

Производство сахаросодержащих сиропов^S

Ю.И. ЗЕЛЕПУКИН, канд. техн. наук, доц. каф. технологии бродильных и сахаристых производств (e-mail: yura.zelepukin.57@mail.ru)
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ)

В.П. ЯНЬШИН, ген. директор
 ООО ИК «Вектор» (e-mail: leto5056@mail.ru)

Н.Н. ШВЕЦОВ, гл. инженер
 ООО «ИстАгро Дон» (e-mail: n.shvetsov@eastagro.ru)

С.Ю. ЗЕЛЕПУКИН, инженер-технолог
 ООО «Вестерос»

Введение

В последние годы в России строятся заводы по переработке сельхозпродуктов, ранее в нашей стране не перерабатываемых. К таким предприятиям можно отнести и заводы по переработке топинамбура (*Helianthus tuberosus*). Это производство очень похоже на свеклосахарное, однако имеются особенности в технологической схеме, которые вызваны не только спецификой, отличающей от сахарной свёклы, но и конечным продуктом, получаемым при переработке топинамбура.

Топинамбур, как и сахарная свёкла, содержит около 20 % сухих веществ (СВ). Из них примерно 80 % составляет инулин — полимерный гомолог фруктозы, т. е. полисахарид, в ходе гидролиза которого получают фруктозу. Фруктоза может быть использована в питании людей, страдающих сахарным диабетом. Топинамбур содержит также клетчатку, минеральные вещества, представленные марганцем (мг на массу СВ корнеплода) — 44,0; калием — 1382,5; кальцием — 78,8; магнием — 31,7; натрием — 17,2; железом — 10,1. В нём большое количество кремния (до 8 % к массе СВ). По количеству железа, кремния, цинка, витаминов группы В и С он превосходит картофель, морковь и свёклу. Кроме этого, в его состав входят белки (до 4 % к массе СВ), пектиновые вещества, аминокислоты (включая незаменимые, которые синтезируются только растениями), органические и жирные кислоты. Имея такой богатый состав различных веществ, в том числе биологически активных, эта культура становится перспективным сырьём для производства комбикормов, диетических продуктов питания, пищевых волокон (ПВ), а также высокоэффективных лекарственных средств.

Топинамбур можно перерабатывать до порошкообразного состояния. На некоторых предприятиях из него получают спирт, причём выход спирта в 2–4 раза выше, чем из сахарной свёклы, пшеницы или картофеля. Как следствие, себестоимость такого спирта ниже. Широкое применение в последнее время находит высокофруктозный сироп, который ши-

роко используют в кондитерском производстве, хлебопечении и т. п. Благодаря большому количеству фруктозы эти продукты полезны людям, страдающим диабетом и склонным к ожирению. Фруктоза по своим свойствам не уступает сахарозе и глюкозе, а по сладости и физиологическому действию превосходит их. Метаболизм фруктозы в отличие от глюкозы в организме человека происходит по иному механизму, что позволяет в умеренном количестве употреблять её даже больным сахарным диабетом. Она незаменима в питании тучных людей, страдающих невосприимчивостью к глюкозе и галактозе. Именно поэтому высокофруктозный сироп наряду с сахарозой находит широкое применение при производстве лечебного питания.

Переработка топинамбура

Вопросами переработки топинамбура занимались такие известные учёные-сахарники, как Л.Д. Бобровник, И.С. Гулый и др. [1, 2].

В Российской Федерации компания «ИстАгро Дон» закончила строительство первой очереди предприятия по глубокой переработке топинамбура и выпуску пребиотических ингредиентов для пищевой и фармацевтической отраслей, а также для животноводства. Предприятие находится в Липецкой области (рис. 1). Общая сумма инвестиций в данный проект составляет 2,7 млрд р. На начальном этапе осенью 2021 г. были успешно запущены цеха по выпуску высокофруктозного сиропа и гранулированного жома, а в 2022 г. намечено строительство второй очереди предприятия, которая предназначена для получения кристаллического продукта (инулина) и фруктоолигосахаридов. Мощность завода составит до 500 т сырья в сутки, а годовой объём конечной продукции — до 15 тыс. т. Поставки готовой продукции планируются для широкого круга производителей продуктов питания, в том числе для компании PepsiCo Russia (США) и бельгийских фармацевтических предприятий. Компания «ИстАгро Дон» станет крупнейшим

^S Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается



ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ КОРМ
 ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

akahl.com



Рис. 1. Основной корпус завода по переработке топинамбура

в России производителем продуктов с высоким содержанием инулина.

Необходимость в инулине в нашей стране составляет более 20 тыс. т в год. Потребность в нём отечественных предприятий, выпускающих детское питание, весьма высока. Россия покупает его за рубежом по цене более 160 р/кг, а себестоимость выработки этого вещества из топинамбура не превышает 30 р/кг. Следовательно, производство инулина — очень перспективное мероприятие. В России культуру возделывают на площади более 2 тыс. га, и в настоящее время приходится покрывать потребности в инулине и его производных за счёт импорта на сумму более 20 млн долларов в год.

Как уже говорилось, технология переработки топинамбура очень похожа на технологию переработки сахарной свёклы. Поэтому желательна совместная работа специалистов, в том числе научно-исследовательская, благодаря которой будут определены наиболее рациональные технологические приёмы переработки этих видов сельскохозяйственного сырья. Уже сейчас, при возведении корпусов и проведении пусконаладочных работ, на строительной площадке можно встретить технологов-сахарников. А с работниками предприятия по переработке топинамбура можно было пообщаться в Воронеже в начале июня 2021 г. в «Клубе технологов», организованном для встреч и занятий технологов-сахарников. На презентации в «Клубе технологов» были представлены

образцы готовой продукции, полученные в полупромышленных условиях.

Объёмы переработки топинамбура и сахарной свёклы на предприятиях заметно отличаются. Если суточная производительность сахарных заводов в среднем составляет около 4 тыс. т свёклы, то переработка топинамбура — до 500 т. В остальном много общего. Как и в сахарном производстве, помимо технологической схемы по переработке сырья следует уделять внимание разработке и внедрению в производство схем водо- и теплоснабжения. Это в конечном итоге позволит существенно повысить рентабельность производства, снизить расход воды и пара, тем самым понизить себестоимость продукции. А поскольку производство во многом схоже со свеклосахарным, многие элементы по рациональной организации технологической схемы, а также схем водо- и теплообеспечения после соответствующей доработки можно использовать и при переработке топинамбура. Помимо перечисленных положительных моментов, это сыграет на улучшение экологической обстановки в районе расположения предприятия. Кроме того, на предприятии по переработке топинамбура используется современное оборудование для фильтрации, умягчения и выпаривания воды из сока. Данные технологические приёмы и оборудование можно эффективно использовать на сахарных заводах для получения высококачественных продуктов.

Качество топинамбура должно соответствовать требованиям ГОСТ 32790-2014 [3]. Основными элементами структурной технологической схемы переработки топинамбура являются установки:

- подачи и мойки;
- диффузионная;
- ферментативной обработки сока;
- микрофильтрации сока;
- обесцвечивания сока;
- выпаривания;
- розлива сиропа;
- сушки и грануляции жома.

Очистка топинамбура от примесей

Для обработки топинамбура принята технология, аналогичная технологии подготовки и переработки сахарной свёклы, поскольку их корнеплоды по своей структуре схожи. На этапе очистки от посторонних примесей и мойки можно использовать оборудование свеклосахарного производства: барабан сухой очистки, барабанную предварительную мойку, камнеотделитель, кулачковую мойку, барабанную мойку для окончательного отмывания, паровую чистку. Продукт, поступающий в переработку, загрязнён землёй, ботвой, песком, камнями, а также содержит собственные обломки. Общее количество примесей может

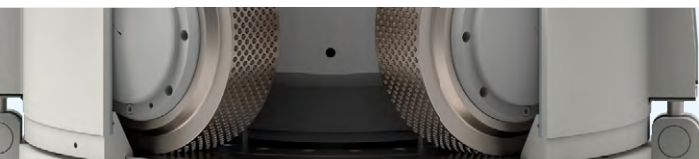




Рис. 2. Участок мойки корнеплодов топинамбура

достигать 15 % от массы сырья. Поэтому на данном участке предусмотрены подготовительные операции — очистка корнеплодов от примесей и их мойка (рис. 2). Учитывая тот факт, что для сельского хозяйства выращивание и уборка топинамбура — задача новая, необходимо разработать и сформировать комплекс сельскохозяйственной техники, обеспечивающей максимальную очистку сырья непосредственно на полях, чтобы снизить себестоимость транспортировки, экологические нагрузки при очистке и повысить эффективность производства.

После хранения топинамбур поступает в приёмный бункер с ленточным конвейером, затем в комбинированный предоттиратель для сухого отделения земли, замачивания и последующего первичного оттирания. По транспортёру корнеплоды подаются в циклонный камнеотделитель, где происходит разделение тяжёлой фракции и вывод сырья потоком воды в мойку высокого уровня. Для мойки используется осветлённая вода. Отработанная транспортёрно-моечная вода направляется в фильтр и далее в отстойник, а корнеплоды поступают на барабанную окончательную мойку. Туда же подаётся свежая вода. В целях учёта потерь массы сырья и инулина при переработке топинамбура составляют материальный баланс. Отмытый топинамбур не взвешивается, проходит обработку по отделению ферропримесей. На сахарных заводах отделение ферропримесей происходит до взвешивания

свёклы. Взвешивание поступающего на переработку сырья позволяет вести контроль и учёт продукции по всему верстату производства, определять узкие места, потери и т. п.

Выделение из топинамбура необходимых веществ, как и в свеклосахарном производстве, осуществляют методом диффузии (рис. 3). Процесс ведётся по следующей схеме: изрезывание корнеплодов в стружку, подготовка экстрагирующего раствора, извлечение из стружки общих сахаров, разделение диффузионного сока и жома. Особое внимание следует обращать на качество стружки, так как оно существенно влияет на процесс экстракции, увеличение площади контакта с экстрагентом и максимальный переход общих сахаров из клеток ткани в экстрагирующую жидкость.

Получение диффузионного сока основано на массообменном процессе извлечения сахаров из клеточного сока ткани измельчённого топинамбура в экстрагирующую жидкость. Немаловажное значение здесь имеет работа самого диффузионного аппарата. В сахарном производстве используются аппараты различных типов. В данном случае нужно подобрать тот, который позволит максимально извлечь сахара с минимальными потерями и затратами по обогреву, а также с невысоким расходом воды на про-



Рис. 3. Диффузионный аппарат





Рис. 4. Оборудование для фильтрации продуктов

цесс экстракции. Расход воды на экстракцию, как и в свеклосахарном производстве, составляет примерно 100 % к массе перерабатываемого сырья. На выходе из диффузионного аппарата получаем обессахаренную топинамбурную стружку с содержанием около 13 % сухих веществ (СВ), так называемый жом, количество которого составляет около 44 % к массе сырья, и диффузионный сок с содержанием СВ 12–15 %. Величину откачки диффузионного сока следует тщательно рассчитывать, поскольку нужно не только максимально извлечь сахара из топинамбура, но и свести к минимуму тепловые и прочие затраты на последующих этапах получения высокофруктозного сиропа. Обессахаренный жом затем механически обезвоживают на прессах до содержания СВ 24–25 %. Жомопрессовую воду после очистки желательнее возвращать на диффузию в качестве экстрагента. Учитывая высокий расход воды на технологические нужды, нужно рассчитать потребление воды, выбрать оптимальный режим водопользования, свести к минимуму сброс загрязнённых вод, что позволит улучшить экологическую обстановку в районе. В отличие от сахарных заводов здесь используется в основном артезианская вода, что требует разработки высокоэффективной схемы обеспечения технологических процессов оптимальным количеством воды при существенном снижении потребления артезианской.

Работа диффузионного аппарата во многом определяет функционирование предприятия в целом, существенно влияет на технико-экономические показатели завода, поэтому разработка рационального технологического режима на диффузии требует скрупулёзного и опытного подхода к решению этой непростой задачи. Следует определиться с качеством стружки, количеством и качеством питательной воды, величиной откачки, температурой и длительностью процесса диффузии, конструктивного подбора диффузионного аппарата, величиной pH на диффузии и др.

Далее следует этап ферментации сахаров диффузионного сока, для чего необходимо приготовить растворы ферментных препаратов. Процесс проводится в ферментаторах. Параметры ферментации также требуют тщательной разработки и соблюдения режима его проведения. По завершении процесса ферментный препарат инактивируется, сок подаётся на мембранную фильтрацию, затем сепарируется. Декантат с сепараторов направляется обратно в буферную ёмкость микрофильтрации, а осадок выгружается и направляется в отделение жомосушки.

Фильтрация и выпаривание

Мембранная фильтрационная установка (МФУ) требует регулярной очистки мембран от загрязнения, соблюдения технологического режима очистки (температура, длительность, pH и т. д.) (рис. 4), который также детально разрабатывается с целью получения готовой продукции высокого качества. Для достижения аналогичной цели применяется ионообменная установка, позволяющая повысить чистоту растворов за счёт удаления несахаров. Эффективность её работы поддерживается систематически проводимой регенерацией.

Выпаривание воды из очищенного сока и получение сиропа осуществляются на многокорпусной выпарной установке (МВУ). На данном этапе также необходимы тепловой расчёт по подбору количества корпусов МВУ, выбор выпарных аппаратов подходящего типа, разработка и соблюдение теплотехнического и технологического режимов их работы (рис. 5).

Сироп, поступивший в сборник после выпарной установки, накапливается, по мере работы линии автоматического розлива поступает на теплообменник охлаждения и далее разливается в потребительскую тару. Он должен соответствовать требованиям нормативных документов на готовую продукцию [4, 5].

Выводы

Открытие нового производства по переработке топинамбура требует, особенно на начальных этапах, постоянной доработки и наладки как технологиче-





Рис. 5. Многокорпусная выпарная установка

ских процессов, так и аппаратного оформления, системы автоматизации, совершенствования тепловой схемы и водообеспечения. Все эти мероприятия должны выполняться высококвалифицированными специалистами-технологами, что позволит значительно сократить время и финансы при условии достижения высокоэкономичных результатов.

По современной оценке, потребность России в инулине будет только расти. Кроме инулина топинамбура является сырьём для выработки высокофруктозных сиропов, новых сахаристых веществ, этилового спирта, различных пищевых добавок. Представляется рациональным использовать жом топинамбура в качестве источника пищевых волокон, которые находят широкое применение в производстве продуктов питания. Целесообразно ввести топинамбур и в рецептуру комбикормов. Это улучшит их структуру и повысит пищевую ценность.

В Российской Федерации отмечается тенденция к закрытию устаревших сахарных заводов невысокой производительности. Учитывая сходство технологий по переработке сахарной свёклы и топинамбура, возможность использовать многие аппараты в аналогичных процессах, имеет смысл рассмотреть вопрос о строительстве заводов по переработке топинамбура на базе закрываемых сахарных заводов. Это могло

бы избавить от материальных и финансовых затрат на возведение новых предприятий, снизить уровень безработицы в регионах и тем самым улучшить демографическую обстановку в районах, где возможна реализация подобных планов.

Список литературы

1. Бобровник, Л.Д. Использование высоко- и низкотемпературного гидролиза для получения фруктозы из топинамбура / Л.Д. Бобровник, И.С. Гулый, Г.А. Лезенко [и др.]. — Тезисы доклада II Всес. конф. «Топинамбур и подсолнечник — проблемы возделывания и использования». — Иркутск, 1990. — С. 22.
2. Голубев, В.Н. Топинамбур: состав, свойства, способы переработки, области применения / В.Н. Голубев, И.В. Волкова, Х.М. Кушалаков. — М., 1995. — С. 52.
3. ГОСТ 32790-2014. Топинамбур свежий. Технические условия. — М. : Стандартинформ, 2015.
4. ГОСТ 28499-2014. Межгосударственный стандарт. Сиропы. Общие технические условия. — М. : Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ Р 54682-2011. Полуфабрикаты. Наполнители фруктовые и овощные. Общие технические условия. — М. : Стандартинформ, 2019.

Аннотация. Для выработки сахаросодержащих сиропов рекомендуется использовать топинамбур. Технология переработки топинамбура во многом похожа на технологию переработки сахарной свёклы: применяются не только аналогичные процессы, но и во многом одинаковое аппаратное оформление. Как и в сахарном производстве, помимо технологической схемы следует уделять внимание разработке и внедрению схем водо- и теплоснабжения. Это позволит существенно повысить рентабельность производства, снизить расход воды и пара, тем самым понизить себестоимость продукции. Для расширения переработки топинамбура можно использовать помещение и производственные мощности сахарных заводов, подлежащих закрытию из-за нерентабельности.

Ключевые слова: топинамбур, инулин, высокофруктозный сироп.

Summary. For the production of sugar-containing syrups, it is recommended to use Jerusalem artichoke. The technology of processing Jerusalem artichoke is in many ways similar to the technology of processing sugar beet. Not only similar processes are used in production, but the hardware design in these productions is largely the same. As in sugar production, in addition to the technological scheme for processing Jerusalem artichoke, attention should be paid to the development and implementation of water supply and heat supply schemes in production. This will significantly increase the profitability of production, reduce the consumption of water and steam, thereby reducing the cost of production. To expand the processing of Jerusalem artichoke, you can use the premises and production facilities of sugar factories that are subject to closure due to their unprofitability.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, high-fructose syrup.

