

Фруктозо-инулоолигосахаридные сиропы из цикория

И.В. ПОПОВА, канд. техн. наук

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

Ю.В. СЛИВА, канд. техн. наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

Современная наука о питании ищет новые подходы к формированию рациона человека в условиях современной цивилизации. К таким задачам следует отнести создание новых безопасных пищевых продуктов, имеющих лечебно-профилактические функции [4, 5, 8].

В производстве сахаристых веществ одним из путей развития технологий продуктов профилактического назначения может стать производство заменителей сахара углеводной группы, в частности высокофруктозных сиропов, которые содержат определенный процент полимергомологов инулина, т.е. инулоолигосахаридов, которые имеют достаточно высокую пребиотическую активность. Перспективным источником для производства таких сиропов является цикорий – инулиноноситель, который кроме высокого содержания инулина и технологичности, характеризуется содержанием значительного количества биологически активных соединений протекторного действия [5].

Анализ научных литературных данных по кислотному гидролизу инулина приводит к выводу, что применение минеральных кислот как катализаторов этого процесса при высоких температурах обуславливает образование значительного количества продуктов распада, красящих веществ, т.е. к потерям инулина и дополнительным затратам на очистку целевого продукта [1, 2, 6, 8].

Применение органических кис-

лот при умеренных температурах должно обеспечить мягкие условия гидролиза. Наш выбор лимонной кислоты как катализатора процесса гидролиза был обусловлен, во-первых, её относительно мягким воздействием на растительные объекты при нагревании, что обеспечивает прохождение гидролиза полисахарида, но не приводит к образованию заметного количества побочных нежелательных продуктов. Во-вторых, целевым назначением использования полученных фруктозо-инулоолигосахаридных сиропов было применение их в производстве напитков и мороженого, в рецептурах которых предусмотрено добавление лимонной кислоты. Поэтому использование этой кислоты для гидролиза исключало стадию дополнительной очистки продукта.

Текущий контроль процесса осуществляли определением редуцирующих веществ (РВ) в полученных продуктах и тонкослойной хроматографии в закрепленном слое, общее содержание углеводов и углеводный состав продуктов – при помощи жидкостной хроматографии.

Было установлено, что как для каши измельченных свежих корнеплодов, так и для порошка цикория увеличение количества добавленной кислоты в пределах до 0,4% (к взятому в реакцию цикорию) приводит к пропорциональному возрастанию выхода РВ в полученном продукте. Рост процентного содержания лимонной кислоты выше 0,4% на графике

отображается отклонением прямопропорциональной зависимости, начало которой соответствует оптимальному значению количества добавленной лимонной кислоты, и приводит к горизонтальному участку. Дальнейшее увеличение относительного содержания кислоты отображается некоторым отклонением кривой от оси абсцисс, что может объясняться интенсификацией побочных процессов под влиянием избыточного количества кислоты, что приводит к разложению полученной фруктозы и вторичным взаимодействиям.

Зависимость содержания РВ в гидролизатах от температуры, при которой осуществляется гидролиз, отображается кривой с четко выраженным максимумом. Этот пик на кривой соответствует оптимальной температуре процесса. Например, на рис. 1 приведена зависимость содержания РВ в гидролизатах от температуры для сушеного порошка цикория при постоянной продолжительности процесса ($\tau = 120$ мин) и исходного содержания лимонной кислоты – 0,9 и 1,0%. При температуре ниже оптимальной, т.е. 65°C, гидролиз проходит достаточно медленно, а выше 65°C выход РВ падает за счет разложения фруктозы и интенсификации побочных процессов.

Как видно на рис. 2, на котором приведен пример зависимости содержания РВ в гидролизатах цикория от продолжительности процесса при постоянной температуре (оптимальной) и фиксированных исходных значениях содержания лимонной кислоты, увеличение

продолжительности гидролиза до определенного оптимального значения (в этих условиях 120 мин) приводит к увеличению относительного содержания РВ. Дальнейший рост продолжительности обработки отображен на графике отклонением кривой зависимости к оси абсцисс за счет разложения целевого продукта и вторичных процессов.

Таким образом, в результате систематического исследования содержания редуцирующих веществ в гидролизатах цикория при каталитическом действии лимонной кислоты были установлены такие оптимальные режимы процесса гидролиза: для тертых свежих корнеплодов количество лимонной кислоты составляло $C = 0,8\%$, температура $t = 65^\circ\text{C}$, продолжительность гидролиза $\tau = 120$ мин; для суспензий порошков сушеного цикория (30 г порошка цикория на 100 г суспензии), количество добавленной лимонной кислоты составило $C = 0,9-1,0\%$, температура $t = 65^\circ\text{C}$, продолжительность гидролиза $\tau = 120$ мин.

Для анализа результатов экспериментальных исследований гидролиза инулина цикория было необходимо построить эмпирические формулы. Аналитическое выражение функциональной зависимости одной переменной $y = F(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$; $x = F(A; x)$ строили методом наименьших квадратов с нормой

$$\|y - F\| = \sum \left(\frac{y_i - F(A; x_i)}{W_i} \right)^2$$

при $W_i = 1$.

Для определения зависимости между характеристиками, которые определяют содержание РВ гидролизата, а именно температуры, продолжительности и концентрации лимонной кислоты, применяли метод наименьших квадратов функции трех переменных [3, 7].

Базируясь на промышленных требованиях и потребностях современной пищевой промышленности и исходя из теоретических и практических исследований, были предложены принципиальные технологические схемы получения фруктозо-инулоолигосахаридного сиропа из свежих корнеплодов цикория, а также из порошка сушеного цикория.

Согласно предложенной технологической схеме, приведенной на рис. 3, сок, полученный путем перетирания корнеплодов на центробежных терках, которые используются для перетирания картофельных корнеплодов в производстве крахмала, и дальнейшем центрифугировании цикорной каши на центрифугах непрерывного действия, подвергается обработке лимонной кислотой в количестве 0,8–1% к массе переработанного цикория. При переработке сушеного цикория порошок предварительно замачивают (в течение 30–60 мин) в соотноше-

нии 30 частей порошка к 70 частям воды и подают в реактор гидролиза с лимонной кислотой.

При этом происходит гидролиз инулина с образованием фруктозы и некоторого количества фруктоолигосахаридов. После реактора гидролизированный сок подается на вакуум-фильтры для отделения осадка, образуемого веществами коллоидной степени дисперсности. Далее фильтрат подается на осветление активированным углем, фильтруется, а затем сгущается на пленочных вакуум-аппаратах системы Виганда до содержания сухих веществ 80–85%, что предотвращает размножение микроорганизмов в готовом продукте. Полученный сироп имеет доброкачественность 92–94%, в таком виде он и фасуется в нержавеющую тару.

Технологическая схема осуществляется следующим образом. Корнеплоды цикория из буртов гидротранспортером подаются на мойку, а на терку – элеватором. Порошок сушеного цикория из бункера направляется в сборник-мешалку для приготовления суспензии.

Выбор терок для картофельных клубней вместо свеклорезок обусловлен тем, что при стирании растительной ткани происходит механическое разрушение биополимерной цепи инулина цикория на мелкие звенья, что способствует дальнейшему процессу гидролиза. Кроме инулина и фруктанов в

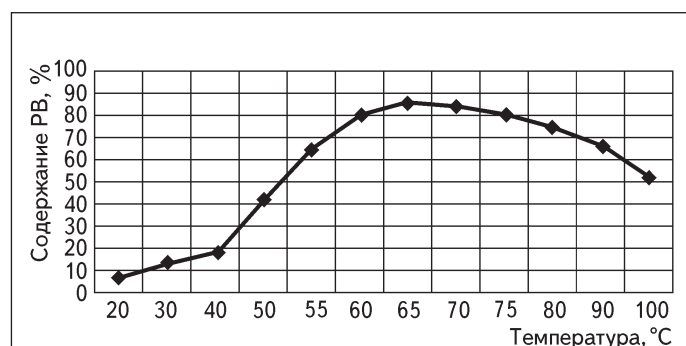


Рис. 1. Зависимость содержания РВ в гидролизатах от температуры для сушеного порошка цикория при постоянной продолжительности процесса ($\tau = 120$ мин) и исходного содержания лимонной кислоты – 0,9 и 1,0%

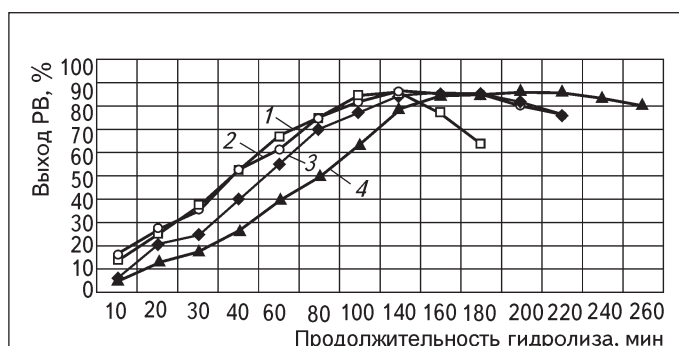


Рис. 2. Зависимость содержания РВ в гидролизатах цикория от продолжительности процесса при постоянной температуре (оптимальной) и фиксированных исходных значениях содержания лимонной кислоты.

диффузионный сок переходят свободные редуцирующие вещества (фруктоза, глюкоза), количество которых в здоровом корнеплоде обычно невелико – около 0,5%. В сок, полученный путем центрифугирования цикорной кашки, переходит ряд растворимых несугаров, содержащихся в корнеплодах. Сюда можно отнести минеральные и органические соли и другие вещества, которые имеют более высокий коэффициент диффузии, чем углеводный комплекс. Существенно медленнее происходит диффузия белков, значительная часть которых при нагревании коагулирует. Пектиновые вещества диффундируют медленнее вследствие большей молекулярной массы, но при высокой температуре и увеличении продолжительности процесса гидролиза вероятен переход в сок пектиновых веществ в коллоидном состоянии. Этому также может способствовать рост рН сока выше 5,5. Теоретически количество пектиновых веществ в соке увеличивается за счет пептизации, частичного их гидролиза,

вымыванием из разорванных клеток растительной ткани, но это явление сведено к минимуму за счет поддержания рН в пределах значений 5,5–6,0 на всех звеньях технологической схемы. Отцентрифугированный сок цикория представляет собой жидкость светлорыжевато-коричневого цвета, слабодиссоциированной реакции (около 4,0). Суспензия из сушеного цикория имеет мутноватый цвет и рН около 6,0.

Гидролиз инулина проводят в реакторах с мешалкой при температуре не более 65°C в течение 120 мин, это обусловлено необходимостью предотвращения перехода в гидролизат веществ коллоидной степени дисперсности. В качестве катализатора предлагается использовать лимонную кислоту в количестве 0,8% к массе переработанного цикория. При этом рН реакционной смеси уменьшается до 3,0. Выбор лимонной кислоты для ускорения гидролиза обусловлен тем, что при этом не происходит резкого падения рН, которое, в свою очередь, может провоцировать нежелательные образования

комплексов белковых веществ с высвобожденной фруктозой. Еще одним фактором выбора лимонной кислоты является то, что ее остаток в количестве 0,02%, содержащийся в гидролизате, безопасен для использования в дальнейшем производстве пищевых продуктов и не требует дополнительного вывода из гидролизованного сока, в отличие от известных способов гидролиза ферментами и минеральными кислотами. Напротив, в ряде случаев дальнейшего применения полученного гидролизата, например, в производстве безалкогольных прохладительных напитков или холодных чаев, наличие лимонной кислоты является желательным.

Сок попадает в колонну с активированным углем, где проходит дополнительное осветление. После контрольной механической фильтрации гидролизат подается на выпарную станцию, где упаривается до состояния сиропа. Сухие вещества сиропа должны составлять около 85%. Исходя из этого, предлагается использовать

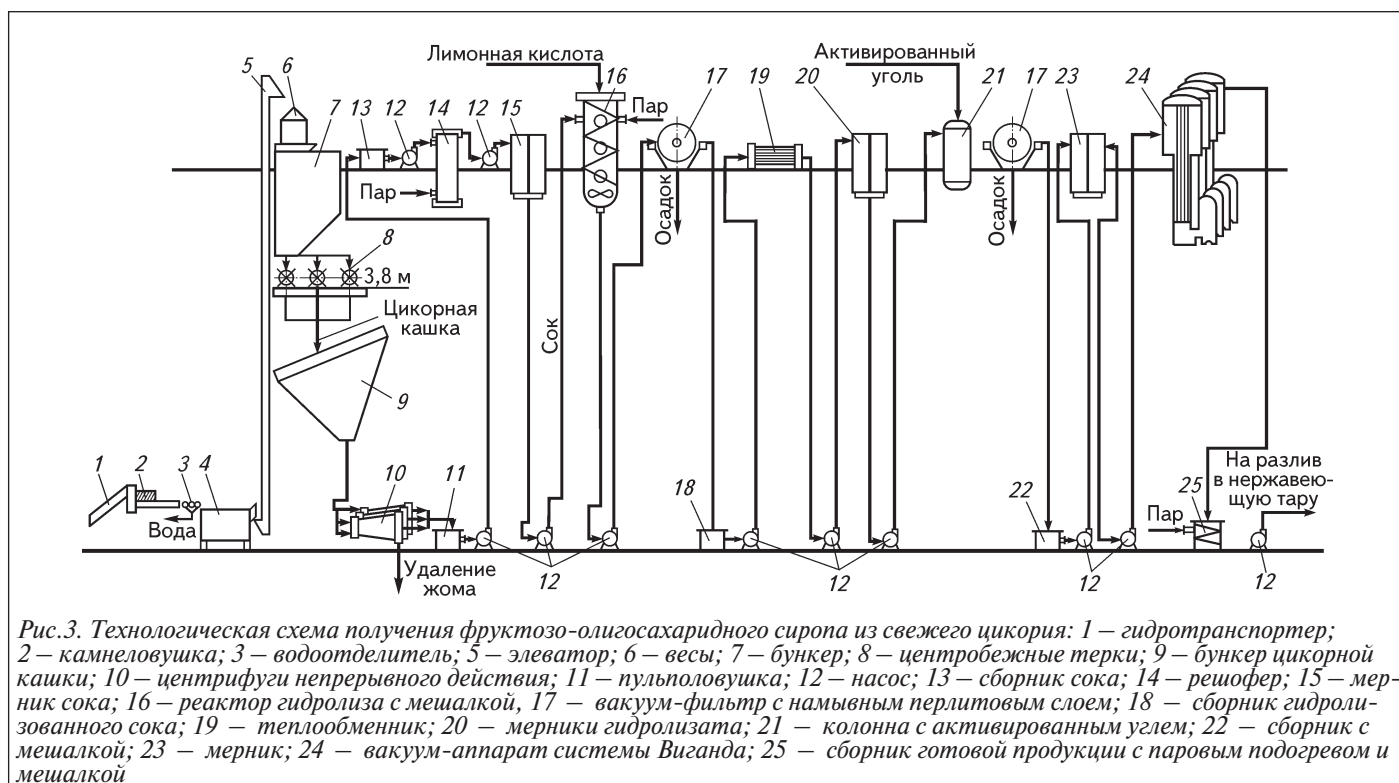


Рис.3. Технологическая схема получения фруктозо-олигосахаридного сиропа из свежего цикория: 1 – гидротранспортер; 2 – камнеловушка; 3 – водоотделитель; 5 – элеватор; 6 – весы; 7 – бункер; 8 – центробежные терки; 9 – бункер цикорной кашки; 10 – центрифуги непрерывного действия; 11 – пульповловушка; 12 – насос; 13 – сборник сока; 14 – решофер; 15 – мерник сока; 16 – реактор гидролиза с мешалкой; 17 – вакуум-фильтр с намывным перлитовым слоем; 18 – сборник гидролизованного сока; 19 – теплообменник; 20 – мерники гидролизата; 21 – колонна с активированным углем; 22 – сборник с мешалкой; 23 – мерник; 24 – вакуум-аппарат системы Виганда; 25 – сборник готовой продукции с паровым подогревом и мешалкой

современные пленочные вакуум-аппараты системы Виганда, которые позволяют с достаточно большой скоростью провести упаривание.

Неоднократная проверка углеводного состава сиропов, полученных в результате большого количества опытов, с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии высокого давления доказала, что в таких сиропах содержится 83–85% фруктозы и 15–17% фруктозо-олигосахаридов к массе сухих веществ (т.е. 85%) сиропов. Воспроизводимость результатов на жидком хроматографе высокого давления ВЭЖХ – ВТ положительная, в определенных пределах.

Аппаратурное оформление технологической схемы для получения фруктозо-олигосахаридных сиропов из сушеного цикория отличается от схемы переработки свежего только технологическим звеном замачивания порошка в сборнике с мешалкой для приготовления суспензии. Другие стадии технологического процесса обусловлены кислой реакцией среды и требуют аппаратуры и коммуникационных систем из кислото- и коррозионностойкого материала.

Таким образом, изучено протекание гидролиза инулина цикория при действии пищевой лимонной кислоты. С помощью систематического исследования и математического моделирования установлены оптимальные условия гидролиза с целью извлечения фруктозо-инулоолигосахаридных продуктов (количество лимонной кислоты – от 0,8 до 1,0% к массе цикория, продолжительность гидролиза – 120 мин при температуре 65°C).

С помощью жидкостной хроматографии высокого давления установлено, что при оптимальных условиях (количество лимонной кислоты 0,8–1,0% к массе цикория, продолжительность гидролиза – 120 мин). При темпе-

ратуре 65°C) гидролиз инулина происходит на 85%, в гидролизате фруктоза составляет 83–85%, на инулоолигосахариды приходится 17–15%.

Исследованы основные особенности технологических параметров гидролиза инулина свежего и сушеного цикория лимонной кислотой, которые составляют 65°C при продолжительности 120 мин. Количество порошка лимонной кислоты, которая расходуется на гидролиз, составляет 0,8% к массе свежих корнеплодов переработанного цикория и 0,8–1% от массы порошка сушеного цикория. Конечный продукт – фруктозо-олигосахаридный сироп чистотой 95–96% с содержанием сухих веществ до 85%.

Разработаны технологические схемы для переработки свежих корнеплодов и порошка сушеного цикория. Аппаратурное оформление включает реактор гидролиза, фильтровальную станцию с намывным перлитовым слоем и пленочную выпарную станцию системы Виганда, которая используется в сахарном и крахмало-паточном производстве. В связи с тем, что рН среды колеблется от 3,5 до 2,0, аппаратуру и коммуникации рекомендовано изготавливать из кислото- и коррозионностойких материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Бобровник Л.Д.* Кинетика гидролиза инулина / Л.Д. Бобровник, Н.Ю. Зинченко, А.А. Герасименко // Сахарная промышленность. – 1984. – №9. – С. 28–29.
2. *Бобровник Л.Д.* Углеводы в пищевой промышленности / Л.Д. Бобровник, Г.А. Лезенко. – Киев : Урожай, 1991. – 112 с.
3. *Бугаенко И.Ф.* Сахар и заменители – М. : Телер, 2004. – 75 с.
4. *Кочеткова А.А.* Функциональные продукты: некоторые технологические подробности в общем вопросе / А.А. Кочеткова, В.И. Тужилкин // Пищевая промышленность. – 2003. – №5. – С. 8–10.
5. *Левицкий А.П.* Инулин – пища для бактерий, лекарство для людей. – Одесса, 2003. – 28 с.
6. *Способ* получения фруктозных сиропов из инулинсодержащего сырья : а.с. №1392105 СССР / Л.Д. Бобровник, И.С. Гулый, А.С. Ефимов, Н.В. Ремесло, Г.А. Лезенко. – Заявл. 14.10.1985, №4004100; опубл. 03.01.1988.
7. *Хроматография*: Практическое приложение метода. В 2-х ч. Ч. 2. Углеводы : пер. с англ. / Ш. Чармс; под ред. Э. Хефтмана. – М. : Мир, 1986. – С. 5–15.
8. *Aschengreen N.* Production of Glucose-Fructose Syrup. – Process Biochemistry. – 1975. – Vol. 10. – №4. – P. 17–18.

Аннотация. На основании лабораторных исследований гидролиза инулина цикория в присутствии лимонной кислоты установлены его оптимальные параметры и разработаны технологические схемы получения фруктозо-олигосахаридных сиропов из свежих корнеплодов и сушеного порошка цикория.

Summary. Based on laboratory studies of hydrolysis of chicory inulin in the presence of citric acid there are set the optimal parameters and the technological schemes of fructose-oligosaccharide syrup from fresh and dried root powder of Chicory.

Ключевые слова: инулин, гидролиз, цикорий, углеводы, лимонная кислота, фруктозо-олигосахариды.

Key words: inulin, hydrolysis, chicory, carbohydrates, citric acid, fructose-oligosaccharides.