

23. Navab M., Gharavi N., Watson A. D. Inflammation and metabolic disorders // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2008. V. 11. No. 4. P. 459–464.
24. Praticò D., Rokach J., Lawson J., FitzGerald G. A. F2-isoprostanes as indices of lipid peroxidation in inflammatory diseases // *Chem Phys Lipids*. 2004. V. 128. No. 1–2. P. 165–171.
25. Penn M. S. The role of leukocyte-generated oxidants in left ventricular remodeling // *Am J Cardiol*. 2008. V. 5. No. 22. P. 30–33.
26. Rahman I., Adcock I. M. Oxidative stress and redox regulation of lung inflammation in COPD // *Eur Respir J*. 2006. V. 28. No. 1. P. 219–242.
27. Rahman I. Oxidative stress, chromatin remodeling and gene transcription in inflammation and chronic lung diseases // *J. Biochem. Mol. Biol*. 2003. V. 36. No.1 P. 95–109.
28. Singh U., Devaraj S., Jialal I. Vitamin E, oxidative stress, and inflammation // *Annu Rev Nutr*. 2005. № 25. P. 151–174.
29. Uchida K. A lipid-derived endogenous inducer of COX-2: a bridge between inflammation and oxidative stress // *Mol. Cells*. 2008. V. 25. No. 3. P. 347–351.

УДК 637.146

**Храмцов Андрей Георгиевич, Лодыгин Алексей Дмитриевич,
Перевышина Наталья Андреевна, Иорданян Эдуард Михайлович**

ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ЛАКТОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

В статье рассмотрены современные способы гидролиза лактозы и перспективы их совершенствования. Приведены экспериментальные данные по изучению ферментативного гидролиза лактозы в растворах молочного сахара и пермеате молочной сыворотки.

Ключевые слова: лактозосодержащее сырье, электрохимическая активация, лактоза, лактаза, ферментативный гидролиз.

**Khramtsov Andrew Georgievich, Lodygin Alexey Dmitrievich,
Perevyshina Natalya Andreevna, Iordanyan Eduard Mikhailovich**
**THE ENZYMATIC HYDROLYSIS AS A PROMISING METHOD OF PROCESSING
LACTOSE-CONSISTING RAW MATERIALS**

Modern methods of lactose hydrolysis and prospective of their enforcement are discussed. Results of studying of lactose enzymatic hydrolysis in lactose solutions and whey permeate are given.

Key words: lactose-consisting raw materials, electro-chemical activation, lactose, lactase, enzymatic hydrolysis.

Молочные продукты являются привычной и важной частью питания человека. Однако многие люди страдают непереносимостью молочного сахара – лактозы и не могут употреблять продукты, содержащие молоко. Непереносимость лактозы является одним из наиболее распространенных желудочно-кишечных нарушений, которое наблюдается у сотен миллионов людей во всем мире. Большинство людей рождаются со способностью усваивать лактозу, но к двадцати годам многие приобретают определенную степень непереносимости лактозы. По разным оценкам, этим страдают около 15 млн россиян (1).

На усвояемость лактозы влияет, прежде всего, активность фермента лактазы, которая расщепляет молочный сахар на галактозу и глюкозу. Без наличия адекватного количества этого фермента пищеварительная система не в состоянии должным образом переваривать и всасывать лактозу – основной сахар в молоке и молочных продуктах. При возникновении такой ситуации происходит ферментация лактозы бактериями толстой кишки, что сопровождается выделением газообразных водорода и метана. Нарушается процесс усвоения важных для организма питательных веществ, растет риск развития паразитарных инфекций (2). В России практически нет рынка низколактозных продуктов, за исключением смесей для новорожденных детей. Таким образом, по меньшей мере, около 10 % населения должны ограничиваться в потреблении молочных продуктов.

Гидролиз лактозы может быть осуществлен термическим, химическим (кислотным), безреагентным (с использованием электрохимически активированных водных растворов и катионообменных смол) и ферментативным (под действием препаратов лактазы) способами (3). Кислотный способ гидролиза лактозы может быть осуществлен с использованием депротеинизированного лактозосо-

державного сырья: ультрафильтратов (пермеатов) обезжиренного молока и молочной сыворотки, осветленной молочной сыворотки, растворов молочного сахара различной доброкачественности. Ферментативный гидролиз лактозы может быть реализован непосредственно в молоке или сыворотке с регулируемым значением pH с использованием препаратов фермента β -галактозидазы (лактазы).

В совершенствовании технологии возможна замена кислотных реагентов-катализаторов реакции гидролиза лактозы на безреагентные методы регулирования pH молочного сырья. Это обусловлено тем, что реакция гидролиза может катализироваться не только при введении в растворы химических реагентов, но и при обработке лактозосодержащего сырья физико-химическими методами, путем его электрохимической активации. К преимуществам данных методов по сравнению с традиционными следует отнести исключение использования реагентов-катализаторов и дополнительных стадий очистки готового продукта (4).

Сравнение закономерностей гидролиза лактозы в пермеате сыворотки и в растворах молочного сахара показало, что наличие в гидролизующихся растворах несахаров значительно снижает степень гидролиза лактозы. Это объясняется в первую очередь протеканием реакций меланоидинообразования, сопровождающихся резким потемнением раствора.

Наиболее перспективным на современном этапе развития пищевой промышленности представляется ферментативный гидролиз лактозы молочного сырья, что обусловлено следующими факторами (1):

- специфичностью препаратов лактазы к субстрату и, как следствие, более высоким выходом целевых продуктов по сравнению с кислотным гидролизом;
- наличием препаратов с оптимумом pH, близким к активной кислотности указанных видов лактозосодержащего сырья;
- возможностью масштабирования технологического процесса в цехах лактозы, сгущения и сушки предприятий молочной промышленности на базе имеющегося оборудования.

Условия реакции, например, температура, кислотность, длительность, концентрация лактозы и фермента, определяют скорость прохождения процесса. В зависимости от степени гидролиза лактозы молоко будет иметь более сильный или слабый сладкий вкус, что вызвано более высокой сладостью глюкозы и галактозы по сравнению с лактозой. Обычно нет необходимости полностью гидролизовать лактозу, за исключением чрезвычайных случаев нарушения ее всасываемости, так как баланс между количеством молока, уровнем нарушения усвоения лактозы и степенью ее гидролиза определяет, проявятся эти симптомы или нет. На практике должен быть найден компромисс между степенью гидролиза и издержками на его осуществление. Это достигается при гидролизе примерно 70–80 % лактозы.

Исследованы закономерности ферментативного гидролиза лактозы в электроактивированных растворах молочного сахара и пермеата молочной сыворотки, с использованием грибной β -галактозидазы (препарат Лактаза Бейби), при различных pH (3,0; 3,5; 4,0), содержании сухих веществ лактозосодержащего сырья (5 и 15 %) и температурах ферментации (45 и 50 °C). Результаты экспериментов представлены в виде графиков зависимости степени гидролиза от времени ферментации (рис. 1–4).

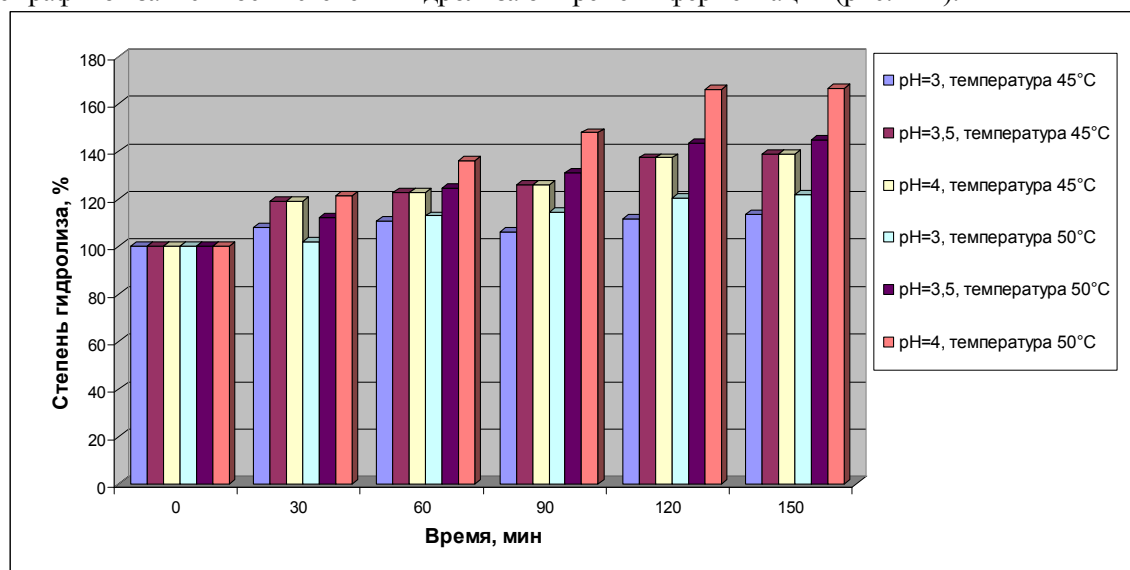


Рис. 1. Зависимость степени гидролиза от времени ферментации для 5%-го раствора лактозы

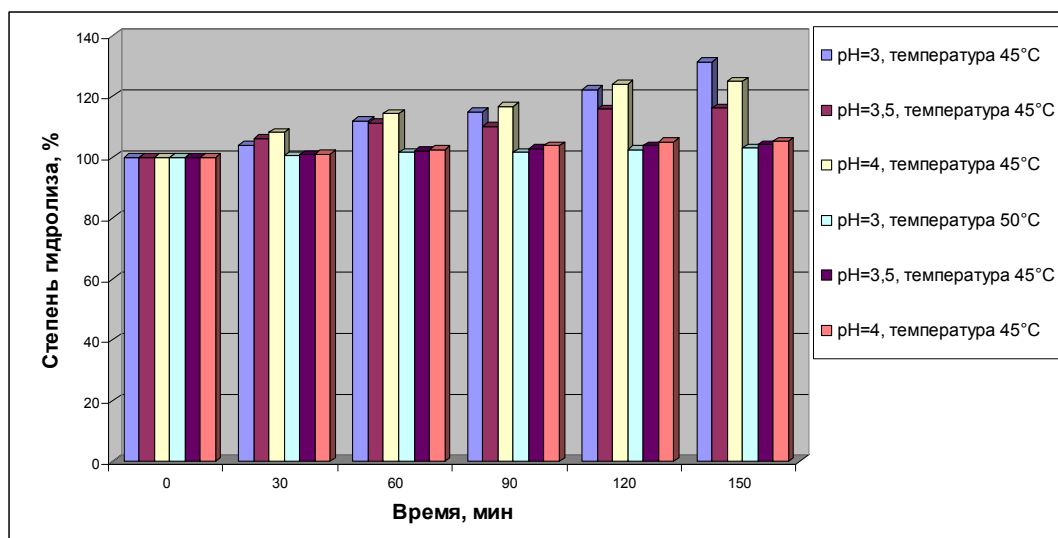


Рис. 2. Зависимость степени гидролиза от времени ферментации для 15%-го раствора лактозы

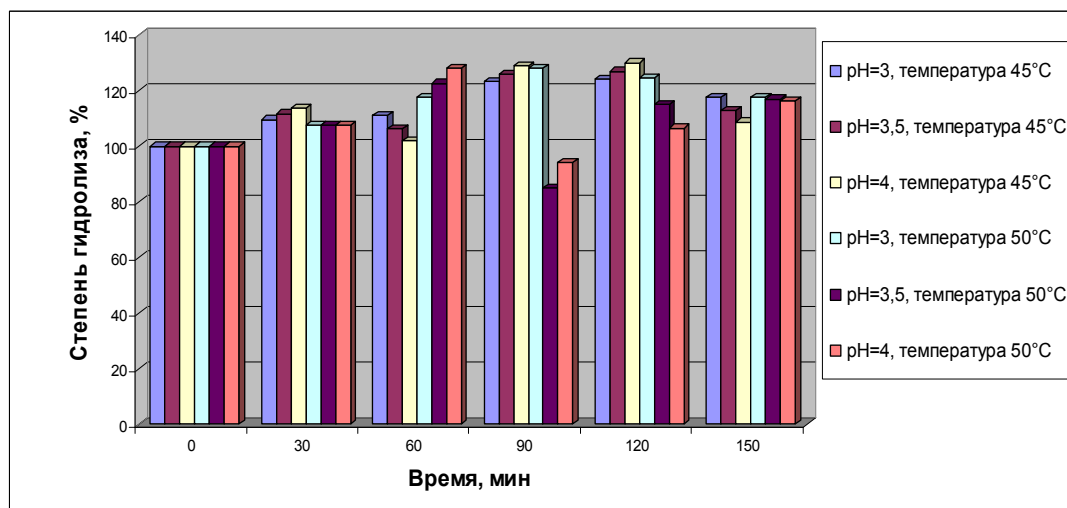


Рис. 3. Зависимость степени гидролиза от времени ферментации для пермеата молочной сыворотки с массовой долей сухих веществ 5 %

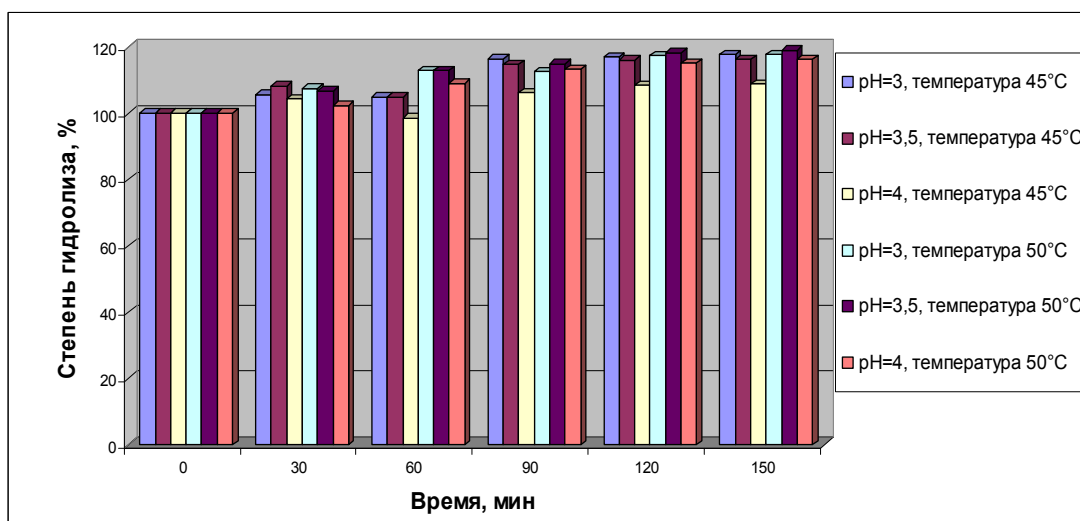


Рис. 4. Зависимость степени гидролиза от времени ферментации для пермеата молочной сыворотки с массовой долей сухих веществ 15 %

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы. Максимальная степень гидролиза достигается примерно через 2–2,5 часа ферментации и составляет в среднем 75–80 %. Оптимум, при котором достигается максимальная степень гидролиза для растворов с разной концентрацией, различен: для 5%-го раствора лактозы – pH 4, температура 50 °С, для 15%-го раствора лактозы – pH 4, температура 45 °С, для пермеата с массовой долей сухих веществ 5 % – pH 4, температура 45 °С, для пермеата с массовой долей сухих веществ 15 % – pH 3,5, температура 45 °С. Полученные данные послужат для планирования многофакторного эксперимента.

Сиропа с гидролизованной лактозой можно использовать в бродильных производствах при выработке пива, вина, а также различных безалкогольных напитков, пекарских дрожжей. Помимо перечисленных направлений имеются данные об использовании глюкозогалактозных сиропов и концентратов молочной сыворотки с гидролизованной лактозой при производстве мясопродуктов, консервированных фруктов, искусственного меда. Приведенные примеры свидетельствуют о высоких функциональных свойствах и широких возможностях использования гидролизатов лактозы (5).

Молочная сыворотка с гидролизованной лактозой используется также для частичной замены обезжиренного молока в производстве молочных десертов, таких как мороженое (уменьшает дефекты кристаллизации лактозы и снижает точку замерзания, что придает мягкость и нежность продукту). Концентрированная (сгущенная) молочная сыворотка с гидролизованной лактозой может быть использована в кондитерском производстве в качестве усилителя вкуса и увлажнителя, а также в качестве кормового средства (добавки). Другие потенциальные возможности использования продуктов с гидролизованной лактозой: в качестве усилителя вкуса, цвета и антиокислителя для предотвращения реакции Майяра; при получении некоторых ферментов микробного происхождения для частичного или полного замещения сахарозы и придания вкуса молочным напиткам (5).

Литература

1. Капрельянц Л. В., Невмываный С. А. Нетрадиционные ферментные продукты с пробиотическими свойствами // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 10. С. 54–55.
2. Свириденко Ю. Я., Смурыгин В. Ю. Гидролиз лактозы: мировой опыт // Молочная промышленность. 1996 № 7. С. 21–22.
3. Грабчак С. Л., Иванова Л. С., Кричевская Г. В. Способ гидролиза лактозы в сывороточном концентрате // Агропром Украины. 1990. № 12. С. 40–41.
4. Евдокимов И. А., Володин Д. Н., Дыкало Н. Я. Электродиализ – перспективный метод переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2001. № 2. С. 5–7.
5. Лактоза и ее производные / Б. М. Синельников, А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов и др. СПб.: Профессия, 2007. 768 с.