

Антиоксидантная система молока

Екатерина И. Добриян¹ e_dobriyan@vnimi.org

¹ Федеральное государственное автономное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, ул. Люсиновская, дом 35, корпус 7, Москва 115093, Россия

Аннотация. Проведен обзор отечественных и зарубежных источников литературы по антиоксидантам молока. Окислительные процессы жира являются одной из основных причин химической порчи молока и молочных продуктов с длительным сроком годности. Окисление липидов связано преимущественно с количеством ненасыщенных жирных кислот в оболочках жировых шариков и фосфолипидов плазмы, а также с количеством свободного жира. Продуктами окислительных реакций на разных этапах окисления липидов кислородом воздуха являются гидроперекиси жирных кислот, перекиси, альдегиды, кетоны, оксикислоты, которые не только ухудшают органолептические показатели молока, но, некоторые из них являются токсичными веществами. Антиоксидантная способность молока обусловлена витаминами А, С, Е, каротиноидами, ферментами, лактоферрином, серосодержащими аминокислотами. Одним из самых сильных природных антиоксидантов является аскорбиновая кислота, которая способна поглощать супероксидные анионные радикалы, алкильные радикалы, супероксид, оксид железа, оксид азота. Описаны витамины групп Е, являющиеся первичными жирорастворимыми антиоксидантами. Среди этой группы веществ, наиболее биологически активной формой является α -токоферол. Определен вклад каротиноидов в антиоксидантную защиту. Бета каротин рассматривается как профилактический антиоксидант, так как он может гасить высокотоксичный синглетный кислород. Раскрыты механизмы антиокислительного действия различных ферментов. Показано, что ксантиоксидаза окисляет различные альдегиды и пуриновые основания до соответствующих кислот. Лактопероксидаза катализирует окисление тиоцианата с помощью перекиси водорода с образованием тиоциангена. Каталаза окисляет пероксид водорода с образованием воды и молекулярного кислорода. Глутатионпероксидаза способна с высокой скоростью удалять перекись водорода и другие перекиси. Описан механизм антиоксидантного действия лактоферрина, заключающийся в хелатировании им железа. Раскрыты функции серосодержащих аминокислот, обусловленные связыванием свободных радикалов. Определение общей антиоксидантной активности может быть биомаркером его биологической ценности, что позволит выбирать перспективные направления переработки молока.

Ключевые слова: молоко, антиоксидантные свойства, витамин С, токоферолы, каротиноиды, лактоферрин, ферменты, ксантиоксидаза, лактопероксидаза, каталаза, глутатионпероксидаза

Dairy antioxidant system

Ekaterina I. Dobriyan¹ e_dobriyan@vnimi.org

¹ All-Russian Dairy Research Institute, Lusinovskaya str., 35/7, Moscow, 115093, Russia

Abstract. A review of dairy antioxidants was done based on local and international sources. Oxidative processes of fat are the main cause of chemical spoilage of milk and dairy products. Lipid oxidation is associated mainly with the amount of unsaturated fatty acids in the shells of fat globules and plasma phospholipids, as well as with the amount of free fat. The products of oxidative reactions at different stages of lipid oxidation with atmospheric oxygen are fatty acid hydroperoxides, peroxides, aldehydes, ketones, hydroxy acids which not only worsen the organoleptic characteristics of milk, but some of them are toxic substances. The antioxidant ability of milk is due to vitamins A, C, E, carotenoids, enzymes, lactoferrin, sulfur-containing amino acids. One of the most powerful natural antioxidants is ascorbic acid, which is able to absorb superoxide anion radicals, alkoxyl radicals, superoxide, iron oxide, nitric oxide. Group E vitamins are described, being the primary fat-soluble antioxidants. Among this group of substances, the most biologically active form is α -tocopherol. The contribution of carotenoids to antioxidant protection has been determined. Beta carotene is considered as a preventive antioxidant, as it can block singlet oxygen which is highly toxic. The mechanisms of antioxidant action of various enzymes are disclosed. Xanthine oxidase has been shown to oxidize various aldehydes and purine bases to the corresponding acids. Lactoperoxidase catalyzes the oxidation of thiocyanate with hydrogen peroxide to form thiocyanogen. Catalase oxidizes hydrogen peroxide to form water and molecular oxygen. Glutathione peroxidase is capable of rapidly removing hydrogen peroxide and other peroxides. The mechanism of the antioxidant action of lactoferrin is described which is based on iron chelation by it. The functions of sulfur-containing amino acids due to the binding of free radicals are disclosed. Determining the total antioxidant activity can be a biomarker of its biological value, which will allow to choose the most perspective areas of milk processing.

Keywords: milk, antioxidant properties, vitamin C, tocopherols, carotenoids, lactoferrin, enzymes, xanthine oxidase, lactoperoxidase, catalase, glutathione peroxidase

Введение

Важная роль в жизнедеятельности организма принадлежит антиоксидантам. Основная их функция заключается в блокировании свободных радикалов, которые являются причиной разрушения клеточных структур. Вследствие разрушения последних происходит гибель клеток или их перерождение. Неконтролируемая

активность свободных радикалов может привести к окислительным стрессам с последующим распадом жизненно важных биохимических соединений, таких как липиды, белки, ДНК. Деструкция этих соединений является причиной ускорения канцерогенеза, нарушений иммунной системы, сердечно-сосудистых заболеваний, неврологических расстройств, дегенеративных изменений

Для цитирования

Добриян Е.И. Антиоксидантная система молока // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 2. С. 101–106. doi:10.20914/2310-1202-2020-2-101-106

For citation

Dobriyan E.I. Dairy antioxidant system. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 2. pp. 101–106. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-2-101-106

организма, катаракты. Активность антиоксидантной системы организма тесно связана с полноценным питанием и адекватным поступлением в организм необходимых нутриентов [1, 2]. С целью повышения биологической ценности продуктов питания, производится обогащение их ингредиентами, обладающими выраженными антиоксидантными свойствами [3, 4]. В последние годы во всем мире неуклонно растет спрос на продукты питания, содержащие природные антиоксиданты. Антиоксиданты являются не только физиологически значимыми компонентами пищи, но и играют важную технологическую роль, так как позволяют сохранить цвет и вкус продуктов, повысить их хранимость [5]. Основной причиной химической порчи молока и молочных продуктов являются окислительные процессы жира. Антиоксидантная стабильность является важной проблемой в молочной промышленности. Антиоксиданты являются своеобразными индикаторами биологической ценности продукта. В связи с этим, изучение антиоксидантной системы молока является актуальной проблемой.

Основная часть

Вследствие присутствия в составе молочного жира полиненасыщенных кислот, происходит быстрое его окисление кислородом воздуха. Окисление липидов протекает в несколько стадий. В первую очередь окисляются полиненасыщенные жирные кислоты, которые содержатся в фосфолипидах оболочек жировых шариков и свободном жире. Происходят глубокие химические изменения триглицеридов молочного жира и фосфолипидов. Основными первичными продуктами окисления жира являются гидроперекиси жирных кислот, поэтому процесс называют перекисным окислением жирных кислот. Первичные продукты перекисления жирных кислот быстро превращаются в различные вторичные продукты окисления, в том числе, перексиды, альдегиды, кетоны, оксикокислоты, которые не только изменяют вкус, запах и цвет молока, но и, некоторые из них являются токсичными веществами [6,7,8].

Антиоксидантная система молока представлена комплексом биологически активных компонентов, такими как, витамины А, С, Е, каротиноиды, флавоноиды, ферментные системы, белки, пептиды, серосодержащие аминокислоты, гормоны, небелковые вещества [6,8,9].

Витамин С. Аскорбиновая кислота – один из самых сильных и наименее токсичных природных антиоксидантов. Это основной водорастворимый антиоксидант, присутствующий в молоке, свободнорадикальная активность которого обусловлена его низким окислительно-восстановительным потенциалом. Аскорбиновая

кислота может поглощать супероксидные анионные радикалы, алкоксильные радикалы и синглетный кислород, а также, супероксид, оксид железа, оксид азота [6, 7].

Аскорбиновая кислота легко окисляется до дегидроаскорбиновой кислоты, особенно при щелочном рН. Дегидроаскорбиновая кислота может быть либо дополнительно окислена, либо вновь превращена в аскорбиновую кислоту с помощью реакции, катализируемой ферментом. При некоторых условиях аскорбиновая кислота может выступать в качестве прооксиданта, регенерируя перферрильный радикал при инициации перекисного окисления липидов. Окисление аскорбиновой кислоты зависит от температуры, воздействия света, кислорода и количества катализаторов [7, 8].

Витамин С является важным водорастворимым антиоксидантом и взаимодействует в комплексе с железом и жирорастворимыми антиоксидантами. При добавлении аскорбиновой кислоты и токоферола в молоко достигается высокая органолептическая и фотоокислительная стабильность по сравнению с образцами молока, не содержащими этих компонентов [10].

Витамины А, Е. Витамины А и Е считаются первичными жирорастворимыми антиоксидантами, и основная работа этих витаминов заключается в защите полиненасыщенных жирных кислот и связанных с ними биохимических соединений от перекисного окисления [5,6,8].

Витамин Е может непосредственно поглощать свободные радикалы, а также, ингибировать активность плазмина – протеолитического фермента. Витамин Е представляет собой группу соединений, включающую токоферолы и токотриенолы, каждый из которых делится на альфа, бета, гамма и дельта витамеры. Среди токоферолов α -токоферол является одним из важнейших жирорастворимых антиоксидантов в молоке и считается основным поглотителем свободных радикалов. Образовавшийся токоферолокси-радикал относительно стабилен и может быть вновь превращен в токоферол путем восстановления его аскорбиновой кислотой. Альфа-токоферол является самой биологически активной формой витамина Е. Антиоксидантная активность β -, γ -и δ -токоферолов на 80–90% меньше, чем у α -токоферола [11]. γ -токоферол имеет высокую функциональную ценность, поскольку он может улавливать оксиды азота [6, 11].

Каротиноиды. Каротиноиды являются жирорастворимыми соединениями, и их концентрация зависит от общей концентрации жира в молоке. Они действуют как поглотители синглетного кислорода и могут, также, реагировать с другими активными формами кислорода [6, 12].

Каротиноиды являются липофильными молекулами с тенденцией накапливаться в мембране или липопротеинах. Оболочка жировых шариков является самым активным местом для автоокисления. β -каротин рассматривается, как профилактический антиоксидант, так как он может гасить высокотоксичный синглетный кислород. Бета-каротин способен ингибировать фотоокисление липидов, так как он поглощает свет, который в противном случае был бы поглощен рибофлавином, что привело бы к ухудшению качества молока [7, 8, 12].

Флавоноиды. Антиокислительные свойства флавоноидов проявляются в их способности поглощать свободные радикалы, а также, выступать в качестве соединений, связывающих ионы металлов. Флавоноиды проявляют свою активность, как в липидной, так и в водной фазе [6–8].

Белки молока. Антиоксидантная активность молочных белков обусловлена, в первую очередь, антиокислительными свойствами сывороточных белков, в частности хелатированием железа лактоферрином и связыванием свободных радикалов серосодержащими аминокислотами [9, 13]. Сывороточные белки, кроме того, повышают уровень глутатионпероксидазы, которая является одним из наиболее значимых водорастворимых компонентов антиоксидантной системы [9, 14].

Лактоферрин – это железо связывающий гликопротеин. Лактоферрин выполняет несколько биохимических важных функций, в том числе: связывание железа, поглощение железа; проявление бактериостатического и бактерицидного действия, а также, выполнение функции фактора роста [9, 14, 15].

Связывание лактоферрином железа ингибирует превращение перекиси водорода в гидроксильный радикал. Антиоксидантные свойства лактоферрина проявляются, также, в способности его связывать липополисахариды, ограничивая, при этом, образование ими свободных радикалов [13]. Кроме того, лактоферрин активирует некоторые ферменты антиокислительной системы [14, 17].

Казеин. Казеиновые фракции белков молока проявляют менее выраженную антиоксидантную активность и выступают, в основном, в качестве поглотителей активных форм кислорода. Наряду с этим, остатки фосфосерина, соединенные с молекулами казеина и неорганическим фосфатом, могут связывать негемовое железо. Казеин способен, также, ингибировать катализируемое липоксигеназой аутоокисление липидов [6,8,18].

Ферменты. Ферменты молока, составляющие антиоксидантную систему, отличаются по принципу своего действия. Некоторые ферменты предотвращают образование радикалов

или нейтрализуют их действие. Другие ферменты катализируют синтез или регенерацию неферментативных антиоксидантов [19, 20].

Ксантиноксидаза окисляет различные альдегиды и пуриновые основания (ксантин и др.) до соответствующих кислот. Данный фермент обладает, также, способностью восстанавливать нитраты в нитриты [21–23].

Ксантиноксидаза представляет собой сложный молибдофлавофермент, который выделяется клетками молочной железы. Является основным белковым компонентом оболочек жировых шариков и находится на их внутренней поверхности [24,25]. В оболочках жировых шариков сосредоточено порядка 80% ксантиноксидазы от общего количества ее в сыром молоке [23, 26, 27].

Сульфгидрилоксидаза. Антиоксидантные свойства фермента проявляются в способности катализировать в присутствии кислорода окисление сульфгидрильных групп в L, D-цистеине, в восстановленном глутатионе и в денатурированных белках [8, 19]. Является нативным ферментом молока, большая часть которого (около 55%) находится в глобулиновой фракции, около 23% фермента связано с оболочками жировых шариков и около 21% связано с казеином [19, 20].

Лактопероксидаза – катализирует окисление тиоцианата с помощью – перекиси водорода с образованием тиоцианогена, который затем гидролизует до гипотиоцианата [7, 14, 28]. Лактопероксидаза является вторым по распространенности ферментом в молоке и его основная роль заключается в защите молочной железы и кишечника младенцев от бактериальных инфекций. Может ингибировать рост и метаболизм различных видов микроорганизмов [29, 30]. Антимикробный эффект лактопероксидазной системы обусловлен ее способностью катализировать в присутствии перекиси водорода окисление тиоцианата с получением гипотиоцианата и гипотиоциановой кислоты; и окисление йода с получением гипойодита и гипойодной кислоты. Эти соединения вступают в реакцию с микробными сульфгидрильными группами, ингибируя различные клеточные функции. Лактопероксидаза катализирует инактивацию широкого спектра микроорганизмов [31, 32].

Каталаза окисляет пероксид водорода. В результате реакции образуются вода и молекулярный кислород. Каталаза – это крупный фермент, содержащий гем-связанное железо в своем активном участке. Каталаза обладает очень высокой способностью разрушать H_2O_2 , и с точки зрения количества молекул H_2O_2 , разлагающихся в минуту на молекулу фермента, она является одним из самых активных известных ферментов [6, 8].

Глутатионпероксидаза удаляет H_2O_2 и другие пероксиды с высокой скоростью. Данный фермент является одной из биологически активных форм селена в коровьем молоке [8, 20]. Его селеногруппа окисляется перекисью, а затем восстанавливается глутатионом, который превращается в окисленный глутатион. Селен специфически включается в белки в виде селеноцистеина [6, 7]. Он также может быть включен в качестве селенометионина. Селеноцистеин входит в состав активного центра глутатионпероксидазы. Активность глутатионпероксидазы значительно коррелирует с концентрацией селена. Глутатионпероксидаза в молоке существует в сложной форме, прикрепленной к высокомолекулярным белкам внутри казеиновой фракции [6, 20].

Концентрация данного фермента в коровьем молоке колеблется от 12 до 30 ед./мл и его активность, в основном, зависит от концентрации селена. Антиоксидантная активность и содержание селена снижаются с прогрессированием лактации [8, 19].

Церулоплазмин разрушает супероксидрадикал кислорода, предотвращая активацию перекисного окисления полиеновых кислот [6,19]. Представляет собой металлогликопротеин, обладающий антиоксидантными свойствами и оксидазной активностью. Церулоплазмин рассматривают как специфический переносчик меди. Медь в молоке присутствует в недиссоциируемой форме и 75–80% ее входит в состав фермента. Церулоплазмин – уникальный источник меди для новорожденных, когда они еще не способны самостоятельно поддерживать баланс меди в организме [8, 20, 33].

Лимонная кислота. Лимонная кислота не проявляет выраженных антиоксидантных свойств, но способна повышать антиокислительную активность более «сильных» антиокислителей за счет хелатирования поливалентных металлов. Такие вещества называются синергистами антиокислителей [7, 10].

Гормоны. Антиоксидантные свойства проявляют, также некоторые эндогенные гормоны (кортикостероиды, эстрогены и прогестерон), выполняющие важные функции в регуляции метаболических процессов в организме животного [6, 8, 34].

Мочевая кислота. Представителем небелковых азотистых соединений в молоке является мочевая кислота, которая выполняет функции антиоксиданта путем ингибирования активных форм кислорода. Кроме того, мочевая кислота способна связывать переходные металлы, такие как железо. Проявляет свойства синергиста в композиции с токоферолом и аскорбиновой кислотой [7, 8, 10].

Заключение

Антиоксидантная система молока выполняет важную биохимическую функцию, ингибируя свободнорадикальное перекисное окисление липидов и способствуя сохранению нативных свойств молока. Определение общей антиоксидантной активности молока может быть биомаркером его биологической ценности, что позволит выбирать перспективные направления переработки молока в промышленности и прогнозировать его хранимоспособность.

Литература

- 1 Донская Г.А., Асафов В.А., Андреева Е.А. Влияние пищевых добавок в составе молочного десерта на антиоксидантную систему биообъектов // Техника и технология пищевых продуктов. 2016. № 4(43). С. 5–11.
- 2 Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д. и др. Выбор комплекса антиоксидантов для молочных систем с использованием физико-химических методов // Молочная промышленность. 2019. № 4. С. 46–49.
- 3 Королева О.В., Агаркова Е.Ю., Ботина С.Г., Николаев И.В. и др. Перспективы использования гидролизатов сывороточных белков в технологии кисломолочных продуктов // Молочная промышленность. 2013. № 7. С. 66–68.
- 4 Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В. Использование листовой части растения амарант в производстве функциональных кисломолочных продуктов // Пищевая индустрия. 2009. № 2 (40). С. 20–21.
- 5 Лисицин А.Б., Тунеева Е.К., Горбунова Н.А. Окисление липидов: Механизм, динамика, ингибирование // Все о мясе. 2015. № 1. С. 10–15.
- 6 Simos Y., Metsios A., Verginadis I., Alessandro A. et al. Antioxidant and anti-platelet properties of milk from goat, donkey and cow: An invitro, exvivo and invivo study // International Dairy Journal. 2011. V. 21. № 11. P. 901–906.
- 7 Шидловская В.П., Юрова Е.А. Антиоксиданты молока и их роль в оценке качества // Молочная промышленность. 2010. № 2. С. 24–27.
- 8 Lindmark-Mansson H., Akesson B. Antioxidative factors in milk // British Journal of Nutrition. 2000. V. 84. P.103–110.
- 9 Abbring S., Hols G., Garssen J., Betty C.A.M. van Esch. Raw cow's milk consumption and allergic diseases – The potential role of bioactive whey proteins // European Journal of Pharmacology. 2019. V. 843. № 15. P.55–65.
- 10 Саркисян В.А., Смирнова Е.А., Кочеткова А.А., Бессонов В.В. Синергические взаимодействия антиоксидантов в жировых продуктах // Пищевая промышленность. 2013. № 4. С. 14–17.
- 11 Naumov V.V., Vasil'ev R.F. Antioxidant and Prooxidant Effects of Tocopherol // Kinetics and Catalysis. 2003. V. 44. № 1. P. 101–105.
- 12 Young A.J., Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2001. V. 385. № 1. P. 20–27.
- 13 Бейкер Е.Н., Бейкер Х.М. и др. Лактоферрин: свойства и применение // Молочная промышленность. 2006. № 2. С. 38–39.
- 14 Ильина А.М., Комолова Г.С. Композиционный препарат «Лактопероксидаза – лактоферрин – иммуноглобулины» // Молочная промышленность. 2009. № 6. С. 70.
- 15 Gonzales-Chavez S.A., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin: Structure, function and applications //International Journal of Antimicrobial Agents. 2009. V. 33. № 3. P. 301–308.

- 16 Kanwar J.R., Roy K., Patel Y., Shu-Feng Zhou. et al. Multifunctional iron bound lactoferrin and nanomedicinal approaches to enhance its bioactive functions // *Molecules*. 2015. V. 20. P. 9703–9731.
- 17 Bokkhim H., Bansal N., Grøndahl L., Bhandari B. Physico-chemical properties of different forms of bovine lactoferrin // *Food Chemistry*. 2013. V. 141. № 3. P. 3007–3013.
- 18 Sharma P., Oey I., Everett D.W. Thermal properties of milk fat, xanthine oxidase, caseins and whey proteins in pulsed electric field-treated bovine whole milk // *Food Chemistry*. 2016. V. 207. P. 34–42.
- 19 Шидловская В.П., Юрова Е.А. Антиоксидантная активность ферментов // *Молочная промышленность*. 2011. № 12. С. 48–49.
- 20 Silanikove N., Merin U., Leitner G. Physiological role of indigenous milk enzymes: An overview of an evolving picture // *International Dairy Journal*. 2006. V. 16. № 6. P. 533–545.
- 21 Harrison R. Enzymes Indigenous to Milk / XanthineOxidoreductas // *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 324–326.
- 22 Rashidinejad A., Birch J. Xanthine Oxidase in Dairy Foods // *Encyclopedia of Food Chemistry*. 2019. P. 374–380.
- 23 Harrison R. Milk xanthine oxidase: Properties and physiological roles // *International Dairy Journal*. 2006. V. 16. № 6. P. 546–554.
- 24 Silanikova N., Shapiro F. Distribution of xanthine oxidase and xanthine dehydrogenase activity in bovine milk: Physiological and technological implications // *International Dairy Journal*. 2007. V. 17. № 10. P. 1188–1194.
- 25 Oztuk G., Shah I.M., Mills D.A., German J.B. et al. The antimicrobial activity of bovine milk xanthine oxidase // *International Dairy Journal*. 2020. V. 102. P. 104581.
- 26 Harrison R. Enzymes Indigenous to Milk | Xanthine Oxidoreductase // *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 324–326.
- 27 Rashidinejad A., Birch J. Xanthine Oxidase in Dairy Foods // *Encyclopedia of Food Chemistry*. 2019. P. 374–380.
- 28 Lara-Aguilar S., Alcaine S.D. Lactose oxidase: A novel activator of the lactoperoxidase system in milk for improved shelf life // *Journal of Dairy Science*. 2019. V. 102. № 3. P.1933–1942.
- 29 Ильина А.М., Комолова Г.С. Природный консервант – комплексный биологически активный препарат лизоцим – лактопероксидаза // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 5. С. 12–14.
- 30 Isoe N., Kubota H., Yamasaki A., Yoshimura Y. Lactoperoxidase activity in milk is correlated with somatic cell count in dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2011. V. 94. № 8. P.3868 – 3874.
- 31 Munsch-Alatossava P., Gursoy O., Lorilla P.M., Gauchi J.-P. et al. Antibacterial Effects and Modes of Action of the Activated Lactoperoxidase System (LPS), of CO₂ and N₂ Gas as Food-Grade Approaches to Control Bovine Raw Milk-Associated Bacteria // *Food Control and Biosecurity*. 2018. P. 519–541.
- 32 Shamila-Syuhada A.K., Chuah L.O., Wan-Nadiah W.A., Cheng L.H. et al. Inactivation of microbiota and selected spoilage and pathogenic bacteria in milk by combinations of ultrasound, hydrogen peroxide, and active lactoperoxidase system // *International Dairy Journal*, 2016. V. 61. P. 120-125.
- 33 Пучкова Л.В. Пищевая роль церулоплазмينا молока // *Вопросы питания*. 2015. Т. 84. № 4. С. 4–17.
- 34 Шидловская В.П., Юрова Е.А. Гормоны коровьего молока // *Молочная промышленность*. 2010. № 2. С. 21–23.

References

- 1 Donskaya G.A., Asafov V.A., Andreeva E.A. Influence of food additives in the composition of milk dessert on the antioxidant system of biological objects. Technique and technology of food products. 2016. no. 4 (43). pp. 5–11. (in Russian).
- 2 Zobkova Z.S., Fursova T.P., Zenina D.V., Gavrilina A.D. et al. Selection of a complex of antioxidants for dairy systems using physical and chemical methods. Dairy industry. 2019. no. 4. pp. 46–49. (in Russian).
- 3 Koroleva O.V., Agarkova E.Yu., Botina S.G., Nikolaev I.V. et al. Prospects for the use of whey protein hydrolysates in the technology of fermented milk products. Dairy industry. 2013. no. 7. pp. 66–68. (in Russian).
- 4 Zobkova Z.S., Fursova T.P., Zenina D.V. Using the leaf part of the amaranth plant in the production of functional dairy products. Food industry. 2009. no. 2 (40). pp. 20–21. (in Russian).
- 5 Lisitsin A.B., Tuneeva E.K. Gorbunova N.A. Lipid Oxidation: Mechanism, dynamics, inhibition. All about meat. 2015. no. 1. pp.10–15. (in Russian).
- 6 Simos Y., Metsios A., Verginadis I., Alessandro A. et al. Antioxidant and anti-platelet properties of milk from goat, donkey and cow: An invitro, exvivo and invivo study. International Dairy Journal. 2011. vol. 21. no. 11. pp. 901–906.
- 7 Shidlovskaya V.P., Yurova E.A. Milk antioxidants and their role in quality assessment. Dairy industry. 2010. no. 2. pp. 24–27. (in Russian).
- 8 Lindmark-Mansson H., Akesson B. Antioxidative factors in milk. British Journal of Nutrition. 2000. vol. 84. pp. 103–110.
- 9 Abbring S., Hols G., Garssen J., Betty C.A.M. van Esch. Raw cow's milk consumption and allergic diseases – The potential role of bioactive whey proteins. European Journal of Pharmacology. 2019. vol. 843. no. 15. pp. 55–65.
- 10 Sarkisyan V.A., Smirnova E.A., Kochetkova A.A., Bessonov V.V. Synergic interactions of antioxidants in fat products. Food industry. 2013. no. 4. pp. 14–17. (in Russian).
- 11 Naumov V.V., Vasil'ev R.F. Antioxidant and Prooxidant Effects of Tocopherol. Kinetics and Catalysis. 2003. vol. 44. no. 1. pp. 101–105.
- 12 Young A.J., Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. Archives of Biochemistry and Biophysics. 2001. vol. 385. no. 1. pp. 20–27.
- 13 Baker E.N., Baker H.M. et al. Lactoferrin: properties and applications. Dairy industry. 2006. no. 2. pp. 38–39. (in Russian).
- 14 Ilyina A.M., Komolova G. S. Composite drug «Lactoprotidsada – lactoferrin – immunoglobulins». Dairy industry. 2009. no. 6. pp. 70. (in Russian).
- 15 Gonzales-Chavez S.A., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin: Structure, function and applications. International Journal of Antimicrobial Agents. 2009. vol. 33. no. 3. pp. 301–308.
- 16 Kanwar J.R., Roy K., Patel Y., Shu-Feng Zhou. et al. Multifunctional iron bound lactoferrin and nanomedicinal approaches to enhance its bioactive functions. *Molecules*. 2015. vol. 20. pp. 9703–9731.
- 17 Bokkhim H., Bansal N., Grøndahl L., Bhandari B. Physico-chemical properties of different forms of bovine lactoferrin. *Food Chemistry*. 2013. vol. 141. no. 3. pp. 3007–3013.
- 18 Sharma P., Oey I., Everett D.W. Thermal properties of milk fat, xanthine oxidase, caseins and whey proteins in pulsed electric field-treated bovine whole milk. *Food Chemistry*. 2016. vol. 207. pp. 34–42.
- 19 Shidlovskaya V.P., Yurova E.A. Antioxidant activity of enzymes. Dairy industry. 2011. no. 12. pp. 48–49. (in Russian).
- 20 Silanikove N., Merin U., Leitner G. Physiological role of indigenous milk enzymes: An overview of an evolving picture. *International Dairy Journal*. 2006. vol. 16. no. 6. pp. 533–545.
- 21 Harrison R. Enzymes Indigenous to Milk / XanthineOxidoreductas. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. pp. 324–326.
- 22 Rashidinejad A., Birch J. Xanthine Oxidase in Dairy Foods. *Encyclopedia of Food Chemistry*. 2019. pp. 374–380.
- 23 Harrison R. Milk xanthine oxidase: Properties and physiological roles. *International Dairy Journal*. 2006. vol. 16. no. 6. pp. 546–554.
- 24 Silanikova N., Shapiro F. Distribution of xanthine oxidase and xanthine dehydrogenase activity in bovine milk: Physiological and technological implications. *International Dairy Journal*. 2007. vol. 17. no. 10. pp. 1188–1194.

- 25 Oztuk G., Shah I.M., Mills D.A., German J.B. et al. The antimicrobial activity of bovine milk xanthine oxidase. *International Dairy Journal*. 2020. vol. 102. pp. 104581.
- 26 Harrison R. Enzymes Indigenous to Milk | Xanthine Oxidoreductase. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. pp. 324–326.
- 27 Rashidinejad A., Birch J. Xanthine Oxidase in Dairy Foods. *Encyclopedia of Food Chemistry*. 2019. pp. 374–380.
- 28 Lara-Aguilar S., Alcaine S.D. Lactose oxidase: A novel activator of the lactoperoxidase system in milk for improved shelf life. *Journal of Dairy Science*. 2019. vol. 102. no. 3. pp. 1933–1942.
- 29 Илина А.М., Комолова Г.С. Natural preservative-complex biologically active drug lysozyme-lactoperoxidase. Storage and processing of agricultural raw materials. 2009. no. 5. pp. 12–14. (in Russian).
- 30 Isobe N., Kubota H., Yamasaki A., Yoshimura Y. Lactoperoxidase activity in milk is correlated with somatic cell count in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2011. vol. 94. no. 8. pp. 3868 – 3874.
- 31 Munsch-Alatossava P., Gursoy O., Lorilla P.M., Gauchi J.-P. et al. Antibacterial Effects and Modes of Action of the Activated Lactoperoxidase System (LPS), of CO₂ and N₂ Gas as Food-Grade Approaches to Control Bovine Raw Milk-Associated Bacteria. *Food Control and Biosecurity*. 2018. pp. 519–541.
- 32 Shamila-Syuhada A.K., Chuah L.O., Wan-Nadiah W.A., Cheng L.H. et al. Inactivation of microbiota and selected spoilage and pathogenic bacteria in milk by combinations of ultrasound, hydrogen peroxide, and active lactoperoxidase system. *International Dairy Journal*, 2016. vol. 61. pp. 120-125.
- 33 Puchkova L.V. The Nutritional role of milk ceruloplasmin. *Questions of nutrition*. 2015. vol. 84. no. 4. pp. 4–17. (in Russian).
- 34 Shidlovskaya V.P., Yurova E.A. Hormones of cow's milk. *Dairy industry*. 2010. no. 2. pp. 21–23. (in Russian).

Сведения об авторах

Екатерина И. Добриян к.т.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, Федеральное государственное автономное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, ул. Люсиновская, 35/7, Москва 115093, Россия, e_dobriyan@vnimi.org

Information about authors

Ekaterina I. Dobriyan Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, laboratory of resource-saving technologies functional products, All-Russian Dairy Research Institute, Lusinovskaya str., 35/7, Moscow, 155093, Russia, e_dobriyan@vnimi.org

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/04/2020	После редакции 06/05/2020	Принята в печать 14/05/2020
Received 27/04/2020	Accepted in revised 06/05/2020	Accepted 14/05/2020