

Научная статья
УДК 637.13
EDN ADGWJE

Исследование реологических свойств обогащенного кисломолочного напитка

Екатерина Ивановна Решетник¹, Юлия Игоревна Держапольская²,
Светлана Леонидовна Грибанова³, Ли Чунь⁴, Ли Ютин⁵

^{1,2,3} Дальневосточный государственный аграрный университет
Амурская область, Благовещенск, Россия

⁴ Северо-восточный сельскохозяйственный университет
провинция Хэйлуунцзян, Харбин, Китайская Народная Республика

⁵ Харбинская сельскохозяйственная научно-техническая компания «Лэши»
провинция Хэйлуунцзян, Харбин, Китайская Народная Республика

¹ soia-28@yandex.ru, ² yuliya.de.f@yandex.ru, ³ lsv24leon@mail.ru,

⁴ spxylch@126.com, ⁵ hrbleshi@163.com

Аннотация. Рассмотрен арабиногалактан как источник растворимых пищевых волокон, выпускаемый в соответствии с требованиями нормативной документации в АО «Аметис» (Амурская область). Содержание растворимых пищевых волокон в количестве 98,8 % в арабиногалактане подтверждено испытательным центром ООО «Эксперт Био» (Санкт-Петербург). В процессе работы определены и описаны органолептические показатели полученных обогащенных кисломолочных напитков (вкус и запах, цвет, консистенция), при оценке которых установлено, что полученные образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к кисломолочным напиткам. Проведены исследования по определению оптимальных условий измерения структурно-механических характеристик кисломолочных напитков (таких как динамическая вязкость, которая зависит от касательного напряжения вязких продуктов и градиента скорости сдвига). Анализ полученных данных и последующая интерпретация результатов позволяют разработать технологии производства кисломолочного напитка с высокими потребительскими свойствами. Представлены данные по влиянию вида закваски и используемых пищевых волокон на структурно-механические свойства полученных образцов кисломолочных напитков. Получены математические уравнения, отражающие зависимость вязкости кисломолочных напитков от компонентного состава. Коэффициент корреляции полученных зависимостей отражает существующую сильную обратную зависимость динамической вязкости от вида заквасочных культур и вносимых растворимых пищевых волокон. Также анализ зависимостей показал, что внесение растворимых пищевых волокон в образцы приводит к более быстрому восстановлению структуры напитка после разрушения.

Ключевые слова: органолептические показатели, пищевое волокно, структурно-механические свойства, кисломолочный напиток

Для цитирования: Решетник Е. И., Держапольская Ю. И., Грибанова С. Л., Ли Чунь, Ли Ютин. Исследование реологических свойств обогащенного кисломолочного напитка // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 225–233.

Original article

Study of rheological properties of fortified fermented milk drink

Ekaterina I. Reshetnik¹, Yulia I. Derzhapolskaya²,
Svetlana L. Gribanova³, Li Chun⁴, Li Yuting⁵

^{1,2,3} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

⁴ Northeast Agricultural University, Heilongjiang Province, Harbin, China

⁵ Harbin Agricultural Science and Technology Company "Leshi"

Heilongjiang Province, Harbin, China

¹ soia-28@yandex.ru, ² yuliya.de.f@yandex.ru, ³ lsv24leon@mail.ru,
⁴ spxylch@126.com, ⁵ hrbleshi@163.com

Abstract. The article discusses arabinogalactan as a source of soluble dietary fiber, produced in accordance with the requirements of regulatory documentation at the JSC "Ametis" (Amur region). The content of soluble dietary fiber in the amount of 98.8% in arabinogalactan is confirmed from the testing center of LLC "Expert Bio" (St. Petersburg). In the process of work, the organoleptic indicators of the obtained fortified fermented milk drinks (taste and smell, color, consistency) were determined and described, during the evaluation of which it was established that the obtained samples met the requirements for fermented milk drinks. Research has been carried out to determine the optimal conditions for measuring the structural and mechanical characteristics of fermented milk drinks, such as dynamic viscosity, which depends on the shear stress of viscous products and the shear rate gradient. Analysis of the data obtained and subsequent interpretation of the results allows us to develop a technology for the production of fermented milk drink with high consumer properties. Data on the effect of starter type and dietary fiber used on the structural and mechanical properties of obtained samples of fermented milk drinks are presented. Mathematical equations were obtained that reflected the dependence of the viscosity of fermented milk drinks on the component composition. The correlation coefficient of the obtained dependencies reflects the existing strong inverse dependence of dynamic viscosity on the type of starter cultures and the added soluble dietary fiber. More over, the analysis of dependencies showed that the introduction of soluble dietary fiber into the samples led to a more rapid restoration of the structure of drink after destruction.

Keywords: organoleptic characteristics, dietary fiber, structural and mechanical properties, fermented milk drink

For citation: Reshetnik E. I., Derzhapolskaya Yu. I., Griбанова S. L., Li Chun, Li Yuting. Study of rheological properties of fortified fermented milk drink. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2023;17;4:225–233 (in Russ.).

Введение. Функциональные продукты играют важную роль в здоровье человека, предотвращая заболевания. Во всем мире производятся разнообразные функциональные продукты питания. В последнее время увеличилось потребление молочных продуктов, содержащих пробиотические бактерии и пребиотики (синбиотики). Для обогащения кисломолочного напитка используются различные соединения. Одним из них являются пищевые волокна. Эпидемиологические исследования подтверждают пользу высокого потребления пищевых волокон для здоровья [1, 2].

Использование экстрактов деревьев и коры деревьев (таких как бетулин, дигидрокверцетин и арабиногалактан) эффективно с точки зрения технологии и функциональности обогащения молочной продукции. Кроме того, исследования показали, что добавление этих экстрактов способствует получению кисломолочных продуктов, которые соответствуют тре-

бованиям и обладают функциональными свойствами [3–5].

Использование арабиногалактана в качестве пищевого волокна в технологии создания функциональных кисломолочных напитков сказывается на их технологических, физико-химических, органолептических и микробиологических характеристиках. Однако в целом исследуемый кисломолочный продукт соответствует требованиям функционального продукта, и добавление арабиногалактана может быть полезным при создании высококачественных кисломолочных продуктов для лечебно-профилактического использования [6–8].

В разработке технологии производства молочных продуктов основным направлением является создание процессов с определенным составом и свойствами путем использования различных видов сырья. Для эффективного рецептурного расчета новых продуктов с использованием различных ингредиентов необходимо

применение современных информационных компьютерных технологий [9].

Важным показателем качества молочных продуктов при проектировании их состава с учетом пищевой и биологической ценности является консистенция продукта. Для контроля консистенции применяются реометрические исследования, которые позволяют определить оптимальные условия измерения структурно-механических характеристик молочных продуктов. Это является основой для разработки нормативной документации по контролю параметров с использованием инженерной реологии [10].

Многие пищевые продукты, особенно те, которые обладают вязкой консистенцией, представляют собой коллоидные растворы. В процессе обработки таких дисперсных систем их структура может разрушаться и восстанавливаться, причем условия для этого могут различаться в зависимости от типа продукта.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, посвящены изучению связи между эффективной вязкостью, касательными напряжениями вязких продуктов, гради-

ентом скорости и другими факторами. Особое внимание при этом уделяется особенностям структурно-механических свойств вязких продуктов и факторам, влияющим на их изменение [11].

Пищевая добавка арабиногалактан, выпускаемая АО «Аметис» (Амурская область), содержит 98,8 % растворимых пищевых волокон; ее макромолекула представлена на рисунке 1 [12].

Арабиногалактан обладает стабильностью при экспозиции теплу и гидролизу; способностью удерживать влагу, а также бактерицидными и пребиотическими свойствами. Кроме того, арабиногалактан способствует образованию короткоцепочечных жирных кислот, важных для нормального функционирования организма.

Цель исследования – изучить реологические характеристики обогащенного кисломолочного напитка.

Объекты и методы исследования. Объектами исследований выступают опытные образцы кисломолочного напитка, обогащенные растворимыми пищевыми волокнами и заквашенные лиофилизированными заквасками:

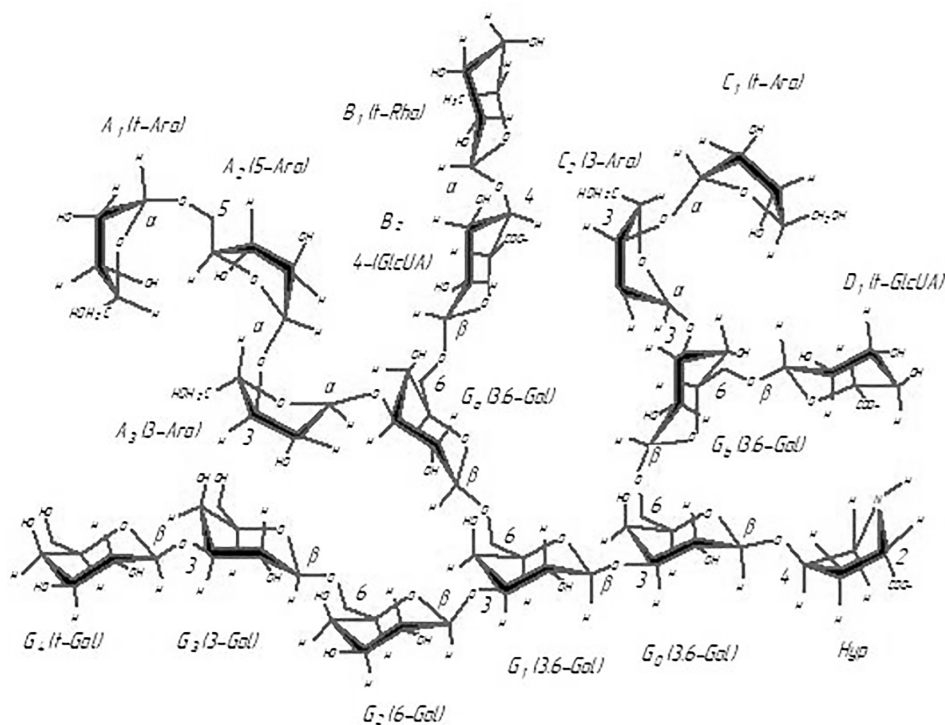


Рисунок 1 – Макромолекула арабиногалактана
Figure 1 – Arabinogalactan macromolecule

Образец 1 (*Str. lactis*, *Str. cremoris*, *Str. diacetylactis*).

Образец 2 (*Str. thermophilus*, *Lac. delbrueckii subsp. Bulgaricus*).

Образец 3 (*Str. thermophilus*, *Lac. delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *B. bifidum*).

Экспериментальная часть работы проводилась в специализированных лабораториях Дальневосточного государственного аграрного университета и в лаборатории АО «Аметис» г. Благовещенска.

В качестве источника пищевых волокон при производстве кисломолочного напитка использовали арабиногалактан, произведенный АО «Аметис». Содержание растворимых пищевых волокон подтверждено протоколом испытаний от 21.06.2022 № 2325/1112260 испытательным центром ООО «Эксперт Био» (Санкт-Петербург). Введение арабиногалактана производилось в соответствии с техническим регламентом ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».

Структурно-механические характеристики кисломолочного продукта устанавливали с помощью вибровискозиметра AND SV-10.

Отбор проб и подготовка их к анализу проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 26809.1–2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу». Определение внешнего вида и цвета кисломолочного продукта осуществляли визуально; определение консистенции, вкуса и запаха проводили органолептически и характеризовали в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22935–2–2011

«Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ».

Результаты исследований. Среди множества структурно-механических характеристик, которые описывают состояние кисломолочных продуктов, особое внимание уделяется эффективной динамической вязкости. Для кисломолочных напитков важным фактором является как их консистенция, так и ее стабильность в процессе хранения. Консистенция продукта определяется реологическими показателями свернувшегося белка.

Вязкость кисломолочных продуктов во многом зависит от видового состава вносимой в молоко закваски, а также от количества используемых растворимых пищевых волокон. В таблице 1 представлена органолептическая оценка полученных образцов кисломолочных продуктов с использованием различного видового состава закваски при одинаковом внесении пищевых волокон.

На рисунках 2–4 показано влияние лиофилизированных заквасок и пищевых волокон на вязкость кисломолочных напитков.

Изменение вязкости определяли в несколько этапов: *I* – после сквашивания и охлаждения; *II* – после перемешивания в течение одной минуты; *III* – после перемешивания в течение пяти минут; *IV* – через 15 минут после перемешивания. Полученные результаты вязкости отражали на отдельных графиках для каждого вида заквасочных культур с построением линии тренда и уравнения аппроксимации, отражающих характер изменения вязкости с течением времени и показывающих направление и динамику ее изменения.

Таблица 1 – Органолептическая характеристика полученных кисломолочных напитков
Table 1 – Organoleptic characteristics of obtained fermented milk drinks

Органолептические показатели	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Внешний вид и консистенция	однородная с ненарушенным сгустком, в меру вязкая, с незначительным отделением сыворотки		однородная с ненарушенным сгустком, в меру вязкая
Вкус и запах	чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов		
Цвет	молочно-белый, однородный по всей массе		

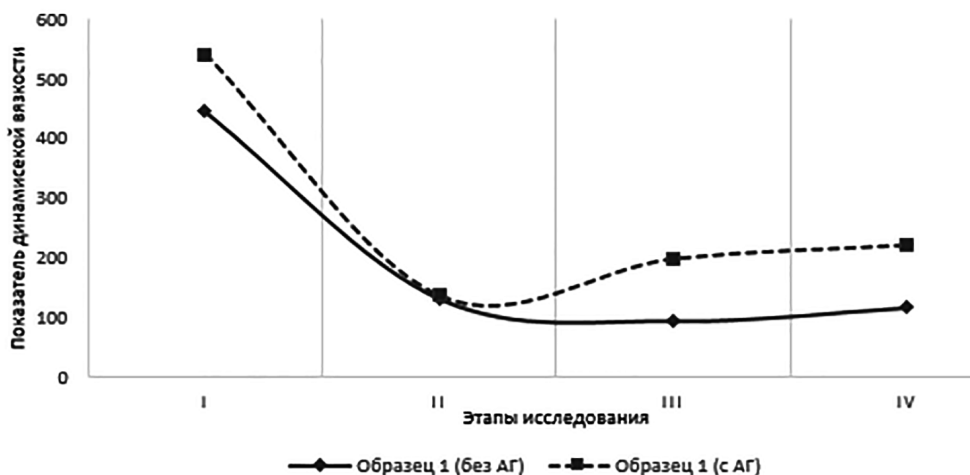


Рисунок 2 – Влияние вида закваски (образец 1) на вязкость кисломолочных продуктов ($\eta \times 10^3$)
Figure 2 – Effect of starter type (sample 1) on viscosity of fermented milk products ($\eta \times 10^3$)

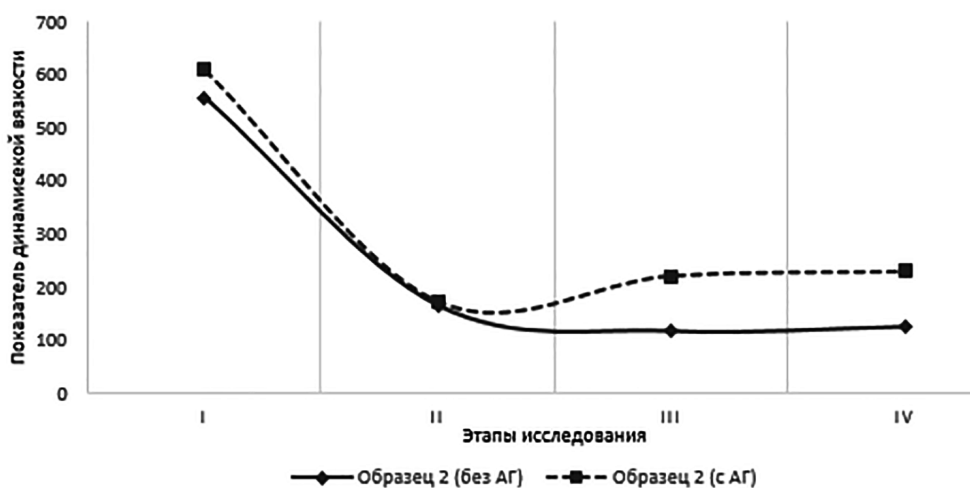


Рисунок 3 – Влияние вида закваски (образец 2) на вязкость кисломолочных продуктов ($\eta \times 10^3$)
Figure 3 – Effect of starter type (sample 2) on viscosity of fermented milk products ($\eta \times 10^3$)

Зависимость вязкости кисломолочного напитка от используемой заквасочной культуры (образец 1) (рис. 2) без арабиногалактана описывается следующим уравнением с коэффициентом корреляции равным 0,9715:

$$y = 83,75x^2 - 520,85x + 871,25$$

То же с использованием арабиногалактана описывается уравнением с коэффициентом корреляции 0,8708:

$$y = 106,4x^2 - 621,34x + 1029,8$$

Зависимость вязкости кисломолочного напитка от используемой заквасоч-

ной культуры (образец 2) (рис. 3) без арабиногалактана описывается следующим уравнением с коэффициентом корреляции равным 0,9692:

$$y = 100x^2 - 634,4x + 1076$$

То же с использованием арабиногалактана описывается уравнением с коэффициентом корреляции 0,8871:

$$y = 111,5x^2 - 666,9x + 1139$$

Зависимость вязкости кисломолочного напитка от используемой заквасочной культуры (образец 3) (рис. 4) без арабиногалактана описывается следующим

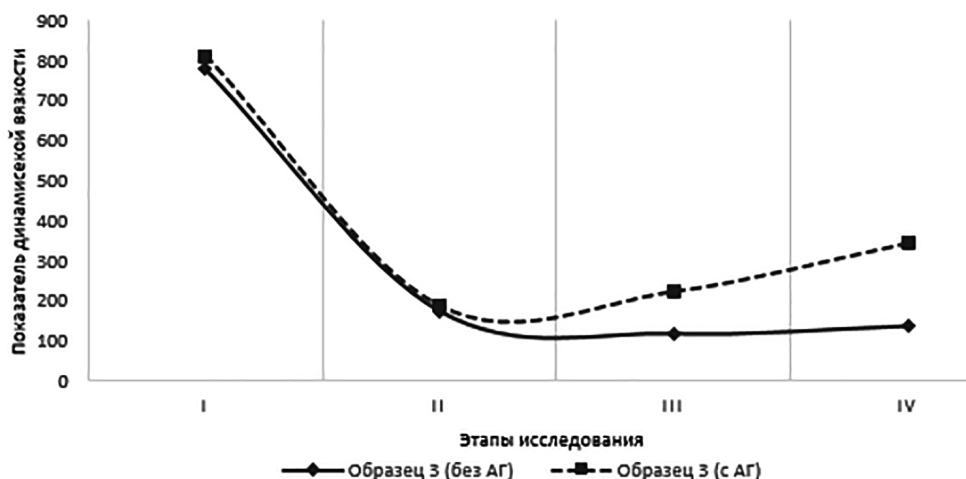


Рисунок 4 – Влияние вида закваски (образец 3) на вязкость кисломолочных продуктов ($\eta \times 10^3$)
Figure 4 – Effect of starter type (sample 3) on viscosity of fermented milk products ($\eta \times 10^3$)

уравнением с коэффициентом корреляции равным 0,9618:

$$y = 163x^2 - 1020,6x + 1642,5$$

То же с использованием арабиногалактана описывается уравнением с коэффициентом корреляции 0,9338:

$$y = 185,5x^2 - 1064,1x + 1660$$

Заключение. Из графических данных и результатов корреляционно-регрессионного анализа следует, что пятнадцати минут недостаточно для

восстановления структуры после сдвиговых нагрузок.

Также анализ зависимостей показывает, что образцы, содержащие в своем составе растворимые пищевые волокна, восстанавливаются на 45–50 % быстрее образцов без их содержания.

Можно предположить, что молекулы арабиногалактана принимают участие в водородных связях казеиновых мицелл и выполняют роль защитного коллоида.

Список источников

1. Пилипенко В. И., Исаков В. А., Перова И. Б., Воробьева В. М., Кочеткова А. А. Биологические и технологические аспекты обогащения продуктов пищевыми волокнами // Вопросы диетологии. 2023. Т. 13. № 2. С. 14–25. DOI: 10.20953/2224-5448-2023-2-14-25.
2. Бояринаева И. В. Пробиотики в функциональном питании // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2020. № 3 (104). С. 160–163. DOI: 10.38161/2618-9526-2020-3-03.
3. Гаврюшина И. В., Зимняков В. М., Крылова Ю. В. Возможность обогащения молочных продуктов селенопираном и арабиногалактаном // Нива Поволжья. 2016. № 4 (41). С. 9–15. EDN: YPSNCH.
4. Пряничникова Н. С., Федотова О. Б. Формирование заданных свойств молочных продуктов за счет использования экстрактов деревьев и коры деревьев // Пища. Экология. Качество : материалы XVI междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2019. С. 142–144. EDN: HSAABG.
5. Уточкина Е. А., Решетник Е. И. Влияние арабиногалактана на микробиологические показатели и хранимоспособность кисломолочного продукта // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4 (27). С. 72–76. EDN: PILQHH.

6. Завезенова И. В. Йогуртный кисломолочный продукт, обогащенный функциональной добавкой арабиногалактан // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6–1. С. 29–32. EDN: SDZBFR.
7. Коденцова В. М., Рисник Д. В. Обогащение молочной продукции недостающими в рационе россиян пищевыми веществами // *Молочная промышленность*. 2023. № 5. С. 74–77. DOI: 10.21603/1019-8946-2023-5-7.
8. Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Кольберг Н. А., Кудряшов Л. С. Систематизация научных знаний о технологии получения и механизме действия некоторых биологически активных пептидов // *АПК России*. 2022. Т. 29. № 2. С. 254–261. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-2-254-261.
9. Агибаева А. Ж., Гаврилова Н. Б., Чернопольская Н. Л. Разработка биотехнологии молочного продукта для специализированного питания // *Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий : материалы I междунар. конгресса*. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2022. С. 18–21. DOI: 10.21603/-I-IC-5.
10. Лисин П. А., Пасько О. В., Есипова М. С. Реологическая оценка структуры йогурта обогащенного // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017. № 2 (26). С. 111–120. EDN: YSEBKH.
11. Круподеров А. Ю., Николаев Л. К., Кузнецов А. В. Реологические характеристики аномально вязких пищевых продуктов и других сред // *Научный журнал ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2014. № 4. С. 96–106. EDN: TBUBZN.
12. Держапольская Ю. И., Решетник Е. И., Грибанова С. Л. Использование растворимых пищевых волокон в продуктах функционального питания // *Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. С. 258–263. DOI: 10.22450/9785964205425_3_258.*

References

1. Pilipenko V. I., Isakov V. A., Perova I. B., Vorobyeva V. M., Kochetkova A. A. Biological and technological aspects of food enrichment with dietary fiber. *Voprosy dietologii*, 2023;13(2):14–25 (in Russ.). DOI: 10.20953/2224-5448-2023-2-14-25.
2. Boyarineva I. V. Probiotiki in functional nutrition. *Vestnik Habarovskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i prava*, 2020;3(104):160–163 (in Russ.). DOI: 10.38161/2618-9526-2020-3-03.
3. Gavryushina I. V., Zimnyakov V. M., Krylova Yu. V. The possibility of enrichment of dairy products with selenopyrane and arabinogalactan. *Niva Povolzh'ja*, 2016;4(41):9–15 (in Russ.).
4. Pryanichnikova N. S., Fedotova O. B. Formation of specified properties of dairy products through the use of tree extracts and tree bark. *Proceedings from Food. Ecology. Quality: XVI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya*. (PP. 142–144), Barnaul, Altajskij gosudarstvennyj universitet, 2019 (in Russ.). EDN: HSAABG.
5. Utochkina E. A., Reshetnik E. I. The influence of arabinogalactan on microbiological parameters and storage capacity of fermented milk product. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2012;4(27):72–76 (in Russ.). EDN: PILQHH.
6. Zavezenova I. V. Yoghurt fermented milk product enriched with the functional additive arabinogalactan. *Fundamental'nye issledovanija*, 2014;(6-1):29–32 (in Russ.). EDN: SDZBFR.

7. Kodentsova V. M., Risnik D. V. Enrichment of dairy products with nutrients missing from the Russian diet. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry'*, 2023;5:74–77 (in Russ.). DOI: 10.21603/1019-8946-2023-5-7.

8. Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Kolberg N. A., Kudryashov L. S. Systematization of scientific knowledge about the production technology and mechanism of action of certain biologically active peptides. *APK Rossii*, 2022;29 (2):254–261 (in Russ.). DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-2-254-261.

9. Agibaeva A. Zh., Gavrilova N. B., Chernopolskaya N. L. Dairy product biotechnology development for specialized nutrition. Proceedings from The latest achievements in the field of medicine, healthcare and health-saving technologies: *I Mezhdunarodnyj kongress*. (PP. 18–21), Kemerovo, Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2022 (in Russ.). DOI: 10.21603/-I-IC-5.

10. Lisin P. A., Pasko O. V., Esipova M. S. Rheological assessment of the structure of enriched yogurt. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017;2(26):111–120 (in Russ.). EDN: YSEBKH.

11. Krupoderov A. Yu., Nikolaev L. K., Kuznetsov A. V. Rheological characteristics of abnormally viscous food products and other media. *Nauchnyj zhurnal ITMO. Seriya: Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv*, 2014;4:96–106 (in Russ.). EDN: TBUBZN.

12. Derzhapolskaya Yu. I., Reshetnik E. I., Griбанова S. L. The use of soluble dietary fiber in functional nutrition products. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya*. (PP. 258–263), Blagoveshensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023 (in Russ.). DOI: 10.22450/9785964205425_3_258.

© Решетник Е. И., Держапольская Ю. И., Грибанова С. Л., Ли Чунь, Ли Ютин, 2023

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; одобрена после рецензирования 07.12.2023; принята к публикации 13.12.2023.

The article was submitted 10.11.2023; approved after reviewing 07.12.2023; accepted for publication 13.12.2023.

Информация об авторах

Решетник Екатерина Ивановна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, Author ID: 690318, ORCID: 0000-0002-3166-9992, soia-28@yandex.ru;

Держапольская Юлия Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, Author ID: 698841, ORCID: 0000-0002-0081-1933, yule4ka_1982@mail.ru;

Грибанова Светлана Леонидовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, Author ID: 906379, ORCID: 0000-0003-1448-4328, lsv24leon@mail.ru;

Ли Чунь, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Китайская Народная Республика, spxylch@126.com;

Ли Ютин, магистр сельскохозяйственных наук, Харбинская сельскохозяйственная научно-техническая компания «Лэши», Китайская Народная Республика, hrrbleshi@163.com

Information about the authors

Ekaterina I. Reshetnik, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Agricultural Processing Technology, Far Eastern State Agrarian University, Author ID: 690318, ORCID: 0000-0002-3166-9992, soia-28@yandex.ru;

Yulia I. Derzhapolskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Processing Technology, Far Eastern State Agrarian University, Author ID: 698841, ORCID: 0000-0002-0081-1933, yule4ka_1982@mail.ru;

Svetlana L. Gribanova, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Agricultural Processing Technology, Far Eastern State Agrarian University, Author ID: 906379, ORCID: 0000-0003-1448-4328, lsv24leon@mail.ru;

Li Chun, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Northeast Agricultural University, China, spxylch@126.com;

Li Yuting, Master of Agricultural Sciences, Harbin Agricultural Science and Technology Company "Leshi", hrbleshi@163.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.