УДК 664. 126. 4

Интенсификация ферментативного гидролиза сахарных растворов ультразвуком

О. В. НИЧИК, Н. И. ШТАНГЕЕВА, В. Е. НОСЕНКО
Украинский государственный университет пищевых технологий

Качество потребляемой пищи значительно влияет на здоровье человека, поэтому существует необходимость разработки продуктов питания с повышенной биологической ценностью. Например, потребление инвертных сиропов на основе желтых сахаров способствует снижению риска возникновения диабета, кариеса зубов, нарушения обмена веществ, возникающих при потреблении белого сахара. Инвертированный жидкий сахар имеет ряд преимуществ перед неинвертированным, и у изделий, приготовленных на нем, лучше вкусовые качества, они более сладкие и отличаются мягкостью.

В клеровках (растворах желтых сахаров) кроме углеводов содержатся микроэлементы, аминокислоты, витамины, необходимые для организма человека. Так, в желтом сахаре количество аминокислот на порядок выше, чем в сахаре-песке, в нем есть такие незаменимые аминокислоты как фенилаланин, триптофан и лизин, отсутствующие в белом сахаре (**табл. 1**). Желтый сахар превосходит белый по содержанию макро- и микроэлементов (**табл. 2**).

Для получения инвертированных сахарных сиропов инверсию сахарозы можно проводить минеральными и органическими кислотами, с помощью гетерогенных катализаторов, ферментов.

Один из перспективных методов получения инвертированных сиропов - гидролиз сахарных растворов с помощью фермента β-фруктофуранозидазы. При этом процесс не сопровождается образованием оксиметилфурфурола (высокотоксического вещества) и других продуктов распада, ухудшающих качество продукта. Также значительно упрощается контроль прохождения инверсии и автоматизация самого процесса. В нашей работе при гидролизе использовали фермент *Invertin* фирмы Mersk, для субстрата которого оптимальные условия соответствуют pH 4,5 - 5,0 и температуре 50 - 55°С. Обычно для достижения 50%-й степени инверсии продолжительность гидролиза составляет не менее 10 ч. Поэтому актуальная задача - интенсификация процесса различными физическими методами, в том числе и методом ультразвуковой обработки субстрата.

Существуют противоречивые мнения о влиянии ультразвуковых колебаний на активность катализаторов, в частности ферментов. Активация ферментов возможна вследствие учащения столкновений между молекулами, вызванных ультразвуковыми колебаниями. И. Е. Эльпинер утверждает, что в поле ультразвуковых колебаний в обычных условиях чаще всего ферменты теряют биокаталитическую активность, но возможно посредством различных механизмов ослабить инактивирующее действие ульт-

Таблица 1. Содержание аминокислот в желтом и белом сахаре, мг/100 г [1]

Аминокислота	Желтый сахар	Сахар-песок
Лейцин+изолейцин	6,42	0,60
Аланин	4,60	0,37
Глутаминовая кислота	9,15	0,84
Глицин	12,60	2,05
Серин	4,20	0,28
Аспарагиновая кислота	9,30	1,28
Гистидин	3,75	0,48
Фенилаланин	3,10	Не обнаружено
Триптофан	6,07	То же
Лизин	0,85	<<

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в желтом и белом сахаре, мг/100 г [1]

Минеральные компоненты	Желтый сахар	Сахар-песок
Макроэлементы		
K	206	Следы
Na	70	То же
Ca	28,4	<<
Микроэлементы		
Mn	2,7	0,1
Fe	56,0	3,0
Cu	2,25	1,6
Zn	2,80	0,8
Ni	1,20	0,4
Co	0,10	0,07

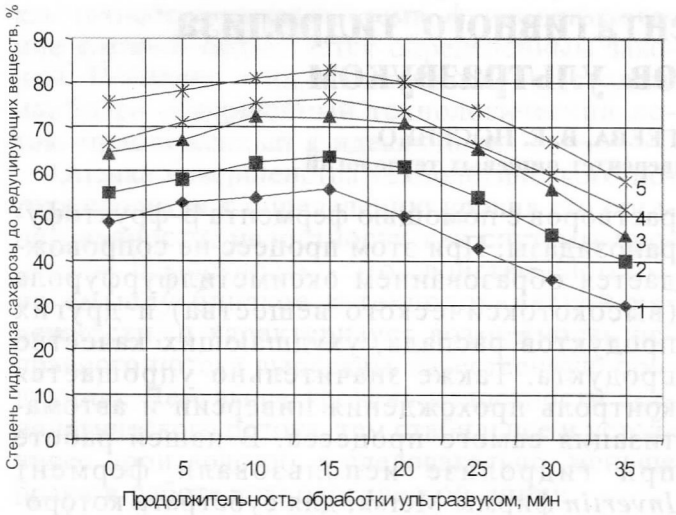

Рис. 1. Зависимость степени гидролиза сахарозы до редуцирующих веществ от продолжительности обработки ультразвуком при расходе фермента на 1 г сахарозы: ***1*** - 2; ***2*** - 5; ***3*** - 10; ***4*** - 15; ***5*** - 20 единиц активности

развука, и даже наоборот, в какой-то степени активировать фермент [2]. Большое значение при этом имеют физические особенности строения озвучиваемой среды. Исследуемые нами инвертируемые сиропы имеют высокую вязкость, поэтому разрушающее действие ультразвука ослаблено вследствие того, что в вязких растворах не образуются пузырьки газа, обусловливающего меньшее поглощение звука [3]. Следует отметить еще один момент - в сахарных растворах имеются ионы Ca^{2+} (0,03% в белом и 0,4% в желтом сахарах), а Эльпинер утверждает, что ионы кальция имеют свойство ослаблять действие ультразвуковых колебаний, и колебания не только не инактивируют фермент, а вызывают повышение его катализирующей активности. Это происходит из-за особенности поведения ультразвуковых колебаний в присутствии данных ионов [2].

Для исследования интенсификации процесса ферментативного гидролиза сахарозы в растворах использовали установку «Медитон», генерирующую ультразвуковые колебания частотой 44 кГц. Интенсивность колебаний составляет до 2 Вт/см^2. На первом этапе объектом исследований служил субстрат – водный раствор белого сахара с содержанием сухих веществ 70%, редуцирующих веществ - около 0,003%. Субстрат предварительно нагревали до оптимальной температуры (для исключения термического эффекта, возникающего при обработке ультразвуком). Затем в него вносили фермент с концентрациями 5 - 20 единиц активности на 1 г сахарозы. Смесь помещали в ультразвуковую ванну, продолжительность обработки изменяли от 5 до 30 мин. После озвучивания пробы переносили в термостат, где продолжался процесс гидролиза еще на протяжении 5 ч. В сиропах определяли содержание редуцирующих веществ и рассчитывали степень инверсии. Установлено, что десятиминутное озвучивание пробы увеличивает степень инверсии на 4 – 5% .

На втором этапе объектом исследований служил субстрат из водного раствора желтого сахара II кристаллизации. Опыт проводили в такой же последовательности и при таких же параметрах, как и с раствором белого сахара. В полученном инвертном сиропе определяли содержание редуцирующих веществ и рассчитывали степень инверсии сахарозы до редуцирующих веществ (**рис. 1**).

Параллельно проводили инверсию сиропа без ультразвуковой обработки при расходе фермента 10 единиц активности на 1 г сахарозы. Результаты сравнения представлены на **рисунке 2**, анализируя который можно прийти к выводу, что использование ультразвука при инверсии желтых сахаров увеличивает степень инверсии на 7 - 8%.

Для того чтобы установить оптимальные условия получения инвертируемых сиропов, со-

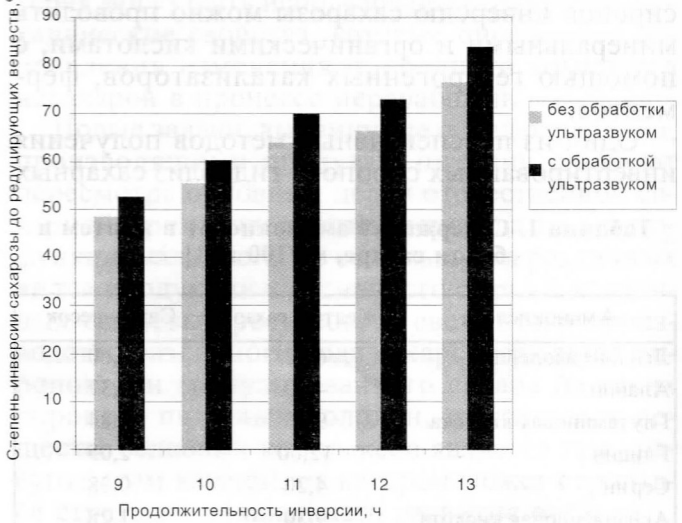

Рис. 2. Степень инверсии сахарозы до редуцирующих веществ в зависимости от продолжительности процесса инверсии при расходе фермента 10 единиц активности на 1 г сахарозы

здана математическая модель в виде уравнения, учитывающего взаимодействие количества единиц активности фермента С, продолжительности инверсии τ_1 и обработки ультразвуком τ_2:

Степень инверсии=(57,188+ 2600С+4500τ_1– 30τ_2 – 10,688$С^2$ +12,813τ_1^2– 18,688τ_2^2+1,125Сτ_1 - - 1,125Сτ_2– 4,625$\tau_1\tau_2$)/1000.

Используя уравнение и задавшись определенным значением степени инверсии, можно рассчитать параметры процесса. Например, степень инверсии сахарозы 98,2%, расходуя 15 единиц активности фермента, можно достичь при продолжительности инверсии 10 ч и 5-минутной обработке ультразвуком. Сравним, что без обработки ультразвуком, но соблюдая те же условия процесса, мы сумели достигнуть только 89,8%.

Таким образом, обработка инвертируемого сиропа ультразвуком в определенных пределах может служить средством интенсификации инверсии сахарных растворов. При этом можно использовать меньшее количество фермента и сократить время на 8 - 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Инновация** продукции сахарного производства. Обзорная информация. - Москва, АгроНИИТЭИПП, 1996.
2. **Эльпинер И. Е.** Биофизика ультразвука. - М.: Наука, 1973.
3. **Бергман Л.** Ультразвук и его применение в науке и технике. - М.: Изд. ин. лит-ры, 1957.

КАЗАНСКАЯ ЯРМАРКА

Выставочный центр «Казанская ярмарка»
Республика Татарстан, 420059, Казань, Оренбургский тракт, 8
тел/факс: (8432) 64-33-22, 64-34-22, 64-33-32, 37-12-63
E-mail: vico@tbit.ru, d3@vico.bancorp.ru

Администрация г. Казани
ОАО «Казанская ярмарка»
приглашают принять участие
в специализированной выставке

Сладости
13 - 16 декабря 2001 г.

Тематика:

- **Сахар**
  выращивание сахарной свеклы;
  переработка сахара-сырца;
  производство сахара;
  проектирование сахарных заводов;
  оборудование для сахарной промышленности
- **Кондитерские изделия**
  шоколад, шоколадные конфеты и изделия
  мармелад, пастила, зефир, карамель
  мучные изделия
- **Пищевые ингредиенты, добавки и пряности**
- **Чай, кофе, напитки**
- **Мед и изделия из меда**
- **Восточные сладости**
- **Подарочные наборы**
- **Оборудование для производства и упаковки различных видов сахарных и мучных кондитерских изделий**
- **Упаковочные материалы**

В программе: семинары, конференции, презентация, конкурсы, шоу, дегустации, предпраздничная торговля, деловые встречи, переговоры, заключение договоров

Руководитель проекта: Семина Фарида Халимовна
Тел/факс: (8432) 64-33-32
E-mail: vico@tbit.ru, d3@vico.bancorp.ru