

Изучение функциональных свойств обогащенного творожного продукта

З.С. Зобкова*, д-р техн. наук; Т.П. Фурсова, канд. техн. наук; Д.В. Зенина; А.Д. Гаврилина; И.Р. Шелагинова
ВНИИ молочной промышленности, Москва

Дата поступления в редакцию 10.01.2020
Дата принятия в печать 27.03.2020

* technologi-vnimi@ya.ru
© Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д., Шелагинова И.Р., 2020

Реферат

Проведена оценка функциональных свойств пасты творожной, изготовленной с применением трансглутаминазы, обогащенной пробиотиками, олигомерными проантоцианидинами и витаминами. Биологический эксперимент проведен на базе Экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. Растущие лабораторные крысы стока Вистар получали дополнительно к полусинтетическому рациону анализируемые опытные и контрольные образцы творожного продукта и подвергались воздействию низкочастотного слабого переменного магнитного поля в течение 21 сут. На протяжении 32 сут анализировали показатели поедаемости корма и прироста массы тела животных. В конце эксперимента оценивали биохимические показатели крови. Выявлено, что животные, потреблявшие опытный продукт, стабильно набирали массу как до, так и после воздействия. При этом привесы животных опытной группы по завершении эксперимента превышали привесы контрольных крыс более чем на 20 %. Выявлен гиполипидемический и гипогликемический эффект опытного творожного продукта, о чем свидетельствует значительное снижение в сыворотке крови крыс содержания холестерина (более чем на 20 %), триглицеридов (на 28 % относительно интакта), глюкозы – до 40 %. Выявлен эффект восстановления нарушенного баланса в про-антиоксидантной системе у животных, потреблявших опытный продукт. Антиоксидантные и адаптогенные свойства пасты творожной, обогащенной пробиотиками, витаминами и биофлавоноидами, способствовавшие снижению интенсивности свободно-радикального окисления, индуцированного электромагнитным полем, позволяют рекомендовать продукт для профилактического питания.

Ключевые слова

полифенолы, витамины, пробиотики, творожная паста, электромагнитное излучение, крысы

Для цитирования

Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д., Шелагинова И.Р. (2020) Изучение функциональных свойств обогащенного творожного продукта // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 22–28.

Study of the enriched curd product functional properties

Z.S. Zobkova*, Doctor of Technical Sciences; T.P. Fursova, Candidate of Technical Sciences; D.V. Zenina; A.D. Gavrilina; I.R. Shelaginova
All-Russia Research Institute of Dairy Industry, Moscow

Received: January 10, 2020
Accepted: March 27, 2020

* technologi-vnimi@ya.ru
© Zobkova, Z.S., Fursova, T.P., Zenina, D.V., Gavrilina, A.D., Shelaginova, I.R., 2020

Abstract

The functional properties of the curd paste made using transglutaminase enriched with probiotics, oligomeric proanthocyanidins and vitamins were evaluated. A biological experiment was conducted on the basis of the Experimental Clinic-laboratory of biologically active substances of animal origin of Federal Research Center for Food Systems after VM Gorbатов of Russian Academy of Sciences. Growing laboratory Wistar runoff rats received, in addition to a semi-synthetic diet, analyzed experimental and control samples of the curd product and were exposed to a low-frequency weak alternating magnetic field for 21 days. For 32 days, the indicators of feed eatability and animal body weight gain were analyzed. At the end of the experiment, biochemical blood parameters were evaluated. It was revealed that animals that consumed the experimental product stably gained weight both before and after exposure. In this case, the gain of the animals of the experimental group at the end of the experiment exceeded the gain of the control rats by more than 20 %. The hypolipidemic and hypoglycemic effect of the experimental curd product was revealed, as evidenced by a significant decrease in the blood serum of rats with cholesterol (more than 20 %), triglycerides (28 % relative to intact), and glucose up to 40 %. The effect of restoring the disturbed balance in the antioxidant system in animals consuming the experimental product was revealed. The antioxidant and adaptogenic properties of cottage cheese paste enriched with probiotics, vitamins and bioflavonoids, which contributed to a decrease in the intensity of free radical oxidation induced by an electromagnetic field, make it possible to recommend a product for preventive nutrition.

Key words

polyphenols, vitamins, probiotics, curd paste, electromagnetic radiation, rats

For citation

Zobkova, Z.S., Fursova, T.P., Zenina, D.V., Gavrilina, A.D., Shelaginova, I.R. (2020) Study of the enriched curd product functional properties // Food processing industry = Pischevaya promyshlennost'. 2020. No. 3. P. 22–28.

Введение. Неблагоприятная экологическая и санитарно-эпидемиологическая ситуация, постоянные стрессы, несбалансированное питание, вредные привычки, радиоактивное, УФ, электромагнитное излучение и др. факторы повышают риск нарушения баланса между антиоксидантной системой и активными формами кислорода в клетках организма. Состояние нарушенного окислительно-восстановительного статуса клеток или окислительный стресс, когда активные формы кислорода не могут быть нейтрализованы антиоксидантной системой защиты организма, выражается в снижении активности основных ферментов системы антиоксидантной защиты и увеличении концентрации продуктов ПОЛ, что может приводить к хроническим заболеваниям [1, 2].

Вторую линию защиты организма от окислительного стресса составляют эндогенные антиоксиданты, например, витамины Е и С, каротиноиды, фенольные и полифенольные соединения, которые могут действовать синергичным или комплементарным (то есть дополняющим друг друга) способами. Накопленные в мировой и отечественной литературе данные о важной роли антиоксидантов в профилактике окислительного стресса наряду со сведениями о недостаточном поступлении с рационом указывают на целесообразность широкого использования их в качестве добавок, обогащающих пищевые продукты [3–7].

Научное обоснование и разработка технологий пищевых, в том числе молочных, продуктов, обогащенных биологически активными веществами – антиоксидантами, способными в той или иной степени защищать организм от повреждающих молекул, является актуальной проблемой, представляющей научный, практический интерес и социальное значение.

С целью обеспечения физиологического эффекта, а также необходимых функционально-технологических свойств была выбрана и экспериментально обоснована система добавок, включающая ферментный препарат трансглутаминазы, пробиотические культуры, сухой экстракт виноградных косточек, поливитаминный премикс и разработана технология пасты творожной, обогащенной пробиотиками, полифенолами и витаминами.

Растительные экстракты уже длительное время и достаточно широко используются в качестве функциональных ингредиентов, обладающих выраженными антиоксидантными свойствами [2, 7, 8].

Общеизвестно значение витаминов как антиоксидантов и предшественников молекул, играющих важную роль в окислительно-восстановительных реакциях в клетках, а также протекторов и синергистов полифенолов [3–6].

Выбор наиболее активных добавок и их сочетаний, а также определение су-

ществования взаимодействия между различными антиоксидантами (синергизма или антагонизма) в процессе окисления были осуществлены путем сравнения их антиоксидантной и антирадикальной активности. Для обогащения продукта было отобрано сочетание экстракта виноградных косточек (в дозе, обеспечивающей 50% от рекомендуемой суточной нормы потребления проантоцианидинов) и поливитаминного премикса 730/4 (в дозе, обеспечивающей 50% потребности взрослых в витамине С при употреблении 100 г продукта), обладавшее наилучшим показателем антиоксидантной активности 22,0±6,0 мг/100 г (в пересчете на галловую кислоту), превышавшим таковой для контрольного образца примерно в 8 раз и составившим в троекратном эквиваленте (ТЕАС) 2489,4±243,9 мкмоль тролокса/г продукта [9].

Антиоксидантная ферментная система пробиотических микроорганизмов также позволяет рассматривать их в качестве составляющей экзогенной антиоксидантной защиты организма человека. Имеющиеся данные свидетельствуют об обширном спектре биологической активности представителей рода *Lactobacillus*, в частности *Lactobacillus acidophilus* широко используются в препаратах-пробиотиках и продуктах лечебного питания. Установлены иммуномодулирующие, антибиотические, антигенотоксические, антиоксидантные и многие другие свойства *L. acidophilus* [10–13]. При этом культивирование пробиотических культур при изготовлении продукта предпочтительнее простого добавления, так как в этом случае кроме вегетативных клеток присутствуют их метаболиты.

Ранее было установлено, что использование в технологии творога ферментного препарата трансглутаминазы за счет модификации белка способствует увеличению выхода продукта и содержания в нем лизина – незаменимой аминокислоты, важной составляющей цепи реакций, в результате которых пища преобразуется в энергию, являющегося предшественником аминокислоты L-карнитина.

Целью данного исследования являлась оценка функциональных свойств разработанного обогащенного творожного продукта, предназначенного для повышения естественной резистентности и улучшения физиологического состояния организма, в эксперименте с лабораторными крысами, подвергавшимися воздействию низкочастотного слабого переменного магнитного поля.

Объектами исследований являлись обезжиренная творожная паста, обогащенная функциональными ингредиентами (опытный продукт); обезжиренная творожная паста, изготовленная без применения перечисленных выше функциональных ингредиентов (контрольный продукт).

Обогащенную творожную пасту изготавливали из обезжиренного творога синергического кислотолюбивого фермента. Творог вырабатывали кислотолюбивым способом в соответствии с технологической инструкцией ТТН ГОСТ 28381–89 «Творог». При изготовлении творога образцов творога в качестве основного фермента применяли препарат микробной трансглутаминазы BioSera Miik, активностью 100 ед./г в дозировке 0,15 г/кг. Пробиотический кислотолюбивый продукт вырабатывали с добавлением сухого экстракта виноградных косточек (с м. д. полифенолов в среднем не менее 95%) компании Tsung Shingha Co., Ltd, Китай, соответствующего ТС РНД Д-СН. АВ45. В. 75381), поливитаминного премикса 730/4 (содержащего витамин А, С, Е, D3, В₁, В₂, В₆, В₁₂, РР, биотин) компании DSM Nutritional Products Ltd., Швейцария с использованием закваски *Lactobacillus acidophilus* (штамм 207, предоставленный Центральной лабораторией микробиологии ФГАНУ ВНИИПИ).

В готовом продукте определяли стандартизованными методами м. д. влаги, сухого вещества – ускоренным методом высушивания по ГОСТ 3626–73, м. д. жира – кислотным методом по ГОСТ 5867–90, м. д. общего белка – методом Кьельдаля по ГОСТ 23327–98, м. д. углеводов – по ГОСТ Р 54667–2011, м. д. витамина С – по ГОСТ 30627.2–98, общее количество полифенольных соединений – методом Фолина-Чокальтеу, изложенным в Руководстве Минздрава РФ Р 4.1.1672–03 (раздел 9); количество молочнокислых микроорганизмов, в том числе ацидофильных молочнокислых палочек, – по ГОСТ 33951–2016, а также другие показатели.

Биологический эксперимент на лабораторных крысах. Исследования продукта проводили на белых крысах-самцах Wistar (165±15), полученных из филиала «Андреевка» ГУ НЦБМТ РАМН (Московская обл., Солнечногорский р-н пос. Андреевка), на базе Экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН.

После адаптации (14 сут) животных индивидуально маркировали и рандомно распределяли на 4 группы по 10 животных: 1-я – интактные крысы; 2-я – контрольные крысы; 3-я – опытные (I), потреблявшие контрольный творожный продукт, и 4-я – опытные (II), потреблявшие обогащенный творожный продукт. Животные всех групп на протяжении всего эксперимента потребляли стандартный рацион (310 ккал/100 г). Первый этап эксперимента с 1 по 10 сут был направлен на адаптацию крыс групп 3 и 4 к включению в стандартный рацион творожных продуктов (53 ккал/100 г), которые скармливали из расчета 20 г/го-

лову, используя мерные бутылочки из полисульфона. На втором этапе, начиная с 11 сут по 32-е сут, животных 2, 3 и 4-й групп подвергали ежедневному 10-минутному воздействию низкочастотного (8 Гц) слабого переменного магнитного поля с индукцией 5 мкТл (НЧСМПП) [14]. При этом крысы групп 3 и 4 продолжали потреблять в дополнение к рациону творожные продукты. На протяжении всего эксперимента крысам всех групп корм и воду давали ad libitum. Крыс содержали в полисульфоновых клетках IV S (Tecniplast, Италия) при температуре (22±3) °С, влажности 50–60%, освещении в режиме 12/12, световой день с 6.00 до 18.00.

До начала исследования и каждые четвертые сутки проводили взвешивание животных на весах Ohaus (Adventurer Pro, США). Продолжительность эксперимента составила 32 сут. По окончании эксперимента крыс усыпляли с помощью углекислого газа в камере для эвтаназии (VetTech, Великобритания), отбирали кровь из сердца на исследования. Забор крови для гематологического исследования проводился в пробирках с ЭДТА в качестве антикоагулянта (Aquisel, Испания). Плазма крыс была получена после центрифугирования (при 2000 g в течение 10 мин) пробирок с ЭДТА кровью. Сыворотка крови крысы была получена согласно [15].

Биохимический анализ крови проводили на автоматическом анализаторе BioChem FC-360 (HTI, США), используя наборы реактивов HTI.

Гематологический анализ цельной крови крыс проводили на автоматическом гематологическом анализаторе Abacus junior vet 2.7 (Diatron Messtechnik GmbH, Австрия), используя наборы реактивов Diatron.

В плазме крови крыс оценивали следующие показатели антиоксидантной защиты организма: общую антиоксидантную активность – методом FRAP [16]; содержание активных продуктов, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой (TBA-RP), – по методу Brazhe N.A. et al. [17]; активность супероксиддисмутазы – по Marklund S. and Marklund G. [18] с модификацией Gatellier P., Mercier Y. and Renere M. [19]; реакцию смеси – 2850 мкл 50 мМ фосфатного буфера (рН 8,2), 75 мкл плазмы крови и 75 мкл 10 мМ пирогаллола; длина волны – 340 нм; активность каталазы – методом Beers R.F., Jr & Sizer I.W. [20] и Iwase T. et al. [21]; активность глутатионпероксидазы – по Paglia D.E. and Valentina W.N. [22]; концентрацию восстановленного глутатиона – с использованием реактива Элмана [23].

Для статистического анализа использовали программу STATISTICA 10. Статистическая достоверность рассчитывалась с применением однопараметрического ANOVA теста и критерия Тьюки. Вероят-

ность 0,05 была выбрана в качестве значимого уровня.

Результаты и обсуждение. Одним из достижений науки последних десятилетий является признание того факта, что слабые электромагнитные поля являются экологически значимым фактором, влияющим на многие биологические процессы. Электромагнитные поля природного происхождения (низкочастотные, слабой интенсивности) постоянно воздействуют на живые организмы наряду с такими важнейшими климатическими факторами, как температура, давление и т.п. Вариации электромагнитного поля ионосферного волновода с центральной частотой 8 Гц являются одним из наиболее важных составляющих природного электромагнитного фона Земли, при этом многочисленными исследованиями показана его биологическая активность [24–31 и др.]. Так, Н.А. Темурьянцем [25, 26] при ежедневном трехчасовом воздействии переменного магнитного поля с частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл на позвоночных животных – крыс выявлены значительные изменения морфологического состава крови, снижение функционального состояния иммунной системы и адаптационных возможностей организма, развитие стрессового и депрессивного состояний. Электромагнитное низкочастотное поле при длительном воздействии способно вызывать образование свободных радикалов в организме лабораторных животных и активизировать их антиоксидантную систему [24, 28–31].

Учитывая вышеизложенное, биологическая оценка адаптогенных и антиоксидантных свойств исследуемого продукта была проведена на модели стрессового, депрессивного состояния крыс под воздействием НЧСМПП.

Основные показатели тестируемых кисломолочных продуктов (контроль и опыт) приведены в табл. 1.

В течение всего периода наблюдения за животными не было отмечено никаких признаков изменения клинического состояния. Введение в рацион исследуемых образцов не сказывалось на поведении, состоянии кожи, шерстного покрова и видимых слизистых оболочек подопытных животных, различий в потреблении корма и воды также отмечено не было.

Привесы крыс групп 2, 3, 4 достоверно не отличались от привесов животных 1-й группы. Крысы 1-й и 4-й групп стабильно набирали вес на протяжении всего эксперимента. У животных 2-й и 3-й групп на втором этапе эксперимента привесы уменьшались, но на 4-й неделе выявлено увеличение веса крыс. У животных групп 2 и 3 начиная со второй недели и вплоть до завершения эксперимента вес значительно варьировался, что обусловлено индивидуальными особенностями организма и развитием компенсаторных реакций в ответ на воздействие НЧСМПП (рис. 1).

Стоит отметить, что у крыс групп 2, 3 и 4 со 2-й недели наблюдалась наибольшая вариабельность веса.

На первом этапе эксперимента максимальные привесы отмечены у крыс групп 1 и 4 – 14% и 12%, у крыс группы 2 и 3 привесы составили 10% и 8%. На втором этапе, после воздействия НЧСМПП, привесы составили: в группе 1 – 10%, в группе 2 – 5%, в группе 3 – 5%, в группе 4 – 10%. Привесы в конце эксперимента по отношению к исходной массе крыс составили: у группы 1 – 26%, у группы 2 – 20%, у группы 3 – 15% и у группы 4 – 21%. Повидимому, оказываемое со 2-й по 4-ю неделю воздействие НЧСМПП существенно не влияло только на привесы крыс группы 4, потреблявших обогащенный продукт.

Выявлено статистически значимое снижение концентрации лейкоцитов и лимфоцитов в крови крыс групп 2, 3 и 4 по отношению к группе 1 на 14%, 23,5% и 35% и 54%, 34% и 45% соответственно. При этом количество лейкоцитов и лимфоцитов достоверно снижалось относительно группы 2 у крыс группы 3 на 25% и 30% и группы 4 на 24% и 29% (табл. 2).

При этом концентрация гранулоцитов в крови крыс группы 4 снижалась относительно значений группы 1 на 41%, относительно показателей группы 3 на 43%.

Статистически значимых изменений содержания эритроцитов, гемоглобина и уровня гематокрита между группами не отмечено. В группе 2 по сравнению с группой 1 наблюдалось достоверное снижение MCV на 2,6%. У крыс группы 3 отмечено достоверное увеличение среднего объема эритроцитов и среднего количества клеточного гемоглобина относительно значений группы 1 на 2,6% и 3,7% и группы 2 – на 5,3% и 4,0%, у группы 4

Показатели состава образцов творожных продуктов

Показатели	Контроль	Опыт
Массовая доля жира, %	0,4±0,06	0,4±0,1
Массовая доля белка, %	10,7±0,3	10,6±0,5
Массовая доля углеводов, %	3,3±0,15	3,1±0,15
Массовая доля витамина С, мг%	–	47±5
Общее количество полифенольных соединений, мг/кг	–	246±14
Количество пробиотических микроорганизмов, КОЕ/г	–	8·10 ⁶ ±4·10 ⁶

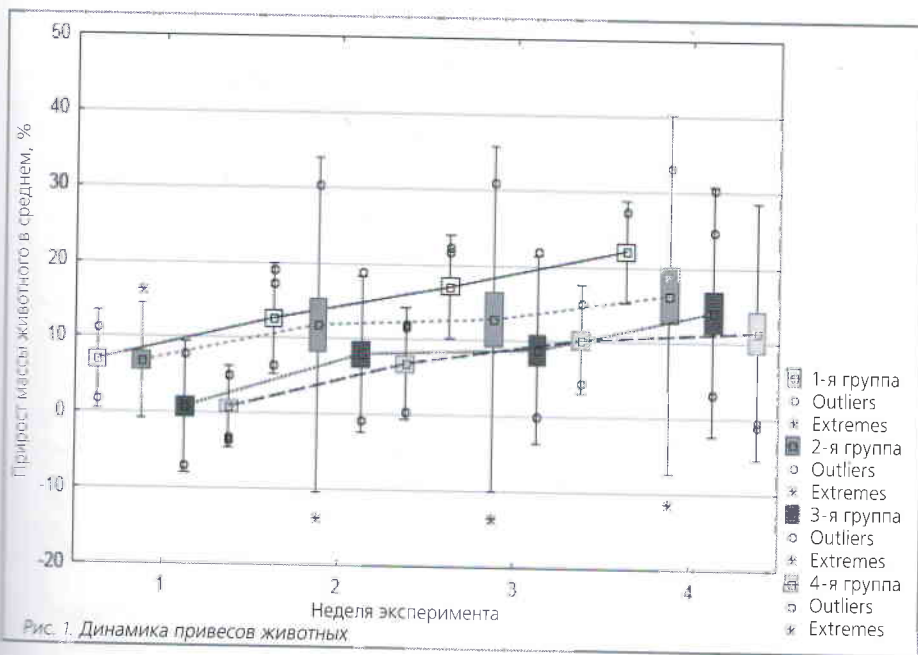


Рис. 1. Динамика привесов животных

Таблица 2. Гематологические показатели крови крыс после воздействия НЧСПМП и кормления кисломолочными продуктами

Параметры	Показатели животных			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
Лейкоциты (LEU), 10 ⁹ /л	12,2±0,9	10,6±0,7 1	8,0±0,7 1,2	8,0±0,6 1, 2
Лимфоциты (LYM), 10 ⁹ /л	10,4±0,6	8,0±0,5 1	4,8±0,5 1,2	5,7±0,2 1, 2
Гранулоциты (GRAN), 10 ⁹ /л	2,4±0,1	1,8±0,2	2,5±0,3	1,4±0,1 1,3
Моноциты, эозинофилы, базофилы и незрелые клетки (MID), 10 ⁹ /л	0,33±0,10	0,54±0,12	0,28±0,05	0,40±0,12
Эритроциты (RBC), 10 ¹² /л	17,5±0,8	18,7±0,4	28,8±1,3 1, 2, 3	20,7±0,9
Гемоглобин (HGB), г/л	157±1	155±2	154±1	157±1
Гематокрит (HCT), %	43,1±0,4	41,6±0,5	41,6±0,4	42,7±0,4
Средний объем эритроцита (MCV), мкм ³	46,15±0,33	44,95±0,38 1	45,85±0,27	47,35±0,20 1, 2, 3
Среднее содержание HGB в эритроците (MCH), пг	16,9±0,1	16,7±0,1	17,0±0,1	17,4±0,1 1, 2, 3
Тромбоциты (PLT), 10 ⁹ /л	833±13	845±16	776±13 1,2	770±15 1,2
Тромбокрит (PCT), %	0,49±0,01	0,50±0,02	0,46±0,01	0,47±0,02

Примечание: 1 – достоверно отличается при сравнении с группой 1; 2 – достоверно отличается при сравнении с группой 2; 3 – достоверно отличается при сравнении между группами 3 и 4.

Таблица 3. Биохимические показатели сыворотки крови крыс после воздействия НЧСПМП и кормления творожными продуктами

Параметры	Показатели животных			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
Общий белок, г/л	76,9±1,0	77,1±1,8	72,5±1,8	72,6±1,8
Альбумин (ALB), г/л	46,7±1,2	46,6±0,8	40,7±0,4 1,2	42,0±1,1 1,2
Креатинин (CREA), ммоль/л	59,5±1,86	65,1±1,49 1	59,2±1,85	53,4±1,55 1,2
Мочевина, ммоль/л	8,0±0,3	7,9±0,2	8,3±0,3	8,1±0,3
Аспартатаминотрансфераза (AST), ед/л	86,9±10,0	105,0±6,9 1	142,6±8,1 1,3	109,2±8,0 1,3
Аланинаминотрансфераза (ALT), ед/л	87,4±7,5	67,00±2,5 1	60,7±5,2 1	75,4±2,7
Глюкоза (GLU), ммоль/л	19,5±1,2	20,1±1,9	12,2±1,4 1,2	12,1±1,7 1,3
Общий холестерин (CHLST), ммоль/л	1,47±0,07	1,34±0,04	1,22±0,07 1	1,06±0,04 1,2
Триглицериды (TG), ммоль/л	0,71±0,04	0,58±0,04 1	0,45±0,06 1	0,51±0,05 1

Примечание: 1 – достоверно отличается при сравнении с группой 1; 2 – достоверно отличается при сравнении с группой 2; 3 – достоверно отличается при сравнении между группами 3 и 4.

на 3,3% и 2,7%. Выявлено снижение количества тромбоцитов у крыс, получавших молочные продукты, по сравнению с группами 1 и 2: в группе 3 – на 22% и 8,1%; в группе 4 – на 7,5% и 3,3%.

Анализ биохимических показателей сыворотки крови крыс (табл. 3) характеризует ризирующий белковый обмен, показывая отсутствие изменений концентрации альбумина, белка и мочевины. При этом отмечено снижение концентрации альбумина в сыворотке крови крыс групп 3 и 4 относительно группы 2 – на 13% и на 10% соответственно. У крыс группы 2 отмечено увеличение креатинина относительно группы 1 на 9,5%; у крыс группы 4 отмечено снижение креатинина относительно группы 1 на 10% и относительно группы 2 на 18%. Активность AST у крыс групп 2–4 увеличилась по сравнению с группой 1 на 22%, 66% и 27%. У крыс группы 3 относительно группы 4 активность AST увеличилась на 20%. При этом активность ALT снижалась в группах 2 и 3 относительно группы 1 на 23% и на 31%. Отмечено снижение концентрации глюкозы в сыворотке крови крыс групп 3 и 4 относительно группы 1 до 38%, относительно группы 2 до 40%. В группах 3 и 4 установлено снижение содержания холестерина относительно группы 1 на 17% и 28%, при этом в группе 4 холестерин достоверно снижился относительно группы 2 на 21%. Содержание триглицеридов было снижено в группах 3 и 4 на 37% и 29% по сравнению с группой 1.

Показатели антиоксидантного статуса плазмы крови крыс представлены в табл. 4. Статистически значимых изменений активности каталазы (CAT) не наблюдалось ни в одной экспериментальной группе. У животных группы 2 наблюдалось увеличение содержания ТБК-АП на 54,5% относительно группы 1, в то время как в группах 3 и 4 этот показатель снижился на 32% и 20% ($p \geq 0,05$) по сравнению с группой 2. Было отмечено снижение активности GPx в плазме крыс группы 4 по сравнению с группой 1 на 9%, по сравнению с группой 2 на 12%, по сравнению с группой 3 на 11%. Активность СОД у животных группы 2 увеличивалась на 7% по сравнению с группой 1, у крыс групп 3 и 4 снижалась относительно группы 2 на 5% и 7%. Выявлено снижение концентрации GSH в плазме крови крыс групп 2, 3 и 4 по отношению к группе 1 на 34%, 33% и 38% соответственно, причем у группы 4 содержание GSH было также снижено в сравнении с группой 2 на 6% и группой 3 на 7%. У животных групп 3 и 4 уровень общей антиоксидантной активности плазмы крови был снижен по сравнению с группой 1 на 36% и 20% ($p \geq 0,05$), причем у группы 3 этот показатель был ниже значений группы 2 на 29%. Отмечено, что уровень общей антиоксидантной активности плазмы крови группы 4 увеличился на 25% ($p \geq 0,05$) относительно показателя группы 3.

Таблица 4

Анализ состояния прооксидантно-антиоксидантной системы крыс

Показатели	Группы животных			
	1-я группа (интакт)	2-я группа (контроль)	3-я группа (опыт-1)	4-я группа (опыт-II)
Активность супероксид-дисмутазы (СОД), ед/мл	82,15 ± 0,47	88,84±1,591	83,95 ± 0,622	82,46 ± 0,652
Активность каталазы (САТ), ед/мл	5,18 ± 0,33	5,5 ± 0,63	5,12 ± 0,71	5,85 ± 0,24
Глутатионпероксидаза (GPx), мкМ/мин	54,90 ± 1,39	57,04 ± 0,72	55,07 ± 0,62	51,00 ± 1,512
Восстанавливающая активность (FRAP), мкмоль-экв дигидрохверцетина/л	376,19 ± 29,66	333,21±21,29	235,41±12,01, 2	275,14±20,391
Восстановленный глутатион (GSH), мкмоль/л	89,88 ± 0,51	59,21 ± 0,201	59,66 ± 0,251	55,55±0,241, 2, 3
АОА методом ХЛ, ·10 ³ имп.	7,67 ± 1,33	5,08 ± 1,03	3,51 ± 0,671	5,76 ± 0,921, 3
ТБК-активные продукты (ТБК-АП), мкмоль/л	3,68 ± 0,43	6,32 ± 0,381	4,31 ± 0,202	5,19 ± 0,171

Примечание: 1 – достоверное отличие от интакта (P<0,05), 2 – достоверное отличие от контроля (P<0,05), 3 – достоверное отличие между опытными группами (P<0,05).

Заключение. Низкочастотное слабое электромагнитное облучение вызывало компенсаторные реакции животных (приводило к повышению катаболизма белка и снижению темпов роста, увеличению содержания продуктов ПОЛ и активизации антиоксидантной системы, снижению холестерина и глюкозы в крови, изменению функциональной активности лейкоцитов). Творожный продукт, обогащенный пробиотиками, полифенолами и витаминами, в проведенном эксперименте оказал протекторное действие при повреждающем воздействии на крыс НЧСМПП. Отмечена нормализация процессов катаболизма белка и темпов роста (привесы опытных животных превышали привесы контрольных крыс более чем на 20%), функциональной активности клеток крови, в частности лейкоцитов и эритроцитов, снижение интенсивности свободно-радикального окисления при воздействии электромагнитного поля на организм. Помимо этого, выявлены гипохолестеринемический (снижение холестерина более чем на 20% относительно крыс групп 2 и 3) и гипогликемический (снижение глюкозы до 40% относительно групп 1 и 2) эффекты.

Восстановление нарушенного баланса в прооксидантно-антиоксидантной системе, по-видимому, происходило за счет уменьшения прооксидантной нагрузки как на ферментное (снижение активности СОД до 5%, глутатионпероксидазы более чем на 10%), так и на низкомолекулярное звено антиоксидантной системы (снижение восстановленного глутатиона до 40%). Эти данные соотносятся с результатами, полученными Padghan P.V., Mann B. and Sharma R. [32] и свидетельствуют о высокой биодоступности антиоксидантов обогащенного творожного продукта, что создает предпосылки для коррекции антиоксидантного потенциала без использования фармацевтических препара-

тов за счет воздействия алиментарного фактора [33].

Таким образом, обогащенный молочный продукт может использоваться в диетотерапии для коррекции прооксидантно-антиоксидантного статуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hybertson, B.M. Oxidative stress in health and disease: the therapeutic potential of Nrf2 activation/B.M. Hybertson, B. Gao, S.K. Bose // *Molecular Aspects of Medicine*. – 2011. – Vol. 32. – No. 4–6. – P. 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2011.10.006>

2. Grabowska, M. Let food be your medicine: nutraceutical properties of lycopene/M. Grabowska, D. Wawrzyniak, K. Rolle [et al.] // *Food & Function*. – 2019, May 23. <https://doi.org/10.1039/c9fo00580c>

3. Коденцова, В.М. Витамины и окислительный стресс/В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, В.К. Мазо // *Вопросы питания*. – 2013. – Т. 82. – № 3. – С. 11–18. ISSN 0042-8833.

4. Isakov, V.A. Effects of multivitamin and multimineral and phytoneutrients supplementation on nutrient status and biomarkers of heart health risk in Russian population: a randomized, double-blinded, placebo controlled study/V. A. Isakov, A.A. Bogdanova, V.V. Bessonov [et al.] // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10. No. 2. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/nu10020120>

5. Kang, S. Multivitamin and mineral supplementations containing phytoneutrients scavenges reactive oxygen species in healthy subjects: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial/S. Kang, Y. Lim, Y.J. Kim [et al.] // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11. – No. 1. P. 101. <https://doi.org/10.3390/nu11010101>

6. Меньщикова, Е.Б. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты: монография/Е.Б. Меньщикова, В.З. Ланкин, Н.К. Зен-

кова [и др.]. – Москва: Слово, 2006. 553 с. ISBN: 5-900228-55-X.

7. Tarko, T. The use of fruit extracts for production of beverages with high antioxidative activity/T. Tarko, A. Duda-Chodak, D. Semik & M. Nycz // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2015. – Vol. 9. – No. 1. – P. 280–283. <https://doi.org/10.5219/480>

8. Tomášková, L. Assesment of the antioxidant activity and content of polyphenolic compounds in grapevine seeds/L. Tomášková, J. Sochor & M. Baroň // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2017. – Vol. 11. – No. 1. – P. 71–76. <https://doi.org/10.5219/712>

9. Зобкова, З.С. Выбор комплекса антиоксидантов для молочных систем с использованием физико-химических методов/З.С. Зобкова, Т.П. Фурсова, Д.В. Зенина [и др.] // *Молочная промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 46–49. DOI: 10.31515/1019-8946-2019-4-46-49

10. Hardy, H. Probiotics, Prebiotics and Immunomodulation of Gut Mucosal Defences Homeostasis and immunopathology/H. Hardy, J. Harris, E. Lyon [et al.] // *Nutrients*. – 2013. – Vol. 5. – No. 6. – P. 1869–1912. <https://doi.org/10.3390/nu5061869>, ISSN 2072-6643

11. Kim, H.S. In vitro Antioxidative Properties of Lactobacilli/H.S. Kim, Chae, H.S. Jeong S.G. [et al.] // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. – 2005. – Vol. 19. – No. 2. – P. 262–265. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.262>

12. Lin, M.Y. Antioxidative effect of intestinal bacteria Bifidobacterium longum ATCC 15708 and Lactobacillus acidophilus ATCC 4356/M.Y. Lin, F.J. Chang // *Digestive Diseases and Sciences*. – 2000. – Vol. 45. – No. 8. – P. 1617–1622. <https://doi.org/10.1023/A:1005577330695>

13. Карамова, Н.С. Антирадикальные свойства Lactobacillus acidophilus n. v. 883317/402 в пробирке/Н.С. Карамова, Р.Е. Набибуллин // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – № 23. – С. 127–129.

14. Torres-Duran, P.V. Effects of whole body exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on serum and liver lipid levels, in the rat/P.V. Torres-Duran, A. Ferreira-Hermosillo, M.A. Juarez-Oropesa [et al.] // *Lipids in Health and Disease*. – 2007. – Vol. 6. – No 16. – P. 31. <https://dx.doi.org/10.1186/1476-511X-6-31>

15. Chernukha, I.M. Hypolipidemic and anti-inflammatory effects of aorta and heart tissues of cattle and pigs in the atherosclerosis rat model/I.M. Chernukha, L.V. Fedulova, E.A. Kotenkova [et al.] // *Animal Science Journal*. – 2018. – Vol. 89. – No. 5. – P. 784–793. <https://doi.org/10.1111/asj.12986>

16. Merola, E.T. Determination of total antioxidant capacity of commercial beverage

553 с.

cts for
xidative
emik &
rnal of
o. 1. –
480
oxidant
pounds
ochor &
rnal of
o. 1. –
2
антиок-
льзова-
С. Зоб-
др.] //
№ 4. –
2019-4-
ics and
ferences:
Hardy,
2013. –
tps: //
2072–
properties
Jeong
rnal of
o. 2. –
3/ajas.
fect of
longum
us ATCC
Diseases
8. – P.
023/A:
альные
v. ep.
P.E. Ха-
ехоло-
№ 23. –
whole
quency
um and
-Duran,
Dropeza
ease. –
tps: //
ic and
d heart
clerosis
dulova,
Science
5. – P.
11/asj.
of total
verage

samples by capillary electrophoresis via inline reaction with 2, 6-dichlorophenolindophenol/E.T. Merola, A.D. Catherman, J.B. Yehl [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57. – No. 15. – P. 6518–6523. <http://dx.doi.org/10.1021/jf901214r>

17. Brazhe, N.A. Studies of the blood antioxidant system and oxygen-transporting properties of human erythrocytes during 105-day isolation/N.A. Brazhe, A.A. Baizhumanov, E.Y. Parshina [et al.] // Human Physiology. – 2014. – Vol. 40. – No. 7. – P. 804–809. <https://doi.org/10.1134/S0362119714070020>

18. Marklund, S. and Marklund, G. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase/S. Marklund and G. Marklund // European Journal of Biochemistry. – 1974. – Vol. 47. – No. 3. – P. 469–543.

19. Gatellier, P. Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of charolais bovine meat/P. Gatellier, P. Mercier & M. Renner // Meat Science. – 2004. – Vol. 67. – No. 3. – P. 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.009>

20. Beers, R.F. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase/R.F. Beers, I.W. Jr & Sizer // Journal of Biological Chemistry. – 1952. – Vol. 185. – No. 1. – P. 133–140.

21. Iwase, T. A simple assay for measuring catalase activity: a visual approach/T. Iwase, T. Tajima, S. Sugimoto [et al.] // Scientific Reports. – 2013. – Vol. 3. – P. 3081. <https://doi.org/10.1038/srep03081>

22. Paglia, D.E. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase/D.E. Paglia & N. Valentina // Journal of Laboratory and Clinical Medicine. – 1967. – No. 70. – P. 158–169.

23. Noctor, G. Glutathione. In: Millar Y. (ed) The Arabidopsis Book. Published by American Society of Plant Biologists, Rockville/G. Noctor, E. Cueval, A. Mhamdi. – 2011. – No. 9. – P. 1–32. <http://www.bioone.org/doi/full/10.1093/tab.0142>

24. Ивкин, Д.Ю. Изменения количественных и качественных характеристик крови в зависимости от реализации компенсаторных механизмов крыс к изменениям магнитного поля Земли (модельные эксперименты)/Д.Ю. Ивкин [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета, серия 3 «Физиология, биохимия, биофизика». – 2014. – Выпуск 1. – С. 87–97.

25. Темурьянц, Н.А. О биологической эффективности слабого ЭМП инфранизкой частоты // Проблемы космической биологии. – 2012. – Т. 43. – С. 128–139.

26. Темурьянц, Н.А. Инфраничная ритмика функционального состояния нейтрофилов и моноцитов крови крыс с различными адаптационными особенностями/Н.А. Те-

мурьянц, Е.Н. Чуян, А.В. Шехоткин // Биофизика. – 1995. – Т. 40. – № 5. – С. 1121–1125.

27. Соколовский, В.В. Ускорение окисления тиоловых соединений при возрастании солнечной активности // Проблемы космической биологии. – 1982. – Т. 41. – С. 194–197.

28. Кулакова, К.В. Исследование свободнорадикальных процессов в организме крыс на фоне изменения состояния внешней среды/К.В. Кулакова, Д.В. Давыденко, Т.Г. Щербатюк // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Биология. – 2010. – № 4 (1). – С. 100–108.

29. Грабовская, Е.Ю. Реакция крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого ПМП СНЧ: Автореферат дис. ... канд. биол. наук. – Симферополь, 1992. – 23 с.

30. Овечкина, З.А. Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на метаболические процессы в печени животных с различными индивидуальнотипологическими особенностями/З.А. Овечкина, В.С. Мартынюк, С.Б. Мартынюк [и др.] // Биофизика. – 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 915–918.

31. Martínez-Sámano, J. Extremely low frequency electromagnetic field exposure and restraint stress induce changes on the brain lipid profile of Wistar rats/J. Martínez-Sámano, A. Flores-Pobano, L. Verdugo-Díaz [et al.] // BMC Neuroscience. – 2018. – Vol. 19. – No. 1. – P. 31. <http://dx.doi.org/10.1186/s12868-018-0432-1>

32. Padghan, P.V. In-vivo studies of antioxidant activity of fermented milk (Lassi) by Lactobacillus acidophilus and standard dahi culture/P.V. Padghan, B. Mann, R. Sharma // Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry. – 2018. – Vol. 7. – No. 2. – P. 25–30.

33. Басов, А.А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности и содержания прооксидантных факторов в пищевых продуктах разных классов/А.А. Басов, М.И. Быков, Р.А. Ханферян // Вопросы питания. – 2014. – Выпуск 83. – № 4. – С. 75–81.

REFERENCES

- Hybertson BM, Gao B, Bose SK, McCord JM. Oxidative stress in health and disease: the therapeutic potential of Nrf2 activation. *Molecular Aspects of Medicine*. 2011. Vol. 32. No. 4–6. P. 234–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mam.2011.10.006>
- Grabowska M, Wawrzyniak D, Rolle K, Chomczyński P, Oziewicz S, Jurga S, Barciszewski J. Let food be your medicine: nutraceutical properties of lycopene. *Food & Function*. 2019. May 23. DOI: <https://doi.org/10.1039/c9fo00580c>.
- Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Mazo VK. Vitaminy i oksislitel'nyy stress [Vitamins and oxidative stress]. *Voprosy pitaniya* [Problems of

nutrition]. 2013. Vol. 82. No. 3. P. 11–18 (In Russ.).

4. Isakov VA, Bogdanova AA, Bessonov VV, Sentsova TB, Tutelyan VA, Lin Y, Kazlova V, Hong J, Velliquette RA. Effects of multivitamin and multimineral and phytoneutrient supplementation on nutrient status and biomarkers of heart health risk in Russian population: a randomized, double-blinded placebo controlled study. *Nutrients*. 2018. Vol. 10. No. 2. P. 120. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10020120>

5. Kang S, Lim Y, Kim YJ, Jung ES, Suh DH, Lee CH, Park E, Hong J, Velliquette RA, Kwon J, Rim JY. Multivitamin and mineral supplementation containing phytoneutrients scavenges reactive oxygen species in healthy subjects: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Nutrients*. 2019. Vol. 11. No. 1. P. 101. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010101>

6. Menshchikova EB, Lankin VZ, Zenkova NK., Bondar IA, Krugovoykh NF, Trufakin VA. Okislitel'nyy stress. Prooksidanty i antioksidanty. Monografiya [Oxidative stress. Prooxidants and antioxidants: Monograph]. Moscow: Slovo. 2006. 553 p. (In Russ.)

7. Tarko T, Duda-Chodak A, Semik D & Nycz M. The use of fruit extracts for production of beverages with high antioxidative activity. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2015. Vol. 9. No. 1. P. 280–283. DOI: <https://doi.org/10.5219/480>

8. Tomášková L, Sochor J, & Bažantová M. Assessment of the antioxidant activity and content of polyphenolic compounds in grapevine seeds. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2017. Vol. 11. No. 1. P. 71–76. DOI: <https://doi.org/10.5219/712>

9. Zobkova ZS, Fursova TP, Zenina DA, Gavrulina AD, Shelaginova IR. Vybór kompleksa antioksidantov dlya molochnykh sistem s ispol'zovaniyem fiziko-khimicheskikh metodov [The choice of a complex of antioxidants for dairy systems using physico-chemical methods]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2019. No 4. P. 46–49. DOI: [10.31515/1019-8946-2019-4-46-49](https://doi.org/10.31515/1019-8946-2019-4-46-49) (In Russ.).

10. Hardy H, Harris J, Lyon E, Beal J, Foey AD. Probiotics, Prebiotics and Immunomodulation of Gut Mucosal Defences: Homeostasis and immunopathology. *Nutrients*. 2013. Vol. 5. No. 6. P. 1869–1912. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu5061869>.

11. Kim HS, Chae HS, Jeong SG, Ham JS, Im SK, Ahn CN, Lee JM. In vitro Antioxidative Properties of Lactobacilli. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2005. Vol. 19. No. 2. P. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.262>

12. Lin MY, Chang FJ. Antioxidative effect of intestinal bacteria Bifidobacterium longum ATCC 15708 and Lactobacillus acidophilus ATCC 4356. *Digestive Diseases and Sciences*. 2000. Vol. 45. No 8. P. 1617–1622. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005577330695>.