

Научная статья

УДК 637.1

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-226-233

Галина Андреевна Донская¹, Людмила Геннадьевна Креккер^{2✉},
Виктор Михайлович Дрожжин³, Елена Вячеславовна Колосова⁴

^{1,2,3,4}Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

¹g_donskaya@vnimi.org

²l_krekker@vnimi.org

³v_drozzhin@vnimi.org

⁴e_kolosova@vnimi.org

ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ И ТЕРМООБРАБОТКА МОЛОКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА СМЕШАННОГО БРОЖЕНИЯ

Цель исследования – изучение влияния теплового воздействия на процессы перекисного окисления липидов в молоке, предназначенном для получения кисломолочного продукта длительного смешанного брожения, и определение температуры пастеризации смеси. Задачи: определение индексов окисления липидов в термически обработанном молоке при иницировании свободно-радикального окисления и эффективности пастеризации сырья. Объекты исследования – молоко сырое, термизированное, пастеризованное и ультрапастеризованное. Для определения продуктов окисления липидов в исследуемом молоке при иницировании процессов окисления использовали экстракционно-спектрофотометрический метод с регистрацией липопероксидов в гептановой и изопропанольной фазах. Регистрацию продуктов окисления проводили с использованием спектрофотометра. Полученные результаты выражали в индексах окисления. Проведенные эксперименты позволили установить, что содержание первичных и вторичных продуктов перекисного окисления липидов в молоке возрастает с повышением режимов его термообработки. Наибольшие значения индексов окисления липидов получены в ультрапастеризованном молоке с температурой пастеризации 137 °С. Индексы окисления конечных продуктов окисления находятся в обратной зависимости от температуры пастеризации. Выбрана оптимальная температура пастеризации для получения кисломолочного продукта смешанного брожения, позволяющая сохранить достаточно высокие показатели микробиологической безопасности и одновременно более низкий уровень окисления липидов под воздействием тепловой обработки (90–95 °С с выдержкой 3 мин). Проведенные исследования показывают потенциальную возможность использования липидных маркеров для разработки методов теплового воздействия на молоко, минимизирующих модификацию жиров и сохраняющих присущую им функциональность и питательные свойства, что положительно сказывается на готовом продукте с длительным периодом ферментации и созревания.

Ключевые слова: молоко термизированное, пастеризованное, ультрапастеризованное, индексы окисления липидов, температура пастеризации

Для цитирования: Перекисное окисление липидов и термообработка молока для приготовления кисломолочного продукта смешанного брожения / Г.А. Донская [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 226–233. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-226-233.

Galina Andreevna Donskaya¹, Lyudmila Gennadievna Krekker^{2✉}, Viktor Mikhailovich Drozhzhin³, Elena Vyacheslavovna Kolosova⁴

^{1,2,3,4}All-Russian Scientific Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russia

¹g_donskaya@vnimi.org

²l_krekker@vnimi.org

³v_drozhzhin@vnimi.org

⁴e_kolosova@vnimi.org

LIPID PEROXIDATION AND MILK HEAT TREATMENT TO PREPARE FERMENTED MILK PRODUCT OF MIXED FERMENTATION

The purpose of research is to study the effect of thermal exposure on the processes of lipid peroxidation in milk intended for obtaining a fermented milk product of long-term mixed fermentation, and to determine the pasteurization temperature of the mixture. Tasks: determination of lipid oxidation indices in heat-treated milk when initiating free-radical oxidation and efficiency of pasteurization of raw materials. The objects of research are raw, thermized, pasteurized and ultra-pasteurized milk. To determine the products of lipid oxidation in the studied milk during the initiation of oxidation processes, an extraction-spectrophotometric method was used with the registration of lipid peroxides in the heptane and isopropanol phases. Registration of oxidation products was carried out using a spectrophotometer. The results obtained were expressed in terms of oxidation indices. The experiments carried out made it possible to establish that the content of primary and secondary products of lipid peroxidation in milk grows with an increase in the modes of its heat treatment. The highest values of lipid oxidation indices were obtained in UHT milk with a pasteurization temperature of 137 °C. The oxidation indices of the final oxidation products are inversely related to the pasteurization temperature. The optimal pasteurization temperature was chosen to obtain a fermented milk product of mixed fermentation, which allows maintaining sufficiently high microbiological safety indicators and, at the same time, a lower level of lipid oxidation under the influence of heat treatment (90–95 °C with a holding time of 3 min). The conducted studies show the potential use of lipid markers for the development of methods for thermal treatment of milk, which minimize the modification of fats and retain their inherent functionality and nutritional properties, which has a positive effect on the finished product with a long period of fermentation and maturation.

Keywords: thermized milk, pasteurized, ultra-pasteurized, lipid oxidation indices, pasteurization temperature

For citation: Lipid peroxidation and milk heat treatment to prepare fermented milk product of mixed fermentation / G.A. Donskaya [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(5): 226–233. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-226-233.

Введение. Продукты гетероферментативного брожения содержат большое количество биологически активных веществ: органические кислоты, витамины, ферменты, спирты, многие из них обладают выраженной антиоксидантной активностью.

Вместе с тем, приготовление кисломолочных продуктов смешанного брожения, таких как кефир, кумыс и их аналоги продолжается от 12 до 16 ч и более с учетом дальнейшего созревания. Это предполагает необходимость привлечения особого внимания к безопасности молока, изучению процессов перекисного окисления липидов, при инициировании этих процессов в нем,

эффективной тепловой обработке молока для обеспечения микробиологической безопасности и благоприятного течения процесса гетероферментативного брожения.

Чаще всего перекисное окисление является результатом взаимодействия жира с молекулярным кислородом [1]. Образующиеся при свободнорадикальном окислении липидов перекиси и гидроперекиси являются не стойкими соединениями. При их распаде выделяется атомарный кислород, окисляющий низкомолекулярные пептиды, ферменты, способствующий образованию веществ, ведущих к получению альдегидов. Конечным продуктом перекисного

окисления липидов являются продукты взаимодействия альдегидов с аминокислотами, шиффовые основания, окисленные пептиды, модифицированные ферменты.

Окислению подвергаются прежде всего полиненасыщенные жирные кислоты молочного жира, которые являются более реакционно способными и биологически активными [2].

Химический состав липидов ядра молочного жирового шарика и его оболочки существенно различается. Ядра состоят в основном из триацилглицеринов, а оболочка представляет собой матрицу глицерофосфолипидов и доменов жидкого порядка, богатых холестерином. Разрушение оболочки жировых шариков под воздействием различных факторов ведет к ускорению свободнорадикального окисления этих фракций жира [3].

Изучение влияния температурных воздействий на процессы перекисного окисления липидов, при условии инициирования этих процессов, представляется актуальным направлением исследований, что особенно важно для приготовления продуктов длительного брожения.

Цель исследования – изучение влияния теплового воздействия на процессы перекисного окисления липидов в молоке, предназначенном для получения кисломолочного продукта длительного смешанного брожения, и определение температуры пастеризации смеси.

Задачи: определение индексов окисления липидов в термически обработанном молоке при инициировании свободнорадикального окисления и эффективности пастеризации сырья.

Объекты и методы. Объект исследования – молоко сырое (контроль), молокотермизированное, пастеризованное, ультрапастеризованное. Индексы окисления липидов в исследуемом молоке определяли экстракционно-спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра UNICO [4, 5]. Для этого к объему исследуемого молока добавляли в равном соотношении гептан и изопропаноловый спирт. Полученную смесь встряхивали, центрифугировали. Освобожденный от белкового преципитата экстракт разбавляли смесью гептан-изопропанола, смешивали с водным раствором соляной кислоты и выдерживали в делительной воронке до разделения фаз. Затем декантировали верхнюю

гептановую фазу, добавляя к нижней хлористый натрий. По истечении определенного времени декантировали изопропанольную фазу экстракта, свободную от воды. Данный метод предусматривает отдельную регистрацию продуктов свободнорадикального окисления липидов в гептановой и изопропанольной фазах липидного экстракта молока. Суть метода заключается в перегруппировке двойных связей в диеновые конъюгаты при перекисном окислении полиненасыщенных жирных кислот.

Спектрофотометрию каждой фазы липидного экстракта проводили при трех длинах волн – 232, 278 и 400 нм. В гептановой фазе определяли продукты перекисного окисления нейтральных липидов, в изопропанольной фазе – фосфолипидов [4, 6, 7]: Относительное содержание перекисей и гидроперекисей определяли по соотношению оптической плотности при 232 нм к контрольной оптической плотности при 220 нм (E_{232}/E_{220}); относительное содержание вторичных продуктов окисления (альдегидов, кетонов, оксикислот) определяли по соотношению оптической плотности (E_{278}/E_{220}); относительное содержание шиффовых оснований рассчитывали по соотношению оптической плотности (E_{440}/E_{220}) [5, 8].

Инициирование свободнорадикального окисления липидов в молоке проводили с использованием гептано-изопропанольной смеси [4, 5].

Эффективность пастеризации определяли по ГОСТ 3623-2015, содержание КМАФАнМ – по ГОСТ 32901-2014.

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что относительное содержание первичных и вторичных продуктов окисления липидов в молоке, характеризующееся индексами окисления, изменяется в зависимости от условий термической обработки молока (табл. 1).

Установлено, что при инициировании перекисного окисления липидов процесс свободнорадикального окисления протекает более интенсивно в ультрапастеризованном молоке, подвергнутом наибольшему термическому воздействию (137 °С). В молоке, подвергнутом термизации, индекс первичных продуктов окисления относительно сырого молока увеличился незначительно на 12,4 %.

**Индексы окисления липидов в нативном и термически обработанном молоке
(гептановая фаза)**

Вид сырья	Первичные продукты окисления E232/E220	Вторичные продукты окисления E278/E220	Конечные продукты окисления E400/E220
Сырое молоко	1,839	1,140	0,138
Термизированное молоко	2,067	1,410	0,064
Пастеризованное 1 (85–87 °С с выдержкой 7 мин)	2,979	2,210	–
Пастеризованное 2 (90–92 °С с выдержкой 3 мин)	2,982	2,290	–
Ультрапастеризованное	3,300	2,531	–

Вместе с тем частичные изменения в структуре мембран жировых шариков, происходящие при термизации, в дальнейшем могут привести к интенсификации процесса окисления липидов. В результате частичной денатурации сывороточных белков, входящих в состав оболочек жировых шариков, структура липидной мембраны становится дискретной, что способствует доступности нейтральных жирных кислот, действию гипотетически активных форм кислорода.

Индекс окисления первичных продуктов пастеризованного молока увеличился относительно термизированного на 44 %. Температура пастеризации 90–95 °С с выдержкой 3 мин незначительно повлияла на исследуемые показатели в сравнении с пастеризацией при 85–87 °С. В ультрапастеризованном молоке индекс первичных продуктов окисления превышал аналогичные показатели термизированного молока почти на 59,6 %. Полученные результаты согласуются с данными зарубежных исследователей, указывающих на то, что при тепловой обработке молока концентрации перекисей, свободных жирных кислот, метилкетонов и окисленных жирных кислот имеют прямую зависимость от температуры [9].

Известно, что первичные продукты окисления являются неустойчивыми соединениями и быстро распадаются с образованием вторичных продуктов окисления – кетонов, альдегидов, которые также легко превращаются в конечные продукты окисления. Основным продуктом вторичного окисления насыщенных жирных кислот являются метилкетоны, присутствующие в сыром молоке, но их количество незначительно. В молоке эти

вещества могут образовываться в результате β -окисления насыщенных жирных кислот или прямого декарбоксилирования 3-кетожирных кислот. Согласно аналитическим данным, образование метилкетонов усиливается деградацией липидов при термической обработке, которая индуцирует β -окисление (до карбоксила) углеродной цепи жирных кислот с последующим декарбоксилированием β -кетокислот. Максимальная концентрация метилкетонов отмечается в УВТ-обработанном молоке [9].

Вторичные продукты окисления, также как и первичные, являются результатом воздействия температуры и имеют аналогичный характер изменения (табл. 1) [10]. Конечные продукты окисления – малоновый диальдегид, продукты взаимодействия альдегидов с аминогруппами, шиффовые основания, согласно аналитическим данным, имеют тенденцию уменьшения индексов окисления липидов при повышении температуры, что удалось в данной работе проследить на термизированном молоке.

Известно, что окисление фосфолипидов обусловлено взаимодействием ненасыщенных жирных кислот, входящих в структуру мембраны жировых шариков, с молекулярным кислородом, что приводит к образованию ненасыщенных гидроперекисей. Гидроперекиси липидов могут распадаться с образованием широкого спектра летучих и нелетучих вторичных продуктов окисления [11, 12].

Данные, представленные в таблице 2, показывают, что индексы первичных и вторичных продуктов перекисного окисления (ПО) липидов молока в изопропанольной фазе возрастают с

увеличением теплового воздействия на молоко, а индексы конечных продуктов окисления с повышением температуры снижаются. Незначительное окисление жира в сыром молоке обусловлено действием антиоксидантной системы

нативного молока. Сырое молоко содержит активные липазы, вызывающие гидролитическое расщепление молочного жира и образование свободных жирных кислот.

Таблица 2

Индексы окисления липидов в нативном и термически обработанном молоке (изопропанольная фаза)

Партия молока	Первичные ПО E232/E220	Вторичные ПО E278/E220	Конечные ПО E400/E220
Сырое	0,713	0,307	0,032
Термизированное	1,035	0,618	0,027
Пастеризованное 1 (85–87 °С с выдержкой 7 мин)	1,173	0,791	0,016
Пастеризованное 2 (90–92 °С с выдержкой 3 мин)	1,183	0,798	0,020
Ультрапастеризованное	1,212	0,818	0,009

Далее была изучена эффективность пастеризации молока по наличию ферментов фосфатазы и пероксидазы (табл. 3). Результаты эксперимента показали, что несмотря на низкий уровень окислительных процессов, выявленный

ранее, термизированное молоко нельзя использовать для приготовления кисломолочного продукта, так как в нем обнаружилась фосфатаза и довольно высокое содержание КМАФАнМ.

Таблица 3

Показатели эффективности пастеризации молока

Вид тепловой обработки	Пероксидаза	Фосфатаза	КМАФАнМ, КОЕ/г
Сырое	+	+	$8 \cdot 10^5$
Термизированное	–	+	$4 \cdot 10^5$
Пастеризованное 1 (85–87 °С с выдержкой 7 мин)	–	–	$5 \cdot 10^4$
Пастеризованное 2 (90–92 °С с выдержкой 3 мин)	–	–	$1 \cdot 10^4$
Ультрапастеризованное	–	–	180

В пастеризованном и ультрапастеризованном молоке ферменты фосфатаза и пероксидаза отсутствовали, что указывает на эффективность пастеризации. В молоке, пастеризованном при температуре 85–87 °С, показатели КМАФАнМ были несколько выше, чем при пастеризации 90–92 °С, в ультрапастеризованном молоке количество КМАФАнМ было наименьшим – 180 КОЕ/г.

В связи с этим рекомендуемым режимом пастеризации для приготовления кисломолочного продукта смешанного брожения является температура 90–92 °С с выдержкой 3 мин. Выбранная температура, по сравнению с темпера-

турой у/пастеризации, не оказывает значительного влияния на окислительные процессы и в то же время позволяет гарантировать наиболее высокие показатели микробиологической безопасности. Последнее особенно важно при производстве кисломолочных продуктов смешанного брожения с длительными периодами ферментации и созревания.

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований изучено влияние температуры пастеризации молока на интенсивность процесса свободнорадикального окисления липидов. Доказано, что с увеличени-

ем температуры пастеризации интенсивность свободно-радикального окисления липидов в молоке возрастает.

Определено относительное содержание продуктов перекисного окисления нейтральных липидов (гептановая фаза) и фосфолипидов (изопропанольная фаза) на всех этапах процесса свободно-радикального окисления липидов в молоке сыром, термизированном, пастеризованном, ультрапастеризованном.

Установлено, что максимальные значения индексов первичных и вторичных продуктов перекисного окисления липидов получены в ультрапастеризованном молоке.

Относительное содержание конечных продуктов перекисного окисления липидов находится в обратной зависимости от температуры пастеризации молока.

Определена рекомендуемая температура пастеризации для приготовления кисломолочного продукта смешанного брожения (90–95 °С с выдержкой 3 мин), позволяющая гарантировать наиболее высокие показатели микробиологической безопасности и предположительно меньшее воздействие на состав молочного жира в сравнении с ультрапастеризацией.

Проведенные исследования показывают потенциальную возможность использования липидных маркеров для разработки методов теплового воздействия на молоко, минимизирующих модификацию жиров и сохраняющих присущую им функциональность и питательные свойства, что положительно сказывается на готовом продукте с длительным периодом ферментации и созревания.

Список источников

1. Изучение технологических свойств дигидрокверцетина / И.А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 3. С. 67–68.
2. Твердохлеб Г.В., Раманаускас Р.И. Химия и физика молока и молочных продуктов. М.: ДеЛи принт, 2006. С. 39.
3. Влияние дигидрокверцетина на устойчивость молочного жира к окислению / Е.Е. Илларионова [и др.] // Молочная промышленность. 2018. № 2. С. 67–68. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-2-67-68.

4. Волчегорский И.А., Налимов А.Г., Яровинский Б.Г. Сопоставление подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови // Вопросы медицинской химии. 1989. № 1. С. 127–131.
5. Львовская Е.И., Волчегорский И.А., Шемяков С.Е. Спектрофотометрическое определение конечных продуктов перекисного окисления липидов // Вопросы медицинской химии. 1991. № 4. С. 92–93.
6. Игнатьева Г.В. Интенсивность свободно-радикальных процессов и системы антиокислительной защиты молока и молочных продуктов при воздействии природно-климатических и технологических факторов: автореф. дис. ... канд. биолог. наук. Курск, 2013. 22 с.
7. Характеристика параметров липопероксидации и карбонилирования белков молока крупного рогатого скота урбанизированного региона / Ю.А. Подольникова [и др.] // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2014. № 6. С. 36–38.
8. Патент RU 2395235 Рос. Федерация: МПК А 61 В 10/00, G 011 № 33/92. Способ ранней диагностики развития нестабильности эндопротеза после тотального эндопротезирования по поводу остеоартроза тазобедренного сустава / Дрягин В.Г., Истомин И.А., Сумная Д.Б., Львовская Е.И., Садова В.А.; патентообладатель Дрягин В.Г. № 2009113434/14, заявл.10.04.2009, опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21. 11 с.
9. Fernandez-Avila C., Gutierrez-Merida C., Trujillo A.J. Physicochemical and sensory characteristics of a UHT milk-based product enriched with conjugated linoleic acid emulsified by Ultra-High Pressure Homogenization // Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 39. № 2. 2017. P. 275–283.
10. Донская Г.А., Дрожжин В.М., Добриян Е.И. Свободные жирные кислоты как оценочные критерии качества питьевого молока // Пищевая промышленность. 2021. № 8. С. 54–57. DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.014.
11. Радаева М.В., Конторщикова К.Н., Королева Е.Ф. Состояние перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы как показатель эффективности и безопасности

- озонотерапии // Казанский медицинский журнал. 2007. Т. 88, № 4. С. 129–131.
12. Flavor and flavor chemistry differences among milks processed by high-temperature, short-time pasteurization or ultra-pasteurization / Y. Jo [et al.] // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. № 5. P. 3812–3828.
- ### References
1. Изучение технологических свойств дигидрокверцетина / I.A. Radaeva [i dr.] // Molochnaya promyshlennost'. 2017. № 3. S. 67–68.
 2. Tverdohleб G.V., Ramanauskas R.I. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov. M.: DeLi print, 2006. S. 39.
 3. Vliyanie digidrokvercетина na ustojchivost' molochnogo zhira k okisleniyu / E.E. Illarionova [i dr.] // Molochnaya promyshlennost'. 2018. № 2. S. 67–68. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-2-67-68.
 4. Volchegorskij I.A., Nalimov A.G., Yarovinskij B.G. Sопostavlenie podhodov k opredeleniyu produktov perekisnogo okisleniya lipidov v geptan-izopropanol'nyh `ekstraktah krovj // Voprosy medicinskoj himii. 1989. № 1. S. 127–131.
 5. L'vovskaya E.I., Volchegorskij I.A., Shemyakov S.E. Spektrofotometricheskoe opredelenie konechnyh produktov perekisnogo okisleniya lipidov // Voprosy medicinskoj himii. 1991. № 4. S. 92–93.
 6. Ignat'eva G.V. Intensivnost' svobodnoradikal'nyh processov i sistemy antiokislitel'noj zaschity moloka i molochnyh produktov pri vozdeystvii prirodno-klimaticeskikh i tehnologicheskikh faktorov: avtoref. dis. ... kand. biolog. nauk. Kursk, 2013. 22 s.
 7. Harakteristika parametrov lipoperoksidacii i karbonilirovaniya belkov moloka krupnogo rogatogo skota urbanizirovannogo regiona / Yu.A. Podol'nikova [i dr.] // Racional'noe pitanie, pischevye dobavki i biostimulyatory. 2014. № 6. S. 36–38.
 8. Patent RU 2395235 Ros. Federaciya: MPK A 61 V 10/00, G 011 № 33/92. Sposob rannej diagnostiki razvitiya nestabil'nosti `endoproteza posle total'nogo `endoprotezirovaniya po povodu osteoartroza tazobedrennogo sustava / Dryagin V.G., Istomin I.A., Sumnaya D.B., L'vovskaya E.I., Sadova V.A.; patentoobladatel' Dryagin V.G. № 2009113434/14, zayavl.10.04.2009, opubl. 27.07.2010, Byul. № 21. 11 s.
 9. Fernandez-Avila S., Gutierrez-Merida C., Trujillo A.J. Physicochemical and sensory characteristics of a UHT milk-based product enriched with conjugated linoleic acid emulsified by Ultra-High Pressure Homogenization // Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 39. № 2. 2017. P. 275–283.
 10. Donskaya G.A., Drozhzhin V.M., Dobriyan E.I. Svobodnye zhirnye kisloty kak ocenochnye kriterii kachestva pit'evogo moloka // Pischevaya promyshlennost'. 2021. № 8. S. 54–57. DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.014.
 11. Radaeva M.V., Kontorschikova K.N., Koroleva E.F. Sostoyanie perekisnogo okisleniya lipidov i antiokidantnoj sistemy kak pokazatel' `effektivnosti i bezopasnosti ozonoterapii // Kazanskij medicinskij zhurnal. 2007. Т. 88, № 4. S. 129–131.
 12. Flavor and flavor chemistry differences among milks processed by high-temperature, short-time pasteurization or ultra-pasteurization / Y. Jo [et al.] // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. № 5. P. 3812–3828.

Статья принята к публикации 21.03.2022 / The article accepted for publication 21.03.2022.

Информация об авторах:

Галина Андреевна Донская¹, заведующая лабораторией ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, доктор биологических наук

Людмила Геннадьевна Креккер², младший научный сотрудник лаборатории ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, кандидат технических наук, доцент

Виктор Михайлович Дрожжин³, старший научный сотрудник лаборатории ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов

Елена Вячеславовна Колосова⁴, младший научный сотрудник лаборатории ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

Galina Andreevna Donskaya¹, Head of the Laboratory of Resource-Saving Processes and Functional Products, Doctor of Biological Sciences

Lyudmila Gennadievna Kreker², Junior Researcher, Laboratory of Resource-Saving Processes and Functional Products, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Viktor Mikhailovich Drozhzhin³, Senior Researcher, Laboratory of Resource-Saving Processes and Functional Products

Elena Vyacheslavovna Kolosova⁴, Junior Researcher, Laboratory of Resource-Saving Processes and Functional Products, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

