

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДНОЙ АКТИВНОСТИ КОНСОРЦИУМОВ ПРОБИОТИЧЕСКИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

© Н.С. Родионова, Е.С. Попов, А.А. Родионов, Т.А. Разинкова

Воронежский государственный университет инженерных технологий
394036, Российская Федерация, г. Воронеж, пр-т Революции, 19

РЕЗЮМЕ. Синтез микробных полисахаридов, обладающих высокой влагосвязывающей активностью, в процессе культивирования пробиотической микрофлоры способствует улучшению технологических свойств пищевых продуктов, устойчивости сгустка к синерезису, повышению адаптационных свойств микроорганизмов, увеличению их адгезионной активности на слизистых поверхностях желудочно-кишечного тракта. Авторами настоящей статьи проведены экспериментальные исследования активности синтеза полисахаридов консорциумами пробиотических микроорганизмов на основе оценки изменения содержания и соотношения различных форм связанной влаги. Исследование состояния влаги в ферментированных пробиотических продуктах осуществляли методом дифференциально-термического анализа с помощью прибора синхронного термического анализа, с применением методов термогравиметрии, дифференциально-сканирующей калориметрии и неизотермической кинетики. Объектами исследований являлись обезжиренные ферментированные пробиотические молочно-растительные системы, содержащие консорциумы: № 1 – *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*; № 2 – *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*; № 3 – *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*; № 4 – *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*, в концентрации 109 КОЕ/мл. В качестве растительных компонентов применялась композиция биологически активных добавок «Витазар», «Фларабин», «Флавоцен». Контролем служили образцы обезжиренного молока и казеинового геля, полученного методом кислотной коагуляции обезжиренного молока концентрированной соляной кислотой. Процесс дегидратации в контрольных образцах обезжиренного молока и казеинового геля происходит в менее широком температурном интервале по сравнению с образцами ферментированных систем. Это свидетельствует о росте содержания связанной влаги в системе, что обусловлено синтезом экзополисахаридов пробиотическими микроорганизмами. Количественную оценку соотношения фракций влаги с различной связью проводили с применением экспериментальных кривых, полученных методом ТГ. Определены диапазоны эндотермических эффектов, свидетельствующие о ступенчатом удалении влаги, в соответствии с формами и энергией ее связи с биополимерами экспериментальных образцов. Полученные результаты позволяют констатировать наличие выраженной экзополисахаридной активности у исследуемых консорциумов пробиотических микроорганизмов.

Ключевые слова: экзополисахаридная активность, консорциумы пробиотических микроорганизмов, биологически активные добавки, дифференциально-сканирующая калориметрия, термогравиметрия, неизотермическая кинетика.

Информация о статье. Дата поступления 6 июня 2018 г.; дата принятия к печати 25 ноября 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 декабря 2018 г.

Для цитирования: Родионова Н.С., Попов Е.С., Родионов А.А., Разинкова Т.А. Дифференциально-термический анализ в оценке экзополисахаридной активности консорциумов пробиотических микроорганизмов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, N 4. С. 95–105. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-95-105

ASSESSMENT OF THE EXOPOLYSACCHARIDE ACTIVITY OF PROBIOTIC CONSORTIA USING DIFFERENTIAL THERMAL ANALYSIS

© N.S. Rodionova, E.S. Popov, A.A. Rodionov, T.A. Razinkova

Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolyutsii Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation

ABSTRACT. Microbial polysaccharides with high moisture-binding activity synthesized during the growth of probiotics are known to improve such technological properties of dairy products as resistance of milk gels to syneresis, as well as the adaptive properties of probiotic microorganisms and their adhesion to the mucosal surface of the gastrointestinal tract. In this paper, we present the results of an experimental study carried out to investigate the synthesis of microbial polysaccharides by means of probiotic consortia based on an assessment of changes in the content and ratio of bound moisture. The state of moisture in fermented probiotic products was evaluated by differential thermal analysis using a Synchronous Thermal Analyzer, as well as by the thermogravimetric analysis, differential scanning calorimetry and non-isothermal kinetic methods. Research samples included lowfat fermented probiotic milk-vegetable systems containing the following microbial consortia: No. 1 – *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*; No. 2 – *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*; No. 3 – *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*; No. 4 – *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*, all taken at a concentration of 109 CFU/mL. A mixture of the Vitazar, Flarabin, and Flavocen dietary supplements was used as a biologically active plant component. Reference samples consisted in skimmed milk and casein gel, with the latter being obtained by the acid coagulation of skimmed milk using concentrated hydrochloric acid. The process of dehydration in the reference samples of skimmed milk and casein gel is shown to occur within a more narrow temperature range compared to those of the fermented systems. This indicates an increase in the content of bound moisture in these systems resulting from the synthesis of exopolysaccharides by probiotic microorganisms. A quantitative assessment of moisture fractions characterised by different types of bonding was performed using experimental curves obtained by the TGA method. The ranges of endothermic effects, indicating a stepwise removal of moisture, have been determined in accordance with the form and energy of the association of moisture with the experimental sample biopolymers. The obtained results demonstrate a pronounced exopolysaccharide activity on the part of the probiotic consortia under study.

Keywords: exopolysaccharide activity, probiotic microorganism consortia, biologically active additives, differential scanning calorimetry, thermogravimetry, non-isothermal kinetics

Information about the article. Received June 6, 2018; accepted for publication November 25, available online December 29, 2018.

For citation: Rodionova N.S., Popov E.S., Rodionov A.A., Razinkova T.A. Assessment of the exopolysaccharide activity of probiotic consortia using differential thermal analysis. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2018. vol. 8, no 4, pp. 95–105. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-95-105

ВВЕДЕНИЕ

Роль и значение пищевых продуктов, содержащих пробиотики, для поддержания гомеостаза организма человека доказаны многочисленными исследованиями, представленными, например, в работах¹ [1–4]. Для увеличения сроков годности продуктов в пищевых технологиях применяют консерванты, загустители, антиоксиданты, стабилизаторы различного происхождения, не всегда однозначно без-

опасные [1, 5, 6]. Актуальность интереса к экзополисахаридной активности культур лакто- и бифидобактерий обусловлена тем, что им присвоен статус безопасности GRAS (Generally recognized as safe), подтверждающий возможность рассматривать их в качестве ингредиентов безопасных пищевых продуктов. Экзополисахариды, преимущественно состоящие из рамнозы, синтезируемые пробиотическими микроорганизмами, не только улучшают потребительские свойства продуктов [2, 4–6], но и повышают адгезионную активность лакто- и бифидобактерий на слизистых поверхностях желудочно-кишечного тракта, проявляют противоязвенную и гиполипидемическую активность, антиканцерогенные свойства [1]. Условия культивирования биомассы влияют на синтез экзополисахаридов пробиотом¹ [4, 6, 7] и формирование микроколоний, что повышает адаптационные свойства микроорганизмов [8–10]. Благодаря формированию экзополимерной капсулы у молочнокислых бактерий снижается вероятность лизиса клетки бактериофагами [11], возрастает устойчивость к агрессивным внешним факторам – кислотности, температуре, ультразвуку. Экзополисахариды являются естественными саморегуляторами биосистемы, выполняя барьерную функцию между клеткой и окружающей средой [1]. Синтез экзопо-

¹Карпунина Л.В., Полукаров Е.В., Нурмухамедов А.В. Оптимизация условий культивирования *Lactobacillus bulgaricus* для продуцирования экзополисахаридов // Материалы конф. по итогам научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2007 год (Саратов, 7–11 апреля 2007 г.). Саратов, 2008. С. 8–9.

Karpunina L.V., Polukarov E.V., Nurmukhamedov A.V. Optimizatsiya uslovii kull'tivirovaniya *Lactobacillus bulgaricus* dlya produktirovaniya ekzopolisakhari-dov [Optimization of cultivation conditions for *Lactobacillus bulgaricus* for the production of exopolysaccharides]. Materialy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skoi i proizvodstvennoi raboty studentov za 2007 god [Proc. Conf. «Results of research and production work of students 2007»]. Saratov, 2008, pp. 8–9.

лисахаридов способствует интенсификации ферментации молока, сокращению времени образования сгустка, улучшению реологических характеристик и текстуры продукта [5], биосинтезу самих бактерий и их метаболитов – аминокислот, короткоцепочечных жирных кислот, витаминов, ферментов [6].

С целью повышения эффективности синтеза пробиотических микроорганизмов и обеспечения благоприятных условий для реализации их метаболической активности в состав молочных систем вводилась композиция биоактивных растительных компонентов (КБРК) в количестве 3,5%, содержащая биологически активные добавки (г/100 г): мука зародышей пшеницы «Витазар» (0,715), продукты глубокой переработки листовенницы «Фларабин» (0,273) и «Флавоцен» (0,012). Выбор данных компонентов был обусловлен широким спектром их биокорректирующего воздействия на функции организма, а также наличием в их составе соединений, представляющих собой пребиотические питательные вещества, необходимые для развития консорциумов пробиотических микроорганизмов и активизации синтеза микробных экзополисахаридов. Сочетание данных добавок с пробиотическими микроорганизмами позволит получить синбиотические продукты, обладающие более выраженным положительным действием на биоценоз организма человека [12].

Цель работы – исследование изменений содержания и соотношения различных форм связанной влаги в молочно-растительных системах, ферментированных консорциумами пробиотических микроорганизмов с различной экзополисахаридной активностью.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальное исследование состояния влаги в ферментированных пробиотических продуктах осуществляли методом дифференциально-термического анализа с помощью прибора синхронного термического анализа (ТГ-ДТА/ДСк, модель STA 449 F3 Jupiter). Были использованы методы термогравиметрии (ТГ), дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и неизомермической кинетики с нахождением степени превращения α . Выбор данного метода обусловлен его высокой точностью и возможностью регистрировать тепловые эффекты физико-химических и структурных изменений, происходящих в продукте при управляемом воздействии высокой температурой. Метод ТГ обеспечивает контроль изменения массы исследуемого образца при нагреве или охлаждении в диапазоне температур, соответствующих фазовым превращениям влаги в образце [13–16]. Для представления полученных результатов в виде дифференциальных зависимостей dTG и dДСК их обрабатывали с помощью программного обеспечения MS Excel и NETZSCH Proteus. Нагрев производили в

диапазоне температур 30–300 °С, скорость нагрева составляла 5 К/мин. Использовали тигли из оксидированного алюминия, среда – газообразный азот, класс 5, расход продувочного газа – 40 мл/мин. Количественную оценку фракций влаги различных форм связи проводили по экспериментальным данным в соответствии с методикой, представленной в работах [14, 16]. Исследуемые объекты – обезжиренные ферментированные пробиотические молочно-растительные системы, содержащие консорциумы: образец № 1 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*; № 2 – *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*; № 3 – *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*; № 4 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. Adolescentis*, в концентрации 10^9 КОЕ/мл (титруемая кислотность 80–100 °Т, pH 4,61–4,65) и композиция биологически активных добавок «Витазар», «Фларабин», «Флавоцен» в общем количестве 3,5%. Контролем служили образцы обезжиренного молока и казеинового геля с pH 4,62, полученного методом кислотной коагуляции обезжиренного молока концентрированной соляной кислотой.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные на рис. 1–6 экспериментальные зависимости, иллюстрируют процесс термоллиза исследуемых образцов в диапазоне от 30 до 300 °С, демонстрируют наличие эндотермических эффектов (кривые ДСК) и соответствующих им изменений массы образцов (кривые ТГ).

В результате термического анализа опытных и контрольных образцов выделены эндотермические эффекты в различных температурных диапазонах (°С). Характеристика тепловых эффектов, проявляющихся в процессе термоллиза, представлена в табл. 1.

По возрастанию диапазона температуры, при которой наблюдается эндотермический эффект, исследуемые образцы можно распределить следующим образом: № 6 – контроль (казеиновый гель) – 30–109; № 5 – контроль (обезжиренное молоко) – 30–115; № 3 – 30–126; № 1 – 30–129; № 2 – 30–34; № 4 – 30–143.

Полученные данные свидетельствуют о возрастании степени связывания влаги в образцах исходного молока по сравнению с контрольным гелем вследствие перехода в изoeлектрическое состояние казеина, а также в опытных образцах ферментированных продуктов по сравнению с исходным молоком вследствие дополнительного связывания влаги экзополисахаридами пробиотического происхождения. В процессе термического воздействия масса навесок исследуемых образцов изменялась, остаточная масса исходного молока составила 4,01%, опытных образцов, %: № 1 – 7,19;

№ 2 – 5,72; № 3 – 6,07; № 4 – 7,75. Наибольшая степень связанности влаги отмечается в образце № 4 (консорциум *Str. thermophilus*, *L.*

casei subsp., *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*).

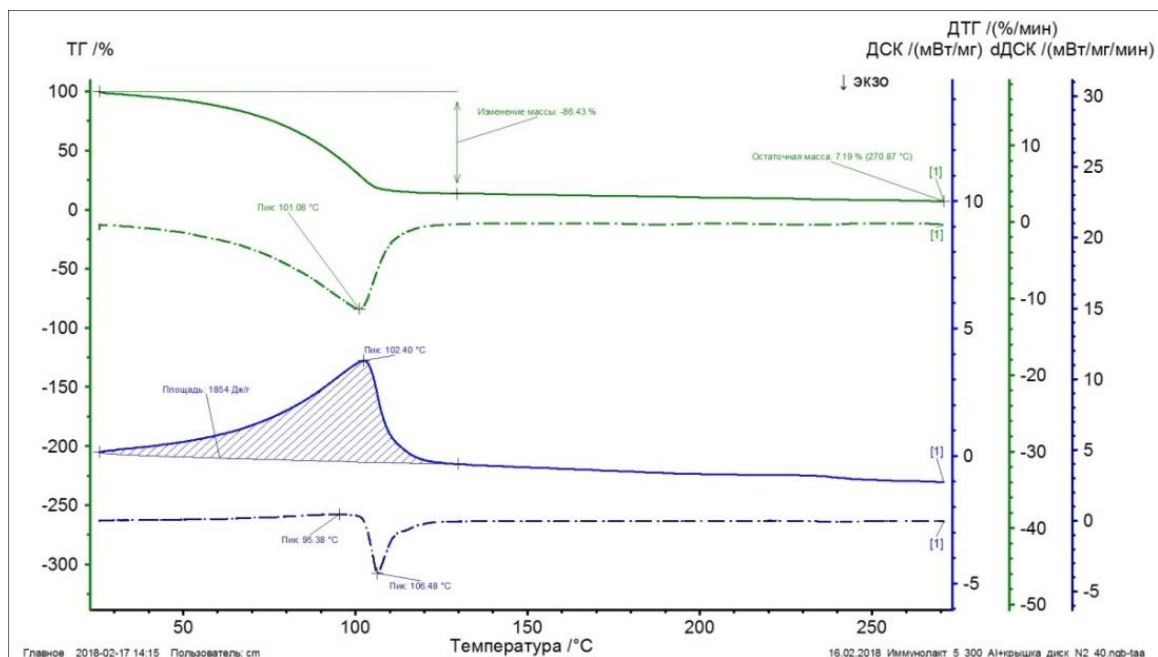


Рис.1. Термограмма ферментированного синбиотического продукта с КБРК, содержащего консорциум *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*

Fig. 1. Thermogram of a fermented synbiotic product with a CBRC containing a consortium of *Str. thermophilus*, *L. casei* subsp., *L. rhamnosus*

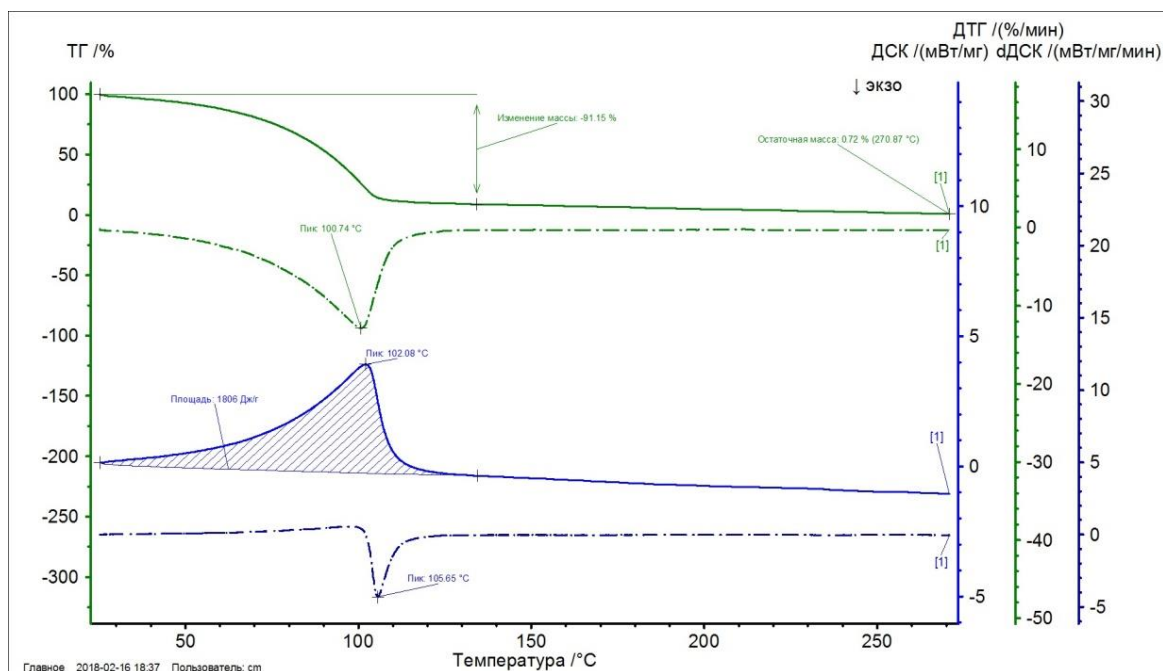


Рис. 2. Термограмма ферментированного синбиотического продукта с КБРК, содержащего консорциум *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*

Fig. 2. Thermogram of a fermented synbiotic product with a CBRC containing a consortium of *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*

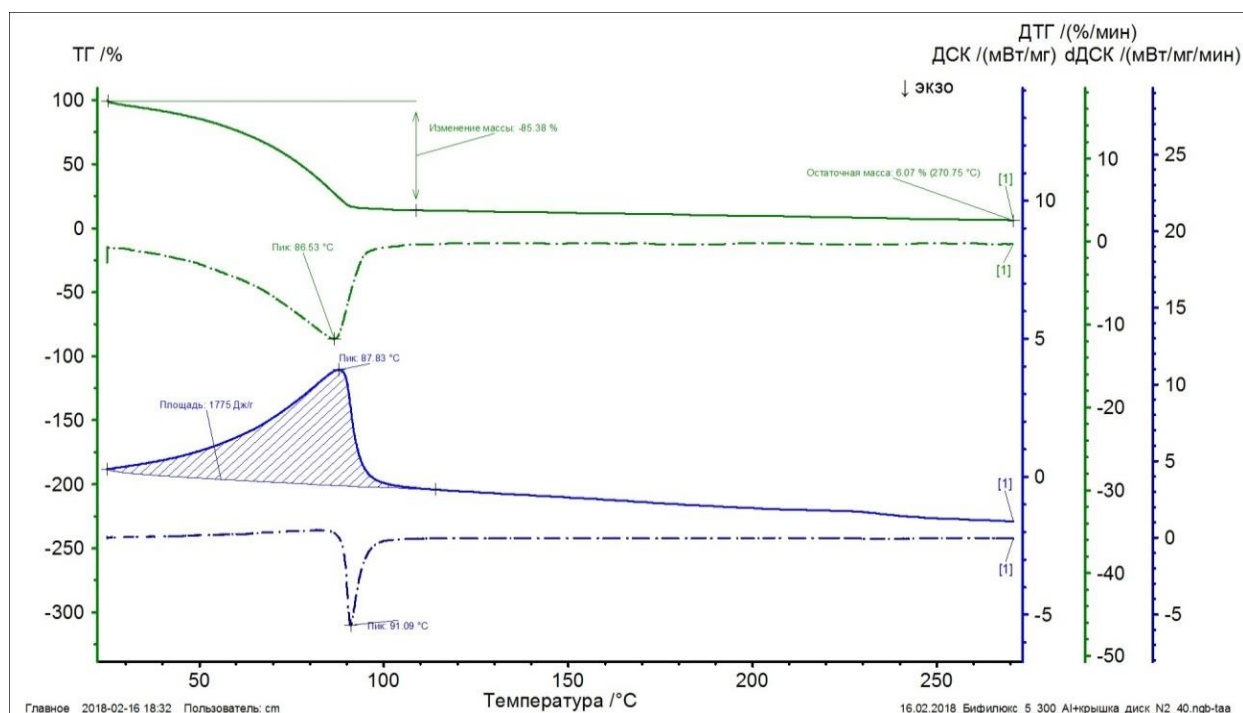


Рис. 3. Термограмма ферментированного синбиотического продукта с КБРК, содержащего консорциум *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*

Fig. 3. Thermogram of a fermented synbiotic product with a CBRC containing a consortium of *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*

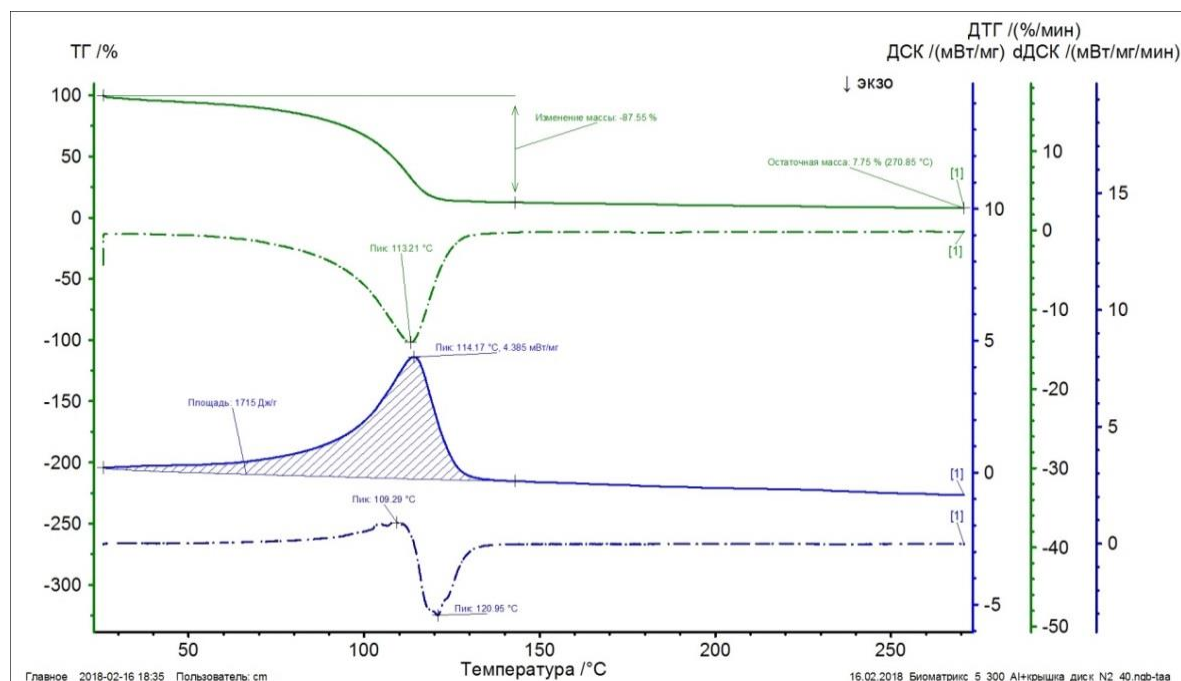


Рис. 4. Термограмма ферментированного синбиотического продукта с КБРК, содержащего консорциум *Str. thermophilus*, *L. Casei subsp.*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*

Fig. 4. Thermogram of a fermented synbiotic product with a CBRC containing a consortium of *Str. thermophilus*, *L. Casei subsp.*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*

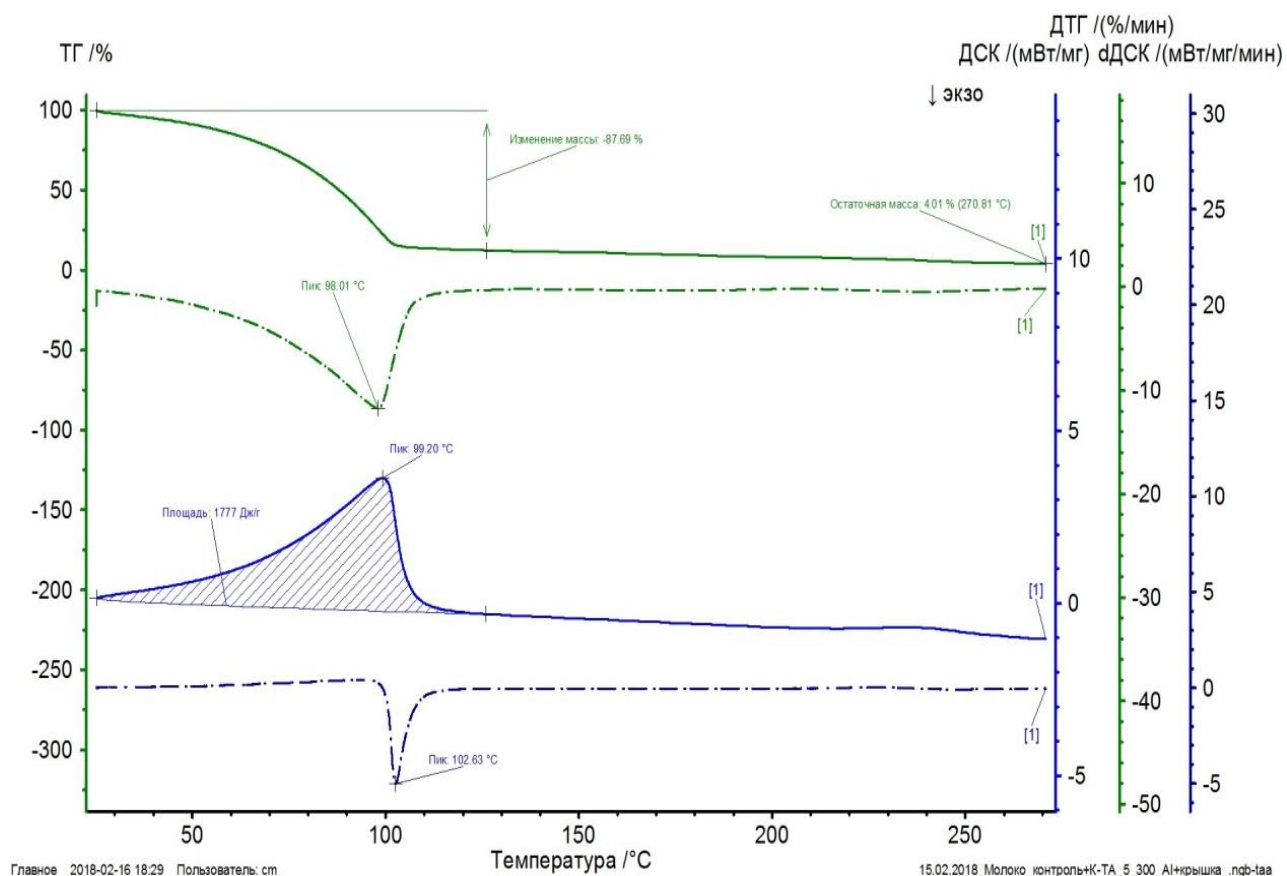


Рис. 5. Термограмма образца обезжиренного молока

Fig. 5. Thermogram of skim milk sample

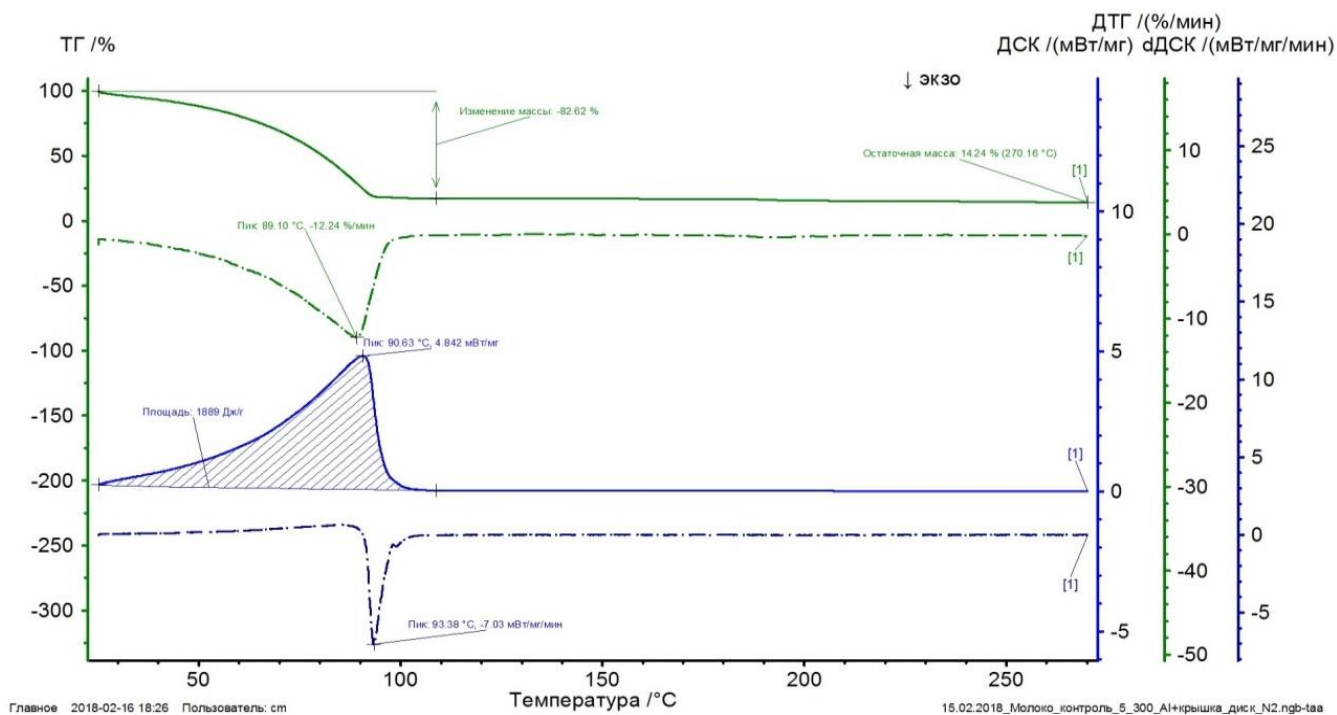


Рис. 6. Термограмма образца казеинового геля

Fig. 6. Thermogram of casein gel sample

Таблица 1

Тепловые эффекты в процессе термоллиза образцов ферментированных синбиотических продуктов с КБРК

Table 1

Thermal effects during thermolysis of fermented synbiotic products with CBRC

Номер образца	Продукт	Температурный интервал, ΔT , °C	Энтальпия, Дж/кг (кривая ДСК)	Изменение массы образца, % (кривая ТГ)
1	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. casei</i> subsp., <i>L. rhamnosus</i>	30–129	1,854	86,43
2	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i>	30–134	1,806	86,15
3	<i>Str. thermophilus</i> , <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. adolescentis</i>	30–126	1,775	85,38
4	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. Casei</i> subsp., <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. adolescentis</i>	30–143	1,715	87,55
5	Обезжиренное молоко (контроль)	30–115	1,777	87,69
6	Казеиновый гель (контроль)	30–109	1,889	92,62

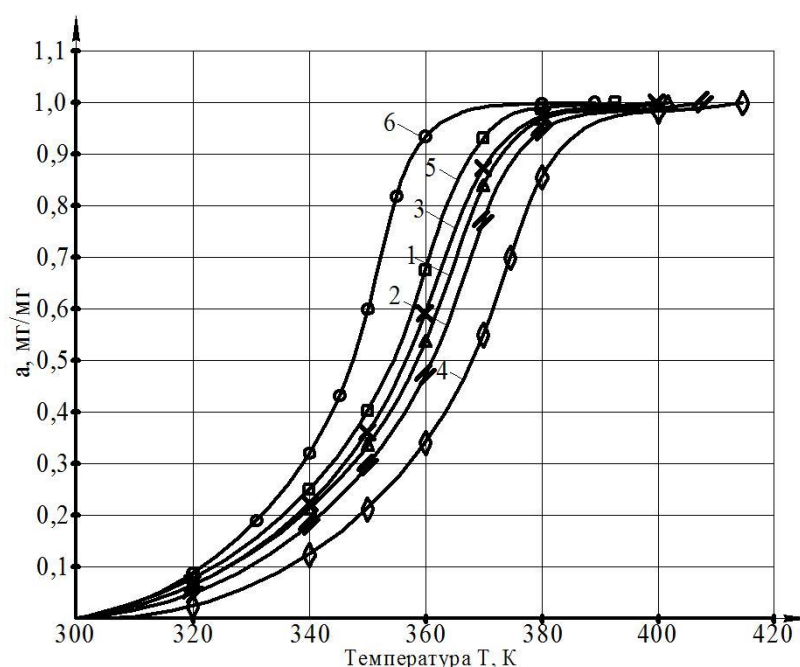


Рис. 7. Зависимость степени превращения α от абсолютной температуры нагрева (T), образцов ферментированного продукта (1–4) и контрольных образцов – обезжиренного молока (5) и казеинового геля (6)

Fig. 7. Dependence of the conversion degree (α) on the absolute heating temperature (T), of fermented product samples (1–4) and control samples of skim milk (5) and casein gel (6)

Преобразование участка зависимости изменения массы ТГ, соответствующего процессу дегидратации в указанных выше температурных интервалах, позволило получить зависимость превращения вещества α , мг/мг, от температуры образца T , К (рис. 7). Степень превращения вещества вычисляли по отношению текущего изменения массы Δm_i на момент времени τ общему изменению массы $\Delta m_{\max}$.

Полученные зависимости $\alpha = f(T)$ имеют S-образный вид, соответствующий сложному процессу дегидратации образцов и высвобождения фракций влаги с различной энергией связи на различных этапах термического анализа.

Интервалы степени превращения $\Delta\alpha$, соответствующей первой (свободной), второй (механически связанной) и третьей (химически связанной) ступеням удаления влаги, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика дегидратации образцов ферментированных синбиотических продуктов

Table 2

Characterization of the dehydration of fermented synbiotic products samples

Номер образца	Продукт	Степень дегидратации	$\Delta T, K$	$\Delta \alpha$	Массовая доля удаляемой влаги, %
1	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. casei</i> subsp., <i>L. rhamnosus</i>	1	303–339	0–0,17	14,69
		2	339–377	0,17–0,92	64,82
		3	377–402	0,92–1,0	6,91
2	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i>	1	303–340	0–0,15	12,92
		2	340–379	0,15–0,89	63,75
		3	379–407	0,89–1,0	9,47
3	<i>Str. thermophilus</i> , <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. adolescentis</i>	1	303–338	0–0,18	15,36
		2	338–375	0,19–0,93	63,18
		3	375–399	0,93–1,0	5,97
4	<i>Str. thermophilus</i> , <i>L. Casei</i> subsp., <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. adolescentis</i>	1	303–344	0–0,14	12,25
		2	344–381	0,14–0,87	63,91
		3	381–416	0,87–1,0	11,38
5	Обезжиренное молоко (контроль)	1	303–336	0–0,21	18,41
		2	336–372	0,21–0,96	65,76
		3	372–388	0,96–1,0	3,50
6	Казеиновый гель (контроль)	1	303–332	0–0,19	17,48
		2	332–357	0,19–0,94	67,16
		3	357–382	0,92–1,0	7,40

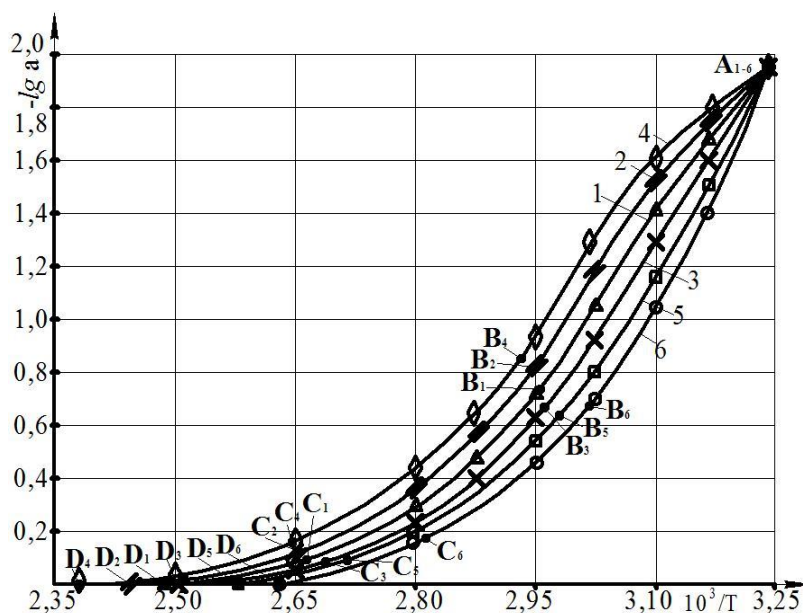


Рис. 8. Зависимость $-\lg \alpha = f(10^3/T)$ при скорости нагрева среды 5 К/мин для образцов ферментированного продукта (1–4) и контрольных образцов – обезжиренного молока (5) и казеинового геля (6)

Fig. 8. Dependence of $-\lg \alpha = f(10^3/T)$ at a medium heating rate (K / min) for samples of fermented product (1–4) and control samples of skim milk (5) and casein gel (6)

Зависимость $-\lg \alpha = f(10^3/T)$ позволяет идентифицировать три фазы дегидратации образцов, соответствующие высвобождению влаги различных форм и энергий связи: 1-я фаза процесса (участки A/B_i) – нагрев и удаление свободной влаги; 2-я фаза (участки B_i/C_i) – удаление адсорбционно и осмотически-связанной влаги, частичное разложение продукта; 3-я фаза процесса дегидратации (участки C_i/D_i) – разложение продукта, выделение газообразных продуктов термического разложения и удаление физико-химически связанной влаги (рис. 8, см. табл. 2).

Аппроксимация полученных кривых (см. рис. 8) позволяет получить трехлинейные сплайны. Выделенные участки свидетельствуют о ступенчатом удалении влаги в соответствии с формами ее связи с биополимерами экспериментальных образцов. Нагрев образцов и удаление свободной влаги, находящейся в ячейках казеин-полисахаридных гелей, происходит в диапазоне температур 295–303 К. На участках A_1B_1 – A_6B_6 при температуре 303–344 К происходит разрушение связей типа «вода–вода». Количество удаляемой влаги в образцах соответственно составляет, %: № 1 – 14,69; № 2 – 12,92; № 3 – 15,36; № 4 – 12,25; в обезжиренном молоке – 18,41; в контрольном образце казеинового геля – 17,48. Участки B_1C_1 – B_6C_6 располагаются в диапазоне температур 332–381 К и соответствуют удалению механически связанной (адсорбционной) влаги. Массовая доля удаляемой влаги соответственно составила, %: для образца № 1 – 64,82; № 2 – 63,75; № 3 – 63,18; № 4 – 63,91; для контрольных образцов № 5 (обезжиренное молоко) и № 6 (казеиновый гель) – 65,76 и 67,16% соответственно. Сопоставление участков

C_1D_1 – C_6D_6 опытных и контрольных образцов, располагающихся в температурном диапазоне 357–416 К, свидетельствует о возрастании доли физико-химически связанной влаги. Сравнение характеристик данных температурных интервалов позволяет констатировать возрастание доли химически связанной влаги в опытных образцах по сравнению с контрольным образцом казеинового геля, что подтверждает наличие экзополисахаридной активности исследуемых консорциумов пробиотических микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По возрастанию активности синтеза биомассы и метаболитов (по увеличению остатка после высокотемпературного воздействия) исследуемые консорциумы располагаются в следующем порядке: № 2 – *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*; № 3 – *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. Adolescentis*; № 1 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*; № 4 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*. По возрастанию доли физико-химически связанной влаги, позволяющей констатировать наличие экзополисахаридной активности у исследуемых консорциумов пробиотических микроорганизмов, консорциумы располагаются следующим образом: № 3 – *Str. thermophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*; № 1 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*; № 2 – *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*; № 4 – *Str. thermophilus*, *L. casei subsp.*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артюхова С.И., Моторная Е.В. Об актуальности использования при производстве биопродуктов для функционального питания молочнокислых бактерий, синтезирующих экзополисахариды // Международный журнал экспериментального образования. 2015. N 5-1. С. 76.
2. Полукаров Е.В., Жемеричкин Д.А., Карпунина Л.В. Выделение и очистка экзополисахаридов из молочнокислых бактерий // Молодежь и наука XXI века: материалы II Открытой Всерос. конф. молодых ученых (Ульяновск, 24–26 апреля 2007 г.). Ульяновск: Изд-во УГСХА, 2007. С. 128.
3. Полукаров Е.В., Карпунина Л.В., Бухарова Е.Н. Оптимизация процесса получения экзополисахаридов лактобацилл // Вавиловские чтения – 2007: материалы конференции, посвященной 120-й годовщине со дня рождения акад. Н.И. Вавилова (Саратов, 26–30 ноября 2007 г.). Саратов: Научная книга, 2007. С. 334.
4. Полукаров Е.В., Карпунина Л.В., Жемеричкин Д.А. Выделение экзополисахаридов *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* при различных условиях культивирования // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2009. N 4. С. 20–23.
5. Хамагаева И.С., Тумунова С.Б., Ханхалдаева С.Г.-Д., Замбалова Н.А. Зависимость структурно-механических свойств ферментированных сгустков от микрофлоры закваски // Молочная промышленность. 2013. N 7. С. 60–61.
6. Хамагаева И.С., Хазагаева С.Н., Замбалова Н.А. Создание консорциума пробиотических микроорганизмов с высокой биохимической активностью и экзополисахаридным потенциалом // Вестник ВСГУТУ. 2014. N 1 (46). С. 97–102.
7. Macedo M.G., Lacroix C., Gardner N.J., Champagne C.P. Effect of medium supplementation on exopolysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595M in whey permeate // International Dairy Journal. 2002. V. 12. No. 5. P. 419–426. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00173-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00173-X)
8. Хамагаева И.С., Кузнецова О.С. Влияние селенита натрия на метаболизм пробиотических микроорганизмов // Молочная промышленность. 2010. N 2. С. 74–75.
9. Rodriguez C. et al. Prevention of chronic gastritis by fermented milks made with exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus* strains // J. Dairy Sci. 2009. V. 92. P. 2423–2434.

10. Vinderola G., Perdigon A., Duarte J., et al. Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefirano-faciens* on the gut mucosal immunity // *Cytokine*. 2006. V. 36. P. 254–260.

11. Горельникова Е.А., Полукаров Е.В., Карпунина Л.В., Тихомирова Е.И. Влияние экзополисахаридов *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* на цитокиновый статус лабораторных мышей // *Медицинская иммунология*. 2009. Т. 11. N 4-5. С. 309–310.

12. Родионова Н.С., Попов Е.С., Соколова О.А. Нутриентные корректоры пищевого статуса на основе продуктов глубокой переработки низкомасличного сырья: монография. Воронеж: Изд-во ВГУИТ Воронежского госуд. ун-та инженерных технологий. 2016. 240 с.

13. Коротков Е.Г., Пономарёв А.Н., Мельникова Е.И., Кузнецова И.В., Станиславская Е.Б.

Исследование форм связи влаги в твороге с микропартикулятом сывороточных белков // *Молочная промышленность*. 2016. N 8. С. 31–33.

14. Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Кузнецова И.В., Наумченко И.С., Саранова И.А. Исследование форм связи зефира различного состава методом термического анализа // *Вестник ВГУИТ*. 2017. Т. 79. N 3 (73). С. 42–50.

15. Осинцев А.М., Брагинский В.И., Чеботарев А.Л., Осинцева М.А., Сырцева А.П. Исследование термокислотной коагуляции молока термографическим методом // *Техника и технология пищевых производств*. 2013. N 4 (31). С. 69–73.

16. Ухарцева И.Ю., Кадолич В., Ткачева Л.В. Методы исследования продовольственного сырья и пищевых продуктов и опыт их применения // *Потребительская кооперация*. 2014. N 1 (44). С. 66–74.

REFERENCES

1. Artyukhova S.I., Motornaya E.V. On the urgency of use in the production of bio-products for functional nutrition of lactic acid bacteria synthesizing exopolysaccharides. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education]. 2015, no. 5–1, pp. 76. (in Russian)

2. Polukarov E.V., Zhemerichkin D.A., Karpunina L.V. Vydelenie i ochistka ekzopolisakharidov iz molochnokislykh bakterii [Isolation and purification of exopolysaccharides from lactic acid bacteria]. *Materialy II Otkrytoi Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh «Molodezh' i nauka XXI veka»* [Proc. II Open All-Rus. Conf. «Youth and Science of the XXI Century»]. Ul'yanovsk: UGSKhA Publ., 2007, pp. 128.

3. Polukarov E.V., Karpunina L.V., Bukharova E.N. *Optimizatsiya protsessa polucheniya ekzopolisakharidov laktobatsill* [Optimization of the process of obtaining the exopolysaccharides of lactobacillus]. *Materialy konferentsii, posvyashchennoi 120-i godovshchine so dnya rozhdeniya akad. N.I. Vavilova «Vavilovskie chteniya – 2007»* [Proc. Conf. dedicated to the 120th anniversary of the birth of Academician N.I. Vavilov «Vavilov Readings – 2007»]. Saratov: Nauchnaya kniga Publ., 2007, pp. 334.

4. Polukarov, E.V., Karpunina L.V., Zhemerichkin D.A. Isolation of exopolysaccharides *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* under different cultivation conditions. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after. N.I. Vavilov]. 2009, no. 4, pp. 20–23. (in Russian)

5. Khamagaeva I.S., Tumunova S.B., Khankhaldaeva S.G.-D., Zambalova N.A. Dependence of the structural and mechanical properties of fermented bunches from the microflora of the ferment. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2013, no. 7, pp. 60–61. (in Russian)

6. Khamagaeva I.S., Khazagaeva S.N., Zam-

balova N.A. Creation of a consortium of probiotic microorganisms with high biochemical activity and exopolysaccharide potential. *Vestnik VSGUTU* [ESSUTM Bulletin]. 2014, no. 1 (46), pp. 97–102. (in Russian)

7. Macedo M.G., Lacroix C., Gardner N.J., Champagne C.P. Effect of medium supplementation on exopolysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595M in whey permeate. *International Dairy Journal*. 2002, vol. 12, no. 5, pp. 419–426. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00173-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00173-X)

8. Khamagaeva I.S., Kuznetsova O.S. Influence of sodium selenite on the metabolism of probiotic microorganism. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2010, no. 2, pp. 74–75. (in Russian)

9. Rodriguez C. [et al.] Prevention of chronic gastritis by fermented milks made with exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus* strains. *Journal Dairy Sci*. 2009, vol. 92, pp. 2423–2434.

10. Vinderola G., Perdigon A., Duarte J. [et al.] Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefirano-faciens* on the gut mucosal immunity. *Cytokine*. 2006, vol. 36, pp. 254–260.

11. Gorel'nikova E.A., Polukarov E.V., Karpunina L.V., Tikhomirova E.I. Influence of exopolysaccharides *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* on the cytokine status of laboratory mice. *Meditsinskaya immunologiya* [Medical Immunology]. 2009, vol. 11, no. 4–5, pp. 309–310. (in Russian)

12. Rodionova N.S., Popov E.S., Sokolova O.A. *Nutrientnye korrekory pishchevogo statusa na osnove produktov glubokoi pererabotki nizkomaslichnogo syr'ya* [Nutrition correctors of food status on the basis of low-oil raw materials deep processing products]. Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii Publ., 2016, 240 p.

13. Kоротков Е.Г., Пономарев А.Н., Мельникова Е.И., Кузнецова И.В., Станиславская Е.Б. Ин-

tigation of the forms of moisture binding in curds with microparticulate whey proteins. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2016, no. 8, pp. 31–33. (in Russian)

14. Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Kuznetsova I.V., Naumchenko I.S., Saranova I.A. The study of forms of bonding marshmallow moisture with different composition by method of thermal analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2017, vol. 79, no. 3 (73), pp. 42–50. (in Russian)

Критерии авторства

Родионова Н.С., Попов Е.С., Родионов А.А., Разинкова Т.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Родионова Н.С., Попов Е.С., Родионов А.А., Разинкова Т.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организациям

Наталья С. Родионова

Д.т.н., профессор, заведующая кафедрой сервиса и ресторанного бизнеса
Воронежский государственный университет инженерных технологий
e-mail: rodionovast@mail.ru

Евгений С. Попов

Д.т.н., доцент, профессор кафедры сервиса и ресторанного бизнеса
Воронежский государственный университет инженерных технологий
e-mail: e_s_popov@mail.ru

Александр А. Родионов

Аспирант
Кафедра сервиса и ресторанного бизнеса
Воронежский государственный университет инженерных технологий
e-mail: someintellect@rambler.ru

Татьяна А. Разинкова

Старший преподаватель кафедры сервиса и ресторанного бизнеса
Воронежский государственный университет инженерных технологий
trazinkova@yandex.ru

15. Osintsev A.M., Braginskii V.I., Chebotarev A.L., Osintseva M.A., Syrtseva A.P. Investigation of heat-acid milk coagulation by means of thermographic method. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food processing: techniques and technology]. 2013, no. 4 (31), pp. 69–73. (in Russian)

16. Ukhartseva I.Yu., Kadolich V., Tkacheva L.V. Methods of researching food raw materials and food products and their experience of application. *Potrebitel'skaya kooperatsiya* [Consumer Cooperation]. 2014, no. 1 (44), pp. 66–74. (in Russian)

Contribution

Rodionova N.S., Popov E.S., Rodionov A.A., Razinkova T.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Rodionova N.S., Popov E.S., Rodionov A.A., Razinkova T.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX

Affiliations

Natalia S. Rodionova

Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Service and Restaurant Business
Voronezh State University of Engineering Technologies
e-mail: rodionovast@mail.ru

Evgeny S. Popov

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor
Professor of the Department of Service and Restaurant Business
Voronezh State University of Engineering Technologies
e-mail: e_s_popov@mail.ru

Alexander A. Rodionov

Postgraduate Student
Department of Service and Restaurant Business
Voronezh State University of Engineering Technologies
e-mail: someintellect@rambler.ru

Tatyana A. Razinkova

Senior Lecturer
Department of Service and Restaurant Business
Voronezh State University of Engineering Technologies
e-mail: trazinkova@yandex.ru