

Направленное брожение, как способ повышения пищевой ценности продукции на основе волокон топинамбура

И. М. АБРАМОВА, М. В. ТУРШАТОВ, А. О. СОЛОВЬЕВ, В. П. ЛЕДЕНЕВ, В. В. КОНОНЕНКО, В. Д. НИКИТЕНКО

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, ул. Самокатная, 4Б, Москва, 111033, Российская Федерация

Резюме. Один из вариантов переработки топинамбура – производство дистиллятов и пищевого ингредиента на основе волокон его сырья. Исследования проводили для повышения пищевой ценности указанного ингредиента путем обогащения белком при направленном спиртовом брожении. В качестве исходного сырья использовали клубни топинамбура сорта Находка. Работу выполняли методом постановки бродильных проб, суть которого заключается в моделировании промышленных процессов переработки в лабораторных условиях. Технологический процесс включал следующие основные этапы: мойку и измельчение; приготовление замеса с гидромодулем 1:1 с внесением ксиланазы и целлюлазы; тепловую обработку сырья в течение 180 мин. при 90 °С; ферментативный гидролиз полисахаридов в течение 60 мин. при температуре 55 °С с добавлением инулиназы, сбраживание сусла в течение 72 ч при температуре 34,0±0,5 °С. Интенсификацию процессов дрожжегенерации и брожения проводили путем увеличения начальной концентрации дрожжевой биомассы с 10 до 20 млн клеток в 1 см³ и аэрирования бродящего сусла в течение первых 36 ч брожения. Эффективность процесса оценивали по количеству дрожжевой биомассы на конец брожения путем подсчета клеток в камере Горяева и по содержанию сырого протеина и белка (по Барнштейну) в нерастворимой фракции сброженного субстрата после отгонки спирта. Увеличение начальной концентрации засевных дрожжей приводит к приросту дрожжевой биомассы, по сравнению с контролем, на 64 %, белка – на 9,5 %. Аэрация бродящего сусла позволила увеличить концентрацию клеток на конец брожения до 544 млн/см³, или в 2,5 раза выше, чем в контрольном варианте, содержание белка по Барнштейну – до 23,1 %, что больше контроля на 6,3 %.

Ключевые слова: топинамбур, дрожжегенерация, сбраживание, состав, производство спирта, пищевые волокна, комплексная переработка.

Сведения об авторах: И. М. Абрамова, доктор технических наук, директор; М. В. Туршатов, кандидат технических наук, зав. отделом (lab78@mail.ru); А. О. Соловьев, младший научный сотрудник, В. П. Леденев, кандидат технических наук, зав. лабораторией; В. В. Кононенко, кандидат технических наук, зав. лабораторией; В. Д. Никитенко, инженер-технолог.

Для цитирования: Направленное брожение, как способ повышения пищевой ценности продукции на основе волокон топинамбура / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, А. О. Соловьев и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 8. С. 75–80. doi: 10.53859/02352451_2024_38_8_75

Directed fermentation as a way to increase the nutritional value of products based on Jerusalem artichoke fibres

I. M. Abramova, M. V. Turshatov, A. O. Solovyev, V. P. Ledenev, V. V. Kononenko, V. D. Nikitenko

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, ul. Samokatnaya, 4B, Moscow, 111033, Russian Federation

Abstract. One of the options for processing Jerusalem artichoke is the production of distillates and a food ingredient based on the fibres of its raw material. The studies were conducted to increase the nutritional value of the mentioned ingredient by enriching it with protein during directed alcoholic fermentation. Jerusalem artichoke tubers of the Nakhodka variety were used as the initial raw material. The work was carried out using the method of setting up fermentation tests, the essence of which lies in modelling industrial processing procedure under laboratory conditions. The technological process included the following main stages: washing and grinding; preparation of a batch with a water module of 1:1 with the addition of xylanase and cellulase; heat treatment of the raw material for 180 min. at 90 degrees; enzymatic hydrolysis of polysaccharides for 60 min. at a temperature of 55 degrees with the addition of inulinase, fermentation of the wort for 72 hours at a temperature of 34.0 ± 0.5 degrees. Intensification of yeast generation and fermentation processes was carried out by increasing the initial concentration of yeast biomass from 10 to 20 million cells in 1 cm³ and aerating the fermenting wort during the first 36 hours of fermentation. The efficiency of the process was assessed by the amount of yeast biomass at the end of fermentation by counting cells in the Goryaev chamber and by the content of crude protein and protein (according to Barnstein) in the insoluble fraction of the fermented substrate after distillation of alcohol. An increase in the initial concentration of seed yeast leads to an increase in yeast biomass, compared to the control, by 64%, protein – by 9.5%. Aeration of the fermenting wort made it possible to increase the cell concentration at the end of fermentation to 544 million/cm³, or 2.5 times higher than in the control version, the protein content according to Barnstein – up to 23.1%, which is 6.3% more than the control.

Keywords: Jerusalem artichoke; yeast generation; fermentation; composition; alcohol production; dietary fiber; complex processing.

Author Details: I. M. Abramova, D. Sc. (Tech.), director (e-mail: lab78@mail.ru); M. V. Turshatov, Cand. Sc. (Tech.), head of division; A. O. Solovyev, junior research fellow; V. P. Ledenev, Cand. Sc. (Tech.), head of laboratory; V. V. Kononenko, Cand. Sc. (Tech.), head of laboratory; V. D. Nikitenko, process engineer.

For citation: Abramova IM, Turshatov MV, Solovyev AO, et al. [Directed fermentation as a way to increase the nutritional value of products based on Jerusalem artichoke fibres]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(8):75–80. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_8_75

Использование нетрадиционных видов сырья при производстве продуктов питания, обогащенных белками, минеральными веществами, макро- и микронутриентами набирает популярность во всем мире, в том числе и в России. При переработке сырья необходимо учитывать его химический состав, а именно содержание компонентов, благодаря которым

возможно будет создать продукт с заданными потребительскими свойствами.

Топинамбур относится к овощным многолетним клубневым культурам, возделываемым в широком диапазоне почвенно-климатических условий. Известно более трехсот сортов топинамбура, урожайность которых достигает до 450 ц/га. В пересчете на полиса-

харида урожайность культуры в 1,5...2 раза выше, чем у зерновых культур [1].

Среди большого разнообразия современных сельскохозяйственных культур топинамбур отличается широким набором полезных свойств, что обусловлено его сбалансированным химическим составом, в состав которого входят углеводы (инулин, фруктоза, пектин и др.), пищевые волокна, аминокислоты (в том числе незаменимые), витамины (А, группы В, С, Е и др.), микро- (калий – 200 мг/100 г, фосфор – 78 мг/100 г, кальций – 20 мг/100 г, магний – 12 мг/100 г и др.) и макроэлементы (хром – 3,5 мкг/100 г, селен – 0,7 мкг/100 г, железо – 0,4 мг/100 г и др.), ω -3 полиненасыщенные жирные кислоты (67 мг/100 г) [2]. В 100 г клубней топинамбура содержится 61 Ккал, 2,1 г белков, 0,1 г жиров, 12,8 г углеводов, 4,5 г пищевых волокон и 79 г воды.

В последние несколько лет площадь возделывания культуры достигла 3...4 тыс. га, продуктивность в европейской и южной частях России – 80 т/га, в северных регионах – 40 т/га. Доля сухого вещества в вегетативной массе топинамбура составляет 22...26 %, что обеспечивает возможность заготовки силоса высокого качества, в 1 т которого содержится порядка 200 корм. ед. [3, 4].

Топинамбур – рентабельная культура. Себестоимость его возделывания составляет примерно 4...7 руб./кг, что ниже, чем у его прямого конкурента картофеля (6...12 руб./кг). Однако в связи с ограниченностью объемов производства топинамбура рыночная стоимость его продукции достигает 100...300 руб./кг, в то время как у картофеля она варьирует в диапазоне 20...60 руб./кг в зависимости от сезона и сорта.

В то же время топинамбур уступает другим клубневым культурам по таким характеристикам, как короткий срок хранения, неоднородная форма клубней [5, 6, 7] и ограниченное количество промышленных технологий переработки. Нарращивание технологи-

ческих возможностей переработки с увеличением объемов возделывания до 20...30 тыс. га позволило бы расширить ассортимент функциональных продуктов на основе инулина и пищевых волокон, а также одновременно повысить их экономическую привлекательность [3]. Для расширения сферы применения топинамбура проводят исследования по комплексной его переработке с производством дистиллятов, спирта и пищевой клетчатки [8, 9].

Учитывая, высокую пищевую ценность культуры, ее переработка должна быть основана на принципе безотходности. Во ВНИИ пищевой биотехнологии разработана схема комплексной переработки клубней топинамбура с получением в качестве товарной продукции спирта, дистиллятов и пищевых волокон с различным химическим составом (рис. 1).

Дистилляты, произведенные из клубней топинамбура, обладают оригинальными органолептическими характеристиками, присущими исходному сырью, что открывает перспективу расширения рынка алкогольной продукции [10]. Их качество отвечает требованиям ГОСТ 33723-2016 [11].

Спирт, произведенный из клубней топинамбура по рассматриваемой технологии, может быть использован в качестве октановышающего компонента при производстве жидких видов топлива. Как показывает практика, этому рынку также необходим недорогой и качественный компонент [12].

Нерастворимая часть топинамбура, образует вторичную продукцию в виде пищевых волокон с различным химическим составом. Так, пищевые волокна, выделенные на стадии гидроизмельчения содержат в своем составе инулин, выделенные на стадии водно-тепловой и ферментативной обработки богаты фруктозой и полученные на стадии брагоперегонки, благодаря накопленной, во время брожения, биомассе микроорганизмов, содержат повышенное содержание белка. Это открывает возможности для их использования в качестве компонентов функциональных продуктов с заданными характеристиками, например, в кондитерском, хлебобулочном или мясном производствах, а также в качестве кормовых добавок в рационах животных.

При выделении пищевых волокон на стадии брагоперегонки, возможна организация направленного процесса брожения. Это сопровождается незначительным снижением выхода спирта, но увеличивает содержание белка в пищевых волокнах, что позволяет расширять рынок их применения и увеличивать рентабельность производства [13, 14, 15]. Кроме того, полноценный состав, высокое содержание клетчатки и белка могут восполнить существующий дефицит на рынке кормовой продукции [16, 17].

Цель исследования – оценить возможность повышения содержания белка в волокнах топинамбура путем направленного брожения сусла из клубней культуры для их применения на пищевые или кормовые цели.

Условия, материалы и методы. В качестве исходного сырья использовали клубни топинамбура сорта Находка с массовой долей сухих веществ – $22,7 \pm 0,4$ %; содержанием редуцирующих углеводов – $17,2 \pm 0,2$ г/100 г; массовой долей сырого протеина – $1,34 \pm 0,07$ г/100 г.

Исследования по дрожжегенерации при переработке топинамбура на этиловый спирт осуществляли в лабораторных условиях методом постановки

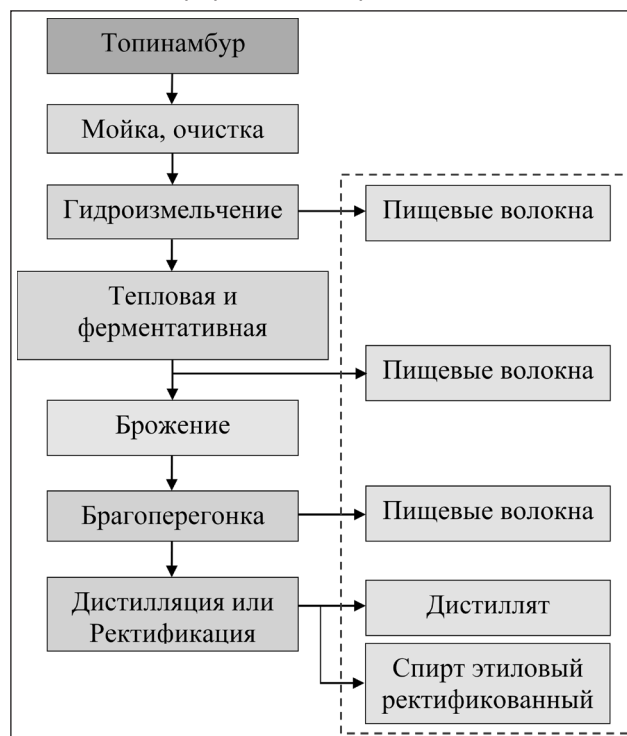


Рис. 1. Схема комплексной переработки клубней топинамбура.

бродильных проб. Технологический процесс был разработан во ВНИИ пищевой биотехнологии. Он отличается высокой эффективностью гидролиза полисахаридов сырья до моносахаров, последующей их ассимиляцией дрожжами с получением нескольких продуктов переработки и включает следующие стадии:

мойка и механическая очистка клубней от ростков и остатков земли, измельчение на роторном измельчителе до фракции, частицы которой на 95 % проходят через сито с диаметром ячейки 3 мм;

подготовка замеса гидромодулем 1:1 с применением ферментного препарата с ксиланазной и целлюлазной активностью (Viscozyme® HT FG) в дозе 0,25 ед. КС/г СВ;

водно-тепловая и ферментативная обработка сырья в течение 180 мин. при 90 °С.

ферментативный гидролиз полисахаридов в течение 60 мин. при температуре 55 °С с ферментным препаратом с инулиназной активностью (Novozym 960) в дозе 0,5 ед. INU/г инулина;

брожение в течение 72 ч при температуре 34,0±0,5 °С с использованием сухих спиртовых дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* (Angel Yeast Co., P.R.C.).

Схема опыта предусматривала следующие варианты:

вариант 1 (контрольный) – дрожжи в дозе 0,5 г/дм³ суслу (эквивалентно 10 млн/см³), анаэробное брожение;

вариант 2 – дрожжи в дозе 1,0 г/дм³ суслу (эквивалентно 20 млн/см³), анаэробное брожение;

вариант 3 – дрожжи в дозе 0,5 г/дм³ суслу (эквивалентно 10 млн/см³), брожение с аэрацией в течение первых 36 ч, далее анаэробное брожение.

Сбраживание проводили в колбах Эрленмайера. Аэрацию осуществляли перемешиванием бродящей массы, при помощи лабораторной качалки. В качестве источника азота для питания дрожжей использовали карбамид в дозе 200 г/м³ суслу. Для подавления развития посторонней микрофлоры применяли антисептический препарат Септрол (1 г/м³ суслу).

Спирт из зрелой бражки отгоняли на лабораторной перегонной установке. Не растворенную часть (волокна топинамбура) выделяли на центрифуге в течение 15 мин. на скорости 6000 об/мин., с последующим высушиванием на лабораторной установке конвективного типа при температуре 45±5 °С в течение 48 ч.

Видимый отброд контролировали ареометрическим методом, pH – на автоматическом pH-метре SevenEasy pH с потенциометрическим детектором InLab Expert Pro pH (Mettler-Toledo GmbH, Switzerland), титруемую кислотность – методом прямого титрования 0,1 Н раствором NaOH в присутствии метиленового красного. Объемную долю этилового спирта определяли денсиметрическим методом на автоматическом измерителе относительной плотности жидкостей Densimat-Alcomat (Gibertini Elettronica S.R.L., Italy), массовую концентрацию несброженных остаточных углеводов – колориметрическим антроновым методом на колориметре

КФК-3-ЗОМЗ (Производственное объединение «ЗОМЗ», Россия). Анализ морфологических и количественных характеристик дрожжевых клеток выполняли в счетной камере Горяева с использованием светового микроскопа со степенью увеличения 400×. Количество сырого протеина и белка (по Барнштейну) определяли по ГОСТ Р 57221-2016.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили, рассчитывая средние и их среднеквадратичное отклонения не менее чем из 3-х повторностей.

Результаты и обсуждение. В 1 варианте зафиксировано самое высокое содержание несброженных углеводов (0,22 г/100 см³), во 2 и 3 вариантах оно было меньше на 0,11 и 0,08 г/100 см³ соответственно. Это свидетельствует о большей интенсивности бродительной активности в экспериментальных вариантах.

В 1 и 2 вариантах величины показателей pH и титруемой кислотности находились на одном уровне (соответственно 5,32...5,35 ед. и 0,15...0,16 °Т), в 3 варианте они были равны 5,01 ед. и 0,19 °Т. Это свидетельствует о том, что интенсификация процесса брожения путем аэрации способствует попаданию в бродящую массу посторонней микрофлоры и параллельно интенсифицирует другие типы брожения (см. табл.).

Таблица. Основные технологические показатели зрелой бражки

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Видимый отброд, °Б	1,0±0,1	1,0±0,1	0,5±0,1
pH	5,32±0,11	5,35±0,07	5,01±0,10
Титруемая кислотность, °Т	0,15±0,04	0,16±0,02	0,19±0,03
Объемная доля этилового спирта, % об.	3,72±0,11	3,61±0,09	3,35±0,12
Несброженные углеводы, г/100 см ³	0,22±0,01	0,11±0,02	0,14±0,02
Количество дрожжевых клеток:			
общее, млн/см ³	216,0±12	356,5±13	544±17
почкующихся, %	26,6±3,3	21,5±2,1	11,7±3,8
мертвых, %	2,3±0,8	1,4±0,4	0,7±0,2

Объемная доля этилового спирта при аэробном брожении в первые 36 ч была на 10 % ниже, чем в остальных вариантах. Такая ситуация обусловлена с активным накоплением дрожжевой биомассы, которое связано с аэрацией среды на начальной стадии брожения. При этом возрастают затраты углеводов на рост биомассы дрожжей, что в конечном итоге приводит к некоторому снижению объемной доли этилового спирта в зрелой бражке, по сравнению с вариантами без аэрации.

Во всех вариантах эксперимента наблюдали прирост дрожжевой биомассы, по сравнению с исходной величиной этого показателя. Однако без аэрации количество клеток увеличивалось в 17...21 раз, а в варианте с аэрацией наблюдали более чем пятидесятикратный рост.

Средний размер клеток в вариантах 1 и 2 не превышал 10 мкм, они были мелкими, преимущественно овальной формы. В 3 варианте преобладали клетки округлой формы со средним размером около 15 мкм. Количество почкующихся клеток при анаэробном брожении находилось на уровне 23 % (норма для зрелой бражки 15 %). Это может указывать на активную фазу дрожжегенерации и необходимость увеличения длительности процесса, что неприемлемо с техникоэкономической точки зрения. При аэрации в начале брожения количество почкующихся клеток

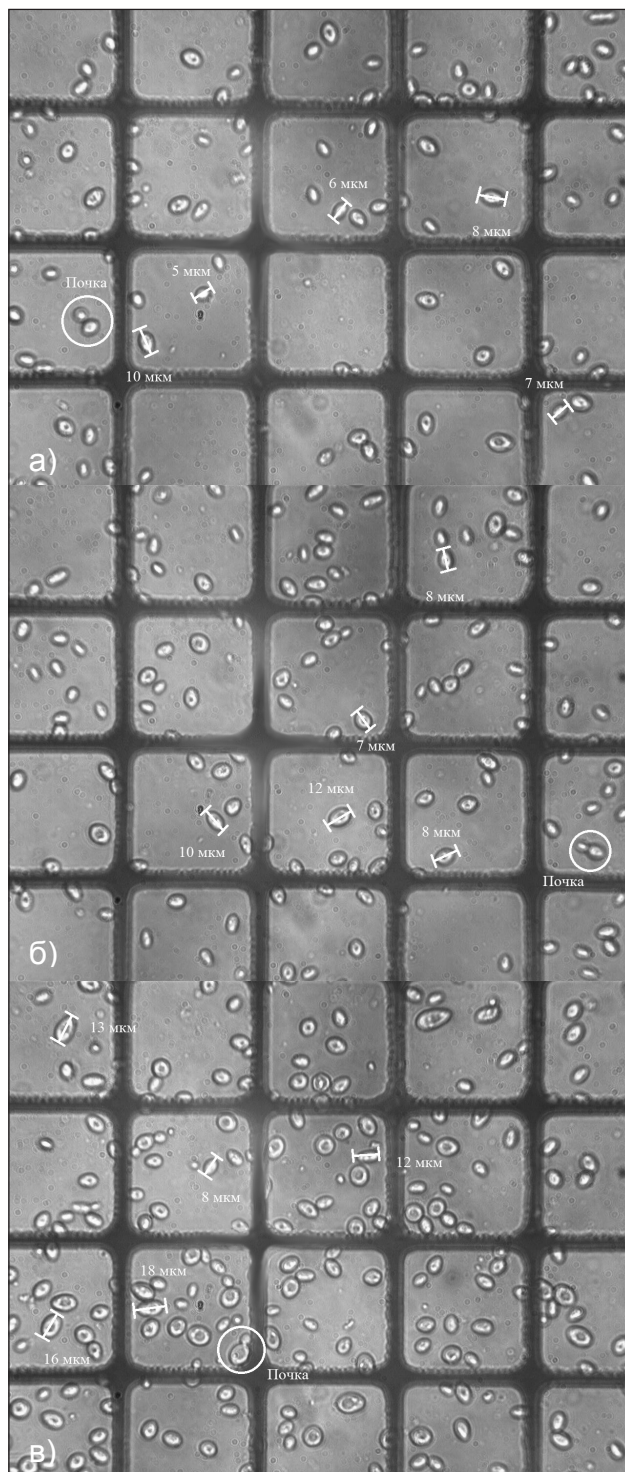


Рис. 2. Морфология клеток дрожжей вида *S. cerevisiae* на 72 ч брожения: а) 1 вариант, б) 2 вариант, в) 3 вариант. Было меньше 15 %, что свидетельствует о затухании дрожжегенерации. Доля мертвых клеток во всех вариантах находилась в допустимых пределах (рис. 2).

По мере увеличения размеров микробной биомассы, закономерно возрастало количество белка в образцах сухого продукта на основе волокон топинамбура (рис. 3). Содержание сырого протеина в 1 варианте составило 19,6 % на а.с.в. (абсолютно сухое вещество), белка (по Барнштейну) – 16,8 % на а.с.в. Разница между величинами этих показателей (2,8 % а.с.в.) обусловлено неполным усвоением дрожжами азота. Во 2 варианте наблюдали повышение содержания сырого протеина на 4,8 %, белка по Барнштейну – на 2,4 %, что свидетельствует о

целесообразности повышения начальной концентрации дрожжевых клеток для увеличения концентрации белка в сброженном субстрате. В 3 варианте содержание сырого протеина достигло 26,1 % на а.с.в., белка (по Барнштейну) – 23,1 % на а.с.в. Это указывает на наибольшую эффективность аэрации броющего суслу на стадии дрожжегенерации как способа повышения количества белка в зрелой бражке и в дальнейшем в волокнах топинамбура.

Благодаря стадии ректификации и последующей сушке полученных пищевых волокон, они содержат уже инактивированные клетки микроорганизмов дрожжей (белковый компонент). Это позволяет рассматривать такой продукт как белковую добавку для разработки рецептов продуктов профилактического и лечебного питания [18]. Как показали исследования, пищевые волокна, необходимые для нормализации работы желудочно-кишечного тракта, обладают богатым аминокислотным (триптофан – 35,98 мг/г, пролин – 24,42 мг/г, лейцин – 9,98 мг/г, лизин – 9,45 мг/г, валин – 8,67 мг/г, треонин – 7,62 мг/г и др.) и витаминным (B_3 – 36,80 мг/100 г, B_6 – 23,62 мг/100 г и др.) составом [19, 20].

Применение рассматриваемой технологии позволит производить продукцию (хлебобулочные изделия, мясные полуфабрикаты, макаронные изделия и др.), которая ценится на рынке. Высокое содержание пищевых волокон и белка может частично компенсировать существующий дефицит этих нутриентов в рационах питания людей [21].

На рынке кормовой продукции сегодня также наблюдается дефицит белковых компонентов, с использованием которых можно создавать высокоэффективные премиксы. Волокна топинамбура, полученные в результате направленного брожения, подходят для использования в кормовой отрасли. В 1 кг кормовых дрожжей, самого распространенного источника усвояемого белка для животных, содержится порядка 1,1...1,3 корм. ед., а в пищевых волокнах из клубней топинамбура, полученных с использованием технологии направленного брожения – до 1,1 корм. ед. На фоне дефицита кормовых дрожжей,

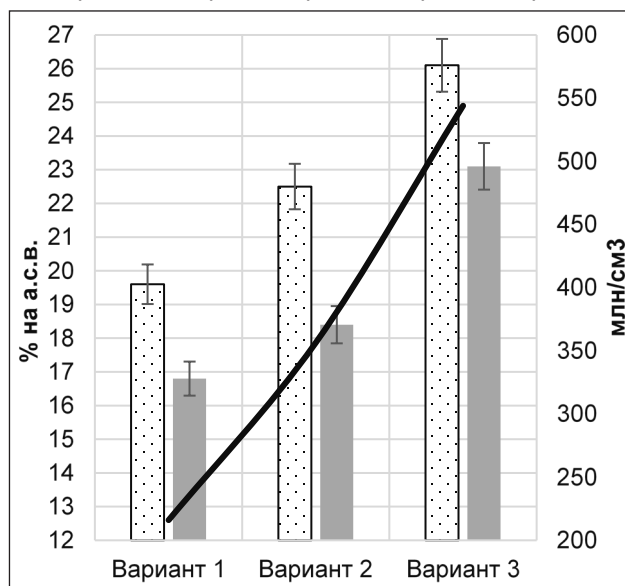


Рис. 3. Зависимость содержания сырого протеина и истинного белка (по Барнштейну) в зрелой бражке от количества клеток: ■ – сырой протеин, ■ – истинный белок (по Барнштейну), — — общее количество дрожжевых клеток (вспомогательная ось).

волокна из топинамбура, могут выступать в качестве белковой компоненты при создании премиксов.

Выводы. Путем реализации направленного процесса брожения, при получении этилового спирта из топинамбура возможно повышение содержания белка в пищевых волокнах топинамбура, для дальнейшего их использования в качестве компонента при создании пищевой или кормовой продукции.

Аэрация суслу в течение первых 36 ч брожения способствует итоговому увеличению содержания сырого протеина и белка (по Барнштейну) до соответственно 26,1 % и 23,1 % на а.с.в., что выше, чем в вариантах с анаэробным брожением на 6,5...3,6 и 6,3...4,7 %.

Для реализации комплексной многопродуктовой технологии переработки топинамбура с произ-

водством этилового спирта, дистиллятов и ингредиентов для кормовой или пищевой продукции с повышенным содержанием белковой составляющей целесообразно применение направленного брожения с аэрацией.

ФИНАСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература

1. Селекция топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) для нетрадиционного использования: ретроспектива, подходы и перспективы / С. Breton, С. Кипу, А. Berville и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 5. С. 940–951. doi: 10.15389/agrobology.2017.5.940rus.
2. Исследование биохимического состава топинамбура и получаемых на его основе этилового спирта и пищевых функциональных продуктов / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, В. А. Кривченко и др. // *Биотехнология*. 2022. Т. 38. № 4. С. 56–61. doi: 10.56304/S0234275822040020.
3. Белая А. Полезные полисахариды из топинамбура. «ИстАгроДон» вложит 1,35 млрд руб. в глубокую переработку редкой для России агрокультуры // *АгроИнвестор*. 2021. № 1. URL: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/35093-poleznye-polisakharidy-iz-topinambura-istagrodon-vlozhit-1-35-mlrd-rub-v-glubokuyu-pererabotku-redko/> (дата обращения: 22.07.2024).
4. Евстратова Л. П., Кондратюк Е. А. Экономическая и энергетическая эффективность многолетних агрофитоценозов с участием топинамбура в условиях Карелии // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 3. С. 28–31. doi: 10.31857/2500-2082/2023/3/28-31.
5. Бакин И. А., Макарова А. А., Гаспарян Ш. В. Анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура // *Ползуновский вестник*. 2023. № 3. С. 21–33. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003.
6. Ostermann-Porcel M. V., Rinaldoni A. N., Campderros M. E. Assessment of Jerusalem artichoke as a source for the production of gluten-free flour and fructan concentrate by ultrafiltration // *Applied Food Research*. 2022. Vol. 2. No. 1. Article 100201. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502222001603?via%3Dihub> (дата обращения: 22.07.2024).
7. Елисеев С. Л., Ренев Е. А., Катаев А. С. Влияние срока уборки зеленой массы на урожайность и качество клубней топинамбура при весенней посадке и осенней уборке // *Пермский аграрный вестник*. 2020. № 1 (29). С. 37–45. doi: 10.24411/2307-2873-2020-10013.
8. Abramova I. M. Research of topinambur water-heat and enzymatic processing modes for ethyl alcohol producing // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1112. Article 012087. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1112/1/012087> (дата обращения: 29.07.2024).
9. Новый комплексный ферментный препарат экзо-инулиназы и пектинлиазы для использования в технологии переработки топинамбура / А. М. Рожкова, Ю. А. Денисенко, Е. С. Милова и др. // *Биотехнология*. 2023. Т. 39. № 5. С. 33–43. doi: 10.56304/S0234275823050101.
10. Песчанская В. А. Методологические подходы при разработке инновационной технологии дистиллята из топинамбура // *Пищевая промышленность*. 2022. № 9. С. 77–81. doi: 10.52653/PPI.2022.9.9.015.
11. Анализ состава дистиллятов из клубней топинамбура / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, В. В. Кононенко и др. // *Вопросы питания*. 2023. Т. 92. № S5 (549). С. 189. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-232.
12. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. / L. Yang, Q. S. He, K. Corscadden, et al. // *Biotechnology Reports*. 2015. Vol. 5. P. 77–88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004.
13. Ozgoren E. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019. Vol. 13. P. 2812–2821.
14. Васильев А. С., Чумакова Е. Н., Фаринюк Ю. Т. Формирование показателей качества пшеничного хлеба при добавлении порошка топинамбура // *Вестник КрасГАУ*. 2019. № 5 (146). С. 174–181.
15. Применение высоковолажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии / А. Ю. Шариков, М. В. Туршатов, М. В. Амелякина и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023. Т. 24. № 4. С. 612–622. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622.
16. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient / I. A. Rubel, C. Iraporda, G. D. Manrique, et al. // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2021. Vol. 26. Article 100281. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212619821000218?via%3Dihub> (дата обращения: 20.07.2024). doi: 10.1016/j.bcdf.2021.100281.
17. Трухачев В. И., Селионова М. И., Загарин А. Ю. Использование фитобиотиков в кормлении моногастрических животных (обзор) // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023. № 4. С. 126–143. doi: 10.26897/0021-342X-2023-4-126-143.
18. Rushchits A. A., Shcherbakova E. I., El-Sohaimy S. A. Physicochemical and rheological characterization of dumpling's dough fortified with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) powder // *Annals of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 67. P. 166–172. doi: 10.1016/j.aas.2022.11.001.
19. Еременко Д. О., Чуб О. П. Определение функциональных свойств модельных систем рубленой мясной массы с добавлением полуфабриката из топинамбура и корня цикория // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 2 (203). С. 246–252. doi: 10.36718/1819-4036-2024-2-246-252.
20. Vega D. M. Gluten-free baked products formulated with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) flour // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2024. Vol. 36. Article 100946. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/>

article/pii/S1878450X24000799 (дата обращения: 18.07.2024).

21. Типсина Н. Н., Демденко Г. А., Кох Д. А. Технология получения и применения полуфабрикатов из топинамбура для обогащения хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2023. № 4. С. 140–145. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.018.

References

1. Breton C, Kiru SD, Berville A, et al. [Breeding of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for non-traditional use: A retrospective, approaches and prospects]. *Sel'skokhozyajstvennaya biologiya*. 2017;52(5):940-51. Russian. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.940rus.
2. Abramova IM, Turshatov MV, Krivchenko VA, et al. [Study of biochemical composition of Jerusalem artichoke and ethyl alcohol and food functional products obtained from it]. *Biotekhnologiya*. 2022;38(4):56-61. Russian. doi: 10.56304/S0234275822040020.
3. Belaya A. [Useful polysaccharides from Jerusalem artichoke. "IstAgroDon" will invest 1.35 billion rubles in deep processing of a rare agricultural crop in Russia]. *AgroInvestor* [Internet]. 2021 Jan 13 [cited 2024 Aug 22];(1). Available from: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/35093-poleznye-polisakharidy-iz-topinambura-istagrodon-vlozhit-1-35-mlrd-rub-v-glubokuyu-pererabotku-redko/>. Russian.
4. Evstratova LP, Kondratyuk EA. [Economic and energy efficiency of perennial agrophytocenoses with Jerusalem artichoke under Karelia conditions]. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2023;(3):28-31. Russian. doi: 10.31857/2500-2082/2023/3/28-31.
5. Bakin IA, Makarova AA, Gasparyan ShV. [Sustainability analysis of Jerusalem artichoke tuber cleaning technology]. *Polzunovskij vestnik*. 2023;(3):21-33. Russian. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003.
6. Ostermann-Porcel MV, Rinaldoni AN, Campderros ME. Assessment of Jerusalem artichoke as a source for the production of gluten-free flour and fructan concentrate by ultrafiltration. *Applied Food Research* [Internet]. 2022 Aug [cited 2024 August 22];2(1): Article 100201. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502222001603?via%3Dihub>.
7. Eliseev SL, Renev EA, Kataev AS. [Influence of green mass harvesting time on yield and quality of Jerusalem artichoke tubers at spring planting and fall harvesting]. *Permskij agrarnyj vestnik*. 2020;(1):37-45. Russian. doi: 10.24411/2307-2873-2020-10013.
8. Abramova IM. Research of topinambur water-heat and enzymatic processing modes for ethyl alcohol producing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. 2022 Dec [cited 2024 Sep 30];1112: Article 012087. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1112/1/012087>.
9. Rozhkova AM, Denisenko YuA, Milova ES, et al. [New complex enzyme preparation of exo-inulinase and pectin-lyase for use in Jerusalem artichoke processing technology]. *Biotekhnologiya*. 2023;39(5):33-43. Russian. doi: 10.56304/S0234275823050101.
10. Peschanskaya VA. [Methodological approaches in the development of innovative technology of distillate from Jerusalem artichoke]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2022;(9):77-81. Russian. doi: 10.52653/PPI.2022.9.9.015.
11. Abramova IM, Turshatov MV, Kononenko VV, et al. [Analysis of the composition of distillates from Jerusalem artichoke tubers]. *Voprosy pitaniya*. 2023;92(S5):189. Russian. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-232.
12. Yang L, He QS, Coscadden K, et al. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*. 2015;5:77-88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004.
13. Ozgoren E. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;13:2812-21.
14. Vasiliev AS, Chumakova EN, Farinuk YuT. [Formation of wheat bread quality indicators when adding Jerusalem artichoke powder]. *Vestnik KrasGAU*. 2019;(5):174-81. Russian.
15. Sharikov AYU, Turshatov MV, Amelyakina MV, et al. [Application of high-moisture dispersed fraction of Jerusalem artichoke, formed during its processing for alcohol, in the technology of food extrusion]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023;24(4):612-22. Russian. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622.
16. Rubel IA, Iraporda C, Manrique GD, et al. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jul 20];26: Article 100281. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212619821000218?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.bcdf.2021.100281.
17. Truhachev VI, Selionova MI, Zagarin AYU. [Use of phytobiotics in feeding monogastric animals (review)]. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2023;(4):126-43 Russian. doi: 10.26897/0021-342X-2023-4-126-143.
18. Rushchits AA, Shcherbakova EI, El-Sohaimy SA. Physicochemical and rheological characterization of dumpling's dough fortified with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) powder. *Annals of Agricultural Sciences*. 2022;67:166-72. doi: 10.1016/j.aos.2022.11.001.
19. Eremenko DO, Chub OP. [Determination of functional properties of model systems of chopped meat mass with addition of semi-finished product from Jerusalem artichoke and chicory root]. *Vestnik KrasGAU*. 2024;(2):246-52. Russian. doi: 10.36718/1819-4036-2024-2-246-252.
20. Vega DM. Gluten-free baked products formulated with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) flour. *International Journal of Gastronomy and Food Science* [Internet]. 2024 [cited 2024 Sep 30];36: Article 100946. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878450X24000799>.
21. Tipsina NN, Demdenko GA, Kokh DA. [Technology of obtaining and using semi-finished products from Jerusalem artichoke for enrichment of bakery products]. *Polzunovskij vestnik*. 2023;(4):140-5. Russian. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.018.

Поступила в редакцию 12.07.2024 После доработки 30.07.2024 Принята к публикации 14.08.2024