УДК 637.146

А.Д. Лодыгин, А.А. Бугаева, И.А. Щелканова

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРЕБИОТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА НА ОСНОВЕ ПЕРМЕАТА ОБЕЗЖИРЕННОГО МОЛОКА

Обоснована актуальность производства бифидогенных концентратов из ультрафильтратов вторичного молочного сырья. Изучены закономерности изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока. Представлены математические модели, показывающие влияние температуры и времени на процесс изомеризации лактозы в пермеате обезжиренного молока. Определены оптимальные параметры процесса изомеризации.

Обоснована возможность обогащения пребиотического концентрата дополнительными биологически активными веществами – продуктами ферментации лактозы. Исследованы закономерности полимеризации и гидролиза лактозы в изомеризованном пермеате. Установлены оптимальные параметры процессов гидролиза и полимеризации лактозы.

Проведено обобщение исследований по биотрансформации лактозы в ультрафильтрате обезжиренного молока, в ходе которого определились оптимальные параметры технологического процесса получения пребиотического концентрата на основе пермеата обезжиренного молока.

Лактоза, пермеат, изомеризация, лактулоза, трансгалактозилирование, гидролиз, пребиотический концентрат.

Введение

Естественный микробиоценоз человеческого организма играет ключевую роль в поддержании здоровья человека. Собственная нормальная микрофлора представлена в основном бифидобактериями и лактобациллами. При дисбактериозе происходит нарушение нормофлоры, поэтому в кишечнике начинают преобладать патогенные микроорганизмы.

Очевидна потребность в пищевых продуктах, обладающих функциональными свойствами, которые не только обеспечивают энергетические и структурные потребности, но и оказывают благотворное, результирующее действие на организм человека в целом или его отдельные органы [1].

Следует отметить, что производные лактозы – концентраты лактулозы и галактоолигосахаридов, а также продукты гидролиза лактозы (глюкоза и галактоза) – это необходимые компоненты при составлении рецептур для продуктов функционального питания.

Подходящим источником для получения бифидогенных концентратов является лактозосодержащее молочное сырье, что, несомненно, способствует решению проблемы использования молочной сыворотки. Сегодня практически во всех странах мира существует проблема комплексного использования вторичного молочного сырья. Все большее распространение получают нетрадиционные способы разделения молока и его производных [2]. В частности, баромембранные процессы часто используют для производства белковых концентратов, деминерализации молока и его производных. При обработке молочного сырья методом ультрафильтрации с целью получения белково-жировых концентратов в качестве побочного продукта образуется ультрафильтрат (пермеат). Уникальный состав пермеата, куда входят минеральные вещества и лактоза, которая является ценнейшим сырьем для синтеза лактулозы, галактоолигосахаридов, а также ее гидролизатов, позволяет использовать его в качестве основы при производстве пребиотических концентратов.

На кафедре прикладной биотехнологии СКФУ была проведена работа по разработке технологии пребиотического концентрата на основе пермеата обезжиренного молока, обогащенного бифидусфакторами – лактулозой, галактозой, глюкозой и галактоолигосахаридами.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования были использованы:

– пермеат, полученный на основе обезжиренного молока, полученного из цельного молока, удовлетворяющего требованиям ГОСТ Р 53503-2009;

– препарат β-галактозидазы *Ha-Lactase* производства фирмы Chr. Hansen.

При проведении экспериментальных исследований были использованы методы определения следующих показателей:

– определение температуры – термометрически, термометр в оправе по ГОСТ 9177-74;

– определение температуры замерзания – криоскопически на приборе Cryo Star по методике [1];

– определение массовой доли сухих веществ – рефрактометрически на рефрактометре RL-2 по ГОСТ 24908-84;

– определение активной кислотности – потенциометрически по ГОСТ 26781-85 на pH-метре pH-150;

– удельное вращение – поляриметрически на поляриметре СМ-3;

– продолжительность процессов – хронометрически.

Для определения степени изомеризации лактозы в лактулозу использовалась расчетная формула [1]:

$$Si = 31{,}0 - 1{,}32 \cdot [\alpha]^{20}_{д}, \qquad (1)$$

где $[\alpha]^{20}_{д}$ – удельный угол вращения.

Для определения степеней гидролиза и трансгалактозилирования лактозы была использована модифицированная криоскопическая методика [3].

Результаты и их обсуждение

Кинетические закономерности процесса изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока представлены на рис. 1.

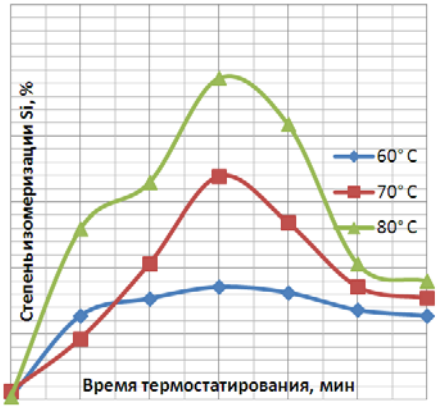

Рис. 1. Кинетика изменения степени изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока

В качестве катализатора процесса изомеризации использовали гидроксид натрия концентрацией 40 %, который вносился в количестве 0,75 % от объема пермеата. Максимальное значение степени изомеризации достигается при температуре 80 °С через 30 мин с начала термостатирования. В то же время в интервале температур 80–90 °С наблюдается потемнение раствора. Это свидетельствует об образовании побочных продуктов реакции, концентрация которых увеличивается с ростом температуры и времени термостатирования.

Для определения оптимальных параметров процесса изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока был поставлен двухфакторный эксперимент, в котором изучалось совместное влияние температуры (x_1) и времени термостатирования (x_2) на два выходных параметра: степень изомеризации S_i и активную кислотность pH (начальный уровень pH 10,0). Последний параметр характеризует наличие побочных продуктов реакции, имеющих кислотные свойства.

После математической обработки данных с помощью программы «Fisher» получены модели, показывающие влияние варьируемых факторов – температуры и времени на процесс изомеризации. Получены следующие уравнения регрессии для двух выходных параметров – степени изомеризации S_i и активной кислотности pH:

$$S_i = 18{,}918 + 6{,}513 \cdot x_1 - 3{,}657 \cdot x_2 - 2{,}320 \cdot x_1^2 - 3{,}090 \cdot x_2^2 - 5{,}647 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

$$\text{pH} = 9{,}72 - 0{,}048 \cdot x_1 - 0{,}135 \cdot x_2 - 0{,}081 \cdot x_1^2 - 0{,}043 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

Закономерности процесса изомеризации можно проследить при объемном представлении поверхности отклика (рис. 2). После построения проекции поверхности отклика, представленной на рис. 3, определяли области оптимума.

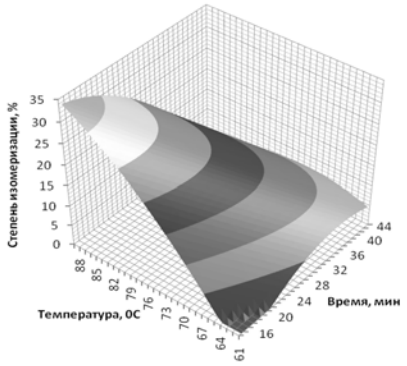

Рис. 2. Поверхность отклика процесса изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока

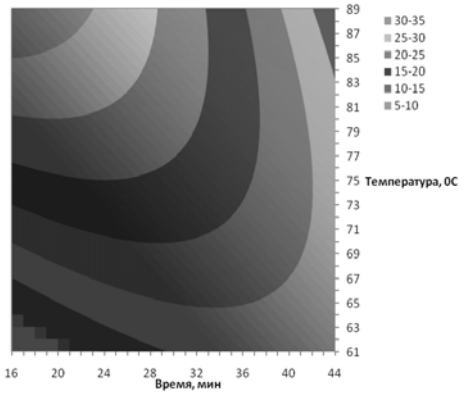

Рис. 3. Сечение поверхности отклика процесса изомеризации лактозы в лактулозу в пермеате обезжиренного молока

Анализ уравнении и графиков показывает, что для показателя степени изомеризации наиболее значимым фактором является температура. Повышение температуры до определенных пределов приводит к увеличению степени изомеризации. С повышением времени термостатирования степень изомеризации лактозы убывает. Роль квадратичных эффектов носит отрицательный характер, как и влияние межфакторного взаимодействия. Все вышеперечисленные особенности приводят к появлению экстремума S_i (30–33) % в диапазонах температуры (89,0±2,5) °С и времени (18±2) мин.

Для процессов образования побочных продуктов характерно отрицательное влияние температуры и времени, как и их межфакторного взаимодействия, причем показатель времени термостатирования является более значимым фактором. Так как рост температуры имеет решающее значение для процесса образования побочных продуктов, решено определить оптимальную температуру изомеризации (85,0±2,5) °С.

Анализ результатов эксперимента по двум выходным параметрам позволяет определить режимы, при которых наблюдается максимальная концентрация лактулозы в пермеате обезжиренного молока при

минимальной концентрации побочных продуктов. Можно достичь довольно высокой степени изомеризации (30–33 %) при температуре (85,0±2,5) °С и времени термостатирования (18±2) мин.

Значительную долю в растворе изомеризованного пермеата составляет непрореагировавшая лактоза, которая также является ценным углеводом, но для получения бифидогенного концентрата являющаяся нежелательным веществом. Поэтому наряду с изучением синтеза лактулозы в пермеате обезжиренного молока представляет интерес обогащение полученного продукта производными реакций гидролиза и трансгалактозилирования лактозы, такими как галактоза, глюкоза и галактоолигосахариды.

Были проведены опыты по гидролизу остаточной лактозы препаратом дрожжевой β-галактозидазы. Предварительно изомеризованный пермеат нейтрализовали лимонной кислотой и сгущали до содержания сухих веществ 20 %. Фермент вносили в количестве 0,1 % от объема изомеризованного пермеата. Гидролиз осуществляли при двух значениях активной кислотности: при pH = 4 и при pH = 6. При этом было выявлено, что реакция гидролиза эффективнее протекает при значении pH = 6, а реакции трансгалактозилирования – при значении pH = 4.

Кинетические закономерности гидролиза и трансгалактозилирования лактозы в изомеризованном пермеате обезжиренного молока при различных значениях активной кислотности показаны на рис. 4 и 5.

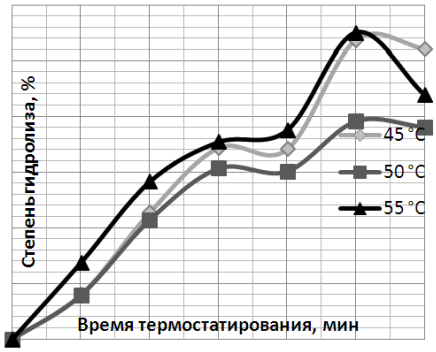

Рис. 4. Кинетика гидролиза лактозы в пермеате обезжиренного молока при значении pH = 6

При значении pH = 6 наблюдается увеличение степени гидролиза при повышении времени термостатирования до 150 мин, при этом максимальное значение степени гидролиза Sg = 55,38 % наблюдалось при температуре 55 °С. Данные значения pH и температуры практически совпадают с параметрами, указанными в технической документации на фермент в качестве оптимальных для процесса гидролиза.

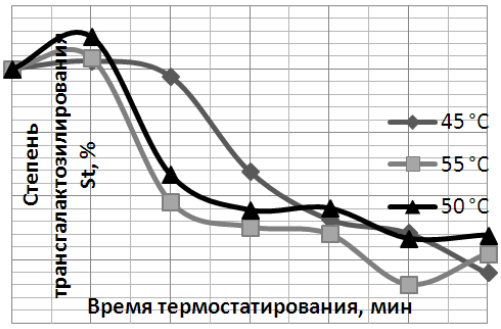

Рис. 5. Кинетика трансгалактозилирования лактозы в пермеате обезжиренного молока при значении pH = 4

Для значения pH = 4 наблюдается увеличение степени трансгалактозилирования при повышении времени термостатирования до 20 мин. Максимальное значение степени гидролиза St = 105,17 % наблюдалось при температуре 50 °С. Низкое значение pH приводит к тому, что в растворе наблюдается дефицит гидроксильных групп, поэтому молекулы глюкозы и галактозы реагируют между собой, то есть происходит процесс образования галактоолигосахаридов.

Данные значения технологических параметров справедливы только при использовании дрожжевой лактазы, так как данный вид фермента имеет оптимум действия в кислых диапазонах значений активной кислотности.

Анализируя данные эксперимента по обогащению концентрата лактулозы дополнительными пребиотическими веществами, можно выделить два пути реакции остаточной лактозы с дрожжевой β-галактозидазой:

1) термостатирование изомеризованного пермеата обезжиренного молока при pH = 6 в течение 150 мин при температуре 55 °С, при этом бифидогенный концентрат будет обогащен глюкозой и галактозой;

2) термостатирование изомеризованного пермеата обезжиренного молока при pH = 4 в течение 20 мин при температуре 50 °С, при этом бифидогенный концентрат будет дополнительно обогащен галактоолигосахаридами.

Таким образом, можно получить продукт улучшенного качества по сравнению с известными сиропами, содержащими лактулозу.

Список литературы

1. Рябцева, С.А. Технология лактулозы: учебное пособие / С.А. Рябцева. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 232 с.
2. Евдокимов, И.А. Современное состояние переработки молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко // Молочная промышленность. – 2008. – № 11. – С. 36–40.
3. Лодыгин, А.Д. Разработка инновационных технологий пребиотических концентратов на основе вторичного молочного сырья: дис. … д-ра техн. наук: 05.18.04: защищена 30.03.2013 / Лодыгин Алексей Дмитриевич. – Ставрополь, 2012. – 332 с.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский
федеральный университет»,
355029, Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2.
Тел: (8652) 23-39-43,
e-mail: info@ncstu.ru

SUMMARY

A.D. Lodygin, A. A. Bugaeva, I. A. Shchelkanova

DEVELOPMENT OF PREBIOTIC CONCENTRATE TECNOLOGY ON THE BASIS OF SKIMMED MILK PERMEATE

The urgency of manufacturing of bifidogenous concentrates from permeates of secondary dairy raw material has been grounded. Regulations of lactose into lactulose isomerization in skimmed milk permeate are studied. Mathematical models describing the influence of temperature and duration on the efficiency of lactose isomerization in skimmed milk permeate are presented. Optimum parameters of isomerization have been established.

The possibility of prebiotic concentrates enrichment with biologically active products of lactose fermentation is grounded. Regulations of lactose polymerization and hydrolysis in permeate enriched with lactulose are studied. Optimum parameters of lactose hydrolysis and polimerization have been established.

Results of researches on lactose biotransformation in skimmed milk permeate are summarized. Optimum manufacturing parameters of prebiotic concentrate production on the basis of skimmed milk permeate have been established.

Lactose, permeate, isomerization, lactulose, transgalactosylation, hydrolysis, prebiotic concentrate.

North Caucasian Federal University,
st. Kulakova, 2, Stavropol, 355029, Russia.
Phone: +7(8652) 23-39-43,
e-mail: info@ncstu.ru

Дата поступления: 09.07.2013