

УДК 637.136.5

А.В. Крупин

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОКА ПРИ ГИДРОЛИЗЕ ЛАКТОЗЫ

Изучен процесс ферментации составных частей молока в связи с возможностью использования их в технологии молочных напитков. Исследованы качественные характеристики ферментации лактозы, установлены изменения углеводов в молоке. Выбран способ обработки молочных углеводов в связи с использованием его в технологии молочных напитков. Подробно изучен количественный состав органических кислот в процессе ферментативного гидролиза лактозы.

Лактоза, ферментативный гидролиз, изменение углеводов, трансгликозилирование молока.

В процессе ферментации происходят существенные изменения с составными частями молока. В связи с тем, что наибольшим изменениям подвергся молочный сахар, нами детально проанализирован углеводный состав углеводов, полученных при гидролизе лактозы. Опуская из текста диссертации хроматограммы, следует отметить, что в процессе ферментации отмечается накопление продуктов трансгликозилирования (рис. 1).

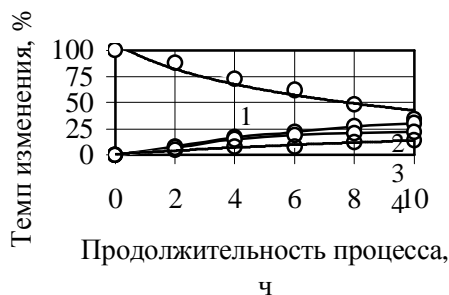
Установлено, что темп изменения углеводов в молоке подчиняется общим законам независимо от препарата, трансформирующего лактозу (поз. 1). Так, наибольшее падение массовой доли лактозы в молоке после двух часов ферментации отмечено в случае использования *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis* – на 39%, затем на 25% в случае гидролиза дрожжами *K. lactis* и на 12% в образце, ферментированном экстракт из *K. lactis*. В дальнейшем темп падения массовой доли лактозы замедлялся, и, начиная с 8 часового интервала, переходил в зону, соответствующую показателю ошибки опыта ($R^2 \geq 0,15$), стадия процесса являлась заключительной.

Отметим, что в третьем варианте опытов с использованием *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis* глюкоза и галактоза накапливались практически в равных концентрациях (как и следовало ожидать, исходя из теоретического выхода), различия в темпе накопления являлись недостоверными. Так, содержание глюкозы и галактозы после 2, 4, 6, 8 и 10 ч ферментации в относительном содержании углеводов составило 20 и 20; 23 и 22; 24 и 22; 29 и 28, а также 36 и 34% соответственно. В долевом отношении это составило 1,00; 1,05; 1,09; 1,04 и 1,06.

а)



б)



в)



Рис. 1. Темп изменения углеводов при гидролизе лактозы (а – дрожжи *K. lactis*; б – экстракт из *K. lactis*; в – *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis*):
1 – лактоза; 2 – глюкоза; 3 – галактоза;
4 – продукт трансгликозилирования

В результате биотрансформации лактозы произошло увеличение массовой доли моносахаров и продуктов трансгликозилирования за счет неравновесного течения процесса гидролиза. Отметим, что практически во всех образцах темп накопления глюкозы превалировал над аналогичным показателем второго продукта гидролиза лактозы, а именно – галактозы, которая, по-видимому, являлась более реак-

ционнеспособной. Показано, что изменение массовой доли продуктов трансгликозилирования имело линейную зависимость на всем участке процесса ферментации.

В случае использования дрожжей *K. lactis* после десяти часов ферментации относительное содержание глюкозы, галактозы и продуктов трансгликозилирования составляло 32, 22 и 11%; экстракт из *K. lactis* позволяет получить относительно содержание углеводов 30, 22 и 14%; а *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis* позволяет получить в относительном содержании 36% глюкозы, 34% галактозы и 7% продуктов трансгликозилирования.

Как показано в работах некоторых авторов, β -галактозидаза является индуцированным ферментом. В этой связи интерес представляет изучение содержания продуктов трансгликозилирования в молоке с гидролизованной лактозой. В табл. 1 показан качественный и количественный состав олигосахаридов (продуктов трансгликозилирования).

Таблица 1

Качественный и количественный состав
продуктов трансгликозилирования

молока с гидролизованной лактозой ($\bar{X} \pm m$; $m \leq 0,05$)

Олигосахарид	Относительное содержание, % после продолжительности ферментации, ч								
	дрожжи <i>K. lactis</i>			экстракт из <i>K. lactis</i>			<i>Lactococcus lactis</i> spb. <i>lactis</i> с геном дрожжей <i>K. lactis</i>		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8
Galb(1 [®])Glc	2,05	2,29	2,79	3,15	3,25	4,23	0,72	1,65	1,98
Galb(1 [®])Glc	1,57	2,06	2,48	3,11	3,18	3,49	0,64	1,37	1,68
Galb(1 [®])Glc	0,43	0,49	0,57	0,70	0,56	0,68	0,44	0,59	0,85
Galb(1 [®])Gal	0,14	0,20	0,29	0,42	0,23	0,48	0,15	0,33	0,41
Сумма не- идентифици- рованных олигосахари- дов	0,81	1,96	2,87	0,68	0,78	2,40	0,05	0,06	0,08

ПРИМЕЧАНИЕ. Массовая доля Galb(1[®])Glc, Galb(1[®])Glc, Galb(1[®])Glc и Galb(1[®])Gal составляла в контрольном образце 0,51; 0,45; 0,29 и 0,10%.

Представленные в таблице результаты свидетельствуют о том, что β -галактозидаза используемых биопрепаратов способна вызывать неравновесное течение процесса гидролиза, а экстракт фермента нуждается в дополнительной степени очистки для обеспечения гидролиза лактозы без получения продуктов трансгликозилирования. Кроме того, естественно предположить, что дрожжи способствуют появлению в молоке достаточно редких неидентифицированных олигосахаридов. Независимо от условий ферментации максимальное образование было характерно для олигосахарида Galb(1[®])Glc, затем следовали дисахариды Galb(1[®])Glc, Galb(1[®])Glc и Galb(1[®])Gal.

Наряду с накоплением продуктов гидролиза отмечено увеличение кислотности молока (табл. 2).

Таблица 2

Изменение массовой доли молочной кислоты
в молоке при ферментации

Препарат	Массовая доля органических кислот в пересчете на молочную кислоту, мг/100 г		
	4	8	12
Дрожжи <i>K. lactis</i>	3±0,06	49±2,42	75±3,74
Экстракт из <i>K. lactis</i>	5±0,15	8±0,04	14±0,67
<i>Lactococcus lactis</i> spb. <i>lactis</i> с геном дрож- жей <i>K. lactis</i>	8±0,43	69±3,43	108±7,44

В начальный момент времени массовая доля органических кислот составляла 0,5±0,02%, наименьший темп нарастания массовой доли органических кислот отмечен в молоке, ферментированном экстрактом из *K. lactis*, наибольший – в случае ферментации *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis*. В результате биохимической трансформации лактозы произошло изменение массовой доли молочной кислоты при увеличении продолжительности ферментации с 4 до 12 ч в среднем в 25,0, 2,8 и 13,5 раз, в то же время после четырех часов ферментации массовая доля молочной кислоты в образце, ферментированном закваской молочнокислых микроорганизмов, превосходило в 2,7 раза аналогичный показатель молока, ферментированного дрожжами.

На рис. 2 показаны хроматограммы присутствия органических кислот в молоке с гидролизованной лактозой после 10 ч ферментации.

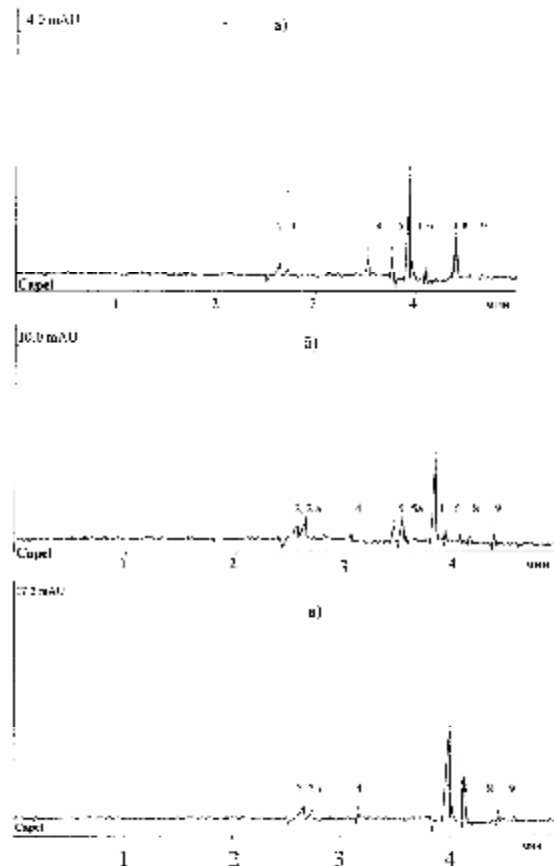


Рис. 2. Хроматографический профиль органических кислот в молоке с гидролизованной лактозой (а – дрожжи *K. lactis*; б – экстракт из *K. lactis*; в – *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis*) по вариантам: 1 – молочная кислота; 2 – муравьиная кислота; 2 а, 3, 9 – неидентифицированные пики; 4 – щавелевая кислота; 5 – винная кислота;

6 – яблочная кислота; 7 – янтарная кислота;
8 – уксусная кислота

Установлено, что спектр образованных в молоке органических кислот является весьма разнообразным. Судя по результатам хроматографического анализа, можно заключить, что из всех биопрепаратов наиболее активным продуцентом молочной кислоты является *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *K. lactis*, пики других органических кислот не являются значительными, за исключением яблочной кислоты, которая является промежуточным продуктом при биотрансформации углеводов в молочную кислоту.

Дрожжевой препарат *K. lactis* позволял получить более широкий спектр органических кислот, еще в большей степени отмечено расширение спектра органических кислот при ферментации экстрактом из *K. lactis* (табл. 3).

Таблица 3

Количественный состав идентифицированных органических кислот в молоке с гидролизованной лактозой ($\bar{X} \pm m$; $m \leq 0,05$)

Олигосахарид	Массовая доля, мг/100 г, после продолжительности ферментации, ч								
	дрожжи <i>K. lactis</i>			экстракт из <i>K. lactis</i>			<i>Lactococcus lactis</i> spb. <i>lactis</i> с геном дрожжей <i>K. lactis</i>		
	4	8	12	4	8	12	4	8	12
Молочная кислота	2,12	35,7	67,2	3,55	4,93	10,36	6,20	50,31	79,30
Муравьиная кислота	-	3,68	6,71	1,56	1,78	2,06	0,05	0,09	2,37
Щавелевая	0,01	0,08	1,27	0,02	0,06	0,07	-	-	-

Список литературы

1. Алиева, Л.Р. Разработка технологии напитков из молочной сыворотки с применением хитозана: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.04: защищена 20.05.03 / Алиева Людмила Руслановна. – Ставрополь, 2003. – 19 с.
2. Бархатова, Т.В. Бифидогенные олигосахариды / Т.В. Бархатова, И.А. Евдокимов. – Краснодар: ООО «Фирма Тамзи», 2003. – 90 с.
3. Волкова, Т.А. Газированные напитки на основе молочной сыворотки / Т.А. Волкова, Э.Ф. Кравченко // Современные технологии пищевых производств нового поколения и их реализация на предприятиях АПК: тезисы докладов научно-практической конференции. – Углич, 2000. – С. 90-92.
4. Голуб, О.В. Исследование и разработка технологии продуктов на основе молочной сыворотки и использованием фитосырья: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.04: защищена 06.04.00 / Голуб Ольга Валентиновна. – Кемерово, 2000. – 16 с.
5. Хамагаева, И.С. Влияние гидролиза лактозы β -галактозидазой на биохимическую активность бифидобактерий: В кн. «XXI Международный конгресс по молочному делу. Краткие сообщения» / И.С. Хамагаева, А.С. Тихомирова, А.К. Куликова. – М., 1982. – Т. 1. – Кн. 2. – 370 с.

кислота									
Винная кислота	-	-	0,03	-	-	0,02	-	-	-
Янтарная кислота	-	0,05	0,09	-	-	-	-	-	-
Яблочная кислота	0,34	0,40	0,46	-	0,02	0,06	1,05	8,96	20,11
Уксусная кислота	0,03	0,07	1,02	0,01	0,04	0,05	-	-	-

Скачкообразное увеличение массовой доли органических кислот после восьми часов технологического процесса связаны с экспоненциальным размножением микроорганизмов, причем массовая доля молочной кислоты, как наиболее весомой, в относительном содержании всего профиля органических кислот в 2,9; 1,4 и 1,2 раза превосходила аналогичный показатель для молока, ферментированного дрожжевыми клетками после 4, 8 и 12 ч биотехнологической обработки.

Подобные изменения содержания органических кислот существенно влияли на формирование органолептических показателей молока с гидролизованной лактозой.

Развивая имеющиеся фундаментальные знания и практические достижения в области биохимии гидролиза лактозы, в наших дальнейших исследованиях предпринята попытка исследовать закономерности гидролиза лактозы коммерческими препаратами, полученными в лабораторных условиях ООО «Инновационно-исследовательский центр»:

- дрожжи *Kluyeromyces lactis*;
- дрожжевой экстракт из *Kluyeromyces lactis*;
- *Lactococcus lactis* spb. *lactis* с геном дрожжей *Kluyeromyces lactis*.

ООО ХК «СДС-Алко»

650066, Россия, г. Кемерово, пр. Октябрьский, 53/2.
Тел./факс (3842) 390012, Email: krav@sds-alko.ru

SUMMARY

A. V. Krupin

The analysis of changes of physical and chemical indicators of milk at lactose hydrolysis

ООО ХК «СДС-Алко», Prospectus Oktabrskii, 53/2, Kemerovo, Russia, 650066
Tel./Fax (3842) 390012, E-mail: krav@sds-alko.ru

Process of a fermentation of components of milk in connection with possibility their use in technology of dairy drinks is studied. Are investigated qualitative harakte-ristiki lactose fermentations, changes of carbohydrates in milk are established. It is chosen spo-sob processings of dairy carbohydrates in connection with its use in technology of dairy drinks. The quantitative structure of organic acids in process fer-mentativnogo lactose hydrolysis is in detail studied.

Lactose, enzyme hydrolysis, change of carbohydrates, translizing milk.

