal/t TRS – decalitres per 1 ton of total reducing substances.

Таблица 4. Массовая концентрация летучих соединений в образцах
Table 4. Mass concentration of volatile compounds in samples

Примеси	Содержание, мг/дм ³ на а.а. ^a			
	сорт “Интерес”	сорт “Скороспелка”	сорт “Находка”	пшеница
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
этиловый эфир	–	–	–	–
ацетальдегид	419.16 ± 0.12	262.66 ± 0.18	795.66 ± 0.22	430.65 ± 0.19
ацетон	7.19 ± 0.06	7.5 ± 0.05	8.5 ± 0.08	3.26 ± 0.04
метилацетат	6.99 ± 0.07	3.75 ± 0.09	6.87 ± 0.09	–
этилацетат	167.66 ± 0.11	212.01 ± 0.12	189.87 ± 0.17	79.60 ± 0.12
метанол ^b	0.41 ± 0.07	0.34 ± 0.04	0.33 ± 0.06	0.0054 ± 0.0003
2-бутанон	–	–	–	–
2-пропанол	14.37 ± 0.09	12.38 ± 0.06	10.13 ± 0.09	2.375 ± 0.10
изобутилацетат	–	–	–	–
2-бутанол	–	–	–	–
1-пропанол	1337.33 ± 0.17	919.32 ± 0.24	1537.07 ± 0.33	261.24 ± 0.12
этилбутират	–	–	–	–
кротональдегид	7.98 ± 0.09	7.51 ± 0.07	14.65 ± 0.08	–
изобутанол	1676.60 ± 0.29	2570.30 ± 0.33	1410.49 ± 0.41	798.96 ± 0.31
1-бутанол	18.76 ± 0.12	15.01 ± 0.11	–	–
изоамилол	2754.49 ± 0.54	5666.04 ± 0.66	2133.82 ± 0.38	2980.60 ± 0.25
1-пентанол	–	–	–	7.32 ±
этиллактат	–	–	3.62 ± 0.06	49.69 ± 0.15
гексанол	14.37 ± 0.11	13.13 ± 0.10	6.33 ± 0.09	–
бензальдегид	–	165.1 ± 0.14	222.42 ± 0.12	231.31 ± 0.12
бензалкоголь	–	20.64 ± 0.08	17.01 ± 0.07	–
фенилэтанол	499.04 ± 0.54	1125.7 ± 0.62	470.16 ± 0.36	1542.71 ± 0.48

Примечание: ^a Обозначения: а.а. – абсолютный алкоголь. ^b Указано в % (об./об.).
Note: ^a Designations: a.a. – absolute alcohol. ^b Specified in % (v/v).

в сравнении с содержанием аминокислот в исходном топинамбуре представлен в табл 6.

По данным аминокислотного анализа в топинамбуре содержатся практически все аминокислоты за исключением цистеина. В наиболь-

шей концентрации присутствует относящийся к незаменимым аминокислотам триптофан – 14.0–14.6 мг/г сухого вещества.

В сухом продукте на основе клетчатки практически полное отсутствие углеводов и содержание

Таблица 5. Основные технологические показатели сухого продукта на основе клетчатки
Table 5. Main technological indicators of dry product based on Jerusalem artichoke fiber

Показатели	Сорт топинамбура		
	Интерес	Скороспелка	Находка
Сырой протеин, % на асв	12.15 ± 0.04	15.70 ± 0.03	17.75 ± 0.05
Белок по Барнштейну, % на асв	11.01 ± 0.05	12.19 ± 0.09	14.15 ± 0.07
Зола, % на асв	7.51 ± 0.06	7.60 ± 0.04	7.75 ± 0.03
Сырая клетчатка, % на асв	66.4 ± 0.08	67.6 ± 0.05	68.8 ± 0.06
Содержание жира, % на асв	1.25 ± 0.05	0.86 ± 0.04	1.37 ± 0.04
Выход сухого продукта: кг/т топинамбура	69.0 ± 0.2	67.6 ± 0.1	72.6 ± 0.1

Таблица 6. Аминокислотный состав топинамбура и пищевой клетчатки
Table 6. Amino acid composition of Jerusalem artichoke and dietary fiber

Аминокислота	Содержание, мг/г сухих веществ			
	сорт Скороспелка		сорт Находка	
	топинамбур исходный	пищевая клетчатка	топинамбур исходный	пищевая клетчатка
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Аспарагин	2.82 ± 0.05	7.74 ± 0.02	2.99 ± 0.06	9.17 ± 0.03
Треонин	2.06 ± 0.04	22.58 ± 0.08	2.41 ± 0.05	8.06 ± 0.04
Серин	1.89 ± 0.05	7.42 ± 0.02	2.24 ± 0.05	7.5 ± 0.02
Глутаминовая кислота	7.1 ± 0.12	17.74 ± 0.04	6.89 ± 0.20	21.39 ± 0.05
Пролин	4.54 ± 0.08	9.35 ± 0.02	5.44 ± 0.09	25.83 ± 0.06
Глицин	2.31 ± 0.04	6.77 ± 0.02	2.53 ± 0.04	7.22 ± 0.02
Аланин	3.07 ± 0.05	7.42 ± 0.02	3.15 ± 0.05	8.06 ± 0.02
Валин	2.48 ± 0.08	7.1 ± 0.03	3.03 ± 0.10	9.17 ± 0.04
Метионин	0.38 ± 0.01	0.97 ± 0.002	0.79 ± 0.02	1.94 ± 0.006
Изолейцин	1.85 ± 0.05	6.45 ± 0.02	2.16 ± 0.06	7.22 ± 0.03
Лейцин	2.9 ± 0.09	9.03 ± 0.04	3.49 ± 0.11	10.56 ± 0.05
Тирозин	1.3 ± 0.05	4.52 ± 0.02	1.49 ± 0.03	5.0 ± 0.02
Фенилаланин	2.1 ± 0.04	5.81 ± 0.04	2.2 ± 0.04	6.11 ± 0.02
Гистидин	2.39 ± 0.04	5.48 ± 0.01	1.66 ± 0.03	5.28 ± 0.02
Лизин	2.69 ± 0.09	8.39 ± 0.01	3.03 ± 0.05	10.0 ± 0.03
Триптофан	14.62 ± 0.15	65.81 ± 0.11	14.02 ± 0.06	38.06 ± 0.10
Аргинин	3.45 ± 0.04	5.16 ± 0.07	2.7 ± 0.01	6.11 ± 0.09
Всего	57.94 ± 0.76	180 ± 0.94	60.21 ± 0.65	186.67 ± 0.93

всех аминокислот значительно выше, чем в самом топинамбуре, что обусловлено наличием в продукте спиртовых дрожжей. Полученные результаты исследований доказывают технологическую возможность комплексной безотходной переработки топинамбура с получением этанолсодержащих продуктов (дистилляты, ректификованный спирт) и пищевой клетчатки, обогащенной белком и аминокислотами.

По результатам проведенных опытов выход спирта из 1 тонны топинамбура составляет по-

рядка 10–11 дал, а в зависимости от содержания в сырье углеводов при расчете на них выход спирта может достигать более 65 дал/тонну.

Процесс подготовки и сбраживания сырья не требует специальных условий и может быть осуществлен на мощностях действующих спиртзаводов, как в автономном режиме, так и при совместной переработке, например с зерновым сырьем.

Состав и количество примесей в дистиллятах бражки, полученной из топинамбура, в большой степени идентичны зерновому спирту за исключением

повышенного содержания метанола, что потребует оптимизации режима стадии ректификации.

При комплексной переработке одновременно со спиртом может быть получена пищевая клетчатка. Ее выход по результатам опыта составляет 60–70 кг на тонну топинамбура. Клетчатка, полученная на основе нерастворимого остатка при переработке топинамбура на спирт обогащена белком и практически полным спектром аминокислот, включая незаменимые. Полученные данные позволяют оценить перспективность ее применения в качестве функциональной добавки.

Важным результатом проведенных исследований является технологическая и качественная схожесть режимов комплексной переработки топинамбура различных сортов и получаемых при этом продуктов. Это свидетельствует о возможности переработки широкого спектра культивируемых сортов топинамбура.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Манохина А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Мишуров Н.П., Неменуца Л.А., Алаяров Ж.Ж. Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура: монография.* Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Правдинский), 2020, 84
2. *Шаззо Р.И., Кайшев В.Г., Гуш Р.А., Екутеч Р.И., Корнена Е.П.* Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра): монография. (Под редакцией Р.И. Шаззо). Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013, 184.
3. *Скурихин И.М., Тутельян В.А.* Химический состав российских продуктов питания: монография. Москва, 2002, 236.
4. *Кольцов В.А.* Разработка функциональных пищевых продуктов на основе топинамбура: дис. канд. с-х. наук. Мичуринский гос. Аграрный университет, Мичуринск-наркоград, 2015, 146.
5. *Токарев В.Ю.* Разработка технологии и оценка потребительских свойств полуфабрикатов из клубней топинамбура: дис. канд. техн. наук. ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, 2019, 180
6. *Дроздов Р.А., Кожухова М.А., Борисова М.М., Дроздова Т.А.* Функциональные свойства пищевых волокон, полученных из продуктов переработки овощей. *Научные труды КУБГУ*, 2019, S9, 50–61.
7. *Abramova I.M., Soloviev A.O., Turshatov M.V. et al.* Research of topinambur water-heat and enzymatic processing modes for ethyl alcohol producing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2022.
8. Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. Ред. В.А. Поляков, И.М. Абрамова, Г.В. Польшагина, Л.В. Римарева, Г.Т. Корчагина, Е.Н. Пискарева. Москва: ДеЛи принт, 2007, 480 с.

Study of the Biochemical Composition of Jerusalem Artichoke, as well as Ethyl Alcohol and Food Functional Products Obtained on Its Basis

I. M. Abramova^a, M. V. Turshatov^a, V. A. Krivchenko^a, A. O. Soloviev^{a, #}, and V. D. Nikitenko^a

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology, Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, 111033 Russia

[#]e-mail: lab78@mail.ru

Abstract—The possibility of obtaining ethanol-containing products by bioconversion of inulin contained in Jerusalem artichoke tubers with additional production of dietary fiber enriched with *Saccharomyces* yeast biomass has been studied. The main indicators (dry and reducing substances, protein, crude protein, fiber, fat and ash) of the three most common varieties of Jerusalem artichoke for the central region, Interes, Skorospelka and Nakhodka, were determined. During laboratory fermentation of Jerusalem artichoke, samples of distillates and dietary fiber were obtained. The main difference in volatile impurities between Jerusalem artichoke distillates and similar products obtained from wheat grain is the increased content of methanol (0.3–0.4% vol.) in the former. It was shown that when using Jerusalem artichoke as a raw material for obtaining ethanol-containing products, it is possible to achieve an alcohol yield of up to 11 dal/ton. The content of fiber and protein in the obtained samples enriched with yeast biomass was 66.4–68.8% and 11–14%, respectively, which is 3.0–3.5 times more than in the original Jerusalem artichoke. The output of the marketable product amounted to 69–72 kg/ton of Jerusalem artichoke.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, alcohol production, dietary fiber, complex processing