

УДК/UDC 663.66.048.9

DOI:10.21323/2618-9771-2018-1-1-24-34

Оригинальная научная статья

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТАДИЙНОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ СУШЕНОГО ТОПИНАМБУРА К ДИСТИЛЛЯЦИИ

Крикунова Л.Н.\*, Ободеева О.Н., Захаров М.А., Данилян А.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

топинамбур, биохимический состав, сусло, сброженное сусло, расы дрожжей, летучие компоненты.

**АННОТАЦИЯ**

Для производства дистиллятов из топинамбура обоснованы технико-экономические преимущества использования сушеного сырья по сравнению с переработкой свежих клубней, заключающиеся в стабилизации биохимического состава сырья и повышении его микробиологических характеристик, исключении сезонности, упрощении технологического процесса. Исследован фракционный состав фруктозосодержащих углеводов сырья и показано, что в процессе получения сушеного топинамбура происходит деполимеризация основных углеводов сырья и, как следствие, повышается степень их доступности к ферментативному гидролизу. Содержание свободных редуцирующих сахаров (фракция ФI) возрастает в 3–5 раз, низкомолекулярных фракция инулина (фракция ФII) в 1,5 раза. Проанализирован белковый комплекс сушеного топинамбура и установлено, что основными фракциями белков являются альбумины (58,2–61,5% от общего белкового азота), в сырье не обнаружены проламины и глутелины. Определены факторы, влияющие на технологические параметры двухстадийного способа подготовки сушеного топинамбура к дистилляции. На первом этапе, при получении осахаренного сусла установлены гидромодуль (1 ÷ 4,5), норма задачи микробной инулиназы (3,0–4,5 ед. ИН/г инулина сырья), длительность ферментативной обработки (3 часа при температуре 52 ± 2 °С). На основании изучения динамики выделения CO<sub>2</sub>, оценки крепости сброженного сусла и определения в нем летучих компонентов рекомендовано применение сухих спиртовых дрожжей Fermiol в количестве 100 мг/100 г сусла, проведение процесса при температуре 28–30 °С, длительность сбраживания — 72 часа. Показано, что подкисление среды на стадии получения сусла до pH 4,5 позволяет снизить в сброженном сусле содержание метанола.

The original scientific article

# DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE TWO-STAGE METHOD OF DRIED JERUSALEM ARTICHOKE PREPARATION FOR DISTILLATION

Ludmila N. Krikunova\*, Olga N. Obodeeva, Maxim A. Zakharov, Armen V. Danilyan

All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry — Branch of the V.M. Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems of RAS, Moscow, Russia

**KEY WORDS:**

Jerusalem artichoke, biochemical composition, wort, fermented wort, yeast races, volatiles.

**ABSTRACT**

For the production of distillates from Jerusalem artichoke, the technical and economic advantages of using dried raw materials are substantiated in comparison with the processing of fresh tubers, consisting in stabilizing the biochemical composition of raw materials and increasing its microbiological characteristics, eliminating seasonality, simplifying the technological process. The fractional composition of fructose containing carbohydrates of raw materials was studied and it was shown that in the process of obtaining dried Jerusalem artichoke, the main carbohydrates of raw materials depolymerize and, as a result, their accessibility to enzymatic hydrolysis is increased. The content of free reducing sugars (fraction FI) increases by 3–5 times, low molecular weight fraction of inulin (fraction FII) by 1.5 times. The albumin complex of dried Jerusalem artichoke is analyzed and it is established that the main protein fractions are albumins (58.2–61.5% of total protein nitrogen), prolamines and glutelins are not found in the raw material. The factors influencing the technological parameters of the two-stage method for preparing dried artichoke for distillation are determined. At the first stage, when obtaining the sugared wort, a hydromodule (1 ÷ 4.5) was installed, the norm of the microbial inulinase task (3.0–4.5 units IN/g inulin of the raw material), the duration of the enzymatic treatment (3 hours at a temperature of 52 ± 2 °C). Based on the study of the dynamics of CO<sub>2</sub> emissions, the evaluation of the strength of fermented wort and the determination of volatile components in it, it is recommended to use dry alcoholic yeast Fermiol in the amount of 100 mg / 100 g of wort, the process at a temperature of 28–30 °C, the fermentation time is 72 hours. It is shown that acidification of the medium in the wort preparation stage to pH 4.5 allows to reduce methanol content in the fermented wort.

**1. Введение**

В последнее время в России наметилась тенденция изменения приоритетов потребителей при выборе крепкой алкогольной продукции. Существенный интерес проявляется к спиртным напиткам с ароматом и вкусом исходного сырья, при выборе которого необходимо ориентироваться на ряд факторов: объемы его заготовки в стране и отсутствие острой конкуренции с производителями других отраслей; затраты, связанные с его приобретением, и их долю в себестоимости готовой продукции; особенности биохимического состава, позволяющие достигать требуемых органолептических показателей.

Одним из перспективных видов нового нетрадиционного для винодельческой отрасли сырья является топинамбур. Природно-климатические условия Российской Федерации по-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крикунова Л.Н., Ободеева О.Н., Захаров М.А., Данилян А.В. Разработка технологических параметров двухстадийного способа подготовки сушеного топинамбура к дистилляции. *Пищевые системы*. 2018;1(1): 24–34. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-1-24-34

FOR CITATION: Krikunova L.N., Obodeeva O.N., Zakharov M.A., Danilyan A.V. Development of Technological Parameters of a Two-Stage Method of Dried Jerusalem Artichoke for Preparation for Distillation. *Food systems*. 2018;1(1): 24–34. (In Russ.) DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-1-24-34

звolyют выращивать данную сельскохозяйственную культуру в достаточных для производства объемах. Кроме этого, в настоящее время между отраслями, использующими топинамбур в качестве исходного сырья, конкуренция отсутствует. Широкий интерес к использованию топинамбура в ряде отраслей пищевой промышленности объясняется высокой экономической эффективностью производства и переработки [1,2,3,4].

Свежий топинамбур, с точки зрения хранения, является сложным сырьем. Согласно рекомендациям ГОСТ 32790–2014, его хранят в таре в чистых, хорошо проветриваемых помещениях (овощехранилищах, кагатах) или холодильных камерах при температуре от минус 4 °С до плюс 1 °С и относительной влажности воздуха (85...90)%. Немецкие специалисты рассматривают клубни топинамбура исключительно как сезонное сырье, не подлежащее хранению [5].

В качестве альтернативы можно рассматривать вариант использования сушеного топинамбура — промышленно выпускаемого продукта. К преимуществам последнего следует отнести, во-первых, возможность круглогодичного производства продукции, во-вторых, стабильность его биохимического состава и высокую микробиологическую чистоту. Кроме того, использование сушеного топинамбура позволяет существенно упростить технологический процесс, исключив такие операции, как мойка сырья и его дробление.

Обзор научно-технической литературы, посвященный вопросам переработки клубней топинамбура, показывает, что технологии, используемые в бродильных производствах могут быть разделены на два класса. В соответствии с первым, сырье подвергают перед ректификацией двухстадийной обработке, то есть, сначала получают осажаренное сусло из измельченного материала, а затем вносят в него дрожжи и проводят процесс сбраживания. На стадии получения осажаренного сусла отечественными специалистами показана перспективность ферментативного гидролиза инулина сырья за счет его самоосажаривания под действием собственных инулиназ [4, 6]. Одноступенчатые схемы переработки клубней топинамбура, не предусматривающие стадию получения осажаренного сусла, предлагают, в основном, зарубежные специалисты. По мнению французских ученых [7, 8] при переработке клубней топинамбура, не подвергнутых предварительному гидролизу, нецелесообразно использовать дрожжи вида *S. cerevisiae*, т.к. они не обладают инулиназной активностью. Перспективно применение, в данном случае, дрожжей вида *Kluuyveromyces*. Проведены исследования по сбраживанию сусла из клубней топинамбура дрожжами *Kl. marxianus* [7, 9, 10] и *Kl. fragilis* [8].

## 2. Материалы и методы

В качестве сырья в работе использованы клубни топинамбура сорта «Скороспелка» и полученные из них образцы сушеного топинамбура.

Анализ биохимического состава сырья включал определение фракционного состава фруктосодержащих углеводов сырья, проведенное с использованием схемы, которая включала выделение трех фракций: ФI — редуцирующие свободные сахара; ФII — олигосахариды и низкомолекулярные фракции инулина; ФIII — высокомолекулярные фракции инулина [6]. Последующее определение сахаров во фракции ФI и гидролизатах фракций ФII и ФIII проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [11].

Фракционный состав белков сушеного топинамбура определяли с использованием метода их выделения по Т. Осборну, предусматривающего исчерпывающую последовательную экстракцию. При этом выделение альбуминов проводили дистиллированной водой, глобулинов — 10% NaCl, проламинов — 70% этанолом и глютелинов — 0,2% рас-

твором NaOH [12]. Состав свободных аминокислот в сырье оценивали с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии [13].

Исследование состава осажаренного сусла и экстракта проводили путем определения массовой концентрации сухих веществ рефрактометрическим методом. Величину текучести определяли в условных единицах: по количеству миллилитров сусла, вытекающего из воронки через сопло определенного размера за время, требующееся для вытекания из воронки 100 см<sup>3</sup> воды или по времени истечения определенного объема сусла через калиброванное отверстие. Время истечения измеряли секундомером. Содержание отдельных сахаров методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [11].

При исследовании состава сброженного сусла определяли динамику выделения CO<sub>2</sub> весовым методом, определение массовой концентрации спирта в сброженном сусле по методу [14], содержание летучих компонентов методом газовой хроматографии по ГОСТ 33834–2016.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1 Биохимический состав топинамбура

При оценке биохимического состава топинамбура основные исследования ученых направлены на изучение его углеводного комплекса [3,6,15], основу которого составляют фруктоза и ее полимеры различной степени сложности, высшим гомологом которых является инулин — самый высокомолекулярный среди фруктозанов. В настоящее время считается доказанным, что инулин относится к группе полифруктозанов с эмпирической формулой (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> и представляет собой полифруктозную цепь, в которой остатки D-фруктозы (до 96%) связаны β-2,1-связью, причем каждая цепь с нередуцированного конца заканчивается молекулой D-глюкозы (до 6%), соединенной с фруктозой β-1,2-связью.

При выборе технологических режимов подготовки топинамбура к сбраживанию необходимо учитывать не только общее содержание фруктосодержащих компонентов, но и их фракционный состав, так как процесс ферментативного гидролиза углеводов сырья зависит, во-первых, от способности полимеров переходить в растворимое состояние, во-вторых, от степени их полимеризации. При анализе свежих клубней топинамбура, установлено (Табл. 1), что среди углеводов в сырье преобладают фракции ФII и ФIII, их содержание соответственно варьируется в пределах (29,1...33,9)% и (41,0...54,4)%. В исследованных образцах сушеного топинамбура выявлены существенные изменения во фракционном составе данных компонентов.

Таблица 1

Фракционный состав фруктосодержащих углеводов в топинамбура

Фракция	Содержание, % в сухом веществе (СВ)	
	Клубни топинамбура	Сушеный топинамбур
ФI	1,5 ± 0,2	6,6 ± 0,3
ФII	32,0 ± 1,9	50,4 ± 3,5
ФIII	47,7 ± 6,7	11,1 ± 2,4
S	79,5 ± 8,8	68,1 ± 6,2

Установлено, что в процессе сушки сырья в нем увеличивается содержание низкомолекулярных фракций. Количество свободных редуцирующих сахаров возрастает в среднем в 3–4 раза, фракции ФII увеличивается более чем в 1,5 раза. Данный факт связан с протеканием процессов ферментативного гидролиза высокомолекулярных фракций инулина под действием собственных инулиназ сырья (по данным отечественных ученых суммарная гидролазная активность в клубнях топинамбура составляет 3,3–4,5 ед./г инулина сырья [16]).

Кроме углеводов, клубни топинамбура содержат азотистые вещества, микро- и макроэлементы, витамины. Содержание азотистых веществ варьируется в пределах от 4,3 до 11,0% [17]. На долю белкового азота приходится 57–59%, небелкового — 41–43%. Украинские исследователи [18] установили, что по сбалансированности незаменимых аминокислот топинамбур превосходит зерно злаков.

Анализ белкового комплекса образцов сушеного топинамбура показал, что основными белками в них являются альбумины, массовая доля которых варьируется в пределах 2,5–3,3%, содержание глобулинов составляет 0,24–0,33%. В образцах сушеного топинамбура, полученных из клубней сорта «Скороспелка» не обнаружены проламины и глютелины (Табл. 2).

Таблица 2

Содержание белковых фракций в сушеном топинамбуре					
Азот фракций (в % от общего белкового азота)					
Альбумины	Глобулины	Проламины	Глютелины	Небелковый	Нераств. остаток
59,9 ± 1,6	5,5 ± 0,4	—	—	29,6 ± 1,3	6,0 ± 2,4

Известно, что фракции белков сырья имеют различную субстратную специфичность. Водо- и солерастворимые белки легче подвергаются ферментативному гидролизу, так как они гидрофильны в отличие от проламинов и глютелинов. В целом, несмотря на общее пониженное содержание белка в топинамбуре, по сравнению с его содержанием в зерне (среднее — 10–13%, среди них растворимых белков — не более 30%), данный вид сырья, с позиции оценки его азотного состава, можно считать полноценным.

Также в работе [19] исследован состав свободных аминокислот в образцах сушеного топинамбура. Установлено, что основными из них являются глутаминовая кислота, глутамин, аспарагин, аргинин и треонин. Известно, что аминокислотный состав сырья может оказывать влияние на протекание процесса сбраживания и характеристику готового продукта, так как определенные аминокислоты являются предшественниками образования ряда высших спиртов. К примеру, треонин, валин, лейцин и фенилаланин могут повышать содержание в сброженном сусле таких спиртов как пропиловый, изобутиловый, изоамиловый и 2-фенилэтанол соответственно. Высшие спирты являются важнейшими летучими составляющими спиртных напитков. Причем, на органолептические характеристики готового продукта оказывает влияние не только содержание отдельных спиртов, но и их соотношение.

В целом, применение сушеного топинамбура для производства спиртных напитков на основе дистиллятов, по сравнению, с использованием свежих клубней имеет следующие преимущества:

- возможность внесезонной переработки;
- стабильность биохимического состава сырья и повышение его микробиологических характеристик;
- упрощение технологической схемы переработки;
- деполимеризация основных углеводов компонентов сырья и, как следствие, повышение степени их доступности к ферментативному гидролизу;
- полноценность белкового комплекса, в связи с высоким содержанием растворимых белков и свободных аминокислот.

### 3.2 Стадия получения осахаренного суслу

При разработке новой высокоэффективной технологии спиртных напитков из сушеного топинамбура на первом этапе работ необходимо было установить закономерности изменения углеводного комплекса исходного сырья в процессе получения осахаренного суслу.

В качестве метода деполимеризации фруктозанов сырья, среди известных, был выбран ферментативный. В исследованиях для гидролиза фруктозосодержащих углеводов сушеного топинамбура применяли ферментный препарат отечественного производства, содержащий микробную экзоинулиназу Inul A. Awamori [20].

Эксперименты были проведены в двух вариантах: вариант А — гидролиз полимеров сырья под действием собственных инулиназ топинамбура; вариант В — гидролиз при совместном действии инулиназ сырья и микробной экзоинулиназы в дозировке, принятой при гидролизе крахмало-содержащего сырья — 7,5 ед./г инулина сырья.

Результаты исследований (Табл. 3) показали, что предельно-допустимое значение гидромодуля, оцененное по текучести технологических сред, соответствует 1:4,5 (значение не должно превышать 10 с). Внесение микробного ферментного препарата, обладающего активной экзоинулиназой, практически не влияло на текучесть.

Таблица 3

Влияние гидромодуля на процесс получения осахаренного суслу из сушеного топинамбура

Гидро-модуль	Текучесть, с		Концентрация, %			
			Суслу		Экстракт	
	А	В	А	В	А	В
1:6	4	4	12,5	13,4	3,1	3,2
1:5,5	5	4	13,9	14,5	3,4	3,5
1:5	6	5	15,0	16,0	3,7	3,8
1:4,5	8	6	17,0	17,3	4,0	4,1
1:4	25	18	17,5	18,0	4,3	4,4

Установлено, что концентрация суслу при снижении гидромодуля закономерно возрастала (по варианту А — от 12,5 до 17,5%; по варианту В — от 13,4 до 18,0%). Однако, при пересчете на гидромодуль 1:6 она практически не менялась, снижалась лишь при гидромодуле 1:4, что подтверждало получение сред с затрудненным переводом сухих веществ сырья в растворимое состояние из-за сложности прохождения диффузионных процессов.

Эффективность обработки сырья на стадии получения осахаренного суслу в работе также оценивали по влиянию гидромодуля на концентрацию экстракта — продукта, полученного путем смешивания осахаренного суслу с большим количеством воды с последующей фильтрацией. Этот показатель, как показано в работе [21], позволяет получить данные по максимально возможному переводу сухих веществ сырья в растворимое состояние.

Также в работе варьировалась дозировка ферментного препарата, которая составляла от 1,5 до 7,5 ед./г инулина сырья. Суслу готовили согласно выбранному гидромодулю (1:4,5), процесс гидролиза осуществляли при естественном рН среды (рН=6,0), длительность процесса обработки при температуре 55 °С составляла 3 часа (рекомендованные ранее режимные параметры получения суслу из клубней топинамбура [6]). В работе было рассмотрено два варианта получения суслу: вариант I — без использования микробной протеазы (ферментного препарата протеолитического действия Нейтраза 0,8 L), вариант II — с использованием микробной протеазы. Цель выполнения исследований по второму варианту заключалась в выявлении возможно-

сти повышения эффективности подготовки сушеного топинамбура к дистилляции, так как ранее в работе [22], посвященной изучению процесса получения осветленного осахаренного суслу из свежих клубней топинамбура, было показано, что использование Нейтразы 0,8 L — препарата, обладающего эндопротеиназной активностью, увеличивает переход фруктозанов сырья в растворимое состояние вследствие их высвобождения из связанного состояния с белком (рекомендуемая дозировка Нейтразы составляла 0,01–0,02 ед. ПС/г белка сырья).

Установлено что, содержание редуцирующих сахаров с увеличением дозировки внесения микробной инулиназы закономерно возрастало [23]. С экономической точки зрения предпочтительна дозировка инулиназы на уровне 3,0–4,5 ед./г инулина сырья.

Как известно, процесс ферментативного гидролиза полимеров сырья протекает во времени. При получении суслу из клубней топинамбура, была выбрана продолжительность, равная трем часам [6]. Изучение динамики изменения концентрации сухих веществ и свободных редуцирующих сахаров при переработке сушеного топинамбура также позволило обосновать длительность процесса — 3 часа [23].

При разработке высокоэффективных технологий пищевых продуктов, основанных на ферментативном гидролизе полимеров растительного сырья, необходимо учитывать весь комплекс процессов, происходящих в нем под действием как собственных ферментов, так и вносимых с ферментными препаратами. При этом необходимо учитывать следующие основные факторы: в первую очередь — это особенности биополимеров данного растительного сырья, гетерогенность субстрата, присутствие разного рода эффекторов, способных активировать и/или ингибировать как эндогенные ферменты, так и ферменты в составе ферментных препаратов.

Одним из факторов, определяющих эффективность ферментативного гидролиза полимеров сырья, является создание оптимального рН технологической среды. При переработке сушеного топинамбура при выбранном гидромодуле (1÷4,5) рН среды находится на уровне 6,0–6,5. Используемый микробный ферментный препарат Inul A. Awamori, обладающий экзоинулиназной активностью, проявлял, по данным производителя [20], максимальную активность при рН 4,0–4,5; ферментный препарат Нейтраза 0,8 L и собственные инулиназы сырья при рН 6,0–6,5.

Также в работе учитывалось, что по сравнению с зерном, которое предложено использовать в качестве основного сырья для получения дистиллятов и спиртных напитков на их основе [24,25,26], топинамбур содержит повышенное количество пектиновых веществ. Среди них преобладает нерастворимый протопектин [27], что следует считать положительным, с позиции оценки данного вида сырья. Вместе с тем, пектин топинамбура характеризуется высокой степенью метоксилирования, то есть в случае ферментативного гидролиза сырья, под действием пектинэстеразы в конечном продукте может накапливаться сверхнормативное содержание метилового спирта.

Данные о пектинэстеразе топинамбура позволяют прогнозировать содержание метанола в продукте и рекомендовать на основе теоретических предпосылок оптимальные технологические параметры на всех стадиях переработки клубней. Установлено, что пектинэстеразная активность топинамбура варьирует в пределах 0,22–0,35 ед./г, что, на первый взгляд, характеризует ее как низкую. Однако, при ее расчете на 1 г пектина сырья цифры значительно возрастают (в среднем до 40 ед./г). Причем выявлено, что пектинэстераза топинамбура проявляет максимальную активность в нейтральной среде при рН 6,0–7,0. Путем подкисления суслу до рН 4,5–5,0 мож-

но снизить ее активность на 25–50%. Такой технологический прием, как известно, приводит также к улучшению микробиологической чистоты сбраживаемого суслу.

Данные по влиянию режимных параметров переработки топинамбура на содержание отдельных сахаров в осахаренном сусле представлены в Табл. 4.

Таблица 4

**Влияние режимных параметров переработки топинамбура на содержание отдельных сахаров в осахаренном сусле**

Содержание сахаров, г/100 см <sup>3</sup>	Образцы осахаренного суслу			
	1* (рН=6,0)	2* (рН=4,5)	3** (рН=6,0)	4** (рН=4,5)
Фруктоза	5,62	8,80	6,57	9,16
Глюкоза	0,90	2,02	1,08	2,13
Сахароза	2,18	1,06	2,08	1,05
Трифруктозан	0,11	0,09	0,08	0,10
Сумма сахаров	8,80	11,97	9,81	12,44

\* Без использования микробной протеазы

\*\* С внесением микробной протеазы

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы. Подкисление замеса до рН=4,5 повышает суммарное содержание сахаров в сусле на 26,8–36,0% по сравнению с образцами, полученными при естественном значении рН=6,0, в основном за счет увеличения массовой доли фруктозы и глюкозы. Содержание сахарозы, напротив, снижается почти в 2 раза. Вероятнее всего данный факт связан с созданием более оптимальных условий для действия микробной инулиназы.

Дополнительное внесение микробной эндопротеиназы в варианте без подкисления повышает суммарное содержание сахаров на 11,5% (образцы 01 и 03), при подкислении данное увеличение составляет около 4%, то есть в варианте с подкислением среды эффективность действия Нейтразы 0,8 L снижается и его внесение становится экономически нецелесообразным.

В целом, и с учетом результатов исследований, представленных в работе [28] по выявлению влияния режимных параметров переработки сушеного топинамбура на углеводный и белковый состав осахаренного суслу, рекомендовано два варианта подготовки сырья к сбраживанию:

- вариант 1 — дополнительное внесение Нейтразы 0,8 L и переработку сырья при естественном рН замеса.
- вариант 2 — подкисление замеса до рН=4,5 и проведение процесса без дополнительного внесения Нейтразы 0,8 L.

Преимущество одного из двух вариантов было определено после проведения экспериментов по сбраживанию образцов осахаренного суслу и анализу сброженного суслу по крепости и содержанию отдельных летучих компонентов.

### 3.3. Стадия сбраживания осахаренного суслу

Сбраживание является одним из основных этапов при производстве дистиллятов, в ходе которого под действием ферментного комплекса дрожжей происходит начальное формирование качественных показателей продукта.

Эффективность процесса сбраживания инулинсодержащего сырья зависит от ряда факторов, в том числе от химического состава суслу, его концентрации, степени гидролиза полимеров сырья, используемой расы дрожжей, их физиологического состояния и особенностей метаболизма, продолжительности сбраживания и температурных режимов проведения процесса.

На первом этапе процесс сбраживания осахаренного суслу из сушеного топинамбура осуществляли с использованием сухих спиртовых (Fermiol), винных (SIHA activhefe 3)

и пивоваренных (Safbrew WB-06) дрожжей. Известно, что увеличение нормы внесения дрожжей интенсифицирует процесс сбраживания, особенно на первых этапах. Учитывая высокое содержание потенциально сбраживаемых углеводов в сушеном топинамбуре, представленных преимущественно олигосахаридами и низкомолекулярными фракциями инулина, в работе провели эксперименты по варьированию нормы задачи дрожжей. Были сняты кривые выделения CO<sub>2</sub> при сбраживании осахаренного суслу (норма внесения дрожжей составляла 50, 100 и 200 мг/100 г суслу) [29].

Анализ полученных данных позволил выявить следующие зависимости:

- использование дрожжей в количестве 50 мг/ 100 г суслу не позволяет завершить процесс сбраживания в исследуемом периоде (72 часа);

- увеличение нормы дрожжей со 100 до 200 мг/100 г суслу позволяет повысить количество выделившегося CO<sub>2</sub> на начальном этапе брожения, однако, не влияет на конечную крепость сброженного суслу и длительность процесса.

Дополнительно в работе был рассчитан выход безводного спирта из 1 тонны сырья. Установлено, что использование в качестве сырья сушеного топинамбура, характеризуется высокими показателями по выходу (в лучших вариантах на уровне 41,4–41,7 дал/т сырья). К примеру, при переработке крахмалосодержащего сырья (зерна с сопоставимыми значениями по влажности с предлагаемым новым видом сырья) данный показатель составляет в среднем 30,0–32,0 дал/т. Такой высокий выход безводного спирта в случае использования сушеного топинамбура связан, в первую очередь, с содержанием в нем инулина, массовая доля которого в конкретном образце составляла 69,1% (в зерновых культурах данный показатель находится на уровне 50,0–55,0%).

При разработке технологии нового спиртного напитка из сушеного топинамбура, кроме выхода безводного спирта из единицы переработанного сырья, были определены качественные характеристики полупродуктов производства, в частности сброженного суслу, которые напрямую влияют на органолептические показатели конечного продукта.

Выявлены существенные отличия в содержании отдельных летучих компонентов в образцах в зависимости от расы использованных дрожжей (Табл. 5).

Применение спиртовых дрожжей Fermiol характеризуется пониженным содержанием в сброженном сусле ацетальдегида и метанола, что следует считать положительным при оценке состава летучих компонентов данных образцов. Суммарное содержание высших спиртов варьируется от 4057 до 4802 мг/дм<sup>3</sup> безводного спирта. Причем, использование спиртовых и винных дрожжей практически одинаково влияет на значение данного показателя, применение пивоваренных дрожжей повышает его. Кроме того, выявлены существенные отличия в содержании отдельных высших спиртов в образцах.

Получение суслу с подкислением среды до pH=4,5 при использовании всех рас дрожжей позитивно влияет на состав летучих компонентов сброженного суслу. Установлено, что содержание ацетальдегида — компонента, негативно влияющего на органолептические характеристики конечного продукта, снижается в среднем на (5...15)% (последнее значение соответствует пробе, полученной с использование спиртовых дрожжей Fermiol); метанола — примеси, характеризующий безопасность продукции и регламентированной при производстве спиртных напитков, уменьшается на 10–35%, причем наибольшей степени также при использовании спиртовых дрожжей Fermiol.

Таблица 5

Влияние расы и нормы внесения дрожжей на содержание летучих компонентов в сброженном сусле

Содержание летучих компонентов, мг/дм <sup>3</sup> безводного спирта	Норма внесения дрожжей, мг/100 г суслу					
	Fermiol		SIHA activhefe 3		Safbrew WB-06	
	pH 6,0	pH 4,5	pH 6,0	pH 4,5	pH 6,0	pH 4,5
Ацетальдегид	2319	2003	2962	2718	4506	4302
Этилацетат	233	180	151	131	262	243
Метанол	2928	1933	3487	3004	3752	3392
Высшие спирты, в т.ч.:	4480	4057	4448	4095	4802	4440
— 1-пропанол	793	718	696	599	1551	1402
— Изобутанол	1039	925	947	801	800	695
— Изоамилол	2648	2414	2805	2695	2451	2343
Энантовый эфир	50	49	32	30	48	45
Фенилэтиловый спирт	222	202	199	181	363	318
Сумма летучих компонентов *	10387	8574	11371	10301	13884	12902

\* При определении суммы летучих компонентов учитывались все идентифицированные летучие компоненты, некоторые из них в иллюстративных материалах не представлены.

В целом исследование динамики выделения диоксида углерода, определение крепости образцов при выбранной длительности процесса и анализ летучих компонентов в сброженных образцах суслу показывает, что применение спиртовых дрожжей Fermiol имеет ряд преимуществ, поскольку они позволяют интенсифицировать процесс сбраживания и получить сброженное сусле с максимальной крепостью и минимальным содержанием в нем таких негативно влияющих на конечный продукт летучих компонентов, как ацетальдегид и метанол.

#### 4. Заключение

Установлено, что по сравнению с клубнями топинамбура сушеный топинамбур характеризуется улучшением биохимического состава в связи с увеличением в нем низкомолекулярных фракций фруктозанов и, как следствие, повышением степени доступности полимеров сырья к ферментативному гидролизу. Оценка белкового комплекса сырья показала, что сушеный топинамбур характеризуется высоким содержанием растворимых белков, в первую очередь альбуминов, и свободных аминокислот, что позволяет оценить данный вид сырья как полноценный для азотного питания дрожжей.

Разработаны режимные параметры двухстадийного способа подготовки сушеного топинамбура к дистилляции, включающие на первой стадии получение осахаренного суслу при гидромодуле 1÷4,5, дозировке микробной инулиназы 3,0–4,5 ед.ИН/г инулина сырья, подкислением среды до pH=4,5, проведение ферментативного гидролиза при температуре 55 °С в течение 3 часов; на второй стадии при сбраживании осахаренного суслу использовать сухие спиртовые дрожжи Fermiol, вносимые в количестве 100 мг/100 г суслу, процесс вести при температуре 28–30 °С в течение 3 часов.

**1. Introduction**

Recently, there has been a trend in Russia to change the priorities of consumers when choosing strong alcohol products. Significant interest is shown in alcoholic beverages with the flavor and taste of the raw materials, the choice of which should be guided by a number of factors: the volume of its procurement in the country and the absence of intense competition with manufacturers of other industries; costs associated with its acquisition, and their share in the cost of finished products; peculiarities of biochemical composition, allowing to achieve the required organoleptic parameters.

One of the promising types of new non-traditional for the wine industry is Jerusalem artichoke. The natural and climatic conditions of the Russian Federation make it possible to grow this crop in sufficient quantities for production. In addition, there is currently no competition between industries using Jerusalem artichoke as raw material. The wide interest in the use of Jerusalem artichoke in several branches of the food industry is explained by the high economic efficiency of production and processing [1,2,3,4].

Fresh Jerusalem artichoke, in terms of storage, is a difficult raw material. According to the recommendations of GOST 32790–2014, it is stored in containers in clean, well ventilated premises (vegetable stores, kagats) or cold rooms at temperatures from minus 4 °C to plus 1 °C and relative air humidity (85 ... 90)%. German specialists consider Jerusalem artichoke tubers exclusively as seasonal raw materials that can not be stored [5].

As an alternative, we can consider the option of using dried Jerusalem artichoke — an industrial product. The advantages of the latter include, first, the possibility of year-round production, secondly, the stability of its biochemical composition and high microbiological purity. In addition, the use of dried Jerusalem artichoke makes it possible to significantly simplify the technological process, eliminating such operations as washing of raw materials and its crushing.

The review of scientific and technical literature, devoted to the processing of Jerusalem artichoke tubers shows that the technologies, used in fermentation plants can be divided into two classes. In accordance with the first, the raw material is subjected to a two-stage treatment prior to rectification, that is, first the sugared wort is obtained from the crushed material, and then yeast is introduced into it and the fermentation process is carried out. At the stage of obtaining the sugared wort by domestic specialists, the perspective of enzymatic hydrolysis of inulin of the raw material is shown to be due to its self-saccharification under the action of its own inulinases [4,6]. The one-stage schemes for the processing of Jerusalem artichoke tubers, which do not provide for the stage of obtaining the sugared wort, are offered mainly by foreign specialists. According to the French scientists [7, 8], when processing Jerusalem artichoke tubers that were not subjected to preliminary hydrolysis, it is inappropriate to use yeast of the *S. cerevisiae* type, since they do not have inulinase activity. It is promising to use, in this case, a yeast of the genus *Kluyveromyces*. Was carried out researches on fermentation of wort from Jerusalem artichoke with *Kl. marxianus* [7,9,10] and *Kl. fragilis* [8] yeasts.

**2. Materials and Methods**

As a raw material in the work, were used tubers of Jerusalem artichoke of the «Skorospelka» variety and samples of dried Jerusalem artichoke .

Analysis of the biochemical composition of raw materials included the determination of the fractional composition of fructose containing carbohydrates of raw materials, carried out using a scheme that included the separation of three fractions: FI — reducing free sugars; FII — oligosaccharides and low molecular

weight fractions of inulin; FIII — high-molecular fractions of inulin [6]. The subsequent determination of sugars in the FI fraction and hydrolysates of the FII and FIII fractions was carried out by the method of high-performance liquid chromatography [11].

The fractional composition of proteins of dried Jerusalem artichoke was determined using the method of their isolation according to T. Osborne, which provides for an exhaustive sequential extraction. At the same time, the albumin release was carried out with distilled water, globulins — 10% NaCl, prolamin — 70% ethanol and glutelins — 0.2% NaOH solution [12]. The composition of free amino acids in the feedstock was evaluated using the method of high-performance liquid chromatography [13].

The composition of the sugared wort and extract was studied by determining the mass concentration of solids by a refractometric method. The yield strength was determined in conventional units: by the number of milliliters of wort, emanating from the funnel through a nozzle of a certain size for the time required to drain from the funnel 100 cm<sup>3</sup> of water or by the time of the expiration of a certain volume of wort through the calibration hole. The expiration time was measured with a stopwatch. The content of individual sugars by the method of high-performance liquid chromatography [11].

When studying the composition of fermented wort, the dynamics of CO<sub>2</sub> emission by weight method was determined, the mass concentration of alcohol in fermented wort was determined by the method of [14], the content of volatile components by the gas chromatography method in accordance with GOST 33834–2016.

**3. Results and Discussion**

**3.1 Biochemical Composition of Jerusalem Artichoke**

When evaluating the biochemical composition of Jerusalem artichoke, the main research of scientists is aimed at studying its carbohydrate complex [3, 6, 15], which is based on fructose and its polymers of varying degrees of complexity, the highest homologue of which is inulin — the highest molecular weight among fructosans. At present, it is believed that inulin belongs to the group of polyfructosans with the empirical formula (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) and is a polyfructose chain in which the D-fructose residues (up to 96%) are bound by a β-2,1 bond, with each chain from the unreduced end ends with a D-glucose molecule (up to 6%), connected with fructose by a β-1,2-bond.

When choosing technological regimes for preparing Jerusalem artichoke for fermentation, it is necessary to take into account not only the total content of fructose containing components, but also their fractional composition, since the process of enzymatic hydrolysis of carbohydrates of raw materials depends, first, on the ability of polymers to pass into a soluble state, and secondly, on the degree of their polymerization. When analyzing fresh tubers of Jerusalem artichoke, it is established (Table 1) that carbohydrates in raw materials are dominated by fractions of FII and FIII, their content varies accordingly (29.1 ... 33.9)% and (41.0 ... 54.4)%. In the samples of dried Jerusalem artichoke, were revealed significant changes in the fractional composition of these components.

Table 1

**Fractional Composition of Fructose-Containing Carbohydrates in Jerusalem Artichoke**

Fraction	Content,% in Dry Matter (DM)	
	Jerusalem Artichoke Tubers	Dried Jerusalem Artichoke
FI	1.5 ± 0.2	6.6 ± 0.3
FII	32.0 ± 1.9	50.4 ± 3.5
FIII	47.7 ± 6.7	11.1 ± 2.4
Fraction S	79.5 ± 8.8	68.1 ± 6.2

It is established that during the drying of raw materials, the content of low-molecular fractions increases in it. The amount of free reducing sugars increases by an average of 3–4 times, the fraction of FII increases by more than 1.5 times. This fact is connected with the process of enzymatic hydrolysis of high molecular weight fractions of inulin under the action of the own inulinases of raw materials (according to the data of domestic scientists, the total hydrolase activity in the tubers of Jerusalem artichoke is 3.3 to 4.5 units/g of inulin of the raw material [16]).

In addition to carbohydrates, Jerusalem artichoke tubers contain nitrogenous substances, micro- and macro elements, and vitamins. The content of nitrogenous substances varies in the range from 4.3 to 11.0% [17]. Proportion of protein nitrogen accounts for 57–59%, non-protein – 41–43%. Ukrainian researchers [18] found that the balance of irreplaceable amino acids, Jerusalem artichoke exceeds the grain of cereals.

Analysis of the protein complex of samples of dried Jerusalem artichoke showed that the main proteins in them are albumins, the mass fraction of which varies within 2.5–3.3%, the content of globulins is 0.24–0.33%. In the samples of dried Jerusalem artichoke, obtained from the tubers of the «Skorospelka» variety, prolamins and glutelins were not found (Table 2).

Table 2

**Content of Protein Fractions in Dried Jerusalem Artichoke**

Nitrogen Fractions (in % of Total Protein Nitrogen)					
Albumins	Globulins	Prolamins	Glutelins	Non-protein	Insoluble Residue
59.9 ± 1.6	5.5 ± 0.4	—	—	29.6 ± 1.3	6.0 ± 2.4

It is known that the protein fraction of the raw material has a different substrate specificity. Water- and soluble proteins are more easily subjected to enzymatic hydrolysis, since they are hydrophilic, unlike prolines and glutelins. In general, despite the general low protein content in Jerusalem artichoke, compared with its content in grain (average 10–13%, among them soluble proteins – no more than 30%), this kind of raw material, from the point of view of its nitrogen content, can be consider full.

Also in [19] was researched the composition of free amino acids in samples of dried Jerusalem artichoke. It has been established that the main ones are glutamic acid, glutamine, asparagine, arginine and threonine. It is known that the amino acid composition of the raw material can influence on the course of the fermentation process and on the characteristics of the finished product, since certain amino acids are the precursors of the formation of a number of higher alcohols. For example, threonine, valine, leucine and phenylalanine can increase the content of alcohols in fermented wort such as propyl, isobutyl, isoamyl and 2-phenylethanol, respectively. Higher alcohols are the most important volatile constituents of alcoholic beverages. Moreover, the organoleptic characteristics of the finished product are affected not only by the content of individual alcohols, but also by their ratio.

In general, the use of dried Jerusalem artichoke for the production of alcoholic beverages based on distillates, compared with the use of fresh tubers has the following advantages:

- possibility of off-season processing;
- stability of the biochemical composition of raw materials and increase of its microbiological characteristics;
- simplification of the technological scheme of processing;
- depolymerization of the main carbohydrate components of raw materials and, as a consequence, increase of their accessibility to enzymatic hydrolysis;

- the usefulness of the protein complex, due to the high content of soluble proteins and free amino acids.

### 3.2 The Step of Obtaining Saccharified Wort

When developing a new highly effective technology for alcoholic beverages from dried Jerusalem artichoke at the first stage of the work, it was necessary to establish the patterns of change in the carbohydrate complex of the raw material in the process of obtaining the saccharified wort.

As a method of depolymerization of raw materials fructosans, among known, fermentative was chosen. In studies for the hydrolysis of fructose-containing carbohydrates of dried Jerusalem artichoke, was used an enzyme preparation of domestic production, containing Inul A. Awamori microbial exoinulinase [20].

The experiments were carried out in two versions: variant A – raw materials polymers hydrolysis under the influence of their own inulinases of Jerusalem artichoke; variant B – hydrolysis with the combined action of inulinase of raw materials and microbial exoinulinase in the dosage adopted during hydrolysis of starch-containing raw materials – 7.5 units/g of inulin raw material.

The results of the studies (Table 3) showed that the maximum permissible value of the hydromodule, estimated by the fluidity of technological media, corresponds to 1: 4.5 (the value should not exceed 10 s). The introduction of a microbial enzyme preparation with an active exoinulinase had practically no effect on fluidity.

Table 3

**Influence of Hydromodule on the Obtaining Saccharified Wort Process from Dried Jerusalem Artichoke**

Hydro-module	Flowability, s		Concentration, %			
			Wort		Extract	
	A	B	A	B	A	B
1:6	4	4	12.5	13.4	3.1	3.2
1:5.5	5	4	13.9	14.5	3.4	3.5
1:5	6	5	15.0	16.0	3.7	3.8
1:4.5	8	6	17.0	17.3	4.0	4.1
1:4	25	18	17.5	18.0	4.3	4.4

It was found, that the concentration of wort with a decrease in the hydromodule naturally increased (according to variant A – from 12.5 to 17.5%, according to variant B – from 13.4 to 18.0%). However, when converted to a 1: 6 hydromodule, it practically did not change, it decreased only when the hydromodule was 1:4, which confirmed the production of media with a difficult transfer of raw solids to a soluble state due to the complexity of diffusion processes.

The efficiency of processing the raw material at the stage of obtaining the saccharified wort in the work was also evaluated by the effect of the hydromodule on the concentration of the extract, the product obtained by mixing the saccharified wort with a large amount of water, followed by filtration. This index, as shown in [21], makes it possible to obtain data on the maximum possible conversion of raw solids to a soluble state.

Also, the dosage of the enzyme preparation varied from 1.5 to 7.5 units/g inulin of the raw material. The wort was prepared according to the selected hydromodule (1:4.5), the hydrolysis process was carried out at the natural pH of the medium (pH 6.0), the processing time at 55 °C was 3 hours (the recommended regime parameters for obtaining the wort from the tubers of Jerusalem artichoke [6]). Two variants of wort preparation were considered in the work: variant I – without the use of microbial protease (enzyme preparation of proteolytic action of Neutrase 0.8 L), variant II – with the use of microbial protease. The purpose of the research on the second option was to identify

the possibility of increasing the efficiency of the preparation of dried Jerusalem artichoke for distillation, since earlier in work [22], devoted to the study of the process of obtaining clarified saccharified wort from fresh tubers of Jerusalem artichoke, it was shown that the use of Neutrase 0.8 L — a drug, with endoprotease activity increases the conversion of raw fructosans into a soluble state due to their release from the bound state to the protein (the recommended dosage of Neutrase were 0.01–0.02 units PS/g of protein raw materials).

It was established that the content of reducing sugars with increasing dosing of microbial inulinization naturally increased [23]. From the economic point of view, inulin dosage is preferred at the level of 3.0–4.5 units/g of the raw material inulin.

As is known, the process of enzymatic hydrolysis of polymers of raw materials proceeds in time. When obtaining the wort from the Jerusalem artichoke tubers, a duration of three hours was chosen [6]. The study of the dynamics of the change in the concentration of dry substances and free reducing sugars during processing of dry Jerusalem artichoke also allowed to justify the duration of the process — 3 hours [23].

When developing highly effective food technologies based on the enzymatic hydrolysis of polymers of plant raw materials, it is necessary to take into account the whole complex of processes occurring in it under the action of both own enzymes and those introduced with enzyme preparations. It is necessary to take into account the following main factors: first of all, these are the peculiarities of the biopolymers of this plant material, the heterogeneity of the substrate, the presence of various effectors capable of activating and/or inhibiting both endogenous enzymes and enzymes in the composition of enzyme preparations.

One of the factors determining the efficiency of enzymatic hydrolysis of raw polymers is the creation of an optimal pH of the technological medium. When processing dried Jerusalem artichoke at the selected hydromodule (1 ÷ 4.5) the pH of the medium is at the level of 6.0–6.5. The microbial enzyme preparation Inul A. Awamori, which possesses exoinulinase activity, showed, according to the manufacturer’s data [20], the maximum activity at pH=4.0–4.5; enzyme preparation Neutrase 0,8 L and own inulinases of raw materials at pH=6.0–6.5.

It was also taken into account that, in comparison with grain, which is proposed to be used as the main raw material for the production of distillates and spirits on their basis [24,25,26], Jerusalem artichoke contains an increased amount of pectin substances. Among them, insoluble protopectin predominates [27], which should be considered positive from the point of view of this type of raw material. At the same time, Jerusalem artichoke pectin is characterized by a high degree of methoxylation, that is, in the case of enzymatic hydrolysis of raw materials, pectin esterase may accumulate excess methyl alcohol content in the final product.

The data on pektinesterase of Jerusalem artichoke make it possible to predict the content of methanol in the product and recommend, on the basis of theoretical assumptions, optimal technological parameters at all stages of tuber processing. It was found that the pectin-esterase activity of Jerusalem artichoke varies in the range of 0.22–0.35 units/g, which, at first glance, characterizes it as low. However, with its calculation for 1 g of pectin raw material figures increase significantly (an average of 40 units/g). Moreover, it was revealed that the Jerusalem artichoke pectin esterase exhibits maximum activity in a neutral medium at pH=6.0–7.0. By acidifying the wort to a pH of 4.5–5.0, its activity can be reduced by 25–50%. Such a technique, as is known, also leads to an improvement in the microbiological purity of fermentable wort.

The data on the influence of the regime parameters of the Jerusalem artichoke processing on the content of individual sugars in the saccharified wort are presented in Table 4.

Table 4

**Influence of Regime Parameters of Jerusalem Artichoke Processing on the Content of Individual Sugars in Saccharified Wort**

Sugars Content, g/100 sm <sup>3</sup>	Saccharified Wort Samples			
	1* (pH= 6,0)	2* (pH =4,5)	3** (pH =6,0)	4** (pH =4,5)
Fructose	5.62	8.80	6.57	9.16
Glucose	0.90	2.02	1.08	2.13
Sucrose	2.18	1.06	2.08	1.05
Trifruktosane	0.11	0.09	0.08	0.10
Sugars Sum	8.80	11.97	9.81	12.44

\* Without use of microbial protease

\*\* With the introduction of microbial protease

The obtained data allow us to draw the following conclusions. Acidification to pH=4.5 increases the total content of sugars in wort by 26.8–36.0% compared to samples obtained at a natural pH=6.0, mainly due to an increase in the mass fraction of fructose and glucose. The content of sucrose, conversely, decreases almost in 2 times. Most likely this fact is related to the creation of more optimal conditions for the action of microbial inulinase.

The supplemental application of microbial endoprotease in the variant without acidification raises the total sugar content by 11.5% (samples 01 and 03), with acidification this increase is about 4%, that is, in the variant with acidification of the medium, the effectiveness of Neutrase activity 0.8 L decreases and its the introduction becomes economically impractical.

In general, and taking into account the results of the studies, presented in work [28] of identifying the effect of the regime parameters of dried Jerusalem artichoke processing on the carbohydrate and protein composition of the saccharified wort, two options for preparing the raw materials for fermentation are recommended:

- Option 1 — additional application of Neutrase 0.8 L and processing of raw materials at the natural pH of the batch.
- Option 2 — acidification of the batch to pH 4.5 and process without additional application of Neutrase 0.8 L.

The advantage of one of the two variants was determined after experiments on fermenting the saccharified wort samples and analysis of fermented wort on the strength and content of individual volatile components.

### 3.3 Fermentation stage of Saccharified Wort

Fermentation is one of the main stages in the production of distillates, during which the initial formation of quality indices of the product takes place under the action of the yeast enzyme complex.

The effectiveness of the fermentation process of inulin-containing raw materials depends on a number of factors, including the chemical composition of the wort, its concentration, the degree of hydrolysis of the raw material polymers, the used yeast races, the physiological state and metabolic features, the duration of fermentation, and the temperature regimes of the process.

At the first stage, the process of fermenting the saccharified wort from dried Jerusalem artichoke was carried out, using dry alcohol (Fermiol), wine (SIHA activhefe 3) and brewing (Safbrew WB-06) yeast. It is known that an increase in the rate of application of yeast intensifies the process of fermentation, especially at the first stages. Given the high content of potentially fermentable carbohydrates in dried Jerusalem artichoke, represented mainly by oligosaccharides and low molecular weight fractions of inulin, experiments were performed to vary the norm of the yeast problem. The CO<sub>2</sub> emission curves for fermenting saccharified wort were removed (the rate of yeast application was 50, 100 and 200 mg/100 g of wort) [29].

Analysis of the data obtained to reveal the following dependences:

- the use of yeast in the amount of 50 mg/100 g of wort doesn't allow the fermentation process to be completed in the study period (72 hours);
- increasing the yeast rate from 100 to 200 mg/100 g of wort makes it possible to increase the amount of released CO<sub>2</sub> at the initial stage of fermentation, however, it doesn't affect the final fortress of fermented wort and the duration of the process.

In addition, the work calculated the yield of anhydrous alcohol from 1 ton of raw materials. It is established that the use of dried Jerusalem artichoke as a raw material is characterized by high yields (in the best versions at the level of 41.4–41.7 dal / t of raw materials). For example, when processing starch-containing raw materials (grains with comparable moisture values with the proposed new raw material type), this indicator averages 30.0–32.0 dal / t. Such a high yield of anhydrous alcohol in the case of the use of dried Jerusalem artichoke is primarily related to the content of inulin, the mass fraction of which in a specific sample was 69.1 % (in cereals this indicator is at the level of 50.0–55.0 %).

When developing the technology of a new alcoholic beverage from dried Jerusalem artichoke, in addition to the yield of anhydrous alcohol from a unit of processed raw materials, the qualitative characteristics of the intermediates of production, in particular fermented wort, were determined that directly affect on the organoleptic characteristics of the final product.

Were found significant differences in the content of individual volatile components in the samples, depending on the race of used yeast (Table 5).

Table 5

**Influence of Race and Rate of Yeast Application on the Content of Volatile Components in Fermented Wort**

Volatile Component Content, mg/dm <sup>3</sup> of Anhydrous Alcohol	Rate of Yeast Application, mg/100 g of the Wort					
	Fermiol		SIHA activhefe 3		Safbrew WB-06	
	pH=6.0	pH=4.5	pH=6.0	pH=4.5	pH=6.0	pH=4.5
Acetaldehyde	2319	2003	2962	2718	4506	4302
Ethyl Acetate	233	180	151	131	262	243
Methanol	2928	1933	3487	3004	3752	3392
Higher Alcohols, Including:	4480	4057	4448	4095	4802	4440
— 1-propanol	793	718	696	599	1551	1402
— Isobutanol	1039	925	947	801	800	695
— Isoamylol	2648	2414	2805	2695	2451	2343
Enanthic Ether	50	49	32	30	48	45
Phenylethyl Alcohol	222	202	199	181	363	318
Volatile Components Sum*	10387	8574	11371	10301	13884	12902

\* When determining the amount of volatile components, all identified volatile components were taken into account, some of them are not represented in the illustrative materials.

The use of alcoholic yeast Fermiol is characterized by a lower content of acetaldehyde and methanol in the fermented wort, which should be considered positive when evaluating the volatile components of these samples. The total content of higher alcohols varies from 4057 to 4802 mg/dm<sup>3</sup> of anhydrous alcohol. Moreover, the use of alcohol and wine yeast almost equally affects on the value of this indicator, the use of brewing yeast increases it. In addition, there were significant differences in the content of individual higher alcohols in the samples.

Obtaining the wort with acidification of the medium to pH 4.5 with all yeast races has a positive effect on the composition of the volatile components of the fermented wort. It was found that the content of acetaldehyde, a component, which negatively affecting the organoleptic characteristics of the final product, is reduced by an average of (5 ... 15)% (the latter value corresponds to a sample, obtained with use of alcohol yeast Fermiol); methanol — an impurity, characterizing the safety of products and regulated in the production of alcoholic beverages, is reduced by 10–35 %, the greatest degree also with the use of alcoholic yeast Fermiol.

In general, the study of carbon dioxide evolution dynamics, the determination of the samples strength at the chosen process time and the analysis of volatile components in fermented wort samples shows, that the use of Fermiol alcohol yeast has several advantages, since they allow intensifying the fermentation process and obtaining fermented wort with maximum strength and minimum content in it has such negative effects on the final product of volatile components, such as acetaldehyde and methanol.

**4. Conclusion**

It is established that, in comparison with the tubers of Jerusalem artichoke, dried artichoke is characterized by an improvement in its biochemical composition due to the increase in it of low-molecular fractions of fructosans and, as a consequence, by an increase in the availability of polymers of raw materials to enzymatic hydrolysis. Evaluation of the protein complex of raw materials has shown that dried artichoke is characterized by a high content of soluble proteins, primarily albumins, and free amino acids, which makes it possible to evaluate this type of raw material as high-grade for nitrogen nutrition of yeast.

Were developed the regime parameters of the two-stage method for the preparation of dried Jerusalem artichoke for distillation. They include, in the first stage, the preparation of saccharified wort with the hydromodule 1 ÷ 4.5, the dosage of microbial inulinase of 3.0–4.5 units of IN/g of inulin of the feed, acidification of the medium to pH 4, 5, carrying out enzymatic hydrolysis at a temperature of 55 °C for 3 hours; in the second stage, fermented saccharified wort should use dry alcoholic yeast Fermiol, introduced in the amount of 100 mg/100 g of wort, the process is conducted at a temperature of 28–30 °C for 3 hours.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Васильева Е.А. (2007). Использование добавок из топинамбура для расширения ассортимента продукции. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 51–54.
2. Кочнев Н.К., Калиничева М.В. (2002). Топинамбур — биоэнергетическая культура XXI века. М, Арес.—76 с. ISBN5-902277-01-9
3. Зеленков В.Н., Шаин С.С. (2000). Многоликий топинамбур в прошлом и настоящем Новосибирск, Арис.— 242 с. ISBN: 5-93239-017-4
4. Патент РФ № 2161652. Способ производства этилового спирта из топинамбура / Крикунова Л.Н., Александрова М.М., Ильяшенко Н.Г., Шаненко Е.Ф. Опубл. 10.01.2001. Бюл. № 1.
5. Peter Dürr, Werner Albrecht, Manfred Gössinger, Klaus Hagmann, Daniel Pulver, Ger Scholten. (2010) Technologie der Obstbrennerei. Eugen Ulmer K G.—326 p.
6. Крикунова Л.Н., Александрова М.М. (2000). Энерго- и ресурсосберегающая технология этанола из топинамбура I. Сравнительная характеристика способов подготовки сырья к сбраживанию. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 6, 64–67.
7. Chabbert N., Braun Ph., Guirand J.P., Arnoux M., Galzy P. (1983). Productivity and fermentability of Jerusalem artichoke according to harvesting date. *Biomass*, 3(3), 209–224

8. Chabbert N., Guirand J.P., Arnoux M., Galzy P. (1985). The advantageous use of an early Jerusalem artichoke cultivar for the production of ethanol. *Biomass*, 8(3), 233–240.
9. Gibbons W.R. (1989). Batch and continuous solid-phase fermentation of Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 67(4), 258–265.
10. Pejin D., Gacesa S., Razmovski R., Popov S. (1985). Ethanol production from topinambur. *Prehranb. — technol. Rev.*, 1–2, 11–18
11. Методика измерения массовой концентрации сахаров и глицерина в алкогольных и безалкогольных напитках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Свидетельство об аттестации № 01.00225/205–54–12, 2012
12. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Колпакова В.В., Витол И.С., Кобелева И.Б. (2006). Пищевая химия. Лабораторный практикум. Санкт-Петербург, ГИОРД.— 304 с. ISBN978–5\_98879\_143\_0
13. Методика измерения массовой концентрации свободных аминокислот в напитках алкогольных и безалкогольных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Свидетельство об аттестации № 01.00225/205–48–12, 2012
14. Полягина Г.В. (1999). Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. М, Колос.— 336 с. ISBN5–10–003184–0
15. Багаутдинова Р.И., Федосеева Г.П. (2000). Продуктивность и фракционный состав углеводного комплекса разных по скороспелости сортов топинамбура. *Сельскохозяйственная биология*, 1, 55–63
16. Четкин Д.В., Крикунова Л.Н., Карпиленко Г.П. (2006). Исследование процесса гидролиза фруктозанов топинамбура под действием собственных гидролаз сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 39–43.
17. Голубев В.Н., Волкова Н.В., Кушалаков Х.М. (1995). Топинамбур — состав, свойства, способы переработки, области применения. М.— 82 с.
18. Федоренченко Л.А., Ремесло Н.В., Бахнина Т.Ю. и др. (1991). Влияние технологической обработки соков топинамбура на их аминокислотный состав. Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевых и перерабатывающих отраслях АПК: Тез. докл. респ. науч. — техн. Конф, 160.
19. Крикунова Л.Н., Песчанская В.А., Ободеева О.Н., Захаров М.А. (2016). Исследование биохимического состава сушеного топинамбура. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 8, 29–33.
20. Волков П.В., Синицина О.А., Федорова Е.А. и др. (2012). Выделение и свойства рекомбинантных инулиназ *Aspergillus sp.*, *Биохимия*, 77 (5), 611–621.
21. Крикунова Л.Н., Стребкова О.С., Гернет М.В. (2007). Режимы и технологические параметры получения и сбраживания осахаренного суслу из ИК-обработанного зерна пшеницы. Часть I. Стадия получения суслу. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 9, 60–63.
22. Крикунова Л.Н., Четкин Д.В., Карпиленко Г.П. (2006). Сравнительная характеристика способов получения осветленного осахаренного суслу из топинамбура. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 70–73.
23. Оганесянц Л.А., Песчанская В.А., Крикунова Л.Н., Ободеева О.Н. (2016). Разработка технологии спиртных напитков на основе дистиллята из топинамбура (Часть 1. Стадия получения осахаренного суслу). *Пиво и напитки*, 6, 34–37.
24. Оганесянц Л.А., Кобелев К.В., Крикунова Л.Н., Песчанская В.А. (2014). Технично-экономическое обоснование выбора сырья для производства зерновых дистиллятов. *Пиво и напитки*, 2, 10–15.
25. Оганесянц Л.А., Кобелев К.В., Песчанская В.А., Рябова С.М. (2014). Сравнительная характеристика способов получения суслу для производства зерновых дистиллятов. *Пиво и напитки*, 3, 44–47.
26. Оганесянц Л.А., Крикунова Л.Н., Песчанская В.А. (2014). Влияние вида сырья на процесс сбраживания суслу для производства дистиллятов. *Пиво и напитки*, 4, 22–25
27. Крикунова Л.Н., Гернет М.В., Четкин Д.В. (2006). Пектиновые вещества топинамбура: содержание, распределение по аналитическим частям, свойства. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 5, 50–54.
28. Крикунова Л.Н., Ободеева О.Н., Захаров М.А. (2017). Влияние режимных параметров переработки топинамбура на углеводный и белковый состав осахаренного суслу. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 21–23.
29. Оганесянц Л.А., Песчанская В.А., Крикунова Л.Н., Ободеева О.Н. (2017). Разработка технологии спиртных напитков на основе дистиллята из топинамбура (Часть 2. Стадия сбраживания осахаренного суслу). *Пиво и напитки*, 1, 26–29.

## REFERENCES

1. Vasilyeva, E.A. (2007). Use of Additives from Jerusalem Artichoke for Expansion of Production Assortment of. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 1, 51–54. (In Russian)
2. Kochnev, N.K., Kalinicheva, M.V. (2002). Jerusalem Artichoke is a Bioenergetic Culture of the XXI Century. M: Ares.—76p. ISBN5–902277–01–9. (In Russian)
3. Zelenkov, V.N., Shain, S.S. (2000). Many-Faced Jerusalem Artichoke in the Past and Present. — p. 241. Novosibirsk: Aris.—241p. ISBN: 5–93239–017–4. (In Russian)
4. Krikunova, L.N., Alexandrova, M.M., Ilyashenko, N.G., Shanenko, E.F. Production Method of Ethyl Alcohol from Jerusalem artichoke. Patent RF, no. 2161652. (In Russian)
5. Peter Dürr, Werner Albrecht, Manfred Gössinger, Klaus Hagmann, Daniel Pulver, Ger Scholten. (2010) Technologie der Obstbrennerei. Eugen Ulmer K.G.—326p.
6. Krikunova, L.N., Alexandrova, M.M. (2000). Energy and Resource-Saving Ethanol Technology from Jerusalem Artichoke I. Comparative Characteristics of the Raw Materials Preparation for Fermentation. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 6, 64–67. (In Russian)
7. Chabbert N., Braun Ph., Guirand J.P., Arnoux M., Galzy P. (1985). Productivity and fermentability of Jerusalem artichoke according to harvesting date. *Biomass*, 3(3), 209–224
8. Chabbert N., Guirand J.P., Arnoux M., Galzy P. (1985). The advantageous use of an early Jerusalem artichoke cultivar for the production of ethanol. *Biomass*, 8(3), 233–240.
9. Gibbons W.R. (1989). Batch and Continuous Solid-Phase Fermentation of Jerusalem Artichoke tubers. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 67(4), 258–265.
10. Pejin D., Gacesa S., Razmovski R., Popov S. (1985). Ethanol Production from Topinambur. *Prehranb. — technol. Rev.*, 1–2, 11–18
11. Method for Measuring the Mass Concentration of Sugars and Glycerin in Alcoholic and Nonalcoholic Beverages by High-Performance Liquid Chromatography. Attestation Certificate № 01.00225/205–54–12, 2012. (In Russian)
12. Nechaev, A.P., Traubenberg, S.E., Kochetkova, A.A., Kolpakova, V.V., Vitol, I.S., Kobleva, I.B. (2006). Food Chemistry. Laboratory Workshop. St. Petersburg: GIORД.—304p. ISBN978–5–98879–143–0 (In Russian)
13. Method for Measuring the Mass Concentration of Free Amino Acids in Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages by High-Performance Liquid Chromatography. Attestation Certificate № 01.00225/205–48–12, 2012 (In Russian)
14. Polygalina, G.V. (1999). Technochemical Control of Alcohol and Distillery Production. M: Kolos. 336p. ISBN5–10–003184–0 (In Russian)
15. Bagautdinova, R.I., Fedoseeva, G.P. (2000). Productivity and Fractional Composition of the Carbohydrate Complex of Different Grades of Jerusalem Artichoke. *Agricultural Biology*, 1, 55–63. (In Russian)
16. Chechetkin, D.V., Krikunova, L.N., Karpilenko, G.P. (2006). Study of Fructosans Hydrolysis Process of the Jerusalem Artichoke under the Influence of its Own Hydrolases of Raw Materials. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 4, 39–43. (In Russian)
17. Golubev, V.N., Volkova, N.V., Kushalakov, Kh.M. (1995). Jerusalem Artichoke — Composition, Properties, Processing Methods, Fields of Application. M.—82p. (In Russian)
18. Fedorenchenko, L.A., Remeslo, N.V., Bakhnina, T.Yu et al. (1991). The Influence of Technological Processing of Jerusalem Artichoke Juices on their Amino Acid Composition. Development and Introduction of Highly Effective Resource-Saving Technologies, Equipment and New Types of Food Products in the Food and Processing Industries of the Agroindustrial Complex: Thesis of the Rep. Scient. and Techn. Conf., 160. (In Russian)
19. Krikunova, L.N., Peschanskaya, V.A., Obodeeva, O.N., Zakharov, M.A. (2016). Study of the Biochemical Composition of Dried Jerusalem Artichoke. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 8, 29–33. (In Russian)
20. Volkov, P.V., Sinitina, O.A., Fedorova, E.A. et al. Isolation and Properties of Recombinant Inulinases of *Aspergillus sp.*, *Biochemistry*, 77 (5), 611–621. (In Russian)
21. Krikunova, L.N., Strebkova, O.S., Gernet, M.V. (2007). Regimes and Technological Parameters for the Preparation and Fermentation of Saccharified Wort from IR-Treated Wheat Grain. Part I. Wort Preparation Step. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 9, 60–63. (In Russian)
22. Krikunova, L.N., Chechetkin, D.V., Karpilenko, G.P. (2006). Comparative Characteristics of the Methods for Obtaining Clarified Saccharified Wort from Jerusalem Artichoke. *Proceedings of High Schools. Food Technology*, 4, 70–73. (In Russian)
23. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Obodeeva, O.N. (2016). Development of Alcoholic Beverages Technology, Based on Distillate from Jerusalem Artichoke (Part 1. Stage of Saccharified Wort Preparation). *Beer and Beverages*, 6, 34–37. (In Russian)
24. Oganesyants, L.A., Kobleev, K.V., Krikunova, L.N., Peschanskaya, V.A. (2014). Feasibility Study of the Raw Materials Choice for the Cereal Distillates Production. *Beer and Beverages*, 2, 10–13. (In Russian)
25. Oganesyants, L.A., Kobleev, K.V., Peschanskaya, V.A., Ryabova, S.M. (2014). Comparative Characteristics of Wort Preparation Methods for Cereal Distillates Production. *Beer and Beverages*, 3, 44–47. (In Russian)
26. Oganesyants, L.A., Krikunova L.N., Peschanskaya, V.A. (2014). Influence of Raw Material Type on the Wort Fermentation Process for the Distillates Production. *Beer and Beverages*, 4, 22–25 (In Russian)
27. Krikunova, L.N., Gernet, M.V., Chechetkin, D.V. (2006). Jerusalem Artichoke Pectin Substances: Content, Distribution by Analytical Parts, Properties. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 5, 50–54. (In Russian)

28. Krikunova, L.N., Obodeeva, O.N., Zakharov, M.A. (2017). Regime Parameters Influence of Jerusalem Artichoke Processing on Carbohydrate and Protein Composition of Saccharified Wort. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 3, 21–23. (In Russian)

29. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Obodeeva, O.N. (2017). Technology Development for Alcoholic Beverages, based on Jerusalem Artichoke Distillate (Part 2. Stage of Saccharified Wort Fermentation). *Beer and Beverages*, 1, 26–29. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Крикунова Людмила Николаевна</b> — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 119021, г. Москва, Россолимо, 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: *автор для контактов</p>	<p><b>Ludmila N. Krikunova</b> — Doctor of Technical Science, Professor, Leading Researcher, Strong Drinks Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry — Branch of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems of RAS 119021, Moscow, Rossolimo Str., 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: *corresponding author</p>
<p><b>Ободеева Ольга Николаевна</b> — инженер-исследователь, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 119021, г. Москва, Россолимо, 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>	<p><b>Olga N. Obodeeva</b> — Engineer-Researcher, Strong Drinks Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry — Branch of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems of RAS 119021, Moscow, Rossolimo Str., 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>
<p><b>Захаров Максим Александрович</b> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 119021, г. Москва, Россолимо, 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>	<p><b>Maxim A. Zakharov</b> — Candidate of Technical Science, Head Researcher, Strong Drinks Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry — Branch of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems of RAS 119021, Moscow, Rossolimo Str., 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>
<p><b>Данилян Армен Владиславович</b> — кандидат технических наук, зав. лабораторией арбитражных анализов и контроля качества пивоваренного сырья и продукции, отдел технологии пивоварения Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 119021, г. Москва, Россолимо, 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>	<p><b>Armen. V. Danilyan</b> — Candidate of Technical Science, Head of the Laboratory of Arbitration Analysis and Quality Control of Brewing Raw Materials and Products, Brewing Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry — Branch of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems of RAS 119021, Moscow, Rossolimo Str., 7 Тел.: +7-499-255-20-21 E-mail: cognac320@mail.ru</p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors are equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>
<b>Поступила 16.02.2018</b>	<b>Received 16.02.2018</b>