

Министерство здравоохранения Российской Федерации
Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ

VOPROSY PITANIYA
(PROBLEMS OF NUTRITION)

Основан в 1932 г.

ТОМ 87

№ 5, 2018

Журнал входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, которые рекомендованы Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК) для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Журнал представлен в следующих информационно-справочных изданиях и библиографических базах данных: Реферативный журнал ВИНТИ, Biological, MedART, eLibrary.ru, The National Agricultural Library (NAL), Nutrition and Food Database, FSTA, EBSCOhost, Health Index, Scopus, Web of Knowledge, Social Sciences Citation Index, Russian Periodical Catalog



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»

Тутельян Виктор Александрович (г. Москва)

главный редактор, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Никитюк Дмитрий Борисович (г. Москва)

заместитель главного редактора, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Вржесинская Оксана Александровна (г. Москва)

ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Пузырева Галина Анатольевна (г. Москва)

ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Арчаков Александр Иванович (г. Москва)

академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

Багиров Вугар Алиевич (г. Москва)

член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, начальник Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук ФАНО

Батурин Александр Константинович (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Бойцов Сергей Анатольевич (г. Москва)

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России

Валента Рудольф (Австрия)

профессор, руководитель Департамента иммунопатологии, кафедра патофизиологии и аллергии Медицинского университета г. Вены

Голухова Елена Зеликовна (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделением неинвазивной аритмологии и хирургического лечения комбинированной патологии Института кардиохирургии им. В.И. Бураковского ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России

Григорьев Анатолий Иванович (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, советник РАН

Зайцева Нина Владимировна (г. Пермь)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора

Исаков Василий Андреевич (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением гастроэнтерологии и гепатологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Кочеткова Алла Алексеевна (г. Москва)

доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Медведева Ирина Васильевна (г. Тюмень)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

Нареш Маган (Великобритания)

профессор факультета изучения окружающей среды и технологии Кренфильдского университета (г. Лондон)

Онищенко Геннадий Григорьевич (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды медико-профилактического факультета ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), первый заместитель председателя комитета Государственной Думы по образованию и науке

Поляков Виктор Антонович (г. Москва)

академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Попова Анна Юрьевна (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Савенкова Татьяна Валентиновна (г. Москва)

доктор технических наук, профессор, врио директора Всероссийского научно-исследовательского института кондитерской промышленности – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Стародубова Антонина Владимировна (г. Москва)

доктор медицинских наук, заведующая отделением персонализированной терапии и диетологии, заместитель директора по научной и лечебной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Суханов Борис Петрович (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России

Тсатсакис Аристидис Михаил (Крит, Греция)

академик РАН, профессор, руководитель Департамента токсикологии и судебной медицины при Университете Крита, председатель отдела морфологии Медицинской школы Университета Крита

Хотимченко Сергей Анатольевич (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий, первый заместитель директора ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Акимов М.Ю. (Мичуринск, Тамбовская обл., Россия)

Бакиров А.Б. (Уфа, Россия)

Бессонов В.В. (Москва, Россия)

Боровик Т.Э. (Москва, Россия)

Быков И.М. (Краснодар, Россия)

Камбаров А.О. (Москва, Россия)

Коденцова В.М. (Москва, Россия)

Конь И.Я. (Москва, Россия)

Корешков В.Н. (Москва, Россия)

Кузьмин С.В. (Екатеринбург, Россия)

Мазо В.К. (Москва, Россия)

Погожева А.В. (Москва, Россия)

Попова Т.С. (Москва, Россия)

Симошенко С.В. (Москва, Россия)

Скрябин Г.К. (Москва, Россия)

Сычик С.И. (Республика Беларусь)

Хенсел А. (Германия)

Шабров А.В. (Санкт-Петербург, Россия)

Шарафетдинов Х.Х. (Москва, Россия)

Шарманов Ш. (Казахстан)

Шевелева С.А. (Москва, Россия)

Шевырева М.П. (Москва, Россия)

Научно-практический журнал «Вопросы питания» № 5, 2018

Выходит 6 раз в год.

Основан в 1932 г.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77-14119 от 11.12.2002.

Все права защищены.

Никакая часть издания не может быть воспроизведена без согласия редакции.

При перепечатке публикаций с согласия редакции ссылка на журнал «Вопросы питания» обязательна.

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

Адрес редакции

109240, г. Москва,
Устьинский проезд, д. 2/14,
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»,
редакция журнала «Вопросы питания»
Телефон: (495) 698-53-60, 698-53-46
Факс: (495) 698-53-79

Научный редактор

Вржесинская Оксана Александровна:
(495) 698-53-30, red@ion.ru

Подписные индексы

каталог агентства «Роспечать»: **71422**
каталог «Пресса России»: **88007**

Сайт журнала: <http://vp.geotar.ru>

Издатель

ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа»
115035, г. Москва,
ул. Садовническая, д. 11, стр. 12
Телефон: (495) 921-39-07
www.geotar.ru

Выпускающий редактор:
Красникова Ольга, krasnikova@geotar.ru

Корректор: Макеева Елена

Верстка: Килимник Арина

Тираж 3000 экземпляров.
Формат 60x90 1/8.
Печать офсетная. Печ. л. 14.

Отпечатано в ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга»»
117105, г. Москва, Варшавское ш., 28А.
Заказ № 160

© ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа», 2018

**Scientific and practical journal
«Problems of Nutrition» N 5, 2018**

6 times a year.
Founded in 1932.

The mass media registration
certificate PI N 77–14119
from 11.12.2002.

All rights reserved.

No part of the publication
can be reproduced without
the written consent of editorial office.

Any reprint of publications with consent
of editorial office should obligatory contain
the reference to the “Problems of Nutrition”
provided the work is properly cited.

The content
of the advertisements is the
advertiser’s responsibility.

Address of the editorial office

109240, Moscow, Ust’inskiy driveway, 2/14,
Federal Research Centre of Nutrition,
Biotechnology and Food Safety,
editorial office of the “Problems of Nutrition”
Phone: (495) 698-53-60, 698-53-46
Fax: (495) 698-53-79

Science editor

Vrzhesinskaya O.A.:
(495) 698-53-30, red@ion.ru

Subscription index

in catalogue of “Rospechat”: **71422**
in catalogue of “The Press of Russia”: **88007**

The journal’s website: <http://vp.geotar.ru>

Publisher

GEOTAR-Media Publishing Group
Sadovnicheskaya st.,
11/12, Moscow
115035, Russia
Phone: (495) 921-39-07
www.geotar.ru

Desk editor:

Krasnikova Olga, krasnikova@geotar.ru

Proofreader: Makeeva E.I.

Layout: Kilimnik A.I.

Circulation of 3000 copies.
Format 60x90 1/8.
Offset printing. 14

LLC Poligraphic Services Center
“Raduga”.

117105, Moscow, Warsaw highway, 28A.
Order N 160

© GEOTAR-Media Publishing Group,
2018

Viktor A. Tutelyan (Moscow, Russia)
Editor-in-Chief, Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific supervisor of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Dmitriy B. Nikityuk (Moscow, Russia)
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Sport Anthropology and Nutrition, Director of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Oksana A. Vrzhesinskaya (Moscow, Russia)
Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Vitamins and Minerals of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Galina A. Puzyreva (Moscow, Russia)
Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Sport Anthropology and Nutrition of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Aleksander I. Archakov (Moscow, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific director of Institute of Biomedical Chemistry named after V.N. Orekhovich
Vugar A. Bagirov (Moscow, Russia)
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department for Coordination and Support of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of The Federal Agency for Scientific Organizations (FASO Russia)
Aleksander K. Baturin (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department “Optimal Nutrition” of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Sergey A. Boytsov (Moscow, Russia)
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, General director of National Medical Research Center of Cardiology
Rudolf Valenta (Vienna, Austria)
Professor, Head of the Laboratory for Allergy Research of Division of Immunopathology at the Dept. of Pathophysiology and Allergy Research at the Center for Pathophysiology, Infectology and Immunology of Medical University of Vienna
Elena Z. Golukhova (Moscow, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-Invasive Arrhythmology and Surgical Treatment of Combined Pathology at the V.I. Bourakovskiy Institute for Cardiac Surgery of A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery
Anatoliy I. Grigoriev (Moscow, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, advisor of the Russian Academy of Sciences
Nina V. Zaytseva (Perm’, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies
Vasily A. Isakov (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Gastroenterology and Hepatology of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Alla A. Kochetkova (Moscow, Russia)
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Preventive Products of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Irina V. Medvedeva (Tyumen, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector of Tyumen State Medical University
Magan Naresh (London, United Kingdom)
Professor of Applied Mycology Cranfield Soil and Agrifood Institute
Gennady G. Onishchenko (Moscow, Russia)
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, head of the Department of Human Ecology and Environmental Hygiene of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, First Deputy Chairman of the State Duma Committee on Education and Science
Victor A. Polyakov (Moscow, Russia)
Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Anna Yu. Popova (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing
Tatiana V. Savenkova (Moscow, Russia)
Doctor of Technical Sciences, Professor, a.i. Director of All-Russian Scientific Research Institute of the Confectionery Industry – a Branch of the Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems
Antonina V. Starodubova (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Personalized Therapy and Dietetics, Deputy Director for Scientific and Medical Work of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety
Boris P. Sukhanov (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Hygiene and Toxicology at the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Aristides M. Tsatsakis (Cret, Greece)
Full Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, the Director of the Department of Toxicology and Forensic Sciences of the Medical School at the University of Crete and the University Hospital of Heraklion, the Chairman of the Division of Morphology of the Medical School of the University of Crete in Greece
Sergey A. Khotimchenko (Moscow, Russia)
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Toxicology and Safety Assessments of Nanotechnology, First Deputy Director of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

EDITORIAL COUNCIL

Akimov M.Yu. (Michurinsk, Tambov Region, Russia)
Bakirov A.B. (Ufa, Russia)
Bessonov V.V. (Moscow, Russia)
Borovik T.E. (Moscow, Russia)
Bykov I.M. (Krasnodar, Russia)
Kambarov A.O. (Moscow, Russia)
Kodentsova V.M. (Moscow, Russia)
Kon I.Ya. (Moscow, Russia)
Koreshkov V.N. (Moscow, Russia)
Kuzmin S.V. (Ekaterinburg, Russia)
Mazo V.K. (Moscow, Russia)
Pogozheva A.V. (Moscow, Russia)
Popova T.S. (Moscow, Russia)
Simonenko S.V. (Moscow, Russia)
Scryabin K.G. (Moscow, Russia)
Sychik S.I. (Minsk, Belarus’)
Hensel A. (Germany)
Shabrov A.V. (St. Petersburg, Russia)
Sharafetdinov Kh.Kh. (Moscow, Russia)
Sharmanov T.S. (Alma-Ata, Kazakhstan)
Sheveleva S.A. (Moscow, Russia)
Shevyreva M.P. (Moscow, Russia)

БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ПИТАНИЯ

**Аксенов И.В., Авреньева Л.И.,
Гусева Г.В., Трусов Н.В., Балакина А.С.,
Мжельская К.В., Сото С.Х.,
Кравченко Л.В., Тутельян В.А.**

Влияние кверцетина на защитный потенциал крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе

**Колесникова Л.И., Рычкова Л.В.,
Даренская М.А., Гребенкина Л.А.,
Гаврилова О.А., Жданова Л.В.,
Булдаева Е.А., Колесников С.И.**

Показатели редокс-статуса у подростково-монголоидов при развитии экзогенно-конституционального ожирения и жирового гепатоза

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Кирпиченкова Е.В., Королев А.А.,
Онищенко Г.Г., Никитенко Е.И.,
Липатов Д.В., Кузьмин А.Г., Дыскин Ю.А.,
Денисова Е.Л., Фетисов Р.Н.**

Изучение содержания лютеина и зеаксантина в рационе с оценкой взаимосвязи уровня алиментарного поступления невитаминных каротиноидов и плотности макулярной области сетчатки в молодом возрасте

**Суплотова Л.А., Макарова О.Б.,
Шарухо Г.В., Ковальжина Л.С.**

Роль питания в профилактике и коррекции йододефицитных состояний на эндемичной территории

Ларионова Т.К., Бакиров А.Б., Даукаев Р.А.
Оценка питания взрослого населения Республики Башкортостан

ВИТАМИНОЛОГИЯ

**Раджабкдиев Р.М., Вржесинская О.А.,
Бекетова Н.А., Кошелева О.В.,
Выборная К.В., Коденцова В.М.**

Содержание некоторых витаминов в рационе питания и сыворотке крови высококвалифицированных спортсменов

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

**Семенихина В.Ф., Рожкова И.В.,
Бегунова А.В., Федорова Т.В.,
Ширшова Т.И.**

Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1 и исследование его функциональных свойств в эксперименте *in vitro* и *in vivo*

ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Мазо В.К., Сидорова Ю.С.,
Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А.**

Метаболические эффекты ферментализатов белка куриного яйца: перспективы использования у лиц с метаболическим синдромом (краткий обзор)

**Кручинина Т.В., Махова А.А., Ших Е.В.,
Дроздов В.Н.**

S-метилметионин (витамин U): экспериментальные исследования и клинические перспективы

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

**6 Aksenov I.V., Avren'eva L.I.,
Guseva G.V., Trusov N.V., Balakina A.S.,
Mzhel'skaya K.V., Soto C.J.,
Kravchenko L.V., Tutelyan V.A.** **6**

Effects of quercetin on protective capacity in rats fed a high-fructose diet

**13 Kolesnikova L.I., Rychkova L.V.,
Darenskaya M.A., Grebenkina L.A.,
Gavrilova O.A., Zhdanova L.V.,
Buldaeva E.A., Kolesnikov S.I.** **13**

Redox status parameters in adolescent-mongoloids with exogenously constitutional obesity and fatty hepatosis

HYGIENE OF NUTRITION

**20 Kirpichenkova E.V., Korolev A.A.,
Onishchenko G.G., Nikitenko E.I.,
Lipatov D.V., Kuz'min A.G., Dyskin Yu.A.,
Denisova E.L., Fetisov R.N.** **20**

Study of lutein and zeaxanthin content in the diet with the assessment of the relationship between the level of alimentary intake of non-vitamin carotenoids and the density of the macular region of the retina at a young age

**27 Suplotova L.A., Makarova O.B.,
Sharukho G.V., Kovalzhina L.S.** **27**

The role of food in prevention and correction of iodine deficiency in the endemic territory

37 Larionova T.K., Bakirov A.B., Daukaev R.A. **37**
Nutritional assessment of adult population of the Republic of Bashkortostan

VITAMINOLOGY

**43 Radzhabkadiyev R.M., Vrzhesinskaya O.A.,
Beketova N.A., Kosheleva O.V.,
Vybornaya K.V., Kodentsova V.M.** **43**

Content of some vitamins in food ration and blood serum of professional athletes

PROPHYLACTIC NUTRITION

**52 Semenikhina V.F., Rozhkova I.V.,
Begunova A.V., Fedorova T.V.,
Shirshova T.I.** **52**

Development of biotechnology of fermented milk product with *Lactobacillus reuteri* LR1 and the evaluation of its functional property in experiment *in vitro* and *in vivo*

DIET TREATMENT

**63 Mazo V.K., Sidorova Yu.S.,
Sharafetdinov Kh.Kh., Kochetkova A.A.** **63**

Metabolic effects of egg white enzymatic hydrolyzates: prospects of use in persons with metabolic syndrome (short review)

**70 Kruchinina T.V., Makhova A.A., Shikh E.V.,
Drozдов V.N.** **70**

S-methylmethionin (vitamin U): experimental studies and clinical perspective

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ		CHEMICAL COMPOSITION OF FOODSTUFFS	
<i>Фисинин В.И., Лукашенко В.С., Салеева И.П., Чернуха И.М., Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Овсейчик Е.А., Журавчук Е.В.</i>	77	<i>Fisinin V.I., Lukashenko V.S., Saleyeva I.P., Chernukha I.M., Volik V.G., Ismailova D. Yu., Ovseychik E.A., Zhuravchuk E.V.</i>	77
Качество мяса бройлеров при различных способах выращивания		Meat quality in broilers reared in different housing systems	
<i>Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И.</i>	85	<i>Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I.</i>	85
Нутриентный профиль грейпфрутового сока		Grapefruit juice nutritional profile	
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ		CONTROL OF FOOD QUALITY AND SAFETY	
<i>Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Комарова Н.В., Юденко А.Н.</i>	95	<i>Pochitskaya I.M., Roslyakov Yu.F., Litvyak V.V., Komarova N.V., Yudenko A.N.</i>	95
Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах		Investigation of the influence of the melanoidin formation reaction on the content of amino acids in model food systems	
<i>Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А.</i>	102	<i>Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Nurislamova T.V., Popova N.A., Mal'tseva O.A.</i>	102
Разработка и использование метода хромато-масс-спектрометрии для количественного определения летучих N-нитрозоаминов в копченых мясных продуктах		Development and application of gas chromatography-mass spectrometry method for quantitative determination of volatile N-nitrosamines in smoked meat products	
ПАМЯТИ ПОЛЯКОВА ВИКТОРА АНТОНОВИЧА	111	IN THE MEMORY OF POLYAKOV VIKTOR ANTONOVICH	111

Для корреспонденции

Аксенов Илья Владимирович – кандидат медицинских наук,
старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-65

E-mail: aksenov@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

Аксенов И.В.¹, Авреньева Л.И.¹, Гусева Г.В.¹, Трусов Н.В.¹, Балакина А.С.¹, Мжельская К.В.¹, Сото С.Х.¹, Кравченко Л.В.¹, Тутельян В.А.^{1, 2}

Влияние кверцетина на защитный потенциал крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе

Effects of quercetin on protective capacity in rats fed a high-fructose diet

Aksenov I.V.¹, Avren'eva L.I.¹, Guseva G.V.¹, Trusov N.V.¹, Balakina A.S.¹, Mzhel'skaya K.V.¹, Soto C.J.¹, Kravchenko L.V.¹, Tutelyan V.A.^{1, 2}

¹ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва

² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

Целью исследования было изучение в эксперименте на крысах влияния кверцетина на показатели защитного потенциала организма при повышенном содержании фруктозы в рационе. Крысы контрольной группы в течение 20 нед получали полусинтетический (п/с) рацион и воду; животные 1-й опытной группы – п/с рацион и 20% раствор фруктозы вместо питьевой воды; 2-й опытной группы – п/с рацион с кверцетином (0,1% от массы корма) и 20% раствор фруктозы вместо питьевой воды. В плазме крови и печени крыс изучали показатели антиоксидантного статуса [общая антиоксидантная активность (АОА), содержание малонового диальдегида (МДА) и гидроперексидов липидов, уровень восстановленного и окисленного глутатиона, активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, параоксоназы-1, гемоксигеназы-1, NAD(P)H-хиноноксидоредуктазы], активность ферментов метаболизма ксенобиотиков [CYP1A1, CYP1A2, CYP2B1, CYP3A, UDP-глюкуронозилтрансферазы (UDP-ГТ) и глутатионтрансферазы]. Потребление рациона с высоким содержанием фруктозы приводило к изменениям отдельных показателей: уменьшению АОА в плазме крови, снижению АОА и уровня МДА, неседиментируемой активности лизосомальных ферментов, повышению активности UDP-ГТ в печени. Включение кверцетина в рацион не оказывало воздействия на изученные показатели, кроме более выраженного понижения неседиментируемой активности ферментов лизосом в печени крыс. Результаты исследо-

Для цитирования: Аксенов И.В., Авреньева Л.И., Гусева Г.В., Трусов Н.В., Балакина А.С., Мжельская К.В., Сото С.Х., Кравченко Л.В., Тутельян В.А. Влияние кверцетина на защитный потенциал крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 6–12. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10047.

Статья поступила в редакцию 04.07.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Aksenov I.V., Avren'eva L.I., Guseva G.V., Trusov N.V., Balakina A.S., Mzhel'skaya K.V., Soto C.J., Kravchenko L.V., Tutelyan V.A. Effects of quercetin on protective capacity in rats fed a high-fructose diet. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 6–12. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10047. (in Russian)

Received 04.07.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

вания свидетельствовали об отсутствии существенного влияния кверцетина на защитный потенциал крыс на начальной стадии ожирения, вызванного повышенным содержанием фруктозы в рационе.

Ключевые слова: кверцетин, фруктоза, ферменты антиоксидантной защиты, ферменты метаболизма ксенобиотиков, ферменты лизосом

The purpose of the study was to determine effects of quercetin on protective capacity parameters in the experiment on rats fed a high fructose diet. Rats of the control group received a semi-synthetic (s/s) diet and water; animals from the 1st experimental group – s/s diet and 20% fructose solution instead of drinking water; rats of the 2nd experimental group – s/s diet with quercetin (0.1% in diet) and 20% fructose solution instead of drinking water for 20 weeks. Parameters of antioxidant status [total antioxidant activity (AOA), the content of malondialdehyde (MDA) and lipids hydroperoxides, the level of reduced and oxidized glutathione, activity of superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, paraoxonase-1, hemeoxygenase-1, NAD(P)H-quinone oxidoreductase], the activity of xenobiotic-metabolizing enzymes [CYP1A1, CYP1A2, CYP2B1, CYP3A, UDP-glucuronosyltransferase (UDP-GT) and glutathione transferase] were studied in plasma and liver of rats. Consumption of the high-fructose diet led to changes in some parameters: diminution of AOA in blood plasma, decrease of AOA and MDA level, unsedimentable activity of lysosomal enzymes, increase of the UDP-GT activity in liver. The inclusion of quercetin in the diet did not affect the studied parameters, except for a more pronounced decrease of the unsedimentable activity of lysosomal enzymes in rat liver. The results of the study indicated that there was no significant effect of quercetin on the protective capacity of rats at the initial stage of obesity caused by high-fructose diet.

Keywords: quercetin, fructose, antioxidant enzymes, xenobiotic-metabolizing enzymes, lysosomal enzymes

Избыточное поступление фруктозы с рационом, как полагают, является одной из основных причин высокой распространенности метаболических заболеваний (в том числе ожирения, сахарного диабета 2 типа, неалкогольной жировой болезни печени) среди населения развитых стран мира. Фруктоза по химической структуре относится к моносахаридам и в наибольшем количестве поступает в организм человека с сахаром, медом и пищевыми продуктами, изготовленными с использованием высокофруктозного кукурузного сиропа (газированные напитки, зерновые завтраки и др.). Один из возможных механизмов метаболических нарушений, вызванных повышенным поступлением фруктозы с рационом, может быть связан с развитием окислительного стресса [1].

Основными элементами защиты клетки от развития окислительного стресса являются ферменты антиоксидантной защиты и низкомолекулярные антиоксиданты. Супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ) и глутатионпероксидазу (ГП) относят к ключевым антиоксидантным ферментам, обеспечивающим защиту клетки от действия активных форм кислорода. Параоксоназа-1 (ПОН-1) препятствует окислению липидов, входящих в состав липопротеинов высокой и низкой плотности. Гемоксигеназа-1 (ГО-1) катализирует превращение гема, который является прооксидантным соединением, в билирубин, оказывающий антиоксидантное действие в отношении супероксидных и пероксильных радикалов. NAD(P)H-хиноноксидоредуктаза (ХР) участвует в восстановлении хинонов до гидрохинонов, предотвращая образование активных форм кислорода вследствие

окислительно-восстановительных циклических трансформаций хинонов. Глутатион является одним из наиболее важных внутриклеточных антиоксидантов, участвующих в поддержании окислительно-восстановительного равновесия в клетке.

Наряду с системой антиоксидантной защиты важную роль в обеспечении защитного потенциала организма играют ферменты метаболизма ксенобиотиков, которые осуществляют детоксикацию и метаболическую активацию поступающих с рационом чужеродных соединений. Основными ферментами I фазы метаболизма ксенобиотиков являются обладающие различной субстратной специфичностью изоформы цитохрома P450 (CYP1A1, CYP1A2, CYP2B1, CYP3A), II фазы – UDP-глюкуронозилтрансфераза (UDP-ГТ) и глутатионтрансфераза (ГТ).

Полагают, что выраженное влияние на антиоксидантный статус и ферменты метаболизма ксенобиотиков могут оказывать полифенольные соединения растительного происхождения. Кверцетин является одним из наиболее распространенных полифенолов пищи. Величина его поступления с рационом (черный и зеленый чай, яблоки, репчатый лук и др.) зависит от национальных традиций и индивидуальных особенностей питания. Расчетное среднее потребление кверцетина значительно варьирует у жителей различных стран и составляет от 0,16 до 32,79 мг/сут [2]. Эффекты кверцетина на антиоксидантный статус и ферменты метаболизма ксенобиотиков активно изучают, при этом результаты исследований часто являются противоречивыми.

Цель работы – изучение в эксперименте на крысах влияния кверцетина на показатели защитного потенциала организма при повышенном содержании фруктозы в рационе.

Материал и методы

Исследование проводили на 3 группах крыс-самцов Вистар (по 8 животных в группе с исходной массой тела 135–165 г), полученных из питомника филиала «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий» ФМБА. В работе с крысами придерживались рекомендаций «Международные руководящие принципы биомедицинских исследований на животных», разработанных Советом международных научных медицинских организаций (2012 г.), и соответствующего руководства [3]. Животных содержали по 2 особи в пластиковых клетках при температуре 20–24 °С и искусственном освещении с равной продолжительностью ночного и дневного периодов.

В течение 20 нед крысы контрольной группы получали стандартный полусинтетический рацион [энергетическая ценность – 4,2 ккал/г; содержание белков : жиров (лярд : подсолнечное масло – 1:1) : углеводов – 19:22:59 (%) по калорийности] и воду; животные 1-й опытной группы – стандартный рацион и 20% раствор фруктозы вместо питьевой воды; крысы 2-й опытной группы – стандартный рацион с добавлением кверцетина (Q4951, Sigma-Aldrich, США) в количестве 0,1% от массы сухого корма и 20% раствор фруктозы вместо питьевой воды. Расчетное среднесуточное поступление кверцетина составило 34 мг/кг массы тела, что было эквивалентно дозе ≈400 мг для человека [4] и сопоставимо с дозами полифенола, используемыми в модельных экспериментах на животных и исследованиях на добровольцах. Корм, воду и раствор фруктозы животные получали

ad libitum. Животных выводили из эксперимента декапитацией под эфирной анестезией с предварительным (за 16 ч) лишением корма и заменой раствора фруктозы на питьевую воду. Количество висцерального жира оценивали по массе эпидидимальной и забрюшинной жировой ткани.

Для оценки антиоксидантного статуса в плазме крови и печени определяли с использованием стандартных методик общую антиоксидантную активность (АОА), активность ПОН-1, уровень маркеров перекисного окисления липидов [малонового диальдегида (МДА) и гидроперекисей липидов]; в печени изучали содержание восстановленной (GSH) и окисленной (GSSG) форм глутатиона, активность КАТ, СОД, ГП, ГО-1, ХР [5–12]. Определение концентрации мочевой кислоты в плазме крови проводили с помощью автоматического биохимического анализатора «Konelab 20i» (Thermo Fisher Scientific Oy, Финляндия) и реактивов фирмы «Spinreact» (Испания).

В печени определяли активность ферментов I фазы метаболизма ксенобиотиков [этоксирезорифиндеалкилазы (CYP1A1), метоксирезорифиндеалкилазы (CYP1A2), пентоксирезорифиндеалкилазы (CYP2B1), 6β-тестостеронгидроксилазы (CYP3A)] и II фазы (ГТ и UDP-ГТ) [13, 14].

Стабильность мембран лизосом оценивали по уровню неседиментируемой активности лизосомальных ферментов в печени – арилсульфатазы А и В, β-галактозидазы и β-глюкуронидазы [6].

Полученные данные представляли в виде среднего арифметического (*M*) и стандартной ошибки среднего (*m*) – (*M±m*). Для установления статистически значимых (*p*<0,05) различий между группами применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и метод Tukey в качестве *post-hoc* теста после предварительной проверки на нормальность распределения (тест Shapiro–Wilk) и равенство дисперсий (тесты Brown–Forsythe и Bartlett).

Таблица 1. Среднесуточное поступление энергии с рационом, в ккал

Показатель	Группа животных		
	контроль	1-я опытная (фруктоза)	2-я опытная (фруктоза + кверцетин)
Корм	81,0±1,7 ^a	64,8±1,2 ^b	67,2±1,0 ^b
20% раствор фруктозы	–	55,9±2,5	54,2±1,9
Рацион (итого)	81±2 ^a	123±3 ^b	122±3 ^b

Примечание. Здесь и в табл. 2–5: разными буквами (*a*, *b*, *c*) обозначены показатели, имеющие статистически значимые различия.

Таблица 2. Масса тела и относительная масса печени и висцерального жира

Показатель	Группа животных		
	контроль	1-я опытная (фруктоза)	2-я опытная (фруктоза + кверцетин)
Масса тела, г			
– исходная	153±3	147±3	147±3
– конечная	540±14 ^a	606±20 ^b	610±24 ^b
Относительная масса печени, %	2,32±0,06 ^a	2,67±0,11 ^b	2,62±0,05 ^b
Относительная масса висцерального жира, %	5,18±0,67	6,29±0,74	6,18±0,70

Таблица 3. Показатели антиоксидантного статуса в плазме крови и печени

Показатель	Группа животных		
	контроль	1-я опытная (фруктоза)	2-я опытная (фруктоза + кверцетин)
<i>Плазма крови</i>			
АОА, мкМ Fe ²⁺ -эквивалентов	380±11 ^a	318±15 ^b	346±14 ^{a, b}
МДА, нмоль/мл	7,65±0,37	7,59±0,11	7,38±0,33
Гидроперекиси липидов, нмоль/мл	3,50±0,13	3,74±0,10	3,86±0,14
ПОН-1, мкмоль/мин×мл	77,3±4,7	89,4±4,4	80,5±3,9
Мочевая кислота, мкмоль/л	103±10 ^a	75±7 ^b	54±1 ^b
<i>Печень</i>			
АОА, мМ Fe ²⁺ -эквивалентов	11,5±0,1 ^a	10,3±0,3 ^b	9,5±0,4 ^b
МДА, нмоль/г ткани	177±8 ^a	156±4 ^b	148±2 ^b
Гидроперекиси липидов, нмоль/г ткани	389±22	381±16	385±16
GSH, мкмоль/г ткани	5,38±0,20	5,21±0,18	5,31±0,19
GSSG, нмоль/г ткани	174±7	162±4	179±4
ПОН-1, мкмоль/мин×мг белка	3,85±0,39	4,92±0,48	4,27±0,18
КАТ, мкмоль/мин×мг белка	514±37	546±27	552±27
СОД, ед/мин×мг белка	1,07±0,16	1,25±0,12	1,27±0,10
ГП, нмоль/мин×мг белка	95,9±5,0	85,0±5,7	83,8±5,0
ГО-1, мкмоль/мин×мг белка	5,80±0,54	5,39±0,34	6,34±0,45
ХР, нмоль/мин×мг белка	414±106	269±54	289±51

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Таблица 4. Активность ферментов метаболизма ксенобиотиков в печени

Показатель	Группа животных		
	контроль	1-я опытная (фруктоза)	2-я опытная (фруктоза + кверцетин)
СYP1A1, пмоль/мин×мг белка	2,96±0,27	2,75±0,15	3,97±0,62
СYP1A2, пмоль/мин×мг белка	51,4±6,9	56,2±4,7	72,1±15,8
СYP2B1, пмоль/мин×мг белка	12,6±2,1	14,0±3,0	18,2±2,8
СYP3A, нмоль/мин×мг белка	87±10	89±16	125±19
UDP-ГТ, нмоль/мин×мг белка	8,6±0,8 ^a	14,9±1,7 ^b	16,9±1,4 ^b
ГТ, нмоль/мин×мг белка	829±31	798±29	849±29

Результаты и обсуждение

Включение 20% раствора фруктозы в состав рациона крыс опытных групп приводило к повышению его общей энергетической ценности в 1,5 раза по сравнению с контрольной группой (табл. 1). При этом было отмечено снижение потребления корма (в том числе белка и жиров) на 20% в 1-й опытной группе и на 17% во 2-й.

Замена питьевой воды на 20% раствор фруктозы приводила к увеличению массы тела и относительной массы печени крыс вне зависимости от наличия кверцетина в составе рациона (табл. 2). При этом повышение уровня висцерального жира (на 21%; $p=0,48$), не достигающее, однако, уровня статистической значимости, можно рассматривать в качестве начальных признаков развития ожирения.

У крыс 1-й опытной группы было выявлено снижение АОА (на 16%) и уровня мочевой кислоты (на 27%) в плазме крови, АОА (на 10%) в печени без значимого изменения активности изученных ферментов антиоксидантной защиты или содержания GSH и GSSG

по сравнению с показателями контрольной группы (табл. 3). Наряду с этим было отмечено снижение уровня МДА в печени (на 12%) при отсутствии существенных изменений в содержании гидроперекисей липидов. Полученные данные свидетельствовали об отсутствии выраженных признаков окислительного стресса у крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе, что также было отмечено и в других работах, где не было установлено ее влияние на активность в печени СОД [15–17], КАТ [17, 18] и ГП [15, 17], а также на транскрипционный фактор Nrf2, стимулирующий экспрессию генов ферментов ГО-1 и ХР [18]. Выявленное снижение под действием фруктозы АОА плазмы крови, наиболее вероятно, было следствием уменьшения концентрации мочевой кислоты, с которой связывают около 60% величины данного показателя [19].

Фруктоза не оказывала существенного влияния на функциональное состояние ферментов метаболизма ксенобиотиков, за исключением UDP-ГТ, активность которой повышалась на 73% у крыс 1-й опытной группы

Таблица 5. Неседиментируемая активность лизосомальных ферментов в печени (в % их общей активности)

Показатель	Группа животных		
	контроль	1-я опытная (фруктоза)	2-я опытная (фруктоза + кверцетин)
Арилсульфатазы А и В	8,96±0,46 ^a	7,59±0,35 ^b	5,80±0,23 ^c
β-Галактозидаза	9,57±0,62 ^a	8,29±0,66 ^{a, b}	6,83±0,31 ^b
β-Глюкуронидаза	6,54±0,30 ^a	5,38±0,31 ^b	4,73±0,13 ^b

(табл. 4), что могло быть обусловлено более высоким содержанием гликогена в печени [20]. Сходные результаты были установлены и у крыс-самок Вистар, получавших вместо воды 30% раствор фруктозы: активность CYP1A1, CYP1A2, CYP2B1, CYP3A и ГТ значимо не отличалась от показателей контрольной группы на 133-е сутки эксперимента [14]. В настоящей работе было выявлено статистически значимое снижение неседиментируемой активности арилсульфатаз (на 15%) и β-глюкуронидазы (на 18%) по сравнению с контролем (табл. 5).

Включение в состав высокофруктозного рациона кверцетина не вызывало выраженных изменений в показателях антиоксидантного статуса (см. табл. 3). Вместе с тем можно отметить некоторое повышение АОА в плазме крови крыс, потреблявших кверцетин.

В печени крыс 2-й опытной группы отмечено возрастные активности ферментов метаболизма ксенобиотиков (преимущественно цитохромов P450: CYP1A1 – на 44%, CYP1A2 – на 28%, CYP2B1 – на 30%, CYP3A – на 40%), которое, однако, не являлось статистически значимым (см. табл. 4). При этом было отмечено более выраженное снижение неседиментируемой активности лизосомальных ферментов, в особенности арилсульфатаз (на 24%) (см. табл. 5), что подтверждает данные, полученные ранее [21].

Установленное в настоящем исследовании отсутствие выраженного влияния кверцетина на защитный потенциал организма было продемонстрировано и в других работах. Так, у интактных крыс, получавших кверцетин в дозе 200 мг/кг массы тела в течение 14 дней, не выявлено статистически значимых различий в концентрации МДА и гидроперекисей липидов в плазме крови, содержании GSH и GSSG, активности ГО-1 и ХР в печени по сравнению с контрольной группой [21]. Поступление кверцетина в составе рациона (2 г/кг) в течение 22 дней не оказывало достоверного эффекта на маркеры перекисного окисления липидов, уровень GSH, активность КАТ, ГП, СОД и ХР в печени крыс [22].

Наряду с этим анализ данных литературы не позволяет сделать однозначный вывод о влиянии кверцетина на антиоксидантный потенциал организма и ферменты метаболизма ксенобиотиков. В исследованиях *in vitro* показано, что антиоксидантное действие полифенола может быть связано с непосредственной инактивацией свободных радикалов благодаря наличию в химической структуре кверцетина катехольной группы кольца В; 2,3-двойной связи, конъюгированной с 4-оксогруппой; гидроксильной группы в положении 3 и 5 [23], а также опосредованной транскрипционными факторами Nrf2 и AP-1 активацией ферментов антиоксидантной защиты [24]. Выступая в роли лиганда транскрипционного фактора AhR, кверцетин мог повышать экспрессию генов и активность отдельных ферментов метаболизма ксенобиотиков [25]. Следует отметить, что в экспериментах *in vivo* антиоксидантные эффекты кверцетина были обнаружены в основном на моделях индуцированного окислительного стресса [26, 27] в отличие от работ, проведенных на интактных животных [21, 22]. Различия в условиях проведения эксперимента (в том числе вид животных, доза полифенола, продолжительность кормления) также могли модулировать эффекты кверцетина.

Таким образом, на основании полученных в настоящем исследовании результатов можно сделать вывод об отсутствии существенного влияния кверцетина на защитный потенциал крыс на начальной стадии ожирения, вызванного повышенным содержанием фруктозы в рационе.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (тема № 0529-2014-0051).

Сведения об авторах

Аксенов Илья Владимирович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)
E-mail: aksenov@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

Авреньева Людмила Ивановна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: avrenyeva@ion.ru

Гусева Галина Владимировна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: mailbox@ion.ru

Трусов Никита Вячеславович – научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: nikkitosu@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1919-9297>

Балакина Анастасия Станиславовна – младший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: balakina.a.s@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-8559-5538>

Мжельская Кристина Владимировна – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: kristik13@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0723-5860>

Сото Селада Хорхе – кандидат медицинских наук, главный специалист лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: jsotoc@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6622-5251>

Кравченко Лидия Васильевна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: kravchenko@ion.ru

Тутельян Виктор Александрович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», заведующий кафедрой гигиены питания и токсикологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: tutelyan@ion.ru

<http://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Литература

- Zhang D.M., Jiao R.Q., Kong L.D. High dietary fructose: direct or indirect dangerous factors disturbing tissue and organ functions // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 4. P. 335.
- Тутельян В.А., Лашнева Н.В. Биологически активные вещества растительного происхождения. Флаванолы и флавоны: распространенность, пищевые источники, потребление // *Вопр. питания*. 2013. № 1. С. 4–22.
- National Research Council (US) Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. 8th ed. Washington, DC : National Academies Press (US), 2011. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050/> doi: 10.17226/12910.
- Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Р.У. Хабриева. М. : Медицина, 2005. 832 с.
- Кравченко Л.В., Аксенов И.В., Авреньева Л.И., Бекетова Н.А., Трусов Н.В., Гусева Г.В. Влияние полиненасыщенных жирных кислот ω -3 на некоторые показатели антиоксидантного потенциала крыс // *Вопр. питания*. 2013. № 2. С. 4–9.
- Аксенов И.В., Трусов Н.В., Авреньева Л.И., Гусева Г.В., Лашнева Н.В. и др. Влияние рутина на активность ферментов антиоксидантной защиты и метаболизма ксенобиотиков в печени крыс при разном содержании жира в рационе // *Вопр. питания*. 2014. № 5. С. 4–11.
- Nishikimi M., Appaji N., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazinemethosulfate and molecular oxygen // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1972. Vol. 46, N 2. P. 849–854.
- Aebi H. Catalase in vitro // *Methods Enzymol.* 1984. Vol. 105. P. 121–126.
- Flohe L., Gunzler W.A. Assays of glutathione peroxidase // *Methods Enzymol.* 1984. Vol. 105. P. 114–121.
- Anderson M.E. Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples // *Methods Enzymol.* 1985. Vol. 113. P. 548–555.
- Hermes-Lima M., Willmore W.G., Storey K.B. Quantification of lipid peroxidation in tissue extracts based on Fe(III)xylenol orange complex formation // *Free Radic. Biol. Med.* 1995. Vol. 19, N 3. P. 271–280.
- Nourooz-Zadeh J. Ferrous ion oxidation in presence of xylenol orange for detection of lipid hydroperoxides in plasma // *Methods Enzymol.* 1999. Vol. 300. P. 58–62.
- Трусов Н.В., Гусева Г.В., Аксенов И.В., Авреньева Л.И., Кравченко Л.В., Тутельян В.А. Эффекты комбинированного действия ресвератрола и индол-3-карбинола // *Бюл. экспер. биол.* 2010. № 2. С. 174–179.
- Апратин С.А., Мжельская К.В., Трусов Н.В., Балакина А.С., Сото С.Х. и др. Сравнительная оценка витаминного статуса и биохимических маркеров развития метаболического синдрома на моделях грызунов, получающих рационы с высокими квотами различных легкоусвояемых углеводов // *Вопр. питания*. 2017. № 6. С. 42–55.
- Francini F., Castro M.C., Schinella G. et al. Changes induced by a fructose-rich diet on hepatic metabolism and the antioxidant system // *Life Sci.* 2010. Vol. 86, N 25–26. P. 965–971.
- Giris M., Dogru-Abbasoglu S., Kumral A. et al. Effect of carnitine alone or combined with α -tocopherol on hepatic steatosis and oxidative stress in fructose-induced insulin-resistant rats // *J. Physiol. Biochem.* 2014. Vol. 70, N 2. P. 385–395.
- Yilmaz Demirtas C., Bircan F.S., Pasaoglu O.T., Turkozkan N. The effects of resveratrol on hepatic oxidative stress in metabolic syn-

- drome model induced by high fructose diet // Bratisl. Lek. Listy. 2018. Vol. 119, N 1. P. 36–40.
18. Bagul P.K., Middela H., Matapally S. et al. Attenuation of insulin resistance, metabolic syndrome and hepatic oxidative stress by resveratrol in fructose-fed rats // Pharmacol. Res. 2012. Vol. 66, N 3. P. 260–268.
 19. Benzie I.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of «antioxidant power»: the FRAP assay // Anal. Biochem. 1996. Vol. 239, N 1. P. 70–76.
 20. Banhegyi G., Garzo T., Antoni F., Mandl J. Glycogenolysis – and not gluconeogenesis – is the source of UDP-glucuronic acid for glucuronidation // Biochim. Biophys. Acta. 1988. Vol. 967, N 3. P. 429–435.
 21. Балакина А.С., Аксенов И.В., Трусов Н.В., Гусева Г.В., Авренева Л.И. и др. Влияние куркумина и кверцетина на показатели защитного потенциала крыс при их раздельном и совместном действии // Вопр. питания. 2017. № 2. С. 14–22.
 22. Wiegand H., Boesch-Saadatmandi C., Regos I. et al. Effects of quercetin and catechin on hepatic glutathione-S transferase (GST), NAD(P)H quinone oxidoreductase 1 (NQO1), and antioxidant enzyme activity levels in rats // Nutr. Cancer. 2009. Vol. 61, N 5. P. 717–722.
 23. Bors W., Heller W., Michel C., Saran M. Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies // Methods Enzymol. 1990. Vol. 186. P. 343–355.
 24. Lee Y.J., Beak S.Y., Choi I., Sung J.S. Quercetin and its metabolites protect hepatocytes against ethanol-induced oxidative stress by activation of Nrf2 and AP-1 // Food Sci. Biotechnol. 2018. Vol. 27, N 3. P. 809–817.
 25. Ciolino H.P., Daschner P.J., Yeh G.C. Dietary flavonols quercetin and kaempferol are ligands of the aryl hydrocarbon receptor that affect CYP1A1 transcription differentially // Biochem. J. 1999. Vol. 340, N 3. P. 715–722.
 26. Su J.F., Guo C.J., Wei J.Y. et al. Protection against hepatic ischemia-reperfusion injury in rats by oral pretreatment with quercetin // Biomed. Environ. Sci. 2003. Vol. 16, N 1. P. 1–8.
 27. Olayinka E.T., Ore A., Adeyemo O.A. et al. Quercetin, a flavonoid antioxidant, ameliorated procarbazine-induced oxidative damage to murine tissues // Antioxidants (Basel). 2015. Vol. 4, N 2. P. 304–321.

References

1. Zhang D.M., Jiao R.Q., Kong L.D. High dietary fructose: direct or indirect dangerous factors disturbing tissue and organ functions. *Nutrients*. 2017; 9 (4): 335.
2. Tutel'ian V.A., Lashneva N.V. Biologically active substances of plant origin. Flavonols and flavones: prevalence, dietary sources and consumption. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 82 (1): 4–22. (in Russian)
3. National Research Council (US) Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. 8th ed. Washington, DC: National Academies Press (US), 2011. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050/> doi: 10.17226/12910.
4. Khabriev R.U. (ed.). *Guidelines for experimental (preclinical) studies of new pharmacological substances*. 2nd ed. Moscow: Meditsina, 2005: 832 p. (in Russian)
5. Kravchenko L.V., Aksenov I.V., Avren'eva L.I., et al. Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on antioxidant capacity in rats. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 82 (2): 4–9. (in Russian)
6. Aksenov I.V., Trusov N.V., Avren'eva L.I., et al. Effects of rutin on the activity of antioxidant enzymes and xenobiotic-metabolizing enzymes in liver of rats fed diets with different level of fat. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; 83 (5): 4–11. (in Russian)
7. Nishikimi M., Appaji N., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reducedphenazinemetosulfate and molecular oxygen. *Biochem Biophys Res Commun*. 1972; 46 (2): 849–54.
8. Aebi H. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*. 1984; 105: 121–6.
9. Flohe L., Gunzler W.A. Assays of glutathione peroxidase. *Methods Enzymol*. 1984; 105: 114–21.
10. Anderson M.E. Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. *Methods Enzymol*. 1985; 113: 548–55.
11. Hermes-Lima M., Willmore W.G., Storey K.B. Quantification of lipid peroxidation in tissue extracts based on Fe(III)xylene orange complex formation. *Free Radic Biol Med*. 1995; 19 (3): 271–80.
12. Nourooz-Zadeh J. Ferrrous ion oxidation in presence of xylene orange for detection of lipid hydroperoxides in plasma. *Methods Enzymol*. 1999; 300: 58–62.
13. Trusov N.V., Guseva G.V., Aksenov I.V., et al. Effects of combined treatment with resveratrol and indole-3-carbinol. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]*. 2010; 149 (2): 174–9. (in Russian)
14. Apryatin S.A., Mzhel'skaya K.V., Trusov N.V., et al. Comparative evaluation of vitamin status and biochemical markers of metabolic syndrome on the models of rodents receiving rations with high quotas of different sugars. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (6): 42–55. (in Russian)
15. Francini F., Castro M.C., Schinella G., et al. Changes induced by a fructose-rich diet on hepatic metabolism and the antioxidant system. *Life Sci*. 2010; 86 (25–26): 965–71.
16. Giris M., Dogru-Abbasoglu S., Kumral A., et al. Effect of carnosine alone or combined with α -tocopherol on hepatic steatosis and oxidative stress in fructose-induced insulin-resistant rats. *J Physiol Biochem*. 2014; 70 (2): 385–95.
17. Yilmaz Demirtas C., Bircan F.S., Pasaoglu O.T., Turkozkan N. The effects of resveratrol on hepatic oxidative stress in metabolic syndrome model induced by high fructose diet. *Bratisl Lek Listy*. 2018; 119 (1): 36–40.
18. Bagul P.K., Middela H., Matapally S., et al. Attenuation of insulin resistance, metabolic syndrome and hepatic oxidative stress by resveratrol in fructose-fed rats. *Pharmacol Res*. 2012; 66 (3): 260–8.
19. Benzie I.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of «antioxidant power»: the FRAP assay. *Anal Biochem*. 1996; 239 (1): 70–6.
20. Banhegyi G., Garzo T., Antoni F., Mandl J. Glycogenolysis – and not gluconeogenesis – is the source of UDP-glucuronic acid for glucuronidation. *Biochim Biophys Acta*. 1988; 967 (3): 429–35.
21. Balakina A.S., Aksenov I.V., Trusov N.V., et al. The influence of separate and combined supplementation with curcumin and quercetin on the protective capacity in rats. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (2): 14–22. (in Russian)
22. Wiegand H., Boesch-Saadatmandi C., Regos I., et al. Effects of quercetin and catechin on hepatic glutathione-S transferase (GST), NAD(P)H quinone oxidoreductase 1 (NQO1), and antioxidant enzyme activity levels in rats. *Nutr Cancer*. 2009; 61 (5): 717–22.
23. Bors W., Heller W., Michel C., Saran M. Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods Enzymol*. 1990; 186: 343–55.
24. Lee Y.J., Beak S.Y., Choi I., Sung J.S. Quercetin and its metabolites protect hepatocytes against ethanol-induced oxidative stress by activation of Nrf2 and AP-1. *Food Sci Biotechnol*. 2018; 27 (3): 809–17.
25. Ciolino H.P., Daschner P.J., Yeh G.C. Dietary flavonols quercetin and kaempferol are ligands of the aryl hydrocarbon receptor that affect CYP1A1 transcription differentially. *Biochem J*. 1999; 340 (3): 715–22.
26. Su J.F., Guo C.J., Wei J.Y., et al. Protection against hepatic ischemia-reperfusion injury in rats by oral pretreatment with quercetin. *Biomed Environ Sci*. 2003; 16 (1): 1–8.
27. Olayinka E.T., Ore A., Adeyemo O.A., et al. Quercetin, a flavonoid antioxidant, ameliorated procarbazine-induced oxidative damage to murine tissues. *Antioxidants (Basel)*. 2015; 4 (2): 304–21.

Для корреспонденции

Даренская Марина Александровна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории патофизиологии ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»

Адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16

Телефон: (395) 220-76-36

E-mail: marina_darenskaya@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3255-2013>

Колесникова Л.И.¹, Рычкова Л.В.¹, Даренская М.А.¹, Гребенкина Л.А.¹, Гаврилова О.А.¹, Жданова Л.В.², Булдаева Е.А.³, Колесников С.И.^{1, 4}

Показатели редокс-статуса у подростков-монголоидов при развитии экзогенно-конституционального ожирения и жирового гепатоза

Redox status parameters in adolescent-mongoloids with exogenously constitutional obesity and fatty hepatosis

Kolesnikova L.I.¹, Rychkova L.V.¹, Darenskaya M.A.¹, Grebenkina L.A.¹, Gavrilova O.A.¹, Zhdanova L.V.², Buldaeva E.A.³, Kolesnikov S.I.^{1, 4}

¹ ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск

² ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет», Улан-Удэ

³ ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Бурятия, Улан-Удэ

⁴ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»

¹ Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk

² Buryat State University, Ulan-Ude

³ Children's Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Buryatia, Ulan-Ude

⁴ M.V. Lomonosov Moscow State University

Предполагается, что в прогрессировании ожирения, осложненного жировым гепатозом, у подростков значительная роль отводится реакциям окислительного стресса на фоне выраженной недостаточности антиоксидантных факторов. Однако остается вне поля зрения исследователей такой важный фактор, как этническая принадлежность пациента, которая является важным элементом при разработке персонализированного подхода в лечении и профилактике заболеваний. В связи с этим цель настоящего исследования – изучение изменений процессов липопероксидации – антиоксидантной защиты у подростков-монголоидов с экзогенно-конституциональным ожирением, осложненным жировым гепатозом. Обследованы 18 мальчиков-подростков с жировым гепатозом на фоне экзогенно-конституционального ожирения I степени (сред-

Для цитирования: Колесникова Л.И., Рычкова Л.В., Даренская М.А., Гребенкина Л.А., Гаврилова О.А., Жданова Л.В., Булдаева Е.А., Колесников С.И. Показатели редокс-статуса у подростков-монголоидов при развитии экзогенно-конституционального ожирения и жирового гепатоза // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 13–19. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10048.

Статья поступила в редакцию 18.05.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Kolesnikova L.I., Rychkova L.V., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A., Gavrilova O.A., Zhdanova L.V., Buldaeva E.A., Kolesnikov S.I. Redox status parameters in adolescent-mongoloids with exogenously constitutional obesity and fatty hepatosis. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 13–9. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10048. (in Russian)

Received 18.05.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

ний возраст – 13,8±2,2 года); 38 мальчиков-подростков с экзогенно-конституциональным ожирением без изменений печени (средний возраст – 13,4±2,2 года) и 37 практически здоровых подростков (контрольная группа) (средний возраст – 15,1±0,9 года). Все обследуемые по этнической принадлежности относились к монголоидам. В работе использовались спектрофотометрические и флуориметрические методы исследования. Результаты исследования свидетельствуют о высокой интенсивности липопероксидных реакций у мальчиков-монголоидов с ожирением и жировым гепатозом относительно показателей лиц из контрольной группы: увеличение содержания в плазме крови соединений с ненасыщенными двойными связями ($p < 0,001$), диеновых конъюгатов ($p = 0,0012$), кетодиенов и сопряженных триенов ($p < 0,0001$), при отсутствии значимых различий в уровне ТБК-активных продуктов. В системе антиоксидантной защиты у пациентов данной группы регистрировались увеличенные значения общей антиокислительной активности в плазме крови ($p = 0,0023$), активности супероксиддисмутазы в эритроцитах ($p = 0,0072$), свидетельствующие об активации компенсаторных реакций, при сниженных уровнях жирорастворимых витаминов – α -токоферола ($p < 0,0001$) и ретинола ($p = 0,0011$) – в плазме крови, окисленной формы глутатиона ($p = 0,0083$) в эритроцитах. Выраженная недостаточность жирорастворимых витаминов – α -токоферола и ретинола – у пациентов с жировым гепатозом отмечалась и в сравнении с пациентами без морфологических изменений печени. Таким образом, подросткам-монголоидам с экзогенно-конституциональным ожирением и жировым гепатозом можно рекомендовать в дополнение к основной метаболической терапии использовать препараты антиоксидантного действия.

Ключевые слова: ожирение, жировой гепатоз, окислительный стресс, α -токоферол, ретинол, подростки

It is assumed that in the progression of obesity, complicated by fatty hepatitis in adolescents, a significant role is given to the reactions of oxidative stress with deficiency of antioxidant factors. However, an important factor that remains outside the field of view of researchers is the ethnicity of the patient, which is an important element in the development of a personalized approach in the treatment and prevention of diseases. In connection with this, the purpose of this study was to study the changes in the lipid peroxidation-antioxidant defense processes in adolescent Mongoloids with exogenously constitutional obesity complicated by fatty hepatitis. 18 adolescent boys with fatty hepatitis were examined on the background of exogenous-constitutional obesity of the first degree; 38 adolescent boys with exogenously constitutional obesity without changes in the liver and 37 practically healthy adolescents (control group). All subjects surveyed for ethnicity belonged to the Mongoloids. Spectrophotometric and fluorometric methods were used in the research. The results of the study indicated a high intensity of lipid peroxidation reactions in Mongoloid boys with obesity and fatty hepatitis relative to control values: an increase in blood plasma content of compounds with unsaturated double bonds ($p < 0.001$), diene conjugates ($p = 0.0012$), ketodienes and conjugated trienes ($p < 0.0001$), in the absence of significant differences in the level of TBA-active products. Increased values of total antioxidant activity in blood plasma ($p = 0.0023$) and erythrocyte superoxide dismutase activity ($p = 0.0072$), decreased levels of fat-soluble vitamins in blood plasma [α -tocopherol ($p < 0.0001$) and retinol ($p = 0.0011$)] and oxidized form of glutathione in erythrocytes ($p = 0.0083$) have been found. The pronounced insufficiency of fat-soluble vitamins – α -tocopherol and retinol in patients of the main group was also noted in comparison with patients without morphological changes in the liver. Thus, in teenage Mongoloids with exogenously constitutional obesity and fatty hepatitis, it is possible to recommend antioxidant drugs in addition to basic metabolic therapy.

Keywords: obesity, fatty hepatitis, oxidative stress, adolescents

Приоритетное направление в сохранении здоровья пациента – использование персонализированного подхода, заключающегося в индивидуальной оценке и соответствующей коррекции выявленных метаболических нарушений [1]. В настоящее время считается доказанным необходимость учета этнической принадлежности пациента при постановке диагноза, проведении дифференцированных оздоровительных программ и лечебных мероприятий [2–5].

Результаты многочисленных клинических исследований последних лет свидетельствуют о возрастании заболеваемости экзогенно-конституциональным ожирением в подростковом возрасте [6–8]. Наличие данного заболевания рассматривают как основной фактор риска развития во взрослом возрасте различных хронических патологий, таких как метаболический синдром, сахарный диабет 1 типа, артериальная гипертензия, сердечно-сосудистые расстройства, что в свою очередь возводит

в ряд первостепенных задач разработку новых принципов лечения и профилактики ожирения у подростков [9, 10]. Ряд зарубежных исследователей относят избыточную массу тела и ожирение к сложным, многофакторным и мультигенным расстройствам, которые тесно связаны с особенностями психосоциально-культурной среды [11, 12].

Одним из ключевых патогенетических звеньев развития данной нозологии является активация реакций окислительного стресса, снижение поступления в организм экзогенных антиоксидантов алиментарным путем в совокупности с избыточным поступлением жиров и углеводов при недостаточном их расходе, а также гипокинезия с ее низким уровнем биологического окисления [13–16].

Неалкогольную жировую болезнь печени рассматривают как печеночное проявление метаболического синдрома, в связи с чем ее распространенность напрямую связывают с ростом ожирения среди населения [17]. Согласно МКБ-10 жировой гепатоз (ЖГ; неалкогольная жировая болезнь печени, стеатоз печени, жировая инфильтрация, жировое перерождение печени) – это состояние, при котором более 5% массы печени составляет жир, преимущественно триглицериды. Наличие активного воспалительного процесса, помимо избыточного накопления жиров, свидетельствует о прогрессировании заболевания – неалкогольном стеатогепатите, который значительно усиливает риск развития цирроза печени, печеночно-клеточной недостаточности и гепатоцеллюлярной карциномы [18]. У пациентов с ЖГ регистрируют характерные для метаболического синдрома инсулинорезистентность и гипертриглицеридемию [19, 20]. С целью уменьшения действия основного патогенетического фактора (инсулинорезистентности) используют различные методики коррекции избыточной массы тела, в том числе с помощью липотропных препаратов и антиоксидантов [21, 22]. В связи с этим для данной категории больных представляется целесообразным не только исследование изменений в системе липопероксидация – антиоксидантная защита (ПОЛ–АОЗ), но и применение комплекса антиоксидантов, подобранных строго индивидуально, с учетом характера обнаруженного дисбаланса в прооксидантно-антиоксидантной системе [23, 24]. Кроме того, при проведении подобных исследований важным представляется учет этнического фактора, на который обычно не обращают внимания. Между тем этническая разница метаболизма липидов и ПОЛ–АОЗ показана во многих исследованиях [2, 3, 5, 18, 25].

Цель настоящего исследования – изучение изменений процессов липопероксидации – антиоксидантной защиты у подростков-монголоидов с экзогенно-конституциональным ожирением, в том числе с осложненным ЖГ.

Материал и методы

Обследованы 18 мальчиков-монголоидов подросткового возраста (13–17 лет, средний возраст – $13,8 \pm 2,2$ года) с ЖГ на фоне экзогенно-конституциональ-

ного ожирения (ЭКОЖ) I степени. Для сравнения были использованы данные 38 мальчиков-монголоидов с ЭКОЖ (средний возраст – $13,4 \pm 2,2$ года) и 37 практически здоровых подростков-монголоидов с нормальными весо-ростовыми показателями (средний возраст – $15,1 \pm 0,9$ года), составивших контрольную группу. Контрольная группа была сформирована в ходе планового ежегодного осмотра детей и подростков, для ее формирования были отобраны практически здоровые дети, не имеющие в анамнезе хронических заболеваний и не болевшие в течение 3 мес, предшествующих осмотру и забору крови.

Все пациенты основных групп находились на стационарном лечении ожирения в ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Бурятия (Улан-Удэ). **Критерии включения подростков в группу с ЭКОЖ:** избыток массы тела более 95-го перцентиля для данного роста, возраста и пола; отсутствие на момент включения в исследование и, по меньшей мере, за 1 мес до него острых или обострения хронических заболеваний. Критериями исключения были симптоматические и генетические формы ожирения, а также прием лекарственных препаратов, которые могли бы оказать влияние на массу тела и оцениваемые метаболические параметры. **Критерии диагностики ЖГ:** экзогенно-конституциональное ожирение, диффузные изменения печени по данным ультразвукового обследования и компьютерной томографии органов брюшной полости, отсутствие цитолиза (активность аланинаминотрансферазы не увеличена) и исключение инфекционной этиологии гепатита. Кровь забирали в соответствии с существующими требованиями утром натощак из локтевой вены. Всем подросткам проводили общеклиническое обследование, включающее сбор анамнестических данных, объективное обследование, анализ антропометрических данных [масса тела, рост, индекс массы тела (ИМТ)], выявление ожирения с помощью оценки Z-score (программный продукт WHO Anthro, версия 3.2.2, январь 2011), измерение артериального давления, оценку пищевого статуса и определение в сыворотке крови концентрации общего холестерина триглицеридов, проведение теста толерантности к глюкозе.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964, 2013 ред.) и одобрено Комитетом по биомедицинской этике при ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (выписка из протокола заседания № 5 от 16.05.2016).

Интенсивность процессов ПОЛ оценивали по содержанию в плазме крови ненасыщенных двойных связей, первичных продуктов – диеновых конъюгатов (ДК) и вторичных – кетодиенов (КД) и сопряженных триенов (СТ), определяемых методом И.А. Волчегорского [26], основанным на интенсивном поглощении конъюгированных диеновых структур гидроперекисей липидов в областях 220, 232, 278 нм. Содержание ТБК-активных продуктов в плазме крови определяли в реакции с тиобар-

битуровой кислотой флуориметрическим методом [27]. Общую антиокислительную активность (АОА) в плазме крови оценивали по методу Г.И. Клебанова и соавт. [28]. Для оценки общей АОА использовали модельную систему, представляющую собой суспензию липопротеидов желтка куриных яиц, позволяющую оценить способность сыворотки крови тормозить накопление ТБК-активных продуктов в суспензии. ПОЛ индуцировали добавлением $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Концентрацию α -токоферола и ретинола в плазме крови оценивали по методу Р.Ч. Черняускене и соавт. [29] после омыления проб в присутствии больших количеств аскорбиновой кислоты путем экстракции неомыляющихся липидов гексаном с последующим флуориметрическим определением содержания α -токоферола ($\lambda_{\text{возб}}=294$ нм, $\lambda_{\text{изл}}=330$ нм) и ретинола ($\lambda_{\text{возб}}=335$, $\lambda_{\text{изл}}=460$ нм). Референтные значения для групп подросткового возраста составляют: 7–21 мкмоль/л для α -токоферола; 0,70–1,71 мкмоль/л для ретинола [30]. Содержание восстановленного (GSH), окисленного глутатиона (GSSG) [31] и активности супероксиддисмутазы (СОД) [32] определяли флуориметрически в эритроцитах. Измерения проводили на спектрофлуорофотометре «Shimadzu RF-1501» (Shimadzu, Япония), состоящего из 2 блоков: спектрофотометра UV-1650PC и спектрофлуориметра RF-1501.

Статистическую обработку полученных результатов, распределение показателей, определение границ нормального распределения проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 6.1 StatSoft Inc., США (правообладатель лицензии – ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»). Для

проверки статистической гипотезы разности средних значений использован критерий Манна–Уитни. Выбранный критический уровень значимости равнялся 5% (0,05).

Результаты и обсуждение

Анализ антропометрических данных у мальчиков-подростков с ЭКОЖ и пациентов с ЖГ показал статистически значимое увеличение основных показателей: массы тела ($p<0,001$), отношения масса тела/рост ($p<0,001$) и ИМТ ($p<0,001$) в обеих группах пациентов в сравнении с группой контроля. При этом статистически значимых различий между группами больных не отмечено (табл. 1). Таким образом, исследуемые клинические группы по основным антропометрическим показателям были сопоставимы между собой.

Оценка активности липопероксидных реакций у мальчиков-монголоидов с ЖГ свидетельствовала об увеличении содержания соединений с ненасыщенными двойными связями относительно контрольной группы ($p<0,001$), при этом данный показатель был ниже по сравнению с таковым у лиц из группы с ЭКОЖ ($p=0,0037$) (табл. 2). В изменении концентрации первичных продуктов липопероксидации – ДК обнаруживалась сходная тенденция: повышенный уровень относительно параметра подростков из контрольной группы ($p=0,0012$) и более низкий в сравнении с показателем детей из группы с ЭКОЖ ($p=0,0003$).

Содержание вторичных продуктов ПОЛ – КД и СТ было одинаково повышенным относительно контроля как у па-

Таблица 1. Антропометрические данные детей-подростков [Ме (25-й; 75-й процентиль)]

Показатель	Контрольная группа (n=37)	Группа с ЭКОЖ (n=38)	Группа с ЖГ (n=18)
Масса тела, кг	45,5 (44,0; 50,0)	69,0 (62; 72,5)*	71,0 (63,6; 72,5)*
Рост, см	154 (150,3; 157,5)	156 (151; 163)	155 (150; 163)
Масса тела/рост	0,30 (0,29; 0,32)	0,43 (0,40; 0,46)*	0,45 (0,40; 0,47)*
ИМТ	19,4 (18,5; 20,5)	27,8 (27,6; 28,6)*	28,0 (28,0; 28,7)*

Примечание. * – статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Здесь и в табл. 2: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Таблица 2. Состояние системы липопероксидация – антиоксидантная защита [Ме (25-й; 75-й процентиль)]

Показатель	Контрольная группа (n=37)	Группа с ЭКОЖ (n=38)	Группа с ЖГ (n=18)
Соединения с сопряженными двойными связями, усл. ед.	1,02 (0,84; 1,5)	2,33 (1,64; 3,08)*	1,83 (1,49; 2,07)*.#
ДК, мкмоль/л	0,78 (0,52; 0,96)	2,15 (1,5; 2,52)*	1,22 (1,04; 1,42)*.#
КД и СТ, усл. ед.	0,14 (0,1; 0,2)	0,67 (0,42; 0,9)*	0,67 (0,42; 0,85)*
ТБК-активные продукты, мкмоль/л	1,15 (1,08; 0,8)	1,41 (1,0; 1,7)*	0,95 (0,77; 1,22)#
Общая АОА, усл. ед.	7,27 (6,14; 9,24)	10,22 (6,9; 14)*	13,51 (6,02; 16,42)*
α -Токоферол, мкмоль/л	6,48 (5,04; 7,96)	5,2 (4,32; 6,8)	3,6 (2,78; 4,69)*.#
Ретинол, мкмоль/л	0,61 (0,56; 0,68)	0,56 (0,44; 0,7)	0,43 (0,34; 0,46)*.#
Активность СОД, усл. ед.	1,66 (1,6; 1,72)	1,76 (1,29; 1,85)	1,85 (1,83; 1,87)*
GSH, ммоль/л	1,89 (1,8; 2,07)	1,95 (1,73; 2,38)	1,93 (1,76; 2,51)
GSSG, ммоль/л	2,24 (2,05; 2,39)	2,01 (1,63; 2,38)	1,94 (1,67; 2,22)*

Примечание. * – статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем; # – статистически значимые отличия ($p \leq 0,05$) от показателя подростков-монголоидов с экзогенно-конституциональным ожирением.

циентов с ЖГ ($p < 0,0001$), так и с ЭКОЖ ($p < 0,0001$). Уровень конечных продуктов липопероксидации (ТБК-активных продуктов) статистически не изменялся в группе с ЖГ по сравнению с контролем ($p > 0,05$), но при этом был ниже относительно показателя подростков с ЭКОЖ ($p = 0,0250$).

В ранее проведенных исследованиях установлено, что при ожирении отмечается повышенная интенсивность свободнорадикальных реакций, способствующих накоплению токсичных продуктов ПОЛ [16, 23]. Данным изменениям редокс-статуса в условиях ЖГ могут способствовать развивающиеся метаболические нарушения печени с чрезмерным накоплением липидов в гепатоцитах [17]. Закономерное усиление свободнорадикального окисления печеночных липидов ведет к увеличению содержания свободных жирных кислот, снижению скорости их окисления в митохондриях, повышению уровня триглицеридов, холестерина в крови и т.д. [21]. Отмечают также гиперпродукцию провоспалительных цитокинов, включая фактор некроза опухоли α (ФНО α), интерлейкин-6, интерлейкин-8 [33]. Следствием данных патологических реакций являются некроз гепатоцитов, развитие воспалительной клеточной инфильтрации, последующая активация фиброгенеза [17, 21, 33]. Таким образом, избыточное накопление токсичных продуктов липопероксидации может усугублять уже имеющиеся повреждения, предшествуя появлению более серьезных сдвигов со стороны обмена веществ.

В параметрах системы АОЗ у мальчиков-монголоидов с ЖГ регистрировались разнонаправленные изменения относительно показателей лиц из контрольной группы: увеличенные значения общей АОА ($p = 0,0023$), супероксиддисмутазной активности ($p = 0,0072$), а также сниженные уровни жирорастворимых витаминов – α -токоферола ($p < 0,0001$) и ретинола ($p = 0,0011$), окисленной формы глутатиона ($p = 0,0083$). Статистически значимых различий в отношении восстановленной формы глутатиона не выявлено ($p > 0,05$). При этом у пациентов с ЖГ также отмечалось значительное снижение витаминов α -токоферола ($p < 0,0001$) и ретинола ($p < 0,0001$) относительно данных группы с ЭКОЖ. Извест-

но, что показатели системы АОЗ являются значимым диагностическим критерием адаптационных реакций организма [25, 34]. Возрастание значений общей АОА как интегрального показателя системы АОЗ у подростков-монголоидов с ожирением и ЖГ может свидетельствовать об активации компенсаторных реакций в данной группе пациентов, что также подтверждается повышенной активностью у них основного антиоксидантного фермента – СОД. В то же время у таких пациентов наблюдается выраженный дефицит витаминов-антиоксидантов – α -токоферола и ретинола (см. табл. 2). Известно, что α -токоферол и ретинол являются природными антиоксидантами и необходимыми факторами питания [34, 35]. Так, α -токоферол обладает высокой мембранозащитной и антимутагенной активностью, причем, взаимодействуя с природными антиоксидантами других классов, выступает в качестве важнейшего регулятора окислительного гомеостаза клеток и тканей [34]. Антиокислительная функция ретинола выражается в защите биомембран от повреждений активными формами кислорода [35]. Известно, что печень является основным депо жирорастворимых витаминов, вследствие чего можно предполагать снижение их содержания при поражении печени и их соответствующий дефицит на системном уровне, что и было подтверждено в данном исследовании.

Заключение

Выявленные изменения в редокс-статусе у подростков-монголоидов с ЭКОЖ и ЖГ свидетельствуют о высокой активности процессов липопероксидации и выраженной недостаточности витаминов-антиоксидантов у пациентов данной группы. Полученные результаты позволяют обосновать целесообразность назначения в комплексном лечении пациентов с ЖГ, помимо курсов метаболической терапии, препаратов антиоксидантного действия.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Колесникова Любовь Ильинична – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3354-2992>

Рычкова Любовь Владимировна – доктор медицинских наук, профессор РАН, директор ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2910-0737>

Даренская Марина Александровна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории патофизиологии ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск)

E-mail: marina_darenskaya@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3255-2013>

Гребенкина Людмила Анатольевна – доктор биологических наук, заведующая лабораторией патофизиологии ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1263-5527>

Гаврилова Оксана Александровна – младший научный сотрудник лаборатории патофизиологии ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Жданова Лариса Владимировна – кандидат медицинских наук, доцент, старший преподаватель кафедры акушерства и гинекологии с курсом педиатрии ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет» (Улан-Удэ)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Булдаева Екатерина Александровна – врач-эндокринолог ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Бурятия (Улан-Удэ)

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Колесников Сергей Иванович – академик РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (Иркутск), профессор кафедры государственной политики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»

E-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2124-6328>

Литература

1. Батурич А.К., Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Тутельян В.А. Генетические подходы к персонализации питания // *Вопр. питания*. 2012. Т. 81, № 6. С. 4–11.
2. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Гребенкина Л.А. и др. Особенности состояния антиоксидантной системы у здоровых лиц основных этнических групп Прибайкалья // *Вопр. питания*. 2012. Т. 81, № 3. С. 46–51.
3. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A. et al. Gender differences in parameters of lipid metabolism and of level of antioxidants in groups of juveniles – the Even and the Europeans // *J. Evol. Biochem. Physiol.* 2014. Vol. 50, N 1. P. 34–41.
4. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A. et al. Activity of lipid peroxidation in infertile women from different populations // *Bull. Exp. Biol. Med.* 2012. Vol. 154, N 2. P. 203–205.
5. Kolesnikova L.I., Kolesnikov S.I., Darenskaya M.A. et al. Lipid status and predisposing genes in patients with diabetes mellitus type 1 from various ethnic groups // *Bull. Exp. Biol. Med.* 2015. Vol. 160, N 2. P. 278–280.
6. Тутельян В.А., Батурич А.К., Конь И.Я. и др. Распространенность ожирения и избыточной массы тела среди детского населения РФ: мультицентровое исследование // *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2014. Т. 93, № 5. С. 28–31.
7. Колосов Ю.А., Колесников С.И., Анищенко А.П. и др. Избыточная масса тела и ожирение у детей, подростков и взрослых: причины развития и факторы риска // *Патогенез*. 2016. Т. 14, № 4. С. 9–14.
8. Pollack H.A. The problem of obesity // *J. Health Polit. Policy Law*. 2016. Vol. 41, N 3. P. 451–452.
9. Kirk S., Armstrong S., King E. et al. Establishment of the pediatric obesity weight evaluation registry: a national research collaborative for identifying the optimal assessment and treatment of pediatric obesity // *Child. Obes.* 2017. Vol. 13, N 1. P. 9–17.
10. Мохорт Т.В., Шишко Е.И. Аксиомы и парадоксы ожирения и метаболического синдрома // *Мед. новости*. 2016. № 5 (260). С. 10–16.
11. Camacho S., Ruppel A. Is the calorie concept a real solution to the obesity epidemic? // *Glob. Health Action*. 2017. Vol. 10, N 1. Article ID 1289650.
12. Heymsfield S.B., Wadden T.A. Mechanisms, pathophysiology, and management of obesity // *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 376. P. 254–266.
13. Кулешова К., Давыдов В.В. Особенности проявления оксидативного стресса и состояние антиоксидантной системы у подростков разного возраста с ожирением, осложненным инсулинорезистентностью и без нее // *Биомед. химия*. 2014. Т. 60, Вып. 2. С. 264–274.
14. Furukawa S., Fujita T., Shimabukuro M. et al. Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome // *J. Clin. Invest.* 2017. Vol. 114, N 12. P. 1752–1761.
15. Бекезин В.В. Окислительный стресс на фоне ожирения – ранний маркер метаболического синдрома у детей и подростков (обзорная статья) // *Смоленский мед. альманах*. 2016. № 3. С. 6–13.
16. Darenskaya M.A., Gavrilova O.A., Rychkova L.V. et al. The assessment of oxidative stress intensity in adolescents with obesity by the integral index // *Int. J. Biomed.* 2018. Vol. 8, N 1. P. 37–41.
17. Короткая Н.Н., Бекезин В.В., Борсуков А.В. и др. Эффективность применения фосфогилиа у детей подросткового возраста с жировым гепатозом // *Вестн. Смоленской гос. мед. акад.* 2017. Т. 16, № 2. С. 107–113.
18. Marion A.W., Baker A.J., Dhawan A. Fatty liver disease in children // *Arch. Dis. Child.* 2004. Vol. 89, N 7. P. 648–652.
19. Angulo P. Obesity and nonalcoholic fatty liver disease // *Nutr. Rev.* 2007. Vol. 65, Suppl. 1. P. S57–S63.
20. Sheth S.G., Chopra S. Epidemiology, clinical features, and diagnosis of nonalcoholic fatty liver disease in adults. UpToDate. Waltham, MA, 2017.
21. Mehta K., Van Thiel D.H., Shah N. et al. Nonalcoholic fatty liver disease: pathogenesis and the role of antioxidants // *Nutr. Rev.* 2002. Vol. 60, N 9. P. 289–293.
22. Lirussi F., Azzalini L., Orando S. et al. Antioxidant supplements for non-alcoholic fatty liver disease and/or steatohepatitis // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2007. Vol. 1. CD004996.
23. Darenskaya M.A., Rychkova L.V., Kolesnikov S.I., Gavrilova O.A., Kravtsova O.V., Grebenkina L.A. et al. Oxidative stress parameters in adolescent boys with exogenous-constitutional obesity // *Free Radic. Biol. Med.* 2017. Vol. 112. P. 129–130.
24. Kolesnikova L.I., Semyonova N.V., Grebenkina L.A. et al. Integral indicator of oxidative stress in human blood // *Bull. Exp. Biol. Med.* 2014. Vol. 157, N 6. P. 715–717.
25. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Grebenkina L.A. et al. Adaptive reactions of lipid metabolism in indigenous and non-indigenous female individuals of Tofalarian population living under extreme environmental conditions // *J. Evol. Biochem. Physiol.* 2014. Vol. 50, N 5. P. 392–398.
26. Волчегорский И.А., Налимов А.Г., Яровинский Б.Г. и др. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови // *Вопр. мед. химии*. 1989. Т. 35, № 1. С. 127–131.
27. Гаврилов В.Б., Гаврилова А.Р., Мажуль Л.М. Анализ методов определения продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови по тесту с тиобарбитуровой кислотой // *Вопр. мед. химии*. 1987. № 1. С. 118–122.
28. Клебанов Г.И., Бабенкова И.В., Теселкин Ю.О. и др. Оценка АОА плазмы крови с применением желточных липопропротеидов // *Лаб. дело*. 1988. № 5. С. 59–60.
29. Черныяускене Р.Ч., Варшкявичене З.З., Грибаускас П.С. Одновременное определение концентраций витаминов Е и А в сыворотке крови // *Лаб. дело*. 1984. № 6. С. 362–365.
30. Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины и микроэлементы. М. : АЛЕВ-В, 2003. 670 с.

31. Hisin P.J., Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues // *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 74. P. 214–226.
32. Misra H.P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // *J. Biol. Chem.* 1972. Vol. 247. P. 3170–3175.
33. Cullough A.J. Pathophysiology of nonalcoholic steatohepatitis // *J. Clin. Gastroenterol.* 2006. Vol. 40, suppl. 1. P. 17–29.
34. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Мазо В.К. Витамины и окислительный стресс // *Вопр. питания.* 2013. Т. 82, № 3. С. 11–18.
35. Дадали В.А., Тутельян В.А., Дадали Ю.В. и др. Каротиноиды. Биологическая активность // *Вопр. питания.* 2011. Т. 80, № 4. С. 4–18.

References

1. Baturin A.K., Sorokina E.Yu., Pogozeva A.V., Tutelyan V.A. Genetic approaches to personalization of nutrition. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2012; 81 (6): 4–11. (in Russian)
2. Kolesnikova L.I., Darenkaya M.A., Grebenkina L.A., et al. Features of the state of the antioxidant system in healthy individuals of the main ethnic groups of the Baikal region. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2012; 81 (3): 46–51. (in Russian)
3. Kolesnikova L.I., Darenkaya M.A., Grebenkina L.A., et al. Gender differences in parameters of lipid metabolism and of level of antioxidants in groups of juveniles – the Even and the Europeans. *J Evol Biochem Physiol.* 2014; 50 (1): 34–41.
4. Kolesnikova L.I., Darenkaya M.A., Grebenkina L.A., et al. Activity of lipid peroxidation in infertile women from different populations. *Bull Exp Biol Med.* 2012; 154 (2): 203–5.
5. Kolesnikova L.I., Kolesnikov S.I., Darenkaya M.A., et al. Lipid status and predisposing genes in patients with diabetes mellitus type 1 from various ethnic groups. *Bull Exp Biol Med.* 2015; 160 (2): 278–80.
6. Tutelyan V.A., Baturin A.K., Kon I.Ya. The prevalence of obesity and overweight among the Russian children's population: a multicentre study. *Pediatriya. Zhurnal im. G.N. Speranskogo [Pediatrics Journal named after G.N. Speransky]*. 2014; 93 (5): 28–31. (in Russian)
7. Kolosov Yu.A., Kolesnikov S.I., Anischenko A.P. Overweight and obesity in children, adolescents and adults: causes of development and risk factors. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2016; 14 (4): 9–14. (in Russian)
8. Pollack H.A. The problem of obesity. *J Health Polit Policy Law.* 2016; 41 (3): 451–2.
9. Kirk S., Armstrong S., King E., et al. Establishment of the pediatric obesity weight evaluation registry: a national research collaborative for identifying the optimal assessment and treatment of pediatric obesity. *Child Obes.* 2017; 13 (1): 9–17.
10. Mokhort T.V., Shishko E.I. Axioms and paradoxes of obesity and metabolic syndrome. *Meditsinskie novosti [Medical News]*. 2016; 5 (260): 10–6. (in Russian)
11. Camacho S., Ruppel A. Is the calorie concept a real solution to the obesity epidemic? *Glob Health Action.* 2017; 10 (1): 1289650.
12. Heymsfield S.B., Wadden T.A. Mechanisms, pathophysiology, and management of obesity. *N Engl J Med.* 2017; 376: 254–66.
13. Kuleshova K., Davydov V.V. Features of manifestation of oxidative stress and the state of the antioxidant system in adolescents of different ages with obesity, complicated by insulin resistance and without it. *Biomeditsinskaya khimiya [Biomedical Chemistry]*. 2014; 60 (2): 264–74. (in Russian)
14. Furukawa S., Fujita T., Shimabukuro M., et al. Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome. *J Clin Invest.* 2017; 114 (12): 1752–61.
15. Bekezin V.V. Oxidative stress on obesity – an early marker of metabolic syndrome in children and adolescents (review article). *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh [Smolensk Medical Almanac]*. 2016; (3): 6–13. (in Russian)
16. Darenkaya M.A., Gavrilova O.A., Rychkova L.V., et al. The assessment of oxidative stress intensity in adolescents with obesity by the integral index. *Int J Biomed.* 2018; 8 (1): 37–41.
17. Korotkaya N.N., Bekezin V.V., Borsukov A.V. Efficiency fosfoglyva application in adolescents with fatty hepatosis. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoy meditsinskoj akademii [Bulletin of the Smolensk State Medical Academy]*. 2017; 16 (2): 107–13. (in Russian)
18. Marion A.W., Baker A.J., Dhawan A. Fatty liver disease in children. *Arch Dis Child.* 2004; 89 (7): 648–52.
19. Angulo P. Obesity and nonalcoholic fatty liver disease. *Nutr Rev.* 2007; 65 (1): S57–63.
20. Sheth S.G., Chopra S. Epidemiology, clinical features, and diagnosis of nonalcoholic fatty liver disease in adults. *UpToDate.* Waltham, MA, 2017.
21. Mehta K., Van Thiel D.H., Shah N., et al. Nonalcoholic fatty liver disease: pathogenesis and the role of antioxidants. *Nutr Rev.* 2002; 60 (9): 289–93.
22. Lirussi F., Azzalini L., Orando S., et al. Antioxidant supplements for non-alcoholic fatty liver disease and/or steatohepatitis. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2007; 1: CD004996.
23. Darenkaya M.A., Rychkova L.V., Kolesnikov S.I., et al. Oxidative stress parameters in adolescent boys with exogenous-constitutional obesity. *Free Rad Biol Med.* 2017; 112: 129–30.
24. Kolesnikova L.I., Semyonova N.V., Grebenkina L.A., et al. Integral indicator of oxidative stress in human blood. *Bull Exp Biol Med.* 2014; 157 (6): 715–7.
25. Kolesnikova L.I., Darenkaya M.A., Grebenkina L.A., et al. Adaptive reactions of lipid metabolism in indigenous and non-indigenous female individuals of Tofalarian population living under extreme environmental conditions. *J Evol Biochem Physiol.* 2014; 50 (5): 392–8.
26. Volchegorsky I.A., Nalimov A.G., Yarovinskiy B.G., et al. A comparison of various approaches to the determination of lipid peroxidation products in heptane-isopropanol extracts of blood. *Voprosy meditsinskoj khimii [Problems of Medical Chemistry]*. 1989; 35 (1): 127–31. (in Russian)
27. Gavrilov V.B., Gavrilova A.R., Mazhul L.M. Analysis of methods for determining products of peroxide oxidation of lipids in blood serum according to the test with thiobarbituric acid. *Voprosy meditsinskoj khimii [Problems of Medical Chemistry]*. 1987; (1): 118–22. (in Russian)
28. Klebanov G.I., Babenkova I.V., Teselkin Yu.O., et al. Evaluation of AOA of blood plasma using yolk lipoproteins. *Laboratornoe delo [Laboratory Work]*. 1988; (5): 59–60. (in Russian)
29. Chernyauksene R.C., Varshkyavichene Z., Gribauskas P.S. Simultaneous determination of the concentrations of vitamins E and A in serum. *Laboratornoe delo [Laboratory Work]*. 1984; (6): 362–5. (in Russian)
30. Rebrov V.G., Gromova O.A. Vitamins and microelements. Moscow: ALEV-V, 2003: 670 p. (in Russian)
31. Hisin P.J., Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues. *Anal Biochem.* 1976; 74: 214–26.
32. Misra H.P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. *J Biol Chem.* 1972; 247: 3170–5.
33. Cullough A.J. Pathophysiology of nonalcoholic steatohepatitis. *J Clin Gastroenterol.* 2006; 40 (1): 17–29.
34. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Mazo V.K. Vitamins and oxidative stress. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 82 (3): 11–8. (in Russian)
35. Dadali V.A., Tutelyan V.A., Dadali Yu.V., et al. Carotenoids. Biological activity. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; 80 (4): 4–18. (in Russian)

Для корреспонденции

Кирпиченкова Екатерина Васильевна – ассистент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

Адрес: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Телефон: (495) 609-14-00

E-mail: kate.kirpichenkova@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7594-8336>

Кирпиченкова Е.В.¹, Королев А.А.¹, Онищенко Г.Г.¹, Никитенко Е.И.¹, Липатов Д.В.², Кузьмин А.Г.², Дыскин Ю.А.², Денисова Е.Л.¹, Фетисов Р.Н.¹

Изучение содержания лютеина и зеаксантина в рационе с оценкой взаимосвязи уровня алиментарного поступления невитаминных каротиноидов и плотности макулярной области сетчатки в молодом возрасте

Study of lutein and zeaxanthin content in the diet with the assessment of the relationship between the level of alimentary intake of non-vitamin carotenoids and the density of the macular region of the retina at a young age

Kirpichenkova E.V.¹, Korolev A.A.¹, Onishchenko G.G.¹, Nikitenko E.I.¹, Lipatov D.V.², Kuz'min A.G.², Dyskin Yu.A.², Denisova E.L.¹, Fetisov R.N.¹

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Москва

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

² Endocrinology Research Centre, Moscow

Лютеин и зеаксантин – невитаминные каротиноидные пигменты, оказывающие влияние на работу зрительного анализатора. Они избирательно накапливаются в желтом пятне сетчатки, формируют макулярный пигмент и определяют плотность макулы сетчатки, замедляя развитие возрастной макулодистрофии – одной из основных причин слепоты в старшем возрасте. Основными пищевыми источниками невитаминных каротиноидов являются зеленые листовые овощи, кабачки, тыква, зеленый горошек, брокколи. Цель данного исследования – ретроспективная гигиеническая оценка уровня и источников алиментарного поступления лютеина и зеаксантина у людей молодого возраста с изучением влияния количества лютеина и зеаксантина в рационе на плотность макулярной области сетчатки. Для количественной оценки содержания лютеина и зеаксантина в рационе была использована специально раз-

Для цитирования: Кирпиченкова Е.В., Королев А.А., Онищенко Г.Г., Никитенко Е.И., Липатов Д.В., Кузьмин А.Г., Дыскин Ю.А., Денисова Е.Л., Фетисов Р.Н. Изучение содержания лютеина и зеаксантина в рационе с оценкой взаимосвязи уровня алиментарного поступления невитаминных каротиноидов и плотности макулярной области сетчатки в молодом возрасте // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 20–26. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10049.

Статья поступила в редакцию 09.07.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Kirpichenkova E.V., Korolev A.A., Onishchenko G.G., Nikitenko E.I., Lipatov D.V., Kuz'min A.G., Dyskin Yu.A., Denisova E.L., Fetisov R.N. Study of lutein and zeaxanthin content in the diet with the assessment of the relationship between the level of alimentary intake of non-vitamin carotenoids and the density of the macular region of the retina at a young age. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 20–26. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10049. (in Russian)

Received 09.07.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

работанная анкета-опросник с отражением количества потребления основных источников этих каротиноидов в день, предшествующий опросу. Для определения плотности макулы применялся неинвазивный бесконтактный метод оптической когерентной томографии сетчатки глаза. В исследовании приняли участие 96 студентов ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России в возрасте 21 года – 27 лет. В ходе исследования установлено, что лишь у 6,25% опрошенных уровень поступления лютеина и зеаксантина соответствует рекомендуемому количеству и составляет 6 мг и более, у 8,33% – 4,6–5,9 мг, у 8,33% – 3,0–4,5 мг, у 18,75% – 1,5–2,9 мг, у 45,83% – <1,4 мг. Не включают в рацион источники лютеина и зеаксантина 12,5% респондентов. В качестве основных источников лютеина и зеаксантина в рационе чаще других встречаются яйца и свежие томаты. Показатели плотности макулы соответствуют возрастным нормативам у большинства обследованных. У 8,3% отмечено снижение толщины сетчатки, у 4,2% – более высокие показатели толщины сетчатки по сравнению с нормативами. Выявлены достоверные различия показателей центральной толщины сетчатки у мужчин и женщин. Не выявлена зависимость показателей толщины сетчатки от уровней лютеина и зеаксантина, поступающих с пищевыми источниками.

Ключевые слова: каротиноиды, лютеин, зеаксантин, оптическая когерентная томография, макулярная область сетчатки

Lutein and zeaxanthin are carotenoid pigments that affect the function of the visual analyzer. They selectively accumulate in the yellow spot of the retina, form macular pigment and determine the density of the retina macula. Lutein and zeaxanthin slow down the progression of age-related macular degeneration, a leading cause of senior-age blindness. The main food sources of non-vitamin carotenoids are green leafy vegetables, zucchini, pumpkin, green peas, broccoli. The aim of the study is a retrospective assessment of the levels and sources of alimentary intake of lutein and zeaxanthin in young people and research of the effect of lutein and zeaxanthin in the diet on macula density. A specially designed questionnaire was used to quantify the content of lutein and zeaxanthin in the diet, reflecting the amount of consumption of the main sources of these carotenoids on the day preceding the survey. A non-invasive non-contact method of optical coherence tomography of the retina was used to determine the density of the macula. The study involved 96 students of Sechenov University at the age of 21–27 years. The study found that only 6.25% of the respondents had daily intake of lutein and zeaxanthin of 6 mg or more, 8.33% had 4.6–5.9 mg, 8.33% had 3.0–4.5 mg, in 18.75% – 1.5–2.9 mg, in 45.83% <1.4 mg. 12.5% of respondents didn't include sources of lutein and zeaxanthin in the diet. The more common sources of lutein and zeaxanthin in the diet were eggs and fresh tomatoes. Retinal density indices corresponded to the age standards in the majority of the examined. In 8.3% surveyed the thickness of the retina was decreased, and 4.2% had higher thickness of the retina in comparison with the standards. Significant differences in the Central subfield thickness in men and women were revealed. There was no dependence of the levels of lutein and zeaxanthin coming from food sources on the retina thickness indicators.

Keywords: carotenoids, lutein, zeaxanthin, optical coherence tomography, macular area of the retina

Лютеин и зеаксантин являются каротиноидными пигментами и принадлежат к группе ксантофиллов. По химической структуре лютеин и зеаксантин представляют собой тетратерпены и относятся к дигидроксипроизводным α -каротина (лютеин) и β -каротина (зеаксантин) [1]. С гигиенических позиций они являются важнейшими невитаминными каротиноидами, обладающими определенным биологическим потенциалом, связанным с функционированием зрительного анализатора [2].

Лютеин и зеаксантин избирательно накапливаются в желтом пятне сетчатки, формируя макулярный пигмент. При этом концентрация зеаксантина в центральной части макулы значительно превышает количество лютеина, который преимущественно содержится в периферической части макулы. Наибольшие концентрации каротиноидов отмечены в слое волокон Генле и в аксонах фоторецепто-

ров [3]. Кроме того, лютеин и зеаксантин являются единственными пигментами, обнаруженными в хрусталике, но в более низкой концентрации по сравнению с макулой [4]. На клеточном уровне пигменты распределены между липидным и протеиновым компонентами мембран [5]. Лютеин и зеаксантин оказывают защитное действие в отношении фоторецепторов сетчатки, эффективно поглощая световые волны длиной 446 нм (синюю часть спектра), которые оказывают прямое повреждающее воздействие на чувствительные рецепторы макулы. Кроме того, благодаря наличию двух гидроксильных групп лютеин способен захватывать свободные радикалы, в первую очередь кислородные, тормозя механизм апоптоза фоторецепторов [6].

Содержание лютеина и зеаксантина в тканях сетчатки определяет оптическую плотность макулярного

пигмента и зависит в свою очередь от алиментарного поступления данных каротиноидов. Их основными пищевыми источниками являются овощи и фрукты [7], а также биологически активные добавки к пище [8].

Всасывание каротиноидов происходит в двенадцатиперстной кишке, их биодоступность определяется степенью кулинарной обработки пищевого источника и наличием совместно поступающих жиров и пищевых волокон [9].

Среди пищевых источников лютеина и зеаксантина важное значение имеют зеленые листовые овощи (капуста кале, шпинат, петрушка, листовой салат), кабачки, тыква, зеленый горошек, брокколи. В качестве распространенных источников исследуемых каротиноидов также рассматриваются томаты красного цвета; данные о наличии лютеина и зеаксантина в желтых, оранжевых и зеленых томатах отсутствуют (табл. 1) [10]. В таких европейских странах, как Франция и Испания, основную роль играют такие источники, как шпинат и листовой салат, в Великобритании и Ирландии – зеленый горошек и брокколи, в Нидерландах – шпинат и брокколи [11]. Исследования подтверждают, что концентрация лютеина и зеаксантина в крови прямо пропорциональна количеству потребляемых овощей и фруктов [12].

Таблица 1. Содержание лютеина и зеаксантина в основных пищевых источниках

Пищевой источник	Сумма лютеина и зеаксантина, мг/100 г
Шпинат	13,07
Капуста кале	6,26
Бasilik	5,65
Петрушка	5,56
Листовой салат	1,92
Зеленый горошек	1,70
Кабачки	1,51
Брюссельская капуста	1,42
Брокколи	1,22
Фисташки	1,16
Тыква	1,01
Зеленый лук	0,86
Кукуруза	0,85
Хурма	0,83
Яйца (желтки)	0,47
Сельдерей	0,30
Морковь	0,26
Кетчуп	0,16
Свежие красные томаты	0,12
Апельсиновый сок	0,12
Киви	0,12

Следует отметить, что большинство овощных источников невитаминных каротиноидов содержит только лютеин, в то время как кукуруза, желтки яиц и сладкий перец оранжевого цвета являются основными источниками зеаксантина. Биодоступность лютеина и зеаксантина из желтков яиц значительно выше по сравнению с источниками растительного происхождения, что объясняется наличием в желтке компонентов липидной природы [13].

Связь между концентрацией в сыворотке лютеина и зеаксантина, оптической плотностью макулярного

пигмента и риском развития возрастной дегенерации сетчатки у людей старшего возраста была неоднократно подтверждена различными исследованиями [14]. Кроме того, подтверждены генетический риск и влияние образа жизни на скорость развития ранних стадий возрастной макулодистрофии [15].

Многоцентровое рандомизированное клиническое исследование AREDS II (Age-Related Eye Disease Study) показало, что ежедневное применение 10 мг лютеина и 2 мг зеаксантина в сочетании с витаминами С, Е и цинком существенно снизило риск развития неоваскулярной стадии возрастной макулодистрофии [16].

Рандомизированное плацебо-контролируемое двойное слепое исследование CARMA (The Carotenoids in Age-Related Maculopathy) подтвердило замедление прогрессирования возрастной дегенерации сетчатки при приеме лютеина (6 мг/сут), зеаксантина (0,3 мг/сут) в комплексе с витаминами С и Е, цинком и медью [17].

В Российской Федерации рекомендуемый суточный уровень поступления лютеина составляет 5 мг, зеаксантина – 1 мг [18].

Цель настоящего исследования – гигиеническая оценка уровня и источников алиментарного поступления лютеина и зеаксантина с изучением взаимосвязи количества каротиноидов в рационе и плотности макулярной области сетчатки в молодом возрасте.

Материал и методы

Для количественной оценки содержания лютеина и зеаксантина в рационе была использована специально разработанная анкета-опросник. Из списка пищевой продукции с высоким содержанием лютеина и зеаксантина [10] были отобраны и внесены в анкету-опросник продукты, наиболее распространенные на продовольственном рынке Москвы: зеленый горошек, кабачки, брокколи, кукуруза, тыква, брюссельская капуста, шпинат, петрушка, зеленый лук, листовой салат, яйца, томаты (томатпродукты), морковь, апельсиновый сок, киви. Анкета предусматривала регистрацию количества их потребления в день, предшествующий опросу.

Для определения плотности макулы применялся неинвазивный бесконтактный метод оптической когерентной томографии сетчатки глаза, выполненный на базе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России с помощью бесконтактного оптического когерентного томографа с высоким разрешением и высокой четкостью «Cirrus™ HD-OCT» модель 5000 (производитель Carl Zeiss Meditec AG, Германия). Данный прибор позволяет визуализировать передний и задний сегменты глазного яблока и содержит нормативные базы данных для слоя нервных волокон и макулярной области. С помощью исследования был проведен высокоточный анализ толщины сетчатки и построены послойные топографические карты на основе анализа более 100 топографических срезов. В проведенном исследовании использовался

протокол Macula Cube 512×128 (512 сканов в 128 линиях в квадрате 6×6 мм). Для последовательного анализа были использованы следующие параметры: центральная толщина сетчатки (мкм), объем сетчатки (мм³) и средняя толщина сетчатки (мкм).

В ретроспективном исследовании приняли участие 96 студентов ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет) в возрасте 21–27 лет (средний возраст 22±1,1 года), из них 78 женщин в возрасте 21–25 лет (22±0,9 года) и 18 мужчин в возрасте 21–27 лет (средний возраст 22±1,6 года). Анкетирование проведено в сентябре 2016 г.

Исследование проведено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации для врачей, проводящих медико-биологические исследования с участием людей (пересмотр 59-й Генеральной ассамблеи Всемирной медицинской ассоциации, Сеул, 2008 г.).

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием пакета Microsoft Excel 2007. Достоверность различий между гендерными группами определяли с помощью критерия Фишера и двухвыборочного *t*-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования установлено, что у 6 (6,3%) опрошенных уровни поступления лютеина и зеаксантина соответствовали рекомендуемому количеству и составляли 6 мг/сут и более. Потребление лютеина и зеаксантина в количестве, составляющем 75,0–99,9% от рекомендуемого уровня, наблюдалось у 8 (8,3%) студентов. Поступление исследуемых каротиноидов на уровне 50,0–74,9% от рекомендуемого отмечено у 8 (8,33%) респондентов, а на уровне 25,0–49,9% от рекомендуемого – у 18 (18,75%) участников исследования. У большинства студентов (56 человек, 58,33%) поступление невитаминных каротиноидов было на крайне низком уровне: у 44 (45,83%) – менее 24,9% от рекомендуемого количества, а 12 (у 12,5%) – полностью отсутствовали значимые источники в рационе.

Источники лютеина и зеаксантина в каждой группе потребления оказались различны (табл. 2).

При анализе полученных результатов установлено, что у студентов с низким уровнем поступления каротиноидов (5-я группа) основными источниками лютеина и зеаксантина в рационе являются яйца и свежие томаты, т.е. продукты с невысоким содержанием лютеина и зеаксантина. В то же время продукты, богатые лютеином и зеаксантином, либо присутствуют в рационе в недостаточном количестве (шпинат, листовой салат, зеленый горошек, кабачки, брокколи, хурма), либо отсутствуют в рационе большинства студентов (базилик, брюссельская капуста, фисташки, тыква, зеленый лук).

Сравнительный анализ уровней поступления лютеина и зеаксантина в зависимости от пола не выявил статистически значимых различий между процентными долями участников исследования во всех группах потребления (см. рисунок).

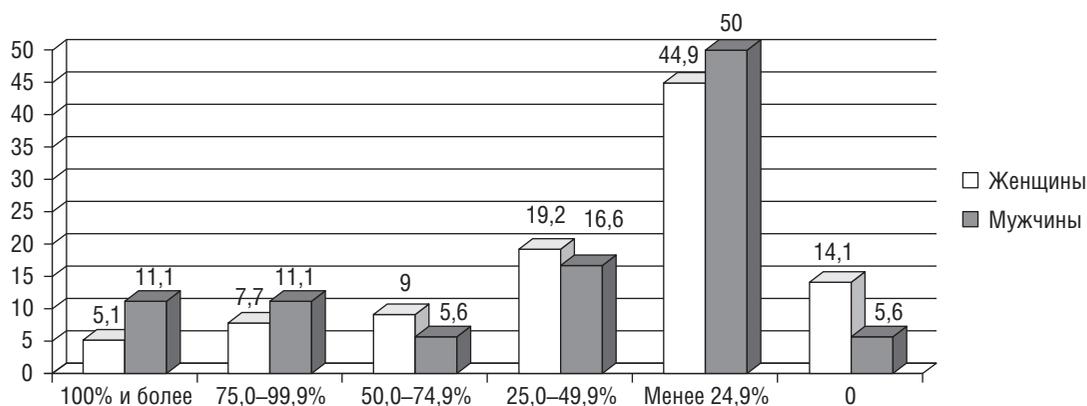
В результате исследований выявлены различия в источниках лютеина и зеаксантина, включаемых в рацион мужчин и женщин во всех группах по уровням потребления (табл. 3). У женщин отмечено большее разнообразие включаемых в рацион пищевых источников лютеина и зеаксантина, что, однако, может быть связано с большим объемом выборки. Высокие уровни поступления лютеина и зеаксантина (1-я и 2-я группы) обусловлены главным образом включением в рацион продуктов с высоким содержанием данных каротиноидов: хурмы, шпината, брокколи, петрушки, тыквы в значимых количествах. В то же время потребление яиц и свежих томатов в качестве основных источников каротиноидов в рационе 5-й группы не приводит к достижению рекомендуемого суточного уровня вследствие невысокого содержания в них лютеина и зеаксантина.

С целью оценки взаимосвязи уровня поступления лютеина и зеаксантина и плотности макулярной области сетчатки всем участникам исследования была проведена оптическая когерентная томография (табл. 4).

Оцениваемые параметры сетчатки соответствовали возрастным референсным значениям у большинства обследованных. Лишь у 12 (12,5%) студентов были отмечены симметричные изменения данных показателей по сравнению со средними значениями, причем у 8 (8,3%) – снижение толщины сетчатки, а у 4 (4,2%) – более высокие показатели толщины сетчатки.

Таблица 2. Источники лютеина и зеаксантина в группах с различным уровнем их поступления

Группа исследования	Уровень поступления лютеина и зеаксантина (в % от рекомендуемого суточного уровня)	Источники, вносящие наибольший вклад в обеспечение поступления лютеина и зеаксантина
1-я	100 и более	Брокколи, петрушка, тыква, хурма, шпинат
2-я	75,0–99,9	Листовой салат, брокколи, хурма, зеленый горошек
3-я	50,0–74,9	Брокколи, зеленый горошек, листовой салат, попкорн, хурма, шпинат
4-я	25,0–49,9	Листовой салат, кабачки, хурма, зеленый горошек, апельсиновый сок, кукуруза, соленые красные томаты
5-я	Менее 24,9	Яйца, свежие красные томаты, кабачки, апельсиновый сок, листовой салат, петрушка, кетчуп, морковь, кукуруза, пицца, рыбные консервы в томатном соусе
6-я	0	–



Доля лиц с различными уровнями поступления лютеина и зеаксантина

Таблица 3. Источники лютеина и зеаксантина у женщин и мужчин из различных групп их уровня потребления

Группа исследования	Уровень поступления лютеина и зеаксантина (в % от рекомендуемого суточного уровня)	Источники, вносящие наибольший вклад в обеспечение поступления лютеина и зеаксантина	
		женщины	мужчины
1-я	100 и более	Брокколи, петрушка, тыква	Хурма, шпинат
2-я	75,0–99,9	Листовой салат, брокколи, хурма	Зеленый горошек, листовой салат
3-я	50,0–74,9	Брокколи, зеленый горошек, листовой салат, попкорн, шпинат	Хурма
4-я	25,0–49,9	Листовой салат, хурма, зеленый горошек, кабачки, тыква, кукуруза, соленые красные томаты	Апельсиновый сок, кабачки, листовой салат
5-я	Менее 24,9	Яйца, свежие красные томаты, апельсиновый сок, кабачки, петрушка, листовой салат, морковь, зеленый лук, кетчуп, кукуруза, рыбные консервы в томатном соусе	Яйца, кабачки, кетчуп, листовой салат, пицца, свежие красные томаты

Таблица 4. Результаты оптической когерентной томографии (96 участников, 192 исследования)

Параметр	<i>M±SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Центральная толщина сетчатки, мкм	252,5±19,22	182	308
Объем сетчатки, мм ³	10,1±0,53	7,6	11,3
Средняя толщина сетчатки, мкм	281±14,73	211	314

Таблица 5. Распределение показателей толщины сетчатки у мужчин и женщин

Показатель	Мужчины (n=18)			Женщины (n=78)		
	<i>M±SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>M±SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Центральная толщина сетчатки, мкм	257±19,4	226	308	250±19,0	182	298
Объем сетчатки, мм ³	10,0±0,66	8,9	11,3	10,1±0,50	7,6	11,1
Средняя толщина сетчатки, мкм	278±18,5	246	314	282±13,8	211	308

Таблица 6. Число участников с показателями толщины сетчатки, отличными от нормативов, в зависимости от уровня потребления лютеина и зеаксантина

Группа исследования	Уровень поступления лютеина и зеаксантина (в % от рекомендуемого суточного уровня)	Доля студентов с показателями выше нормативных данных, %	Доля студентов с показателями ниже нормативных данных, %
1-я	100 и более	0	0
2-я	75,0–99,9	0	1,0
3-я	50,0–74,9	0	1,0
4-я	25,0–49,9	0	1,0
5-я	Менее 24,9	4,2	4,2
6-я	0%	0	1,0

Анализ зависимости толщины сетчатки от пола респондентов выявил статистически значимые ($p < 0,05$) различия в центральной толщине сетчатки. Гендерные различия по показателям объема и средней толщины сетчатки статистически незначимы (табл. 5).

Среди студентов с измененными показателями преобладали женщины (у 3 отмечено увеличение толщины сетчатки, у 5 – снижение данных показателей).

Зависимость показателей толщины сетчатки от уровня лютеина и зеаксантина, поступающих с пищевыми источниками, не выявлена (табл. 6).

При этом у участников исследования, потребляющих данные каротиноиды в количестве 100% и более от рекомендуемого уровня, не обнаружены отклонения от нормативных параметров по всем изученным показателям.

Выводы

1. Более чем у половины (58,3%) студентов поступление невитаминных каротиноидов (лютеина и зеаксантина) с рационом было на крайне низком уровне – менее 24,9% от рекомендуемого количества, что глав-

ным образом связано с ограниченным ассортиментом источников лютеина и зеаксантина (в основном яйца и свежие томаты) и малым размером порций используемых продуктов в их рационах.

2. Среди пищевых источников, вносящих наибольший вклад в общее количество лютеина и зеаксантина в рационе студентов, получающих более 75% от адекватного суточного потребления каротиноидов, нами установлены брокколи, листовая салат, зеленый горошек, хурма, петрушка, тыква, шпинат.

3. Во всех группах, ранжированных по уровню потребления лютеина и зеаксантина, не зафиксировано патологических изменений в макулярной области. Тенденция к снижению толщины сетчатки отмечена у 8,3% респондентов, представляющих различные группы по уровню поступления каротиноидов. Таким образом, у людей данной возрастной категории не выявлена достоверная зависимость показателей толщины и объема сетчатки от уровней лютеина и зеаксантина, поступающих с пищевыми источниками.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Сведения об авторах

Кирпиченкова Екатерина Васильевна – ассистент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: kate.kirpichenkova@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7594-8336>

Королев Алексей Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2294-7444>

Онищенко Геннадий Григорьевич – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

Никитенко Елена Ивановна – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2302-3008>

Липатов Дмитрий Валентинович – доктор медицинских наук, заведующий отделением диабетической ретинопатии и офтальмохирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России (Москва)

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

Кузьмин Анатолий Геннадьевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения диабетической ретинопатии и офтальмохирургии Института диабета, офтальмолог, эндокринолог ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России (Москва)

E-mail: dr.anatoly.kuzmin@gmail.com

Дыскин Юрий Александрович – кандидат медицинских наук, кардиолог ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России (Москва)

E-mail: dr.anatoly.kuzmin@gmail.com

Денисова Елена Леонидовна – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

Фетисов Роман Николаевич – ассистент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)
E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

Литература

1. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. М. : Мир, 1986. 422 с.
2. Королев А.А. Гигиена питания : руководство для врачей. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. 624 с.
3. Егоров Е.А., Романенко И.А. Возрастная макулярная дегенерация. Вопросы патогенеза, диагностики и лечения // РМЖ. Клиническая офтальмология. 2009. № 1. С. 42.
4. Дадали, В. А., Дадали Ю.В., Тутельян В.А., Кравченко Л.В. Каротиноиды. Биологическая активность // Вопр. питания. 2011. № 4. С. 4–18.
5. Grudzinski W., Nierzwicki L., Welc R., Reszczynska E., Luchowski R., Czub J., Gruszecki W. Localization and orientation of xanthophylls in a lipid bilayer // Sci. Rep. 2017. Vol. 7, N 1. P. 1–10.
6. Koushan K., Rusovici R., Li W., Ferguson L., Chalam K. The role of lutein in eye-related disease // Nutrients. 2013. Vol. 5, N 5. P. 1823–1839.
7. Khoo H.-E., Prasad K.N., Kong K.-W., Jiang Y., Ismail A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables // Molecules. 2011. Vol. 16, N 2. P. 1710–1738.
8. Ma L., Liu R., Du J.H., Liu T., Wu S.S., Liu X.H. Lutein, zeaxanthin and meso-zeaxanthin supplementation associated with macular pigment optical density // Nutrients. 2016. Vol. 8, N 7. P. 426.
9. Abdel-Aal el S.M., Akhtar H., Zaheer K., Ali R. Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health // Nutrients. 2013. Vol. 5, N 4. P. 1169–1185.
10. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>. (date of access March 15, 2016).
11. O'Neill M., Carroll Y., Corridan B., Olmedilla B., Granado F., Blanco I. et al. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study // Br. J. Nutr. 2001. Vol. 85, N 4. P. 499–507.
12. Couillard C., Lemieux S., Vohl M., Couture P., Lamarche B. Carotenoids as biomarkers of fruit and vegetable intake in men and women // Br. J. Nutr. 2016. Vol. 116, N 7. P. 1206–1215.
13. Eisenhauer B., Natoli S., Liew G., Flood V.M. Lutein and zeaxanthin – food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection // Nutrients. 2017. Vol. 9, N 2. P. 120.
14. Moeller S., Jacques P., Blumberg J. The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration // J. Am. Coll. Nutr. 2000. Vol. 19, suppl. 5. P. 522–527.
15. Meyers K., Liu Z., Millen A., Iyengar S., Blodi B., Johnson E. et al. Joint associations of diet, lifestyle, and genes with age-related macular degeneration // Ophthalmology. 2015. Vol. 122, N 11. P. 2286–2294.
16. Chew E., Clemons T., Sangiovanni J., Danis R., Ferris F., Elman M. et al. Secondary analyses of the effects of lutein/zeaxanthin on age-related macular degeneration progression: AREDS2 report No. 3 // JAMA Ophthalmol. 2014. Vol. 132, N 2. P. 142–149.
17. Neelam K., Hogg R., Stevenson M., Johnston E., Anderson R., Beatty S. et al. Carotenoids and co-antioxidants in age-related maculopathy: design and methods // Ophthalmic Epidemiol. 2008. Vol. 15, N 6. P. 389–401.
18. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04 М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 46 с.

References

1. Britton G. The biochemistry of natural pigments. Moscow: Mir, 1986: 422 p. (in Russian)
2. Korolev A.A. Food hygiene. Guide for doctors. Moscow: GEOTAR-Media, 2016: 624 p. (in Russian)
3. Egorov E.A., Romanenko I.A. Age-related macular degeneration. Questions of its pathogenesis, diagnostics and treatment. RMZH. Klinicheskaya oftal'mologiya [RMJ. Clinical Ophthalmology]. 2009; (1): 42. (in Russian)
4. Dadali V.A., Tutel'yan V.A., Dadali U.V., et al. Carotenoids. Biological activity. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2011; (4): 4–18. (in Russian)
5. Grudzinski W., Nierzwicki L., Welc R., Reszczynska E., Luchowski R., Czub J., Gruszecki W. Localization and orientation of xanthophylls in a lipid bilayer. Sci Rep. 2017; 7 (1): 1–10.
6. Koushan K., Rusovici R., Li W., Ferguson L., Chalam K. The role of lutein in eye-related disease. Nutrients. 2013; 5 (5): 1823–39.
7. Khoo H.-E., Prasad K.N., Kong K.-W., Jiang Y., Ismail A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. Molecules. 2011; 16 (2): 1710–38.
8. Ma L., Liu R., Du J.H., Liu T., Wu S.S., Liu X.H. Lutein, zeaxanthin and meso-zeaxanthin supplementation associated with macular pigment optical density. Nutrients. 2016; 8 (7): 426.
9. Abdel-Aal el S.M., Akhtar H., Zaheer K., Ali R. Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health. Nutrients. 2013; 5 (4): 1169–85.
10. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>. (date of access March 15, 2016).
11. O'Neill M., Carroll Y., Corridan B., Olmedilla B., Granado F., Blanco I., et al. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. Br J Nutr. 2001; 85 (4): 499–507.
12. Couillard C., Lemieux S., Vohl M., Couture P., Lamarche B. Carotenoids as biomarkers of fruit and vegetable intake in men and women. Br J Nutr. 2016; 116 (7): 1206–15.
13. Eisenhauer B., Natoli S., Liew G., Flood V.M. Lutein and zeaxanthin – food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection. Nutrients. 2017; 9 (2): 120.
14. Moeller S., Jacques P., Blumberg J. The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. J Am Coll Nutr. 2000; 19 (5): 522–7.
15. Meyers K., Liu Z., Millen A., Iyengar S., Blodi B., Johnson E., et al. Joint associations of diet, lifestyle, and genes with age-related macular degeneration. Ophthalmology. 2015; 122 (11): 2286–94.
16. Chew E., Clemons T., Sangiovanni J., Danis R., Ferris F., Elman M., et al. Secondary analyses of the effects of lutein/zeaxanthin on age-related macular degeneration progression: AREDS2 report No. 3. JAMA Ophthalmol. 2014; 132 (2): 142–9.
17. Neelam K., Hogg R., Stevenson M., Johnston E., Anderson R., Beatty S., et al. Carotenoids and co-antioxidants in age-related maculopathy: design and methods. Ophthalmic Epidemiol. 2008; 15 (6): 389–401.
18. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances: Guidelines. 2.3.1.1915-04. Moscow: Federal'niy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004: 46 p. (in Russian)

Для корреспонденции

Суплотова Людмила Александровна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая курсом эндокринологии кафедры терапии Института непрерывного профессионального развития ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, главный эндокринолог Тюменской области
 Адрес: 625023, г. Тюмень, ул. Одесская, д. 54
 Телефон: (3452) 20-05-37
 E-mail: suplotoval@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9253-8075>

Суплотова Л.А.¹, Макарова О.Б.¹, Шарухо Г.В.^{1, 2}, Ковальжина Л.С.³

Роль питания в профилактике и коррекции йододефицитных состояний на эндемичной территории

The role of food in prevention and correction of iodine deficiency in the endemic territory

Suplotova L.A.¹, Makarova O.B.¹, Sharukho G.V.^{1, 2}, Kovalzhina L.S.³

¹ ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

² Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тюменской области, Тюмень

³ ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

¹ Tyumen State Medical University

² Federal Service for Supervision of Consumer Rights and Human Welfare in the Tyumen Region, Tyumen

³ Industrial University of Tyumen

Проблема йодного обеспечения остается глобальной проблемой в связи с широкой распространенностью и большим спектром клинических проявлений во всех возрастных периодах. При этом дефицит йода является пищевым дефицитом и решение проблемы лежит в плоскости организации рационального питания населения.

Цель исследования – изучить особенности питания населения территории легкого йодного дефицита с позиции адекватности обеспеченности йодом.

Материал и методы. Проведен анализ питания населения на территории Тюменской области в 2005 и 2016 гг. по данным официальной статистики Тюменьстата, результатов санитарно-гигиенического и медико-биологического мониторинга за 1994–2016 гг. Выполнено социологическое исследование по репрезентативной гнездовой выборке методом анкетирования. В исследовании приняли участие школьники ($n=744$) и их родители ($n=677$), учащиеся и студенты очной формы обучения ($n=623$). Выборка вероятностная, гнездовая. Статистическая ошибка выборки не превышает 4%.

Результаты. Анализ уровня потребления пищевых продуктов населением Тюменской области с 2005 по 2016 г. показал увеличение потребления на душу населения рыбы и рыбопродуктов (с 23,8 кг в 2005 г. до 33,1 кг в 2016 г.

Для цитирования: Суплотова Л.А., Макарова О.Б., Шарухо Г.В., Ковальжина Л.С. Роль питания в профилактике и коррекции йододефицитных состояний на эндемичной территории // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 27–36. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10050.

Статья поступила в редакцию 17.07.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Suplotova L.A., Makarova O.B., Sharukho G.V., Kovalzhina L.S. The role of food in prevention and correction of iodine deficiency in the endemic territory. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (5): 27–36. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10050. (in Russian)

Received 17.07.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

при норме 22 кг). В то же время социологическое исследование среди студентов, школьников и их родителей показало, что ежедневно потребляют продукты, богатые йодом, только 1–4% населения, а регулярно йодированной солью пользуются только 53% респондентов. Таким образом, только при помощи продуктов питания массовая профилактика йодного дефицита недостижима. Анализ результатов медико-биологического мониторинга за 20-летний период существования профилактических программ в Тюменской области показал значительное улучшение ситуации в регионе: значимо возросла медиана йодурии (с 77 до 125 мкг/л) и снизилась частота зоба у детей препубертатного возраста (с 85% в 1994 г. до 6,8% в 2016 г.; $p=0,001$); также значимо снизилась частота неонатальной гипертиреотропиемии (с 44,3% в 1994 г. до 3,9% в 2017 г.; $p=0,001$). Однако большинство показателей не достигает целевых значений, рекомендованных для йоднасыщенных территорий, что указывает на недостаточную эффективность существующей добровольной системы профилактики. Решением проблемы может быть использование обогащенных йодом продуктов питания массового потребления, таких как хлеб и хлебобулочные изделия.

Ключевые слова: питание, йодный дефицит, профилактика, йодированная соль, Тюменская область

Iodine supply remains the global problem due to the wide prevalence and a wide range of clinical manifestations in all age groups of population. However, iodine deficiency is a nutritional deficiency and the solution of this problem lies in the organization of rational nutrition of the population.

Aim – the purpose of this study was to examine the food features of the population of the mild iodine-deficient region from the standpoint of adequacy of iodine sufficiency.

Material and methods. The analysis of nutrition of the population of Tyumen Region in 2005 and 2016 was carried out according to official statistics of Tyumenstat; results of sanitary-hygienic and biomedical monitoring for the period from 1994 to 2016. A sociological study was conducted on a representative nested sample using the questionnaire method. The study involved schoolchildren ($n=744$) and their parents ($n=677$), students and full-time students ($n=623$). Probabilistic was sampling and nesting. Statistical sampling error does not exceed 4%.

Results. Analysis of the level of food consumption by residents of the Tyumen region over the period from 2005 to 2016 showed an increase in consumption per capita of fish and fish products (from 23.8 kg in 2005 to 33.1 kg in 2016 at recommended level of 22 kg). At the same time, a sociological study showed that only 1–4% of the population consumed iodine-rich products daily and only 53% of respondents regularly used iodized salt.

The analysis of the results of biomedical monitoring over the 20-year period of the existence of preventive programs in the Tyumen region showed significant improvements in the situation in the region: median of ioduria increased significantly from 77 to 125 $\mu\text{g/l}$ and the incidence of goiter in pre-pubertal children decreased from 85% in 1994 to 6.8% in 2016 ($p=0,001$); the incidence of neonatal hyperthyrotropinemia significantly decreased from 44.3% in 1994 to 3.9% in 2017 ($p=0,001$). However, most indicators did not reach the target values recommended for iodine-rich region, which indicated the insufficient effectiveness of the existing voluntary prevention system. The solution of this problem is using of iodine-enriched foods of mass consumption, such as bread and bakery products.

Keywords: nutrition, iodine deficiency, prevention, iodized salt, Tyumen Region

Вопросы здорового питания являются основой сохранения здоровья населения и одним из главных инструментов профилактики неинфекционных заболеваний. Понятие «здоровое питание», согласно определению Координационного центра профилактики неинфекционных заболеваний и факторов риска Минздрава России, подразумевает питание, обеспечивающее удовлетворение научно-обоснованных потребностей различных групп населения в рациональном питании с учетом традиций и привычек, а также основанное на потреблении разнообразных пищевых продуктов, способствующих укреплению здоровья и профилактике

заболеваний [1]. Актуальность здорового питания нашла отражение в документах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (Глобальный план действий ВОЗ, 2013 г.), ООН [Политическая декларация совещания высокого уровня Генеральной Ассамблеи ООН по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними (Резолюция 66/2 от 19 сентября 2011 г.) и Правительства РФ («Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г.»)] [2–4].

В своей основе здоровое питание подразумевает рациональное питание – физиологически полноценное

питание, способствующее сохранению здоровья человека и поддержанию нормальной и устойчивой работы органов и систем организма, которое включает энергетическое равновесие (оптимальную калорийность), сбалансированность по содержанию основных нутриентов и соблюдение режима питания. Нутриенты классифицируются на макронутриенты (белки, жиры, углеводы) и микронутриенты (витамины, минеральные и другие биологически активные вещества), дефицит которых приводит к развитию заболеваний и состояний, которые можно предупредить сбалансированным их содержанием в пище. Поскольку в организме человека отсутствует способность синтезировать и запасать микронутриенты впрок на долгий срок, они должны поступать регулярно, в полном наборе и количествах, соответствующих физиологической потребности [1, 5].

В последние годы большое внимание уделяется недостаточному поступлению микронутриентов с пищей, являющемуся основной причиной распространенных дефицитов в мире: железа (железодефицитная анемия), йода [йододефицитные заболевания (ЙДЗ)], витаминов А (нарушение зрения), D (рахит, нарушение роста и развития в детском возрасте и заболевания, ассоциированные с дефицитом витамина D во все возрастные периоды) и др. Особое место в микронутриентной недостаточности занимает дефицит йода, который до настоящего времени остается глобальной проблемой в мире в связи с широкой распространенностью (по данным ВОЗ, более 2 млрд людей в мире проживают в условиях йодного дефицита) и большим спектром клинических проявлений во все возрастные периоды: от легкой когнитивной недостаточности, формирования зоба, репродуктивных нарушений при легкой степени йодного дефицита в регионе, до кретинизма с крайней степенью умственной отсталости и нарушением роста и развития детей при его тяжелой степени [6–8]. Организм человека не способен самостоятельно вырабатывать йод, и в этой связи его поступление необходимо извне с пищевыми продуктами и водой. Во многом это зависит от территории проживания и наличия этого микроэлемента в почве, воде, а соответственно, в продуктах, которые произрастают в данной местности. Более 70% территорий РФ являются геохимической провинцией с дефицитом йода, и большинство населения подвержены риску развития ЙДЗ, объединяющих целый ряд состояний, связанных с нарушением синтеза тиреоидных гормонов в результате дефицита йода [9–11]. ВОЗ определила ЙДЗ как «спектр патологических состояний, которые развиваются в популяции вследствие йодного дефицита и возникновение которых можно предотвратить при условии адекватного потребления йода» [12]. Таким образом, дефицит йода является пищевым дефицитом, и решение проблемы лежит в плоскости организации рационального питания населения.

Цель – изучить особенности питания населения территории легкого йодного дефицита с позиции адекватного йодного обеспечения.

Материал и методы

Проведен анализ структуры питания населения Тюменской области, территории легкого йодного дефицита, в 2005 и в 2016 гг. По данным официальной статистики Тюменьстата (Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов) в сравнении с рекомендуемыми размерами потребления пищевых продуктов, представляющими собой среднудушевые величины потребления основных групп пищевых продуктов, в килограммах на душу населения в год (кг/год на человека) [13], которые учитывают химический состав и энергетическую ценность пищевых продуктов, обеспечивают расчетную среднудушевую потребность в пищевых веществах и энергии, а также разнообразие потребляемой пищи [14].

Для оценки ситуации йодного дефицита в регионе проанализированы результаты социально-гигиенического и медико-биологического мониторинга за 1994–2016 гг. по основным критериям ВОЗ: частота зоба и медиана йодурии у детей препубертатного возраста, неонатальная гипертиреотропинемия выше 5 мкМЕ/мл, определяемая в рамках скрининга на врожденный гипотиреоз, а также доля домохозяйств, использующих йодированную соль в питании [12, 15–17].

С целью изучения потребительского спроса и выбора продуктов для профилактики йодного дефицита выполнено социологическое исследование на репрезентативной выборке методом анкетирования. В исследовании приняли участие школьники ($n=744$) 34 дневных общеобразовательных школ из 5 городов и 10 сельских районов юга Тюменской области и их родители ($n=677$), а также проведено анкетирование учащихся и студентов очной формы обучения – 27 групп из 16 учебных заведений начального, среднего и высшего профессионального образования юга Тюменской области ($n=623$). Выборка вероятностная, гнездовая. Статистическая ошибка выборки не превышает 4%.

Материалы исследования статистически обработаны с применением пакета прикладных программ Statistica (StatSoft Inc., США, версия 8.0), IBM SPSS Statistics 22. Проверку статистических гипотез о нормальном распределении признаков проводили с использованием критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Достоверность различий непараметрических данных количественных показателей оценивали по критериям Манна–Уитни и Вилкоксона, качественных – с использованием критерия χ^2 . Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Анализ уровня потребления пищевых продуктов населением Тюменской области в 2005 и 2016 гг. выявил положительную динамику по некоторым позициям (рис. 1).



Рис. 1. Уровень потребления пищевых продуктов в Тюменской области в 2005 и 2016 гг., по официальным данным Тюменьстата

В частности, наблюдается увеличение потребления на душу населения рыбы и рыбопродуктов (с 23,8 кг в 2005 г. до 33,1 кг в 2016 г. при рекомендуемом размере потребления 22 кг), что является положительным моментом для получения полиненасыщенных жирных кислот, профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Однако отсутствует градация на морскую и речную рыбу, что не позволяет оценить эту тенденцию как профилактику ИДЗ. Положительным является тренд на увеличение потребления овощей и бахчевых (с 85 до 107,6 кг при рекомендуемом размере потребления 140 кг), а также фруктов и ягод (с 43,6 до 77,6 кг при рекомендуемом размере потребления 100 кг), но при этом пока не достигаются целевые показатели потребления. Эти результаты сопоставимы с данными Росстата для населения России [18–20]. Удалось достичь оптимального уровня потребления яиц (со 188 до 261 шт. при рекомендуемом размере потребления 260 шт.), молока и молочных продуктов (с 234 до 312,5 кг при рекомендуемом размере потребления 325 кг), что вносит положительный вклад в здоровое питание.

За 100% принят рекомендуемый уровень потребления пищевых продуктов [13].

Остается высоким потребление мяса и мясопродуктов (124,4 кг при рекомендуемом размере потребления 73 кг), однако в свете последних рекомендаций по сбалансированному питанию с целью предотвращения развития атеросклероза и ряда онкологических заболеваний рекомендовано сократить потребление красного мяса до 2 раз в неделю, объединение мяса и мясопродуктов в одну позицию также не позволяет оценить вклад готовых переработанных изделий (колбасы, сосиски и т.д.) как источника избыточного поступления соли и скрытых жиров, которые придают отрицательный рейтинг этому показателю.

В то же время увеличилось потребление хлеба и хлебных продуктов (со 112 до 124,7 кг при рекомендуемом размере потребления 96 кг), а также сахара (с 27,6 до 41,8 кг при норме 24 кг), что, в свою очередь, может стать причиной ожирения, являющегося фактором риска развития сахарного диабета типа 2.

Таким образом, в настоящее время питание жителей Тюменской области не является сбалансированным по продуктовому набору и, следовательно, по макронутриентам [12, 18, 19].

Если рассматривать структуру питания с позиций профилактики микронутриентной недостаточности, в частности йодного дефицита, лидерами по содержанию йода являются морепродукты, морская рыба, морская капуста и т.д. (табл. 1) [21, 22].

Таблица 1. Концентрация йода в морепродуктах* ($M \pm SD$)

Пищевой продукт	Содержание йода, в мкг в 100 г
<i>Ракообразные</i>	
Омар, приготовленный	185±44
Синий краб, приготовленный	38±12
Креветки, приготовленные	24±8
<i>Моллюски</i>	
Устрица, приготовленная	109±26
Моллюски, консервированные	66±9
<i>Рыба (сырая)</i>	
Пикша	227±88
Треска	94±36
Тунец	18±6
Лосось	14±3
Камбала	12
Океанский окунь	11±1

Примечание. * – приведены данные по результатам определения содержания йода в морепродуктах, проведенного в рамках Национальной программы анализа пищевых продуктов и пищевых веществ Министерства сельского хозяйства США [21].

Однако проведенный нами анализ социологического исследования среди студентов, школьников и их родителей показал, что ежедневно потребляют продукты, богатые йодом, только 1–4% населения (рис. 2). Таким образом, говорить о массовой профилактике ИДЗ путем потребления йодсодержащих продуктов не приходится.

В связи с тем, что содержание йода в остальных продуктах ежедневного рациона недостаточное, на сегодняшний день невозможно обеспечить адекватное

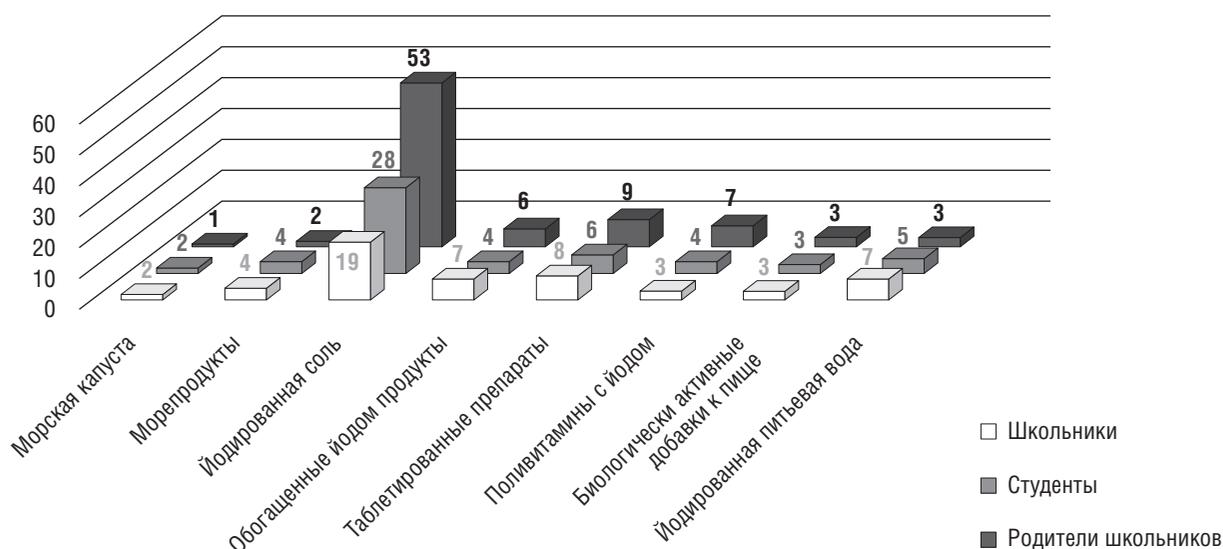


Рис. 2. Ежедневное потребление йодсодержащих продуктов (в % числа респондентов, вопрос предусматривал выбор любого числа ответов)

поступление йода только за счет питания. По данным И.И. Дедова (2006) [9], в среднем потребление йода с рационом населением России составляет 40–80 мкг/сут, что в 2–3 раза ниже установленных нормативов (табл. 2).

Наиболее сложной задачей при реализации программы профилактики ЙДЗ является необходимость регулярного (ежедневного) поступления йода в организм человека в рекомендованных количествах. Во всем мире используется массовая профилактика, охватывающая все население и обеспечивающая оптимальный уровень потребления (150–250 мкг йода/сут), реализуемая двумя путями: 1) через обогащение йодом пищевой поваренной соли; 2) используя обогащенные йодом пищевые продукты (молоко, хлебобулочные изделия и др.) [6, 7, 23, 24]. В качестве средства массовой профилактики выбрана соль, обогащенная йодом производственным путем, в соответствии с национальными стандартами, как наиболее оптимальный продукт (табл. 3).

Данный вид профилактики проводится путем реализации через торговые сети населению йодирован-

ной соли и использования ее в пищевой промышленности и животноводстве. На начало 2013 г. более чем в 96 государствах мира действовали законодательные и нормативные акты по обязательному йодированию соли. В некоторых странах сохраняется добровольное йодирование соли для розничной торговли и/или промышленной переработки пищевой продукции. При этом в ряде развитых стран (США, Швейцария, Германия),

Таблица 2. Рекомендуемые нормы суточного потребления йода, мкг/сут

Группа	Рекомендуемое потребление йода	
	ВОЗ [9, 10, 12]	РФ (МР 2.3.1.2432-08)
Дети дошкольного возраста (от 0 до 59 мес)	90	60–100
Дети школьного возраста (от 6 до 12 лет)	120	100–120
Дети старше 12 лет и взрослые	150	130–150
Беременные	250	150–220
Кормящие женщины	250	290

Таблица 3. Преимущества использования йодированной соли при массовой профилактике йододефицитных заболеваний

Показатель	Преимущества йодированной соли
Уровень потребления	Употребление всеми категориями населения всех возрастов
Сезонность	Употребление в одинаковом количестве в течение года (не зависит от времени года)
Стоимость	Это дешевый продукт, доступный всем слоям населения
Передозировка	Исключена
Противопоказания	Нет
Технологии йодирования	Легко реализуемы на производстве, методики отработаны
Органолептические свойства	Не влияет на цвет, запах, вкус продукта
Контроль качества	Легко осуществим на всех этапах: производства, поставок, торговли и потребления

несмотря на формально добровольный характер йодирования, практически вся соль (70–90%) поступает потребителям в йодированной форме [6, 23–25].

Международный опыт, подтвержденный в десятках государств, в том числе в ряде стран СНГ, показывает, что решение проблемы дефицита йода в популяции возможно только при массовой йодной профилактике через всеобщее обязательное йодирование пищевой соли, закрепленной на законодательном уровне. Действующая в Российской Федерации нормативно-правовая база не предусматривает обязательного йодирования пищевой соли и, соответственно, обязательного потребления йодированной соли в питании [9, 10].

Тюменская область является регионом с природно обусловленным йодным дефицитом, на территории которой с 1997 г. принята и реализуется программа профилактики ЙДЗ в соответствии с постановлением главного государственного санитарного врача по Тюменской области от 15.09.1997 № 17 «О профилактике йододефицитных состояний» и распоряжением губернатора Тюменской области от 30.10.1997 № 694-р «О профилактике йододефицитных состояний». В качестве носителя йода выбрана йодированная соль как самый эффективный и недорогой способ профилактики. В регионе создана система медико-биологического и социально-гигиенического мониторинга, на регулярной основе проводится оценка эффективности профилактических программ, анализ факторов, влияющих на их результаты.

В рамках проведения федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга организована система контроля за использованием йодированной соли:

- контроль за насыщением потребительского рынка области йодированной солью, наличием ее в предприятиях оптовой и розничной торговли;
- мониторинг качества йодированной соли, реализуемой и потребляемой населением;
- контроль за обеспеченностью йодированной солью социальных, образовательных, медицинских организаций, летних оздоровительных учреждений;
- внедрение технологий по производству обогащенных продуктов на предприятиях пищевой промышленности Тюменской области, в частности по использованию йодированной соли на предприятиях по производству хлеба и хлебобулочных изделий;
- проведение широкой разъяснительной работы среди населения с привлечением средств массовой информации о мерах личной профилактики ЙДЗ и необходимости использования в питании йодированной соли;
- проведение общественной профилактики ЙДЗ с включением вопросов о необходимости постоянного и широкого использования йодированной соли в программы санитарно-гигиенического обучения декретированных групп населения, школ здоровья, школ молодой матери, центров здоровья и др.

На протяжении всего периода проведения программы профилактики ЙДЗ организованы лабораторные ис-

следования йодированной соли на количественное содержание йода, которые показали значимое снижение неудовлетворительных проб: с 3% в 2010 г. до 0,17% в 2016 г.; в 2017 г. из 534 исследованных проб йодированной соли неудовлетворительных не обнаружено. В области достигнуто 100% обеспечение йодированной солью детских, лечебных и оздоровительных учреждений. Однако доля йодированной соли ежегодно составляет 40–43% от общего количества соли, реализованной населению, что, несомненно, меньше для обеспечения реализации 90% использования в домохозяйствах.

За 20-летний период осуществления профилактики ЙДЗ в регионе по результатам медико-биологического мониторинга достигнуты положительные результаты: уже через 3 года медиана йодурии у детей препубертатного возраста возросла до 125 мкг/л [17] при целевых значениях ВОЗ 100 мкг/л. Частота зоба значительно снизилась с 85% в 1994 г. до 6,8% в 2016 г. ($p=0,001$) [17] (пороговый уровень, рекомендованный ВОЗ, составляет менее 5%, чтобы считать территорию йоднасыщенной), также значительно снизилась частота неонатальной гипертиреотропиемии с 44,3% в 1994 г. до 3,9% в 2017 г. ($p=0,001$) (ВОЗ определяет цель – менее 3%). Таким образом, ситуация в регионе значительно улучшилась, однако большинство показателей не достигают значений, рекомендованных ВОЗ, характерных для йоднасыщенных территорий, что демонстрирует недостаточную эффективность добровольной системы профилактики. Результаты социально-гигиенического мониторинга также свидетельствуют о недостаточной эффективности этой системы: только 53% семей регулярно используют йодированную соль в домашнем питании (см. рис. 2), в то время как целевым показателем является доля семей более 90%. Это обусловлено тем, что добровольная система предусматривает право выбора соли и принятие решения в каждой семье, зависящее от информированности о проблеме йодного дефицита и методах его профилактики. Таким образом, для получения стабильного результата необходимо объяснить каждому жителю страны, что потребление йодированной соли полезно для их здоровья и здоровья детей. В этом случае только личный выбор пищевых продуктов и/или средств профилактики ЙДЗ определяет степень защищенности человека (и членов его семьи) от последствий йодного дефицита и в целом приводит к результатам на уровне популяции.

Кроме того, ВОЗ в 2014 г. акцентировала внимание мирового сообщества на актуальности сокращения потребления натрия. Соль является основным источником натрия, а повышенное потребление натрия связано с гипертонией и повышенным риском развития заболеваний сердца и инсульта. По оценке ВОЗ, большинство людей потребляют избыточное количество соли – в среднем 9–12 г в день или примерно в 2 раза больше рекомендуемого уровня потребления, что, в свою очередь, влияет на развитие сердечно-сосудистых заболеваний, являющихся одной из основных причин смертности в мире. По оценке ВОЗ, в любом воз-

расте риск смерти от высокого артериального давления в странах с низким и средним уровнем дохода выше более чем в 2 раза, чем в странах с высоким уровнем дохода [26].

В ноябре 2014 г. был опубликован очередной документ ВОЗ «Обогащение пищевой соли йодом для профилактики заболеваний, вызванных дефицитом йода», в основу которого легли результаты обзора, включающего анализ многочисленных исследований (2 рандомизированных контролируемых исследования, 6 нерандомизированных контролируемых исследований, 3 исследования со смешанным дизайном, 42 множественных поперечных, 16 когортных и 20 экспериментальных) [27, 28]. В нем говорится, что вся пищевая соль, используемая в домохозяйствах и пищевой промышленности, должна быть обогащена йодом как наилучший метод профилактики ИДЗ [27, 28]. Подробно представлены все преимущества йодированной соли. В соответствии с глобальной стратегией ВОЗ по профилактике неинфекционных заболеваний, согласно которой необходимо снизить количество потребляемой поваренной соли менее 5 г/сут, были опубликованы новые данные по концентрации йода при обогащении пищевой соли, которая может регулироваться в зависимости от норм потребления соли и суточной потребности 150 мкг йода, с учетом 30 % потери йода во время хранения и кулинарной обработки [28].

В настоящее время в России йодированную соль производят по ГОСТ 51574–2000, в котором предусмотрен норматив содержания йода в соответствии с современными международными требованиями ВОЗ – 40 ± 15 мг в 1 кг соли, обеспечивающими поступление с 5 г соли рекомендуемой суточной нормы йода 150 мкг.

Таким образом, с учетом сокращения потребления соли до 5 г/сут, согласно рекомендациям ВОЗ 2014 г., необходимая доза йода составляет 40 мг на 1 кг соли, что соответствует действующему в нашей стране ГОСТ 51574-2000 и не требует пересмотра.

В современных условиях городской житель более половины суточной нормы соли получает вне дома, питаясь на предприятиях общественного питания, а также с готовыми пищевыми продуктами и блюдами (хлебобулочные изделия, сыр, колбасы и т.д.). Одним из направлений профилактики заболеваний, связанных с дефицитом макро- и микронутриентов, является обогащение пищевых продуктов массового потребления витаминами и микронутриентами. Приоритетное направление в данной деятельности – обогащение хлеба и хлебобулочных изделий как продуктов повседневного спроса, являющихся в этом отношении оптимальным средством для достижения данных целей [29]. Таким образом, в связи с трендами современного общества питания вне дома появляется возможность регулировать поступление микронутриентов с обогащенным общественным питанием. В Тюменской области обогащенные хлебобулочные изделия включены в ежедневное меню школьных столовых.

Расширяется ассортимент выпускаемых и используемых обогащенных продуктов в организованном питании. В регионе во всех муниципальных образованиях налажено производство выпуска обогащенных хлебобулочных изделий. В рамках санитарно-гигиенического мониторинга организован лабораторный контроль за качеством обогащенной продукции с 2013 г., по результатам которого неудовлетворительных проб витаминизированных и обогащенных продуктов за 2017 г. не выявлено.

Использование в питании обогащенных микронутриентами продуктов (в частности йодом) является перспективным в профилактике ИДЗ в территориях с отсутствующим законом о всеобщем йодировании поваренной соли, что подтверждено опытом многих стран, решивших проблему йодного дефицита [28–30].

Принятие закона, регламентирующего постоянное использование йодированной соли при производстве массовых сортов хлеба не только для школьного питания, но и для всего населения страны, а также других обогащенных продуктов в необходимых объемах, решит проблемы йодного дефицита и будет способствовать выполнению распоряжения Правительства РФ от 25.10.2010 № 1873-р «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г.».

Заключение

Таким образом, политика и стратегия профилактики йодного дефицита и сокращения потребления натрия должны создавать условия, обеспечивающие населению беспрепятственный доступ к пищевым продуктам, включая соль с низким содержанием натрия и достаточным содержанием йода. Улучшение диетических привычек является общественной, а также индивидуальной ответственностью, требующей многофакторного и культурно-значимого подхода.

К числу основных стратегий профилактики ИДЗ и снижения потребления соли относятся:

- правительственная политика, включающая соответствующее налогово-бюджетное регулирование деятельности производителей продуктов питания, ориентированных на производство здоровой пищи, а также стимулирование предприятий розничной торговли, обеспечивающих население здоровыми продуктами питания и йодированной пищевой поваренной солью;
- работа с представителями розничной торговли для повышения доступности продуктов с низким содержанием натрия, а также йодированной соли с низким содержанием натрия;
- информирование потребителей и расширение прав и возможностей населения посредством социального маркетинга для повышения осведомленности о необходимости сокращения потребления соли;

- создание благоприятных условий для приоритетного выбора йодированной соли с низким содержанием натрия в питании различных групп посредством локальных межведомственных мер политики и поощрения здорового питания, например в учебных заведениях;
- мониторинг потребления соли населением, ее качества и доступности, источников йода в рационе,

а также оценка знаний и поведения различных групп населения в профилактике йодного дефицита.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Сведения об авторах

Суплотова Людмила Александровна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая курсом эндокринологии кафедры терапии Института непрерывного профессионального развития ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, главный эндокринолог Тюменской области

E-mail: suplotovala@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9253-8075>

Макарова Ольга Борисовна – кандидат медицинских наук, доцент курса эндокринологии кафедры терапии Института непрерывного профессионального развития ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

E-mail: dr.makarova@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0003-4663-0289>

Шарухо Галина Васильевна – доктор медицинских наук, руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тюменской области, профессор кафедры гигиены, экологии и эпидемиологии ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

E-mail: nadzor72@tyumen-service.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0772-8224>

Ковальжина Лариса Сергеевна – кандидат социологических наук, доцент кафедры «Менеджмент в отраслях топливно-энергетического комплекса» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

E-mail: kls77@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1650-1243>

Литература

1. Тель Л.З., Даленов Е.Д., Абдулдаева А.А., Коман И.Э. Нутрициология. М.: Литтерра, 2016. 544 с.
2. Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. ВОЗ, 2013. 108 с. URL: www.who.int/nmh/publications/en/
3. Политическая декларация совещания высокого уровня Генеральной Ассамблеи по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними. Принята резолюцией 66/2 Генеральной Ассамблеи от 19 сентября 2011 года. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/diseases_politdecl.shtml. (дата посещения: 28.08.2018)
4. Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания: доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. 89 с.
5. Тутельян В.А. Химический состав и калорийности российских продуктов питания: справочник. М.: ДеЛи плюс, 2012. 284 с.
6. Sustaining IDD programs in Eastern Europe // IDD Newslett. 2016. Vol. 44, N 4. P. 14–15.
7. World Health Organization/UNICEF/International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. Global prevalence of iodine deficiency disorders. Micronutrient Deficiency Information System Working Paper No.1. Geneva: WHO, 1993.
8. Velasco I., Bath S.C., Rayman M.P. Iodine as essential nutrient during the first 1000 days of life // Nutrients. 2018. Vol. 10, N 3. P. 290. doi: 10.3390/nu10030290.
9. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Трошина Е.А. и др. Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России: национальный доклад. М., 2006. 124 с.
10. Платонова Н.М. Йодный дефицит: современное состояние проблемы // Клини. и Экспер. тиреологическая. 2015. Т. 11, № 1. С. 12–21. doi: 10.14341/ket2015112-21.
11. Zimmermann M.B., Gizak M., Abbott K. et al. Iodine deficiency in pregnant women in Europe // Lancet Diabetes Endocrinol. 2015. Vol. 3, N 9. P. 672–674. doi: 10.1016/s2213-8587(15)00263-6.
12. World Health Organization. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers. 3rd ed. Geneva, 2007. 98 p.
13. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. Утверждены приказом Минздрава России от 19.08.2016 № 614.
14. Жминченко В.М., Гаппаров М.Г. Современные тенденции исследований в нутрициологии и гигиене питания // Вопр. питания. 2015. № 1. С. 4–14.
15. Методы изучения йододефицитных заболеваний и мониторинг их устранения. Руководство для менеджеров программ. 2-е изд. ВОЗ, 2003 / под ред. Г.А. Герасимова. М., 2003.
16. ЮНИСЕФ; Глобальная сеть по йоду. Рекомендации по мониторингу программ йодирования соли и оценке статуса йодной обеспеченности населения (русскоязычная версия) // Клини. и Экспер. тиреологическая. 2018. Т. 14, № 2. С. 100–112. doi: 10.14341/ket9734.
17. Суплотова Л.А., Макарова О.Б., Ковальжина Л.С., Шарухо Г.В. Профилактика йодного дефицита в Тюменской области: успех или неудача? // Клини. и Экспер. тиреологическая. 2015. Т. 11, № 3. С. 39–46. doi: 10.14341/ket2015339-46.
18. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В. и др. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможность

- ее коррекции. Состояние проблемы // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 4. С. 113–124.
19. Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Богданова О.Г. Особенности фактического питания взрослого населения Республики Бурятия в современных условиях // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 3. С. 30–35.
 20. Евстратова В.С., Раджабканиев Р.М., Ханферьян Р.А. Структура потребления макронутриентов населением различных регионов Российской Федерации // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 2. С. 34–38.
 21. Pehrsson P.R., Patterson K.Y., Spungen J.H., Wirtz M.S., Andrews K.W., Dwyer J.T. et al. Iodine in food- and dietary supplement-composition databases // *Am. J. Clin. Nutr.* 2016. Vol. 104, suppl. P. 868S–876S. doi: 10.3945/ajcn.115.110064.
 22. Ershow A.G., Skeaff S.A., Merkel J.M., Pehrsson P.R. Development of databases on iodine in foods and dietary supplements // *Nutrients*. 2018. Vol. 10, N 1. doi: 10.3390/nu10010100.
 23. Герасимов Г.А., van der Haar F., Lazarus J.H. Обзор возможных стратегий профилактики йодного дефицита в странах Юго-Восточной Европы и Центральной Азии: 2009–2016 // *Клин. и экспер. тиреодология*. 2017. Т. 13, № 4. С. 16–22. doi: 10.14341/ket9531.
 24. Hutchings N., Gerasimov G. Salt iodization in Armenia: a model for sustained success // *IDD Newslett.* 2017. Vol. 45, N 4. P. 2–4.
 25. Dasgupta P.K., Liu Y., Dyke J.V. Iodine nutrition: iodine content of iodized salt in the United States // *Environ. Sci. Technol.* 2008. Vol. 42, N 4. P. 1315–1323. doi: 10.1021/es0719071.
 26. World Health Organization: Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health. Geneva, 2014.
 27. WHO. Guideline: fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders. Geneva : World Health Organization, 2014.
 28. Герасимов Г.А. О рекомендациях ВОЗ «Обогащение пищевой соли йодом для профилактики заболеваний, вызванных дефицитом йода» // *Клин. и экспер. тиреодология*. 2014. Т. 10. № 4. С. 5–8. doi: 10.14341/ket201445-8.
 29. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных микроэлементами пищевых продуктов и йодирования соли // *Микроэлементы в медицине*. 2015. Т. 16, № 4. С. 3–20. URL: http://journal.microelements.ru/viwe.php?menu_id=71[http://journal.microelements.ru/microelements_of_midicine/20154/16\(4\)_2015_3-20.pdf](http://journal.microelements.ru/microelements_of_midicine/20154/16(4)_2015_3-20.pdf). (дата обращения: 31.08.2018)
 30. Taylor P.N., Okosieme O.E., Dayan C.M., Lazarus J.H. Therapy of endocrine disease: impact of iodine supplementation in mild-to-moderate iodine deficiency: systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Endocrinol.* 2014. Vol. 170, N 1. P. R1–R15. doi: 10.1530/eje-13-0651.

References

1. Tel L.Z., Dalenov E.D., Abduldaeva A.A., Koman I.E. Nutrition. Moscow: Litterra, 2017: 544 p. (in Russian)
2. Global action plan for the prevention and control of NCDs 2013–2020. WHO, 2013. URL: www.who.int/nmh/publications/en/
3. Political Declaration of the High-level Meeting of the General Assembly on the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases. Adopted by General Assembly resolution 66/2 of September 19, 2011. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/diseases_politdecl.shtml.
4. State policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition: Report. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2015: 89 p. (in Russian)
5. Tutelian V.A. Chemical composition and caloric content of Russian food: Handbook. Moscow: DeLi Plus, 2012: 284 p. (in Russian)
6. Sustaining IDD programs in Eastern Europe. *IDD Newslett.* 2016; 44 (4): 14–5.
7. World Health Organization/UNICEF/International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. Global prevalence of iodine deficiency disorders. Micronutrient Deficiency Information System Working Paper No.1. Geneva: WHO, 1993.
8. Velasco I., Bath S.C., Rayman M.P. Iodine as essential nutrient during the first 1000 days of life. *Nutrients*. 2018; 10 (3): 290. doi: 10.3390/nu10030290.
9. Dedov I.I., Melnichenko G.A., Troshina E.A., et al. Iodine deficiency – a threat to the health and development of Russia's children: National report. Moscow, 2006: 124 p. (in Russian)
10. Platonova N.M. Iodine deficiency: the current state of the problem. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2015; 11 (1): 12–21. doi: 10.14341/ket2015112-21. (in Russian)
11. Zimmermann M.B., Gizak M., Abbott K., et al. Iodine deficiency in pregnant women in Europe. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2015; 3 (9): 672–4. doi: 10.1016/s2213-8587(15)00263-6.
12. World Health Organization. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers. 3rd ed. Geneva, 2007: 98 p.
13. Recommendations on rational norms of consumption food products that meet modern requirements of healthy nutrition. Approved by the order Ministry of Health of the Russian Federation No. 614 on 19 Aug 2016. (in Russian)
14. Zhminchenko V.M., Gapparov M.M.G. Modern trends of research in nutritiology and nutrition hygiene. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2015; 84 (1): 4–14. (in Russian)
15. Gerasimov G.A. (ed.) Methods of studying iodine deficiency diseases and monitoring their elimination. A guide for program managers. 2nd ed. WHO, 2003. Moscow, 2003. (in Russian)
16. UNICEF; IGN. Guidance on the monitoring of salt iodization programmes and determination of population iodine status: Russian language version. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2018; 14 (2): 100–12. doi: 10.14341/ket9734. (in Russian)
17. Suplotova L.A., Makarova O.B., Kovalzhina L.S., Sharuko G.V. Prevention of iodine deficiency in the Tyumen region: success or failure? *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2015; 11 (3): 39–46. doi: 10.14341/ket2015339-46. (in Russian)
18. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 113–24. (in Russian)
19. Tarmaeva I.Yu., Efimova N.V., Khanhareev S.S., Bogdanova O.G. Features of actual nutrition of the adult population in Republic of Buryatia in modern conditions. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (3): 30–5. (in Russian)
20. Evstratova V.S., Radzhabkаниев Р.М., Ханферьян Р.А. The structure of macronutrient consumption by the population of various regions of Russian Federation. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (2): 34–8. (in Russian)
21. Pehrsson P.R., Patterson K.Y., Spungen J.H., Wirtz M.S., Andrews K.W., Dwyer J.T., et al. Iodine in food- and dietary supplement-composition databases. *Am J Clin Nutr.* 2016; 104 (suppl): 868S–76S. doi: 10.3945/ajcn.115.110064.
22. Ershow A.G., Skeaff S.A., Merkel J.M., Pehrsson P.R. Development of databases on iodine in foods and dietary supplements. *Nutrients*. 2018; 10 (1). doi: 10.3390/nu10010100.
23. Gerasimov G.A., van der Haar F., Lazarus J.H. Overview of iodine deficiency prevention strategies in the South-Eastern Europe and Central Asia Region: 2009–2016. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2017; 13 (4): 16–22. doi: 10.14341/ket9531. (in Russian)

24. Hutchings N., Gerasimov G. Salt iodization in Armenia: a model for sustained success. *IDD Newslett.* 2017; 45 (4): 2–4.
25. Dasgupta P.K., Liu Y., Dyke J.V. Iodine nutrition: iodine content of iodized salt in the United States. *Environ Sci Technol.* 2008; 42 (4): 1315–23. doi: 10.1021/es0719071.
26. World Health Organization: Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health. Geneva, 2014.
27. WHO. Guideline: fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders. Geneva: World Health Organization, 2014.
28. Gerasimov G.A. On WHO Guidelines «Fortification of food grade salt». *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireodologiya [Clinical and Experimental Thyroidology]*. 2014; 10 (4): 5–8. doi: 10.14341/ket201445-8. (in Russian)
29. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V. The analysis of domestic and international policy of food fortification with trace elements and salt iodization. *Mikroelementi v meditsine [Trace Elements in Medicine]*. 2015; 16 (4): 3–20. URL: [http://journal.microelements.ru/viwe.php?menu_id=71http://journal.microelements.ru/microelements_of_midicine/20154/16\(4\)_2015_3-20.pdf](http://journal.microelements.ru/viwe.php?menu_id=71http://journal.microelements.ru/microelements_of_midicine/20154/16(4)_2015_3-20.pdf). (date of access August 31, 2018) (in Russian)
30. Taylor P.N., Okosieme O.E., Dayan C.M., Lazarus J.H. Therapy of endocrine disease: impact of iodine supplementation in mild-to-moderate iodine deficiency: systematic review and meta-analysis. *Eur J Endocrinol.* 2014; 170 (1): R1–R15. doi: 10.1530/eje-13-0651.

Для корреспонденции

Ларионова Татьяна Кенсариновна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая службой обеспечения качества исследований ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Адрес: 450106, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Степана Кувькина, д. 94

Телефон: (347) 255-19-12

E-mail: larionovatk@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9754-4685>

Ларионова Т.К., Бакиров А.Б., Даукаев Р.А.

Оценка питания взрослого населения Республики Башкортостан

Nutritional assessment
of adult population
of the Republic
of Bashkortostan

Larionova T.K., Bakirov A.B.,
Daukaev R.A.

ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины
труда и экологии человека»
Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology

Изучено фактическое питание взрослого населения Республики Башкортостан с использованием гигиенических и статистических методов. На основе данных о характере и количестве потребленной пищи по таблицам химического состава российских пищевых продуктов и результатам собственных исследований рассчитывали пищевую и энергетическую ценность фактически потребляемого среднесуточного продуктового набора. По данным Федеральной службы государственной статистики и проведенного анкетирования 1328 человек (821 женщина и 507 мужчин в возрасте 25–60 лет I–III групп физической активности, проживающих в городской и сельской местности), установлено, что структура потребления основных видов пищевых продуктов (мясо, яйца, картофель, масло растительное, сахар, хлеб) в среднем по России и в Республике Башкортостан достаточно близка, хотя и имеет некоторые особенности. Жители республики потребляют почти на 30% больше молочной продукции, в 2 раза меньше рыбы, на 28% – овощей и фруктов. При сравнении с рациональными нормами в настоящее время не отвечает современным требованиям здорового питания уровень потребления жителями Республики Башкортостан хлеба и сахара (выше в 1,4 и 1,9 раза соответственно), овощей, фруктов, рыбы и морепродуктов (ниже в 2,2; 2,6 и 2,7 раза соответственно), что в значительной мере отражается на химическом составе рациона. Энергетическая ценность рационов питания формируется на 45% за счет потребления углеводов, на 42% – за счет жира, на 13% – белка и составляет в среднем у мужчин 2812 ± 196 ккал/сут, у женщин – 2229 ± 136 ккал/сут. Несбалансированность рациона по основным продуктам приводит к дефициту в рационе кальция (на 25%), магния (15%) и витаминов: С (50%), В₁ (30%), В₂ (45%), А (28%). В качестве неотложных мер по улучшению питания населения республики может быть рекомендовано создание постоянно действующей информационно-пропагандистской системы по разъяснению населению основных принципов здорового питания, профилактике алиментарно-зависимых заболеваний, а также увеличение про-

Для цитирования: Ларионова Т.К., Бакиров А.Б., Даукаев Р.А. Оценка питания взрослого населения Республики Башкортостан // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 37–42. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10051.

Статья поступила в редакцию 19.04.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Larionova T.K., Bakirov A.B., Daukaev R.A. Nutritional assessment of adult population of the Republic of Bashkortostan. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 37–42. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10051. (in Russian)

Received 19.04.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

изводства продуктов массового потребления со сниженным содержанием жира, сахара, соли, в том числе обогащенных витаминами и минеральными веществами.

Ключевые слова: питание населения, пищевая и энергетическая ценность рациона, витамины, макроэлементы, микроэлементы

The study of actual nutrition of Bashkortostan adult population using hygienic and statistical methods has been carried out. Based on the data on the nature and quantity of food consumed, the tables of the chemical composition of Russian food products and the results of own findings, nutritional and energy value of the average food set have been calculated. According to the data of the Federal State Statistics Service and the questionnaire survey of 1328 people (821 women and 507 men aged 25–60 years 1–3 groups of physical activity living in urban and rural areas), the consumption structure of basic food products (meat, eggs, potatoes, vegetable oil, sugar, bread) has been shown to be similar on the average in Russia and in the Republic of Bashkortostan, despite the presence of some specific peculiarities. People living in Bashkortostan consumed 30% more dairy products, while fish consumption was 2 fold lower, intake of fruits and vegetables reduced by 28%. When compared with rational norms, consumption of bread and sugar by Bashkortostan residents was 1.4 and 1.9 fold higher, vegetables, fruits, fish and seafood – was lower in 2.2, 2.6 and 2.7 fold, respectively, which largely affects the chemical composition of the diet. The energy value of food consumed was composed of 45% of carbohydrates, 42% of fats, 13% of proteins and consisted on average of 2812 ± 196 kcal per day among men, and 2229 ± 136 kcal among women. The diet imbalance of basic foods lead to a deficiency in the diet of calcium (by 25%), magnesium (15%) and vitamin C (50%), B₁ (30%), B₂ (45%), A (28%). The creation of a permanent information and promotion system to educate the population about the basic principles of healthy eating, the prevention of alimentary-dependent diseases, an increase in the production of food products of mass consumption with reduced fat, sugar, salt, enriched with vitamins and minerals can be recommended as an urgent measure for improving nutrition of the Republican population.

Keywords: nutrition, food and energy value of the diet, vitamins, minerals, trace elements

Здоровое питание как значимая составляющая здорового образа жизни является одним из важнейших инструментов сохранения здоровья человека, его работоспособности и продления жизни [1, 2]. Главный принцип здорового питания – разнообразный сбалансированный рацион из основных групп пищевых продуктов: мяса, молока, рыбы, хлебобулочных изделий, овощей и картофеля. Для российской популяции характерна явная несбалансированность питания, выражающаяся в избыточном потреблении животных жиров, простых углеводов, продуктов с большим содержанием холестерина, а также в недостаточном потреблении овощей и фруктов [3–5]. Это обуславливает высокий риск развития алиментарно-зависимых заболеваний, таких как ожирение, атеросклероз, гипертоническая болезнь, сахарный диабет. Известно, что ожирением страдают около 30% россиян, в Республике Башкортостан (РБ) за 5 лет заболеваемость по данной нозологии увеличилась в 3,3 раза [6]. Основной причиной развития таких заболеваний служит повышенная калорийность рациона, превышающая уровень энергозатрат [7, 8]. По данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по РБ, за 2011–2015 гг. заболеваемость населения инсулинозависимым сахарным диабетом выросла в 1,6 раза, темп прироста заболеваемости злокачественными новообразованиями составил 12,9%, сердечно-сосудистыми заболеваниями – 32,5% [6].

Цель настоящего исследования – гигиеническая оценка фактического питания взрослого населения РБ для разработки рекомендаций по рационализации питания.

Материал и методы

Исследования по изучению фактического питания, энергетической и пищевой ценности рациона питания населения РБ проводили в 2005–2007 и 2014–2016 гг. В работе использованы различные методы изучения питания: бюджетный, анкетно-опросный, ведения записей в течение 7 дней (дневник питания), метод 24-часового (суточного) воспроизведения питания. Пищевой статус оценивали по величине индекса массы тела (индекс Кетле), который рассчитывали по данным антропометрических измерений.

Всего в программе приняли участие 1328 человек в возрасте от 25 до 60 лет (I–III группы физической активности), из них 821 женщина и 507 мужчин, проживающих в 5 сельских районах РБ (Архангельский, Чишминский, Учалинский, Ишимбайский, Уфимский) и городах Уфа, Салават, Ишимбай. От всех респондентов получено письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

На основе данных о характере и количестве потребленной пищи по таблицам химического состава российских пищевых продуктов и результатам собственных

исследований состава рациона рассчитывали пищевую и энергетическую ценность фактически потребляемого среднесуточного продуктового набора, обеспеченность этого набора макро- и микронутриентами. В расчетах использована база данных элементного состава продуктов, служащих основой пищевого рациона жителей РБ, как ввозимых, так и произведенных на территории республики. Элементный состав определяли на спектрометрах атомно-абсорбционных AA 240 FS с пламенным атомизатором и AA 240 Z с электротермическим атомизатором («Varian, Inc. Scientific Instruments», Австралия). В работе использованы данные мониторинга качества и безопасности пищевой продукции (элементный состав пищевых продуктов), проводимого ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Республики Башкортостан».

Статистическая обработка результатов выполнена с учетом нормального распределения, которое проверяли с помощью теста Шапиро–Уилка. При нормальном распределении рассчитано среднее значение (M); стандартное отклонение (δ); ошибка репрезентативности (m), для оценки межгрупповых различий применен критерий Стьюдента (t). Различия между группами считали статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

По данным Федеральной службы государственной статистики, структура потребления основных видов пищевых продуктов (мясо, яйца, картофель, масло растительное, сахар, хлеб) в среднем по России и в РБ достаточно близка, хотя и различается по некоторым видам продуктов. В частности, жители республики потребляют почти на 30% больше молочной продукции, однако потребление рыбы ниже в 2 раза, овощей и фруктов – в среднем на 28% (табл. 1).

По официальным данным, структура питания населения РБ в целом характеризуется удовлетворительным

уровнем потребления мяса и мясопродуктов, молочных продуктов, яиц, являющихся источником белка, незаменимых аминокислот, микроэлементов. При этом в 1,5 раза выше рекомендуемого уровня потребление сахара, в 1,6 раза ниже – овощей, в 2,3 раза – фруктов, в 3 раза – рыбы и морепродуктов.

Результаты проведенного опроса населения несколько различаются с официальными статистическими данными, во-первых, в связи с анкетированием только взрослого трудоспособного населения, во-вторых, с использованием жителями сельской местности части продуктов (например, картофеля) в личном подсобном хозяйстве для кормления животных. В табл. 2 представлены результаты исследования фактического питания населения анкетно-опросным методом, проведенного как в сельских районах, так и в городах республики.

Опрос населения проведен с интервалом в 10 лет, структура питания за этот период несколько изменилась: увеличилось потребление мясной и молочной продукции, картофеля, овощей и фруктов. Количество сахара, яиц, масла растительного, хлебных продуктов в суточном наборе осталось такое же, рыбы и морепродуктов стало значительно меньше. При сравнении с рациональными нормами в настоящее время не отвечает современным требованиям здорового питания уровень потребления жителями РБ хлеба и сахара (выше в 1,4 и 1,9 раза соответственно), овощей, фруктов, рыбы и морепродуктов (ниже в 2,2; 2,6 и 2,7 раза соответственно), что в значительной мере отражается на химическом составе рациона (табл. 3).

Энергетическая ценность рационов питания формируется на 45% за счет потребления углеводов, 42% – за счет жира, 13% – белка и составляет в среднем у мужчин 2812 ккал/сут, у женщин – 2229 ккал/сут.

Особенностью рациона жителей РБ является высокий уровень потребления мясной и молочной продукции, который обеспечивает поступление в организм до-

Таблица 1. Потребление основных пищевых продуктов населением Российской Федерации и Республики Башкортостан в 2005–2016 гг. согласно данным статистики (на душу населения в год, кг)

Пищевые продукты	Потребление основных продуктов питания, кг/год								рекомендуемый уровень потребления*
	по статистическим данным (все население)								
	2005 г.		2010 г.		2015 г.		2016 г.		
	РФ	РБ	РФ	РБ	РФ	РБ	РФ	РБ	
Мясо и мясопродукты	55	63	69	77	73	75	68	70	73
Молоко и молочные продукты	234	362	247	332	239	316	236	313	325
Яйца, шт.	251	273	269	306	269	278	273	299	260
Рыба и рыбопродукты	13	5	16	9	16,5	–	–	–	22
Сахар	38	42	39	35	39	38	39	37	24
Масло растительное	12,2	10	13	13,2	13,6	15,1	13,7	15	12
Картофель	109	153	104	87	112	113	113	112	90
Овощи и бахчевые	87	61	101	72	111	87	112	88	140
Фрукты и ягоды	46	31	58	40	61	43	62	43	100
Хлебные продукты	121	121	120	126	118	120	117	119	96

Примечание. * – по Рекомендациям по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (утверждены приказом Минздрава России от 19.08.2016 № 614).

Таблица 2. Потребление основных пищевых продуктов населением Республики Башкортостан, по данным анкетно-опросного метода, г/сут ($M \pm \sigma$)

Пищевые продукты	2005 г. (n=593)	2015 г. (n=735)
Мясо и мясопродукты	148±29	181±47
Молоко и молочные продукты	732±65	879±73
Яйца, шт.	0,6±0,2	0,7±0,2
Рыба и рыбопродукты	33±6	22±4
Сахар	129±41	123±34
Масло растительное	44±8	39±8
Картофель	132±29	162±28
Овощи и бахчевые	110±21	175±34
Фрукты и ягоды	52±11	104±19 *
Хлебные продукты	353±73	373±69

Примечание. * – статистически значимые различия ($p < 0,05$).

Таблица 3. Среднее суточное потребление основных пищевых веществ жителями Республики Башкортостан, по данным исследований 2005 и 2015 гг. ($M \pm \sigma$)

Нутриент	Фактическое потребление	
	мужчины	женщины
Энергия, ккал	2812±196	2229±136*
Белок, г	98,7±9,8	73,1±9,2
Жиры, г	139,2±19,1	95,4±16,7
Углеводы, г	291,2±31,8	269,4±29,7
Пищевые волокна, г	16,0±4,3	15,7±3,9
<i>Витамины</i>		
С, мг	55,8±8,1	39,9±4,3
В ₁ , мг	1,2±0,3	0,9±0,2
В ₂ , мг	1,2±0,3	0,8±0,3
Ниацин, мг	35,0±7,2	25,9±6,5
А, мкг (рет. экв.)	700±195	600±158
Е, мг (ток. экв.)	20,5±1,9	16,2±3,5
<i>Минеральные вещества</i>		
Кальций, мг	843±145	665±61
Фосфор, мг	1181±207	854±197
Магний, мг	345±39	347±29
Калий, мг	3072±185	2124±75*
Железо, мг	17,0±3,5	11,4±1,5
Цинк, мг	12,3±1,6	8,6±0,9*
Медь, мг	1,07±0,11	0,82±0,12
Марганец, мг	4,1±0,7	3,2±0,3
Хром, мкг	200±29	162±31

Примечание. * – статистически значимые различия ($p < 0,05$).

статочного количества белка животного происхождения. Содержание жира в рационе жителей республики выше рекомендуемого уровня, основным его источником являются масло растительное и сливочное, суммарно обеспечивая более половины всего поступающего жира: с мясными продуктами поступает 32%, с молочными – 9%.

Количество углеводов находится на нижней границе нормы физиологических потребностей как у женщин,

так и у мужчин. Углеводы в рационе жителей представлены в основном группой зерновых продуктов (21,9% от общей калорийности рациона), на сахар и кондитерские изделия приходится 14,9% (выше рекомендуемых величин почти на 5%), на картофель – 2,4%, остальные группы продуктов обеспечивают в сумме около 2,1% углеводной калорийности рациона.

В связи с недостаточным содержанием в рационе сырых овощей и фруктов (менее 50% от рекомендуемых величин) поступление в организм пищевых волокон составляет 79% от нормы. Этим же можно объяснить низкий уровень витамина С и провитамина А. Витамины группы В также поступают в недостаточном количестве (В₁ – 70%, В₂ – 56%). Употребление растительных масел обеспечивает оптимальный уровень поступления витамина Е.

Интерес к оценке обеспеченности организма макро- и микроэлементами достаточно высок, во-первых, в связи с тем, что минеральные вещества наряду с витаминами являются жизненно важными компонентами пищи, во-вторых, в связи с тем, что в настоящее время установлены связи дисэлементозов с развитием различных заболеваний. Элементный состав рационов питания оценивали с учетом реального содержания металлов в основных пищевых продуктах (табл. 4).

Пищевые продукты обеспечивают только около 75% суточной потребности организма в кальции и около 85% в магнии. Медь, цинк, фосфор, калий содержатся в суточном рационе жителей в достаточном количестве, железом обеспечен рацион мужчин, фактическое потребление этого элемента женским населением составляет 63% от нормы. Рацион жителей республики обеспечивает 160–205% адекватной величины потребления марганца, 300–400% – хрома.

Проведенные исследования позволили выявить связь между распространенностью алиментарно-зависимых заболеваний и нарушением питания взрослого населения республики. Фактическое питание значительной доли взрослого городского и сельского населения РБ характеризуется нерациональностью (до 40% опрошенных), несбалансированностью по основным пищевым веществам, смещением в сторону высокого потребления жира, повышенным потреблением холестерина (до 29%), а также добавленных сахаров и сниженным потреблением пищевых волокон и витаминов (до 90%). Указанные факторы являются причиной развития болезней органов кровообращения, заболеваний обмена веществ и ожирения, для которых выявлена повышенная распространенность и тенденция к росту частоты у взрослого населения республики. Ожирение, в свою очередь, является фактором риска развития метаболического синдрома и сахарного диабета.

Анализ состояния питания по величине индекса массы тела (выборочные исследования) показал, что пищевой статус соответствует рекомендуемым параметрам у 60,1% мужчин и 41,3% женщин. Доля лиц с недостаточным и пониженным питанием составляет 6,0%, все остальные обследованные (36,3% мужчин и 51,1%

Таблица 4. Элементный состав пищевых продуктов, служащих основой рациона жителей Республики Башкортостан

Пищевые продукты	Содержание элемента, мг/кг						
	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	Mn	Cr
Мясо и мясопродукты (n=276)	0,58 ±0,21	39,5 ±4,7	26,4 ±6,9	26,57 ±3,86	184,1 ±22,0	0,055 ±0,015	0,023 ±0,009
Птица (куры) (n=174)	0,67 ±0,15	9,44 ±1,65	8,29 ±1,69	78,4 ±12,9	174,0 ±14,5	0,078 ±0,006	0,010 ±0,004
Молоко и кисломолочные продукты (n=227)	0,035 ±0,008	3,30 ±0,29	1,02 ±0,31	1116 ±88	70,9 ±8,0	0,025 ±0,011	0,0001 ±0,0001
Масло сливочное (n=51)	0,098 ±0,011	1,42 ±0,02	1,04 ±0,35	90,5 ±9,8	9,23 ±2,15	0,012 ±0,007	0,004 ±0,002
Хлебные продукты, (n=273)	0,84 ±0,19	6,24 ±0,48	15,9 ±4,9	625 ±47	168 ±37	2,25 ±0,52	0,009 ±0,001
Масло подсолнечное (n=43)	0,027 ±0,013	0,19 ±0,09	0,52 ±0,24	14,0 ±7,7	1,59 ±0,22	0,006 ±0,001	0,004 ±0,002
Картофель (n=129)	0,41 ±0,21	2,25 ±0,67	4,30 ±0,55	98,5 ±15,2	205,4 ±32,7	0,825 ±0,098	0,423 ±0,096
Морковь (n=97)	0,29 ±0,08	1,14 ±0,19	5,22 ±1,68	300,7 ±41,5	157,5 ±8,75	0,531 ±0,133	0,135 ±0,019
Свекла (n=64)	0,59 ±0,19	2,21 ±0,39	5,25 ±0,67	179,4 ±20,7	166,7 ±34,4	3,181 ±1,688	0,393 ±0,054

женщин) имеют повышенное питание либо различной степени ожирение, что ниже их распространенности в целом по России. Среди женщин процент лиц с ожирением достоверно выше, чем среди мужчин ($p < 0,01$) (табл. 5).

Одним из основных выявленных факторов роста распространенности ишемической болезни сердца, болезней желчного пузыря и желчевыводящих путей является, по нашему мнению, увеличение за наблюдаемый период потребления населением РБ животных жиров, содержащих холестерин и насыщенные жирные кислоты, добавленного сахара на фоне низкого уровня поступления пищевых волокон, а также дефицит в рационах витаминов А, С, В₁ и В₂ [9].

Выводы

1. Питание населения РБ не сбалансировано по основному набору рекомендуемых продуктов (низкий уровень потребления овощей, фруктов, рыбы) и не соответствует принципам здорового питания.

2. Выявлены ведущие факторы риска развития алиментарно-зависимых заболеваний для населения РБ, выражающиеся в несоответствии соотношений основных пищевых веществ и норм физиологических потребностей в макро- и микроэлементах, витаминах, пищевых волокнах.

3. В качестве неотложных мер по улучшению питания населения республики может быть рекомендовано созда-

Таблица 5. Оценка состояния питания жителей Республики Башкортостан по величине индекса массы тела, %

Статус питания	Мужчины	Женщины	Всего	
	(n=507)	(n=821)	(n=1328)	
Недостаточное	0,9	2,9	2,1	
Пониженное	2,7	4,7	3,9	
Нормальное	60,1	41,3	48,5	
Повышенное	29,1	28,8	28,9	
Ожирение	7,2	22,3*	16,5	
В том числе:	I степени	4,0	9,6	7,5
	II степени	3,2	7,2	5,6
	III степени	–	4,9	3,0
	IV степени	–	0,6	0,4

* – $p < 0,01$ по сравнению с мужчинами.

ние постоянно действующей информационно-пропагандистской системы по разъяснению населению основных принципов здорового питания, профилактике алиментарно-зависимых заболеваний, а также увеличение производства продуктов массового потребления со сниженным содержанием жира, сахара и соли, в том числе обогащенных витаминами и минеральными веществами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Сведения об авторах

Ларионова Татьяна Кенсариновна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая службой обеспечения качества исследований ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»
E-mail: laronovatk@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9754-4685>

Бакиров Ахат Бариевич – академик Академии наук Республики Башкортостан, доктор медицинских наук, профессор, директор ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

E-mail: fbun@uniimtech.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6593-2704>

Даукаев Рустем Аскарлович – кандидат биологических наук, заведующий химико-аналитическим отделом ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

E-mail: ufa.lab@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0421-4802>

Литература

1. Погожева А.В., Батурин А.К. Правильное питание – фундамент здоровья и долголетия // Пищ. пром-сть. 2017. № 10. С. 58–61.
2. Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Пескова Е.В., Кешабянц Э.Э., Михайлов Н.А. Потребление йогурта и снижение риска избыточной массы тела и ожирения среди взрослого населения // Вопр. питания. 2016. Т. 85, № 1. С. 56–65.
3. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Хотимченко С.А. Нормативная база оценки качества и безопасности пищи // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. 2017. № 2. С. 74–120.
4. Кузьмина М.В., Ефимова Н.В., Зайкова З.А. Питание как фактор, влияющий на здоровье населения Иркутской области // Анализ риска здоровью. 2013. № 3. С. 48–54.
5. Кондрашова Е.А., Захарова Е.В., Сизикова И.Л. Актуальные проблемы питания населения трудоспособного возраста с низкими энерготратами в Республике Хакасия // Вопр. питания. 2016. Т. 85, № 2. С. 100–101.
6. Материалы к государственному докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году» по Республике Башкортостан. Уфа : Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Башкортостан, Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Башкортостан», 2017. 288 с.
7. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // Вопр. питания. 2017. Т. 86, № 4. С. 113–124.
8. Такаев Р.М., Кондрова Н.С., Байкина И.М., Ларионова Т.К. Алиментарно зависимые нарушения здоровья среди взрослого населения Республики Башкортостан и их связь с особенностями питания // Медицина труда и пром. экол. 2008. № 5. С. 15–19.
9. Бекетова Н.А., Погожева А.В., Коденцова В.М., Вржесинская О.А. и др. Витаминный статус жителей Московского региона // Вопр. питания. 2016. Т. 85, №4. С. 61–67.

References

1. Pogozheva A.V., Baturin A.K. Proper nutrition is the foundation of health and longevity. Pischevaya promyshlennost' [Food Industry]. 2017; (10): 58–61. (in Russian)
2. Martinchik A.N., Baturin A.K., Peskova E.V., Keshabyants E.E., Mikhailov N.A. Yogurt consumption and reduced risk of overweight and obesity in adults. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2016; 85 (1): 56–65. (in Russian)
3. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Normative base for food quality and safety assessment. Russian Journal of Rehabilitation Medicine. 2017; (2): 74–120. (in Russian)
4. Kuzmina M.V., Yefimova N.V., Zaykova Z.A. Nutrition as a factor influencing human health in the Irkutsk region. Analiz riska zdorov'yu [Health Risks Analysis]. 2013; (3): 48–54. (in Russian)
5. Kondrashova E.A., Zakharova E.V., Sizikova L.I. Actual problems of nutrition of population of working age with low energotrade in the Republic of Khakassia. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2016; 85 (2): 100–1. (in Russian)
6. Materials to the state report «On the state sanitary-and-epidemiologic wellbeing of the population in the Russian Federation in 2016» in the Republic of Bashkortostan. Ufa: Department of Rospotrebnadzor in the Republic of Bashkortostan, Hygienic and Epidemiological Center in Republic of Bashkortostan, 2017: 288 p. (in Russian)
7. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2017; 86 (4): 113–24. (in Russian)
8. Takayev R.M., Kondrova N.S., Baykina I.M., Larionova T.K. Alimentation dependent health disorders among adult population of Bashkortostan Republic and their relation with nutritional traits. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Occupational Medicine and Industrial Ecology]. 2008; (5): 15–9. (in Russian)
9. Beketova N.A., Pogozheva A.V., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., et al. Vitamin a status of residents of the Moscow region. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2016; 85 (4): 61–7. (in Russian)

Для корреспонденции

Раджабкადиев Раджабкaди Магомедович – младший научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-45

E-mail: 89886999800@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3634-8354>

Раджабкaдиев Р.М., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Выборная К.В., Кoденцова В.М.

Содержание некоторых витаминов в рационе питания и сыворотке крови высококвалифицированных спортсменов

Content of some vitamins in food ration and blood serum of professional athletes

Radzhabkadiyev R.M.,
Vrzhessinskaya O.A., Beketova N.A.,
Kosheleva O.V., Vybornaya K.V.,
Kodentsova V.M.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва
Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
Moscow

Цель работы – сравнительная оценка витаминного статуса спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта (бобслей, разгоняющие и пилоты, биатлон, пулевая стрельба) по данным фактического питания и концентрации в сыворотке крови. Были обследованы 159 высококвалифицированных спортсменов обоего пола в предсоревновательный период спортивной деятельности. Средний возраст обследованных 92 мужчин составил 21,7±0,8 года, 67 женщин – 23,1±1,5 года. В статье представлены результаты оценки содержания витаминов в базовом и дополнительном рационах питания и в сыворотке крови спортсменов. Базовый рацион питания спортсменов не обеспечивает адекватного поступления витаминов. Наиболее выраженный дефицит витаминов группы В и витамина С в базовом рационе отмечался у спортсменок, специализирующихся в бобслее. Только дополнительное потребление спортсменами специализированных продуктов для питания спортсменов и биологически активных добавок (БАД) к пище, содержащих в весомых дозах витамины, позволяет повысить их поступление с рационом до рекомендуемого уровня. При этом поступление витаминов В₁ и В₂ с обогащающими добавками у ряда спортсменов превысило верхний допустимый уровень их потребления в составе БАД к пище и специализированных пищевых продуктов. Дефицит витаминов С и А по их концентрации в сыворотке спортсменов не обнаруживался. В то же время у 15,6 и 35,9% лиц концентрация этих витаминов превысила верхнюю границу нормы. У 17,4% обследованных был выявлен недостаток витамина Е, при этом повышенная концентрация токоферолов обнаруживалась у 22,3%

Для цитирования: Раджабкaдиев Р.М., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Выборная К.В., Кoденцова В.М. Содержание некоторых витаминов в рационе питания и сыворотке крови высококвалифицированных спортсменов // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 43–51. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10052.

Статья поступила в редакцию 20.06.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Radzhabkadiyev R.M., Vrzhessinskaya O.A., Beketova N.A., Kosheleva O.V., Vybornaya K.V., Kodentsova V.M. Content of some vitamins in food ration and blood serum of professional athletes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (5): 43–51. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10052. (in Russian)

Received 20.06.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

спортсменов. Сопоставление данных о потреблении витаминов с рационом и их уровне в крови позволило сделать вывод о том, что для поддержания оптимального витаминного статуса организма спортсмена нецелесообразно использовать избыточные дозы витаминов С (>200–300 мг/сут), Е (>50 мг ТЭ/сут) и А (>1500 мкг РЭ/сут). Обсуждается необоснованность использования в питании спортсменов чрезмерно высоких доз витаминов-антиоксидантов, повышенная потребность в витаминах группы В и целесообразность соотношения потребности в витаминах группы В с энергетической ценностью рациона.

Ключевые слова: витамины, потребление, витаминный статус, сыворотка крови, спортсмены, дозы витаминов

The aim of the work was a comparative assessment of the vitamin status of athletes specializing in different kinds of sport (bobsleigh, dispersing and pilots, biathlon, bullet shooting) by means of assessment of the content of vitamins in the diet and blood serum. 159 professional athletes of both sexes were examined in the pre-competition period of the sport activity. The average age of the surveyed 92 men was 21.7±0.8 years, 67 women – 23.1±1.5 years. The actual data on the intake of some vitamins with the main and supplementary diet and blood serum have been presented. The basic diet of athletes didn't provide adequate intake of vitamins. The most pronounced deficiency of B vitamins and vitamin C in the basic diet was noted in female athletes specializing in bobsleigh. Only enrichment of the basic diet with specialized products for athletes and dietary supplements allowed sportsmen to increase their vitamin intake to the recommended level. At the same time, the intake of vitamins B1 and B2 with supplements in a number of athletes exceeded the upper permissible level of their consumption as a part of dietary supplements and specialized food products. The concentration of vitamins C and A in the blood serum exceeded the lower limit of the physiological norm in all athletes. At the same time, in 15.6 and 35.9% of the people, the concentration of these vitamins exceeded the upper limit of the norm. In 17.4% of the examined, a lack of vitamin E was identified, while an increased tocopherol concentration was found in 22.3% of athletes. Comparison of data on the vitamin consumption and their blood level made it possible to conclude that, in order to maintain the optimal vitamin status of the athlete's organism, it was inappropriate to use excessive doses of vitamins C (>200–300 mg/day), E (>50 mg TE/day) and A (>1500 µg RE/day). The unreasonableness of using in the diet of athletes excessively high doses of antioxidant vitamins, the increased demand for B vitamins and the appropriateness of correlating the need for B vitamins with the energy value of the diet have been discussed.

Keywords: vitamins, consumption, vitamin status, blood serum, athletes, doses of vitamins

Адекватное потребление витаминов является значимым фактором, обеспечивающим высокую физическую и умственную работоспособность и влияющим на результативность спортсменов [1–3]. Не вызывает сомнений, что потребление макро- и микронутриентов у спортсменов высших достижений должно полностью обеспечивать их потребности [4, 5]. При этом зачастую рационы, используемые спортсменами в процессе тренировочной деятельности и соревнований, а также в период восстановления, не могут в полной мере покрыть потребности организма в энергии, макро- и микронутриентах [6–9]. Так, у элитных баскетболистов отмечали недостаточное потребление витамина А и ниацина с рационом [10]. В связи с этим применение витаминно-минеральных комплексов (ВМК) наряду с потреблением специализированных продуктов для питания спортсменов позволяет восполнить рацион по недостающим макро- и микронутриентам и становится необходимым условием для профилактики и коррекции нарушений, вызванных интенсивными физическими нагрузками [11–13]. Однако рекомендации по потреблению ВМК

должны быть обоснованными, индивидуализированными и учитывать специфику видов спорта и интенсивности физической нагрузки [14].

Цель исследования – сравнительная оценка витаминного статуса спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта, по данным фактического питания и концентрации в сыворотке крови.

Материал и методы

Исследование статуса питания спортсменов проводили в предсоревновательный период их спортивной деятельности на базе Центра лечебной физкультуры и спортивной медицины ФМБА России во время планового обследования. Все обследуемые дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Протокол исследования был одобрен комитетом по этике ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Всего были обследованы 159 высококвалифицированных спортсменов (кандидаты в мастера спорта, мас-

тера спорта, мастера спорта международного класса) обоего пола (92 мужчины и 67 женщин). Возраст мужчин составил $21,7 \pm 0,8$ года (18–29 лет), женщин – $23,1 \pm 1,5$ года (19–33 года). В зависимости от вида спорта и спортивной специализации обследуемые спортсмены были разделены на следующие группы:

- бобслеисты различной специализации – 35 мужчин (разгоняющие – 28, пилоты – 7) и 24 женщины (18 и 6 соответственно);
- биатлонисты ($n=30$; 20 мужчин и 10 женщин);
- спортсмены, занимающиеся пулевой стрельбой ($n=70$; 37 мужчин и 33 женщины).

Питание спортсменов на тренировочной базе было организовано по типу самообслуживания. Дополнительно к базовому рациону биатлонисты получали специализированные пищевые продукты для питания спортсменов и/или биологически активные добавки (БАД) к пище, представляющие собой преимущественно ВМК.

Сбор данных по фактическому питанию обследуемых проводили анкетно-опросным методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания. Потребление пищевых веществ и энергии рассчитывали с использованием данных химического состава продуктов и блюд [15]. Фактически потребленные блюда и порции продуктов с базовым рационом определяли с использованием «Альбома порций продуктов и блюд» [16]. Выборочно у 113 спортсменов оценивали обеспеченность витаминами по их содержанию в сыворотке крови, взятой натощак. Концентрацию витаминов А (ретинола) и Е (токоферолов) определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии [17], витамина С (аскорбиновой кислоты) – визуальным титрованием по Тильмансу [18], витамина В₂ (рибофлавина) – флуориметрически с использованием рибофлавинсвязывающего апобелка [19].

Результаты исследований представляли в виде средней и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Достоверность различий средних величин оценивали с ис-

пользованием *t*-критерия Стьюдента для независимых переменных. Уровень значимости считали достоверным при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Потребление витаминов за счет базового рациона спортсменов

Среднее содержание витаминов в базовом рационе питания спортсменов представлено в табл. 1, относительно количество лиц с уровнем потребления, не достигающим рекомендуемых норм, – в табл. 2.

При расчете потребления витамина А учитывали его поступление в виде ретинола с продуктами животного происхождения и β-каротина с продуктами растительного происхождения (коэффициент пересчета 1:12 [20]). В фоновом рационе питания имел место дефицит витамина А во всех группах спортсменов вне зависимости от вида спорта и пола обследованных. Ближе всего к рекомендуемому уровню находилось потребление ретинола и β-каротина у мужчин бобслеистов (разгоняющие). Недостаток витамина А в их рационе обнаружился в 1,9–3,3 раза реже. В рационе всех обследованных женщин содержание каротина не достигало адекватного уровня.

Потребление витамина Е в среднем по группе приближалось к рекомендуемому уровню или соответствовало ему у мужчин, занимающихся пулевой стрельбой и бобслеем (см. табл. 1). У остальных спортсменов среднее поступление этого витамина с рационом не достигало рекомендуемых норм. Так, у 75% биатлонистов, 38–50% мужчин и 67–75% женщин – спортсменов других специализаций потребление витамина Е не достигало рекомендуемого уровня.

В среднем по группе потребление витаминов группы В и витамина С у бобслеистов мужчин примерно соответствовало рекомендуемым уровням, тогда как у остальных групп спортсменов было недостаточным.

Таблица 1. Содержание витаминов в базовых рационах спортсменов ($M \pm m$)

Витамин	Пулевая стрельба		Биатлон		Бобслеи (разгоняющие)		Бобслеи (пилоты)		Нормы физиологических потребностей [21]
	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.	
Витамин А (ретинол), мкг	289±25	293±29	315±88	370±47	535±85* °	265±52	335±91	221±38	–
Каротин, мг	3,6±0,6	2,1±0,3	1,9±0,4*	2,2±0,5	4,7±1,2°	1,2±0,3*	2,1±0,4*	1,1±0,3*	5
Витамин А, мкг РЭ	591±50	465±41°	473±88	558±72#	889±154°	366±57	441±116	313±33	900
Витамин Е, мг ТЭ	14,5±0,9	12,5±1,03	12,3±1,7	11,1±1,7	16,6±1,8	11,5±3,2	19,1±4,5	11,1±2,1	15
Витамин В ₁ , мг	1,21±0,07	0,93±0,07	1,10±0,15	0,89±0,15	1,67±0,14* °	0,86±0,17	1,44±0,19	0,79±0,10	1,5
Витамин В ₂ , мг	1,55±0,09	1,49±0,08	1,29±0,19	1,54±0,15	2,06±0,19* °	1,19±0,19	1,76±0,20	0,98±0,07	1,8
Витамин РР, мг	18,6±1,2	14,4±1,0	16,5±1,7	13,2±2,1	23,9±2,08* °	12,3±1,6	20,6±1,9	11,1±1,1	20
Витамин С, мг	88,1±11,4	69,1±8,1	75,1±20,7	105,5±31,4	119,6±27,7	53,2±13,5	95,7±20,1	40,6±7,8	90

Примечание. Статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя: * – спортсменов, занимающихся пулевой стрельбой; ° – биатлонистов; # – разгоняющих в бобслее.

Таблица 2. Частота встречаемости (в %) сниженного потребления витаминов в составе базового рациона

Микронутриент	Пулевая стрельба		Биатлон		Бобслей (разгоняющие)		Бобслей (пилоты)	
	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.
Потребление в абсолютных величинах^а								
Витамин С	68,5	75,8	73,3	58,3	60,0	80,0	50,0	100,0
β-Каротин	71,4	100,0	87,5	100,0	75,0	100,0	100,0	100,0
Витамин А	57,1	75,8	75,0	66,6	30,0*°	100,0	62,5	100,0
Витамин Е	42,8	72,4	75,0*	75,0	50,0	70,0	38,0#	67,0
Витамин В ₁	82,8	93,1	75,0	83,3	40,0*°	90,0	62,5	100,0
Витамин В ₂	62,8	68,9	81,2	66,6	45,0°	90,0	50,0	100,0
Витамин РР	68,5	82,7	68,7	83,3	40,0	90,0	62,5	100,0
Витамин	норма	Потребление в единицах, соотношенных с калорийностью рациона^б						
Витамин В ₁	0,41–0,56 ²	45,7–84,8		39,1–78,2		32,4–64,8		
Витамин В ₂	0,56 ² –0,68 ³	28,2–63		39,1–56,5		56,7–73,0		
Витамин РР	6,41 ⁻³	41,3		43,4		56,7		

Примечание. Статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от частоты среди: * – спортсменов, занимающихся пулевой стрельбой; ° – биатлонистов; # – разгоняющих в бобслее; ^а – расчет исходя из абсолютных величин суточного потребления; ^б – исходя из величин, соотношенных с энергетической ценностью рациона [22–24]; ¹ – нормы EFSA [22]; ² – норма для северных стран [24]; ³ – норма для Франции [23].

Таблица 3. Потребление микронутриентов за счет базового рациона и специализированных пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище, в % от рекомендуемой нормы потребления

Витамин		Пулевая стрельба		Биатлон		Бобслей (разгоняющие)		Бобслей (пилоты)	
		базовый	дополнительный	базовый	дополнительный	базовый	дополнительный	базовый	дополнительный
Витамин А	М	65,7	27,8	52,5	113,0	98,7	16,5	48,9	16,4
	Ж	54,6	27,8	62,0	113,0	40,6	16,5	24,0	11,3
Каротин	М	72,4	30,0	37,8	110,0	94,0	0	41,2	0
	Ж	41,2	30,0	44,8	110,0	24,0	0	22,0	0
Витамин Е	М	96,7	83,4	82,0	133,4	110,6	379,4	127,3	379,4
	Ж	83,3	53,4	74,0	113,4	76,7	379,4	74,0	379,4
Витамин В ₁	М	80,0	1113,4	73,3	1498,7	106,7	178,7	96,0	1787,6
	Ж	60,0	1160,0	59,4	1499,0	53,4	178,7	60,0	178,7
Витамин В ₂	М	86,1	883,4	66,7	366,7	111,1	283,4	97,8	283,3
	Ж	82,8	900,0	85,5	366,7	66,1	283,4	54,5	283,4
Витамин РР	М	93,0	54,0	82,5	54,0	119,5	193,0	103,0	193,0
	Ж	72,0	103,5	66,0	54,0	61,5	193,0	55,5	193,0
Витамин С	М	97,9	750,0	83,4	467,1	132,9	196,7	106,3	196,7
	Ж	76,8	778,9	117,2	467,1	59,1	196,7	45,1	196,7

Самый выраженный дефицит этих витаминов наблюдался в основном питании женщин, занятых в бобслее (см. табл. 1).

Согласно современным рекомендациям, принятым в нескольких странах, потребность в витаминах В₁, В₂ и РР выражают в расчете на калорийность рациона. Так, потребность в расчете на 10 000 кДж в витамине В₁ варьирует от 1,0 до 1,4 мг, в витамине В₂ составляет 1,4–1,7 мг, в ниацине – 16 мг [22–24]. Для дальнейшей оценки витаминной ценности рационов спортсменов было рассчитано количество поступающих с рационом витаминов на 1000 ккал. Как следует из данных табл. 2, и при такой оценке потребление витаминов у значительного количества спортсменов не достигало рекомендуемого уровня. Вместе с тем обращает

на себя внимание, что потребление витаминов группы В в расчете на энергетическую ценность рациона, не достигающее рекомендуемого уровня, среди спортсменов выявляется реже, чем при оценке по абсолютным величинам поступления с рационом.

Дополнительное потребление витаминов

В зависимости от специализации спортсмены получали дополнительно к базовому рациону различные микронутриентсодержащие специализированные пищевые продукты для питания спортсменов и/или БАД к пище. В табл. 3 представлено суммарное потребление микронутриентов за счет базового рациона и дополнительного приема микронутриентов, выраженное в % от рекомендуемой нормы потребления (РНП).

Обогащение базового рациона витамином А в составе специализированных продуктов для питания спортсменов и ВМК позволило восполнить в рационе содержание данного микронутриента у спортсменов, специализирующихся в пулевой стрельбе (мужчины), биатлоне (мужчины и женщины) и у мужчин бобслеистов (разгоняющие). В остальных группах спортсменов поступление этого витамина не достигало рекомендуемых норм.

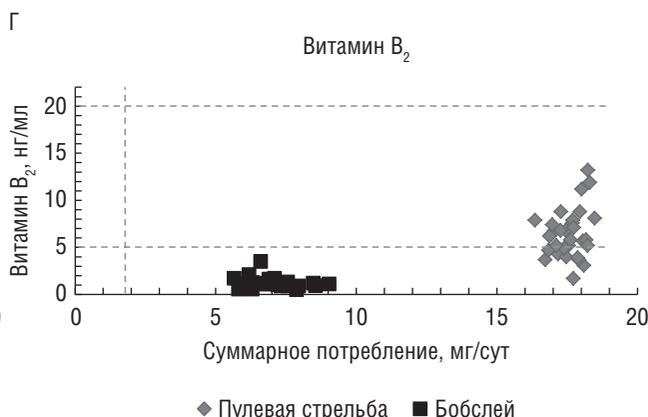
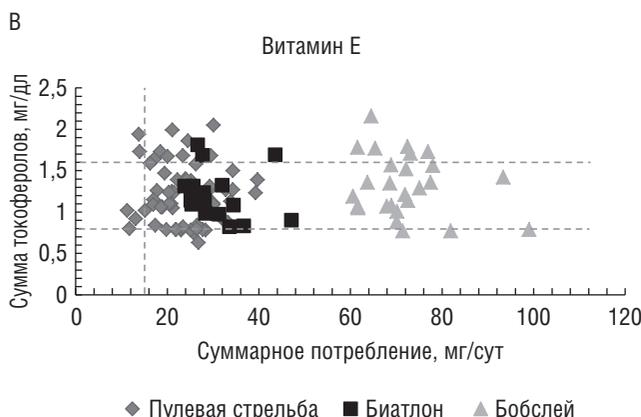
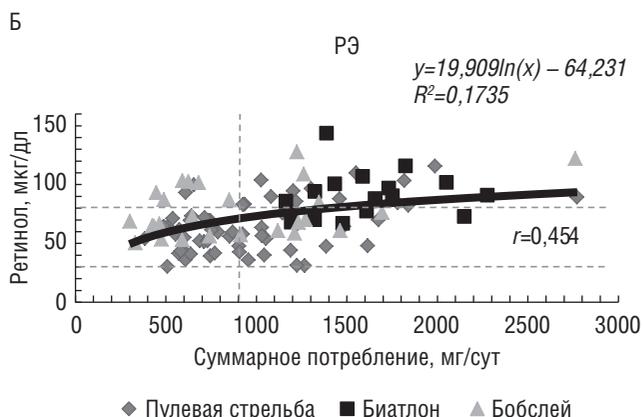
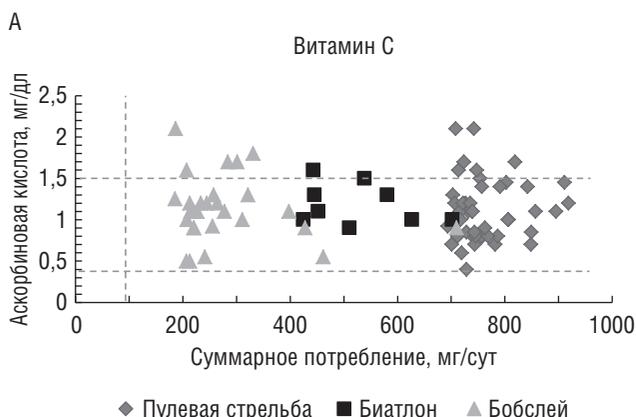
Поступление витаминов В₁ и В₂ с обогащающими добавками превысило верхний допустимый уровень их потребления в составе БАД к пище и специализированных пищевых продуктов [25]. Аналогичным образом чрезмерно высоко оказалось суммарное потребление витаминов С и Е.

Сравнение оценки обеспеченности витаминами по данным фактического питания и концентрации в крови

Определение концентрации витаминов в крови является более объективной оценкой обеспеченности организма микронутриентами. Для сравнения результатов оценки витаминного статуса по данным фактического питания и по концентрации витаминов в сыворотке крови по индивидуальным показателям каждого человека были построены зависимости между содержа-

нием этих микронутриентов в рационе и их уровнем в крови [26]. На рисунке вертикальной пунктирной линией были нанесены величины РНП, горизонтальными линиями – концентрации витамина, соответствующие нижней и верхней границе физиологической нормы. В результате такого представления полученных результатов образовались квадранты. В нижнем левом квадранте должны сгруппироваться показатели спортсменов, недостаточно обеспеченных конкретным витамином, т.е. имеющих одновременно недостаточное поступление и сниженный уровень витамина в сыворотке крови. В верхний правый квадрант попали показатели лиц, обеспеченных витамином по обоим параметрам. В остальных квадрантах оказались несовпадающие результаты. Таким образом, рисунок фактически является четырехпольной таблицей, позволяющей оценить степень совпадения результатов оценки витаминного статуса двумя способами.

Как показано на рис. А, статус витамина С у всех спортсменов оказался адекватным. Самое низкое потребление витамина С приближалось к 200 мг/сут, в результате у преобладающего большинства спортсменов концентрация аскорбиновой кислоты находилась в диапазоне нормальных физиологических значений, а у 15,6% превысила верхнюю границу физиологической



Зависимость концентрации в сыворотке крови витаминов С (А), А (Б), Е (В) и В₂ (Г) от потребления с рационом

Пунктирной вертикальной линией отмечена рекомендуемая норма потребления витамина, горизонтальными – верхняя и нижняя граница концентрации при нормальной обеспеченности организма витамином.

нормы. Вместе с тем наглядно видно, что ежедневное потребление этого витамина сверх 200 мг не отражается на его концентрации в сыворотке крови. Полученные результаты согласуются с данными литературы о том, что для достижения оптимальной концентрации аскорбиновой кислоты в плазме крови достаточно потребления 200 мг/сут витамина С [27].

В случае витамина Е имеется некоторое несоответствие между двумя способами оценки витаминного статуса. Так, у 5 (3,4%) обследованных при расчетном недостаточном потреблении витамина Е его концентрация в сыворотке крови находилась в границах нормы (см. рис. В), а у 26 (17,4%) спортсменов при высоком потреблении концентрация токоферолов в крови не достигала нижней границы нормы. Особенно заметно это у бобслеистов (у каждого 4-го обследованного). Таким образом, в 79,2% случаев оба способа оценки статуса витамина Е дали совпадающие результаты. У 22,3% обследованных уровень токоферолов превысил верхнюю границу физиологической нормы. В то же время более высокое потребление не дало никаких преимуществ по уровню этого витамина в крови бобслеистов, поскольку, как видно на рис. Б, вся совокупность данных разделилась на 2 пула. Это может объясняться, с одной стороны, неточным учетом поступления этого витамина за счет витаминсодержащих добавок. С другой стороны, высокие дозы содержащегося в этих добавках α -токоферола могут оказывать прооксидантный эффект, смещая равновесие с другими антиоксидантами, в частности с γ -токоферолом, конкурируя при абсорбции в желудочно-кишечном тракте с другими важными пищевыми веществами [28, 29]. Таким образом, потребление витамина Е в дозах, превышающих 50 мг ТЭ/сут, представляется нецелесообразным.

Обращает на себя внимание, что при низком потреблении как ретинола, так и суммарного витамина А за счет ретинола и β -каротина (коэффициент конверсии 12) концентрация ретинола в сыворотке крови всех обследованных превышала нижнюю границу нормы, лишь у 3 спортсменов этот показатель находился на маргинальном уровне (см. рис. Б), а у 35,9% лиц (в основном биатлонистов: 80,0% женщин и 84,6% мужчин) превысил верхнюю границу физиологической нормы. Скорее всего, такая картина отражает погрешности в оценке поступления этого витамина за счет базового рациона. Аналогичное несоответствие выявлялось в других исследованиях [26]. Следует отметить, что между суммарным потреблением витамина А и его содержанием в сыворотке крови спортсменов наблюдалась корреляция средней выраженности ($r=0,454$). Обращает на себя внимание, что у 2 спортсменов поступление витамина А приближается к верхнему безопасному уровню его потребления 3000 мкг РЭ/сут [30].

Данные по витамину В₂ (см. рис. Г) группируются в 2 пула. Среди обследованных бобслеистов не оказалось ни одного человека, адекватно обеспеченного этим витамином по содержанию рибофлавина в сыворотке крови, несмотря на превышающее в 2 раза и более

суммарное потребление этого витамина с рационом. Среди представителей пулевой стрельбы, вследствие еще более высокого суммарного потребления этого витамина, у 71% обследованных уровень рибофлавина находился в пределах физиологической нормы, при этом у 3 спортсменов – на оптимальном уровне (более 10 нг/мл). Обнаруженное несоответствие между высоким расчетным потреблением витамина В₂ и обеспеченностью организма этим витамином, особенно заметное у бобслеистов, могло быть в какой-то мере следствием повышенной энергетической ценности их рациона [4]. Исходя из современных представлений о том, что потребность в этом витамине зависит от калорийности рациона и составляет 1,4–1,7 мг/10 000 кДж [23, 24, 31], можно предположить, что в высокоэнергетических видах спорта при энергетической ценности рациона более 3800 ккал [4] потребность в витаминах группы В повышена.

Заключение

Таким образом, базовый рацион питания спортсменов не обеспечивает адекватного поступления витаминов. Только дополнительное потребление специализированных продуктов для питания спортсменов и БАД к пище, содержащих в весомых дозах витамины, позволяет повысить их поступление с рационом до рекомендуемого уровня. Вместе с тем следует отметить, что поступление витаминов В₁ и В₂ с ВМК у отдельных групп спортсменов превысило верхний допустимый уровень их потребления в составе БАД к пище и специализированных пищевых продуктов.

По концентрации в крови все спортсмены были адекватно обеспечены витаминами С и А. У 17,4% лиц был выявлен недостаток витамина Е. Сниженный уровень витамина В₂ обнаружился у 29% занятых в пулевой стрельбе и всех обследованных бобслеистов.

Сопоставление данных о потреблении витаминов с рационом и их уровню в крови позволило сделать вывод о том, что для поддержания оптимального витаминного статуса организма спортсмена целесообразно использовать избыточные дозы витаминов С (>200–300 мг/сут), Е (>50 мг ТЭ/сут) и А (>1500 мкг РЭ/сут). Систематическое использование чрезмерных доз витаминов в питании спортсменов не дает преимуществ для поддержания оптимального витаминного статуса, но вместе с тем может приводить к нежелательным отдаленным последствиям [32–35].

Исходя из современных рекомендаций соотносить потребность в витаминах группы В с энергетической ценностью и на основании полученных данных можно заключить, что для спортсменов высокоэнергетических видов спорта потребность в витаминах группы В повышена и требуются дополнительные исследования для ее установления.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

Раджабкадиев Раджабкади Магомедович – младший научный сотрудник лаборатории иммунологии

E-mail: 89886999800@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3634-8354>

Вржесинская Оксана Александровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: vr.oksana@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8973-8153>

Бекетова Нина Алексеевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: beketova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2810-2351>

Кошелева Ольга Васильевна – научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: kosheleva@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2391-9880>

Выборная Ксения Валерьевна – научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии

E-mail: dombim@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4010-6315>

Коденцова Вера Митрофановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: kodentsova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5288-1132>

Литература

- Богдан А.С., Еншина А.Н., Ивко Н.А. Подходы к разработке дифференцированных норм потребления витаминов спортсменами // *Вопр. питания*. 2007. Т. 76, № 4. С. 49–53.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А. Витамины как обязательный компонент сбалансированного питания спортсменов // *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. 2013. Т. 112, № 4. С. 4–10.
- Еликов А.В., Галстян А.Г. Антиоксидантный статус у спортсменов при выполнении дозированной физической нагрузки и в восстановительном периоде // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 2. С. 23–31.
- Раджабкадиев Р.М., Евстратова В.С., Солнцева Т.Н., Самойлов А.С., Дил Ф., Ханферьян Р.А. Оценка химического состава и энергетической ценности рационов питания высококвалифицированных спортсменов // *Вестн. РУДН. Сер.: Медицина*. 2018. Т. 22, № 1. С. 106–119.
- Воробьева В. М., Шатнюк Л.Н., Воробьева И.С., Михеева Г.А., Муравьева Н.Н., Зорина Е.Е. и др. Роль факторов питания при интенсивных физических нагрузках спортсменов // *Вопр. питания*. 2011. Т. 80, № 1. С. 70–77.
- Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Переверзева О.Г., Вржесинская О.А., Коденцова В.М., Ханферьян Р.А. и др. Обеспеченность витаминами-антиоксидантами спортсменов, занимающихся зимними видами спорта // *Вопр. питания*. 2013. Т. 86, № 6. С. 49–57.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Никитюк Д.Б. Обеспеченность витаминами спортсменов // *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. 2010. № 3. С. 36–43.
- Гаппаров М.М., Никитюк Д.Б., Зайнудинов З.М., Церех А.А., Чехонина Ю.Г., Голубева А.А. и др. Особенности пищевого статуса, антропометрических и клинико-биохимических показателей у профессиональных спортсменов, занимающихся различными видами спорта // *Вопр. питания*. 2011. Т. 80, № 6. С. 77–83.
- Новокшанова А.Л., Никитюк Д.Б., Поздняков А.Л. Содержание минеральных элементов в рационе студентов факультета физической культуры // *Вопр. питания*. 2013. Т. 82, № 1. С. 79–83.
- Nikić M., Pedisic Z., Satalic Z., Jakovljevic S., Venus D. Adequacy of nutrient intakes in elite junior basketball players // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2014. Vol. 24, N 5. P. 516–523. doi: 10.1123/ijsnem.2013-0186.
- Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Самойлов А.С. Микронутриенты в питании спортсменов // *Практическая медицина*. 2014. Т. 77, № 1. С. 46–49.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Мазо В.К. Витамины и окислительный стресс // *Вопр. питания*. 2013. Т. 82, № 3. С. 11–18.
- Лавриненко С.В., Выборная К.В., Кобелькова И.В., Соколов А.И., Жукова Л.А., Клочкова С.В. и др. Использование специализированных продуктов для питания спортсменов в подготовительном периоде спортивного цикла // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 4. С. 99–103.
- Выборная К.В., Азизбеян Г.А., Рожкова Е.А., Абрамова М.А., Никитюк Д.Б., Поздняков А.Л. Фактическое питание и физическое состояние спортсменов сборной России по санному спорту // *Вопр. питания*. 2011. Т. 80, № 1. С. 78–80.
- Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания : справочник. М. : Дели плюс, 2012. 283 с.
- Мартинчик А.Н., Батуринов А.К., Баева В.С. и др. Альбом порций продуктов и блюд. М. : Красный пролетарий, 1995. 64 с.
- Якушина Л.М., Бекетова Н.А., Харитончик Л.А. и др. Использование методов ВЭЖХ для определения витаминов в биологических жидкостях и пищевых продуктах // *Вопр. питания*. 1993. № 1. С. 43–47.
- Спиричев В.Б., Коденцова В.М., Вржесинская О.А. и др. Методы оценки витаминной обеспеченности населения : учебно-методическое пособие. М. : ПКЦ Альтекс, 2001. 68 с.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник В.В., Сокольников А.А., Спиричев В.Б. Выделение рибофлавина-связывающего апобелка из белка куриных яиц и его использование для определения рибофлавина в биологических образцах // *Приклад. биохим. и микробиол.* 1994. Т. 30, № 4–5. С. 603–609.
- Codex Alimentarius Commission, Joint WHO/FAO Food Standards Programme, Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses Thirty-fourth Session Bad Soden am Taunus, Germany, 3–7 December 2012. URL: ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCNFSDU/ccnfdsu34/nf34_08e.pdf.

21. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М., 2008. 50 с.
22. EFSA (European Food Safety Authority), 2017. Dietary reference values for nutrients: Summary report. EFSA Supporting Publication. 2017. Article ID e15121. 92 p. doi: 10.2903/sp.efsa.2017.e15121.
23. Updating of the PNNS guidelines: revision of the food-based dietary guidelines. ANSES opinion. Collective Expert Report. 12 December 2016. URL: <https://www.anses.fr/en/content/anses-opinion-and-report-updating-pnns-guidelines-revision-food-based-dietary-guidelines>.
24. Nordic Nutrition Recommendations 2012 Integrating nutrition and physical activity ISBN 978-92-893-2670-4 <http://dx.doi.org/10.6027/Nord2014-002> Nord 2014:002 ISSN 0903-7004 Nordic Council of Ministers 2014 Layout and ebook production: Narayana Press. URL: <https://www.norden.org/en/theme/former-themes/themes-2016/nordic-nutrition-recommendation/nordic-nutrition-recommendations-2012>. (дата обращения: 09.02.2018)
25. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) Таможенного союза ЕврАзЭС.
26. Бекетова Н.А., Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Кошелева О.В., Переверзева О.Г., Солнцева Т.Н. и др. Оценка витаминного статуса студентов московского вуза по данным о поступлении витаминов с пищей и их уровню в крови // *Вопр. питания*. 2015. Т. 84, № 5. С. 64–75.
27. Padayatty S.J., Levine M. Vitamin C physiology: the known and the unknown and Goldilocks // *Oral Dis*. 2016. Vol. 22, N 6. P. 463–493.
28. Larry A. Tucker alpha- and gamma-tocopherol and telomere length in 5768 US men and women: a NHANES study // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 6. P. 601.
29. Borel P., Preveraud D., Desmarchelier C. Bioavailability of vitamin E in humans: an update // *Nutr. Rev*. 2013. Vol. 71, N 6. P. 319–331.
30. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Committee on Food Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies of European Food Safety Authority. February 2006. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/ndatopics/docs/ndatolerableuil.pdf>.
31. Wardenaar F., Brinkmans N., Ceelen I., Van Rooij B., Mensink M., Witkamp R. et al. Micronutrient intakes in 553 Dutch elite and sub-elite athletes: prevalence of low and high intakes in users and non-users of nutritional supplements // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 2. pii: E142. doi: 10.3390/nu9020142.
32. Коденцова В.М. Градации уровней потребления витаминов: возможные риски при чрезмерном потреблении // *Вопр. питания*. 2014. Т. 83, № 3. С. 41–51.
33. Frei B., Birlouez-Aragon I., Lykkesfeldt J. Authors' perspective: what is the optimum intake of vitamin C in humans? // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2012. Vol. 52, N 9. P. 815–829.
34. Elste V., Troesch B., Eggersdorfer M., Weber P. Emerging evidence on neutrophil motility supporting its usefulness to define vitamin C intake requirements // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 5. P. 503. doi: 10.3390/nu9050503.
35. Michels A.J., Frei B. Myths, artifacts, and fatal flaws: identifying limitations and opportunities in vitamin C research // *Nutrients*. 2013. Vol. 5, N 12. P. 5161–5192. doi: 10.3390/nu5125161.

References

1. Bogdan A.S., Yenshina A.N., Ivko N.A. Approach to of the development of differentiated norms of vitamins consumption by athletes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2007; 76 (4): 49–53. (in Russian)
2. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A. Vitamins as a mandatory component of sportsmen's balanced diet. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina [Exercise Therapy and Sports Medicine]*. 2013; 112 (4): 4–10. (in Russian)
3. Yelikov A.V., Galstyan A.G. Antioxidant status of sportsmen performing measured physical loading during recreational periods. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (2): 23–31. (in Russian)
4. Radzhabadiev R.M., Evstratova V.S., Solntseva T.N., Samoilov A.S., Diel F., Khanferyan R.A. Evaluation of chemical composition and energy value of of the diets of highly skilled athletes. *Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina [Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. Series: Medicine]*. 2018; 22 (1): 106–19. (in Russian)
5. Vorobyova V.M., Shatnyuk L.N., Vorobyova I.S., Mikheeva G.A., Muravyova N.N., Zorina E.E., et al. The role of nutritional factors in intensive physical activities of sportsmen. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; 80 (1): 70–7. (in Russian)
6. Beketova N.A., Kosheleva O.V., Pereverzeva O.G., Vrzhesinskaya O.A., Kodentsova V.M., Solntseva T.N., et al. Vitamin-antioxidant sufficiency of winter sports athletes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 86 (6): 49–57. (in Russian)
7. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Nikityuk D.B. Sportsmen vitamin supply. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina [Exercise Therapy and Sports Medicine]*. 2010; (3): 36–43. (in Russian)
8. Gapparova K.M., Nikityuk N.B., Zaynutdinov Z.M., Tserekh A.A., Chekhonina Y.G., Golubeva A.A., et al. Food status peculiarities, anthropometric, clinical and biochemical indices at professional sportsmen. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; 80 (6): 77–83. (in Russian)
9. Novokshanova A.L., Nikityuk D.B., Pozdnyakov A.L. Content of mineral elements in the diet of students of physical education faculty. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 82 (1): 79–83. (in Russian)
10. Nikic M., Pedisic Z., Satalic Z., Jakovljevic S., Venus D. Adequacy of nutrient intakes in elite junior basketball players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2014; 24 (5): 516–23. doi: 10.1123/ijnsnem.2013-0186.
11. Troegubova N.A., Rylova N.V., Samoylov A.S. Micronutrients in the diet of athletes. *Prakticheskaya meditsina [Practical Medicine]*. 2014; 77 (1): 46–9. (in Russian)
12. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Mazo V.K. Vitamins and oxidative stress. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2013; 82 (3): 11–8. (in Russian)
13. Lavrinenko S.V., Vybournaya K.V., Kobelkova I.V., Sokolov A.I., Zhukova L.A., Klochkova S.V., et al. The nutrition factor is one of the most important in the achievement of high sport results and in maintaining of athlete health along with the methodological and psychological. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 99–103. (in Russian)
14. Vybournaya K.V., Azizbekyan G.A., Rozhkova E.A., Abramova M.A., Nikityuk D.B., Pozdnyakov A.L. Actual nutrition and physical state of athletes of the national sleigh team of Russia. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; 80 (1): 78–80. (in Russian)
15. Tutelyan V.A. Chemical composition and caloric content of Russian food products: Directory. Moscow: DeLi Plyus, 2012: 283 p. (in Russian)
16. Martinchik A.N., Baturin A.K., Baeva V.S. Al'bom porcij produktov i blyud. Institut pitaniya RAMN. Moscow, 1995: 64 p. (in Russian)
17. Yakushina L.M., Beketova N.A., Kharitonchik L.A. Use of HPLC methods for the determination of vitamins in biological fluids and foodstuffs. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 1993; (1): 43–7. (in Russian)
18. Spirichev V.B., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Alekseeva I.A., Beketova N.A., Isaeva V.A., et al. Methods for evaluation of vitamin status. In: *Training handbook*. Moscow: PCC Altex, 2001: 68 p. (in Russian)
19. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik V.V., Sokolnikov A.A., Spirichev V.B. Isolation of a riboflavin-binding protein from egg white and its use for riboflavin detection in biological objects. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiya [Applied Biochemistry and Microbiology]*. 1994: 30 (4–5): 603–9. (in Russian)

20. Codex Alimentarius Commission, Joint WHO/FAO Food Standards Programme, Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses Thirty-fourth Session Bad Soden am Taunus, Germany, 3–7 December 2012. URL: ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu34/nf34_08e.pdf.
21. Norms of physiological needs in energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Moscow, 2008: 50 p. (in Russian)
22. EFSA (European Food Safety Authority), 2017. Dietary reference values for nutrients: Summary report. EFSA Supporting Publication. 2017; e15121: 92 p. doi: 10.2903/sp.efsa.2017.e15121.
23. Updating of the PNNS guidelines: revision of the food-based dietary guidelines. ANSES opinion. Collective Expert Report. 12 December 2016. URL: <https://www.anses.fr/en/content/anses-opinion-and-report-updating-pnns-guidelines-revision-food-based-dietary-guidelines>.
24. Nordic Nutrition Recommendations 2012 Integrating nutrition and physical activity ISBN 978–92–893–2670–4 <http://dx.doi.org/10.6027/Nord2014-002> Nord 2014:002 ISSN 0903–7004 Nordic Council of Ministers 2014 Layout and ebook production: Narayana Press. URL: <https://www.norden.org/en/theme/former-themes/themes-2016/nordic-nutrition-recommendation/nordic-nutrition-recommendations-2012>. (date of access February 09, 2018)
25. Unified sanitary-epidemiological and hygienic requirements for goods subject to sanitary-epidemiological supervision (control) of the EurAsEC Customs Union. (in Russian)
26. Beketova N.A., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Kosheleva O.V., Pereverzeva O.G., Solntseva T.N., et al. Estimation of vitamin status of Moscow students according to data on vitamins intake and their levels in blood. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2015; 84 (5): 64–75. (in Russian)
27. Padayatty S.J., Levine M. Vitamin C physiology: the known and the unknown and Goldilocks. *Oral Dis*. 2016; 22 (6): 463–93.
28. Larry A. Tucker alpha- and gamma-tocopherol and telomere length in 5768 US men and women: a NHANES study. *Nutrients*. 2017; 9 (6): 601.
29. Borel P., Preveraud D., Desmarchelier C. Bioavailability of vitamin E in humans: an update. *Nutr Rev*. 2013; 71 (6): 319–31.
30. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Committee on Food Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies of European Food Safety Authority. February 2006. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/ndatopics/docs/ndatolerableuil.pdf>.
31. Wardenaar F., Brinkmans N., Ceelen I., Van Rooij B., Mensink M., Witkamp R., et al. Micronutrient intakes in 553 Dutch elite and sub-elite athletes: prevalence of low and high intakes in users and non-users of nutritional supplements. *Nutrients*. 2017; 9 (2). pii: E142. doi: 10.3390/nu9020142.
32. Kodentsova V.M. Gradation in the level of vitamin consumption: possible risk of excessive consumption. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; 83 (3): 41–51. (in Russian)
33. Frei B., Birlouez-Aragon I., Lykkesfeldt J. Authors' perspective: what is the optimum intake of vitamin C in humans? *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2012; 52 (9): 815–29.
34. Elste V., Troesch B., Eggersdorfer M., Weber P. Emerging evidence on neutrophil motility supporting its usefulness to define vitamin C intake requirements. *Nutrients*. 2017; 9 (5): 503. doi: 10.3390/nu9050503.
35. Michels A.J., Frei B. Myths, artifacts, and fatal flaws: identifying limitations and opportunities in vitamin C research. *Nutrients*. 2013; 5 (12): 5161–92. doi: 10.3390/nu5125161.

Для корреспонденции

Рожкова Ирина Владимировна – кандидат технических наук, заведующая центральной лабораторией микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»
 Адрес: 115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7
 Телефон: (499) 236-72-16
 E-mail: microbs@yandex.ru

Семенихина В.Ф.¹, Рожкова И.В.¹, Бегунова А.В.¹, Федорова Т.В.², Ширшова Т.И.¹

Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1 и исследование его функциональных свойств в эксперименте *in vitro* и *in vivo*

Development of biotechnology of fermented milk product with *Lactobacillus reuteri* LR1 and the evaluation of its functional property in experiment *in vitro* and *in vivo*

Semenikhina V.F.¹, Rozhkova I.V.¹, Begunova A.V.¹, Fedorova T.V.², Shirshova T.I.¹

¹ ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Москва

² Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва

¹ All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

² A.N. Bach Institute of Biochemistry, Research Center of Biotechnology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

В статье представлены данные о разработке биотехнологии кисломолочного продукта с использованием пробиотического штамма Lactobacillus reuteri LR1 в монокультуре на молоке и молоке с добавлением ростовых веществ, а также на молоке при совместном культивировании с закваской, состоящей из Lactobacillus helveticus NK1 и Streptococcus thermophilus (ХТС). Установлены биотехнологические параметры кисломолочного продукта, обеспечивающие необходимое количество клеток L. reuteri LR1: доза закваски ХТС 3–4%, доза закваски L. reuteri LR1 6%, температура сквашивания 37±1 °С, продолжительность сквашивания 6 ч. Установлено, что при внесении в молоко дрожжевого экстракта как стимулятора роста количество клеток L. reuteri LR1 при развитии в монокультуре через 8 ч культивирования достигает 5,9×10⁸ КОЕ/см³, в то время как без него – 1,6×10⁷ КОЕ/см³. Разработанный продукт обладает выраженной антагонистической активностью по отношению к условно-патогенным и патогенным микроорганизмам – Escherichia coli ATCC 25922, Salmonella typhimurium, Staphylococcus aureus ATCC 6538, Klebsiella pneumoniae. Степень выживания исходной численности тест-культур при совместном культивировании с продуктом по сравнению с развитием чистой тест-культуры на 1-е сутки изменялась в диапазоне от 36 до 46%, а на 2-е сутки – от 8 до 20%.

Для цитирования: Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В., Федорова Т.В., Ширшова Т.И. Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1 и исследование его функциональных свойств в эксперименте *in vitro* и *in vivo* // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 52–62. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10053.

Статья поступила в редакцию 26.04.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Begunova A.V., Fedorova T.V., Shirshova T.I. Development of biotechnology of fermented milk product with *Lactobacillus reuteri* LR1 and the evaluation of its functional property in experiment *in vitro* and *in vivo*. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 52–62. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10053. (in Russian)

Received 26.04.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

Исследования по определению функциональных свойств разработанного кисломолочного продукта проводили в условиях однофакторного эксперимента на белых крысах линии Вистар (с исходной массой тела 160 ± 10 г, $n=10$ в каждой группе) и показали его эффективность в плане нормализации состава микробиоты и ряда показателей липидного обмена. Показано, что исследуемый кисломолочный продукт при введении в рацион (5 мл/сут *per os*) в течение 30 сут не вызывает отклонений в состоянии здоровья и поведении лабораторных животных *spf*-категории. У животных всех групп (интакт, контроль и опыт) содержание лейкоцитов, лимфоцитов, гранулоцитов и их распределение по популяциям находилось в пределах физиологической нормы. При введении в рацион экспериментальных животных разработанного продукта в составе микробиома кишечника крыс увеличилось содержание бифидо- и лактобактерий, а также энтеробактерий, типичных для нормофлоры крыс. Со стороны биохимических показателей, характеризующих липидный обмен, у крыс, потреблявших кисломолочные продукты (контроль и опыт), статистически значимо снизилась концентрация холестерина в сыворотке крови, а у животных, получавших разработанный продукт, – и концентрация триглицеридов относительно показателей интактных животных. Штамм *L. reuteri* LR1 является первым выделенным в России и охарактеризованным как пригодный для производства пробиотических пищевых продуктов, поскольку до сих пор в составе таких продуктов используются штаммы зарубежного производства.

Ключевые слова: *Lactobacillus reuteri* LR1, *Lactobacillus helveticus* NK1, *Streptococcus thermophilus*, факторы роста, совместное культивирование, технологические параметры, степень выживания, функциональные свойства

In this article the biotechnology of the dairy product based on the probiotic strain of *Lactobacillus reuteri* LR1 is presented. The following conditions of milk fermentation were screened: fermentation by monoculture of *Lactobacillus reuteri* LR1, fermentation by monoculture of *Lactobacillus reuteri* LR1 with addition of yeast extract as growth-promoting factor, and combined fermentation by *Lactobacillus reuteri* LR1, *Lactobacillus helveticus* NK1 and *Streptococcus thermophilus* (HTC). It had been demonstrated that after 8 hours of cultivation the number of *Lactobacillus reuteri* LR1 cells in the monoculture with introduced yeast extract was up to 5.9×10^8 CFU/cm³ whereas cell count for the monoculture without yeast extract introduction was 1.6×10^7 CFU/cm³. The optimized biotechnological parameters of the dairy product fermentation, which provided the required *Lactobacillus reuteri* LR1 cell count, were as follows: *Lactobacillus reuteri* LR1 starter dosage of 6%, HTC starter dosage of 3–4%, fermentation temperature of 37 ± 1 °C, and fermentation duration of 6 hours. The developed product possessed an apparent antagonistic activity against test-cultures of such pathogenic and opportunistic microorganisms as *E. coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and *Klebsiella pneumoniae*. The survival of the test-cultures cultivated with the obtained dairy product on the first cultivation day was from 36 to 46% and on the second – from 8 to 20%, in comparison with the pure test-cultures. The investigation of the functional properties of the obtained dairy product was carried out by the single-factor experiment with the albino Wistar rat-stock (initial body weight 160 ± 10 g, $n=10$ in each group). Its positive effect on the rats' microbiome composition and lipid exchange indices has been demonstrated. It had been shown that the administration of the obtained dairy product in the rats' diet (5 ml per day *per os*) during 30 days didn't cause any abnormalities in the health status and behavior of the laboratory animals of *spf*-category. The number and distribution of leucocytes and lymphocytes, and granulocytes in all rats' populations (intact, control and treatment) were within the normal range. Upon the introduction of the developed dairy product into the rats' diet, the increased levels of bifidobacteria, lactic acid bacteria and typical for normal rats' microflora enterobacteria were observed in the rats' microbiome. As for the biochemical indices that characterize rats' lipid metabolism, the rats consuming fermented dairy products (control and treatment) demonstrated statistically significant reduction of blood serum cholesterol level compared to the intact rat group; additionally the rats consuming the developed in this study dairy product (treatment) demonstrated statistically significant reduction of blood serum triglyceride level compared to the intact rats. Utilized in this study *Lactobacillus reuteri* LR1 is the first strain that was purified in Russia and characterized as useful for manufacturing of the probiotic food products, since currently only *Lactobacillus reuteri* strains of foreign origin can be seen on the market.

Keywords: *Lactobacillus reuteri* LR1, *Lactobacillus helveticus* NK1, *Streptococcus thermophilus*, growth-promoting factor, combined cultivation, technological parameters, extent of survival, functional food

В настоящее время молочные заводы выпускают большое количество кисломолочных продуктов с пробиотиками (бифидобактериями, ацидофильными молочнокислыми палочками, пропионовокислыми бактериями, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei* и др.), которые являются представителями нормальной кишечной микрофлоры человека. Для увеличения объема производства кисломолочных продуктов с пробиотическими свойствами перспективны представляются поиск новых пробиотических штаммов и разработка на их основе продуктов функционального назначения [1, 2]. Одним из таких штаммов является *Lactobacillus reuteri*.

L. reuteri – это вид гетероферментативных молочнокислых бактерий, которые присутствуют в желу-

дочно-кишечном тракте (ЖКТ) человека и животных и считаются одними из немногих истинно аутохтонных видов лактобацилл, присущих человеку. *L. reuteri* был выделен из фекал человека и идентифицирован как *L. fermentum* Biotyp 11 [3]. Впоследствии был переклассифицирован и назван *L. reuteri* на основе детально изученного типа муреина клеточной стенки, ДНК-гомологии и G+C содержания [4]. *L. reuteri* развивается при температуре 45 °C, но не развивается при 15 °C, оптимальная температура роста составляет 35–38 °C и активная кислотность 6,0–6,8 ед. pH. *L. reuteri* ферментирует глюкозу, фруктозу, арабинозу, рибозу, сукрозу, раффинозу и глюконат. Клеточная стенка бактерий не содержит тейхоиновой кислоты и муреин лизин-D-изоаспарагинового типа.

Такие штаммы *L. reuteri*, как DSM 17938, ATCC 55730, ATCC PTA 6475, наряду с другими представителями лактобацилл широко используются для профилактики и комплексного лечения не только некоторых гастроэнтерологических заболеваний (хеликобактериоз, синдром раздраженного кишечника и др.) [5–7], но и таких, как нозокомиальная пневмония [8, 9], метаболический синдром и опосредованные с ним сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, диабет и др. [10, 11]. В последнее время все большее количество исследований посвящено изучению влияния микрофлоры ЖКТ на работу центральной нервной системы. Так, хроническое воспаление и/или иммунная активация ЖКТ, которые лежат в основе этиологии синдрома раздраженного кишечника и в первую очередь связаны с нарушением нормального состава микробиома кишечника, являются фактором риска при расстройствах центральной нервной системы, таких как депрессия, нервная анорексия, обсессивно-компульсивное расстройство и аутизм [12, 13].

Клинические испытания показали, что прием *L. reuteri* безопасен как для детей, так и для взрослых, обеспечивает нормализацию микробиома кишечника у человека, достоверно снижает частоту и тяжесть диареи различной этиологии, снижает частоту возникновения инфекций и воспаления ЖКТ [14–18]. Являясь кислотоустойчивыми, они сохраняются в желудке дольше прочих бактерий, выживая в больших количествах (80%) в желудке в течение 2 ч.

Штамм *L. reuteri* LR1 был выделен в 2014 г. из фекалий человека, идентифицирован современными методами в ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» и показана его антагонистическая активность в отношении многих патогенных микроорганизмов, в том числе характеризующихся множественной устойчивостью к антибиотикам [19]. Штамм лактобацилл данного вида является первым, выделенным в России и охарактеризованным как пригодный для производства пробиотических пищевых продуктов, поскольку до сих пор в составе таких продуктов используются штаммы зарубежного производства.

Цель настоящей работы – установить технологические параметры производства кисломолочного продукта с использованием *L. reuteri* LR1 и *L. helveticus* NK1 при совместном культивировании и исследовать функциональные свойства разработанного продукта.

Материал и методы

Для восстановления культуры *L. reuteri* LR1 использовали среду MPC (MRS) жидкую, культивировали при температуре 37 ± 1 °C в анаэробных условиях. Культивирование всех образцов проводили на приборе параллельных биореакторов (DAS GIP, Германия) при температуре 37 ± 1 °C с автоматическим измерением активной кислотности. Отбирали пробы через каждые 2 ч от начала культивирования.

Влияние дрожжевого экстракта пищевого качества как ростового фактора на изменение активной кислотности штамма *L. reuteri* LR1 в процессе культивирования определяли инокулированием 6% закваски в стерилизованное обезжиренное молоко и в стерилизованное обезжиренное молоко с добавлением 0,2% дрожжевого экстракта и выдерживанием в течение 24 ч при температуре 37 ± 1 °C. Процент внесения инокулята *L. reuteri* LR1 и температура его культивирования были выбраны на основании ранее проведенных исследований [20]. Количество вносимого инокулята *L. helveticus* NK1 и *Streptococcus thermophilus* (ХТС) варьировали от 1 до 6%. Внесение *L. reuteri* LR1 во всех опытах составляло 6%.

Количество клеток *L. reuteri* LR1 при совместном культивировании с ХТС определяли методом предельных разведений в среде гидролизатно-молочной среде ГМК-1 и MRS-агаре с добавлением ампициллина в количестве 2 мг/дм³ среды и культивировании посевов в анаэробных условиях в течение 3–5 дней при температуре 37 ± 1 °C [21]. Колонии, выросшие на ГМК-1 и MRS-агаре с добавлением ампициллина, микроскопировали и проводили морфологическую оценку принадлежности клеток к *L. reuteri*. Количество клеток ХТС определяли методом предельных разведений в стерильном обезжиренном молоке при температуре 37 ± 1 °C в течение 3–5 дней по ГОСТ 33951-2016.

Исследования по определению антагонистической активности разработанного продукта по отношению к патогенной и условно-патогенной микрофлоре проводили методом развивающихся смешанных популяций в соответствии с МУ 2.3.2.2789-10 [22]. В качестве тест-штаммов были выбраны вероцитотоксигенный штамм *Escherichia coli* ATCC 25922, антибиотикорезистентный штамм *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, полученные из коллекции ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава России, и возбудитель внутрибольничных инфекций антибиотикорезистентный штамм *Klebsiella pneumoniae*, полученный из Национального медицинского исследовательского центра трансплантологии и искусственных органов им. акад. В.И. Шумакова.

Статистическую обработку данных проводили по результатам 3–4 повторностей, построение графиков, диаграмм и таблиц с применением программ Statistica 10 и Microsoft Office 2010.

Исследования по определению функциональных свойств разработанного кисломолочного продукта проводили в условиях однофакторного эксперимента на белых крысах линии Вистар на базе экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения в ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова».

Исследования проводили на клинически здоровых сексуально наивных животных *spf*-категории, полученных из НПП «Питомник лабораторных животных» филиала ФГБНУ «Институт биорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова» РАН

(Пушино, Россия), случайным образом отобранных, индивидуально промаркированных и прошедших адаптацию на протяжении 5 сут, с исходной массой тела 160±10 г.

На протяжении периода адаптации и в течение эксперимента животных содержали в системе индивидуально вентилируемых клеток [в составе вентиляционного блока VENT II и стеллажа с клетками типа Bio A.S. (EHRET, Германия), при оптимальном микроклимате в каждой отдельной клетке: температуре (22±3) °С, влажности 50–60%, освещении 12/12 – световой день с 6.00 до 18.00].

Животные были произвольно распределены на группы по 10 крыс: животные 1-й группы (интактные) на протяжении всего эксперимента потребляли стандартный рацион вивария (ОРВ) – полнорационный комбикорм по ТУ 9296-002-70941247 («Лабораторкорм», Россия); крысам 2-й группы (контрольные) дополнительно к ОРВ вводили кисломолочный продукт, сквашенный с использованием закваски *Str. thermophilus* «Контроль»; животным 3-й группы (опытные) дополнительно к ОРВ вводили кисломолочный продукт, сквашенный с использованием закваски *L. reuteri* LR1, *Str. thermophilus* и *L. helveticus* NK1 – «Опыт».

На протяжении всего срока проведения исследований экспериментальные животные получали изокалорийные (400 ккал/100 г сухого корма) полноценные рационы (табл. 1, 2).

В сутки животные всех экспериментальных групп потребляли по 29 г ОРВ (116 ккал). Животные в контрольной и опытной группах получали рационы, состоящие из комбикорма и исследуемых кисломолочных продуктов, которые скармливали в дополнение в количестве по 5 мл на голову (2 ккал) в сутки. Таким образом, доля кисломолочного продукта составила 14,7% от массы корма в сутки. Исследуемые продукты вводили животным индивидуально, ежедневно *per os*.

Животные на протяжении эксперимента потребляли корм и воду *ad libitum*. Питьевую воду для поения лабораторных животных получали на установке водоподготовки EMD Millipore RiOs™ 50 (Merck Millipore, Германия). Минерализацию воды осуществляли путем добавления в нее минеральных солей для получения физиологически полноценного минерального состава (минерализация 314–382 мг/л: гидрокарбонаты – 144–180, хлориды – 60–76, кальций – 6, магний – 3, натрий – 50–58, калий – 50–58). Температура воды для поения составляла 10–12 °С.

Таблица 2. Состав суточного рациона животных экспериментальных групп

Состав рациона	Экспериментальные группы животных		
	1-я (интактная)	2-я (контрольная)	3-я (опытная)
Стандартный рацион вивария, г	29,0	29,0	29,0
Кисломолочный продукт, мл (<i>Str. thermophilus</i> – 10 ⁷ КОЕ/г) с содержанием в 100 г менее 0,5% жира, 3,0% белка, 3,7% углеводов	–	5,0	–
Кисломолочный продукт, мл (<i>Str. thermophilus</i> и <i>L. helveticus</i> NK1 – 10 ⁷ КОЕ/г, <i>L. reuteri</i> LR1 – 10 ⁶ КОЕ/г) с содержанием в 100 г менее 0,5% жира, 3,0% белка, 3,7% углеводов	–	–	5,0
Количество съедаемого корма на голову крысы (среднее значение), г	29,0	34,0	34,0
Энергетическая ценность (калорийность), ккал	116	118	118

Таблица 1. Состав стандартного рациона вивария

Компонент	Содержание, %, в 100 г сухого продукта	
Казеин (86% белка)*	12,0	
Жировая композиция	лярд	7,7
	масло подсолнечное	3,8
Крахмал	72,0	
Минеральная смесь**	4,0	
Жирорастворимые витамины***	1,0	
Водорастворимые витамины****	0,1	

Примечание. * – белок коровьего молока СА.160030 (ENVIGO, Новая Зеландия); ** – состав (г на 1 кг смеси): натрий хлористый NaCl – 139; калий фосфорнокислый однозамещенный K₂HPO₄ – 338,8; магний сернокислый гидрат MgSO₄×7H₂O – 57,4; кальций углекислый CaCO₃ – 381,4; железо (II) сернокислое FeSO₄×7H₂O – 26,4; йодид калия KI – 0,77; марганец сернокислый MnSO₄×2H₂O – 4,45; медь сернокислая гидрат CuSO₄×5H₂O – 0,48; кобальт хлористый гидрат CoCl₂×6H₂O – 0,24; фтористый натрий NaF – 0,5; алюминиевокалиевые квасцы AlK(SO₄)₂×12H₂O – 0,11; *** – состав (мл на 100 мл раствора): α-токоферол (50 мг/мл) – 10; ретинол (100 тыс. МЕ/мл) – 0,8; холекальциферол (50 тыс. МЕ/мл) – 1,4; подсолнечное масло рафинированное дезодорированное до 100 мл; **** – состав (в мг на 100 г смеси): тиамин (B₁) – 500; рибофлавин (B₂) – 500; пиридоксин (B₆) – 500; пантотенат кальция (B₅) – 2800; никотиновая кислота (B₃) – 2000; фолиевая кислота (B₉) – 200; цианокобаламин (B₁₂) – 4; викасол (K) – 100; глюкоза – 93400.

Содержание, питание, уход за животными, манипуляции, выведение их из эксперимента осуществляли в соответствии с требованиями приказа Минздрава России от 1.04.2016 № 199н «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики», Международными правилами гуманного обращения с животными – Директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. о защите животных, использующихся для научных целей.

До начала исследования, каждые 4-е сутки и накануне эвтаназии животных взвешивали на электронных технических весах Ohaus (Adventurer Pro, США). По окончании эксперимента животных усыпляли в камере для эвтаназии (VetTech, Великобритания) с помощью углекислого газа.

Патологоанатомическое исследование включало осмотр внешней поверхности тела, всех отверстий, внутричерепной, грудной и брюшной полостей и их содержимого. Печень, почки, селезенка, сердце всех животных были надлежащим образом отделены от всех

прилегающих тканей и взвешены во влажном состоянии, сразу после вскрытия во избежание высыхания, на электронных технических весах Ohaus (Adventurer Pro, США).

Содержание лимфоцитов (LYM), гранулоцитов (GRA) и моноцитов (MON) определяли на проточном цитометре Guava EasyCyte (Merck Millipore, Германия) посредством детектирования размера и гранулярности клеток. Содержание лейкоцитов определяли расчетным путем по формуле:

$$WBC = LYM + GRA + MON.$$

Относительное содержание лимфоцитов, гранулоцитов и моноцитов определяли расчетным путем по формулам: $LYM/WBC \times 100\%$, $GRA/WBC \times 100\%$, $MON/WBC \times 100\%$.

Биохимические исследования проводили на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-360 (HTI, США), используя наборы реактивов (High Technology, США). В крови животных определяли концентрацию общего белка, альбумина, глюкозы, креатинина, холестерина, триглицеридов.

Для количественного учета групп микроорганизмов навеску из фекалий крыс массой 1 г вносили в регенерированный агаризованный (0,1%) тиогликолево-фосфатный буфер, в соотношении 1:10. Из этой суспензии готовили последовательные 10-кратные разведения, которые вносили в соответствующие питательные среды.

Бифидобактерии в фекальных массах животных определяли на среде TOS-MUP агар (TOS пропионатный агар с мупироцином лития); лактобациллы – на среде MPC (MRS); энтеробактерии – на среде Эндо и цитратном агаре. Содержание стафилококков определяли на желточно-солевом агаре, с последующим определением плазмокоагулирующей активности; энтерококков – на

среде МИС (молочно-ингибиторная среда); дрожжей и плесневых грибов – на среде Сабуро. Содержание микроорганизмов выражали в lg КОЕ/г сырой массы фекалий.

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 10. Результаты представляли в виде «среднее значение ± ошибка среднего» ($M \pm m$). Статистическую достоверность оценивали с применением однопараметрического ANOVA-теста с применением критерия Тьюки (при уровне значимости 0,05).

Результаты и обсуждение

Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с использованием пробиотического штамма *Lactobacillus reuteri* LR1

Результаты предварительных опытов по культивированию *L. reuteri* LR1 на молоке показали, что данный штамм обладает низкой кислотообразующей и протеолитической активностью, что согласуется и с данными литературы [23]. В связи с этим с целью интенсификации роста исследуемого штамма были поставлены опыты по накоплению клеток исследуемого штамма на стерилизованном молоке и на стерилизованном молоке с добавлением дрожжевого экстракта (рис. 1).

Добавление дрожжевого экстракта к молоку способствовало развитию и накоплению клеток *L. reuteri* LR1, что свидетельствует о целесообразности использования дрожжевого экстракта как добавки в молоко для приготовления производственной закваски или продукта на основе чистой культуры *L. reuteri* LR1.

В центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» были проведены исследования по разработке биотехнологии бактериального концентрата *L. reuteri* LR1 и бактериального концентрата ассоциации штаммов *L. reuteri* LR1 и *L. helveticus* NK1. Отечественными и зарубежными исследователями давно отмечено, что совместное культивирование слабого кислотообразователя с более сильным оказывает стимулирующий эффект на рост и размножение первой культуры [23, 24]. Было высказано множество предположений по этому поводу, и одним из них было, что вторая культура в процессе своей жизнедеятельности расщепляет или синтезирует определенные вещества, которые необходимы для развития более слабой культуры. Разработанная 2-штаммовая ассоциация показала хорошие технологические свойства, но не всегда по органолептическим показателям (вкусу и консистенции) обеспечивала выход продукции требуемого качества. В связи с этим при дальнейшей разработке технологии кисломолочного продукта на основе *L. reuteri* LR1 были выбраны 2 культуры – *Str. thermophilus* и *L. helveticus* NK1, которые обладают более сильными протеолитическими системами, ускоряя процесс сквашивания молока и улучшая органолептические показатели продукта, такие как консистенция

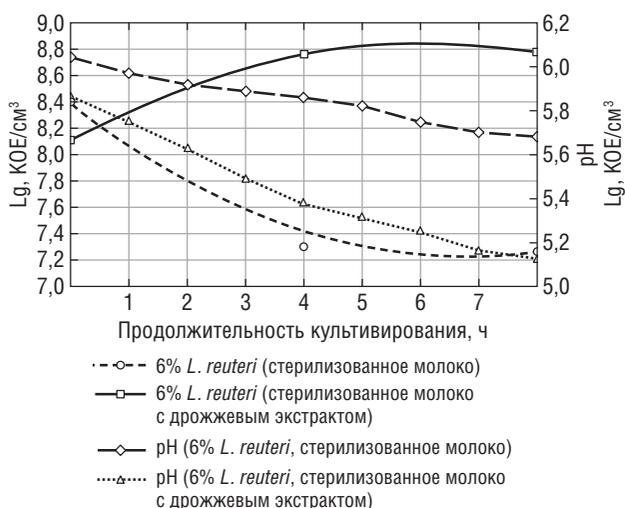


Рис. 1. Влияние дрожжевого экстракта на изменение количества клеток *Lactobacillus reuteri* LR1 и значение активной кислотности среды в процессе культивирования

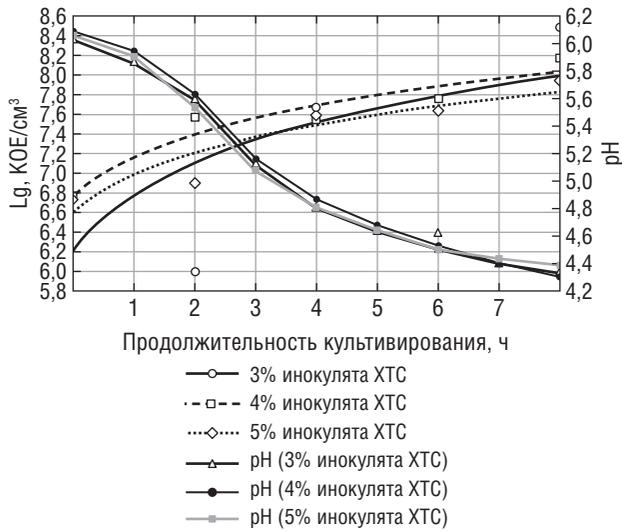


Рис. 2. Изменение количества клеток *Lactobacillus reuteri* LR1 и значения активной кислотности среды при совместном культивировании при внесении различных доз инокулята ХТС

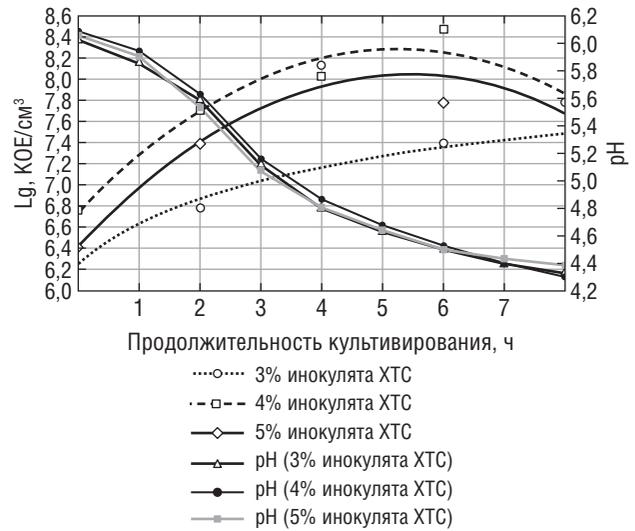


Рис. 3. Изменение количества клеток ХТС и значения активной кислотности среды в процессе сокультивирования с *Lactobacillus reuteri* LR1 при внесении различных доз инокулята ХТС

и вкус. Был проведен ряд опытов по сокультивированию *L. reuteri* LR1 и композиции *L. helveticus* NK1 с *Str. thermophilus* (ХТС).

Инокулят ХТС получали культивированием 1% композиции (*L. helveticus* NK1 с *Str. thermophilus*) в стерилизованном молоке, инокулят *L. reuteri* LR1 готовили на стерильном обезжиренном молоке с добавлением дрожжевого экстракта в количестве 0,2%, культивирование инокулятов проводили при температуре 37±1 °С.

Исследовали влияние закваски ХТС на развитие клеток *L. reuteri* LR1 в процессе сокультивирования на обезжиренном молоке, для чего одновременно производили инокуляцию закваски ХТС и *L. reuteri* LR1.

На рис. 2 показаны результаты эксперимента по оценке влияния дозы инокулята ХТС на развитие *L. reuteri* LR1 в процессе их совместного культивирования.

Представленные логарифмические кривые роста *L. reuteri* LR1 показывают практически одинаковую тенденцию роста штамма в процессе сокультивирования с закваской ХТС: через 4 и 6 ч содержание клеток *L. reuteri* LR1 находится в одном lg-диапазоне независимо от дозы ХТС, а через 8 ч количество клеток *L. reuteri* LR1 изменялось следующим образом: 3% ХТС – 3,3×10⁸ КОЕ/см³, 4% ХТС – 1,5×10⁸ КОЕ/см³, 5% ХТС – 8,9×10⁷ КОЕ/см³.

Анализ полученных данных показал, что после 8 ч совместного культивирования увеличение дозы инокулята ХТС не способствовало увеличению количества клеток *L. reuteri* LR1.

Присутствие и размножение 2-штаммовой закваски ХТС в среде обеспечивает стимулирующий эффект на развитие пробиотического штамма. Но, с другой стороны, большое содержание этих клеток может оказывать конкурентное действие и ингибирующий эффект на пробиотический штамм из-за резкого понижения активной кислотности питательной среды. Наибольший

прирост клеток *L. reuteri* LR1 наблюдался через 8 ч культивирования и составил при 3% ХТС – 25,9%, при 4% ХТС – 21,2%, при 5% ХТС – 18,0%.

Данные по изменению значений активной кислотности среды и количества клеток ХТС в процессе сокультивирования представлены на рис. 3.

Как видно из представленных данных, кривые кислотообразования для всех образцов одинаковы, активная кислотность достигает значения 4,6 ед. рН через 5 ч культивирования, а более активное развитие клеток наблюдается при внесении 4 и 5% инокулята ХТС. Наибольшее содержание клеток было отмечено после 6 ч культивирования при внесении 4% инокулята ХТС и составляло 7,4×10⁸ КОЕ/см³.

Для того чтобы выбрать оптимальное технологическое решение производства кисломолочного продукта, обеспечивающего высокое содержание клеток *L. reuteri* LR1, данные проведенных исследований были обобщены и статистически обработаны (табл. 3).

Таблица 3. Прирост клеток *Lactobacillus reuteri* LR1 в зависимости от дозы внесения и продолжительности культивирования ХТС

Количество инокулята ХТС, %	Продолжительность культивирования, ч	Прирост клеток <i>L. reuteri</i> LR1, % от исходного
0	6	8*
	8	8*
3	6	14,9
	8	25,9
4	6	15,1
	8	21,2
5	6	13,5
	8	18,0

Примечание. * – культивирование *L. reuteri* LR1 на обезжиренном молоке с добавлением дрожжевого экстракта.

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, сокультивирование пробиотического штамма *L. reuteri* LR1 с закваской ХТС стимулирует рост *L. reuteri* LR1, повышая количество клеток в продукте.

При выборе момента прекращения сквашивания молока заквасочными культурами одним из важных критериев является значение активной кислотности сквашенного продукта. Для кисломолочного продукта, вырабатываемого на основе закваски ХТС, оптимальным уровнем активной кислотности является $4,6 \pm 0,1$ ед. рН. Этому требованию отвечает 6 ч культивирования при внесении инокулятов *L. reuteri* LR1 и ХТС 4,5 ед. рН (см. рис. 2). Но следует также отметить, что при внесении инокулятов *L. reuteri* LR1 и ХТС через 8 ч культивирования имеет место максимальный прирост клеток *L. reuteri* LR1.

Оценка функциональных свойств разработанного продукта

Одним из показателей, характеризующих функциональные свойства разработанного кисломолочного продукта, является его антагонистическая активность к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. На рис. 4 представлены результаты эксперимента по определению антагонистической активности разработанного продукта на основе закваски *L. reuteri* LR1 и ХТС по отношению к условно-патогенным и патогенным *E. coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium*, *S. aureus* ATCC 6538, *Kl. pneumoniae*.

Как показали проведенные исследования (см. рис. 4), разработанный продукт обладает выраженной антагонистической активностью по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Степень выживания исходной численности тест-культур при совместном культивировании с продуктом по сравнению с развитием чистой тест-культуры на 1-е сутки изменялась в диапазоне от 36 до 46%, а на 2-е сутки – от 8 до 20%.

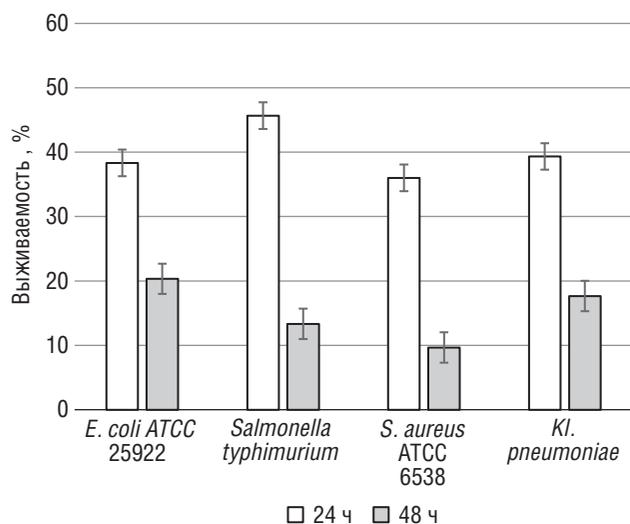


Рис. 4. Степень выживания штаммов тест-культур при совместном культивировании с разработанным продуктом на основе закваски *Lactobacillus reuteri* LR1 и ХТС

Воздействие образцов разработанного кисломолочного продукта на основе лактобактерий на нормальную микрофлору кишечника крыс оценивали в условиях *in vivo*.

Состояние животных до начала эксперимента находилось в пределах физиологической нормы. Крысы активно поедали корм: имело место полное потребление исследуемых образцов, как контрольных, так и опытных. Сохранность животных на протяжении эксперимента была 100%. Наблюдения за животными в течение 30 дней кормления изучаемыми кисломолочными продуктами свидетельствовали о том, что отклонений в состоянии здоровья и поведении крыс не отмечалось. Добавление разработанного и контрольного продуктов положительным образом сказывалось на усвоении корма. У крыс, потреблявших с рационом кисломолочные продукты «Опыт» и «Контроль», прибавка массы тела была выше показателя интактных животных (на 11 и 6% соответственно), хотя калорийность рациона интактных, опытных и контрольных крыс различалась незначительно (2 ккал).

Изучение видового состава и количественных уровней основных микробных популяций микробиома кишечника крыс и их функциональной активности показало положительное влияние продукта на основе закваски *L. reuteri* LR1 и ХТС, проявляющееся в повышении общего числа анаэробных бактерий, уровней защитных популяций лактобактерий и энтеробактерий, а также в снижении численности условно-патогенной микрофлоры, что может быть связано с действием пробиотиков, входящих в состав продукта (табл. 4).

Благоприятное воздействие кисломолочных продуктов было характерно для продукта «Опыт». Так, у животных опытной группы условно-патогенные микроорганизмы (коагулазоположительные стафилококки, дрожжи) не обнаруживались.

У животных всех групп содержание лейкоцитов и лимфоцитов, гранулоцитов и их распределение по популяциям находилось в пределах физиологической нормы (табл. 5). У крыс, получавших кисломолочный продукт «Опыт», по сравнению с показателями интактных животных наблюдалось снижение содержания лейкоцитов и лимфоцитов на 37,7 и 33,5%, однако не достигшее уровня статистической значимости. При этом у крыс контрольной и опытной групп выявлено статистически значимое снижение содержания гранулоцитов на 42,2 и 61,8% соответственно по сравнению с показателем интактных крыс (см. табл. 5).

У животных всех групп гематологические показатели, характеризующие функциональное состояние эритроцитов и тромбоцитов, находились в пределах физиологической нормы – значимых отклонений между группами не отмечено.

При биохимическом исследовании крови животных (табл. 6) установлено, что содержание общего белка, альбумина и креатинина, билирубина и глюкозы было в пределах нормы.

Со стороны биохимических показателей, характеризующих липидный обмен, у крыс, потреблявших кисло-

Таблица 4. Состав микробиома кишечника крыс после включения в их рацион кисломолочных продуктов (содержание микроорганизмов, lg КОЕ/г сырой массы фецес)

Группа животных	Анаэробы	Аэробы	Энтеробактерии	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	<i>S. aureus</i>	Лактобациллы	Бифидо-бактерии	Дрожжи	Плесневые грибы
Интактная	8,4±0,3	8,4±0,3	5,0±0,2	7,7±0,2	6,8±0,3	2,3±0,1	8,3±0,2	8,3±0,2	2,3±0,3	4,5±0,4
Контрольная	8,7±0,4	8,4±0,3	5,2±0,3	7,4±0,4	6,6±0,2	2,3±0,4	8,6±0,1	8,6±0,2	2,3±0,4	3,9±0,3
Опытная	9,0±0,2*	8,6±0,2	5,9±0,5*.#	6,6±0,4*.#	4,9±0,4*.#	Не обнаружены*.#	9,5±0,4*	9,0±0,3*	Не обнаружены*.#	3,6±0,2*.#

Примечание. Здесь и в табл. 5 и 6: статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя: * – интактных животных; # – контрольных животных.

Таблица 5. Цитометрические показатели крови крыс

Показатель	Физиологическая норма [25]	Группа животных		
		интактная	контрольная	опытная
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	1,13–11,06	4,80±0,74	4,50±0,68	2,99±0,40
Лимфоциты, $\times 10^9/\text{л}$	0,82–9,45	3,88±0,64	3,74±0,67	2,58±0,36
Моноциты, эозинофилы, базофилы и незрелые клетки, $\times 10^9/\text{л}$	0,03–1,5	0,04±0,01	0,04±0,01	0,02±0,00
Гранулоциты, $\times 10^9/\text{л}$	0,15–1,89	1,02±0,18	0,59±0,08*	0,39±0,04*
Лимфоциты, %	44,7–90	85,80±0,75	82,93±4,00*	76,92±3,46*
Моноциты, %	0,6–9,2	0,65±0,07	0,79±0,09	0,90±0,24
Гранулоциты, %	9,0–49,3	22,18±3,45	16,29±4,02*	13,55±0,75*.#

Таблица 6. Биохимические показатели сыворотки крови крыс

Показатель	Физиологическая норма [26]	Группа животных		
		интактная	контрольная	опытная
Общий белок, г/л	52–76	65,12±0,78	66,94±0,59	66,19±0,85
Альбумин, г/л	34–48	41,27±0,24	42,87±0,37	42,43±0,55
Креатинин, мкмоль/л	9,0–70,0	59,15±1,69	61,00±1,33	59,05±1,19
Билирубин общий, мкмоль/л	0,7–3,42	2,25±0,12	2,31±0,15	2,11±0,10
Холестерин, ммоль/л	0,962–2,47	2,37±0,11	1,83±0,06*	1,83±0,07*
Триглицериды, ммоль/л	0,22–1,76	1,09±0,07	1,06±0,14	0,71±0,05*.#
Глюкоза, ммоль/л	3,92–12,21	10,93±1,50	11,10±1,17	10,12±1,07

молочные продукты, выявлено статистически значимое снижение концентрации холестерина в сыворотке крови, а у животных, получавших разработанный продукт, – и концентрации триглицеридов относительно показателей интактных животных. В настоящее время хорошо известны гипохолестеринемические свойства пробиотиков, подтвержденные как экспериментами *in vivo*, так и клиническими исследованиями [27]. В том числе показано, что потребление крысами сквашенного с использованием штамма *L. reuteri* LR6 молока на фоне диеты с повышенным содержанием холестерина приводило к значительному снижению концентрации общего холестерина и триглицеридов в сыворотке крови животных [28]. Тем не менее наличие у различных пробиотических культур гипохолестеринемической активности является штамм-специфичной характеристикой [29].

В целом показано, что исследуемые кисломолочные продукты при введении их в рацион не вызывают отклонений в состоянии здоровья и поведении лабораторных животных *spf*-категории.

Заключение

Обобщая результаты всех апробированных комбинаций была разработана биотехнология кисломолочного продукта с заквасочными культурами *L. reuteri* LR1 и ХТС: доза инокулята *L. reuteri* LR1 – 6%, ХТС – 3–4%, температура сквашивания – 37 ± 1 °С, продолжительность сквашивания – 6 ч. Количество клеток ХТС в продукте – не менее 1×10^7 КОЕ/см³ и содержание пробиотического штамма *L. reuteri* LR1 в 1 см³ продукта не ниже 10^6 КОЕ/см³.

Разработанный продукт обладает выраженной антагонистической активностью по отношению к условно-патогенным и патогенным микроорганизмам – *E. coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium*, *S. aureus* ATCC 6538, *Kl. pneumoniae*.

Проведенный комплекс исследований по доклиническому изучению функциональных свойств разработанного кисломолочного продукта свидетельствует о наличии у него нормализующего эффекта на микробиоту и ряд показателей липидного обмена.

При введении в рацион экспериментальных животных разработанного продукта в составе микробиоты

кишечника крыс увеличилось содержание бифидо- и лактобактерий, а также энтеробактерий, типичных для нормофлоры крыс, в сыворотке крови снижалась концентрация холестерина и триглицеридов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследования выполнены при частичной (в части оценки функциональных свойств) финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-16-00094).

Сведения об авторах

Семенихина Вера Филатовна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Москва)

E-mail: microbs@yandex.ru

Рожкова Ирина Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующая центральной лабораторией микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Москва)

E-mail: microbs@yandex.ru

Бегунова Анна Васильевна – научный сотрудник центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Москва)

E-mail: abegunova@yandex.ru

Федорова Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией молекулярных основ биотрансформаций Института биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН (Москва)

E-mail: fedorova_tv@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0355-6800>

Ширшова Татьяна Ивановна – научный сотрудник центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Москва)

E-mail: microbs@yandex.ru

Литература

- Shangpliang H.N.J., Sharma S., Rai R., Tamang J.P. Some technological properties of lactic acid bacteria isolated from Dahi and Datsi, naturally fermented milk products of Bhutan // *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 8. P. 116. doi: 10.3389/fmicb.2017.00116.
- Marco M.L., Heeny D., Binda S., Cifelli C.J., Cotter P.D., Folligne B. et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond // *Curr. Opin. Biotechnol.* 2017. Vol. 44. P. 94–102.
- Lerche M., Reuter G. Das Vorkommen aerobwachsender grampositiver Stabchen des Genus *Lactobacillus* Beijerinck im Darminhalt erwachsener Menschen (Gleichzeitig ein Beitrag zur genaueren Kenntnis der aeroben Laktobazillen) // *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg. I Orig.* 1962. Bd 185. S. 446–481.
- Kandler O., Stetter K.O., Kohl R. *Lactobacillus reuteri* sp. nov., a new species of heterofermentative lactobacilli // *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg. Abt. I Orig. Reihe C.* 1980. Bd 1. S. 264–269.
- Sanchez B., Delgado S., Blanco-Miguez A., Lourenco A., Gueimonde M., Margolles A. Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease // *Mol. Nutr. Food Res.* 2017. Vol. 61, N 1. Article ID 1600240. doi: 10.1002/mnfr.201600240.
- Bron P.A., Kleerebezem M., Brummer R.-J., Cani P.D., Mercenier A., MacDonald T.T. et al. Can probiotics modulate human disease by impacting intestinal barrier function? // *Br. J. Nutr.* 2017. Vol. 117. P. 93–107. doi: 10.1017/S0007114516004037.
- Bird A.S., Gregory P.J., Jalloh M.A., Cochrane Z.R., Hein D.J. Probiotics for the treatment of infantile colic: a systematic review // *J. Pharm. Pract.* 2017. Vol. 30, N 3. P. 366–374.
- Rojas M.A., Lozano J.M., Rojas M.X., Rodriguez V.A., Rondon M.A., Bastidas J.A. et al. Prophylactic probiotics to prevent death and nosocomial infection in preterm infants // *Pediatrics.* 2012. Vol. 130, N 5. P. e1113–e1120.
- Cook D.J., Johnstone J., Marshall J.C., Lauzier F., Thabane L., Mehta S. et al. Probiotics: Prevention of Severe Pneumonia and Endotracheal Colonization Trial – PROSPECT: a pilot trial // *Trials.* 2016. Vol. 17. P. 377. doi: 10.1186/s13063-016-1495-x.
- Zoumpopoulou G., Pot B., Tsakalidou E., Papadimitriou K. Dairy probiotics: beyond the role of promoting gut and immune health // *Int. Dairy J.* 2017. Vol. 67. P. 46–60.
- Tonucci L.B., Olbrich dos Santos K.M., de Oliveira L.L., Ribeiro S.M.R., Martino H.S.D. Clinical application of probiotics in type 2 diabetes mellitus: a randomized, double-blind, placebo-controlled study // *Clin. Nutr.* 2017. Vol. 36. P. 85–92.
- Toribio-Mateas M. Harnessing the power of microbiome assessment tools as part of neuroprotective nutrition and lifestyle medicine interventions // *Microorganisms.* 2018. Vol. 6. P. 35. doi: 10.3390/microorganisms6020035.
- Foster J.A., Rinaman L., Cryan J.F. Stress & the gut-brain axis: regulation by the microbiome // *Neurobiol. Stress.* 2017. Vol. 7. P. 124–136.

14. Szajewska H., Urbanska M., Chmielewska A., Weizman Z., Shamir R. Meta-analysis: *Lactobacillus reuteri* strain DSM 17938 (and the original strain ATCC 55730) for treating acute gastroenteritis in children // *Benef. Microbes*. 2015. Vol. 5, N 3. P. 285–293.
15. Chau K., Lau E., Greenberg S., Jacobson S., Yazdani-Brojeni P., Verma N. et al. Probiotics for infantile colic: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial investigating *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 // *J. Pediatr*. 2015. Vol. 166, N 1. P. 74–78.
16. Mobini R., Tremaroli V., Stahlman M., Karlsson F., Levin M., Ljungberg M. et al. Metabolic effects of *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 in people with type 2 diabetes: a randomized controlled trial // *Diabetes Obes. Metab*. 2017. Vol. 19, N 4. P. 579–589.
17. Francavilla R., Polimeno L., Demichina A., Maurogiovanni G., Principi B., Scaccianoce G. et al. *Lactobacillus reuteri* strain combination in *Helicobacter pylori* infection: a randomized, double-blind, placebo-controlled study // *J. Clin. Gastroenterol*. 2014. Vol. 48, N 5. P. 407–413. doi: 10.1097/MCG.0000000000000007.
18. Jadresin O., Hojsak I., Misak Z., Kekez A.J., Trbojevic T., Ivkovic L. et al. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 in the treatment of functional abdominal pain in children: RCT study // *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr*. 2017. Vol. 64, N 6. P. 925–929. doi: 10.1097/MPG.0000000000001478.
19. Fedorova T.V., Vasina D.V., Begunova A.V., Rozhkova I.V., Raskoshnaya T.A., Gabrielyan N.I. Antagonistic Activity of Lactic Acid Bacteria *Lactobacillus* spp. against Clinical Isolates of *Klebsiella pneumoniae* // *Appl. Biochem. Microbiol*. 2018. Vol. 54, N 3. P. 277–287.
20. Раскошная Т.А., Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В. Разработка режимов культивирования *L. reuteri* для получения бактериального концентрата клеток // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. № 3. С. 56–63.
21. Бегунова А.В., Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Раскошная Т.А. Динамика размножения *L. reuteri* и *L. helveticus* // *Мол. пром-сть*. 2017. № 9. С. 47–48.
22. МУ 2.3.2.2789-10 «Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов».
23. Karlsson M. Evaluation of *Lactobacillus reuteri* DSM17938 as starter in cheese production // NY002 Agricultural Programme – Food Science 270 HEC, Second cycle, A2E. Uppsala : SLU, Dept. of Microbiology, 2013.
24. Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В., Раскошная Т.А., Ширшова Т.И. Ассоциация пробиотических культур *L. reuteri* и *L. helveticus* для разработки бактериального концентрата // *Мол. пром-сть*. 2017. № 10. С. 60–61.
25. *Clinical Laboratory Parameters for Rats*. Charles River, 2008. 14 p.
26. *Animal Clinical Chemistry: A Practical Handbook for Toxicologist and Biomedical Researchers*. 2nd ed. / ed. G.O. Evans. A. George Owen and Company/CRC Press, UK, 2009. 368 p.
27. Thushara R.M., Gangadaran S., Solati Z., Moghadasian M.H. Cardiovascular benefits of probiotics: a review of experimental and clinical studies // *Food Funct*. 2016. Vol. 7. P. 632–642.
28. Singh T.P., Malik R.K., Katkamwar S.G., Kaur G. Hypocholesterolemic effects of *Lactobacillus reuteri* LR6 in rats fed on high-cholesterol diet // *Int. J. Food Sci. Nutr*. 2015. Vol. 66, N 1. P. 71–75.
29. Ishimwe N., Daliri E.B., Lee B.H., Fang F., Du G. The perspective on cholesterol-lowering mechanisms of probiotics // *Mol. Nutr. Food Res*. 2015. Vol. 59. P. 94–105. doi: 10.1002/mnfr.201400548.

References

1. Shangpliang H.N.J., Sharma S., Rai R., Tamang J.P. Some technological properties of lactic acid bacteria isolated from Dahi and Datshi, naturally fermented milk products of Bhutan. *Front Microbiol*. 2017; 8: 116. doi: 10.3389/fmicb.2017.00116.
2. Marco M.L., Heeney D., Binda S., Cifelli C.J., Cotter P.D., Foligne B., et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Curr Opin Biotechnol*. 2017; 44: 94–102.
3. Lerche M., Reuter G. Das Vorkommen aerobwachsender gram-positiver Stabchen des Genus *Lactobacillus* Beijerinck im Darminhalt erwachsener Menschen (Gleichzeitig ein Beitrag zur genaueren Kenntnis der aeroben Laktobazillen). *Zentralbl Bakteriol Parasitenkd Infektionskr. Hyg. I Orig*. 1962; 185: 446–81.
4. Kandler O., Stetter K.O., Kohl R. *Lactobacillus reuteri* sp. nov., a new species of heterofermentative lactobacilli. *Zentralbl Bakteriol Parasitenkd Infektionskr Hyg. Abt. I Orig. Reihe C*. 1980; 1: 264–9.
5. Sanchez B., Delgado S., Blanco-Miguez A., Lourenco A., Gueimonde M., Margolles A. Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. *Mol Nutr Food Res*. 2017; 61 (1): 1600240. doi: 10.1002/mnfr.201600240.
6. Bron P.A., Kleerebezem M., Brummer R.-J., Cani P.D., Mercenier A., MacDonald T.T., et al. Can probiotics modulate human disease by impacting intestinal barrier function? *Br J Nutr*. 2017; 117: 93–107. doi: 10.1017/S0007114516004037.
7. Bird A.S., Gregory P.J., Jalloh M.A., Cochrane Z.R., Hein D.J. Probiotics for the treatment of infantile colic: a systematic review. *J Pharm Pract*. 2017; 30 (3): 366–74.
8. Rojas M.A., Lozano J.M., Rojas M.X., Rodriguez V.A., Rondon M.A., Bastidas J.A., et al. Prophylactic probiotics to prevent death and nosocomial infection in preterm infants. *Pediatrics*. 2012; 130 (5): e1113–20.
9. Cook D.J., Johnstone J., Marshall J.C., Lauzier F., Thabane L., Mehta S., et al. Probiotics: Prevention of Severe Pneumonia and Endotracheal Colonization Trial – PROSPECT: a pilot trial. *Trials*. 2016; 17: 377. doi: 10.1186/s13063-016-1495-x.
10. Zoumpopoulou G., Pot B., Tsakalidou E., Papadimitriou K. Dairy probiotics: beyond the role of promoting gut and immune health. *Int Dairy J*. 2017; 67: 46–60.
11. Tonucci L.B., Olbrich dos Santos K.M., de Oliveira L.L., Ribeiro S.M.R., Martino H.S.D. Clinical application of probiotics in type 2 diabetes mellitus: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Clin Nutr*. 2017; 36: 85–92.
12. Toribio-Mateas M. Harnessing the power of microbiome assessment tools as part of neuroprotective nutrition and lifestyle medicine interventions. *Microorganisms*. 2018; 6: 35. doi: 10.3390/microorganisms6020035.
13. Foster J.A., Rinaman L., Cryan J.F. Stress & the gut-brain axis: regulation by the microbiome. *Neurobiol Stress*. 2017; 7: 124–36.
14. Szajewska H., Urbanska M., Chmielewska A., Weizman Z., Shamir R. Meta-analysis: *Lactobacillus reuteri* strain DSM 17938 (and the original strain ATCC 55730) for treating acute gastroenteritis in children. *Benef Microbes*. 2015; 5 (3): 285–93.
15. Chau K., Lau E., Greenberg S., Jacobson S., Yazdani-Brojeni P., Verma N., et al. Probiotics for infantile colic: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial investigating *Lactobacillus reuteri* DSM 17938. *J Pediatr*. 2015; 166 (1): 74–8.
16. Mobini R., Tremaroli V., Stahlman M., Karlsson F., Levin M., Ljungberg M., et al. Metabolic effects of *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 in people with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Diabetes Obes Metab*. 2017; 19 (4): 579–89.
17. Francavilla R., Polimeno L., Demichina A., Maurogiovanni G., Principi B., Scaccianoce G., et al. *Lactobacillus reuteri* strain combination in *Helicobacter pylori* infection: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Clin Gastroenterol*. 2014; 48 (5): 407–13. doi: 10.1097/MCG.0000000000000007.
18. Jadresin O., Hojsak I., Misak Z., Kekez A.J., Trbojevic T., Ivkovic L., et al. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 in the treatment of functional abdominal pain in children: RCT study. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2017; 64 (6): 925–9. doi: 10.1097/MPG.0000000000001478.
19. Fedorova T.V., Vasina D.V., Begunova A.V., Rozhkova I.V., Raskoshnaya T.A., Gabrielyan N.I. Antagonistic Activity of Lactic Acid Bacte-

- ria *Lactobacillus* spp. against Clinical Isolates of *Klebsiella pneumoniae*. *Appl Biochem Microbiol*. 2018; 54 (3): 277–87.
20. Raskoshnaya T.A., Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Begunova A.V. The development of growth medium and *Lactobacillus reuteri* cultivation regimes for bacterial concentrate. *Tekhnika i tekhnologiya pischevykh proizvodstv* [Technique and Technology of Food Production]. 2016; 42 (3): 56–62. (in Russian)
 21. Begunova A.V., Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Raskoshnaya T.A. Dynamics of *L. reuteri* and *L. helveticus* generation. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2017; (9): 47–8. (in Russian).
 22. MI 2.3.2.2789-10 «Methodological instructions on sanitary-epidemiological evaluation of safety and functional potential of probiotic microorganisms used for food products manufacture».
 23. Karlsson M. Evaluation of *Lactobacillus reuteri* DSM17938 as starter in cheese production. In: NY002 Agricultural Programme – Food Science 270 HEC, Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Microbiology, 2013.
 24. Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Begunova A.V., Raskoshnaya T.A., Shirshova T.I. Association of probiotic *L. reuteri* and *L. helveticus* cultures for bacterial concentrate development. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2017; (10): 60–1. (in Russian)
 25. *Clinical Laboratory Parameters for Rats*. Charles River, 2008: 14 p.
 26. *Animal Clinical Chemistry: A Practical Handbook for Toxicologist and Biomedical Researchers*. 2nd ed. In: G.O. Evans (ed.). A. George Owen and Company/CRC Press, UK, 2009: 368 p.
 27. Thushara R.M., Gangadaran S., Solati Z., Moghadasian M.H. Cardiovascular benefits of probiotics: a review of experimental and clinical studies. *Food Funct*. 2016; 7: 632–42.
 28. Singh T.P., Malik R.K., Katkamwar S.G., Kaur G. Hypocholesterolemic effects of *Lactobacillus reuteri* LR6 in rats fed on high-cholesterol diet. *Int J Food Sci Nutr*. 2015; 66 (1): 71–5.
 29. Ishimwe N., Daliri E.B., Lee B.H., Fang F., Du G. The perspective on cholesterol-lowering mechanisms of probiotics. *Mol Nutr Food Res*. 2015; 59: 94–105. doi: 10.1002/mnfr.201400548.

Для корреспонденции

Сидорова Юлия Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
 Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
 Телефон: (495) 698-53-71
 E-mail: sidorovaulia28@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2168-2659>

Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А.

Метаболические эффекты ферментоллизатов белка куриного яйца: перспективы использования у лиц с метаболическим синдромом (краткий обзор)

Metabolic effects of egg white enzymatic hydrolyzates: prospects of use in persons with metabolic syndrome (short review)

Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Sharafetdinov Kh.Kh., Kochetkova A.A.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва
 Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*Метаболический синдром (МС), характеризующийся значительной распространенностью, постоянным ростом числа больных и высокой частотой сердечно-сосудистых осложнений, относится к числу актуальных проблем современной медицины. Одним из путей оптимизации пищевого статуса пациентов с МС является использование в комплексе лечебных мероприятий специализированных пищевых продуктов оптимизированного химического состава, позволяющих корректировать гипергликемию, дислипидемию и нарушения антиоксидантного статуса. Публикации последнего десятилетия свидетельствуют о повышенном интересе специалистов в области питания к проблеме возможного использования ферментативных гидролизатов пищевых белков в составе диетических профилактических продуктов для лиц с нарушениями метаболизма. Высокая биологическая ценность белка куриного яйца (БКЯ) и его ферментоллизатов определяет перспективы их использования в составе специализированных пищевых продуктов, предназначенных для коррекции и/или профилактики клинических проявлений МС. Гидролиз БКЯ приводит к образованию широкого спектра биологически активных пептидов, проявляющих антиоксидантные, гипотензивные, антикоагулянтные и некоторые другие эффекты. К преимуществам ферментоллизатов БКЯ в плане использования в качестве функциональных пищевых ингредиентов по сравнению с исходным белком можно отнести более высокую растворимость в воде, перевариваемость и всасывание в желудочно-кишечном тракте. В представленном обзоре обсуждаются результаты доклинических исследований *in vitro* и *in vivo* по оценке гиполлипидемических свойств БКЯ и его ферментативных гидролизатов. Анализ представленных в обзоре публикаций свидетельствует о том, что введение в рацион лабораторных животных с индуцированным МС БКЯ и его гидролизатов оказывало благоприятные гиполлипидемические и антигипертензивные*

Для цитирования: Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А. Метаболические эффекты ферментоллизатов белка куриного яйца: перспективы использования у лиц с метаболическим синдромом (краткий обзор) // Вopr. питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 63–69. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10054.

Статья поступила в редакцию 09.02.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Sharafetdinov Kh.Kh., Kochetkova A.A. Metabolic effects of egg white enzymatic hydrolyzates: prospects of use in persons with metabolic syndrome (short review). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 63–9. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10054. (in Russian)

Received 09.02.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

эффекты. В обзоре кратко обсуждаются основные механизмы, посредством которых реализуется гиполлипидемическое действие белковых гидролизатов и пептидов в желудочно-кишечном тракте. Делается заключение о перспективности целенаправленного получения ферментативных гидролизатов БКЯ с заданными гиполлипидемическими свойствами с целью включения их в состав диетических профилактических и лечебных продуктов для лиц с МС.

Ключевые слова: метаболический синдром, ожирение, пищевые белки, пептиды, ферментативный гидролизат, белок куриного яйца

The metabolic syndrome (MS), which is characterized by significant prevalence, constant growth of patients' number and high rate of cardiovascular complications, is one of actual problems of modern medicine. A way for optimization of the dietary status of patients with MS is the use of specialized foods with optimized chemical composition in their complex treatment. These products allow to correct hyperglycemia, dyslipidemia and antioxidant status disorders. The publications of the last decade show high interest of scientists to the problem of use of enzymatic hydrolysates of food proteins in dietary preventive products for people with metabolic disorders. High biological value of chicken egg protein and its enzymatic hydrolysates define the prospects of their use in specialized foods aimed at correction and/or prevention of MS clinical implications. The hydrolysis of chicken egg protein leads to the formation of biologically active peptides with antioxidant, hypotensive, anticoagulant and some other effects. As functional food ingredient, the enzymatic hydrolysate of chicken egg protein has some advantages over native protein – higher water solubility, digestibility and absorption in gastrointestinal tract. The results of preclinical in vitro and in vivo studies on evaluation of hypolipidemic effects of chicken egg protein and its enzymatic hydrolysates are discussed in this review. The analysis of the presented publications shows, that introduction of chicken egg protein and its enzymatic hydrolysates into the diet of animals with induced metabolic syndrome had hypolipidemic and antihypertensive effects. The main mechanisms of hypolipidemic action of protein hydrolysates and peptides in gastrointestinal tract are briefly discussed in this review. The prospects of the production of enzymatic hydrolysates of chicken egg protein with defined hypolipidemic properties for their inclusion into dietary products for prevention and treatment of MS are proved in the review.

Keywords: metabolic syndrome, obesity, food proteins, peptides, enzymatic hydrolysates, chicken egg protein

Одной из актуальных проблем современной медицины является метаболический синдром (МС), характеризующийся значительной распространенностью, постоянным ростом числа больных и высокой частотой сердечно-сосудистых осложнений [1–3].

По данным разных авторов, распространенность МС среди лиц старше 30 лет составляет 10–30% [1, 2], при этом у женщин МС встречается в 2,4 раза чаще, чем у мужчин [4]. Клиническое значение МС состоит в увеличении риска развития ишемической болезни сердца и инсульта в 3–4 раза, а сахарного диабета (СД) 2 типа – в 5–9 раз [3, 5, 6].

Ключевыми факторами в основе развития МС являются увеличение массы висцерального жира и снижение чувствительности периферических тканей к инсулину, которые ассоциируются с нарушениями углеводного, липидного, пуринового обмена и артериальной гипертензией [1, 5, 7]. Снижение чувствительности тканей к инсулину приводит к компенсаторной гиперинсулинемии и постепенному истощению β-клеток поджелудочной железы, что сопровождается повышением пре- и постпрандиальной гликемии и развитием СД 2 типа. Развитие и прогрессирование сердечно-сосудистых заболеваний, ассоциированных с МС, тесно взаимосвязано с формированием атерогенной дислипидемии, характе-

ризующейся повышением концентрации триглицеридов и холестерина липопротеинов низкой плотности, появлением мелких плотных липопротеинов низкой плотности и снижением содержания холестерина липопротеинов высокой плотности. Накопление жировой ткани, особенно во внутренних органах, нарушение процессов фибринолиза, окислительный стресс, субклиническое воспаление и эндотелиальная дисфункция стимулируют развитие макро- и микрососудистых осложнений, обусловленных атеросклерозом.

В лечении МС первостепенными являются мероприятия, направленные на модификацию образа жизни, включая нормализацию массы тела, отказ от курения и злоупотребления алкоголем, повышение физической активности. Коррекцию основных проявлений МС обеспечивают такие компоненты диеты, как энергетическая ценность, количество и качественный состав жира, белка, углеводов, пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов, минорных компонентов пищи. Одним из наиболее эффективных путей оптимизации пищевого статуса пациентов с МС является использование в комплексе лечебных мероприятий специализированных пищевых продуктов оптимизированного химического состава, корригирующих гипергликемию, дислипидемию, нарушения антиоксидантного статуса [8].

Публикации последнего 10-летия свидетельствуют о повышенном интересе специалистов в области питания к проблеме возможного использования ферментативных гидролизатов пищевых белков в составе диетических профилактических продуктов для лиц с нарушениями липидного метаболизма [9]. Это положение в свою очередь стимулирует проведение доклинических исследований по оценке гиполипидемических свойств различных ферментализатов пищевых белков и выделяемых из них определенных пептидных фракций [10–12]. Высокая биологическая ценность белка куриного яйца (БКЯ) и его ферментализатов определяет перспективы использования их в составе пищевых продуктов массового спроса и специализированных пищевых продуктов для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний, включая клинические проявления МС: дислипидемию, гипергликемию, гипертензию, висцеральное ожирение [13]. Протеолиз БКЯ приводит к образованию широкого спектра биологически активных пептидов, проявляющих антиоксидантный, гипотензивный, противовоспалительный, антикоагулянтный, антимикробный и иммуномодулирующие эффекты [14–17]. Активно обсуждаются результаты исследований по оценке гиполипидемических свойств БКЯ, ферментативных гидролизатов БКЯ и его определенных пептидных фракций в опытах *in vitro* и в экспериментах *in vivo* на лабораторных животных (крысах и мышах) с экспериментально индуцированной или генетически обусловленной дислипидемией.

Влияние потребления БКЯ и его ферментативного гидролизата (близкого по аминокислотному составу к исходному белку) на липидный метаболизм у 3-недельных крыс-самцов линии Вистар было исследовано в работе [18]. В рационах животных опытных групп казеин полностью заменяли на БКЯ или на его гидролизат. МС моделировали потреблением высокожирового рациона (соевое масло + говяжий жир обеспечили 54% калорийности рациона) с высоким содержанием сахарозы, а продолжительность эксперимента составила 8 нед. Как БКЯ, так и его ферментативные гидролизаты снижали по сравнению с казеином потребление рациона, прирост массы тела, аккумуляцию жира в тушке, печени, мышцах и жировых тканях животных, ингибируя активность ферментов, включенных в процесс липогенеза в печени и мышцах. При этом отмечено увеличение мышечной массы и экскреции жира с фекалиями. Средние значения лептина в сыворотке крови также были заметно ниже у животных, потреблявших БКЯ и его гидролизат, однако вследствие значительного разброса определяемых величин эти различия недостоверны. В данном исследовании гиполипидемические эффекты БКЯ проявились вне зависимости от его ферментативной обработки и были более выражены для белка, а не для его ферментализата. К сожалению, в статье не приведено сколько-нибудь подробной характеристики ферментализата, прежде всего не указан используемый ферментный препарат. Совокупность полученных в работе результатов, по мнению ее авторов,

означает, что БКЯ (в большей степени) и его гидролизат снижают накопление жира в теле животных путем регулирования (снижения) в печени и мышцах активности стеароил-КоА десатуразы – фермента, ответственного за превращение насыщенных жирных кислот в ненасыщенные. В предыдущей работе этих исследователей также было показано, что потребление гидролизата БКЯ снижало активность стеароил-КоА десатуразы и аккумуляцию триглицеридов в печени и мышцах Goto-Kakizaki крыс [19].

Результаты сравнительной оценки в опытах *in vitro* ингибирования активности α -глюкозидазы и α -амилазы синтетическими пептидами, соответствующими по своей аминокислотной последовательности пептидам, выделенным из гидролизата БКЯ, полученного с использованием фермента алкалаза, представлены в работе [20]. Не выявлена сколько-нибудь заметная ингибирующая активность тестируемых пептидов по отношению к α -амилазе. Наивысшей ингибирующей активностью относительно α -глюкозидазы обладал гексапептид ARVPSLM (ArgValProSerLeuMet), для которого значение константы 50% ингибирования (IC_{50}) составило 23,07 мкмоль/л, что потенциально может представлять интерес для использования этого пептида в качестве супрессора постпрандиальной гипергликемии.

Различные проявления биологической активности гидролизатов БКЯ, полученных путем протеолиза 8 ферментными препаратами: алкалазой из *Bacillus Licheniformis*, флавоэнзимом из *Aspergillus oryzae*, нейтралой из *Bacillus Amyloliquefaciens*, трипсином из поджелудочной железы свиньи, пепсином из желудка свиньи, панкреатином из поджелудочной железы свиньи, аминопептидазой 433P из *Rhizopus oryzae* и папаином из *Carica papaya* при оптимальных условиях проведения реакций для каждого фермента, были протестированы в опытах *in vitro* [21]. Цель исследования состояла в выборе гидролизатов, наиболее перспективных в плане использования для диетической профилактики или диетотерапии осложнений, вызванных МС: ожирения, гипертензии, высокого уровня триглицеридов в сыворотке крови, низкого уровня липопротеинов высокой плотности и повышенной концентрации глюкозы в крови натощак. Для каждого гидролизата тестировали ингибирование ангиотензинпревращающего фермента (АСЕ), антиоксидантную (по поглощению кислородных радикалов) и противовоспалительную активность, связывание желчных кислот и ингибирование дипептидилпептидазы IV. Как наиболее перспективные на основании проведенного тестирования были выбраны гидролизаты, полученные с использованием пепсина и аминопептидазы 433P. Выбор пепсинового гидролизата был обоснован его высокой АСЕ-ингибирующей и антиоксидантной активностью, а гидролизат, полученный при действии аминопептидазы 433P, характеризовался высоким уровнем антиоксидантной активности и гипохолестеринемическими свойствами (по связыванию желчных кислот). Для обоих гидролизатов также получены данные, свидетельствующие

об их противовоспалительных свойствах и возможности участвовать в защите клеток от окислительного повреждения. В последующих работах оба ферментолитизата были исследованы в опытах *in vivo*. Пепсиновый гидролизат был протестирован на тучных крысах-самцах линии Zucker fatty (fa/fa) 8-месячного возраста [22]. Гидролизат животные получали через поилку в виде водного раствора в дозе 750 мг/кг в день в течение 12 нед. Его потребление благоприятно влияло на микробный дисбактериоз, характерный для данной линии животных, и способствовало нормализации кишечной микрофлоры, сопровождаемой также тенденцией к уменьшению экскреции с фекалиями короткоцепочечных жирных кислот.

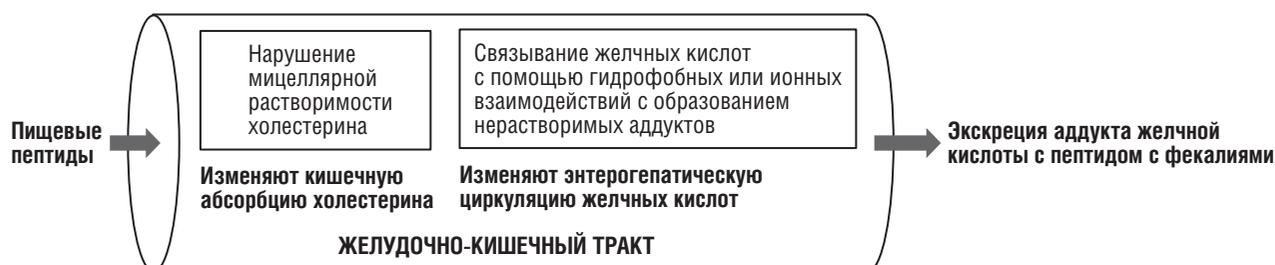
В работе [23] было изучено влияние обоих вышеназванных ферментолитизатов на липидный обмен, воспалительные процессы и окислительный стресс у тучных крыс линии Zucker, получавших гидролизаты внутрижелудочно в дозе 750 мг/кг в день в течение 12 нед. Масса эпидидимальной жировой ткани была значительно ниже у животных, получавших пепсиновый гидролизат, чем у животных контрольной группы. Потребление пепсинового гидролизата снижало уровень фактора некроза опухоли (TNF- α) и концентрацию свободных жирных кислот в плазме крови, нормализовало в плазме крови концентрацию адипонектина, увеличивало уровни восстановленного глутатиона в печени и оказало значительное положительное влияние на стеатоз печени, характерный для тучных крыс линии Zucker. Потребление аминокатаболитического ферментолитизата в условиях *in vivo* оказалось неэффективным и не влияло на накопление животными жира и стеатоз печени.

Антигипертензивные свойства гидролизатов, полученных последовательным протеолизом пепсином и трипсином предварительно обжаренных цельных куриных яиц, белка и желтка куриного яйца, были исследованы *in vivo* на крысах-самцах линии SHR со спонтанной гипертензией [24]. Гидролизаты вводили внутрижелудочно в дозе 1000 мг/кг в день в течение 18 дней и оценивали их влияние на регуляцию артериального давления, профиль липидов плазмы крови и окислительный стресс в тканях. У животных, потреблявших гидролизаты обжаренного цельного яйца, белка куриного яйца и обезжиренного желтка куриного яйца, снижалось артериальное давление, сопровождающееся восстановлением зависимой от оксида азота вазорелаксации, снижением

ангиотензина II плазмы крови и снижением проявлений окислительного стресса. Введение гидролизата жареного цельного яйца, как и негидролизованного жареного цельного яйца, приводило к снижению концентрации триглицеридов в плазме крови.

Влияние значительно более продолжительного (свыше 100 сут) потребления пепсинового гидролизата БКЯ на профиль липидов плазмы крови и окислительный стресс также было исследовано в опытах на крысах-самцах линии SHR со спонтанной гипертензией, получавших ежедневно с питьем 0,5 г гидролизата на 1 кг массы тела [25]. Было установлено, что потребление гидролизата может предотвращать развитие окислительного стресса, повышая способность плазмы крови поглощать кислородные радикалы и ингибируя перекисное окисление липидов. Антиоксидантное действие гидролизата в сочетании с его ACE-ингибиторной активностью и вазодилаторным действием определили его антигипертензивные свойства. По мнению авторов статьи, гиполипидемические свойства гидролизата могут представлять существенный интерес в плане контроля уровня липидов крови при определенных заболеваниях.

Как отмечают авторы аналитического обзора [9], основные механизмы, посредством которых реализуется гиполипидемическое действие белковых гидролизатов и пептидов в желудочно-кишечном тракте и после всасывания в гепатоцитах и адипоцитах, включают связывание желчных кислот, препятствующее мицеллярной растворимости холестерина, модифицирующее влияние на ферментативную активность гепатоцитов и адипоцитов, экспрессию генов липогенных белков. Применительно к гидролизату БКЯ возможный механизм его гиполипидемического действия представлен на гипотетической схеме влияния пепсинового ферментолитизата этого белка на всасывание в кишечнике и поступление в лимфу холестерина пищи (см. рисунок) [9]. При поступлении в желудочно-кишечный тракт гиполипидемические пептиды в составе гидролизата препятствуют встраиванию холестерина в мицеллы желчных кислот, тем самым уменьшая его поступление в энтероциты и ингибируя транспорт холестерина в составе хиломикрон с лимфой, как это было показано в опыте на крысах с канюлированным грудным лимфатическим протоком [26]. Соответственно, имеет место повышение катаболизма холестерина и его экскреции с калом.



Влияние пепсинового ферментолитизата белка куриного яйца на всасывание в кишечнике и поступление в лимфу холестерина [9]

В дополнение к предлагаемому механизму обсуждается возможное нормализующее влияние на липидный профиль пептидов в составе гидролизатов, снижающее экспрессию гена кишечного трансмембранного белка Niemann-Pick C1-like 1 – медиатора липидного транспорта, локализованного на апикальной стороне мембраны энтероцита [27].

Заключение

Ферментоллизаты БКЯ, как и ряда других пищевых белков, содержат пептиды, гиполлипидемические свойства которых зависят от их аминокислотного состава, определяемого условиями протеолиза и в первую очередь выбором фермента. Преимуществами ферментативных гидролизатов БКЯ в плане использования в качестве функциональных пищевых ингредиентов

по сравнению с исходным белком являются более высокая растворимость в воде, перевариваемость и всасывание в желудочно-кишечном тракте. Очевидна перспективность целенаправленного получения отечественной пищевой промышленностью ферментативных гидролизатов БКЯ с заданными гиполлипидемическими свойствами с целью включения их в состав диетических профилактических и лечебных продуктов для лиц с МС.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований (тема № 0529-2014-0046).

Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

Сидорова Юлия Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов

E-mail: sidorovaulia28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2168-2659>

Мазо Владимир Кимович – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов

E-mail: mazo@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3237-7967>

Шарафетдинов Хайдер Хамзярович – доктор медицинских наук, заведующий отделением болезней обмена веществ

E-mail: sharafandr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6061-0095>

Кочеткова Алла Алексеевна – доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов

E-mail: kochetkova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

Литература

1. Ройтберг Г.Е. Метаболический синдром. М.: МЕДпресс-информ, 2007. 224 с.
2. Boden-Albala B., Sacco R.L., Lee H.S. Metabolic syndrome and ischemic stroke risk: Northern Manhattan study // *Stroke*. 2008. Vol. 39, N 1. P. 30–35.
3. Ceska R. Clinical implications of the metabolic syndrome // *Diabetes Vasc. Dis. Res.* 2007. Vol. 4, suppl. 3. P. S2–S4.
4. Mamedov M., Suslonova N. Metabolic syndrome prevalence in Russia: preliminary results of a cross-sectional population study // *Diabetic Vasc. Dis. Res.* 2007. Vol. 4, N 1. P. 46–47.
5. Шарафетдинов Х.Х., Зейгарник М.В., Каганов Б.С. и др. Метаболический синдром: современные представления, критерии диагностики и принципы диетотерапии // *Вопр. диетологии*. 2015. Т. 5, № 4. С. 4–13.
6. Schmidt M. I., Duncan B. B., Bang H. et al. Identifying individuals at high risk for diabetes: the Atherosclerosis Risk in Communities Study // *Diabetes Care*. 2005. Vol. 28, N 8. P. 2013–2018.
7. Диагностика и лечение метаболического синдрома. Рекомендации экспертов всероссийского научного общества кардиологов (второй пересмотр) // *Кардиоваскуляр. тер. и профилактика*. 2009. Т. 8, № 6. Прил. 2. С. 32.
8. Юдочкин А.В. Клинико-генетическая диагностика и диетотерапия метаболического синдрома у женщин репродуктивного возраста: Автореф. дисс. канд. мед. наук. М., 2013.
9. Howard A., Udenigwe C.C. Mechanisms and prospects of food protein hydrolysates and peptide-induced hypolipidaemia // *Food Funct.* 2013. Vol. 4, N 1. P. 40–51.
10. Boulart A.C., deGraaf J., Stalenhoeve A.F. Serum triglycerides and risk of cardiovascular disease // *Biochim. Biophys. Acta*. 2012. Vol. 1821, N 5. P. 867–875.
11. Ruiz Ruiz J.C., Betancur Ancona D.A., Segura Campos M.R. Bioactive vegetable proteins and peptides in lipid-lowering; nutraceutical potential // *Nutr. Hosp.* 2014. Vol. 29, N 4. P. 776–784.
12. Patil P., Mandal S., Tomar S.K., Anand S. Food protein-derived bioactive peptides in management of type 2 diabetes // *Eur. J. Nutr.* 2015. Vol. 54, N 6. P. 863–880. doi: 10.1007/s00394-015-0974-2.
13. Стефанова И.Л., Мазо В.К., Мокшанцева И.В., Клименко А.Ю. Перспективы использования яичного белка в составе функциональных пищевых продуктов // *Птица и птицепродукты*. 2017. № 1. С. 43–45.
14. Cho D.Y., Jo K., Cho S.Y., Kim J.M., Lim K., Suh H.J. et al. Antioxidant effect and functional properties of hydrolysates derived from egg-

- white protein // *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 2014. Vol. 34, N 3. P. 362–371. doi: 10.5851/kosfa.2014.34.3.362.
15. Noh D.O., Suh H.J. 2014 Preparation of egg white liquid hydrolysate (ELH) and its radical-scavenging activity // *Prev. Nutr. Food Sci.* 2015. Vol. 20, N 3. P. 183–189. doi: 10.3746/pnf.2015.20.3.183.
 16. Yang M., Yang C., Nau F., Pasco M., Juneja L.R., Okubo T. et al. Immunomodulatory effects of egg white enzymatic hydrolysates containing immunodominant epitopes in a BALB/c mouse model of egg allergy // *J. Agric. Food Chem.* 2009. Vol. 57. P. 2241–2248.
 17. You S.J., Udenigwe C.C., Aluko R.E., Wu J. Multifunctional peptides from egg white lysozyme // *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43, N 3. P. 848–855.
 18. Ochiai M., Matsuo T. Effect of egg white and its hydrolysate on stearoyl-CoA desaturase index and fat accumulation in rat tissues // *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2014. Vol. 65, N 8. P. 948–952.
 19. Ochiai M., Kuroda T., Matsuo T. Increased muscular triglyceride content and hyperglycemia in Goto-Kakizaki rat are decreased by egg white hydrolysate // *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2014. Vol. 65. P. 495–501.
 20. Yu Z., Yin Y., Zhao W., Yu Y., Liu B., Liu J. et al. Novel peptides derived from egg white protein inhibiting alpha-glucosidase // *Food Chem.* 2011. Vol. 129. P. 1376–1382.
 21. Garces-Rimon M., Lopez-Exposito I., Lopez-Fandino R., Miguel M. Egg white hydrolysates with in vitro biological multiactivities to control complications associated with the metabolic syndrome // *Eur. Food Res. Technol.* 2016. Vol. 242. P. 61–69. doi: 10.1007/s00217-015-2518-7.
 22. Requena T., Miguel M., Garces-Rimon M., Martinez-Cuesta M.C., Lopez-Fandino R., Pelaeza C. Pepsin egg white hydrolysate modulates gut microbiota in Zucker obese rats // *Food Funct.* 2017. Vol. 8. P. 437–443. doi: 10.1039/C6FO01571A.
 23. Garces-Rimon M., Gonzalez C., Uranga J.A., Lopez-Miranda V., Lopez-Fandino R., Miguel M. Pepsin egg white hydrolysate ameliorates obesity-related oxidative stress, inflammation and steatosis in Zucker fatty rats // *PLoS One.* 2016. Vol. 11, N 3. Article ID e0151193. doi: 10.1371/journal.pone.0151193.
 24. Jahandideh F., Majumder K., Chakrabarti S., Morton J.S., Panahi S., Kaufman S. et al. Beneficial effects of simulated gastro-intestinal digests of fried egg and its fractions on blood pressure, plasma lipids and oxidative stress in spontaneously hypertensive rats // *PLoS One.* 2014. Vol. 9, N 12. Article ID e115006. doi: 10.1371/journal.pone.0115006.
 25. Manso M.A., Miguel M., Even J., Hernandez R., Alexandre A., Lopez-Fandino R. Effect of the long-term intake of an egg white hydrolysate on the oxidative status and blood lipid profile of spontaneously hypertensive rats // *Food Chem.* 2008. Vol. 109, N 2. P. 361–367. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.049.
 26. Matsuoka R., Shirouchi B., Kawamura S., Baba S., Shiratake S., Nagata K. et al. Dietary egg white protein inhibits lymphatic lipid transport in thoracic lymph duct-cannulated rats // *J. Agric. Food Chem.* 2014. Vol. 62, N 44. P. 10 694–10 700. doi: 10.1021/jf502741b.
 27. Nagata Y., Noguchi Y., Tamaru S., Kuwahara K., Okamoto A., Suruga K. et al. Hypolipidemic potential of squid homogenate irrespective of a relatively high content of cholesterol // *Lipids Health Dis.* 2014. Vol. 13. P. 165. doi: 10.1186/1476-511X-13-165.

References

1. Roytberg G.E. Metabolic syndrome. Moscow: MEDpress-inform, 2007: 224 p. (in Russian)
2. Boden-Albala B., Sacco R.L., Lee H.S. Metabolic syndrome and ischemic stroke risk: Northern Manhattan study. *Stroke.* 2008; 39 (1): 30–5.
3. Ceska R. Clinical implications of the metabolic syndrome. *Diabetes Vasc Dis Res.* 2007; 4 (3): S2–4.
4. Mamedov M., Suslonova N. Metabolic syndrome prevalence in Russia: preliminary results of a cross-sectional population study. *Diabetic Vasc Dis Res.* 2007; 4 (1): 46–7.
5. Sharafetdinov H.H., Zeigarnik M.V., Kaganov B.S., et al. Metabolic syndrome: modern representations, diagnostic criteria and principles of diet therapy. *Voprosy dietologii [Problems of Dietology].* 2015; 5 (4): 4–13. (in Russian)
6. Schmidt M. I., Duncan B. B., Bang H., et al. Identifying individuals at high risk for diabetes: the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Diabetes Care.* 2005; 28 (8): 2013–8.
7. Diagnosis and treatment of metabolic syndrome. Recommendations of experts of the All-Russian Scientific Society of Cardiology (second revision). *Kardiovaskulyarnaya terapiya I profilaktika [Cardiovascular therapy and prevention].* 2009; 8 (6, suppl 2): 32. (in Russian)
8. Yudochnik A.V. Clinical and genetic diagnosis and diet therapy of metabolic syndrome in women of reproductive age: Diss. Moscow, 2013. (in Russian)
9. Howard A., Udenigwe C.C. Mechanisms and prospects of food protein hydrolysates and peptide-induced hypolipidaemia. *Food Funct.* 2013; 4 (1): 40–51.
10. Boulart A.C., deGraaf J., Stalenhoef A.F. Serum triglycerides and risk of cardiovascular disease. *Biochim Biophys Acta.* 2012; 1821 (5): 867–75.
11. Ruiz Ruiz J.C., Betancur Ancona D.A., Segura Campos M.R. Bioactive vegetable proteins and peptides in lipid-lowering; nutraceutical potential. *Nutr Hosp.* 2014; 29 (4): 776–84.
12. Patil P., Mandal S., Tomar S.K., Anand S. Food protein-derived bioactive peptides in management of type 2 diabetes. *Eur J Nutr.* 2015; 54 (6): 863–80. doi: 10.1007/s00394-015-0974-2.
13. Stefanova I.L., Mazo V.K., Mokshantseva I.V., Klimenko A.Yu. Prospects for the use of egg white in functional foods. *Ptitsa i ptitseproduktu [Poultry and Poultry Products].* 2017; (1): 43–5. (in Russian)
14. Cho D.Y., Jo K., Cho S.Y., Kim J.M., Lim K., Suh H.J., et al. Antioxidant effect and functional properties of hydrolysates derived from egg-white protein. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2014; 34 (3): 362–71. doi: 10.5851/kosfa.2014.34.3.362.
15. Noh D.O., Suh H.J. 2014 Preparation of egg white liquid hydrolysate (ELH) and its radical-scavenging activity. *Prev Nutr Food Sci.* 2015; 20 (3): 183–9. doi: 10.3746/pnf.2015.20.3.183.
16. Yang M., Yang C., Nau F., Pasco M., Juneja L.R., Okubo T., et al. Immunomodulatory effects of egg white enzymatic hydrolysates containing immunodominant epitopes in a BALB/c mouse model of egg allergy. *J Agric Food Chem.* 2009; 57: 2241–48.
17. You S.J., Udenigwe C.C., Aluko R.E., Wu J. Multifunctional peptides from egg white lysozyme. *Food Res Int.* 2010; 43 (3): 848–55.
18. Ochiai M., Matsuo T. Effect of egg white and its hydrolysate on stearoyl-CoA desaturase index and fat accumulation in rat tissues. *Int J Food Sci Nutr.* 2014; 65 (8): 948–52.
19. Ochiai M., Kuroda T., Matsuo T. Increased muscular triglyceride content and hyperglycemia in Goto-Kakizaki rat are decreased by egg white hydrolysate. *Int J Food Sci Nutr.* 2014; 65: 495–501.
20. Yu Z., Yin Y., Zhao W., Yu Y., Liu B., Liu J., et al. Novel peptides derived from egg white protein inhibiting alpha-glucosidase. *Food Chem.* 2011; 129: 1376–82.
21. Garces-Rimon M., Lopez-Exposito I., Lopez-Fandino R., Miguel M. Egg white hydrolysates with in vitro biological multiactivities to control complications associated with the metabolic syndrome. *Eur Food Res Technol.* 2016; 242: 61–9. doi: 10.1007/s00217-015-2518-7.
22. Requena T., Miguel M., Garces-Rimon M., Martinez-Cuesta M.C., Lopez-Fandino R., Pelaeza C. Pepsin egg white hydrolysate modulates gut microbiota in Zucker obese rats. *Food Funct.* 2017; 8: 437–43. doi: 10.1039/C6FO01571A.
23. Garces-Rimon M., Gonzalez C., Uranga J.A., Lopez-Miranda V., Lopez-Fandino R., Miguel M. Pepsin egg white hydrolysate ameliorates obesity-related oxidative stress, inflammation and steatosis in

- zucker fatty rats. PLoS One. 2016; 11 (3): e0151193. doi: 10.1371/journal.pone.0151193.
24. Jahandideh F., Majumder K., Chakrabarti S., Morton J.S., Panahi S., Kaufman S., et al. Beneficial effects of simulated gastro-intestinal digests of fried egg and its fractions on blood pressure, plasma lipids and oxidative stress in spontaneously hypertensive rats. PLoS One. 2014; 9 (12): e115006. doi: 10.1371/journal.pone.0115006.
25. Manso M.A., Miguel M., Even J., Hernandez R., Aleixandre A., Lopez-Fandino R. Effect of the long-term intake of an egg white hydrolysate on the oxidative status and blood lipid profile of spontaneously hypertensive rats. Food Chem. 2008; 109 (2): 361–7. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.049.
26. Matsuoka R., Shirouchi B., Kawamura S., Baba S., Shiratake S., Nagata K., et al. Dietary egg white protein inhibits lymphatic lipid transport in thoracic lymph duct-cannulated rats. J Agric Food Chem. 2014; 62 (44): 10 694–700. doi: 10.1021/jf502741b.
27. Nagata Y., Noguchi Y., Tamaru S., Kuwahara K., Okamoto A., Suruga K., et al. Hypolipidemic potential of squid homogenate irrespective of a relatively high content of cholesterol. Lipids Health Dis. 2014; 13: 165. doi: 10.1186/1476-511X-13-165.

Для корреспонденции

Махова Анна Александровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)
 Адрес: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая д. 8, стр. 2
 Телефон: (495) 609-19-91
 E-mail: annabramova@gmail.com

Кручинина Т.В., Махова А.А., Ших Е.В., Дроздов В.Н.

S-метилметионин (витамин U): экспериментальные исследования и клинические перспективы

S-methylmethionin (vitamin U):
experimental studies
and clinical perspective

Kruchinina T.V., Makhova A.A., Shikh E.V.,
Drozdov V.N.

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

Витаминоподобное соединение S-метил-L-метионин (SMM, исторически сложившееся название «витамин U») является средством метаболического действия, влияет на обменные процессы, что и обуславливает большое разнообразие его эффектов. Представлен обзор данных исследований, демонстрирующих гастропротекторный эффект, гиполлипидемическое и антиоксидантное действия, участие в регуляции функционирования адипоцитов, обмена гомоцистеина. SMM задействован во всех реакциях метилирования, в которых обычно участвует другая активированная форма метионина – S-аденозилметионин. Оценка результатов проведенных исследований свидетельствует о возможном расширении клинического применения S-метилметионина.

Ключевые слова: витамин U, S-метилметионин, антиоксиданты

Vitamin-like compound S-methyl-L-methionine (SMM, historically called vitamin U) is a metabolic agent, affects metabolic processes, which causes a wide variety of effects. The data of the studies demonstrating gastroprotective effect, hypolipidemic and antioxidant effect, participation in regulation of adipocyte function, homocysteine exchange are presented. SMM is involved in all methylation reactions in which another activated form of methionine, S-adenosylmethionine, normally participates. The results of the observed studies indicate a possible expansion of the clinical use of S-methylmethionine.

Keywords: vitamin U, S-methylmethionine, antioxidants

Для цитирования: Кручинина Т.В., Махова А.А., Ших Е.В., Дроздов В.Н. S-метилметионин (витамин U): экспериментальные исследования и клинические перспективы // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 70–76. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10055.

Статья поступила в редакцию 06.08.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Kruchinina T.V., Makhova A.A., Shikh E.V., Drozdov V.N. S-methylmethionin (vitamin U): experimental studies and clinical perspective. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 70–6. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10055. (in Russian)

Received 06.08.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

S-метил-L-метионин (SMM) – витаминоподобное вещество, также известное как витамин U, представляет собой функциональную гидрофильную молекулу, имеющую катионную структуру с концевой группой α -аминокислоты (см. рисунок) [1].

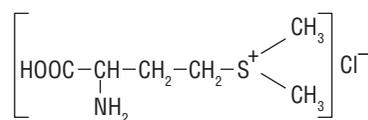
Американские ученые G. Cheney (1940–1956) и G.M. Cummings и соавт. (1946) не только выделили данное вещество из капустного сока, но и показали его благоприятное влияние на заживление и профилактику язвы желудка, в связи с чем вещество и получило свое название (от лат. *ulcus* – язва) [2]. G. Cheney предположил, что язвенная болезнь вызывается недостатком какого-то пищевого фактора, который отнес к категории витаминов, поэтому и соли метилметионинсульфония, обнаруженные в этих продуктах и оказывающие терапевтическое действие, получили название витамина U. Судя по эффекту, достигаемому небольшими дозами SMM, он должен быть отнесен к числу физиологически активных соединений. В 1952 г. G. Cheney сообщил о необычно высокой скорости излечения язвы желудка, двенадцатиперстной кишки у группы из 25 пациентов, которые принимали по 1 л в день капустного сока, получаемого примерно из 2 кг свежей капусты. Работы G. Cheney положили начало применению витамина U при лечении язвенной болезни в клиниках Италии, Германии, Болгарии [3].

Благодаря наличию функциональной сульфониевой группы SMM является промежуточным звеном многих метаболических путей в организме человека. Многоступенчатый биосинтез SMM происходит путем конверсии L-метионина в S-аденозилметионин, с последующей заменой аденозильной группы на метильную при участии фермента метионин-S-метилтрансферазы [3].

SMM является активированной формой метионина с весьма интересными свойствами, он способен принимать участие во всех реакциях метилирования, в которых обычно участвует другая активированная форма метионина – S-аденозилметионин. Согласно данным R. Suzue, применение S-метионина предпочтительно потому, что он не оказывает тормозящее действие на процессы метилирования. S-аденозилметионин, образующийся в организме из метионина, является ингибитором важнейшего фермента этой системы, который завершает реакцию образования метильных радикалов из одноуглеродистых соединений, восстанавливая метиленовую группировку фолата в метильную [1].

S-аденозилметионин оказывает ингибирующее действие на систему метаболизма ксенобиотиков печени, а SMM не влияет на функциональную активность изоферментов печени и, соответственно, более безопасен.

Рекомендуемый уровень суточного потребления метилметионинсульфония, согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.2432-08, составляет 200 мг [4]. SMM содержится в основном в продуктах растительного происхождения [5], особенно в зеленых листовых овощах, спарже и капусте. В шпинате содержание SMM составляет 45,2 мг/100 г сухого вещества, в китайской лис-



Химическая формула витамина U

товой капусте 34,3 мг/100 г сухого вещества, в спарже и листовой горчице – 18,7–19,6 мг/100 г сухого вещества, в брокколи – 18,9 мг/100 г сухого вещества. Для белокочанной капусты содержание витамина U различается по частям растения, таким как сердцевина, внутренняя и внешняя листья. Уровень витамина U выше всего во внутренних листьях – 46,4 мг на 100 г сухого вещества [5].

Результаты экспериментальных доклинических и клинических исследований раскрывают перспективу применения данного соединения в клинической практике [3].

Гастропротекторный эффект S-метил-L-метионина. Перспективы применения в гастроэнтерологии

Несмотря на то что современные стандарты лечения пациентов гастроэнтерологического профиля полностью вытеснили применение SMM, история изучения его эффективности применения у данного контингента пациентов представляет определенный интерес.

S-метилметионинсульфония хлорид (SMMSCI) в клинике для лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки изучался независимыми группами ученых из разных стран. Японские авторы опубликовали ряд работ, показывающих эффективность SMMSCI при лечении язвенной болезни и гастритов в 77–100%. Немецкие исследователи продемонстрировали эффективность витамина U, в том числе у пациентов с ахилией и пониженной кислотностью. S. Jamagata и соавт. в опубликованных результатах исследования эффективности SMMSCI отметили исчезновение болей, изжоги, отрыжки у 50–100%, изменение размеров «ниши» у 84,3%, полное рубцевание у 21,1% пациентов с язвенной болезнью при приеме препарата в дозе 200 мг/сут [2]. Таким образом, исследователи наблюдали положительный эффект приема SMMSCI на состояние слизистой оболочки желудка.

Проведенное в НИИ питания РАМН (в настоящее время – ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии») исследование по изучению действия SMM в дозе 250 мг/сут на фоне диетотерапии у 37 пациентов с гиперацидным гастритом и дуоденитом показало, что у больных основной группы, получавших SMM, болевой синдром купировался в значительно более короткие сроки (через 5–10 дней) по сравнению с пациентами контрольной группы, получавшими только лечебное питание (у них боли исчезали спустя 1 мес и более) [2]. Аналогичные

результаты были получены при сравнении динамики диспептических жалоб, анализе результатов рентгенофункциональных методов исследования.

При язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки ярко выраженная положительная клиническая динамика при применении SMM в дозе 200 мг/сут наблюдалась в течение первых 5 дней терапии [6]. У больных с сочетанием язвенной болезни и хронического гепатохолецистита, гастродуоденита, колита, оперированным желудком отмеченные выше симптомы регрессировали несколько позже, начиная с 10-го дня терапии.

Исследование эффективности введения через желудочный зонд сульфгидрилсодержащих веществ – DL-цистеина и SMMSCl (1–5%) – животным с экспериментальным острым ишемическим повреждением слизистой оболочки желудка, которое было индуцировано резерпином в дозе 5 мг на 1 кг массы тела или 5-гидрокситриптамином в дозе 50 мг/кг, показало, что исследуемые сульфгидрилсодержащие вещества, в том числе SMMSCl, оказывают цито- и гастропротекторный эффекты на слизистую желудка [7].

Исторически сложилось, что SMM рассматривается в качестве антиоксиданта, обеспечивающего защиту слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта и печени.

Перспективы противоязвенной и гастропротекторной роли SMM были нивелированы как разработкой антисекреторных препаратов, так и открытием роли *Helicobacter pylori* в патогенезе язвенной болезни. Однако ряд проведенных в последние годы экспериментальных исследований позволяет определить новые направления возможного использования SMM у пациентов гастроэнтерологического профиля.

Исследование на крупных животных (свиньи) с эзофагитом по оценке терапевтических свойств SMMSCl (200 мг на 1 кг массы тела) в качестве средства для профилактики и/или терапии эзофагогастральных язв показало, что у экспериментальных животных с исходно низким показателем индекса изъязвления прием SMMSCl с пищевым рационом не препятствовал дальнейшему развитию эзофагогастральной язвы. Однако при дальнейшем анализе полученных в ходе эксперимента данных было выявлено, что в группе экспериментальных животных с высокой активностью язвенного процесса назначение SMMSCl приводило к улучшению эндоскопической картины [8].

В ходе экспериментального изучения воздействия комбинации SMMSCl и фамотицина на клетки слизистой оболочки желудка с применением как биохимических, так и гистологических методик исследования была проведена оценка интенсивности биосинтеза и количества муцина в разных областях слизистой оболочки желудка на 8-й день терапии с использованием моноклональных антител против муцина. В результате исследования было показано, что биосинтез и накопление муцина были значительно снижены в группе монотерапии фа-

мотидином, а при комбинированном применении фамотицина с SMMSCl биосинтез и накопление муцина были повышены. Ученые пришли к выводу, что фамотидин-индуцированное подавление функции клеток слизистой оболочки желудка можно предотвратить путем проведения комбинированной фармакотерапии – фамотидин плюс SMMSCl, что открывает определенные перспективы к повышению эффективности фармакотерапии язвенной болезни желудка [9].

Гиполипидемические эффекты S-метилметионина, функционирование адипоцитов. Перспективы профилактики и лечения ожирения

При исследовании влияния SMMSCl на аминоклеозид-индуцированную нефротическую гиперлипидемию у экспериментальных животных было установлено, что курсовое пероральное введение SMMSCl (в суточной дозе 1000 мг на 1 кг массы тела) приводит к снижению концентрации хлорэстера и фосфолипидов в плазме крови. Кроме того, в ходе эксперимента у подопытных животных отмечена явно выраженная тенденция к компенсации нефротического синдрома: уменьшение протеинурии и увеличение объема экскреции мочи. Полученные в ходе данного эксперимента результаты открывают перспективы применения SMMSCl в терапии нефротического синдрома и связанной с ним гиперлипидемии [10].

Активно ведутся экспериментальные исследования по изучению влияния SMM на адипоциты, которые играют основную роль в балансе энергии за счет депонирования триглицеридов и высвобождения по мере необходимости свободных жирных кислот в ответ на изменения энергетических потребностей организма. Ожирение возникает при перегрузке жировой ткани высокоэнергетическими пищевыми веществами без последующего адекватного расхода. Понимание молекулярных механизмов дифференциации адипоцитов может служить ключом к разработке стратегий профилактики и лечения ожирения. Характеристика регуляторных областей генов, специфичных для жировых клеток, привела к идентификации ключевых факторов в сложном транскрипционном каскаде, который возникает во время дифференцировки адипоцитов. Эти факторы включают рецептор-активирующий пролифератор пероксисом (PPAR- γ), ССАТ/энхансер-связывающий белок (C/EBP), фактор детерминации и дифференцировки адипоцитов 1 (ADD-1), синтазу жирных кислот (FAS) и липопротеинлипазу (LPL) [11].

Жировая ткань, помимо центральной роли в депонировании липидов, выделяет многочисленные биологически активные вещества – адипокины, которые способствуют пролиферации клеток, а также дифференциации преадипоцитов в адипоциты. К адипокинам относятся фактор некроза опухоли α , адипонектин, адипсин и интерлейкин-6 (IL-6), который также участвует в воспалительном ответе.

При культивировании клеточной линии преадипоцитов 3T3-L1 с целью изучения эффектов SMM против ожирения было выявлено следующее: с увеличением его концентрации наблюдалось постепенное снижение уровня триглицеридов, энхансер-связывающего белка α , адипоцит-специфического маркера (PPAR- γ), адипсина, (ADD-1) и активности глицерол-3-фосфатдегидрогеназы [12]. Данное исследование имеет клинически значимые перспективы, поскольку доказывает ингибирующее воздействие SMM на дифференцировку адипоцитов посредством снижения уровня адипогенных факторов и повышения активности АМФ-активируемой протеинкиназы. Наиболее важным при воздействии SMM на адипоциты 3T3-L1 является снижение внутриклеточных уровней триглицеридов и глицерол-3-фосфатдегидрогеназы. При этом не было зафиксировано значимых изменений уровня мРНК, LPL или FAS, что указывает на то, что SMM не влияет непосредственно на саму функцию адипоцитов [12].

Антиоксидантные свойства S-метил-L-метионина. Перспективы применения в дерматологии

Одним из направлений исследований является изучение антиоксидантных свойств SMM. Н.Н. Гесслер и соавт. (1996) выявили умеренные радиопротекторные свойства SMM за счет снижения уровня перекисного окисления липидов и ингибирования активности моноаминоксидазы [13].

Выявлено ранозаживляющее действие исследуемого вещества за счет активации фибробластов дермы [14]. В моделях на животных местное введение SMM в течение 1 нед ускоряло закрытие ран, вызванных как физическими, так и химическими повреждающими факторами, и способствовало повторной эпителизации по сравнению с контролем.

Won-Serk Kim и соавт. (2010) [15] изучали фотозащитные свойства накожного нанесения 5% (31,25 мМ) и 10% (62,5 мМ) SMMSCI. В коже SMM повышает жизнеспособность клеток – предшественников кератиноцитов и человеческих дермальных фибробластов после облучения ультрафиолетом В (УФ-В) и уменьшает УФ-индуцированный апоптоз в вышеуказанных клеточных линиях. Защитное действие SMM реализуется путем активации митоген-активируемой протеинкиназы, которая отвечает за передачу сигнала от рецептора на поверхности клетки к ядерной ДНК. Таким образом, фотопротекторный эффект SMM подтвердился в предшественниках кератиноцитов, в дермальных фибробластах человека, в УФ-В-индуцированной эритеме у крыс и при УФ-индуцированном истощении эпидермальных клеток Лангерганса. В дополнение к активации митоген-активируемой протеинкиназы SMM понижал уровень белка p53, что может способствовать ингибированию апоптоза клеток кожи при облучении УФ-В [1].

Профилактика лекарственных поражений различных органов и систем

В экспериментах было показано, что окислительный стресс, воспаление и фиброз в контексте индуцированного вальпроевой кислотой повреждения почек могут быть предотвращены с помощью назначения SMM [16]. У крыс, получавших одновременно SMM и вальпроевую кислоту, было диагностировано значительное снижение гистопатологических изменений, уровня малонового диальдегида, активности ксантиноксидазы и увеличение уровня глутатиона, активности Na⁺/K⁺-АТФазы, каталазы и супероксиддисмутазы (антиоксидантное и защитное действие); снижение концентрации фактора некроза опухоли- α , интерлейкина-1 β , моноцитарного хемоаттрактантного белка-1 и активности аденозиндезаминазы (противовоспалительное действие); снижение уровня трансформирующего фактора роста- β , коллагена-1 и активности аргиназы (антифибротический эффект).

В ряде работ изучали гепатопротекторные свойства SMM при воздействии вальпроевой кислоты [17].

В группе животных, получавших вальпроевую кислоту в дозе 500 мг/кг массы тела в день в течение 15 дней, отмечалось повышение активности аспартат- и аланинаминотрансфераз, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, миелопероксидазы, сорбитолдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы, ксантиноксидазы и уровней перекисного окисления липидов при сниженной активности параоксоназы и концентрации глутатиона.

При совместном назначении вальпроевой кислоты в той же дозе и SMM (50 мг/кг массы тела в сутки) вышеперечисленных признаков гепатотоксичности не наблюдалось. Исследователи предположили, что SMM способен снижать вальпроат-ассоциированное поражение печени, в основном за счет своих антиоксидантных свойств.

В экспериментальном исследовании на крысах линии Sprague Dawley были продемонстрированы перспективы применения SMM с целью предотвращения повреждения хрусталика при приеме вальпроевой кислоты [18]. На 16-й день эксперимента в хрусталике измеряли содержание белка, глутатиона, уровень перекисного окисления липидов и активности антиоксидантных ферментов. В группе экспериментальных животных, получавших вальпроевую кислоту, были выявлены изменения биохимических маркеров, способствующих повреждению хрусталика: повышены уровень перекисного окисления липидов и активность альдозоредуктазы и сорбитолдегидрогеназы; снижены уровень глутатиона, активность супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы, глутатион-S-трансферазы и параоксоназы. В группе комбинированного назначения прием SMM нивелировал вышеперечисленные токсические эффекты вальпроевой кислоты. Исследователи пришли к заключению о способности SMM предотвращать повреждение хрусталика, вызванное вальпроевой кислотой, за счет его антиоксидантных свойств.

Интоксикация печени, вызванная ацетаминофеном, является наиболее частой причиной возникновения острой печеночной недостаточности и показанием к трансплантации печени. Hong-Hsing Liu и соавт. (2010) [19] исследовали на мышах с применением генетического анализа бетаин-гомоцистеин метилтрансферазу 2 (BHMT2) как генетический фактор, влияющий на восприимчивость к индуцированной ацетаминофеном токсичности печени. Для обеспечения защиты от индуцированного ацетаминофеном поражения печени *in vivo* BHMT2 использует SMM в качестве субстрата и таким образом влияет на биосинтез метионина и глутатиона. Совместное введение донора метила, специфичного для BHMT2, которым является SMM, защищало только штаммы мышей с неповрежденной активностью фермента BHMT2 от ацетаминофен-индуцированной токсичности. Снижение активности аланинаминотрансферазы в плазме крови и повышение уровней метионина и глутатиона в печени подтверждают гепатопротекторный эффект. Исследователи пришли к выводу, что SMM *in vivo* способен обеспечить защиту от вызванного ацетаминофеном повреждения [19].

Влияние S-метил-L-метионина на обмен гомоцистеина

Результаты более чем 80 исследований показывают, что даже умеренное повышение концентрации гомоцистеина в крови увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний [20]. Сам механизм, посредством которого гомоцистеин повышает этот риск, также является предметом изучения.

Уровень гомоцистеина в крови регулируется по крайней мере тремя витаминами: фолиевой кислотой, витамином B₁₂, витамином B₆ [21]. Анализ результатов 12 исследований по снижению концентрации гомоцистеина показал, что прием фолиевой кислоты (0,5–5 мг/сут) оказал наибольшее влияние на снижение уровня гомоцистеина крови (25% снижение); совместный прием фолиевой кислоты и витамина B₁₂ (в среднем 500 мкг/сут) давал дополнительное 7% снижение (32% снижение) концентрации гомоцистеина в крови [22].

R.S. Ganu и соавт. (2015) исследовали гены бетаин-гомоцистеин S-метилтрансферазы (BHMT) и BHMT2. Гены *BHMT*, *BHMT2* и кобаламин-зависимая метионинсинтаза (MS) кодируют ферменты, которые метилируют гомоцистеин до метионина с использованием, соответственно, бетаина, SMM или метилтетрагидрофолата [23].

BHMT2 синтезируется дрожжами и растениями, содержится в капусте, помидорах, чесноке или сель-

дерее. Преобразуя гомоцистеин в метионин, вышеуказанные метилтрансферазы выполняют двойную функцию: уменьшают количество гомоцистеина и увеличивают доступность метионина [24–27]. Метионин затем может быть трансформирован в S-аденозилметионин, который в организме человека выступает в качестве донора метильных групп для более чем 200 различных метаболических реакций. Обнаруженный фермент BHMT2 метилирует гомоцистеин с использованием SMM и не использует бетаин в качестве донора метильных групп. В результате исследования выяснилось, что BHMT и BHMT2 имели высококонсервативные гомоцистеин-сайты связывания, соответствующие их функции преобразования гомоцистеина в метионин. Удаление этих остатков в рекомбинантном человеческом ферменте приводит к получению белка, который может связывать гомоцистеин, но полностью неактивен в присутствии бетаина [25–28]. Известно, что *BHMT* присутствует в геномах морского ежа, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих; *BHMT2* присутствует только в геномах млекопитающих [28].

Заключение

SMM является средством метаболического действия, целенаправленно влияет на обменные процессы, что и обуславливает наличие большого разнообразия фармакодинамических эффектов и, соответственно, возможностей для применения в клинической практике.

В настоящее время на отечественном рынке представлена биологически активная добавка к пище Гастрарекс, содержащая 300 мг метилметионинсульфония хлорида.

Данные литературы подтверждают наличие у SMM антиоксидантного эффекта, гиполлипидемического действия, возможности влиять на уровень гомоцистеина. При этом с клинической точки зрения особый интерес представляет способность SMM предотвращать лекарственно индуцированные повреждения печени.

Экспериментальные и клинические данные подтверждают наличие гастропротекторной активности SMM и открывают перспективы его использования в составе комбинированной фармакотерапии язвенной болезни с целью повышения эффективности, а также для профилактики обострений хронических заболеваний слизистой желудочно-кишечного тракта.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Кручинина Татьяна Викторовна – ординатор кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней ФGAOY BO «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)
E-mail: physician1tk@gmail.com

Махова Анна Александровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: annabramova@gmail.com

Ших Евгения Валерьевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней, директор Института профессионального образования ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: chih@mail.ru

Дроздов Владимир Николаевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: vndrozdvov@yandex.ru

Литература

- Kim K.T., Kim J.S., Kim M.-H. et al. Effect of enhancers on in vitro and in vivo skin permeation and deposition of S-methyl-L-methionine // *Biomol. Ther.* 2017. Vol. 25, N 4. P. 434–440. doi: 10.4062/biomolther.2016.254.
- Нестерова А.П., Тайца Н.С., Гурвича М.М. и Литовко В.М. Опыт применения витамина U в комплексном лечении язвенной болезни. Витамин U (S-метилметионин): природа, свойства, применение. М.: Наука, 1973. С. 108–112.
- Patel A.D., Prajapati N.K. Review on biochemical importance of vitamin-U // *J. Chem. Pharm. Res.* 2012. Vol. 4, N 1. P. 209–215.
- Нормы физиологической потребности [MP 2.3.1.2432-08]. URL: <http://docs.cntd.ru/document>.
- Gun-Hee Kim. Determination of vitamin U in food plants // *Food Sci. Technol. Res.* 2003. Vol. 9, N 4. P. 316–319.
- Анисимов В.Е., Старкова Н.В., Жирнов В.Я. Эффективность применения отечественного препарата витамина U при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Витамин U (S-метилметионин): природа, свойства, применение. М.: Наука, 1973. С. 64–71.
- Salim A.S. Administration of sulfhydryls to stimulate the healing of ischemia-induced acute gastric mucosal injury in the rat // *J. Pharm. Sci.* 1991. Vol. 80. P. 539–541. doi: 10.1002/jps.2600800607.
- Kopinski J.S., Fogarty R., McVeigh J. Effect of s-methylmethionine sulphonium chloride on oesophagogastric ulcers in pigs // *Aust. Vet. J.* 2007. Vol. 85. P. 362–367. doi: 10.1111/j.1751-0813.2007.00197.x.
- Ichikawa T., Ito Y., Saegusa Y., Iwai T., Goso Y., Ikezawa T. et al. Effects of combination treatment with famotidine and methylmethionine sulfonium chloride on the mucus barrier of rat gastric mucosa // *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2009. Vol. 24. P. 488–492. doi: 10.1111/j.1440-1746.2008.05667.x.
- Seri K., Amemiya K., Sugimoto H., Kato T. Effects of s-methylmethionine (vitamin u) on experimental nephrotic hyperlipidemia // *Arzneimittelforschung.* 1979. Vol. 29. P. 1517–1520.
- Spiegelman B.M., Flier J.S. Obesity and the regulation of energy balance // *Cell.* 2001. Vol. 104. P. 531–543.
- Lee N.Y., Park K.Y., Min H.J., Song K.Y., Lim Y.Y., Park J. et al. Inhibitory effect of vitamin U (S-methylmethionine sulfonium chloride) on differentiation in 3T3-L1 pre-adipocyte cell lines // *Ann. Dermatol.* 2012. Vol. 24, N 1. P. 39–44.
- Gessler N.N., Kharchenko L.I., Pavlovskaja T.E., Bykhovskii V. Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32. С. 666.
- Kim W.S., Yang Y.J., Min H.G., Song M.G., Lee J.S., Park K.Y. et al. Accelerated wound healing by s-methylmethionine sulfonium: evidence of dermal fibroblast activation via the ERK 1/2 pathway // *Pharmacology.* 2010. Vol. 85. P. 68–76. doi: 10.1159/000276495.
- Kim W.-S., Seo H.-M., Kim W.-K., Choi J.-S., Kim I., Sung J.-H. The photoprotective effect of S-methylmethionine sulfonium in skin // *Int. J. Mol. Sci.* 2015. Vol. 16. P. 17 088–17 100.
- Gezginci-Oktayoglu S., Turkyilmaz I.B., Ercin M., Yanardag R., Bolkent S. Vitamin U has a protective effect on valproic acid-induced renal damage due to its anti-oxidant, anti-inflammatory, and anti-fibrotic properties // *Protoplasma.* 2016. Vol. 253, N 1. P. 127–135.
- Sokmen B.B., Tunali S., Yanardag R. Effects of vitamin U (S-methyl methionine sulphonium chloride) on valproic acid induced liver injury in rats // *Food Chem. Toxicol.* 2012. Vol. 50, N 10. P. 3562–3566.
- Tunali S., Kahraman S., Yanardag R. Vitamin U, a novel free radical scavenger, prevents lens injury in rats administered with valproic acid // *Hum. Exp. Toxicol.* 2015. Vol. 34, N 9. P. 904–910.
- Liu H.-H., Lu P., Guo Y., Farrell E., Zhang X., Zheng M. et al. An integrative genomic analysis identifies Bhm2 as a diet-dependent genetic factor protecting against acetaminophen-induced liver toxicity // *Genome Res.* 2010. Vol. 20, N 1. P. 28–35.
- Gerhard G.T., Duell P.B. Homocysteine and atherosclerosis // *Curr. Opin. Lipidol.* 1999. Vol. 10, N 5. P. 417–428.
- Ших Е.В., Махова А.А. Витамины в клинической практике (научно-практическое издание) / под ред. В.Г. Кукеса. М.: Практическая медицина, 2014. 368 с.
- Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration. Lowering blood homocysteine with folic acid based supplements: meta-analysis of randomised trials. Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration // *BMJ.* 1998. Vol. 316, N 7135. P. 894–898.
- Ganu R.S., Ishida Y., Koutmos M., Kolokotronis S.-O., Roca A.L., Garrow T.A. et al. Evolutionary analyses and natural selection of betaine-homocysteine S-methyltransferase (BHMT) and BHMT2 genes // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, N 7. Article ID e0134084.
- Patananan A.N., Palmer J.M., Garvey G.S., Keller N.P., Clarke S.G. A novel automethylation reaction in the *Aspergillus nidulans* LaeA protein generates S-methylmethionine // *J. Biol. Chem.* 2013. Vol. 288, N 20. P. 14 032–14 045.
- Schaeffer H.J., Weber M.J. Mitogen-activated protein kinases: specific messages from ubiquitous messengers // *Mol. Cell. Biol.* 1999. Vol. 19, N 4. P. 2435–2444.
- Flores-Mireles A.L., Eberhard A., Winans S.C. Agrobacterium tumefaciens can obtain sulphur from an opine that is synthesized by octopine synthase using S-methylmethionine as a substrate // *Mol. Microbiol.* 2012. Vol. 84, N 5. P. 845–856.
- Kocsis M.G., Ranocha P., Gage D.A., Simon E.S., Rhodes D., Peel G.J. et al. Insertional inactivation of the methionine S-methyltransferase gene eliminates the S-methylmethionine cycle and increases the methylation ratio // *Plant Physiol.* 2003. Vol. 131, N 4. P. 1808–1815.
- Brekka A.P. 3rd, Garrow T.A. Recombinant human liver betaine-homocysteine S-methyltransferase: identification of three cysteine residues critical for zinc binding // *Biochemistry.* 1999. Vol. 38, N 42. P. 13 991–13 998.

References

- Kim K.T., Kim J.S., Kim M.-H., et al. Effect of enhancers on in vitro and in vivo skin permeation and deposition of S-methyl-L-methionine. *Biomol Ther.* 2017; 25 (4): 434–40. doi: 10.4062/biomolther.2016.254.
- Nesterova A.P., Taitso NS, Gurvich M.M., Litovko V.M. Experience in the use of vitamin U in the complex treatment of peptic ulcer. Vitamin U (S-methylmethionine): nature, properties, application. Moscow: Nauka, 1973: 108–12. (in Russian)
- Patel A.D., Prajapati N.K. Review on biochemical importance of vitamin-U. *J Chem Pharm Res.* 2012; 4 (1): 209–15.
- Norms of physiological needs [MP 2.3.1.2432-08]. URL: <http://docs.cntd.ru/document>. (in Russian)
- Gun-Hee Kim. Determination of vitamin U in food plants. *Food Sci Technol Res.* 2003; 9 (4): 316–9.
- Anisimov V.E., Starkova N.V., Zhirnov V.Ya. The effectiveness of the use of the domestic vitamin U preparation for peptic ulcer of the stomach and duodenum. Vitamin U (S-methylmethionine): nature, properties, application. Moscow: Nauka, 1973: 64–71. (in Russian)
- Salim A.S. Administration of sulfhydryls to stimulate the healing of ischemia-induced acute gastric mucosal injury in the rat. *J Pharm Sci.* 1991; 80: 539–41. doi: 10.1002/jps.2600800607.
- Kopinski J.S., Fogarty R., McVeigh J. Effect of s-methylmethionine sulphonium chloride on oesophagogastric ulcers in pigs. *Aust Vet J.* 2007; 85: 362–7. doi: 10.1111/j.1751-0813.2007.00197.x.
- Ichikawa T., Ito Y., Saegusa Y., Iwai T., Goso Y., Ikezawa T., et al. Effects of combination treatment with famotidine and methylmethionine sulphonium chloride on the mucus barrier of rat gastric mucosa. *J Gastroenterol Hepatol.* 2009; 24: 488–92. doi: 10.1111/j.1440-1746.2008.05667.x.
- Seri K., Amemiya K., Sugimoto H., Kato T. Effects of s-methylmethionine (vitamin u) on experimental nephrotic hyperlipidemia. *Arzneimittelforschung.* 1979; 29: 1517–20.
- Spiegelman B.M., Flier J.S. Obesity and the regulation of energy balance. *Cell.* 2001; 104: 531–43.
- Lee N.Y., Park K.Y., Min H.J., Song K.Y., Lim Y.Y., Park J., et al. Inhibitory effect of vitamin U (S-methylmethionine sulphonium chloride) on differentiation in 3T3-L1 pre-adipocyte cell lines. *Ann Dermatol.* 2012; 24 (1): 39–44.
- Gessler N.N., Kharchenko L.I., Pavlovskaya T.E., Bykhovskii V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya [Applied Biochemistry and Microbiology]*. 1996; 32: 666.
- Kim W.S., Yang Y.J., Min H.G., Song M.G., Lee J.S., Park K.Y., et al. Accelerated wound healing by s-methylmethionine sulphonium: evidence of dermal fibroblast activation via the ERK 1/2 pathway. *Pharmacology.* 2010; 85: 68–76. doi: 10.1159/000276495.
- Kim W.-S., Seo H.-M., Kim W.-K., Choi J.-S., Kim I., Sung J.-H. The photoprotective effect of S-methylmethionine sulfonium in skin. *Int J Mol Sci.* 2015; 16: 17 088–100.
- Gezginci-Oktayoglu S., Turkyilmaz I.B., Ercin M., Yanardag R., Bolkent S. Vitamin U has a protective effect on valproic acid-induced renal damage due to its anti-oxidant, anti-inflammatory, and anti-fibrotic properties. *Protoplasma.* 2016; 253 (1): 127–35.
- Sokmen B.B., Tunali S., Yanardag R. Effects of vitamin U (S-methyl methionine sulphonium chloride) on valproic acid induced liver injury in rats. *Food Chem Toxicol.* 2012; 50 (10): 3562–6.
- Tunali S., Kahraman S., Yanardag R. Vitamin U, a novel free radical scavenger, prevents lens injury in rats administered with valproic acid. *Hum Exp Toxicol.* 2015; 34 (9): 904–10.
- Liu H.-H., Lu P., Guo Y., Farrell E., Zhang X., Zheng M., et al. An integrative genomic analysis identifies Bhmt2 as a diet-dependent genetic factor protecting against acetaminophen-induced liver toxicity. *Genome Res.* 2010; 20 (1): 28–35.
- Gerhard G.T., Duell P.B. Homocysteine and atherosclerosis. *Curr Opin Lipidol.* 1999; 10 (5): 417–28.
- Shikh E.V., Makhova A.A. *Vitamins in clinical practice (scientific and practical edition)*. Edited by ed. V.G. Cooks. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2014: 368. (in Russian)
- Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration. Lowering blood homocysteine with folic acid based supplements: meta-analysis of randomised trials. Homocysteine Lowering Trialists' Collaboration. *BMJ.* 1998; 316 (7135): 894–8.
- Ganu R.S., Ishida Y., Koutmos M., Kolokotronis S.-O., Roca A.L., Garrow T.A., et al. Evolutionary analyses and natural selection of betaine-homocysteine S-methyltransferase (BHMT) and BHMT2 genes. *PLoS One.* 2015; 10 (7): e0134084.
- Patananan A.N., Palmer J.M., Garvey G.S., Keller N.P., Clarke S.G. A novel automethylation reaction in the *Aspergillus nidulans* LaeA protein generates S-methylmethionine. *J Biol Chem.* 2013; 288 (20): 14 032–45.
- Schaeffer H.J., Weber M.J. Mitogen-activated protein kinases: specific messages from ubiquitous messengers. *Mol Cell Biol.* 1999; 19 (4): 2435–44.
- Flores-Mireles A.L., Eberhard A., Winans S.C. Agrobacterium tumefaciens can obtain sulphur from an opine that is synthesized by octopine synthase using S-methylmethionine as a substrate. *Mol Microbiol.* 2012; 84 (5): 845–56.
- Kocsis M.G., Ranocha P., Gage D.A., Simon E.S., Rhodes D., Peel G.J., et al. Insertional inactivation of the methionine S-methyltransferase gene eliminates the S-methylmethionine cycle and increases the methylation ratio. *Plant Physiol.* 2003; 131 (4): 1808–15.
- Breksa A.P. 3rd, Garrow T.A. Recombinant human liver betaine-homocysteine S-methyltransferase: identification of three cysteine residues critical for zinc binding. *Biochemistry.* 1999; 38 (42): 13 991–8.

Для корреспонденции

Лукашенко Валерий Семенович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом технологии производства продуктов птицеводства ФНЦ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН
 Адрес: 141311, Московская область, г. Сергиев Посад,
 ул. Птицеградская, д. 10
 Телефон: (496) 551-65-15
 E-mail: lukashenko@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0107-8235>

Фисинин В.И.¹, Лукашенко В.С.¹, Салеева И.П.¹, Чернуха И.М.², Волик В.Г.³,
 Исмаилова Д.Ю.³, Овсейчик Е.А.¹, Журавчук Е.В.¹

Качество мяса бройлеров при различных способах выращивания

Meat quality in broilers reared in different housing systems

Fisinin V.I.¹, Lukashenko V.S.¹,
 Saleyeva I.P.¹, Chernukha I.M.²,
 Volik V.G.³, Ismailova D.Yu.³,
 Ovseychik E.A.¹, Zhuravchuk E.V.¹

- 1 ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН, Сергиев Посад, Московская область
- 2 ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва
- 3 Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН, пос. Ржавки, Московская область
- 1 Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Poultry Institute” of Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Moscow Region
- 2 V.M. Gorbatov Federal Scientific Center of Alimentary Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow
- 3 All-Russian Research Institute of Poultry Processing Industry, branch of Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Poultry Institute” of Russian Academy of Sciences, Moscow Region, Rzhavki village

С целью оценки качества мяса бройлеров при различной технологии выращивания были проведены исследования на птице кросса «Кобб 500». Цыплят-бройлеров (105 голов на каждую систему содержания) выращивали на подстилке и в клеточных батареях с суточного до 38- или 49-дневного возраста в условиях вивария СГЦ «Загорское ЭПХ». В результате исследований было установлено, что содержание жира в мясе грудок при клеточном выращивании бройлеров было значительно выше, чем при напольном. При клеточном выращивании

Для цитирования: Фисинин В.И., Лукашенко В.С., Салеева И.П., Чернуха И.М., Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Овсейчик Е.А., Журавчук Е.В. Качество мяса бройлеров при различных способах выращивания // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 77–84. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10056.

Статья поступила в редакцию 13.04.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Fisinin V.I., Lukashenko V.S., Saleyeva I.P., Chernukha I.M., Volik V.G., Ismailova D.Yu., Ovseychik E.A., Zhuravchuk E.V. Meat quality in broilers reared in different housing systems. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (5): 77–84. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10056. (in Russian)

Received 13.04.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

содержание жира составило 2,0 и 2,7%, а при напольном – 1,6 и 2,2% на 38-е и 49-е сутки соответственно ($p < 0,05$). Наибольшее содержание белка (в белом мясе) выявлено при напольном содержании птицы. При напольном содержании птицы в мясе бедра общее содержание коллагена (789,88 мг/100 г) было в 1,5 раза выше по сравнению с таковым при клеточном содержании (515,80 мг/100 г, $p < 0,05$). На содержание жирных кислот в мясе в большей степени повлияла часть тела птицы с различной функциональной активностью (грудка или бедро) и в меньшей степени – факторы условий содержания птицы (длительность, клеточное или напольное). Влагодерживающая способность красного мяса достоверно различалась ($p < 0,05$) при разных возрастах убоя птицы, а в 38 дней – также при системах ее содержания. Этот показатель составил 67,3 при клеточном и 70,1% при напольном содержании на 38-е сутки, а на 49-е сутки – 74,9 и 76,0% соответственно. Вкусовые качества мяса при напольном выращивании были более высокие, чем при клеточном. Грудные мышцы в 38 дней при напольном выращивании были оценены в 4,55 балла, ножные – в 4,40 балла. При клеточном выращивании – 4,47 и 4,37 балла соответственно. В 49 дней оценка грудных мышц составила 4,91 балла, ножных – 4,90 балла, а при клеточном выращивании – 4,83 и 4,70 балла соответственно. Сделан вывод, что по комплексу показателей качество мяса бройлеров при напольном выращивании несколько превосходило мясо бройлеров, выращенных в клетках.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, клеточное выращивание, напольное выращивание, сроки убоя, качество мяса

Meat quality was assessed in Cobb-500 cage vs. floor-housed broilers slaughtered at 38 vs 49 days of age. Broilers (105 birds per housing system) were reared since 1 day of age in conditions of vivarium of Center for Selection and Genetics «Zagorskoye EPH». Fat content in breast meat was significantly higher ($p < 0.05$) at both slaughter ages in cage-housed broilers (2.0 and 2.7% at slaughter age 38 and 49 days, respectively) compared to floor-housed (1.6 and 2.2%). Protein content in breast meat was higher in floor-caged broilers. Total collagen content in thigh meat of floor housed broilers (789.88 mg/100 g) was 1.5 fold higher compared to cage-housed (515.80 mg/100 g, $p < 0.05$). Fatty acid profiles of meat were mostly affected by the type of meat (red vs white) and to a lesser extent by housing system and slaughter age. Water-holding capacity in red meat significantly differed between slaughter ages and between housing systems at slaughter age 38 days ($p < 0.05$): at slaughter age 38 days water-holding capacity in red meat was 67.3 in cage-housed broilers vs. 70.1% in floor-housed; at slaughter age 49 days 74.9 vs. 76.0%, respectively. The five-point scores of sensory taste evaluation for the meat of floor-housed broilers (4.55 and 4.91 for breast meat at slaughter ages 38 and 49 days; 4.40 and 4.90 for thigh meat) were better compared to cage-housed (4.47 and 4.83 for breast meat at slaughter ages 38 and 49 days; 4.37 and 4.70 for thigh meat). The conclusion was made that meat quality estimated by a set of the relevant parameters was marginally better in floor housed broilers in compare to cage-housed.

Keywords: broiler chicks, cage housing, floor housing, slaughter age, meat quality

Промышленное птицеводство вносит весомый вклад в обеспечение населения нашей страны пищевыми продуктами и является одним из основных поставщиков высококачественного белка животного происхождения [1, 2]. Куриное мясо содержит мало соединительной ткани, оно не имеет жировых отложений, вследствие чего белки легко перевариваются в желудочно-кишечном тракте человека.

Биологическая ценность мяса бройлеров определяется главным образом высоким содержанием белка, а также уровнем и соотношением в нем незаменимых аминокислот. Соотношение незаменимых аминокислот в белом и красном мясе бройлеров близко к оптимальной формуле, предложенной FAO/ВОЗ (2003), в связи с чем этот продукт может быть широко использован для питания различных возрастных категорий людей [3].

Известно, что продуктивность и качество мяса бройлеров во многом зависит от технологии выращивания птицы [4–6]. В настоящее время в отечественном бройлерном производстве сложились 2 основные технологии выращивания мясных цыплят: первая предусматривает применение напольного оборудования, вторая – клеточного. При использовании обеих этих технологий производители стремятся сократить сроки выращивания бройлеров с целью сокращения издержек производства. Однако имеются данные о том, что возраст убоя бройлеров оказывает определенное влияние на вкус, аромат и другие показатели качества мяса птицы [7–10]. В связи с этим возникла необходимость в изучении влияния различной технологии выращивания и сроков откорма цыплят-бройлеров на качество мяса.

Цель работы – оценить физико-химические и технологические свойства мяса бройлеров при различной технологии выращивания и сроках убоя птицы.

Материал и методы

Цыплят-бройлеров выращивали на подстилке и в клеточных батареях с суточного до 38- или 49-дневного возраста (105 голов на каждую систему содержания) в условиях вивария СГЦ «Загорское ЭПХ». Кормление птицы при напольном и клеточном выращивании было одинаковым и проводилось в соответствии с рекомендациями ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН [11].

Был проведен убой птицы в возрасте 38 и 49 дней и отобрано по 10 образцов грудных и бедренных мышц в 3 повторностях для исследования физико-химических (содержание белка, жира, влаги, золы, токсичных элементов, радионуклидов) и технологических (рН, влагоудерживающая способность) свойств мяса птицы, а также аминокислотного и жирнокислотного состава мяса (2 параллели).

Исследования мяса проводили следующими методами: ГОСТ 31470-2012 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований»; ГОСТ 9793-74 «Продукты мясные. Методы определения влаги»; ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира»; ГОСТ 25011-81 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка»; ГОСТ 31727-2012 (ISO 936:1998) «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы»; ГОСТ Р 51478 «Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (рН)»; МИ 103.5-105-2011 «Мясо и мясные продукты. Определение триптофана методом флуоресценции»; МВИ-02-2002 «Определение аминокислотного состава»; ГОСТ Р 55483-2013 «Мясо и мясные продукты. Определение жирно-кислотного состава методом газовой хроматографии»; ГОСТ Р 51944-2002 «Мясо птицы. Методы определения органолептических показателей, температуры и массы»; ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов»; ГОСТ 32161-2013 «Продукты пи-

щевые. Метод определения содержания цезия Cs-137». Определение влагоудерживающей способности проводили по методу Грау–Хамма [12].

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ Statistica 10.0. Результаты представлены в виде взвешенного среднего значения \pm ошибка среднего ($M \pm m$). Достоверность различий средних величин, удовлетворяющих условиям нормального распределения и равенству дисперсий, оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с применением критерия Дункана. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Живая масса бройлеров при клеточном выращивании в возрасте 38 дней составила 2122 ± 18 г, а в 49 дней – 2708 ± 21 г, тогда как при напольном выращивании соответственно 2097 ± 18 и 2635 ± 19 г. Таким образом, живая масса бройлеров при клеточном выращивании была на 1,2–2,8% выше по сравнению с напольным выращиванием. Однако при напольном выращивании выход мяса был на 0,2–0,6%, а сортность тушек на 0,3–0,4% выше, чем при клеточном выращивании ($p < 0,05$).

По истечении соответствующего периода выращивания были проведены химические исследования мяса птицы при напольном и клеточном содержании, которые представлены в табл. 1.

Наибольшее содержание белка в грудной мышце выявлено у птицы при напольном содержании в 49-дневном возрасте.

Содержание жира в мясе грудок при клеточном содержании бройлеров было на 22–25% выше, чем у птицы напольного содержания ($p < 0,05$). Различия такого рода можно объяснить тем, что куры напольного содержания физически более активны, чем куры клеточного содержания, что способствует, скорее, миогенезу, чем липогенезу.

По содержанию влаги в мясе существенных различий при разном содержании птицы не найдено. Содержание золы также находилось в одних и тех же пределах. Полученные результаты совпадают с данными литературы [3] об отсутствии различий в содержании влаги и золы в мясе грудок кур при различных способах содержания.

Таблица 1. Химический состав мяса цыплят-бройлеров

Показатель	38 сут				49 сут			
	клетка		пол		клетка		пол	
	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка
Влага, %	67,7 \pm 0,2	76,6 \pm 0,1	70,5 \pm 0,2	76,2 \pm 0,1	75,4 \pm 0,3	75,6 \pm 0,1	76,4 \pm 0,2	73,6 \pm 0,1
Жир, %	11,7 \pm 1,1	2,0 \pm 0,3	10,8 \pm 1,0	1,6 \pm 0,2*	4,0 \pm 0,5	2,7 \pm 0,1	4,0 \pm 0,4	2,2 \pm 0,1*
Белок, %	19,1 \pm 0,1	20,0 \pm 0,4	17,3 \pm 0,2	20,6 \pm 0,1	19,2 \pm 0,4	20,4 \pm 0,5	18,1 \pm 0,3	22,8 \pm 0,4
Зола, %	1,06 \pm 0,20	1,12 \pm 0,10	1,01 \pm 0,11	1,10 \pm 0,14	1,03 \pm 0,05	1,07 \pm 0,20	0,98 \pm 0,11	1,06 \pm 0,16

Примечание. * – статистически значимое ($p < 0,05$) отличие от показателя мяса цыплят-бройлеров при клеточном содержании.

Таблица 2. Показатели технологических свойств мяса птицы (грудка, бедро) в зависимости от возраста и условий содержания

Показатель	38 сут				49 сут			
	клетка		пол		клетка		пол	
	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка
pH	6,26	6,11	6,28	6,22	6,28	6,05	6,34	6,31
Влагоудерживающая способность, %	67,27±3,20	76,40±4,30	70,1±3,62	76,05±4,55	74,90±4,36	73,63±3,74	76,02±4,24	73,44±3,88
Белково-качественный показатель (триптофан/ оксипролин)	6,39	–	4,99	–	6,86	–	4,39	–

При напольном содержании бройлеров общее содержание коллагена в мясе бедра (789,9 мг/100 г) практически в 1,5 раза было более высоким по сравнению с таковым при клеточном содержании (515,8 мг/100 г, $p < 0,05$). Содержание коллагена в белке составляло соответственно 4,56 и 2,73%. Столь незначительное содержание коллагена не окажет существенного влияния на усвояемость белка.

При этом стоит обратить внимание на то, что по содержанию жира в красном мясе наблюдались существенные различия в процессе роста птицы. Так, на 38-е сутки роста содержание жира в мясе бедра было в пределах 10,8–11,7%, а на 49-е сутки содержание жира как при клеточном содержании, так и при напольном уменьшилось практически в 2,5 раза.

Все образцы мяса по санитарно-химическим и радиологическим показателям соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 (прил. 2, п. 1.1; прил. 3, п. 1; прил. 4, п. 1).

В табл. 2 представлены результаты исследований технологических свойств мяса бройлеров при клеточном и напольном содержании.

Результаты исследований технологических свойств мяса птицы (грудка, бедро), выращенной по технологии интенсивного кормления на стандартном рационе при напольном и клеточном содержании, в различные периоды выращивания по показателю pH не показали различий (см. табл. 2).

Влагоудерживающая способность бедренных мышц бройлеров напольного содержания превосходила аналогичный показатель клеточного содержания на 38-е сутки роста на 4,2%. По полученным данным можно сделать заключение, что мясо птицы при напольном содержании обладает лучшей способностью удерживать влагу, что очень важно для технологических свойств. Отличий в белом мясе птицы от условий ее выращивания не найдено.

При расчете белково-качественного показателя красного мяса (отношение триптофана к оксипролину) оказалось, что он был выше при выращивании в клетках, чем при напольном содержании.

Аминокислотный состав мяса бройлеров разного возраста и при различных способах выращивания представлен в табл. 3. Аминокислотный состав продуктов свидетельствует об их высокой биологической цен-

ности, которая зависит от соотношения незаменимых аминокислот (треонин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин).

Содержание треонина на 38-е сутки при напольном содержании (в белом и красном мясе) было больше, чем при клеточном. На 49-е сутки его количество увеличилось. Причем при клеточном содержании увеличение произошло в красном мясе примерно на 70%, а при напольном содержании практически не изменилось. Это связано с тем, что треонин участвует в синтезе коллагена и эластина, в белковом и жировом обмене и препятствует отложению жиров. Так, на 38-е сутки у бройлеров в клетках содержание жиров в бедренной мышце составило 11,7%, а треонина – 0,59%, тогда как на 49-е сутки количество жиров уменьшилось, но увеличилось содержание треонина до 1,05%. Такие же показатели и свойства имеет аминокислота метионин.

Лизин является основной аминокислотой, необходимой для выработки L-карнитина и усиливает действие аргинина. При недостатке аргинина мышцы начинают медленнее расти. При клеточном содержании изменение аргинина и лизина почти не наблюдалось. При напольном содержании на 49-е сутки происходило снижение содержания лизина и увеличение аргинина как в белом, так и в красном мясе.

Результаты исследования свидетельствуют о наличии свободных аминокислот, полученных при распаде белка после автолиза (см. табл. 3). Автолитические процессы протекали более интенсивно в грудных мышцах, чем в мышцах бедра. При этом автолиз бедренных мышц при клеточном содержании на 49-й день был в 1,4 раза интенсивнее в сравнении с автолизом бедренных мышц на 38-й день.

Результаты исследований жирнокислотного состава представлены в табл. 4. Общее направление биохимических изменений содержания жирных кислот, входящих в состав липидной фракции мяса птицы, заключается, как правило, в изменении содержания насыщенных жирных кислот. Результаты исследований жирнокислотного состава мяса птицы (грудка, бедро), выращенной по технологии интенсивного кормления на стандартном рационе, при напольном и клеточном содержании в различный период выращивания не показал существенных различий в составе насыщенных жирных кислот, при этом были выявлены различия в первую очередь в содержании мононенасыщенных и полиненасыщен-

Таблица 3. Аминокислотный состав мяса цыплят-бройлеров

Показатель	38 сут				49 сут			
	клетка		пол		клетка		пол	
	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка
Окспироллин, %	0,064±0,011	0,005±0,001	0,098±0,008	0,005±0,001	0,073±0,004	0,005±0,001	0,112±0,011	0,005±0,001
Триптофан, мг/100 г мышечной ткани	409,29±81,9	417,9±83,6	489,5±97,9	465,41±93,1	500,5±100,1	527,5±105,5	492,1±98,4	544,4±108,9
<i>Общие аминокислоты, г/100 г мышечной ткани</i>								
Аспарагиновая кислота	2,19±0,07	2,25±0,07	2,18±0,07	2,55±0,08	2,24±0,07	2,29±0,07	1,77±0,05	2,57±0,08
Глутаминовая кислота	2,93±0,09	3,08±0,09	2,86±0,09	3,33±0,10	2,64±0,08	3,12±0,09	2,69±0,08	3,79±0,11
Серин	0,50±0,02	0,51±0,02	0,58±0,02	0,70±0,02	0,59±0,02	0,60±0,02	1,42±0,04	0,76±0,02
Гистидин	0,45±0,01	0,49±0,01	0,58±0,02	0,67±0,02	0,66±0,02	0,59±0,02	0,48±0,01	0,95±0,03
Глицин	1,15±0,03	1,20±0,04	1,10±0,03	1,30±0,04	1,18±0,04	1,21±0,04	1,32±0,04	1,84±0,06
Треонин	0,59±0,02	0,61±0,02	0,65±0,02	0,77±0,02	1,05±0,03	0,69±0,02	0,62±0,02	1,16±0,03
Аргинин	1,32±0,04	1,39±0,04	0,75±0,02	0,88±0,03	1,22±0,04	1,34±0,04	0,91±0,03	1,34±0,04
Аланин	1,59±0,05	1,67±0,05	0,66±0,02	0,77±0,02	0,88±0,03	1,80±0,05	0,77±0,02	1,15±0,03
Тирозин	0,79±0,02	0,84±0,03	0,77±0,02	0,91±0,03	1,01±0,03	0,87±0,03	0,85±0,03	1,18±0,04
Цистин	0,21±0,01	0,22±0,01	0,26±0,01	0,30±0,01	0,25±0,01	0,26±0,01	0,27±0,01	0,35±0,01
Валин	1,15±0,03	1,17±0,04	0,97±0,03	1,14±0,03	1,14±0,03	1,13±0,03	1,00±0,03	1,38±0,04
Метинин	0,56±0,02	0,59±0,02	0,40±0,01	0,46±0,01	0,62±0,02	0,60±0,02	0,55±0,02	0,62±0,02
Фенилаланин	0,91±0,03	0,94±0,03	0,86±0,03	1,00±0,03	0,85±0,03	0,79±0,02	0,94±0,03	1,11±0,03
Изолейцин	0,65±0,02	0,69±0,02	0,56±0,02	0,65±0,02	0,76±0,02	0,58±0,02	0,63±0,02	1,11±0,03
Лейцин	1,18±0,04	1,21±0,04	1,14±0,03	1,35±0,04	1,27±0,04	1,24±0,04	1,13±0,03	0,40±0,01
Лизин	1,59±0,05	1,65±0,05	1,46±0,04	1,69±0,05	1,50±0,04	1,59±0,05	1,24±0,04	1,39±0,04
Пролин	0,73±0,02	0,79±0,02	0,70±0,02	0,79±0,02	0,82±0,02	0,83±0,02	0,83±0,03	0,82±0,02
Всего	18,51±0,56	19,28±0,58	16,47±0,49	19,27±0,58	18,68±0,56	19,52±0,59	17,41±0,52	21,92±0,66
<i>Свободные аминокислоты, мг/100 г мышечной ткани</i>								
Аспарагиновая кислота	29,77±0,89	61,35±1,84	75,00±2,25	60,16±1,80	35,00±1,05	55,58±1,67	31,70±0,95	62,20±1,87
Серин	—*	13,95±0,42	25,90±0,78	21,00±0,63	—	—	—	—
Глицин	15,69±0,47	32,64±0,98	48,83±1,46	30,75±0,92	18,46±0,55	29,33±0,88	23,69±0,71	44,23±1,33
Треонин	—	16,73±0,50	28,87±0,87	—	—	—	—	—
Аланин	—	—	—	17,68±0,53	—	—	—	—
Тирозин	10,72±0,32	22,84±0,69	33,97±1,02	36,00±1,08	15,74±0,47	21,05±0,63	15,26±0,46	28,32±0,85
Валин	15,69±0,47	31,87±0,96	42,86±1,29	26,99±0,81	17,85±0,54	27,44±0,82	17,96±0,54	33,30±1,00
Фенилаланин	12,39±0,37	25,77±0,77	24,00±0,72	23,59±0,71	13,30±0,40	19,02±0,57	16,79±0,50	26,73±0,80
Лейцин	16,09±0,48	32,93±0,99	50,53±1,52	31,82±0,95	19,85±0,60	30,04±0,90	20,25±0,61	10,11±0,30
Лизин	21,59±0,65	44,91±1,35	35,00±1,05	39,84±1,20	23,38±0,70	38,55±1,16	22,18±0,67	33,82±1,01
Пролин	9,97±0,30	21,51±0,65	—	25,00±0,75	12,85±0,39	20,05±0,60	14,95±0,45	19,87±0,60
Всего	131,91±3,96	304,50±9,13	364,95±10,9	312,83±9,38	185,75±5,57	345,36±10,36	199,16±5,97	391,03±11,73

Примечание. * – ниже предела обнаружения.

Таблица 4. Жирнокислотный состав мяса цыплят-бройлеров, % от содержания общего жира

Жирная кислота	38 сут				49 сут			
	клетка		пол		клетка		пол	
	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка	бедро	грудка
Капроновая C6:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00
Каприловая C8:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Каприновая C10:0	0,05	0,06	0,05	0,08	0,05	0,06	0,05	0,08
Деценовая C10:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Лауриновая C12:0	0,07	0,10	0,10	0,12	0,07	0,10	0,10	0,12
Тридекановая C13:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Миристиновая C14:0	1,29	1,27	1,44	1,15	1,26	1,26	1,28	1,13
Миристолеиновая C14:1	0,31	0,19	0,32	0,20	0,30	0,19	0,31	0,20
Пентадекановая C15:0	0,34	0,27	0,32	0,26	0,39	0,33	0,36	0,29
Пальмитиновая C16:0	22,93	24,26	25,55	25,78	23,37	24,07	25,13	25,26
Пальмитолеиновая C16:1	8,74	4,57	8,36	5,61	8,54	4,53	8,66	5,80
Маргариновая C17:0	0,47	0,37	0,43	0,37	0,43	0,37	0,42	0,36
Гептадеценовая C17:1	0,41	0,27	0,39	0,20	0,39	0,29	0,58	0,29
Стеариновая C18:0	6,66	8,80	7,60	8,87	7,55	8,98	7,36	8,90
Олеиновая C18:1	32,97	33,50	32,06	32,85	30,45	31,44	30,37	31,14
Элаидиновая C18:1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Линолевая C18:2, ω6	19,50	21,30	18,07	19,69	20,30	22,52	19,39	20,92
Линоленовая C18:3, ω3	1,07	0,96	1,02	1,02	1,42	1,29	1,29	1,30
Нондекановая C19:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Арахидиновая C20:0	0,28	0,17	0,24	0,19	0,29	0,19	0,28	0,19
Арахидоновая кислота C20:4, ω6	1,29	1,15	0,96	0,82	1,26	1,14	0,94	0,80
Тимнодоновая кислота C20:5, ω3	0,20	0,15	0,20	0,14	0,20	0,15	0,20	0,16
Дигомо-γ-линоленовая кислота C20:3, ω6	0,53	0,55	0,51	0,51	0,60	0,64	0,60	0,59
Эйкозодиеновая кислота C20:2, ω6	0,10	0,08	0,09	0,10	0,12	0,10	0,11	0,11
Гондоиновая C20:1, ω9	2,20	1,39	1,77	1,59	2,24	1,69	1,97	1,86
Докозапентаеновая кислота C22:5, ω6	0,21	0,20	0,18	0,16	0,24	0,20	0,20	0,18
Бегеновая C22:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Докозагексаеновая C22:6, ω3	0,31	0,33	0,26	0,21	0,37	0,35	0,27	0,23
Эруковая C22:1, ω9	0,07	0,06	0,08	0,06	0,07	0,06	0,10	0,08
Нервоновая C24:1, ω9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00

ных жирных кислот (ПНЖК) красного и белого мяса. Так, содержание пальмитолеиновой кислоты (C16:1) в красном мясе составило около 8,5%, а в белом мясе варьировало в диапазоне от 4,57 до 5,8%. Содержание пальмитолеиновой кислоты (C16:1) при напольном и клеточном содержании в красном мясе было практически одинаково. Разница была отмечена в образцах мяса грудки, полученных при напольном выращивании, особенно на 49-е сутки, – выше на 21,9%.

Наиболее значительные различия были обнаружены в составе ПНЖК семейства ω6. Различия в массовой доле арахидоновой кислоты (C20:4, ω6) при клеточном и напольном содержании доходило до 25,6% (относительные единицы) на 38-е сутки, однако следует учитывать в целом низкое содержание этой кислоты (от 0,80 до 1,29%).

Наибольшая часть ПНЖК представлена линолевой кислотой (C18:2, ω6), содержание которой доходило до 1/5 от суммы всех жирных кислот. Изменения в содержании этой ПНЖК относительно белого/красного мяса и напольного/клеточного содержания птицы находились в диапазоне погрешности метода.

При анализе сроков выращивания напольного и клеточного содержания на 38-е и 49-е сутки были получены следующие усредненные данные по белому и красному мясу: на 38-е сутки доля насыщенных жирных кислот составляла 32,09%; мононенасыщенных – 44,63%; ПНЖК – 23,28%; на 49-е сутки – соответственно 33,49, 41,92 и 24,59%.

Таким образом, можно сделать вывод, что на содержание жирных кислот в большей степени влияет часть тела птицы с различной функциональной активностью (грудка или бедро), а не способ выращивания бройлеров.

При сенсорной оценке тушек установлено, что у бройлеров напольного содержания были более низкие показатели содержания жира в брюшной полости и доле бедренной части. Мясо бройлеров напольного содержания обладало более высоким усилием резания и «разжевываемостью», чем мясо бройлеров клеточного содержания. Мясо бройлеров напольного содержания по сравнению с мясом бройлеров клеточного содержания было несколько более упругим, что объясняется более высоким содержанием коллагена. Коллаген является

относительно стабильным к физическому распаду при тепловой обработке и способен образовывать поперечные связи, что и может увеличивать упругость мяса.

Масса тела, доля жира в брюшной части, доля бедренной части у бройлеров напольного содержания были ниже, чем у бройлеров клеточного способа содержания.

Проведенная дегустационная оценка по 5-балльной шкале показала, что вкусовые и ароматические достоинства бульона и мяса при напольном выращивании бройлеров имели более высокие оценки. В 38-дневном возрасте бульон при напольном выращивании цыплят был оценен в 4,68 балла, тогда как при клеточном выращивании – в 4,55 балла. В 49-дневном возрасте бульон при напольном выращивании цыплят получил оценку в 4,88 балла, а при клеточном – 4,75 балла.

Вкусовые качества мяса птицы при напольном выращивании также были несколько выше, чем при клеточном. При напольном выращивании грудные мышцы в возрасте 38 дней были оценены в 4,55 балла, ножные – в 4,40 балла, а при клеточном выращивании – 4,47 и 4,37 балла соответственно. В 49 дней оценка грудных мышц составила 4,91 балла, ножных – 4,90 балла, а при клеточном выращивании – 4,83 и 4,70 балла соответственно.

Заключение

Анализ показателей качества мяса бройлеров показал, что содержание жира в мясе грудок значительно ниже при напольном выращивании, чем у бройлеров клеточного содержания. Различия такого рода можно объяснить тем, что бройлеры напольного содержания физически более активны, чем бройлеры клеточного содержания, что способствует более интенсивному миогенезу, а не липогенезу. Вероятно, по этой причине общее содержание коллагена в мясе грудок бройлеров напольного содержания увеличивается в связи с увели-

чением количества соединительной ткани. В результате у бройлеров напольного содержания улучшается текстура мяса с точки зрения упругости. Мясо бройлеров напольного содержания обладало более высоким усилием резания, по всей видимости, из-за повышенной активности движения птицы.

Масса тела, доля жира в брюшной части, доля бедренной части у бройлеров напольного содержания были ниже, чем у птицы клеточного способа содержания.

Результаты исследований жирнокислотного состава мяса птицы (грудка, бедро), выращенной по технологии интенсивного кормления на стандартном рационе при напольном и клеточном содержании, в различный период выращивания не показали существенных различий в составе 35 насыщенных жирных кислот, при этом были выявлены различия, в первую очередь, в содержании мононенасыщенных и ПНЖК красного и белого мяса. Это свидетельствует о том, что на содержание жирных кислот в мясе в большей степени влияет часть тела птицы с различной функциональной активностью (грудка или бедро) и в меньшей степени – факторы условий содержания птицы (длительность, клеточное или напольное).

В итоге на основании проведенных исследований можно сделать заключение, что напольная технология выращивания позволяет повысить выход мяса, улучшить товарный вид тушек и обеспечить высокие вкусовые и ароматические достоинства мяса. Таким образом, по комплексу качественных показателей мясо бройлеров при напольном выращивании несколько превосходило мясо бройлеров, выращенных в клетках, что было подтверждено также результатами дегустационной оценки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Работа была подготовлена при поддержке Российского научного фонда, соглашение № 17-16-01028.

Сведения об авторах

Фисинин Владимир Иванович – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (Сергиев Посад, Московская область)

E-mail: fisinin@land.ru

<http://orcid.org/0000-0003-0081-6336>

Лукашенко Валерий Семенович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (Сергиев Посад, Московская область)

E-mail: lukashenko@vnitip.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0107-8235>

Салеева Ирина Павловна – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, заведующая лабораторией ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (Сергиев Посад, Московская область)

E-mail: saleeva@vnitip.ru

<http://orcid.org/0000-0002-7446-1593>

Чернуха Ирина Михайловна – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий испытательным центром ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва)

E-mail: incher@inbox.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

Волик Виктор Григорьевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН (пос. Ржавки, Московская область)

E-mail: volik@dinfo.ru

http://orcid.org/0000-0002-1798-2093

Исмаилова Диларам Юлдашевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН (пос. Ржавки, Московская область)

E-mail: dilaramis08@mail.ru

http://orcid.org/0000-0003-3918-8752

Овсейчик Екатерина Александровна – научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН (Сергиев Посад, Московская область)

E-mail: ovseychik@vniitip.ru

Журавчук Евгения Владимировна – младший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН (Сергиев Посад, Московская область)

E-mail: evgeniy_20.02@mail.ru

Литература

1. Фисинин В.И. Птицеводство России – стратегия инновационного развития / Российская академия сельскохозяйственных наук. М., 2009. 148 с.
2. Фисинин В.И. Состояние и перспективы инновационного развития птицеводства до 2020 года // Мясная индустрия. 2012. № 7. С. 22–27.
3. Силкина В.А. Мясные качества птицы // Генетика и разведение животных. 2015. № 1. С. 26–29.
4. Гудыменко В.И., Ноздрин А.Е. Эффективность выращивания цыплят-бройлеров по разной технологии // Изв. Оренбург. гос. аграрного ун-та. 2014. № 3 (47). С. 128–131.
5. Ноздрин А.Е., Гудыменко В.И. Выращивание цыплят-бройлеров по новой технологии // Вестн. Курск. гос. с/х акад. 2014. № 5. С. 60–62.
6. Гудыменко, В.И. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при выращивании по разной технологии / В.И. Гудыменко, А.Е. Ноздрин // Изв. Оренбург. гос. аграрного ун-та. 2014. № 6 (50). С. 136–139.
7. Хамитова В., Османян А., Герасимов А., Чередов И. Напольное содержание бройлеров с поэтапным убоем стада // Птицеводство. 2012. № 12. С. 13–15.
8. Cheng F.Y., Huang C.W., Wan T.C., Liu Y.T., Lin L.C., Lou Chyr C.Y. Effect of free-range farming on carcass and meat qualities of black-feathered Taiwan native chicken // Asian Aust. J. Anim. Sci. 2008. Vol. 21. P. 1201–1206.
9. Lin C.Y., Kuo H.Y., Wan T.C. Effect of free-range rearing on meat composition, physical properties and sensory evaluation in Taiwan game hens // Asian Aust. J. Anim. Sci. 2014. Vol. 27. P. 880–885.
10. Wang K.H., Shi S.R., Dou T.C., Sun H.J. Effect of free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken // Poult. Sci. 2009. Vol. 88. P. 2219–2223.
11. Егоров И.А., Манукян В.А., Околелова Т.М., Ленкова Т.Н. и др. Методическое руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы / под общ. ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2015. 199 с.
12. Хамм Р. Структура и функции мышц. Разработка ученых Института химии и физики Федерального центра по исследованию мяса. Сборник трудов «Химия и физика мяса». Кульмбах, Германия, 1981. С. 59–75. (пер. под ред. А.Б. Лисицына. ВНИИМП, 2004)

References

1. Fisinin V.I. Poultry farming in Russia – strategy of innovation development. Moscow: Rossiyskaya akademiya sel'skokhoziaistvennykh nauk, 2009: 148 p. (in Russian)
2. Fisinin V.I. The state and prospects of innovative development of poultry farming until 2020. Myasnaya industriya [Meat Industry]. 2012; (7): 22–7. (in Russian)
3. Silkina V.A. Meat qualities of the bird. Genetika i razvedenie zhivotnykh [Genetics and Breeding of Animals]. 2015; (1): 26–9. (in Russian)
4. Gudymenko V.I., Nozdrin A.Ye. Efficiency of using different technologies in broiler-chickens rearing. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin Orenburg State Agrarian University]. 2014; 3 (47): 128–31. (in Russian)
5. Nozdrin A.E., Gudymenko V.I. Growing broiler chickens by new technology. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. 2014; (5): 60–2. (in Russian)
6. Gudymenko V.I., Nozdrin A.Ye. Meat productivity of broiler-chickens raised by different technologies. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin Orenburg State Agrarian University]. 2014; 6 (50): 136–9. (in Russian)
7. Hamitova V., Osmanyana A., Gerasimov A., Cheredov I. Two-staged slaughter of floor reared broiler flock. Ptitsevodstvo [Poultry Farming]. 2012; (12): 13–5. (in Russian)
8. Cheng F.Y., Huang C.W., Wan T.C., Liu Y.T., Lin L.C., Lou Chyr C.Y. Effect of free-range farming on carcass and meat qualities of black-feathered Taiwan native chicken. Asian Aust J Anim Sci. 2008; 21: 1201–6.
9. Lin C.Y., Kuo H.Y., Wan T.C. Effect of free-range rearing on meat composition, physical properties and sensory evaluation in Taiwan game hens. Asian Aust J Anim Sci. 2014; 27: 880–5.
10. Wang K.H., Shi S.R., Dou T.C., Sun H.J. Effect of free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. Poult Sci. 2009; 88: 2219–23.
11. Egorov I.A., Manukyan V.A., Okolelova T.M., Lenkova T.N., et al. Methodical guide for feeding agricultural poultry (Metodicheskoe rukovodstvo po kormleniiu selskokhoziaistvennoi ptitsy). In: V.I. Fisinin., I.A. Egorov (eds). Sergiev Posad: VNIITIP, 2015: 199 p. (in Russian)
12. Hamm R. Structure and function of muscle. In: Chemistry and Physics of Meat: Proc Federal Centre for Meat Research, Kulmbach, Germany. 1981; 2: 59–75. (in Russian)

Для корреспонденции

Иванова Наталья Николаевна – президент Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС)
 Адрес: 101000, г. Москва, Архангельский переулок, д. 3, стр. 1
 Телефон: (495) 628-99-19
 E-mail: rsps@rsps.ru

Иванова Н.Н.¹, Хомич Л.М.¹, Перова И.Б.², Эллер К.И.²

Нутриентный профиль грейпфрутового сока

Grapefruit juice nutritional profile

Ivanova N.N.¹, Khomich L.M.¹,
 Perova I.B.², Eller K.I.²

- ¹ Некоммерческая организация «Российский союз производителей соков» (РСПС), Москва
² ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва
¹ Non-Commercial Organization «Russian Union of Juice Producers» (RSPS), Moscow
² Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

На основе анализа данных справочников, научных публикаций и результатов исследований образцов грейпфрутового сока промышленного производства в статье представлен нутриентный профиль грейпфрутового сока, где приведено содержание более 30 пищевых и биологически активных веществ (БАВ). Грейпфрутовый сок является одним из относительно низкокалорийных фруктовых соков – в 100 мл содержится в среднем 39 ккал. Как и другие цитрусовые соки, он богат органическими кислотами, основной из которых является лимонная кислота (0,8–2 г/100 мл). Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными БАВ для грейпфрутового сока являются калий, магний, витамин С, а также флавоноиды (преимущественно нарингин). В порции грейпфрутового сока промышленного производства содержится в среднем около 10% от суточной потребности человека в калии, 6% – в магнии и около 100% – в витамине С. Содержание флавоноидов в порции составляет около 60% от адекватного уровня суточного потребления этих БАВ. Проведенные исследования свежих грейпфрутов, закупленных в торговой сети, показывают, что содержание калия, магния и витамина С в грейпфрутовом соке промышленного производства сопоставимо с содержанием указанных микронутриентов в свежих плодах.

Ключевые слова: грейпфрутовый сок, нутриентный профиль, пищевые вещества, микронутриенты, флавоноиды, биологически активные вещества

Based on the published data on the content of nutritive (NS) and biologically active substances (BAS) and the results of studies of various samples of domestic industrial grapefruit juice, the article presents the nutrient profile of grapefruit juice containing data about more than 30 NS and BAS. Grapefruit juice is one of the relatively low-calorie

Для цитирования: Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль грейпфрутового сока // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 5. С. 85–94. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10057.

Статья поступила в редакцию 14.08.2018. Принята в печать 13.09.2018.

For citation: Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Grapefruit juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 85–94. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10057. (in Russian)

Received 14.08.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

fruit juices – 100 ml of grapefruit juice contains an average of 39 kcal. Like other citrus juices, it is rich in organic acids, the main of which is citric acid (0.8–2 g/100 ml). Potassium, magnesium, vitamin C, as well as flavonoids (mostly narigin) are the most significant for the estimation of nutritional and biological value of grapefruit juice of industrial production. A glass of grapefruit juice contains, on average, about 10% of the daily requirement in potassium, 6% – in magnesium and about 100% – in vitamin C. The amount of flavonoids in a glass of grapefruit juice provides up to 60% of the adequate daily intake. Conducted studies of fresh grapefruits purchased in the trade network show that the content of potassium, magnesium and vitamin C in grapefruit juice of industrial production is comparable to the content of these micronutrients in fresh fruits.

Keywords: grapefruit juice, nutrient profile, nutrients, micronutrients, flavonoids, biologically active substances

Соки являются продуктами переработки фруктов и овощей, и во многих странах порция сока считается адекватной заменой 1 порции плодов из минимальных 5 предусмотренных рекомендациями Всемирной организации здравоохранения по здоровому питанию [1].

Исследования показывают, что цитрусовые соки проявляют высокую антиоксидантную активность, а их потребление способствует снижению риска возникновения различных заболеваний [2, 3]. Наиболее значимыми веществами, обуславливающими антиоксидантное действие цитрусовых соков, являются присутствующие в них в значительных количествах витамин С и флавоноиды, обладающие синергизмом [4].

Несмотря на сходство цитрусовых соков, каждый из них имеет свои особенности: они отличаются содержанием и соотношением сахаров и органических кислот, содержанием макро- и микроэлементов и витаминов, профилем различных флавоноидов. Информация о количественном содержании в соках макро- и микронутриентов, включая органические кислоты, минорные биологически активные соединения, содержится в справочниках химического состава пищевых продуктов. Дополнительным источником информации о содержании отдельных веществ (в особенности полифенольных) являются публикации в научных журналах. Поскольку в настоящее время большую часть соков, потребляемых населением, составляют соки промышленного производства, проведение исследований таких соков для уточнения и дополнения данных, содержащихся в литературе, является актуальным.

Цель настоящей работы – установление нутриентного профиля грейпфрутового сока на основе анализа данных литературы и результатов исследований грейпфрутового сока промышленного производства. Статья продолжает серию публикаций о нутриентных профилях соков [5–8].

Материал и методы

Проведен анализ информации из 14 справочников о содержании в грейпфрутовом соке пищевых и биологически активных веществ (БАВ) [9–22], а также

опубликованных данных исследований по содержанию в грейпфрутовом соке минеральных веществ, витаминов и флавоноидов [23–30].

Российским союзом производителей соков (РСПС) проведены исследования представленного на российском рынке грейпфрутового сока промышленного производства различных торговых марок в аккредитованных лабораториях: ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия), Испытательном центре ГЭАЦ «СОЭКС» (Москва, Россия) и лаборатории Eurofins (Нант, Франция), а также в научно-исследовательских центрах и производственных лабораториях членов РСПС (АО «Мултон», ООО «ПепсиКоХолдингс»). Определяемые пищевые вещества и БАВ и методы, использованные для исследований, приведены в табл. 1. В Испытательном центре ГЭАЦ «СОЭКС» (Москва, Россия) и в лаборатории Eurofins (Нант, Франция) проведены исследования свежих плодов грейпфрутов на содержание калия, магния, витаминов С и В₁.

Результаты и обсуждение

Углеводы (моно- и дисахариды)

Моно- и дисахариды в грейпфрутовом соке представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой [9–10]. Данные литературы по содержанию сахаров в грейпфрутовом соке, а также данные исследований соков промышленного производства, приведены в табл. 2.

Данные, полученные в ходе исследований грейпфрутовых соков промышленного производства, соответствуют информации, приведенной в справочниках. По результатам, суммарное содержание моно- и дисахаридов составило 6,2–10,3 г в 100 мл.

Соотношение глюкозы, фруктозы и сахарозы в соке зависит от сортовых особенностей грейпфрутов, из которых сок изготовлен. Для большинства соков это соотношение близко к 1,5:1,5:1 (глюкоза : фруктоза : сахароза).

Пищевые волокна

Грейпфрутовые соки при изготовлении не осветляют, в них всегда присутствуют пищевые волокна – растворимые (пектины) и нерастворимые (целлюлоза).

Пектины, растворенные во внутриклеточной жидкости плода, при отжиме переходят в сок. Согласно данным литературы, содержание пектинов в грейпфрутовом соке составляет в среднем 0,02–0,055 г/100 мл [9, 11]. Целлюлоза является составной частью мякоти – нерастворимых частиц нарушенной при отжиме ткани плодов, а также входит в состав клеток грейпфрута – пленочных структур, формирующих внутренние сегменты его съедобной части. Содержание в грейпфрутовом соке нерастворимых пищевых волокон зависит от содержания в нем мякоти и клеток. По данным различных источников, суммарное содержание растворимых и нерастворимых пищевых волокон в грейпфрутовом соке составляет в среднем 0,1–0,4 г/100 мл [11–15].

Проведенные исследования (табл. 3) подтверждают данные литературы: содержание пектинов в грейпфрутовых соках промышленного производства лежит в интервале 0,01–0,05 г/100 мл, а суммарное содержание пищевых волокон составляет 0,2–0,42 г/100 мл.

Органические кислоты

Органические кислоты в грейпфрутовом соке представлены большей частью лимонной кислотой. Л-яблочная кислота присутствует в грейпфрутовом соке в количествах в десятки раз меньших, чем лимонная кислота [9, 10]. В еще меньших количествах в грейпфрутовом соке обнаруживаются D-изолимонная (0,014–0,035 г/100 мл) и аскорбиновая кислоты [9]. Данные по содержанию лимонной и L-яблочной кислот в грейпфрутовом соке, в том числе промышленного производства, приведены в табл. 4.

Данные исследований грейпфрутовых соков промышленного производства соответствуют информации, приведенной в справочниках. Среднее содержание органических кислот в грейпфрутовом соке составляет 1,3 г/100 мл.

Калий

Согласно данным литературы, содержание калия в грейпфрутовом соке составляет 90–200 мг/100 мл [9–12, 14–21, 23]. Исследования показывают, что в грейпфрутовом соке промышленного производства содержание калия лежит в интервале 121,8–199,2 мг/100 мл, что соответствует данным литературы. Содержание калия в грейпфрутовом соке сопоставимо с содержанием этого вещества в свежих грейпфрутах (табл. 5).

Кальций

Согласно данным литературы, содержание кальция в грейпфрутовом соке составляет 5–28,3 мг/100 мл [9–12, 14–21, 23]. Исследования (табл. 6) показывают, что содержание кальция в грейпфрутовом соке промышленного производства лежит в интервале 4,8–13,0 мг/100 мл, что соответствует данным литературы.

Магний

Согласно данным литературы, содержание магния в грейпфрутовом соке составляет 6–15 мг/100 мл [9–

Таблица 1. Методы исследований, использованные для определения содержания пищевых и биологически активных веществ в грейпфрутовом соке

Вещество	Метод определения
Глюкоза	ГОСТ 31669-2012 «Продукция соковая.
Фруктоза	Определение сахарозы, глюкозы, фруктозы и сорбита методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Сахароза	
Яблочная кислота	ГОСТ 32771-2014 «Продукция соковая. Определение органических кислот методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Лимонная кислота	
Калий	ГОСТ 33462-2015 «Продукция соковая. Определение натрия, калия, кальция и магния методом атомно-абсорбционной спектроскопии»
Магний	
Кальций	
Фосфор	RAD.ID.M.003. «Методика выполнения измерений массовой концентрации хлорида, нитрата, фосфата и сульфата методом жидкостной (ионной) хроматографии»
Железо	ГОСТ Р 51309-99 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»
Медь	ГОСТ Р 51309-99 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»
Марганец	ГОСТ Р 51309-99 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии»
Витамин С	ГОСТ 31643-2012 «Продукция соковая. Определение аскорбиновой кислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Витамин В ₁	DIN EN 14122-2003 «Продукты пищевые. Определение витамина В ₁ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Фолаты	АОАС 2013.13 «Определение содержания фолатов»
Нарингин	ГОСТ Р 51427-99 «Соки citrusовые. Метод определения массовой концентрации гесперидина и нарингина с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Нарирутин	Руководство Р 4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище»
Гесперидин	
Эриоцитрин	
Нарингенин	
Пектины	ГОСТ 29059-91 «Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ»
Пищевые волокна	ГОСТ 54014-2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом»

Таблица 2. Содержание моно- и дисахаридов в грейпфрутовом соке, г/100 мл [M (min–max)]

Источник	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза
[9]	(2,0–5,0)	(2,0–5,0)	(0,5–4,0)
[10]	4,3 (2,6–5,6)	4,2 (2,7–5,0)	1,6 (1,1–2,1)
Исследование 1 (n=11)	3,3 (2,6–3,9)	3,3 (2,8–3,9)	1,8 (0,6–2,5)
Исследование 2 (n=62)	2,8 (1,9–3,9)	2,9 (2,1–3,9)	2,0 (0,9–4,0)

Таблица 3. Содержание пищевых волокон в грейпфрутовом соке, г/100 мл

Вид сока*	Пектины			Пищевые волокна		
	min	max	mean	min	max	mean
Сок восстановленный (n=7)	0,01	0,05	0,03	0,20	0,29	0,24
Сок восстановленный с мякотью** (n=3)	0,01	0,04	0,025	0,22	0,42	0,30

Примечание. * – согласно информации, указанной на упаковке; ** – грейпфрутовый сок с мякотью – сок, в котором объемная доля грейпфрутовой мякоти превышает 8% или если он содержит клетки грейпфрута [31].

Таблица 4. Содержание лимонной и L-яблочной кислот в грейпфрутовом соке, г/100 мл [M (min-max)]

Источник	Лимонная кислота	L-яблочная кислота
[9]	(0,8–2,0)	(0,02–0,12)
[10]	1,23 (1,02–1,63)	0,032 (0,026–0,042)
Исследование 1 (n=11)	0,93 (0,74–1,11)	0,036 (0,028–0,043)
Исследование 2 (n=62)	1,24 (0,81–2,1)	0,05 (0,023–0,11)

Таблица 5. Содержание калия в грейпфрутовом соке (мг/100 мл) и плодах грейпфрута (мг/100г)

Продукт	M (min-max)
Исследование 1	
Сок прямого отжима (n=1)	126,1
Сок восстановленный (n=10)	158,2 (121,8–199,2)
Исследование 2	
Сок восстановленный (n=3)	142,5 (123,7–175,9)
Исследование 3	
Грейпфруты свежие (n=3)	133,4 (128,7–139,2)

Таблица 6. Содержание кальция в грейпфрутовом соке, мг/100 мл

Продукт	M (min-max)
Исследование 1	
Сок прямого отжима (n=1)	9,0
Сок восстановленный (n=9)	11,4 (9,4–13,0)
Исследование 2	
Сок восстановленный (n=5)	8,1 (4,8–11,4)
Исследование 3	
Сок восстановленный (n=2)	9,4 (9,2–9,6)

Таблица 7. Содержание магния в грейпфрутовом соке (мг/100 мл) и плодах грейпфрута (мг/100г)

Продукт	M (min-max)
Исследование 1	
Сок прямого отжима (n=1)	8,6
Сок восстановленный (n=10)	9,0 (6,7–11,4)
Исследование 2	
Сок восстановленный (n=5)	11,2 (8,6–14,0)
Исследование 3	
Сок восстановленный (n=2)	9,6 (9,5–9,7)
Исследование 4	
Грейпфруты свежие (n=3)	9,0 (8,5–9,8)

Таблица 8. Содержание железа, меди и марганца в грейпфрутовом соке, мг/100 мл

Продукт	Содержание M (min-max)		
	железо	медь	марганец
Сок восстановленный (n=2)	0,04 (0,039–0,040)	0,012 (0,011–0,013)	0,014

12, 14–21, 23]. Данные исследований показывают, что содержание магния в грейпфрутовом соке промышленного производства лежит в таком же интервале (6,7–14,0 мг/100 мл). Содержание магния в грейпфрутовом соке сопоставимо с содержанием этого вещества в свежих грейпфрутах (табл. 7).

Фосфор

По данным литературы, содержание фосфора в грейпфрутовом соке составляет 8–20 мг/100 мл [9–12, 14–21, 23]. Результаты исследований показывают, что содержание фосфора в восстановленном соке промышленного производства лежит в интервале 9,0–13,6 мг/100 мл (M=10,6, n=5), что соответствует данным литературы.

Железо

Согласно данным справочников, содержание железа в грейпфрутовом соке составляет 0,06–1,13 мг/100 мл [10–21]. Данные исследований грейпфрутового сока промышленного производства показывают более низкое содержание железа (табл. 8).

Медь

Согласно данным справочников, содержание меди в грейпфрутовом соке составляет 0,008–0,087 мг/100 мл [10–12, 14, 21]. Данные исследований (см. табл. 8) показывают, что содержание меди в грейпфрутовом соке промышленного производства соответствует справочным данным, при этом полученные значения находятся ближе к нижней границе значений, указанных в справочниках.

Марганец

Согласно данным справочников [10–12, 19, 21], содержание марганца в грейпфрутовом соке составляет 0,01–0,2 мг/100 мл. Данные исследований (см. табл. 8) показывают, что содержание марганца в грейпфрутовом соке промышленного производства соответствует справочным данным.

Витамин С

По данным литературы, содержание витамина С в грейпфрутовом соке колеблется в широком диапазоне

и составляет 1–60,3 мг/100 мл [9–19, 21, 23, 24]. При этом минимальные и максимальные значения, указанные в [12], не подтверждаются данными из других источников (табл. 9) и данными исследований грейпфрутового сока промышленного производства (табл. 10). Несмотря на то что содержание витамина С может снижаться в ходе технологической обработки сока, в грейпфрутовом соке промышленного производства его содержание в среднем составляет 20–30 мг/100 мл. Содержание витамина С в грейпфрутовом соке промышленного производства сопоставимо с содержанием этого вещества в свежих грейпфрутах (см. табл. 10).

Витамин В₁ (тиамин)

По данным литературы, содержание витамина В₁ в грейпфрутовом соке составляет 0,02–0,42 мг/100 мл [10–12, 14, 16–21, 25, 26], в плодах грейпфрута – 0,03–0,07 мг/100 мл [10, 16–17, 26]. Исследование 10 образцов грейпфрутового сока промышленного производства и 3 образцов свежих грейпфрутов показало, что содержание в них витамина В₁ находится ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,015 мг/100 мл), т.е. ниже минимальных значений, указанных в литературе.

Фолаты

Согласно данным литературы, содержание фолатов в грейпфрутовом соке 0,0005–0,0122 мг/100 мл [10–16, 18–21, 23, 25–26], в среднем 0,006–0,01 мг/100 мл, что составляет около 8% от суточной потребности человека

Таблица 10. Содержание витамина С в грейпфрутовом соке (мг/100 мл) и плодах грейпфрута (мг/100 г)

Продукт	Содержание витамина С, М (min-max)
<i>Исследование 1</i>	
Сок прямого отжима (n=1)	26,6
Сок восстановленный (n=10)	21,9 (2,0–33,3)
<i>Исследование 2</i>	
Сок восстановленный (n=18)	37,0 (26,3–45,8)
<i>Исследование 3</i>	
Сок восстановленный (n=9)	23,6 (18,6–32,4)
<i>Исследование 4</i>	
Грейпфруты свежие (n=3)	24,9 (24,3–25,5)

Таблица 11. Содержание нарингина в грейпфрутовом соке, мг/100 мл

Продукт	Содержание нарингина, М (min-max)
<i>Исследование 1</i>	
Сок прямого отжима (n=1)	30,4
Сок восстановленный (n=10)	31,8 (12,3–63,2)
<i>Исследование 2</i>	
Сок восстановленный (n=8)	44,0 (21,1–59,9)
<i>Исследование 3</i>	
Сок восстановленный (n=9)	46,1 (43,9–51,6)

в фолатах в порции сока. Исследование 10 образцов грейпфрутового сока промышленного производства показало, что содержание фолатов в 9 образцах находилось ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,005 мг/100 мл), в одном образце содержание фолатов составило 0,0079 мг/100 мл. Содержание фолатов ниже предела обнаружения метода значительно с точки зрения уровня физиологической

Таблица 9. Содержание витамина С в грейпфрутовом соке по данным литературы, мг/100 мл

Источник	Вид сока (согласно источнику)	Содержание витамина С, М (min-max)
[9]	Свежеотжатый	30
[10]	Промышленного производства	36 (31–43)
[11]	Не указан	36
[12]	Промышленного производства, восстановленный	23,7 (1–60,3)
[13]	Свежеотжатый	38
[14]	Не указан	38
[15]	Не указан	32,2
[16]	Промышленного производства	28,3
[17]	Не указан	40
[18]	Не указан	29
[19]	Не указан	31
[21]	Промышленного производства	31
[23]	Промышленного производства, восстановленный	41,6
[24]	Свежеотжатый	(13,44–16,76)

Таблица 12. Содержание нарирутина и минорных флаванонгликозидов в грейпфрутовом соке, мг/100 мл

Флаванонгликозид	Источник	М (min-max)
Нарирутин	[16]	11,74 (5,61–17,86)
	[24]	(2,36–15,12)
	[29]	9,9 (2,3–18,8)
	Исследование грейпфрутовых соков промышленного производства (n=2)	14,6 (14,4–14,8)
Гесперидин	[22]	0,81 (0,47–1,68)
	[24]	(2,29–7,17)
	[27]	1,84
	[29]	2,8 (0,2–16,4)
	(n=8)	1,30 (0,8–1,65)
Эриоцитрин	[22]	0,16
	[27]	3,42
	[29]	0,41 (0,27–0,54)
	(n=2)	1,20
Дидимин	[24]	0,09–1,38
	[27]	0,167
	[29]	0,8 (0,0–1,7)
Понцирин	[29]	1,2 (0,1–2,4)
Нарингенин	[29]	4,2 (0,4–16,2)
	[30]	0–12,6
	(n=6)	0,24 (0,23–0,25)

Таблица 13. Энергетическая ценность, содержание макронутриентов и органических кислот в грейпфрутовом соке (для сока с содержанием растворимых сухих веществ 10,0%)

Показатель	Содержание в среднем, в 100 мл
Энергетическая ценность, кДж/ккал	165/39
Углеводы ¹ , г	8,0
Сахара ² , г	8,0
Белок*, г	0,5
Жиры*, г	<0,5
Органические кислоты ³ , г	1,3
Пищевые волокна ⁴ , **, г	
– для сока	0,2
– для сока с мякотью***	0,3
Пектины**, г	0,03

Примечание. * – значение основано на данных литературы; ** – значение требует дополнительного изучения и уточнения; *** – объемная доля грейпфрутовой мякоти превышает 8% или если присутствуют клетки грейпфрута; ¹ – Углеводы грейпфрутового сока представлены сахарами – глюкозой, фруктозой, сахарозой; ² – сахара грейпфрутового сока представлены глюкозой, фруктозой, сахарозой в соотношении 1,5:1,5:1 (в среднем). Содержание глюкозы варьирует в пределах 2,0–5,0 г/100 мл, фруктозы – 2,0–5,0 г/100 мл, сахарозы – 0,5–4 г/100 мл; ³ – органические кислоты грейпфрутового сока представлены большей частью лимонной кислотой. Содержание лимонной кислоты в грейпфрутовом соке варьирует в пределах 0,8–2,0 г/100 мл. Содержание L-яблочной кислоты, второй по количеству в грейпфрутовом соке, варьирует в пределах 0,02–0,12 г/100 мл. Также в грейпфрутовом соке присутствуют D-изолимонная кислота в количествах 0,014–0,035 г/100 мл и аскорбиновая кислота в количествах до 0,05 г/100 мл; ⁴ – в грейпфрутовом соке содержатся растворимые пищевые волокна (пектины) и нерастворимые пищевые волокна (целлюлоза, или клетчатка). Содержание нерастворимых пищевых волокон в грейпфрутовых соках с мякотью может значительно варьировать в зависимости от содержания в нем мякоти, в том числе клеток грейпфрута.

потребности человека в этих веществах. В связи с этим представляется целесообразным применение более чувствительных методов исследований для уточнения содержания фолатов в грейпфрутовом соке промышленного производства.

Флавоноиды

Флавоноиды грейпфрутового сока представлены преимущественно флаванонами и в меньшей степени флавонолами [9, 16, 22–24, 27–30]. Содержание флавоноидов зависит от особенностей производства и технологической обработки сока [24].

Основным флаванонгликозидом в грейпфрутовом соке является нарингин, содержание которого составляет более 70% от суммы флаванонов. По данным литературы, количество нарингина в грейпфрутовом соке составляет 4,8–119,7 мг/100 мл [9, 23–24, 27, 29–30]. По данным исследований (табл. 11), содержание нарингина в грейпфрутовом соке промышленного производства лежит в интервале 12,3–63,2 мг/100 мл.

Кроме нарингина, в грейпфрутовом соке обнаружены нарингенины и минорные флаванонгликозиды, такие как эриоцитрин, гесперидин, дидимин, понцирин, а также свободный агликон нарингенин. Данные по содержанию указанных веществ, в том числе данные исследований грейпфрутовых соков промышленного производства, приведены в табл. 12.

Флавоны в грейпфрутовом соке представлены в основном флавоновыми С- и О-гликозидами [27], а флавонолы – кверцетином [22]. Содержание этих веществ, согласно данным литературы, около 0,4–0,5 мг/100 мл [22, 27].

Содержание флавоноидов в грейпфрутовом соке требует дальнейшего изучения.

Кроме флавоноидов, полифенольные соединения в грейпфрутовом соке представлены также фуранокумарины, основными из них являются бергамоттин, 6',7'-дигидроксибергамоттин, бергаптол, 6',7'-эпоксибергамоттин и димеры, известные как парадизины [32–35]. Несмотря на относительно низкое содержание (до 5 мг/100 мл), исследования последних 15 лет показали, что фуранокумарины являются теми активными компонентами грейпфрутового сока, которые влияют на биодоступность лекарственных препаратов путем ингибирования ферментов печени и тонкой кишки [36–40]. В ряде случаев избежать нежелательных последствий можно путем отдельного приема грейпфрутового сока и лекарственных препаратов с временным интервалом не менее 4 ч.

Нутриентный профиль грейпфрутового сока

Нутриентный профиль грейпфрутового сока включает информацию о содержании в нем макро- и микронутриентов, органических кислот, минорных БАВ. При определении значений, вносимых в нутриентный профиль, приоритетными являются данные исследований сока промышленного производства.

Нутриентный профиль грейпфрутового сока представлен в табл. 13 и 14 и примечаниях к ним. Информация, представленная в нутриентном профиле, может использоваться при некоммерческих коммуникациях и не может использоваться в других целях, в том числе в целях маркировки продукции.

Заключение

На основании анализа данных по содержанию пищевых и БАВ в грейпфрутовом соке, имеющихся в литера-

Таблица 14. Содержание микронутриентов и минорных биологически активных веществ в грейпфрутовом соке, мг/100 мл

Вещество	Min	Max	В среднем
<i>Макроэлементы</i>			
К (калий)	90	200	150
Са (кальций)	5	16	10
Мг (магний)	6	15	10
Р (фосфор)	8	20	11
<i>Микроэлементы</i>			
Fe (железо)	0,04	1,1	0,1
Си (медь)	0,008	0,09	0,012
Мп (марганец)	0,01	0,2	0,015
I (йод)*	0,0001	0,002	0,001
Cr (хром)*. **	–	–	0,0006
Se (селен)*. **	–	–	0,0005
<i>Водорастворимые витамины</i>			
С	5	50	25
В ₁ (тиамин)	0,01	0,1	0,015
В ₂ (рибофлавин)*	0,006	0,03	0,01
Ниацин*	0,05	0,4	0,2
В ₆ (пиридоксин)*	0,01	0,5	0,015
Фолаты*. **	0,0005	0,012	0,006
Пантотеновая кислота*	0,03	0,16	0,1
Биотин*	0,0003	0,001	0,0007
<i>Жирорастворимые витамины</i>			
Е*. **	–	–	0,15
<i>Полифенольные соединения</i>			
Флавоноиды ⁵			
Суммарно**	–	–	60
В том числе нарингин	12	70	40

Примечание. * – значение основано на данных литературы; ** – значение требует дополнительного изучения и уточнения; ⁵ – наиболее значимым флавоноидом грейпфрутового сока является нарингин. Кроме нарингина, в грейпфрутовом соке присутствуют нарингитин, гесперидин и другие флавоноиды. Суммарно, содержание флавоноидов в грейпфрутовом соке, согласно имеющимся данным, составляет в среднем около 60 мг/100 мл. Данные по содержанию флавоноидов в грейпфрутовом соке требуют дополнительного изучения и уточнения.

туре, и результатов исследований, проведенных РСПС, представлен нутриентный профиль грейпфрутового сока, в котором приведено содержание 32 пищевых и БАВ.

Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными БАВ для грейпфрутового сока, в том числе для грейпфрутового сока промышленного производства, являются минеральные вещества – калий и магний, а также витамин С и флавоноиды. В порции грейпфрутового сока содержится в среднем 10% от суточной потребности человека в калии и 6% – в магнии (суточная потребность согласно [41]). Содержание витамина С в порции составляет

около 100% от суточной потребности [41], а содержание флавоноидов – около 60% от их адекватного суточного потребления [42]. Содержание калия, магния и витамина С в грейпфрутовом соке промышленного производства сопоставимо с содержанием этих веществ в свежих грейпфрутах. Грейпфрутовый сок имеет высокую кислотность (в среднем 1,3 г органических кислот в 100 мл) и невысокую калорийность (в среднем 39 ккал/100 мл).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Иванова Наталья Николаевна – президент Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС) (Москва)

E-mail: rsps@rsps.ru

Хомич Людмила Михайловна – руководитель проекта Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС) (Москва)

E-mail: l.homich@rsps.ru

Перова Ирина Борисовна – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории метаболизма и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: Erin.Feather@yandex.ru

Эллер Константин Исаакович – доктор химических наук, руководитель лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)
E-mail: eller@ion.ru

Литература

- Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva : World Health Organization, 2003 (WHO Technical Report Series, No. 916).
- Rampersaud G.C., Valim M.F. 100% citrus juice: nutritional contribution, dietary benefits, and association with anthropometric measures // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017. Vol. 57, N 1. P. 129–140. doi: 10.1080/10408398.2013.862611.
- Cristobal-Luna J.M., Alvarez-Gonzalez I., Madrigal-Bujaidar E., Chamorro Cevallos G. Grapefruit and its biomedical, antigenotoxic and chemopreventive properties // *Food Chem. Toxicol.* 2018. Vol. 112. P. 224–234. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.038.
- Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. ; отв. ред. Е.И. Маевский. Пуцино : Synchrobook, 2013. 310 с.
- Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль яблочного сока // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86, № 4. С. 125–136.
- Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль апельсинового сока // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86, № 6. С. 103–113.
- Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Бекетова Н.А. Нутриентный профиль томатного сока // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87, № 2. С. 53–64.
- Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль вишневого сока // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87, № 4. С. 78–86.
- «Свод правил для оценки качества фруктовых и овощных соков Европейской ассоциации производителей фруктовых соков» (Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetables Juices A.I.J.N.). URL: <http://www.aijn.org/publications/code-of-practice/the-aijn-code-of-practice/> (дата обращения: 20.08.2018)
- Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchhoff E. Food composition and nutrition tables, based on the 7th edition. Stuttgart : Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008. 1198–1199.
- German Nutrient Database: BLS online portal. URL: <https://www.vitaminedatenbank.de/> (дата обращения: 20.08.2018)
- Table Ciqual, Composition Nutritionnelledesalimentsde ANSES (Франция). URL: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>. (дата обращения: 20.08.2018)
- The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket (Швеция). URL: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen>. (дата посещения: 20.08.2018)
- Norwegian Food Composition table (2012). URL: <http://www.matvaretabellen.no/> (дата обращения: 20.08.2018)
- Slovak online food composition database with free access for public. URL: <http://www.pbd-online.sk/en>. (дата обращения: 20.08.2018)
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Вып. 28 (США). URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (дата обращения: 20.08.2018)
- Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : справочник. М. : ДеЛи принт, 2007.
- Bedca; Base de Datos Espanola de Composicion de Alimentos (Испания). URL: <http://www.sennutricion.org/es/2013/05/15/base-de-datos-espaola-de-composicin-de-alimentos-bedca>. (дата обращения: 20.08.2018)
- Estonian food composition database, online version. URL: http://tka.nutridata.ee/index.action?request_locale=ru. (дата обращения: 20.08.2018)
- Fineli Finnish Food Composition Database. URL: <https://fineli.fi/fineli/fi/index>. (дата посещения: 20.08.2018)
- UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods (Великобритания). URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>. (дата обращения: 20.08.2018)
- USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. Release 3.2 (November 2015). URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015>. (дата обращения: 20.08.2018)
- Habauzit V., Verny M.-A., Milenkovic D., Barber-Chamoux N., Mazur A., Dubray C. et al. Flavanones protect from arterial stiffness in postmenopausal women consuming grapefruit juice for 6 mo: a randomized, controlled, crossover trial // *Am. J. Clin. Nutr.* 2015. Vol. 102, N 1. P. 66–74.
- Uckoo R.M., Jayaprakasha G.K., Balasubramaniam V.M., Patil B.S. Grapefruit (Citrus paradise Macfad) phytochemicals composition is modulated by household processing techniques // *J. Food Sci.* 2012. Vol. 77, N 9. P. C921–C926.
- Asenjo C.F., De Hernandez E.R., Rodriguez L.D., De Andino, M.G. Vitamins in canned Puerto Rican fruit juices and nectars // *J. Agric. Univ. Puerto Rico.* 1968. Vol. 52. P. 64–70.
- Holland B., Unwin L.D., Buss D.H. Fruit and Nuts. Suppl. to McCance & Widdowson's The Composition of Foods. 5th ed. Cambridge : Royal Soc. Chemistry, 1992.
- Zhang M., Duan C., Zang Y., Huang Z., Liu G. The flavonoid composition of flavedo and juice from the pummelo cultivar (Citrus grandis (L.) Osbeck) and the grapefruit cultivar (Citrus paradisi) from China // *Food Chem.* 2011. Vol. 129. P. 1530–1536.
- Cassidy A., Bertoia M., Chiuve S., Flint A., Forman J., Rimm E.B. Habitual intake of anthocyanins and flavanones and risk of cardiovascular disease in men // *Am. J. Clin. Nutr.* 2016. Vol. 104, N 3. P. 587–594. doi: 10.3945/ajcn.116.133132.
- Gattuso G., Barreca D., Gargiulli C. Flavonoid composition of citrus juices // *Molecules.* 2007. Vol. 12. P. 164–167.
- Zhang J. Flavonoids in grapefruit and commercial grapefruit juices: concentration, distribution, and potential health benefits // *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 2007. Vol. 120. P. 288–294.
- Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» (утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 882).
- De Castro W.V., Mertens-Talcott S., Rubner A. et al. Variation of flavonoids and furanocoumarins in grapefruit juices: a potential source of variability in grapefruit juice – *Drug Interaction Studies // J. Agric. Food Chem.* 2006. Vol. 54, N 1. P. 249–255.
- Hung W.-L., Suh J.H., Wang Y. Chemistry and health effects of furanocoumarins in grapefruit // *J. Food Drug Anal.* 2017. Vol. 25. P. 71–83.
- Widmer W., Haun C. Variation in furanocoumarin content and new furanocoumarin dimers in commercial grapefruit (Citrus paradise Macf.) juices // *J. Food Sci.* 2005. Vol. 70, N 4. P. 307–312.
- Mathney J.A., Myung K., Mertens-Talcott S. et al. The isolation of minor-occurring furanocoumarins in grapefruit and analysis of their inhibition of CYP 3A4 and P-glycoprotein transport of Talinolol from Caco-2 cells // *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 2006. Vol. 119. P. 361–366.
- Hanley M.J., Cancalon P., Widmer W.W. et al. The effect of grapefruit juice on drug disposition // *Expert Opin. Drug Metab. Toxicol.* 2011. Vol. 7, N 3. P. 267–286.
- Paine M.F., Widmer W.W., Hart H.L. et al. A furanocoumarin-free grapefruit juice establishes furanocoumarins as the mediators of the grapefruit juice-felodipine interaction // *Am. J. Clin. Nutr.* 2006. Vol. 83. P. 1097–1105.

38. Bailey D.G., Dresser G., Arnold J.M.O. Grapefruit-medication interactions: forbidden fruit or avoidable consequences? // *CMAJ*. 2013. Vol. 185, N 4. P. 309–316.
39. Lee J.W., Morris J.K., Wald N.J. Grapefruit juice and statins // *Am. J. Med.* 2016. Vol. 129. P. 26–29.
40. Yunwei Wang, Evan Klass. Grapefruit with your statin? // *Am. J. Med.* 2016. Vol. 129, N 8, P. e159.
41. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881).
42. Методические рекомендации Роспотребнадзора МР 2.3.1.2432-08 от 18.12.2008 г. «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

References

1. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva : World Health Organization, 2003 (WHO Technical Report Series, No. 916).
2. Rampersaud G.C., Valim M.F. 100% citrus juice: nutritional contribution, dietary benefits, and association with anthropometric measures. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017; 57 (1): 129–40. doi: 10.1080/10408398.2013.862611.
3. Cristobal-Luna J.M., Alvarez-Gonzalez I., Madrigal-Bujaidar E., Chamorro Cevallos G. Grapefruit and its biomedical, antigenotoxic and chemopreventive properties. *Food Chem Toxicol.* 2018; 112: 224–34. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.038.
4. Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine. In: Tarakhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov E.N.; E.I. Maevsky (responsible ed.). *Pushchino: Sunchrobook*, 2013: 310 p. (in Russian)
5. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B. Apple juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 125–36. (in Russian)
6. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B. Orange juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (6): 103–13. (in Russian)
7. Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (2): 53–64. (in Russian)
8. Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (4): 78–86. (in Russian)
9. Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetables Juices. A.I.J.N. URL: <http://www.aijn.org/publications/code-of-practice/the-aijn-code-of-practice/> (date of access August 20, 2018)
10. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchoff E. Food composition and nutrition tables, based on the 7th edition. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008: 1198–9.
11. German Nutrient Database: BLS online portal. URL: <https://www.vitaminedatenbank.de/> (date of access August 20, 2018)
12. Table Ciqua, Composition Nutritionnelle des aliments de ANSES (France). URL: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>. (date of access August 20, 2018)
13. The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket (Sweden). URL: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen>. (date of access August 20, 2018)
14. Norwegian Food Composition table (2012). URL: <http://www.matvaretabellen.no/> (date of access August 20, 2018)
15. Slovak online food composition database with free access for public. URL: <http://www.pbd-online.sk/en>. (date of access August 20, 2018)
16. USDA National Nutrient Database for Standard Reference (USA). Release 28. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (date of access August 20, 2018)
17. Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Tables of the chemical composition and caloric content of Russian food: Handbook. Moscow: DeLi print, 2007. (in Russian)
18. Bedca; Base de Datos Espanola de Composicion de Alimentos (Spain). URL: <http://www.sennutricion.org/es/2013/05/15/base-datos-espaola-de-composicin-de-alimentos-bedca>. (date of access August 20, 2018)
19. Estonian food composition database, online version. URL: http://tka.nutridata.ee/index.action?request_locale=ru. (date of access August 20, 2018)
20. Fineli Finnish Food Composition Database. URL: <https://fineli.fi/fineli/fi/index>. (date of access August 20, 2018)
21. UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods (UK). URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>. (date of access August 20, 2018)
22. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. Release 3.2 (November 2015). URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015>. (date of access August 20, 2018)
23. Habauzit V., Verny M.-A., Milenkovic D., Barber-Chamoux N., Mazur A., Dubray C., et al. Flavanones protect from arterial stiffness in postmenopausal women consuming grapefruit juice for 6 mo: a randomized, controlled, crossover trial. *Am J Clin Nutr.* 2015; 102 (1): 66–74.
24. Uckoo R.M., Jayaprakasha G.K., Balasubramaniam V.M., Patil B.S. Grapefruit (*Citrus paradise* Macfad) phytochemicals composition is modulated by household processing techniques. *J Food Sci.* 2012; 77 (9): C921–6.
25. Asenjo C.F., De Hernandez E.R., Rodriguez L.D., De Andino, M.G. Vitamins in canned Puerto Rican fruit juices and nectars. *J Agric Univ Puerto Rico.* 1968; 52: 64–70.
26. Holland B., Unwin L.D., Buss D.H. Fruit and Nuts. Suppl. to McCance & Widdowson's *The Composition of Foods*. 5th ed. Cambridge: Royal Soc. Chemistry, 1992.
27. Zhang M., Duan C., Zang Y., Huang Z., Liu G. The flavonoid composition of flavedo and juice from the pummelo cultivar (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) and the grapefruit cultivar (*Citrus paradisi*) from China. *Food Chem.* 2011; 129: 1530–6.
28. Cassidy A., Bertoia M., Chiuve S., Flint A., Forman J., Rimm E.B. Habitual intake of anthocyanins and flavanones and risk of cardiovascular disease in men. *Am J Clin Nutr.* 2016; 104 (3): 587–94. doi: 10.3945/ajcn.116.133132.
29. Gattuso G., Barreca D., Gargiulli C. Flavonoid composition of citrus juices. *Molecules.* 2007; 12: 164–7.
30. Zhang J. Flavonoids in grapefruit and commercial grapefruit juices: concentration, distribution, and potential health benefits. *Proc Fla State Hort Soc.* 2007. Vol. 120: 288–94.
31. Technical regulations of the Customs Union TR TC 023/2011 «Technical regulations for fruit and vegetable juice products» (approved by the Decision of the Commission of the Customs Union of December 9, 2011 No. 882). (in Russian)
32. De Castro W.V., Mertens-Talcott S., Rubner A., et al. Variation of flavonoids and furanocoumarins in grapefruit juices: a potential source of variability in grapefruit juice – Drug Interaction Studies. *J Agric Food Chem.* 2006; 54 (1): 249–55.
33. Hung W.-L., Suh J.H., Wang Y. Chemistry and health effects of furanocoumarins in grapefruit. *J Food Drug Anal.* 2017; 25: 71–83.
34. Widmer W., Haun C. Variation in furanocoumarin content and new furanocoumarin dimers in commercial grapefruit (*Citrus paradise* Macf.) juices. *J Food Sci.* 2005; 70 (4): 307–12.
35. Mathney J.A., Myung K., Mertens-Talcott S., et al. The isolation of minor-occurring furanocoumarins in grapefruit and analysis of their inhibition of CYP 3A4 and P-glycoprotein transport of Talinolol from Caco-2 cells. *Proc Fla State Hort Soc.* 2006; 119: 361–6.

36. Hanley M.J., Cancalon P., Widmer W.W., et al. The effect of grapefruit juice on drug disposition. *Expert Opin Drug Metab Toxicol.* 2011; 7 (3): 267–86.
37. Paine M.F., Widmer W.W., Hart H.L., et al. A furanocoumarin-free grapefruit juice establishes furanocoumarins as the mediators of the grapefruit juice-felodipine interaction. *Am J Clin Nutr.* 2006; 83: 1097–105.
38. Bailey D.G., Dresser G., Arnold J.M.O. Grapefruit-medication interactions: forbidden fruit or avoidable consequences? *CMAJ.* 2013; 185 (4): 309–16.
39. Lee J.W., Morris J.K., Wald N.J. Grapefruit juice and statins. *Am J Med.* 2016; 129: 26–9.
40. Yunwei Wang, Evan Klass. Grapefruit with your statin? *Am J Med.* 2016; 129 (8): e159.
41. Technical regulations of the Customs Union TR TC 022/2011 «Food products in terms of its marking» (approved by the Decision of the Commission of the Customs Union of December 9, 2011 No. 881). (in Russian)
42. Methodical recommendations Rospotrebnadzor MR 2.3.1.2432-08 dated 18.12.2008 «Norms of physiological needs in energy and nutrients for different groups of the population of the Russian Federation». (in Russian)

Для корреспонденции

Росляков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техники и технологии хлебопродуктов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Телефон: (861) 255-15-98

E-mail: lizaveta_ros@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>

Почицкая И.М.¹, Росляков Ю.Ф.², Литвяк В.В.¹, Комарова Н.В.¹, Юденко А.Н.¹

Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах

Investigation of the influence of the melanoidin formation reaction on the content of amino acids in model food systems

Pochitskaya I.M.¹, Roslyakov Yu.F.², Litvyak V.V.¹, Komarova N.V.¹, Yudenko A.N.¹

¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», Минск, Республика Беларусь

² ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар

¹ Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

² Kuban State Technological University, Krasnodar

Практически все применяемые в настоящее время технологии производства пищевых продуктов в той или иной степени связаны с реакцией меланоидинообразования, которая оказывает существенное влияние на их внешний вид, вкус, пищевую ценность и потребительские свойства. С целью оценки влияния тепловой обработки пищевых продуктов на их пищевую ценность исследованы пищевые модельные системы: гидролизат белка – глюкоза, гидролизат белка – ксилитоза, гидролизат белка – фруктоза (1:5). Исследовано влияние присутствия редуцирующих сахаров, температуры и продолжительности нагревания на содержание аминокислот и экстинкцию растворов модельных пищевых систем. Установлены линейные зависимости уменьшения общего содержания аминокислот в модельных пищевых системах от продолжительности протекания реакции меланоидинообразования. Потери общего содержания аминокислот при нагревании до 120 °С в течение 120 мин составляют 23,9%; при этом содержание незаменимых аминокислот снижается на 15,5–24,6%. Добавление ксилитозы интенсифицирует процесс разрушения аминокислот в модельной системе на 12,7%, в то время как глюкоза провоцирует разрушение аминокислот всего лишь на 2,3%. Установлено, что такие аминокислоты, как треонин, изолейцин и гистидин, неустойчивы к разрушению независимо от вида добавленного сахара. При нагревании белого пшеничного хлеба установлена потеря его пищевой ценности за счет снижения содержания таких незаменимых кислот, как треонин (на 26,5%), метионин (на 21,2%), лизин (на 13,3%) и валин (на 12,1%). Отмечено,

Для цитирования: Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Комарова Н.В., Юденко А.Н. Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах // Вopr. питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 95–101. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10058.

Статья поступила в редакцию 16.11.2017. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Pochitskaya I.M., Roslyakov Yu.F., Litvyak V.V., Komarova N.V., Yudenko A.N. Investigation of the influence of the melanoidin formation reaction on the content of amino acids in model food systems. Vopr. pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 95–101. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10058. (in Russian)

Received 16.11.2017. **Accepted for publication** 13.09.2018.

что при одинаковой температуре с увеличением времени протекания реакции меланоидинообразования содержание аминокислот в системе уменьшается при одновременном усилении интенсивности окрашивания растворов. Экстинкция модельных пищевых систем изменялась соответственно следующим уравнениям: гидролизат–глюкоза – $y = 0,0022x$, гидролизат–ксилоза – $y = 0,0028x$, гидролизат–фруктоза – $y = 0,0032x$.

Ключевые слова: белок, аминокислоты, модельные пищевые системы, реакция меланоидинообразования, экстинкция, пищевая ценность

Almost all currently used technologies for the food production are related to the melanoidin formation reaction, which has a significant effect on appearance, taste, nutritional value and consumer properties of the foodstuffs. To assess the effect of heat treatment of food products on their nutritional value, food model systems protein hydrolyzate – glucose, hydrolyzate protein – xylose, hydrolyzate protein – fructose (1:5) have been investigated. The influence of the presence of reducing sugars, the temperature and the duration of heating on the content of amino acids and the extinction of solutions of model food systems have been studied. Linear dependences of the decrease in the total amino acid content in model food systems on the duration of the melanoidin formation reaction have been found. The loss of the total amino acid content when heating to 120 °C for 120 min was 23.9%; at the same time the content of essential amino acids reduced by 15.5–24.6%. The addition of xylose intensified the process of destruction of amino acids in the model system by 12.7%, at the same time glucose provoked the destruction of amino acids by only 2.3%. It has been established that amino acids threonine, isoleucine and histidine were unstable to destruction, regardless of the type of added sugar. When white wheat bread was heated, the loss of its nutritional value was established by reducing the content of such essential acids as threonine (by 26.5%), methionine (by 21.2%), lysine (by 13.3%) and valine (by 12.1%). It was noted that at the same temperature with increasing time of the melanoidin formation reaction, the content of amino acids in the system decreased with simultaneous intensification of the staining of the solutions. Extinction of model food systems varied according to the following equations: hydrolyzate–glucose – $y = 0.0022x$, hydrolyzate–xylose – $y = 0.0028x$, hydrolyzate–fructose – $y = 0.0032x$.

Keywords: protein, amino acids, model food systems, melanoidin formation reaction, extinction, nutritional value

В последние десятилетия термическая обработка стала основным способом производства пищевой продукции. В процессе термообработки пищевых продуктов происходит много разнообразных химических реакций, приводящих к изменению их состава, образованию новых соединений, которые оказывают существенное влияние на конечные характеристики пищевых продуктов. Самой распространенной из происходящих реакций является реакция Майяра, или реакция меланоидинообразования, поскольку она протекает в широком диапазоне температур, влажности, наличия или отсутствия кислорода и т.п. [1–3]. Неблагоприятным последствием реакции меланоидинообразования является образование токсичных и канцерогенных продуктов [4, 5]. В настоящее время исследования реакции Майяра направлены на изучение положительного или отрицательного влияния на здоровье человека продуктов реакции [6–8], а также на поиск методов контроля и ингибирования данного процесса [9, 10].

Реакция Майяра приводит к изменению первоначальных свойств пищевых продуктов: цвета, как правило, в сторону покоричневения (браунинг), появлению флуоресценции, ароматических и вкусовых соединений, сообщающих новые органолептические свойства пище, изменениям в текстуре [11–14].

Важным критерием качества пищевых продуктов является биологическая ценность содержащегося в них белка, которая отражает способность удовлетворять потребность организма в различных аминокислотах [15, 16]. Абсолютно незаменимых аминокислот 8, также часто к полузаменимым у взрослых и абсолютно незаменимым у детей относят аминокислоту гистидин, выполняющую в организме множество функций [17]. В ходе реакции Майяра наблюдается снижение биологической ценности белков, поскольку связываются аминокислоты, некоторые, в частности лизин и треонин, оказываются недоступными [18–20]. В этой связи представляет интерес изучение потерь незаменимых аминокислот при кулинарной обработке продуктов.

Цель настоящей работы – исследование влияния реакции меланоидинообразования на концентрацию аминокислот, цветовые характеристики и экстинкцию растворов модельных пищевых систем.

Материал и методы

Объекты исследования: гидролизат яичного белка, модельные растворы гидролизата белка и редуцирующих сахаров (глюкоза, фруктоза, ксилоза) в соотношении 1:5, белый пшеничный хлеб.

Гидролизат яичного белка получали путем кислотного гидролиза (6 н HCl) навески белка куриного яйца при 110 °С в течение 24 ч. Полученный гидролизат после разбавления дистиллированной водой в 10 раз нейтрализовали 10 н NaOH до pH 7.

Для интенсификации реакции меланоидинообразования модельные растворы (pH 7) выдерживали при температуре 120 °С в течение 30, 60, 90 и 120 мин.

Количество кислот определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколонной дериватизацией с использованием о-фталевого альдегида (ОФА). Система включала хроматограф Agilent 1200 (Agilent, США), диодно-матричный детектор (DAD, G1315D), флуориметрический детектор (FLD, G1321A) и аналитическую колонку 3,0×150 мм, 3,5 мкм (ZORBAX Eclipse-AAA). Условия проведения ВЭЖХ-анализа: температура термостатов колонки – 40 °С, скорость потока – 0,650 см³/мин, градиентное элюирование, длина волны детектирования ультрафиолетовой лампы – 338 нм с полосой пропускания 10 нм (для диодно-матричного детектора) и 340/450 нм (для флуориметрического детектирования). Каждый образец хроматографировали 2 раза.

Изменение экстинкции модельных растворов фиксировали при помощи спектрофотометра «Cary-50» (Varian, США) при длине волны $\lambda=360$ нм.

Для получения цветовых характеристик испытуемых образцов белого пшеничного хлеба использовали их фотоизображение с последующей обработкой в графическом редакторе Adobe Photoshop, в котором можно получить цветовые характеристики. Количественная оценка изменения цвета: ΔE – цветовое различие, которое определяли как разницу между двумя цветами в одном из равноконтрастных цветовых пространств

с помощью калькулятора «CIE2000 Calculator», позволяющего провести расчет в различных цветовых координатах [21].

При статистической обработке экспериментальных данных рассчитывали среднее значение определяемой величины не менее чем из 3 повторностей и среднеквадратичное отклонение.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований изменения содержания аминокислот в модельных пищевых системах представлены на рис. 1, 2. Установлены линейные зависимости уменьшения общего содержания аминокислот в модельных пищевых системах от продолжительности протекания реакции (см. рис. 1). С увеличением продолжительности нагревания отмечено снижение общего количества аминокислот на 11,1–23,9% по сравнению с исходным их содержанием. Добавление ксилитозы к гидролизату интенсифицирует процесс разрушения аминокислот на 12,7%, минимальные потери аминокислот установлены в модельной пищевой системе гидролизат–глюкоза (2,3%).

Установлено, что при одинаковой температуре с увеличением времени протекания реакции меланоидинообразования содержание незаменимых аминокислот в системах уменьшается на 15,5–24,6% (см. рис. 2). Наименьшие потери установлены в модельной пищевой системе гидролизат–глюкоза (15,5%), а добавление ксилитозы к гидролизату провоцирует снижение общего содержания незаменимых аминокислот в системе на 24,6%.

С увеличением времени протекания реакции меланоидинообразования значительно меняется и качественный состав белковых веществ. Так, в модельной пищевой системе гидролизат–ксилитоза содержание гистидина

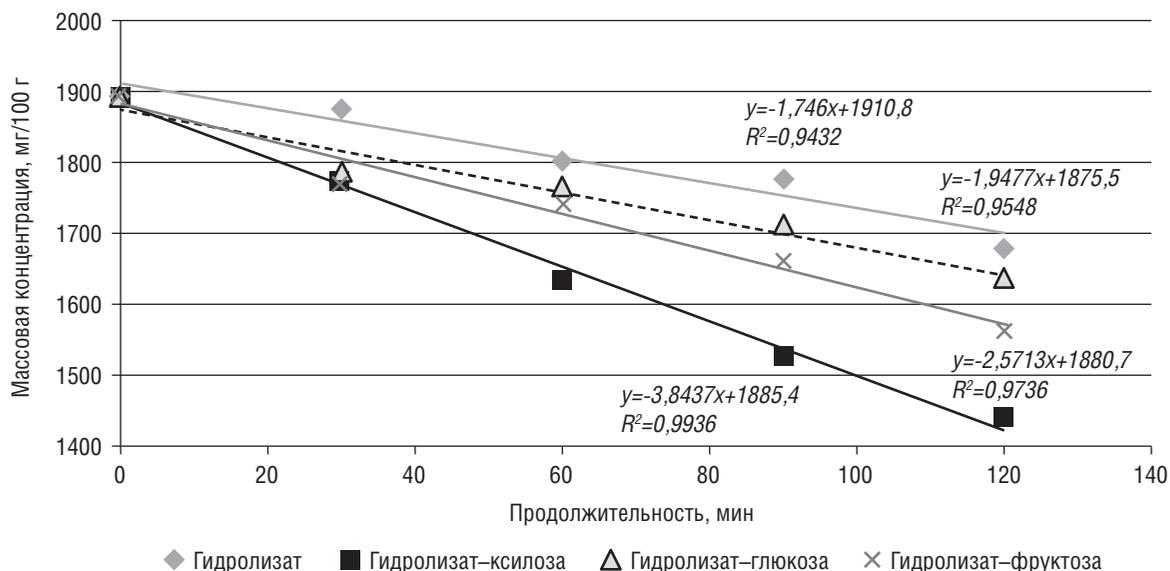


Рис. 1. Зависимость суммарного содержания аминокислот в гидролизате и в модельных пищевых системах от продолжительности нагревания

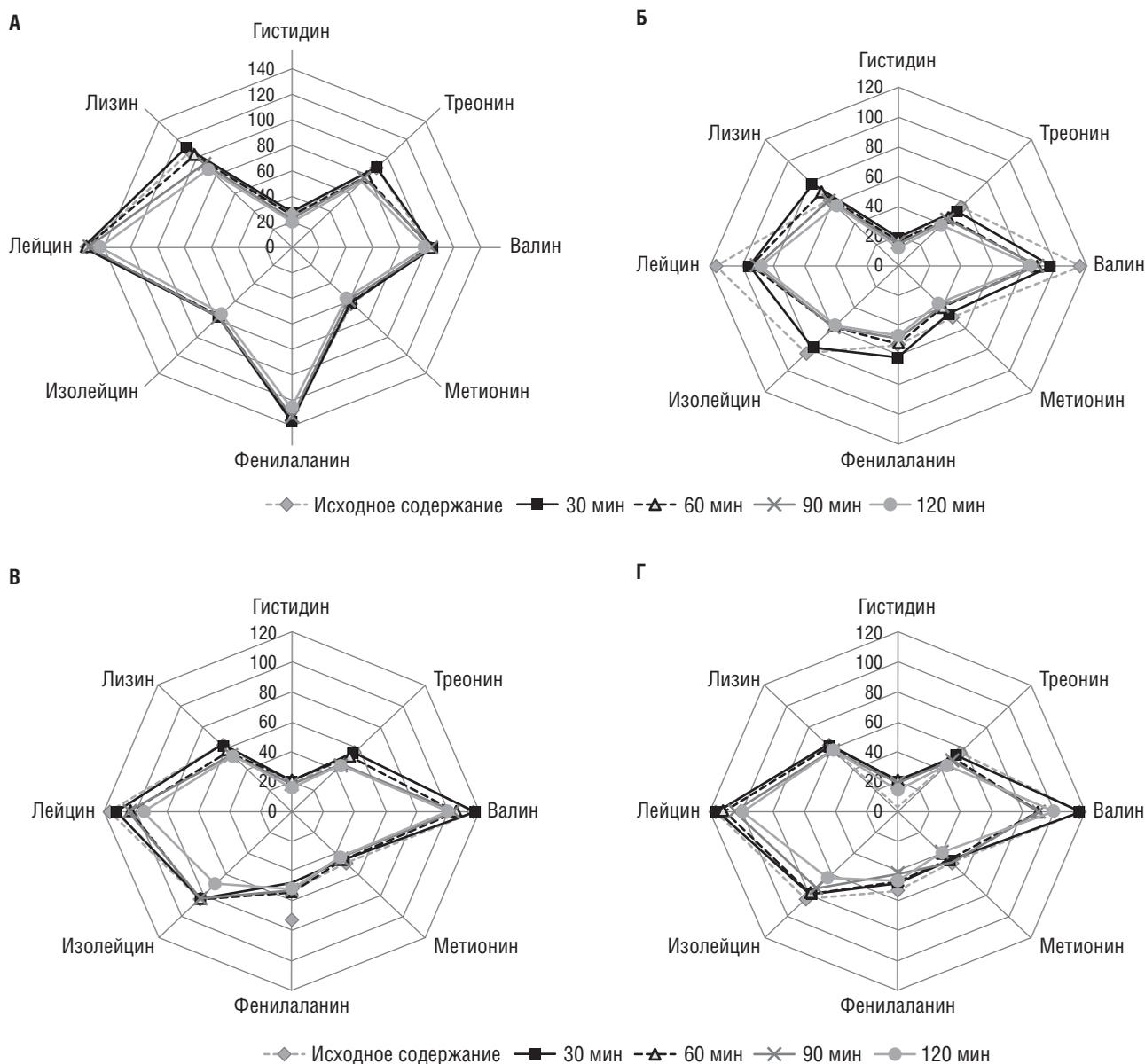


Рис. 2. Изменение содержания незаменимых аминокислот при температурной обработке гидролизата (А) и модельных пищевых систем (Б – гидролизат–сахара; В – гидролизат–глюкоза; Г – гидролизат–фруктоза) в зависимости от длительности нагревания

через 120 мин уменьшается на 38%, однако количество лизина за тот же промежуток времени снизилось только на 9,5%. Наименьшая устойчивость к разрушению независимо от вида добавленного сахара установлена у треонина и изолейцина, наибольшая у лизина, фенилаланина и валина.

Для подтверждения полученных результатов был проведен эксперимент с пищевым продуктом, в качестве объекта использовали белый пшеничный хлеб. Исследовано изменение содержания незаменимых аминокислот при нагревании хлеба при температуре 120 °С в течение 60–120 мин (табл. 1).

Отмечено снижение общего количества незаменимых аминокислот на 5,9% после 120 мин нагревания, при этом установлены существенные потери таких не-

заменимых кислот, как треонин (на 26,5%), метионин (на 21,2%), лизин (на 13,3%) и валин (на 12,1%). Такие аминокислоты, как гистидин, фенилаланин и лейцин, обладают наибольшей устойчивостью к продолжительности нагревания, что и подтверждает эксперимент с модельными пищевыми системами.

Реакция меланоидинообразования сопровождается достаточно ярким аналитическим эффектом – изменением интенсивности цвета продукта. Чтобы установить зависимость цвета от степени прохождения реакции меланоидинообразования оценивали экстинкцию модельных пищевых систем после 30, 60, 90 и 120 мин нагревания (см. табл. 2).

Установлено, что модельная пищевая система гидролизат–фруктоза чуть более интенсивно меняет экстин-

кцию и цвет соответственно. Отмечено, что изменение экстинкции модельной пищевой системы подчиняется стойкой линейной зависимости. Причем уравнение $y=kx$, где $k=[0,002-0,003]$ справедливо для каждой проверенной модельной пищевой системы (гидролизат белка – углевод) (рис. 3).

С целью изучения изменения цвета продукта при реакции меланоидинообразования образцы белого хлеба выдерживали в течение 60–120 мин при температуре 120 °С (табл. 3).

Визуальное восприятие образцов белого пшеничного хлеба, подвергнутых термообработке, показало, что при выдерживании в течение 60–120 мин при температуре 120 °С цвет образцов меняется незначительно, однако цветовое различие белого хлеба при 60, 90 и 120 мин нагревания оказалось существенным (см. табл. 3), при этом в продукте происходят значительные потери незаменимых аминокислот, в особенности треонина, метионина, лизина и валина (см. табл. 1).

Заключение

В результате исследования влияния реакции меланоидинообразования на концентрацию аминокислот, цветовые характеристики и экстинкцию растворов модельных пищевых систем установлены линейные зависимости

Таблица 1. Изменение содержания аминокислот (мг/100 г) в белом пшеничном хлебе при температуре 120 °С в течение 60–120 мин

Аминокислота	Продолжительность нагревания		
	60 мин	90 мин	120 мин
Всего	2800	2657	2634
В том числе:			
– гистидин	210	216	214
– треонин	290	297	213
– валин	314	278	276
– метионин	104	92	82
– фенилаланин	648	643	651
– изолейцин	257	261	250
– лейцин	796	785	791
– лизин	181	155	157

уменьшения общего содержания аминокислот в модельных пищевых системах от продолжительности протекания реакции. Потери общего содержания аминокислот при нагревании до 120 °С в течение 120 мин составляют 23,9%, при этом содержание незаменимых аминокислот снижается на 15,5–24,6%.

Содержание ксилозы в модельной системе интенсифицирует процесс разрушения аминокислот на 12,7%, в то время как глюкоза провоцирует разрушение аминокислот всего лишь на 2,3%.

Таблица 2. Изменение экстинкции и цветовых характеристик модельных пищевых систем при температуре 120 °С в течение 30–120 мин

Наименование показателя	Продолжительность нагревания				
	исходное	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин
<i>Модельная пищевая система гидролизат–ксилоза</i>					
Экстинкция	0	0,082	0,168	0,264	0,325
Цвет раствора	Бесцветный	Бледно-желтый	Желтый	Насыщенно-желтый	Желто-коричневый
<i>Модельная пищевая система гидролизат–глюкоза</i>					
Экстинкция	0	0,072	0,151	0,188	0,267
Цвет раствора	Бесцветный	Бледно-желтый	Желтый	Желтый	Насыщенно-желтый
<i>Модельная пищевая система гидролизат–фруктоза</i>					
Экстинкция	0	0,09	0,184	0,28	0,389
Цвет раствора	Бесцветный	Бледно-желтый	Желтый	Насыщенно-желтый	Желто-коричневый

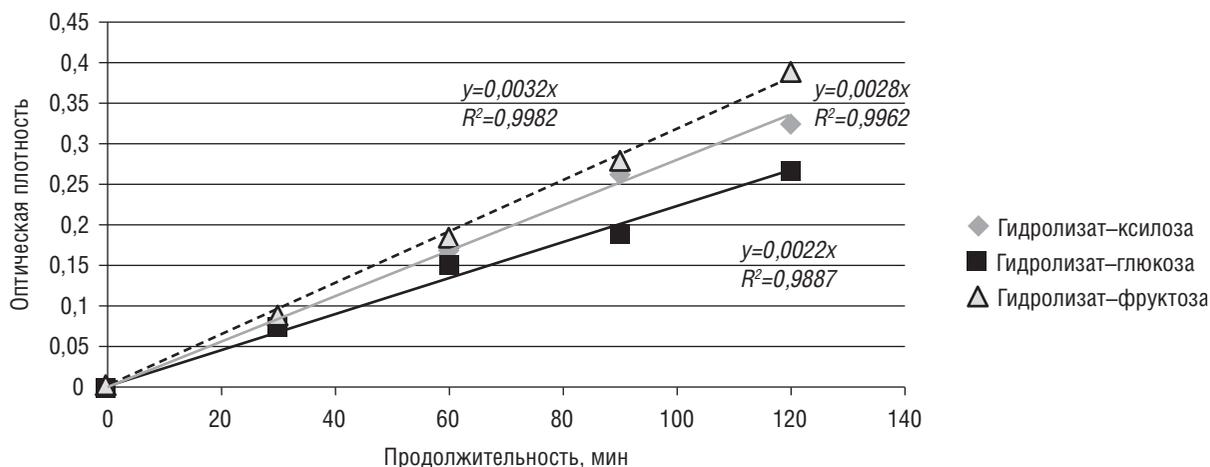


Рис. 3. Изменение экстинкции растворов модельных пищевых систем

Таблица 3. Изменение цветовых характеристик образцов белого пшеничного хлеба при температуре 120 °С в зависимости от длительности обработки

Характеристика цвета	Контроль	Продолжительность обжарки		
		60 мин	90 мин	120 мин
Шестнадцатеричное значение цвета	fae8a6	e2c363	e5b849	d9af4a
Образец цвета	Бледно-желтый	Желтый	Желтый	Насыщенно-желтый
Значение в RGB	250, 232, 166	226, 195, 99	229, 184, 73	217, 175, 74
Цветоразница (ΔE)	0	14,26	18,97	21,02

Установлено, что такие аминокислоты, как треонин, изолейцин и гистидин, неустойчивы к разрушению независимо от вида добавленного сахара.

При нагревании белого хлеба показана потеря его пищевой ценности за счет снижения содержания таких незаменимых аминокислот, как треонин (на 26,5%), метионин (на 21,2%), лизин (на 13,3%) и валин (на 12,1%).

Отмечено, что при одинаковой температуре с увеличением времени протекания реакции меланоидинообразования содержание аминокислот в пищевой системе уменьшается при одновременном усилении интенсивности окрашивания растворов. Экстинкция растворов модельных пищевых систем изменялась соответственно следующим уравнениям: гидролизат–глюкоза – $y = 0,0022x$, гидролизат–ксилоза – $y = 0,0028x$, гидролизат–фруктоза – $y = 0,0032x$.

Снижение содержания аминокислот в растворах связано с протеканием реакции меланоидинообразования; на скорость ее протекания оказывают влияние температура и продолжительность реакции, вид сахара. С увеличением температуры и продолжительности реакции увеличивается интенсивность реакции меланоидинообразования, что проявляется в повышении интенсивности окрашивания раствора. Таким образом, управляя реакцией меланоидинообразования, можно целенаправленно влиять на химический состав, цвет, потребительские свойства, качество и безопасность пищевой продукции в производственных условиях.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Почицкая Ирина Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5347-6676>

Росляков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техники и технологии хлебо-продуктов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (Краснодар)

E-mail: lizaveta_ros@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>

Литвяк Владимир Владимирович – доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела технологий из корневых клубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: besserk1974@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1456-9586>

Комарова Наталья Викторовна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией физико-химических исследований РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: aleko-2006@tut.by

<https://orcid.org/0000-0002-8281-7975>

Юденко Анастасия Николаевна – инженер-химик 1-й категории лаборатории хроматографических исследований РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: nastenka.yudenko@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9245-2412>

Литература

1. Finot P.-A. Historical perspective of the Maillard reaction in food science // Ann. N. Y. Acad. Sci. 2005. Vol. 1043. P. 1–8.
2. Echavarría A.P., Pagan J., Ibarz A. Melanoidins formed by Maillard reaction in food and their biological activity // Food Eng. Rev. 2012. Vol. 4, N 4. P. 203–223.
3. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования // Соврем. наука и инновации. 2014. № 4 (8). С. 22–32.
4. Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S., Tornqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs // J. Agric. Food Chem. 2002. Vol. 50, N 17. P. 4998–5006.

5. Tamanna N., Mahmood N. Food processing and Maillard reaction products: effect on human health and nutrition // *Int. J. Food Sci.* 2015. Article ID 526762. P. 1–6.
6. Bertrand E., El Boustany P., Faulds C.B., Berdague J.L. The Maillard reaction in food: an introduction // *Reference Module in Food Science*. 2018. P. 1–10.
7. Echavarria A.P., Pagan J., Ibarz A. Antioxidant activity of the melanoidin fractions formed from D-Glucose and D-Fructose with L-Asparagine in the Maillard reaction // *Scientia Agropecuaria*. 2013. Vol. 4. P. 45–54.
8. Helou C., Denis S., Spatz M., Marier D., Rame V., Alric M. et al. Insights into bread melanoidins: fate in the upper digestive tract and impact on the gut microbiota using in vitro systems // *Food Funct.* 2015. Vol. 12. P. 3737–3745.
9. Hong X., Meng J., Lu R.-R. Improvement of ACE inhibitory activity of casein hydrolysate by Maillard reaction with xylose // *J. Sci. Food Agric.* 2015. Vol. 95, N 1. P. 66–71.
10. Lund M.N., Ray C.A. Control of Maillard reactions in foods: strategies and chemical mechanisms // *J. Agric. Food Chem.* 2017. Vol. 65, N 23. P. 4537–4552.
11. Hong J.-H., Kwon K.-Y., Kim K.-O. Sensory characteristics and consumer acceptability of beef stock containing the glutathione-xylose Maillard reaction product and/or monosodium glutamate // *J. Food Sci.* 2012. Vol. 77, N 6. P. 233–239.
12. Жаркова И.М., Кучменко Т.А., Росляков Ю.Ф. Исследование запаха хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки, приготовленного на разных заквасках и подкислителе // *Хлебопродукты*. 2015. № 8. С. 47–49.
13. Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Комарова Н.В., Коваленко Е.И. Влияние термической обработки на аромат и цветовые характеристики белого пшеничного хлеба // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2018. № 1. С. 44–48.
14. Wang R., Yang Ch., Song H. Key meat flavour compounds formation mechanism in a glutathione-xylose Maillard reaction // *Food Chem.* 2012. Vol. 131, N 1. P. 280–285.
15. Гальченко А.В., Морозова Л.Д., Залетова Т.С. Оценка потребности в белке и аминокислотах, исходя из биосинтетических потребностей и показателей азотистого баланса // *Вопр. диетологии*. 2017. Т. 7, № 2. С. 64–68.
16. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013. 66 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>. (дата обращения: 25.08.2018)
17. Лысыков Ю.А. Аминокислоты в питании человека // *Экспер. и клин. гастроэнтерол.* 2012. № 2. С. 88–105.
18. Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Комарова Н.В. Влияние термической обработки на аминокислотный состав белого пшеничного хлеба // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2018. № 2–3. С. 104–108.
19. Обогащение пищевых продуктов и биологически активные добавки: технология, безопасность и нормативная база: пер. с англ. СПб.: Профессия, 2010. 312 с.
20. Росляков Ю.Ф., Почицкая И.М., Литвяк В.В., Курьянович А.Н. Моделирование реакции меланоидинообразования in vitro на примере взаимодействия гидролизата белка куриного яйца и глюкозы // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 3. С. 92–100.
21. Sharma G., Wu W., Dalal E.N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations // *Color Res. Appl.* 2005. Vol. 30, N 1. P. 21–30.

References

1. Finot P.-A. Historical perspective of the Maillard reaction in food science. *Ann N Y Acad Sci.* 2005; 1043: 1–8.
2. Echavarria A.P., Pagan J., Ibarz A. Melanoidins formed by Maillard reaction in food and their biological activity. *Food Eng Rev.* 2012; 4 (4): 203–23.
3. Hachaturyan E.H., Gvasaliya T.S., Yakimenko T.P. Two hundred components of the melanoidin reaction. *Sovremennaya nauka i innovatsii [Modern Science and Innovation]*. 2014; 4 (8): 22–32. (in Russian)
4. Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S., Tornqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J Agric Food Chem.* 2002; 50 (17): 4998–5006.
5. Tamanna N., Mahmood N. Food processing and Maillard reaction products: effect on human health and nutrition. *Int J Food Sci.* 2015; 526762: 1–6.
6. Bertrand E., El Boustany P., Faulds C.B., Berdague J.L. The Maillard reaction in food: an introduction. In: *Reference Module in Food Science*. 2018: 1–10.
7. Echavarria A.P., Pagan J., Ibarz A. Antioxidant activity of the melanoidin fractions formed from D-Glucose and D-Fructose with L-Asparagine in the Maillard reaction. *Scientia Agropecuaria*. 2013; 4: 45–54.
8. Helou C., Denis S., Spatz M., Marier D., Rame V., Alric M., et al. Insights into bread melanoidins: fate in the upper digestive tract and impact on the gut microbiota using in vitro systems. *Food Funct.* 2015; 12: 3737–45.
9. Hong X., Meng J., Lu R.-R. Improvement of ACE inhibitory activity of casein hydrolysate by Maillard reaction with xylose. *J Sci Food Agric.* 2015; 95 (1): 66–71.
10. Lund M.N., Ray C.A. Control of Maillard reactions in foods: strategies and chemical mechanisms. *J Agric Food Chem.* 2017; 65 (23): 4537–52.
11. Hong J.-H., Kwon K.-Y., Kim K.-O. Sensory characteristics and consumer acceptability of beef stock containing the glutathione-xylose Maillard reaction product and/or monosodium glutamate. *J Food Sci.* 2012; 77 (6): 233–9.
12. Zharkova I.M., Kuchmenko T.A., Roslyakov Yu.F. The study of the smell of bread from a mixture of rye and wheat flour, cooked on different ferments and acidulant. *Khleboprodukty [Bakery]*. 2015; (8): 47–9. (in Russian)
13. Pochickaya I.M., Roslyakov Yu.F., Litvyak V.V., Komarova N.V., Kovalenko E.I. Effect of heat treatment on the aroma and color characteristics of white wheat bread. *Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya [News of Institutes of Higher Education. Food Technology]*. 2018; (1): 44–8. (in Russian)
14. Wang R., Yang Ch., Song H. Key meat flavour compounds formation mechanism in a glutathione-xylose Maillard reaction. *Food Chem.* 2012; 131 (1): 280–5.
15. Gal'chenko A.V., Morozova L.D., Zaletova T.S. Assessment of protein and amino acid requirements, based on biosynthetic needs and nitrogen balance indicators. *Voprosy dietologii [Problems of Dietology]*. 2017; 7 (2): 64–8. (in Russian)
16. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013: 66 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>. (дата обращения: 25.08.2018)
17. Lysikov Yu.A. Amino acids in human nutrition. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and Clinical Gastroenterology]*. 2012; (2): 88–105. (in Russian)
18. Pochickaya I.M., Roslyakov Yu.F., Litvyak V.V., Komarova N.V. Effect of heat treatment on the amino acid composition of white wheat bread. *Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya [News of Institutes of Higher Education. Food Technology]*. 2018; 2–3: 104–8. (in Russian)
19. Enrichment of food products and biologically active additives: technology, safety and regulatory framework: Transl. from Engl. Saint Petersburg: Professiya, 2010: 312 p. (in Russian)
20. Roslyakov Yu.F., Pochickaya I.M., Litvyak V.V., Kur'yanovich A.N. Modeling of the reaction of melanoidin formation in vitro using the example of the interaction of chicken egg protein hydrolyzate and glucose. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; (3): 92–100. (in Russian)
21. Sharma G., Wu W., Dalal E.N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Res Appl.* 2005; 30 (1): 21–30.

Для корреспонденции

Нурисламова Татьяна Валентиновна – доктор биологических наук, заместитель заведующего отделом химико-аналитических методов исследований ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», профессор кафедры охраны окружающей среды ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
 Адрес: 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, д. 82
 Телефон: (342) 233-10-37
 E-mail: nurtat@fcrisk.ru
<http://orcid.org/0000-0002-2344-3037>

Зайцева Н.В.^{1, 3}, Уланова Т.С.^{1, 2}, Нурисламова Т.В.^{1, 2}, Попова Н.А.¹, Мальцева О.А.¹

Разработка и использование метода хромато-масс-спектрометрии для количественного определения летучих N-нитрозоаминов в копченых мясных продуктах

Development and application of gas chromatography-mass spectrometry method for quantitative determination of volatile N-nitrosamines in smoked meat products

Zaytseva N.V.^{1, 3}, Ulanova T.S.^{1, 2}, Nurislamova T.V.^{1, 2}, Popova N.A.¹, Mal'tseva O.A.¹

- 1 ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Пермь
- 2 ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
- 3 ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России
- 1 Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm'
- 2 Perm National Research Polytechnic University
- 3 Perm State Medical University named after academician E.A. Wagner

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке высокочувствительной и селективной хромато-масс-спектрометрической методики определения 9 N-нитрозоаминов в образцах пищевых продуктов (колбасные изделия) с использованием дистилляции и автоматической системы твердофазной экстракции на угольных картриджах на этапе подготовки проб. При оптимально отработанных условиях подготовки пищевых проб к химическому анализу (дистилляция и твердофазной экстракции) и хромато-масс-спектрометрического определения достигнута высокая эффективность разделения 9 N-нитрозоаминов стандартного образца и чувствительность с нижним пределом 0,0002 мг/кг и максимальной погрешностью не более 19%. Комплексное использование дистилляции N-нитрозоаминов с добавлением калия гидроксида в сочетании с оптимальной схемой элюирования твердофазной экстракции

Для цитирования: Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А. Разработка и использование метода хромато-масс-спектрометрии для количественного определения летучих N-нитрозоаминов в копченых мясных продуктах // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 5. С. 102–110. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10059.

Статья поступила в редакцию 17.01.2018. **Принята в печать** 13.09.2018.

For citation: Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Nurislamova T.V., Popova N.A., Mal'tseva O.A. Development and application of gas chromatography-mass spectrometry method for quantitative determination of volatile N-nitrosamines in smoked meat products. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (5): 102–110. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10059. (in Russian)

Received 17.01.2018. **Accepted for publication** 13.09.2018.

и концентрированием дистиллята на угольный картридж Coconut обеспечило извлечение N-нитрозоаминов из образцов пищевой продукции (колбасные изделия) на 93,2–100%. В процессе апробации методики в образцах пищевых продуктов (колбасные изделия) различных производителей обнаружено содержание N-нитрозоаминов в диапазоне концентраций $0,00029 \pm 0,000055 \div 0,350 \pm 0,05$ мг/кг. Выполненные исследования содержания N-нитрозоаминов по сумме (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин) позволили установить в образце № 5 превышение гигиенического норматива до 47 раз, в образцах № 2 и 16 – до 57,5 и 22,9 раза и в образце № 4 – в 88 раз.

Ключевые слова: летучие N-нитрозоамины, копченые мясные продукты, хромато-масс-спектрометрический метод, твердофазная экстракция

The article presents the results of experimental studies on the development of highly sensitive and selective chromatography-mass spectrometry technique for the determination of 9 N-nitrosamines in food samples (sausage products) using distillation and an automatic solid-phase extraction system on Coconut cartridges for sample preparation. In the elaborated conditions of sample preparation (distillation and solid-phase extraction) and chromatography-mass spectrometric analysis, we achieved a high recovery and efficiency of the separation of nine N-nitrosamines. The quantitation limit was at level of 0.0002 mg/kg with maximum error not exceeding 19%. The complex use of the distillation of N-nitrosamines with the addition of potassium hydroxide in combination with the optimal elution scheme for solid-phase extraction and concentrating the distillate into a Coconut carbon cartridge of 6 ml ensures the recovery of N-nitrosamines from the food product sample (sausage products) up to 93.2–100%. The process of approbation of the chromatography-mass spectrometric method in the samples of food products (sausage products) of various manufacturers revealed the content of N-nitrosamines in the concentration range $0.00029 \pm 0.000055 \div 0.350 \pm 0.05$ mg/kg. The conducted studies of the content of the sum of highly toxic N-nitrosamines (N-nitrosodimethylamine, N-nitrosodiethylamine) made it possible to disclose that in sample No. 5 the maximum allowable concentration was exceeded by 47 times, in samples No. 2 and 16, to 57.5 and 22.9 times and in sample No. 4 to 88 times, respectively.

Keywords: volatile N-nitrosamines, smoked meat products, gas chromatography-mass spectrometry method, solid-phase extraction

Стратегия развития государственной политики обеспечения качества и безопасности пищевой продукции до 2020 г. относится к одному из элементов реализации Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г. и Поручения Президента РФ от 26.06.2015 Пр-1259 [1].

Проблемы обеспечения безопасности и качества продукции становятся все более актуальными для предприятий пищевой промышленности России. В настоящее время не всегда можно обеспечить безопасность пищи при отсутствии современной системы контроля качества и безопасности продовольственного сырья, готовых видов пищевой продукции [2]. Именно с пищевыми продуктами в организм человека из окружающей среды поступает до 70% токсинов различной природы [3]. Канцерогены и их предшественники попадают в пищу из внешней среды, а также в процессе приготовления, хранения и кулинарной обработки продуктов. К сильнейшим из известных канцерогенов относятся N-нитрозоамины [4]. Одним из источников поступления N-нитрозоаминов в организм человека являются копченые пищевые продукты. При исследовании пищевых продуктов в Китае и Европе N-нитрозоамины (NAMS),

подгруппа N-нитрозосоединений, были выявлены в колбасе копченой, сухой и салями, жареном беконе, ветчине [5, 6].

Большинство летучих N-нитрозоаминов являются сильными мутагенами, и их потребление может привести к новообразованиям [7]. На основании эпидемиологических исследований и экспериментов на животных Международное агентство по изучению рака (IARC) признало N-нитрозодиметиламин (N-DMA) и N-нитрозодиэтиламин (N-DEA), вероятно, канцерогенными для человека. Другие N-нитрозоамины также встречаются в мясных продуктах, например N-нитрозодибутиламин (N-DBA), N-нитрозопиперидинамин (NPIPA), N-нитрозопирролидинамин (NPYRA) и N-нитрозоморфолинамин (N-MORA) классифицируются как возможно канцерогенные для человека (IARC, 1998) [8]. Безопасная суточная доза низкомолекулярных N-нитрозоаминов для человека составляет 10 мкг/сут или 5 мкг на 1 кг пищевого продукта.

N-нитрозоамины образуются в пищевых продуктах в результате реакции нитрозирующего агента и вторичного амина. В пищевых продуктах, особенно в мясных, основными донорами нитрозильных групп являются нитрит и нитрат натрия [9], которые выступают не только в качестве консервантов, но и необходимы для фор-

мирования цвета, аромата ветчинности, вкуса и проявления антимикробных эффектов [10]. Допустимая суточная доза (ДСД) нитратов для человека составляет 300–325 мг. Допустимые дозы нитрита натрия постоянно обсуждаются из-за его токсичности и возможного участия в образовании канцерогенных аминов в мясе. Вместе с тем удаление нитрита натрия из пищевых продуктов может увеличить риск отравления ботулизмом, так как нитриты используются в качестве ингибитора роста клостридий ботулизма и в качестве ингибитора продуцирования токсинов в колбасных изделиях.

Вторичные амины попадают в пищевой продукт различными путями. Появление N-DEA, N-DBA и N-MORA в пищевых продуктах часто связано с миграцией предшественников аминов из упаковочных материалов [11], в то время как N-PIPA и N-PYRA могут попадать в пищевые продукты при использовании специй, таких как черный и красный перец [12]. В частности, в мясных продуктах биогенные амины и другие продукты распада белка являются важным источником предшественников аминов.

С целью приоритетного развития прикладных научных исследований в области питания человека, изучения роли питания в профилактике наиболее распространенных неинфекционных заболеваний, контроля содержания высокотоксичных соединений необходимо располагать высокочувствительными и прецизионными аналитическими методиками обнаружения, идентификации и количественного определения потенциально опасных загрязнителей пищевой продукции.

В зарубежной лабораторной практике для обнаружения летучих N-нитрозоаминов в пищевой продукции широко используется метод газовой хроматографии (ГХ) с применением термоэнергетического детектора (ТЕА) [13]. Многие существующие методы определения N-нитрозоаминов основаны на газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС) с ионизацией электронного удара (EI) [14]. Вместе с тем в ГХ/МС наиболее чувствительным методом ионизации N-нитрозоаминов является химическая ионизация (CI), которая приводит к меньшей молекулярной фрагментации. Методики позволяют количественно определять и выполнять идентификацию низких уровней N-нитрозоаминов в мясных продуктах [предел определения (LOQs) – 0,0003–0,0004 мг/кг] [15].

Цель работы – разработка и использование ГХ/МС-метода для количественного определения 9 N-нитрозоаминов в пищевой продукции (колбасные изделия).

Материал и методы

Разработка и аттестация ГХ/МС-методики по определению N-нитрозоаминов в пищевых продуктах проведена в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009. Метрологическая аттестация методики выполнена в соответствии с РМГ 61-2010 [16] и ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002.

Для исследований использовали стандартные образцы смеси 9 N-нитрозоаминов (N-диметилнитрозоамин,

N-метилэтилнитрозоамин, N-диэтилнитрозоамин, N-дибутилнитрозоамин, N-дипропилнитрозоамин, N-пиперидиннитрозоамин, N-пирролидиннитрозоамин, N-морфолиннитрозоамин, N-дифенилнитрозоамин) концентрацией 2000 мкг/мл в метаноле (Supelco, США), CAS № 62-75-9.

Для построения градуировочной характеристики использовали стандартный раствор (0,16 мкг/см³) смеси 9 N-нитрозоаминов EPA 521 Nitrosamine Mix, состоящий из N-нитрозодиметиламина (N-DMNA), N-нитрозометиламина (N-MENA), N-нитрозодиэтиламина (N-DENA), N-нитрозодипропиламина (N-DPNA), N-нитрозодибутиламина (N-DBNA), N-нитрозопиперидин (N-PIPNA), N-нитрозопирролидинамина (N-PYRNA), N-нитрозоморфолинамина (N-MORNA) и N-нитрозодифениламина (N-DPHNA). Для работы автоматической системы твердофазной экстракции использовали растворители (HPLC) дихлорметан 99,9%; ацетонитрил 99,9%; 2-пропанол 99,99%; этилацетат 99,97%.

Для количественного определения содержания 9 N-нитрозоаминов выполняли ГХ/МС-анализ стандартных растворов и на основе результатов измерений строили градуировочную зависимость в режиме селективного ионного детектирования (SIM) по характеристическим ионам соединений 74, 88, 102, 130, 84, 114, 100, 116, 168 m/z в диапазоне концентраций 0,0002–0,0016 и 0,016–5,0 мг/кг. Правильность методики оценена методом добавок аналитов на 3 уровнях концентраций 0,0002 (0,016), 0,0008 (0,008) и 0,0016 (0,0008) мг/кг. Проведенная аттестация методики позволила установить метрологические характеристики: показатель внутрилабораторной прецизионности 4,84%, показатель правильности не более 10% и показатель точности 19% [16].

Исследования стандартных образцов и пищевой продукции выполняли на газовом хроматографе Agilent 7890A (Agilent, США) с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (MCD) 5975C. Режим ионизации электронным ударом при 70 эВ.

Для подготовки образцов пищевой продукции (колбасные изделия) использовали современный метод твердофазной экстракции (ТФЭ). Для исследований применяли автоматизированную многоканальную систему твердофазной экстракции (Separths, Италия).

16 образцов пищевой продукции были изъяты из торговой сети методом случайной выборки. Они включали колбасные изделия: колбаса, салями, сырокопченая, сервелат. Каждый образец пищевого продукта анализировали дважды.

В процессе разработки методики определения 9 N-нитрозоаминов в образцах пищевых продуктов (колбасные изделия) изучены и отработаны оптимальные условия выполнения ГХ и МС-анализа, подготовки проб методом дистилляции и ТФЭ, количественного определения 9 N-нитрозоаминов изучена полнота извлечения способом «введено–найдено»; установлены метрологические характеристики измерительного процесса.

Результаты и обсуждение

В процессе разработки методики учитывали факторы, влияющие на разделение изучаемых и матричных соединений: характеристики колонки (геометрические размеры – длина и внутренний диаметр), тип неподвижной фазы, толщину пленки в колонке, природу газа-носителя и его скорость, температуру колонки [17].

Обработка оптимальных условий выполнения хроматографического и масс-спектрометрического анализа. Для разделения 9 N-нитрозоаминов с использованием стандартных образцов были изучены параметры селективного разделения капиллярных колонок с различными характеристиками неподвижных жидких фаз: DB-624 25 м × 0,32 мм × 5,0 мкм; HP-HP-FFAP 50 м × 0,32 мм × 0,5 мкм и HP-1-35 м × 0,32 мм × 0,25 мкм. Высокая эффективность хроматографического разделения N-нитрозоаминов (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозометилэтиламин, N-нитрозодиэтиламин, N-нитрозопирролидинамин, N-нитрозоморфолинамин, N-нитрозодибутиламин, N-нитрозодипропиламин, N-нитрозопиперидин и N-нитрозодифениламин) с различными физико-химическими свойствами достигнута на капиллярной колонке серии HP-FFAP 50 м × 0,320 мм × 0,50 мкм (длиной 50 м, внутренним диаметром 0,320 мм и толщиной пленки неподвижной фазы 0,50 мкм). Режим программирования колонки: начальная температура 50 °С, повышение температуры до 120 °С со скоростью 8 °С/мин; от 120 до 185 °С со скоростью 12 °С/мин и от 185 до 240 °С со скоростью 25 °С/мин с выдержкой при конечной температуре 5 мин. В качестве газа-носителя использовали гелий; скорость газа-носителя 1,0 см³/мин в режиме постоянного потока. Температура аналитического интерфейса 220 °С. Ввод пробы осуществляли с помощью автосамплера в режиме pulsed/splitless; объем пробы 2 мм³. Режимы ГХ/МС-параметров представлены в табл. 1.

В режимах 2 и 3 не наблюдалось достаточно эффективного разделения N-нитрозоаминов. Селективное разделение N-нитрозоаминов стандартного образца было достигнуто в режиме 1, который и был выбран для дальнейшей работы.

Изучение полноты извлечения нитрозоаминов из образцов пищевой продукции методом «введено–найденно». Для устранения влияния матричных эффектов [18] пищевых продуктов на результаты ГХ/МС-анализа N-нитрозоаминов, повышения селективности и полноты их извлечения выполняли очистку образцов пищевой продукции от мешающих компонентов и жира с добавлением калия гидроксида с последующей дистилляцией с перегретым водяным паром и концентрированием дистиллята на картриджах автоматической системы ТФЭ.

Дистилляция. Навеску 20–50 г продукта помещали в перегонную колбу объемом 500 см³, соединенную с паровиком и прямым холодильником. К пищевому продукту добавляли 1,5 г калия гидроксида, 50–100 см³ дистиллированной воды и отгоняли N-нитрозоамины с перегретым водяным паром [$t_{\text{парообр.}} = (100 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$ и $t_{\text{колбы с образцом пищевой продукта}} = (80 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$], собирая 70 см³ дистиллята. Затем дистиллят пропускали через угольный картридж автоматической системы ТФЭ.

Твердофазная экстракция. Экспериментально отработанная оптимальная схема селективного элюирования включала 4 стадии:

- стадия кондиционирования или активации картриджа хлористым метилом объемом 2 см³, затем этилацетатом объемом 2,0 см³ с задержкой растворителя в течение 30 с. Для удаления остаточных количеств растворителей картридж промывали водой объемом 2 см³ и продували автоматическую систему азотом в течение 2 мин;
- стадия адсорбции целевых компонентов на картридже при загрузке пробы объемом 70 см³;

Таблица 1. Хромато-масс-спектрометрические параметры для определения N-нитрозоаминов в образцах пищевой продукции

Скорость нагревания, °С/мин	Температура колонки, °С	Задержка температуры, мин	Время анализа, мин	Метод	Скорость потока, мл/мин
<i>Режим 1</i>					
	50	1	1	Деление потока гелий : воздух	30
8	120	0	9,75		
12	185	0	15,167		
25	240	5	22,367		
<i>Режим 2</i>					
	50	3	3	Деление потока гелий : воздух	20
4	120	0	20,5		
5	150	2	28,5		
20	240	2	35		
<i>Режим 3</i>					
	50	1	1	Деление потока гелий : воздух	35
10	240	2	22		
<i>Ионизация электронным ударом (энергия 70 эВ)</i>					

- стадия сушки картриджа в течение 20 мин для удаления остаточных количеств образца и продувка автоматической системы азотом в течение 2 мин;
- заключительная стадия – элюирование целевых аналитов с картриджа хлористым метиленом объемом 4 см³ и продувка автоматической системы азотом в течение 2 мин. Затем экстракт хлористого метилена объемом 2 мм² через испаритель вводили в хроматографическую колонку.

Результаты исследований полноты извлечения N-нитрозоаминов из пищевого продукта с применением стандартного образца методом дистилляции и ТФЭ на угольном картридже представлены в табл. 2.

При оптимально отработанных условиях подготовки пищевых проб к химическому анализу (дистилляция и ТФЭ) и ГХ/МС-определения была достигнута высокая эффективность разделения 9 N-нитрозоаминов стандартного образца, что наглядно иллюстрирует хроматограмма (рис. 1).

Таблица 2. Результаты исследований полноты извлечения N-нитрозоаминов

Ингредиент	1 г КОН			1,5 г КОН		
	введено	найдено	полнота извлечения, %	введено	найдено	полнота извлечения, %
1. N-DMNA	160,0	160,0	100,0	160,0	160,0	100,0
2. N-MENA		159,8	99,9		160,0	100,0
3. N-DENA		25,89	16,2		149,06	93,2
4. N-PPNA		160,0	100,0		160,0	100,0
5. N-DBNA		160,0	100,0		159,55	99,7
6. N-PIPNA		32,36	20,2		153,28	95,8
7. N-PYRNA		160,0	100,0		160,0	100,0
8. N-MORNA		158,9	99,3		160,0	100,0
9. N-DPHNA		28,82	18,0		160,0	100,0
Ингредиент	5 г КОН			0,1 моль/л КОН		
	введено	найдено	полнота извлечения, %	введено	найдено	полнота извлечения, %
1. N-DMNA	160,0	8,26	5,2	160,0	34,85	21,8
2. N-MENA		35,73	22,3		0,92	0,6
3. N-DENA		34,86	21,8		18,48	11,6
4. N-PPNA		32,19	20,1		15,64	9,8
5. N-DBNA		160,0	100,0		8,05	5,0
6. N-PIPNA		6,87	4,3		9,62	6,0
7. N-PYRNA		113,50	70,9		121,0	75,6
8. N-MORNA		64,60	40,4		144,0	90,0
9. N-DPHNA		22,06	13,9		19,58	12,3

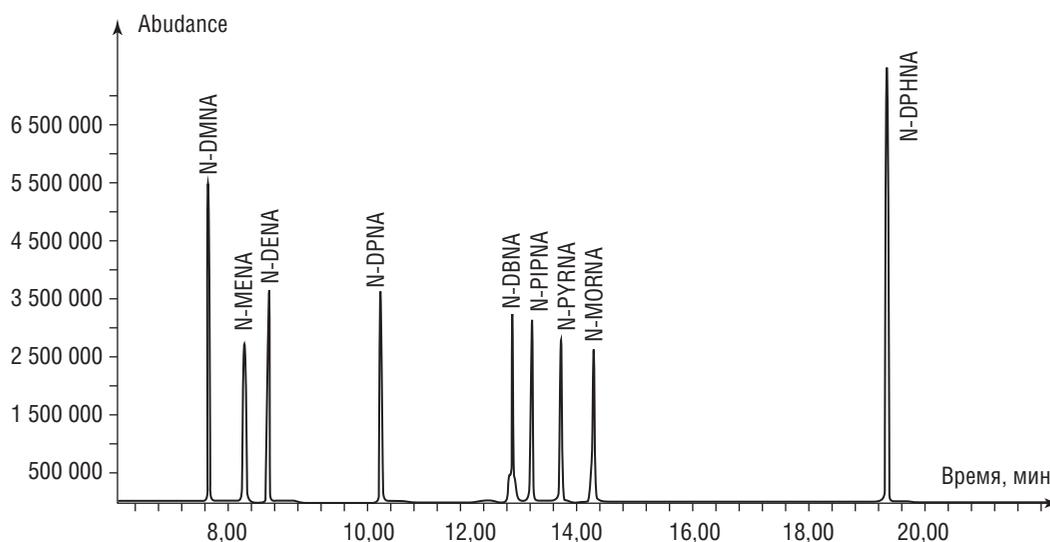


Рис. 1. Хроматограмма стандартного раствора 9 N-нитрозоаминов (C = 4 мкг/см³) по полному ионному току

Таблица 3. Диапазоны измерений определяемых N-нитрозоаминов, значения показателя точности, правильности и внутрилабораторной прецизионности измерений

N-нитрозоамин	Диапазон измерений, нг	Показатель точности, $\pm\delta_L$, %	Показатель повторяемости, σ_R , %	Показатель внутрилабораторной прецизионности, σ_{Rm} , %	Показатель правильности $\pm\delta_{Cl}$, %
N-диметилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	16,98	3,73	4,50	9,77
N-метилэтилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	18,67	4,25	4,09	9,54
N-диэтилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	16,10	3,11	4,33	11,15
N-дипропилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	18,52	4,29	3,59	11,21
N-дибутилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	13,82	2,89	4,12	9,85
N-пиперидиннитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	16,29	3,35	4,62	12,25
N-пирролидиннитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	16,39	3,40	4,84	11,87
N-морфолиннитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	16,28	2,71	4,76	11,90
N-дифенилнитрозоамин	от 10 до 80 вкл.	13,60	3,43	3,86	10,20

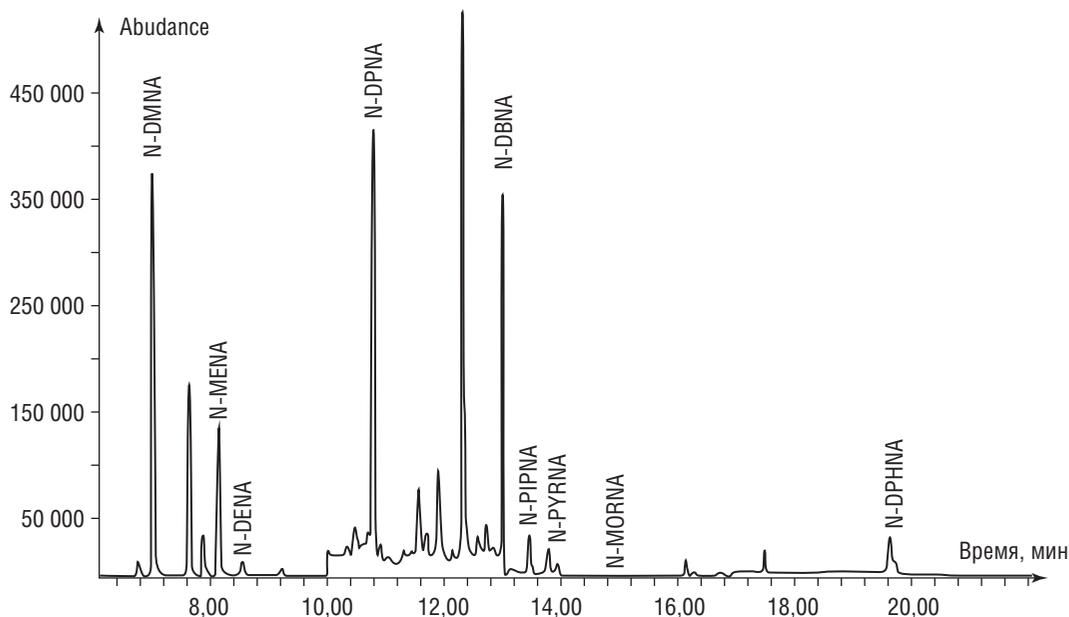


Рис. 2. Хроматограмма N-нитрозоаминов, обнаруженных в сервелате, образец № 3

$C_{N-DMNA} = 0,189$ мг/кг; $C_{N-MENA} = 0,043$ мг/кг; $C_{N-DENA} = 0,0003$ мг/кг; $C_{N-DPNA} = 0,0196$ мг/кг; $C_{N-DBNA} = 0,247$ мг/кг; $C_{N-PIPNA} = 0,0012$ мг/кг; $C_{N-PYRNA} = 0,0278$ мг/кг; $C_{N-MORNA} = 0,083$ мг/кг; $C_{N-DPHNA} = 0,033$ мг/кг.

В результате проведенных исследований установлено, что комплексное использование дистилляции N-нитрозоаминов с добавлением калия гидроксида массой 1,5 г в сочетании с оптимальной схемой элюирования ТФЭ и концентрированием дистиллята на угольный картридж позволило достичь высокой полноты извлечения N-нитрозоаминов из образцов пищевой продукции (колбасные изделия) с применением стандартного раствора, которая составила 93,2–100%.

Метрологическая аттестация методики. Согласно ГОСТ Р ИСО 5725-2002 в ходе валидации оценивали следующие параметры: диапазон измерений, прецизионность (точность, воспроизводимость), показатель правильности методики (табл. 3).

Точность (среднеквадратическое отклонение погрешности результатов анализа) и достоверность определяли на 3 уровнях концентраций образцов QC. Содержание N-нитрозоаминов в полученных растворах находилось на нижней границе, верхней границе (75% от верхней точки линейного диапазона) и середине (50%) линейного диапазона методики. Проводили 5 измерений каждого уровня в течение 3 дней. Рассчитывали точность и достоверность за 1 день (одна аналитическая серия) и за 3 дня (между тремя аналитическими сериями). Согласно критериям FDA и EMA [19, 20] значение среднеквадратического отклонения не превышало 15% для уровня концентраций, соответствующих пределу количественного определения не более 20% для верхней границы диапа-

Таблица 4. Содержание N-нитрозоаминов в образцах пищевой продукции, мг/кг

Образец	N-DMNA	N-MENA	N-DENA	N-DPNA	N-DBNA	N-PIPNA	N-PYRNA	N-MORNA	N-DPHNA
1. Колбаса, образец № 1, С/К	0,0147	0,0014	0,0018	0,0061	0,0011	0,0013	0,0073	Не обнаружено	0,0004
2. Колбаса, образец № 2, С/К, В/С	0,043	0,0021	0,0007	0,0027	0,0043	0,0024	0,0047	0,0124	0,027
3. Колбаса, образец № 3, салями, С/К	0,00062	0,0116	Не обнаружено	0,02865	0,01815	0,0011	0,0031	0,0029	0,00058
4. Колбаса, образец № 4, С/К, 1С	0,0359	0,0037	0,0002	0,002	0,0015	0,00052	0,0012	0,00076	0,0139
5. Колбаса образец № 5, С/К, В/С	0,0006	0,00048	Не обнаружено	0,0854	0,0182	0,00028	0,0029	0,0021	0,0013
6. Колбаса, образец № 6, С/К, охл.	0,00029	0,00029	Не обнаружено	0,0758	0,00066	0,0015	0,0018	0,0063	0,0015
7. Колбаса, образец № 7, С/К	0,00027	0,0014	Не обнаружено	0,0783	0,0059	0,0012	0,0007	0,0047	0,0144
8. Колбаса, образец № 8, С/К	0,00075	0,00028	0,00026	0,073	0,0149	0,0012	0,0032	0,0168	0,0189
9. Колбаса образец № 9, С/К	0,0165	0,0014	Не обнаружено	0,0086	0,00057	0,0012	0,0016	0,0061	0,0099
10. Сервелат, образец № 1	0,230	0,062	0,0003	0,110	0,115	0,0084	0,042	0,0008	0,037
11. Сервелат, образец № 2, В/К	0,09	0,024	Не обнаружено	0,012	0,264	0,0019	0,012	0,043	0,0013
12. Сервелат, образец № 3, В/К	0,350	0,105	0,0009	0,055	0,104	0,011	0,086	0,028	0,001
13. Сервелат, образец № 4, В/К	0,189	0,043	0,0003	0,0196	0,247	0,0012	0,0278	0,083	0,033
14. Сервелат, образец № 5, В/К	0,0732	0,0323	Не обнаружено	0,054	0,0270	0,00051	0,0073	0,0288	0,0206
15. Сервелат, образец № 6, В/К, В/У	0,075	0,00044	0,00026	0,088	0,0027	0,0024	0,0044	0,042	0,026
16. Сервелат, образец № 7, В/К, В/У	0,0916	0,022	0,00034	0,044	0,0037	0,0007	0,0044	0,056	0,0069

Примечание. С/К – сырокопченая колбаса; В/С – высший сорт; В/К – варено-копченая колбаса; В/У – вакуумная упаковка; 1С – 1-й сорт.

зона. Достоверность рассчитывали как отношение среднего значения концентрации внутри одной или между тремя аналитическими сериями к истинному значению концентрации. Предельно допустимые значения достоверности составили для N-нитрозоаминов 95,8–100,0% для нижней границы диапазона и 97,2–100,0% для остальных уровней концентраций [21].

Апробация методики. С помощью разработанной ГХ/МС-методики выполнены скрининговые исследования 16 образцов пищевой продукции (колбаса салями, сырокопченая, сервелат) различных производителей. Содержание суммы N-нитрозоаминов (N-нитрозодиметиламин и N-нитрозодиэтиламин) оценивали относительно допустимого уровня 0,004 мг/кг. Результаты количественного определения N-нитрозоаминов в образцах колбасных изделий приведены в табл. 4. Высокое содержание N-нитрозоаминов обнаружено в образце № 3 (рис. 2).

В результате выполненных исследований в образцах пищевых продуктов (колбасные изделия) ($n=16$) обнаружено содержание 9 N-нитрозоаминов в диапазоне концентраций $0,00029 \pm 0,000055 - 0,350 \pm 0,05$ мг/кг.

Выполненные исследования содержания высокотоксичных N-нитрозоаминов по сумме (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин) позволили установить в сервелате образца № 5 превышение гигиенического норматива до 47 раз. В сервелате образцов № 2 и 16 превышение гигиенического норматива по сумме N-нитрозоаминов составило 57,5 и 22,9 раза соответственно. Максимальное содержание N-нитрозоаминов по сумме (N-нитрозодиметиламин, N-нитрозодиэтиламин) установлено 88 предельно допустимых концентраций в сервелате образца № 4.

Заключение

Создание современных высокочувствительных методик ГХ/МС-анализа позволяет с высокой степенью вероятности и надежности определять не только ингрдиентный состав химически сложных смесей пищевых продуктов, но и выполнять количественное содержание высокотоксичных соединений. Разработанная методика СТО М-29-2017 «Методика измерений содержания N-нитрозоаминов (N-диметилнитрозо-

мин, N-метилэтилнитрозоамин, N-диэтилнитрозоамин, N-дибутилнитрозоамин, N-дипропилнитрозоамин, N-пиперидиннитрозоамин, N-пирролидиннитрозоамин, N-морфолиннитрозоамин, N-дифенилнитрозоамин) в пробах пищевой продукции (копченые мясные, мясо- и птицепродукты) методом хромато-масс-спектромет-

рии» может быть использована для контроля качества колбасных изделий и оценки риска для здоровья человека.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, директор ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», заведующая кафедрой общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России

E-mail: root@fcrisk.ru

<http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>

Уланова Татьяна Сергеевна – доктор биологических наук, заведующая отделом химико-аналитических методов исследований ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», профессор кафедры охраны окружающей среды ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

E-mail: ulanova@fcrisk.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9238-5598>

Нурисламова Татьяна Валентиновна – доктор биологических наук, заместитель заведующего отделом химико-аналитических методов исследований ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», профессор кафедры охраны окружающей среды ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

E-mail: nurtat@fcrisk.ru

<http://orcid.org/0000-0002-2344-3037>

Попова Нина Анатольевна – старший научный сотрудник лаборатории методов газовой хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)

E-mail: root@fcrisk.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9730-9092>

Мальцева Ольга Андреевна – химик лаборатории методов газовой хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)

E-mail: root@fcrisk.ru

<http://orcid.org/0000-0001-7664-3270>

Литература

1. Проект стратегии развития государственной политики обеспечения качества и безопасности пищевой продукции до 2020 года.
2. Аршакуни В.Л. От системы ХАССП – к системе менеджмента безопасности пищевой продукции по ИСО 22000 // Стандарты и качество. 2008. № 2. С. 88–89.
3. Закревский В.В. Безопасность пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище : практическое руководство. СПб. : Гиорд, 2004. 280 с.
4. Регламент ЕС № 852/2004 Европейского Парламента и Совета от 29 апреля 2004 года «По гигиене пищевых продуктов».
5. Yuan Y., Wei M., Miao Y., Chen F., Hu X. Determination of eight volatile nitrosamines in meat products by ultrasonic solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry method // Int. J. Food Properties. 2015. Vol. 18. P. 1181–1190.
6. Sannino A., Bolzoni L. GC/CI-MS/MS method for the identification and quantification of volatile N-Nitrosamines in meat products // Food Chem. 2013. Vol. 141, N 4. P. 3925–3930.
7. Rohrmann S., Overvad K., Bueno-de-Mesquita H.B., Jakobsen M.U., Egeberg R., Tjonneland A. et al. Meat consumption and mortality – results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition // BMC Med. 2013. Vol. 11. P. 63.
8. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks for Humans. Lyon, 1991. Vol. 52. P. 473.
9. Herrmann S.S., Granby K., Duedahl-Olesen L. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages // Food Chem. 2015. Vol. 174. P. 516–526.
10. Keszei A.P., Goldbohm R.A., Schouten L.J., Jakszyn P., van den Brandt P.A. Dietary N-nitroso compounds, endogenous nitrosation, and the risk of esophageal and gastric cancer subtypes in the Netherlands Cohort Study // Am. J. Clin. Nutr. 2013. Vol. 97. P. 135–146.
11. Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby K. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment // Food Control. 2014. Vol. 48. P. 163–169.
12. De Stefani E., Deneo-Pellegrini H., Carzoglio J.C. et. al. Dietary nitrosodi-methylamine and the risk of lung cancer: a case-control study from Uruguay // Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. 1996. Vol. 5, N 9. P. 679–682.
13. Ozel M.Z., Gongus F., Yagci S., Hamilton J.F., Lewis A.C. Determination of volatile nitrosamines in various meat products using comprehensive gas chromatography-nitrogen chemiluminescence detection // Food Chem. Toxicol. 2010. Vol. 48, N 11. P. 3268–3273.
14. Man-Chun Huang, Hsin-Chang Chen, Ssu-Chieh Fu, Wang-Hsien Ding. Determination of volatile N-nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction coupled with dispersive micro solid-phase extraction and gas chromatography – chemical ionisation mass spectrometry // Food Chem. 2013. Vol. 138. P. 227–233. URL: www.elsevier.com/locate/foodchem.

15. Pei Wang, Weijun Yu, Yuesheng Qiu, Yungang Liu, Minxian Rong, and Hong Deng. Levels of nine volatile N-nitrosamines in Chinese-style sausages as determined by quechers-based gas chromatography-tandem mass spectrometry // *Ann. Public Health Res.* 2016. Vol. 3, N 4. 1049.
16. РМГ 61-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094703>. (дата обращения: 20.06.2017)
17. Михеева А.Ю., Васильева И.А., Семенов С.Ю., Сычев К.С. Применение многослойных колонок для проведения экспрессной адсорбционной очистки экстракта при определении хлороорганических пестицидов // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2009. Т. 9, № 1. С. 95–104.
18. Ярошенко Д.В., Карцова Л.А. Матричный эффект и способы его устранения в биоаналитических методиках, использующих хромато-масс-спектрометрию // *Журн. аналит. химии.* 2014. Т. 69. № 4. С. 1–8.
19. Guidance for Industry: Bioanalytical method validation. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). U.S. Government Printing Office. Washington, DC, 2001.
20. Guideline on validation of bioanalytical methods (draft). European Medicines Agency. Committee for medicinal products for human use. London, 2009.
21. Bioanalytical Method Validation 05/24/18. U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Drug Evaluation and Research (CDER) Center for Veterinary Medicine (CVM). May 2018.

References

1. Draft of the strategy for the development of state policy for ensuring the quality and safety of food products until the year 2020. (in Russian)
2. Arashkuni V.L. From HACCP system to ISO 22000 system of management of food products safety. Standarty i kachestvo [Standards and Quality]. 2008; (2): 88–9. (in Russian)
3. Zakvevskiy V.V. Safety of food products and biologically active food additives: A practice guidelines. Saint Petersburg: Giord, 2004: 280 p. (in Russian)
4. Regulation (EC) No. 852/2004 of the European Parliament and the Council from April 29, 2004 year «food hygiene». (in Russian)
5. Yuan Y., Wei M., Miao Y., Chen F., Hu X. Determination of eight volatile nitrosamines in meat products by ultrasonic solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry method. *Int J Food Properties.* 2015; 18: 1181–90.
6. Sannino A., Bolzoni L. GC/CI-MS/MS method for the identification and quantification of volatile N-Nitrosamines in meat products. *Food Chem.* 2013; 141 (4): 3925–30.
7. Rohrmann S., Overvad K., Bueno-de-Mesquita H.B., Jakobsen M.U., Egeberg R., Tjonneland A., et al. Meat consumption and mortality – results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *BMC Med.* 2013; 11: 63.
8. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks for Humans. Lyon, 1991; 52: 473.
9. Herrmann S.S., Granby K., Duedahl-Olesen L. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages. *Food Chem.* 2015; 174: 516–26.
10. Keszei A.P., Goldbohm R.A., Schouten L.J., Jakszyn P., van den Brandt P.A. Dietary N-nitroso compounds, endogenous nitrosation, and the risk of esophageal and gastric cancer subtypes in the Netherlands Cohort Study. *Am J Clin Nutr.* 2013; 97: 135–46.
11. Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby K. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment. *Food Control.* 2014; 48: 163–9.
12. De Stefani E., Deneo-Pellegrini H., Carzoglio J.C., et. al. Dietary nitrosodi-methylamine and the risk of lung cancer: a case-control study from Uruguay. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 1996; 5 (9): 679–82.
13. Ozel M.Z., Gongus F., Yagci S., Hamilton J.F., Lewis A.C. Determination of volatile nitrosamines in various meat products using comprehensive gas chromatography-nitrogen chemiluminescence detection. *Food Chem Toxicol.* 2010; 48 (11): 3268–73.
14. Man-Chun Huang, Hsin-Chang Chen, Ssu-Chieh Fu, Wang-Hsien Ding. Determination of volatile N-nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction coupled with dispersive micro solid-phase extraction and gas chromatography – chemical ionisation mass spectrometry. *Food Chem.* 2013; 138: 227–33. URL: www.elsevier.com/locate/foodchem.
15. Pei Wang, Weijun Yu, Yuesheng Qiu, Yungang Liu, Minxian Rong, and Hong Deng. Levels of nine volatile N-nitrosamines in Chinese-style sausages as determined by quechers-based gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Ann Public Health Res.* 2016; 3 (4): 1049.
16. РМГ 61-2010. State system for ensuring the uniformity of measurements. Indicators of accuracy, correctness, precision methods of quantitative chemical analysis. The methods of evaluation. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094703>. (date of access June 20, 2017) (in Russian)
17. Mikheev A.Yu., Vasilyeva I.A., Semenov S.Yu., Sychev K.S. Application of multi-layered columns for conducting rapid adsorption purification of the extract when determining organochlorine pesticides. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy [Sorption and Chromatographic Processes]*. 2009; 9 (1): 95–104. (in Russian)
18. Yaroshenko D.V., Kartsova L.A., Matrix effect and its elimination in bioanalytical methods using chromatography-mass spectrometry. *Zhurnal analiticheskoy khimii [Journal of Analytical Chemistry]*. 2014; 69 (4): 1–8. (in Russian)
19. Guidance for Industry: Bioanalytical method validation. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). U.S. Government Printing Office: Washington, DC, 2001.
20. Guideline on validation of bioanalytical methods (draft). European Medicines Agency. Committee for medicinal products for human use. London, 2009.
21. Bioanalytical Method Validation 05/24/18. U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Drug Evaluation and Research (CDER) Center for Veterinary Medicine (CVM). May 2018.



Виктор Антонович Поляков

25 сентября 2018 г. на 76-м году жизни после тяжелой и продолжительной болезни скончался директор Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» доктор технических наук, профессор, академик РАН Виктор Антонович Поляков.

Виктор Антонович родился 17 января 1943 г. в г. Бутурлиновке Воронежской области и начал свою научную и трудовую деятельность в 1968 г. во ВНИИ пивобезалкогольной промышленности после окончания аспирантуры на кафедре биохимии и зерноведения Московского технологического института пищевой промышленности (МТИПП). С 1973 по 1997 г. В.А. Поляков преподавал в МТИПП, пройдя путь от старшего преподавателя до доцента и и.о. заведующего кафедрой технологии броидильных производств. Неоценим его вклад в создание отечественной научной школы в области пищевой биотехнологии, технологии спирта и ликеро-водочных изделий.

В 1977 г. В.А. Поляков стал заместителем генерального директора ВНИИ пивобезалкогольной и винодельческой промышленности, а в 1996 г. был назначен директором ВНИИ пищевой биотехнологии, где возглавил основные научные направления исследовательских работ. Большую часть своего времени Виктор Антонович посвятил изучению процессов биоконверсии растительного сырья в производстве спирта, ликеро-водочных изделий и пищевых органических кислот, созданию комплексных ресурсосберегающих технологий производства спирта,

биологически активных добавок к пище и других специализированных продуктов. Его вклад в организацию, становление и развитие института, в воспитание научных кадров трудно переоценить.

За достигнутые успехи в научной, производственной и педагогической деятельности академик В.А. Поляков был неоднократно награжден дипломами и грамотами Минсельхоза и Минобрнауки России, Российской академии сельскохозяйственных наук, медалями «В память 850-летия Москвы», «За вклад в развитие агропромышленного комплекса России», высшей общественной наградой РФ в сфере производства продовольствия «За изобилие и процветание России» в номинации «За вклад в развитие аграрной науки», являлся лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники.

До последнего дня Виктор Антонович не оставлял работу, вкладывая в нее все физические и душевные силы, являя собой пример самого преданного и самоотверженного служения науке, высочайшей работоспособности и ответственности, целеустремленности, чуткости и бескорыстия, равнодушного отношения к любой жизненной ситуации.

Перестало биться сердце этого удивительного человека, но в наших сердцах всегда будет жить светлая память о нем.

Коллектив ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», члены редколлегии журнала «Вопросы питания» выражают соболезнования родным и близким.

ЗАКАЖИ МЕДИЦИНСКУЮ ЛИТЕРАТУРУ

МЕД  КНИГА
С Е Р В И С

8-800-555-999-2

www.medknigaservis.ru

- ⇒ Более **5000** наименований книг
- ⇒ Подписка на медицинские журналы
- ⇒ Акции, скидки и подарки покупателям
- ⇒ Электронные библиотеки
- ⇒ Заказ товара **24 часа** в сутки
7 дней в неделю
- ⇒ Быстрая доставка
- ⇒ Разные способы оплаты