

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 88

№ 2, 2019

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

Никитюк Дмитрий Борисович, заместитель главного редактора, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Вржесинская Оксана Александровна, ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Пузырева Галина Анатольевна, ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

Арчаков Александр Иванович (Москва, Россия)
академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

Багиров Вугар Алиевич (Москва, Россия)
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России

Батулин Александр Константинович (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Бойцов Сергей Анатольевич (Москва, Россия)
член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России

Бреда Жоао (Копенгаген, Дания)
доктор медицинских наук, руководитель Европейского офиса по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними и Программы по вопросам питания, физической активности и ожирения Европейского регионального бюро ВОЗ в отделе неинфекционных заболеваний и укрепления здоровья на всех этапах жизни

Валента Рудольф (Вена, Австрия)
профессор, руководитель Департамента иммунопатологии, кафедры патофизиологии и аллергии Медицинского университета г. Вены

Голухова Елена Зеликовна (Москва, Россия)
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 (Москва, Россия)
академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, советник РАН

Зайцева Нина Владимировна (Пермь, Россия)
академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора

Исаков Василий Андреевич (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением гастроэнтерологии и гепатологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Кочеткова Алла Алексеевна (Москва, Россия)
доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Медведева Ирина Васильевна (Тюмень, Россия)
академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

Нареш Маган (Лондон, Великобритания)
профессор факультета изучения окружающей среды и технологии Кренфильдского университета

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

Попова Анна Юрьевна (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Салагай Олег Олегович (Москва, Россия)
кандидат медицинских наук, заместитель министра здравоохранения РФ

Стародубова Антонина Владимировна (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, заведующая отделением персонализированной терапии и диетологии, заместитель директора по научной и лечебной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Суханов Борис Петрович (Москва, Россия)
доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры гигиены питания и токсикологии ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

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 (Москва, Россия)
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)
Камбаров А.О. (Москва, Россия)
Коденцова В.М. (Москва, Россия)
Конь И.Я. (Москва, Россия)
Кузьмин С.В. (Москва, Россия)
Мазо В.К. (Москва, Россия)
Погожева А.В. (Москва, Россия)
Попова Т.С. (Москва, Россия)

Сазонова О.В. (Самара, Россия)
Симошенко С.В. (Москва, Россия)
Скрябин Г.К. (Москва, Россия)
Сычик С.И. (Минск, Республика Беларусь)
Турчанинов Д.В. (Омск, Россия)
Хенсел А. (Германия)
Шабров А.В. (Санкт-Петербург, Россия)
Шарафетдинов Х.Х. (Москва, Россия)
Шарманов Т.Ш. (Казахстан)
Шевелева С.А. (Москва, Россия)
Шевырева М.П. (Москва, Россия)

Научно-практический журнал «Вопросы питания» № 2, 2019

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 АО «ИПК «Чувашия»»:
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева,
д. 13.
Заказ №

© ООО Издательская группа
«ГЭОТАР-Медиа», 2019

Viktor A. Tutelyan, Editor-in-Chief, Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Nutrition Enzymology, Scientific supervisor of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Dmitriy B. Nikityuk, 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 (Moscow, Russia)

Oksana A. Vrzhesinskaya, 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, 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 (Moscow, Russia)

Scientific and practical journal «Problems of Nutrition» N 2, 2019

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

Printed in the JSC Publishing

and Printing Complex “Chuvashia”

428019, Cheboksary,

I. Yakovleva Prospect, 13.

Order N

© GEOTAR-Media Publishing Group,
2019

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, Director of the Department for Coordination and Support of Organizations in the Field of Agricultural Sciences the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

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

Joao Breda (Copenhagen, Denmark)

PhD MPH MBA, Head of WHO European Office for Prevention and Control of Noncommunicable Diseases & a.i. Programme Manager Nutrition, Physical Activity and Obesity of the Division of Noncommunicable Diseases and Promoting Health through the Life-course

Rudolf Valenta (Vienna, Austria)

Professor, Head of the Laboratory for Allergy Research of Division of Immunopathology at the Department 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 National Medical Research 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, Scientific supervisor of the 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 of Cranfield Soil and Agrifood Institute of Cranfield University

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

Anna Yu. Popova (Moscow, Russia)

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing

Oleg O. Salagay (Moscow, Russia)

PhD, Candidate of Medical Sciences, Deputy Minister of Health Care of the Russian Federation

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 (Crete, 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)

Kambarov A.O. (Moscow, Russia)

Kodentsova V.M. (Moscow, Russia)

Kon I.Ya. (Moscow, Russia)

Kuzmin S.V. (Moscow, Russia)

Mazo V.K. (Moscow, Russia)

Pogozheva A.V. (Moscow, Russia)

Popova T.S. (Moscow, Russia)

Sazonova Olga V. (Samara, Russia)

Simonenko S.V. (Moscow, Russia)

Scryabin K.G. (Moscow, Russia)

Sychik S.I. (Minsk, Belarus’)

Turchaninov Denis V. (Omsk, Russia)

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)

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Мжельская К.В., Трусов Н.В.,
Апратин С.А., Сото С.Х.,
Гмошинский И.В., Тутельян В.А.**

Влияние кверцетина на экспрессию генов ферментов углеводного и липидного обмена в печени у крыс с генетически обусловленным и алиментарным ожирением

**Стефанова И.Л., Гушчин В.В., Зорин С.Н.,
Мазо В.К.**

Влияние коагулированного яичного меланжа на физическую выносливость растущих крыс-самцов линии Вистар: физиолого-биохимическая оценка

**Федулова Л.В., Зверев С.В., Котенкова Е.А.,
Василевская Е.Р.**

Изучение растительных белковых продуктов из сои и безалкалоидного люпина сорта Дега в эксперименте *in vivo*

Кеца О.В., Марченко М.М.

Влияние эссенциальных липофильных нутриентов на свободнорадикальные процессы в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей

СПОРТИВНОЕ ПИТАНИЕ

**Трушина Э.Н., Выборнов В.Д., Ригер Н.А.,
Мустафина О.К., Солнцева Т.Н.,
Тимонин А.Н., Зилова И.С.,
Раджабкадиев Р.М.**

Иммуномодулирующие эффекты использования L-карнитина и коэнзима Q₁₀ в питании спортсменов-юниоров

**Кобелькова И.В., Мартинчик А.Н.,
Кешабянц Э.Э., Денисова Н.Н.,
Пескова Е.В., Выборная К.В.,
Соколов А.И., Лавриненко С.В.,
Никитюк Д.Б.**

Анализ рациона питания членов мужской сборной команды России по водному поло в соревновательный период

МИКРОНУТРИЕНТЫ В ПИТАНИИ

**Бабинец Л.С., Шевченко Н.А.,
Цибульская Л.С.**

Проблема минеральной недостаточности при хроническом панкреатите в зависимости от возраста

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Макаров В.Н.,
Перова И.Б., Шевякова Л.В.,
Вржесинская О.А., Бекетова Н.А.,
Кошелева О.В., Богачук М.Н., Рылина Е.В.,
Лукьянчук И.В., Миронов А.М.**

Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники

**Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б.,
Эллер К.И.**

Нутриентный профиль ананасового сока

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

**6 Mzhelskaya K.V., Trusov N.V.,
Apryatin S.A., Soto C.J.,
Gmoshinski I.V., Tutelyan V.A.** **6**

Effect of quercetin on the expression of the carbohydrate and lipid metabolism genes in the liver of rats with genetic and alimentary obesity

**17 Stefanova I.L., Gushchin V.V., Zorin S.N.,
Mazo V.K.** **17**

Influence of coagulated egg melange on the physical endurance of growing male Wistar rats: physiological and biochemical assessment

**24 Fedulova L.V., Zverev S.V., Kotenkova E.A.,
Vasilevskaya E.R.** **24**

In vivo study of plant protein products from soybeans and non-alkaloid lupine Dega variety

32 Ketsa O.V., Marchenko M.M. **32**

Effect of essential lipophilic nutrients on free radical processes in liver mitochondrial fraction of the tumor-bearing rats

NUTRITION OF SPORTSMEN

**40 Trushina E.N., Vybornov V.D., Riger N.A.,
Mustafina O.K., Solntseva T.N.,
Timonin A.N., Zilova I.S.,
Rajabkadiyev R.M.** **40**

Immunomodulating effects of using L-carnitine and coenzyme Q₁₀ in the nutrition of junior athletes

**50 Kobelkova I.V., Martinchik A.N.,
Keshabyants E.E., Denisova N.N.,
Peskova E.V., Vybornaya K.V.,
Sokolov A.I., Lavrinenko S.V.,
Nikityuk D.B.** **50**

An analysis of the diet of members of the Russian national men's water polo team during the sports training camps

MICRONUTRIENTS IN NUTRITION

**58 Babinets L.S., Shevchenko N.A.,
Tsybulska L.S.** **58**

Problem of mineral insufficiency at chronic pancreatitis in dependence on age

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**64 Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Makarov V.N.,
Perova I.B., Shevyakova L.V.,
Vrzhesinskaya O.A., Beketova N.A.,
Kosheleva O.V., Bogachuk M.N., Rylina E.V.,
Luk'yanchuk I.V., Mironov A.M.** **64**

Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties

**73 Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B.,
Eller K.I.** **73**

Pineapple juice nutritional profile

Фролова Н.А., Резниченко И.Ю.

Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ

ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ**Ших Е.В., Махова А.А.**

Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 в профилактике заболеваний у взрослых и детей: взгляд клинического фармаколога

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ**Федотова О.Б., Макаркин Д.В., Соколова О.В., Дунченко Н.И.**

Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен

83 Frolova N.A., Reznichenko I.Yu.

Investigation of the chemical composition of fruit and berry raw materials of the Far Eastern Region as a perspective source of nutrients and bioactive compounds

DIET TREATMENT**91 Shikh E.V., Makhova A.A.**

Long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: a view of the clinical pharmacologist

PROPHYLACTIC NUTRITION**101 Fedotova O.B., Makarkin D.V., Sokolova O.V., Dunchenko N.I.**

The development and investigation of nutritive and biological value and consumer properties of the fermented dairy product with flour free from glute

83**91****101**

Для корреспонденции

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

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

Телефон: (495) 698-53-65

E-mail: kristik13@yandex.ru

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

Мжельская К.В.¹, Трусов Н.В.¹, Апрытин С.А.¹, Сото С.Х.¹, Гмошинский И.В.¹, Тутельян В.А.^{1, 2}

Влияние кверцетина на экспрессию генов ферментов углеводного и липидного обмена в печени у крыс с генетически обусловленным и алиментарным ожирением

Effect of quercetin on the expression of the carbohydrate and lipid metabolism genes in the liver of rats with genetic and alimentary obesity

Mzhelskaya K.V.¹, Trusov N.V.¹, Apryatin S.A.¹, Soto C.J.¹, Gmshinski I.V.¹, Tutelyan V.A.^{1, 2}

¹ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

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

¹ Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Кверцетин (Q; 3,3',4',5,7-пентагидроксифлавонол) рассматривается как перспективный компонент специализированных диетических лечебных продуктов для коррекции обменных нарушений при ожирении и метаболическом синдроме. Вместе с тем результаты оценки клинической эффективности Q неоднозначны, а механизмы его влияния на липидный и углеводно-энергетический обмен недостаточно изучены.

Цель работы – изучение влияния Q на экспрессию ключевых генов ферментов гликолиза и липогенеза у крыс линии Zucker-Lepr^{fa} (Z), характеризующихся наследственным ожирением, в сравнении с крысами «дикого типа» Wistar (W).

Материал и методы. 24 самца крыс Z и 32 самца крыс W возрастом 8–10 нед были разделены на 4 группы равной численности. В течение 62 дней животные первых групп (контроль) получали сбалансированный рацион по AIN93M, вторых – такой же рацион с добавкой Q в дозе 50 мг на 1 кг массы тела, третьих групп – высокоуглеводный, высокожировой рацион (ВУВЖР) с содержанием 30% по массе жира и с заменой питьевой воды на 20% раствор фруктозы, четвертых групп – ВУВЖР и добавку Q. После выведения животных из эксперимента в печени определяли экспрессию генов углеводного и липидного обмена Khk, Gck,

Для цитирования: Мжельская К.В., Трусов Н.В., Апрытин С.А., Сото С.Х., Гмошинский И.В., Тутельян В.А. Влияние кверцетина на экспрессию генов ферментов углеводного и липидного обмена в печени у крыс с генетически обусловленным и алиментарным ожирением // *Вопросы питания*. 2019. Т. 88, № 2. С. 6–16. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10012.

Статья поступила в редакцию 06.12.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Mzhelskaya K.V., Trusov N.V., Apryatin S.A., Soto C.J., Gmshinski I.V., Tutelyan V.A. Effect of quercetin on the expression of the carbohydrate and lipid metabolism genes in the liver of rats with genetic and alimentary obesity. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 6–16. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10012. (in Russian)

Received 06.12.2018. **Accepted** 13.03.2019.

Pklr, Acaca, Fasn, Scd, Srebf1, Mlxipl, Ppara, Pparg, а также референсных генов Actb и Gapdh методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией в режиме реального времени. В плазме крови определяли содержание триглицеридов, холестерина общего и в составе липопротеинов высокой плотности, липолитическую активность, уровень иммунореактивного лептина.

Результаты и обсуждение. При сравнении двух линий животных показан статистически значимо более высокий уровень экспрессии *Ppara, Pparg, Mlxipl, Acaca, Fasn, Scd* у крыс Z в сравнении с W, что согласуется с развитием у первых дислипидемии и повышенными уровнями лептина при потреблении рационов обоих использованных типов. Добавка Q вызывала у крыс W снижение экспрессии *Scd, Mlxipl, Khk* и *Gck*, более выраженное в условиях потребления ВУВЖР, тогда как у крыс Z подобные эффекты отсутствовали либо имели противоположную направленность. Помимо этого, у крыс Z потребление Q приводило к усилению экспрессии *Pklr*, не наблюдавшемуся у крыс W.

Заключение. Модулирующий эффект Q на экспрессию ключевых генов липидного и углеводного обмена существенно различается у крыс W «дикого типа» и мутантных крыс Z с наследственным ожирением, причем это различие, по-видимому, потенцируется потреблением избытка жира и фруктозы.

Ключевые слова: кверцетин, крысы Zucker, гликолиз, липогенез, транскрипция, ожирение

Quercetin (Q; 3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone) is considered as a promising component of specialized products for the correction of metabolic disorders in obesity and metabolic syndrome. At the same time, the results of evaluating the clinical efficacy of Q are ambiguous, and the mechanisms of its influence on lipid and carbohydrate-energy metabolism are not well understood.

The aim of the work was to study the effect of quercetin (Q 3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone) on the expression of key glycolysis and lipogenesis enzymes' genes in Zucker-Lepr^{fa} (Z) rats characterized by hereditary obesity, compared to «wild-type» Wistar (W) rats.

Material and methods. 24 male Z rats and 32 male W rats aged 8–10 weeks were used. Animals of each line were divided into 4 groups of equal numbers. For 62 days the animals of the first groups (controls) received a balanced diet according to AIN93M, the seconds – the same diet with Q added in a dose of 50 mg/kg body weight. Animals of the third groups received a high-fat, high-carbohydrate diet (HFCD) with fat 30% by weight and with the replacement of drinking water with a 20% solution of fructose, the fourths groups – the same diet and supplementation with Q. After removing animals from the experiment, expression levels of liver carbohydrate and lipid metabolism genes *Khk, Gck, Pklr, Acaca, Fasn, Scd, Srebf1, Mlxipl, Ppara* and *Pparg* were determined by real-time polymerase chain reaction (RT-PCR) with reverse transcription using *Actb* and *Gapdh* as reference genes. The levels of triglycerides, total and HDL cholesterol, lipolytic activity and immunoreactive leptin were determined in plasma.

Results and discussion. When comparing two animal lines, a significantly higher level of expression of *Ppara, Pparg, Mlxipl, Acaca, Fasn, Scd* was shown in Z rats compared to W rats, which is consistent with the development of dyslipidemia in the first ones and elevated levels of leptin under both types of diets used. The addition of Q caused in W rats a decrease in the expression of *Scd, Mlxipl, Khk* and *Gck*, more pronounced on the background of HFCD whereas in Z rats there were no similar effects, or they had the opposite direction. In addition, in Z rats, consumption of Q led to increased expression of *Pklr*, which was not observed in W rats.

Conclusion. The modulating effect of Q on the expression of key genes of lipid and carbohydrate metabolism enzymes significantly differs in wild-type W rats and mutant Z rats with hereditary obesity, and this difference appears to be potentiated by the consumption of excess fat and fructose.

Keywords: quercetin, Zucker-Lepr^{fa} rats, glycolysis, lipogenesis, transcription, obesity

Изучение механизмов влияния нутриентов и содержащихся в пище биологически активных веществ (БАВ) на определяемые генотипом физиологические реакции организма является предметом исследования нутригеномики – быстро развивающейся отрасли современной науки о питании [1, 2]. В настоящее время получен большой объем эмпирических данных о

влиянии БАВ полифенольной природы, содержащихся в растительной пищевой продукции, на накопление массы абдоминального жира, артериальное давление, гликемию и чувствительность к инсулину, липидный профиль плазмы крови в клинике у пациентов с ожирением, метаболическим синдромом и сахарным диабетом 2 типа [3], а также на моделях *in vivo* у эксперименталь-

ных животных, получающих гиперкалорийные рационы [4]. В частности, кверцетин (Q; 3,3',4',5,7-пентагидроксифлавонон), один из основных флавоноидов красного лука, яблок, многих ягод, цитрусовых, чая и красного вина, в дозах, характерных для его содержания в пищевых продуктах, может облегчать симптомы метаболического синдрома, вызванного потреблением избытка легкоусвояемых углеводов [5–7]. Однако результаты оценки клинической эффективности специализированных продуктов, обогащенных Q, при различных алиментарно-зависимых заболеваниях неоднозначны, а интерпретация этих фактов невозможна в отсутствие данных о механизмах воздействия этого вещества на энергетический гомеостаз организма, которые могут быть получены на адекватных *in vivo* моделях у лабораторных животных.

Одной из наиболее популярных моделей генетически детерминированного ожирения у грызунов является крыса Zucker-*Lepr^{fa}* (Z), характеризующаяся рецессивной мутацией *fa* в гене *Lepr*, кодирующем рецептор лептина. У этих крыс лептин, синтезируемый клетками жировой ткани, не может оказать своего анорексигенного действия на нейроны гипоталамуса, вследствие чего данные животные характеризуются гиперфагией, спонтанно развивающимся ожирением по абдоминальному типу, гиперлипидемией и резко повышенными уровнями циркулирующего лептина [8, 9].

Цель работы – изучение влияния потребления Q на экспрессию ключевых генов ферментов гликолиза и липогенеза у крыс линии Z в сравнении с крысами Wistar (W) с ненарушенной рецепцией лептина при потреблении сбалансированного и избыточного по квоте жиров и простых углеводов (фруктоза) рациона.

Материал и методы

Исследования проводили на 24 самцах крыс Z в возрасте 8–10 нед, полученных из питомника «Charles River» (Италия), и 32 крысах-самцах W того же возраста, полученных из питомника филиала «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России» (Россия). Работу с животными выполняли в соответствии с приказом Минздрава России от 01.04.2016 № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». Дизайн эксперимента был одобрен Комитетом по этике ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (протокол № 4 от 20.04.2017).

Животные были разделены на 8 групп равной численности ($n=8$ для крыс W, группы с 1-й по 4-ю и $n=6$ для крыс Z, группы с 5-й по 8-ю). В течение 62 дней животные 1-й и 5-й групп (контроль) получали контрольный рацион по AIN93M [10], 2-й и 6-й групп – контрольный рацион с добавкой Q в дозе 50 мг на 1 кг массы тела, 3-й и 7-й групп – высокоуглеводный, высокожировой рацион с повышенным содержанием жира (30% по массе сухих веществ рациона) и с заменой питьевой воды на 20% раствор фруктозы (ВУВЖР), 4-й и 8-й

групп – ВУВЖР и добавку Q. Рацион и питьевую жидкость представляли животным в режиме неограниченного свободного доступа. Крыс содержали по 2 особи в клетках из поликарбоната при 12/12-часовом режиме освещенности и температуре воздуха 22 ± 1 °C.

Выведение животных из эксперимента осуществляли на 63-е сутки путем декапитации под эфирной анестезией. Печень извлекали после лапаротомии стерильными хирургическими инструментами, взвешивали с точностью $\pm 0,01$ г и хранили до исследования при температуре -80 °C. Кровь собирали в пробирки с антикоагулянтом 1,0% раствором гепарина в 0,15 M NaCl (1:10 по объему), плазму отделяли центрифугированием и проводили исследование показателей липидного профиля [общий холестерин, холестерин липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), триглицериды, общая липолизическая активность] на биохимическом анализаторе «Konelab 20i» (Konelab, Финляндия) по стандартным методикам. Концентрацию лептина в плазме крови определяли методом мультиплексного иммуноанализа на приборе Luminex 200 (Luminex Corporation, США) с использованием наборов реактивов Plex Reagent Kit, 1×96-well, Pro-Rat 33-Plex Standarts и Rat Diabetes Leptin SET (Bio-Rad Laboratories, Inc., США).

В печени определяли экспрессию генов кетогексокиназы (*Khk*), глюкокиназы (*Gck*), пируваткиназы (*Pklr*), ацетил-КоА-карбоксилазы (*Acaca*), синтазы жирных кислот (*Fasn*), стеарил-КоА-десатуразы (*Scd*) и их транскрипционных регуляторов SREBP-1c (*Srebp1*), ChREBP (*Mlxipl*), PPAR α (*Ppara*), PPAR γ (*Pparg*), актина (*Actb*) и глицеральдегид-3 фосфатдегидрогеназы (*GAPDH*) (*Gapdh*) методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ПЦР-ОТ) в режиме реального времени. Выделение общей РНК из ткани печени проводили с помощью реагента ExtractRNA («Евроген», РФ), а синтез комплементарной ДНК (кДНК) – с использованием набора MMLV RT kit («Евроген», РФ) согласно протоколу производителя. Для ПЦР-ОТ в режиме реального времени применяли праймеры и зонды производства ООО «ДНК-Синтез» (Россия). Реакционная смесь для ПЦР общим объемом 25 мкм³ содержала 1 мкм³ кДНК, 2,5 мкм³ 10-кратного буфера для TaqPol (с 2 mM MgCl₂), 1 мкм³ (F+R) праймеров (10 мкМ), 0,5 мкм³ зонда FAM (10 мкМ), 0,5 мкм³ смеси dNTPs (10 мМ), 0,5 мкм³ TaqPol (5 ед/мл), 19 мкм³ воды без нуклеаз (Thermo Scientific, США). Амплификацию проводили на приборе CFX 96 (Bio-Rad, США). Реакцию ПЦР для всех изучаемых генов проводили по следующей схеме: активация Taq ДНК-полимеразы при 95 °C в течение 3 мин; 45 циклов, каждый из которых состоял из денатурации при 95 °C в течение 15 с и отжига праймеров (60 °C, 1 мин); измерение флуоресценции в канале FAM. Экспрессию генов оценивали по значению порогового цикла (C_t – cycle threshold) и нормализовали относительно условно конститутивных генов сравнения *Actb* и *Gapdh* методом $2^{-\Delta\Delta C_t}$ [11].

Образцы ткани печени для морфологического исследования фиксировали в 3,7% растворе формальдегида в 0,1 M натрий-фосфатном буфере, pH $7,00\pm 0,05$, де-

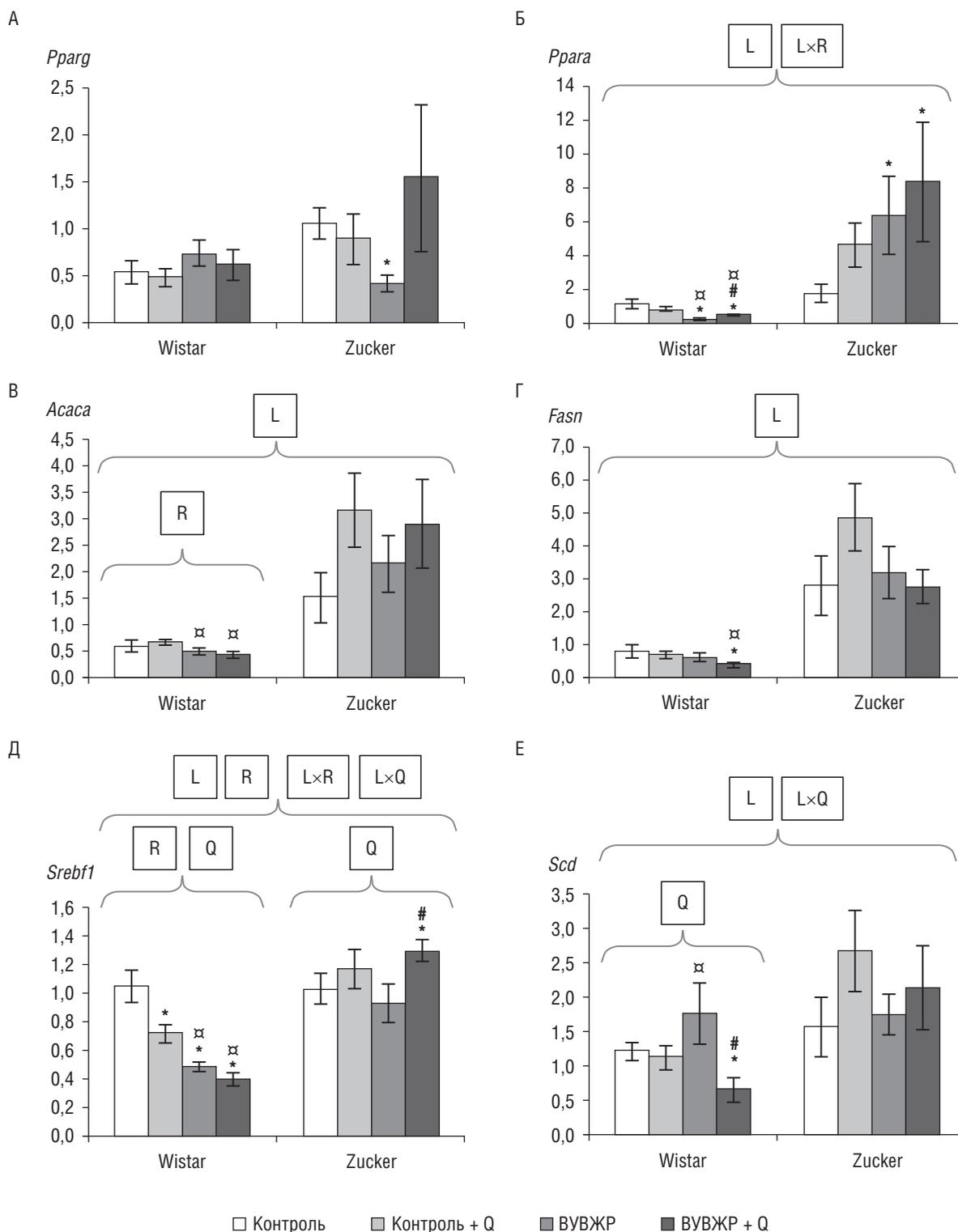


Рис. 1. Относительная экспрессия генов липогенеза у крыс Wistar и Zucker-LEPR^{fa}: А – *Pparg*; Б – *Ppara*; В – *Acaca*; Г – *Fasn*; Д – *Srebf1*; Е – *Scd*

По оси абсцисс – линии животных; по оси ординат – экспрессия по отношению к *Actb* и *Gapdh*, относительные единицы. Статистически значимые различия ($p < 0,05$): * – от показателя контрольной группы; # – от показателя группы высокоуглеводный, высокожировой рацион; α – от показателя группы контроль + кверцетин. Скобки – факторный анализ для охватываемого диапазона, ANOVA, $p < 0,05$ по фактору: рацион (R); кверцетин (Q); линия (L).

Здесь и на рис. 2, 3: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

гидратировали в спиртах восходящей концентрации, пропитывали ксилолом, заливали гомогенизированной парафиновой средой HistoMixer на автоматизированной станции заливки блоков. Парафиновые срезы толщиной

3–4 мкм изготавливали на микротоме «Microm HM355s» (Leica, Германия), окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике и исследовали в микроскопе «Axiomager ZI» (Zeiss, Германия) при увеличении ×400.

Статистическая обработка результатов включала расчет выборочного среднего (M), выборочного стандартного отклонения (S) и стандартной ошибки (m). Гипотезу о равенстве выборочных средних в группах проверяли с использованием двустороннего t -теста Стьюдента с поправкой Levine на неравенство дисперсий; гипотезу о совпадении распределений величин в группах – с помощью двустороннего рангового U -теста Манна–Уитни. Факторный анализ выполняли согласно критерию 3-way ANOVA. Различия принимали за досто-

верные при уровне значимости $p < 0,05$. Расчеты проводили с использованием пакета программ SPSS 20.0 (IBM, США).

Результаты

Как следует из данных рис. 1А, уровень мРНК гена *Pparg*, кодирующего рецептор γ , связанный с пероксисомным пролифератором (PPAR γ), был понижен

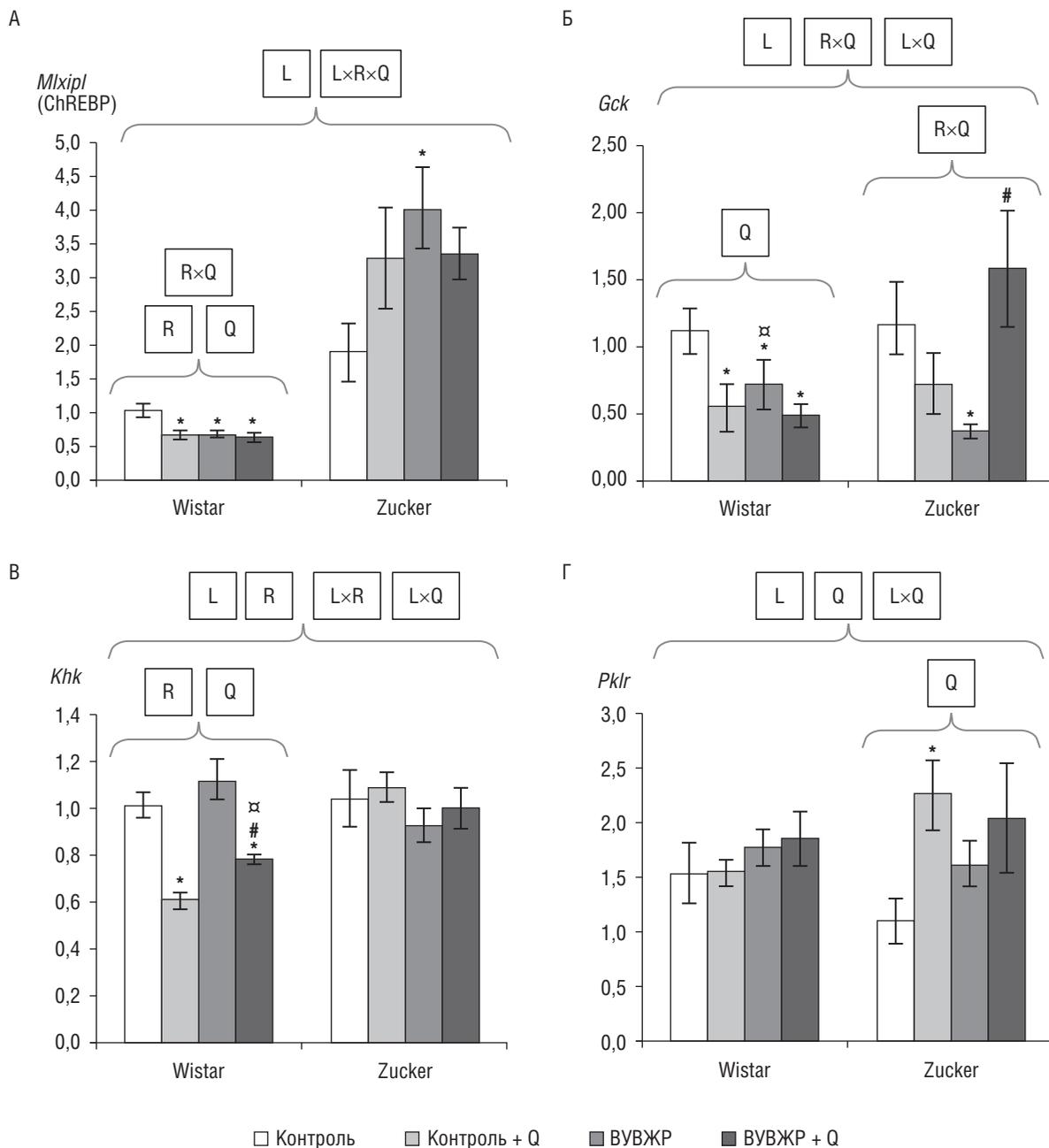


Рис. 2. Относительная экспрессия генов углеводного обмена у крыс Wistar и Zucker-LEPR^{fa}: А – *Mlxipl* (ChREBP); Б – *Gck*; В – *Khk*; Г – *Pklr*. По оси абсцисс – линии животных; ось ординат – экспрессия по отношению к *Gapdh* и *Actb*, относительные единицы. Статистически значимые различия ($p < 0,05$): * – от показателя контрольной группы; # – от показателя группы высокоуглеводный, высокожировой рациона; □ – от показателя группы контроль + кверцетин. Скобки – факторный анализ для охватываемого диапазона, ANOVA, $p < 0,05$ по фактору: рацион (R); кверцетин (Q); линия (L)

Показатели липидного профиля плазмы крови крыс, $M \pm m$

Группа животных	n	Концентрация, ммоль/дм ³					Активность липазы, МЕ/см ³
		триглицериды	холестерин	холестерин ЛПВП	холестерин ЛПНП (расчет)	лептин, пг/см ³	
1. W+K	8	1,23±0,25	2,08±0,13 ³	0,62±0,03	0,90±0,14 ³	1,05±0,02	7,8±3,8 ³
2. W+K+Q	8	1,06±0,13	1,78±0,06 ⁴	0,58±0,02	0,71±0,07 ⁴	0,79±0,08 ⁴	0,0±0,0 ⁴
3. W+ВУВЖР	8	1,93±0,48	1,62±0,11 ¹	0,53±0,03	0,36±0,14 ¹	1,86±0,45	47,1±16,2 ¹
4. W+ ВУВЖР+Q	8	1,50±0,26	1,45±0,06 ²	0,50±0,03	0,30±0,07 ²	1,29±0,15 ²	47,9±12,1 ²
5. Z+K	6	8,19±1,45 ⁷	8,78±0,40	1,85±0,08	3,21±0,81 ⁷	20,7±4,37 ⁸	4,4±1,4
6. Z+K+Q	6	6,98±1,86 ⁸	7,39±0,36	1,74±0,05	2,02±0,82 ⁸	16,7±0,08 ⁸	0,8±0,8
7. Z+ВУВЖР	6	25,0±4,5 ⁵	10,3±1,1	1,87±0,07	0,20±0,20 ⁵	92,5±45,2 ⁵	0,0±0,0
8. Z+ВУВЖР+Q	6	34,2±6,3 ⁶	9,65±1,18	1,61±0,09	0,00±0,00 ⁶	317±98 ^{5,6}	10,6±6,8
ANOVA по фактору:		p					
линия		<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	<0,002
рацион		<0,001	Н/д	<0,05	<0,001	<0,001	<0,002
кверцетин		Н/д	<0,005	<0,1	Н/д	<0,05	Н/д
линия×рацион		<0,001	Н/д	<0,005	<0,001	<0,001	<0,005

Примечание. Надстрочные индексы – номера групп, различия с которыми статистически значимы ($p < 0,05$) согласно t-критерию Стьюдента и/или непараметрическому критерию Манна–Уитни.

у крыс Z, получавших ВУВЖР (U-тест $p_5, \neq 0,05$). Экспрессия *Ppara* (рис. 1Б), гена рецептора α , связанного с пероксисомным пролифератором (PPAR α), понижалась в сравнении с контролем у крыс W, получавших ВУВЖР и ВУВЖР с добавкой Q и, напротив, возрастала у соответствующих групп крыс Z (ANOVA $p < 0,05$ по факторам «линия» и «линия×рацион»). Экспрессия генов ключевых ферментов *de novo* синтеза насыщенных жирных кислот *Acaca* (ацетил-КоА-карбоксилаза, рис. 1В) и *Fasn* (синтаза жирных кислот, рис. 1Г) была также систематически повышена у крыс Z по сравнению с соответствующими группами крыс W (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «линия»). Примечательно, что Q вызывал статистически значимое (U-тест $p_{1,4} < 0,05$) снижение экспрессии *Fasn* только у крыс W, получавших ВУВЖР.

В обеих группах крыс W, получавших ВУВЖР, отмечалось достоверное снижение мРНК гена *Srebf1* (рис. 1Д), кодирующего белок SREBP, отвечающий за экспрессию генов липогенеза (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «рацион»). Потребление Q приводило у крыс W к дальнейшему снижению экспрессии *Srebf1* (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «Q»). В отличие от этого у крыс Z подобный эффект отсутствовал, и, более того, в группе животных, получавших ВУВЖР с Q, уровень мРНК этого гена был статистически значимо повышен (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «Q»). В целом по всем группам крыс факторный анализ показал различное влияние как рациона, так и включения в него Q на *Srebf1* у двух линий (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «линия×рацион» и «линия×Q»). Ген *Scd*, кодирующий стеароил-КоА-десатуразу (рис. 1Е), был более выраженно экспрессирован в группах крыс Z в сравнении с W (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «линия»), за исключением группы крыс, получавшей ВУВЖР. Q значительно подавлял экспрессию этого гена у крыс W, получавших ВУВЖР (U-тест $p_{3,4} < 0,05$, ANOVA $p < 0,05$

по фактору «Q»); ничего подобного у крыс Z отмечено не было, и, напротив, экспрессия этого гена в группах, получавших Q, возрастала, хотя и недостоверно.

Существенные различия между линиями W и Z имелись и в уровнях экспрессии генов углеводного обмена (рис. 2). Так, ген *Mlxipl* (рис. 2А), кодирующий транскрипционный фактор ChREBP, был достоверно сильнее экспрессирован во всех группах крыс Z в сравнении с W (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «линия»). При этом у крыс W потребление ВУВЖР, Q и их сочетания снижали экспрессию этого гена (ANOVA $p < 0,05$ по факторам «рацион», «Q» и «рацион×Q»), а у крыс Z, получавших ВУВЖР, она, напротив, возрастала (U-тест $p_5, \neq 0,05$), а влияние Q было недостоверным. На экспрессию *Gck* (глюкокиназа, рис. 2Б) Q оказывал у крыс W и Z прямо противоположное действие (ANOVA $p < 0,05$ по фактору «линия×Q»): если у первых экспрессия снижалась, независимо от состава основного рациона (U-тест $p_{1,2} < 0,05$; ANOVA $p < 0,05$ по фактору «Q»), то у вторых на фоне потребления ВУВЖР потребление Q усиливало экспрессию (U-тест $p_{7,8} < 0,05$; ANOVA $p < 0,05$ по фактору «рацион×Q»). Аналогично Q достоверно подавлял у крыс W экспрессию *Khk* (фруктокиназа, рис. 2В), причем, по-видимому, более эффективно на контрольном рационе (U-тест $p_{1,2,2,4,3,4} < 0,05$; ANOVA $p < 0,05$ по факторам «рацион» и «Q»), а у крыс Z всех групп уровень мРНК этого гена не различался. Экспрессия *Pklr* (пируваткиназа, рис. 2Г) статистически значимо не различалась у всех групп крыс W, а у крыс Z потребление Q вызывало усиление экспрессии ($p_{5,6} < 0,05$; ANOVA $p < 0,05$ по фактору «Q»).

Как следует из данных таблицы, крысы Z по сравнению с W имели многократно повышенные уровни триглицеридов, общего и ЛПВП-холестерина и лептина в плазме крови. Потребление ВУВЖР приводило к повышению уровня триглицеридов у животных обеих линий, однако у крыс Z этот эффект был намного более выра-

женным. Расчетное содержание холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), напротив, снижалось у получавших ВУВЖР крыс и, по-видимому, также в большей степени у животных линии Z. Если крысы W, получавшие ВУВЖР, отвечали на него компенсаторным усилением липолитической активности, то у крыс Z подобный эффект, по-видимому, отсутствовал. Влияние потребления Q на рассмотренные показатели липидного профиля плазмы крови проявлялись снижением общего холестерина у обеих групп животных (ANOVA, $p < 0,005$ по фактору «Q»). Аналогичные изменения для холестерина ЛПНП проявлялись на уровне тенденции ($p < 0,1$). На фоне кормления контрольным рационом Q вызывал небольшое снижение уровня лептина у крыс обеих линий, тогда как в случае приема ВУВЖР эффект Q у крыс W и Z был противоположным: снижение у крыс W и многократное повышение у крыс Z (ANOVA, $p < 0,05$ по факторам «линия», «рацион», «Q» и «линия×рацион»).

Светооптическое морфологическое исследование показало (рис. 3), что потребление Q не вызывает существенных изменений в печени крыс W, получавших контрольный рацион (рис. 3А, Б). У животных этой линии, получавших ВУВЖР, отмечаются признаки накопления жира в гепатоцитах без изменения их общей архитектуры (ядра остаются в середине клеток); Q видимым образом не влияет на этот процесс (рис. 3В, Г). У крыс Z как на контрольном рационе, так и у получавших ВУВЖР, наблюдается массивная баллонная дистрофия гепатоцитов, с оттеснением ядер на периферию клеток и образованием крупных округлых вакуолей (рис. 3Д, Ж), причем добавка Q, по-видимому, только усиливает эти проявления (рис. 3Е, З).

Обсуждение

В основе различий в метаболизме двух изученных линий крыс лежит врожденное нарушение рецепции лептина в нейронах гипоталамуса у крыс Z, приводящее у них к нарушению центрального гомеостатического механизма регуляции потребления пищи, гиперфагии, висцеральному ожирению и стеатозу печени [9]. Одновременно у них многократно возрастает уровень лептина, циркулирующего в крови. Вследствие этого лептин начинает проявлять иммунотропные эффекты, обусловленные сходством его третичной структуры с цитокинами IL-2, IL-6, IL-11, IL-12, G-CSF и онкостатином M (OSM) [12–14]. В результате этого у крыс Z развивается хроническое воспаление печени и жировой ткани, одним из проявлений которого является развитие инсулиновой резистентности, опосредуемое активацией JNK-сигнального пути и инактивацией инсулинового рецептора IRS1/2 [15].

Современные представления о воздействии Q на метаболические процессы учитывают его влияние на экспрессию генов [16, 17]. В этих эффектах участвует сложный комплекс регуляторных молекул, включающий C/EBP α [18], PPAR γ [19], SREBP [20] и др. Однако

чувствительность этих регуляторных механизмов к БАВ может, в свою очередь, зависеть от состояния клеток печени и жировой ткани, определяемого текущими уровнями свободных жирных кислот, про- и противовоспалительных цитокинов, адипокинов и др. Следствием этого может быть неоднозначность терапевтических эффектов Q и других флавоноидов у пациентов с ожирением, метаболическим синдромом и сахарным диабетом 2 типа [21, 22].

В проведенном нами исследовании у крыс W потребление Q приводило к статистически значимому снижению экспрессии генов ферментов липогенеза *Fasn* и *Scd*, а также ферментов, участвующих в метаболизме углеводов *Khk* и *Gck*. Указанные изменения совпадают с ранее наблюдавшимися нами эффектами Q у крыс W, получавших высокофруктозный рацион [23], а также с данными других авторов [19, 20]. В отличие от этого у крыс Z, в особенности при потреблении ВУВЖР, отмечалось повышение экспрессии *Gck*, *Sreb1*, *Ppara*, *Pklr*, указывающее на возможное усиление процессов липогенеза.

Общей особенностью крыс Z всех групп была наблюдавшаяся гиперэкспрессия у них отвечающих за адипогенез и β -окисление жирных кислот в митохондриях PPAR α (ген *Ppara*) и ChREBP (ген *Mlxipl*), генов ферментов липогенеза *Acaca* и *Fasn* и десатуразы жирных кислот *Scd* (которая к тому же не отвечала у этих животных снижением на введение Q). Последний факт в свете наблюдаемой у крыс Z резистентности к действию Q представляется особенно важным, так как активность десатуразы жирных кислот и уровень синтезируемого под ее действием олеата может играть ключевую роль в стимуляции липогенеза [24]. С этим согласуются данные о наличии у крыс Z сильно выраженной дислипидемии, фактическим отсутствием ответа активности липазы на потребление ВУВЖР, а также развитием жировой дистрофии печени. Направленность изменений в уровнях триглицеридов и лептина у крыс Z вследствие потребления Q в составе ВУВЖР была противоположной по отношению к наблюдаемой у крыс W. При этом следует иметь в виду, что смысл соотношения различных фракций холестерина плазмы крови имеет неодинаковый смысл у человека и в *in vivo* моделях у грызунов. Ввиду сниженной по сравнению с приматами активности транспортера эфиров холестерина CETP основную роль в транспорте холестерина у крыс играют ЛПВП, что делает этих животных устойчивыми к развитию атеросклероза и одновременно повышает риск избыточного накопления холестерина и его эфиров в липидах печени при повышенных уровнях ЛПВП [25].

Заключение

Таким образом, модулирующий эффект Q на экспрессию ключевых генов липидного и углеводного обмена существенно различается у крыс W «дикого типа» с ненарушенной рецепцией лептина и мутантных крыс Z,

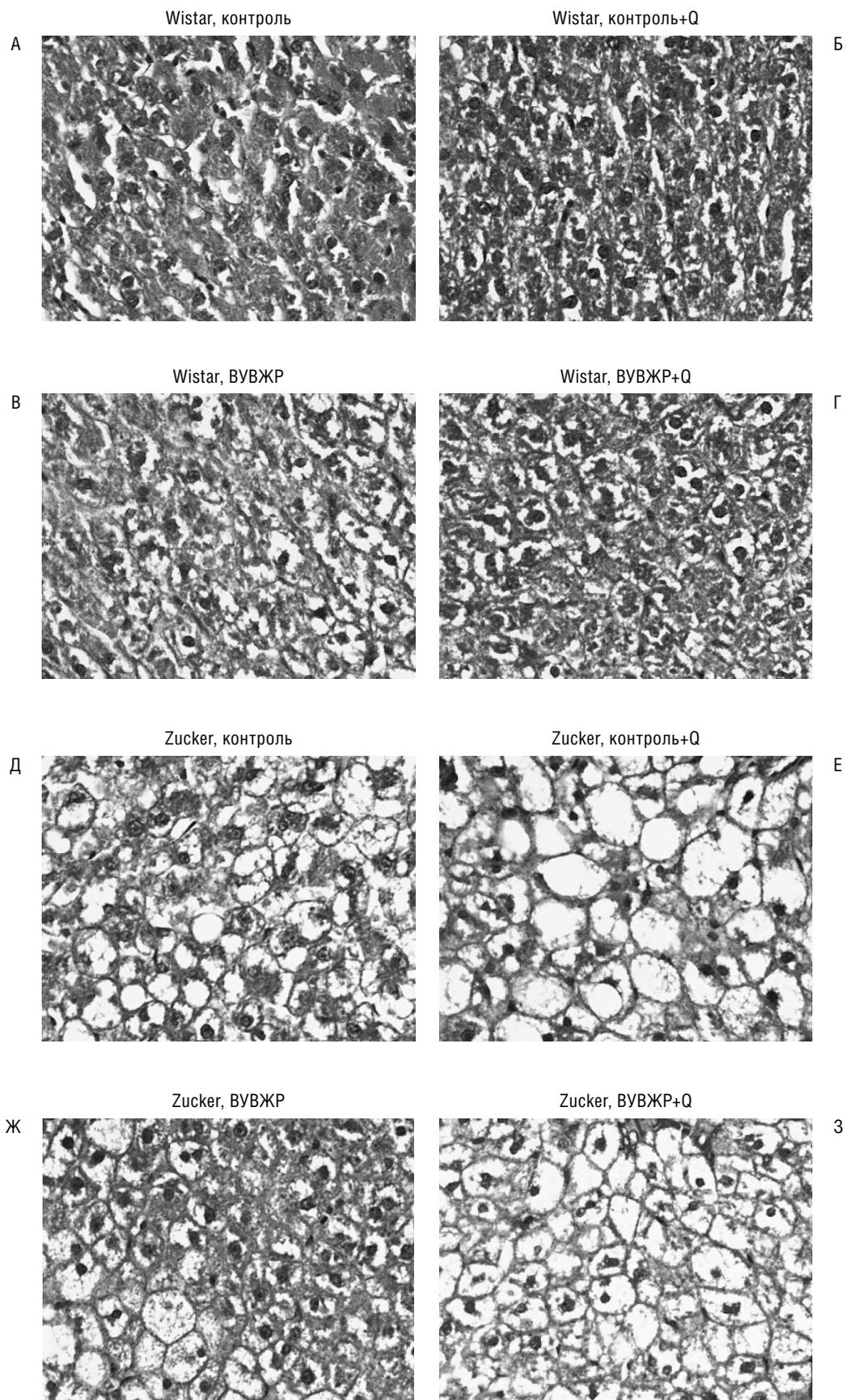


Рис. 3. Микрофотографии срезов тканей печени крыс: Wistar (А–Г); Zucker-*Lepr^{fa}* (Д–З)

Контрольный сбалансированный рацион (А, Б, Д, Е), высокоуглеводный, высокожировой рацион (В, Г, Ж, З). Без добавки (А, В, Д, Ж); добавка кверцетина (Б, Г, Е, З). Окраска гематоксилином и эозином, $\times 400$.

причем это различие, по-видимому, потенцируется потреблением рациона с избытком жира и легкоусвояемых углеводов. Этот результат следует, вероятно, учитывать при разработке схем назначения Q в ряду других БАВ и диетических факторов при персонализированной диетотерапии пациентов с различными формами ожирения.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 17-16-01043).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы благодарят доктора медицинских наук Николая Александровича Ригера за представленные результаты определения лептина.

Сведения об авторах

Мжельская Кристина Владимировна (Mzhelskaya Kristina V.) – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: kristik13@yandex.ru

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

Трусов Никита Вячеславович (Trusov Nikita V.) – научный сотрудник лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: nikkitosu@yandex.ru

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

Апратин Сергей Алексеевич (Apyatin Sergey A.) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: apyatin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6543-7495>

Сото Селада Хорхе (Soto Celada Jorge) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: jsotoc@mail.ru

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

Гмошинский Иван Всеволодович (Gmoshinski Ivan V.) – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: gmosh@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3671-6508>

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

E-mail: tutelyan@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2706-6689>

Литература

1. Жминченко В.М., Гаппаров М.М.Г. Современные тенденции исследований в нутрициологии и гигиене питания // *Вопр. питания.* 2015. Т. 84, № 1. С. 4–14.
2. Новиков П.В. Нутригенетика и нутригеномика – новые направления в нутрициологии в постгеномный период // *Вопр. дет. диетологии.* 2012. Т.10, № 1. С. 44–52.
3. Тутельян В.А., Киселева Т.Л., Кочеткова А.А., Смирнова Е.А., Киселева М.А., Саркисян В.А. Перспективные источники фитонутриентов для специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем: опыт традиционной медицины // *Вопр. питания.* 2016. Т. 84, № 4. С. 46–60.
4. Zhao Y., Chen B., Shen J., Wan L., Zhu Y., Yi T. et al. The beneficial effects of quercetin, curcumin, and resveratrol in obesity // *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2017. Vol. 2017. Article ID 1459497.
5. Kobori M., Masumoto S., Akimoto Y., Oike H. Chronic dietary intake of quercetin alleviates hepatic fat accumulation associated with consumption of a Western-style diet in C57/BL6J mice // *Mol. Nutr. Food Res.* 2011. Vol. 55. P. 530–540.
6. Panchal S.K., Poudyal H., Brown L. Quercetin ameliorates cardiovascular, hepatic, and metabolic changes in diet-induced metabolic syndrome in rats // *J. Nutr.* 2012. Vol. 142, N 6. P. 1026–1032.
7. Edwards R.L., Lyon T., Litwin S.E., Rabovsky A., Symons J.D., Jalili T. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects // *J. Nutr.* 2007. Vol. 137. P. 2405–2411.
8. Rivera L., Moryn R., Sánchez M., Zarzuelo A., Galisteo M. Quercetin ameliorates metabolic syndrome and improves the inflammatory status in obese Zucker rats // *Obesity (Silver Spring).* 2008. Vol. 16, N 9. P. 2081–2087.
9. Kava R., Greenwood M.R.C., Johnson P.R. Zucker (fa/fa) rat // *ILAR J.* 1990. Vol. 32, N 3. P. 4–8.
10. Reeves P.C. AIN-93 purified diets for the study of trace elements metabolism in rodents // *Trace Elements in Laboratory Rodents / ed. R.R. Watson. New York, etc : CRC Press, 2000.*
11. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method // *Methods.* 2001. Vol. 25, N 4. P. 402–408.
12. Lypez-Jaramillo P., Gymez-Arbelbez D., Lypez-Lopez J., Lypez-Lopez C., Martinez-Ortega J., Gymez-Rodriguez A. et al. The role of leptin/adiponectin ratio in metabolic syndrome and

- diabetes // *Horm. Mol. Biol. Clin. Invest.* 2014. Vol. 18, N 1. P. 37–45.
13. Lee B.C., Lee J. Cellular and molecular players in adipose tissue inflammation in the development of obesity induced insulin resistance // *Biochim. Biophys. Acta.* 2014. Vol. 1842, N 3. P. 446–462.
 14. Baumann H., Morella K.K., White D.W. et al. The full-length leptin receptor has signaling capabilities of interleukin 6-type cytokine receptors // *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 1996. Vol. 93. P. 8374–8378.
 15. Solinas G., Becattini B. JNK at the crossroad of obesity, insulin resistance, and cell stress response // *Mol. Metab.* 2017. Vol. 6. P. 174–184.
 16. Балакина А.С., Аксенов И.В., Трусов Н.В., Гусева Г.В., Авреньева Л.И., Кравченко Л.В. и др. Влияние куркумина и кверцетина на показатели защитного потенциала крыс при их раздельном и совместном действии // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86, № 2. С. 14–22.
 17. Amiot M.J., Riva C., Vinet A. Effects of dietary polyphenols on metabolic syndrome features in humans: a systematic review // *Obes. Rev.* 2016. Vol. 17. P. 573–586.
 18. Moon J., Do H.J., Kim O.Y., Shin M.J. Antiobesity effects of quercetin-rich onion peel extract on the differentiation of 3T3-L1 preadipocytes and the adipogenesis in high fat-fed rats // *Food Chem. Toxicol.* 2013. Vol. 58. P. 347–354.
 19. Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I., Ha T.Y. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes // *Phytother. Res.* 2013. Vol. 27, N 1. P. 139–143.
 20. Wang L.L., Zhang Z.C., Hassan W., Li Y., Liu J., Shang J. Amelioration of free fatty acid-induced fatty liver by quercetin-3-O- β -D-glucuronide through modulation of peroxisome proliferator-activated receptor- α /sterol regulatory element-binding protein-1c signaling // *Hepatol. Res.* 2015. Vol. 46. P. 225–238.
 21. Egert S., Boesch-Saadatmandi C., Wolfrum S., Rimbach G., Müller M.J. Serum lipid and blood pressure responses to quercetin vary in overweight patients by apolipoprotein E genotype // *J. Nutr.* 2010. Vol. 140. P. 278–284.
 22. Edwards R.L., Lyon T., Litwin S.E., Rabovsky A., Symons J. D., Jalili T. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects // *J. Nutr.* 2007. Vol. 137. P. 2405–2411.
 23. Мжельская К.В., Трусов Н.В., Гусева Г.Н., Аксенов И.В., Кравченко Л.В., Тутельян В.А. Изучение влияния кверцетина на экспрессию генов ферментов углеводного и липидного обмена в печени крыс, получавших высокофруктозный рацион // *Бюл. экспер. биол.* 2019. Т. 167, № 2. С. 218–222.
 24. Miyazaki M., Dobrzyn A., Man W.C., Chu K., Sampath H., Kim H.-J. et al. Stearoyl-CoA desaturase 1 gene expression is necessary for fructose-mediated induction of lipogenic gene expression by sterol regulatory element-binding protein-1c-dependent and -independent mechanisms // *J. Biol. Chem.* 2004. Vol. 279, N 2. P. 25 164–25 171.
 25. Tran L.T., Yuen V.G., McNeill J.H. The fructose-fed rat: a review on the mechanisms of fructose-induced insulin resistance and hypertension // *Mol. Cell. Biochem.* 2009. Vol. 332. P. 145–159.

References

1. 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).
2. Novikov P.V. Nutrigenetics and nutrigenomics: new trends in nutrition science in the postgenomic period. *Voprosy detskoy dietologii [Problems of Pediatric Nutrition]*. 2012; 10 (1): 44–52. (in Russian).
3. Tutelyan V.A., Kiseleva, T.L. Kochetkova A.A., Smirnova E.A., Kiseleva M.A., Sarkisyan V.A. Promising source of micronutrients for specialized foods with modified carbohydrate profile: traditional medicine experience. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 84 (4): 46–60. (in Russian).
4. Zhao Y., Chen B., Shen J., Wan L., Zhu Y., Yi T., et al. The beneficial effects of quercetin, curcumin, and resveratrol in obesity. *Oxid Med Cell Longev.* 2017; 2017: 1459497.
5. Kobori M., Masumoto S., Akimoto Y., Oike H. Chronic dietary intake of quercetin alleviates hepatic fat accumulation associated with consumption of a Western-style diet in C57/BL6J mice. *Mol Nutr Food Res.* 2011; 55: 530–40.
6. Panchal S.K., Poudyal H., Brown L. Quercetin ameliorates cardiovascular, hepatic, and metabolic changes in diet-induced metabolic syndrome in rats. *J Nutr.* 2012; 142 (6): 1026–32.
7. Edwards R.L., Lyon T., Litwin S.E., Rabovsky A., Symons J.D., Jalili T. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects. *J Nutr.* 2007; 137: 2405–11.
8. Rivera L., Moryn R., Sánchez M., Zarzuelo A., Galisteo M. Quercetin ameliorates metabolic syndrome and improves the inflammatory status in obese Zucker rats. *Obesity (Silver Spring)*. 2008; 16 (9): 2081–87.
9. Kava R., Greenwood M.R.C., Johnson P.R. Zucker (fa/fa) rat. *ILAR J.* 1990; 32 (3): 4–8.
10. Reeves P.C. AIN-93 purified diets for the study of trace elements metabolism in rodents. In: R.R. Watson (ed.). *Trace Elements in Laboratory Rodents*. New York, etc: CRC Press, 2000.
11. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method. *Methods.* 2001; 25 (4): 402–8.
12. Lypez-Jaramillo P., GymeZ-Arbelóez D., Lypez-Lopez J., Lypez-Lopez C., Martınez-Ortega J., GymeZ-Rodrıguez A., et al. The role of leptin/adiponectin ratio in metabolic syndrome and diabetes. *Horm Mol Biol Clin Invest.* 2014; 18 (1): 37–45.
13. Lee B.C., Lee J. Cellular and molecular players in adipose tissue inflammation in the development of obesity induced insulin resistance. *Biochim Biophys Acta.* 2014; 1842 (3): 446–62.
14. Baumann H., Morella K.K., White D.W., et al. The full-length leptin receptor has signaling capabilities of interleukin 6-type cytokine receptors. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1996; 93: 8374–8.
15. Solinas G., Becattini B. JNK at the crossroad of obesity, insulin resistance, and cell stress response. *Mol Metab.* 2017; 6: 174–84.
16. Balakina A.S., Aksenov I.V., Trusov N.V., Guseva G.V., Avrеньева L.I., Kravchenko L.V., Tutelyan V.A. 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)
17. Amiot M.J., Riva C., Vinet A. Effects of dietary polyphenols on metabolic syndrome features in humans: a systematic review. *Obes Rev.* 2016; 17: 573–86.
18. Moon J., Do H.J., Kim O.Y., Shin M.J. Antiobesity effects of quercetin-rich onion peel extract on the differentiation of 3T3-L1 preadipocytes and the adipogenesis in high fat-fed rats. *Food Chem Toxicol.* 2013; 58: 347–54.
19. Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I., Ha T.Y. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes. *Phytother Res.* 2013; 27 (1): 139–43.
20. Wang L.L., Zhang Z.C., Hassan W., Li Y., Liu J., Shang J. Amelioration of free fatty acid-induced fatty liver by quercetin-3-O- β -D-glucuronide through modulation of peroxisome proliferator-acti-

- vated receptor-alpha/sterol regulatory element-binding protein-1c signaling. *Hepato Res.* 2015; 46: 225–38.
21. Egert S., Boesch-Saadatmandi C., Wolfram S., Rimbach G., Müller M.J. Serum lipid and blood pressure responses to quercetin vary in overweight patients by apolipoprotein E genotype. *J Nutr.* 2010; 140: 278–84.
 22. Edwards R.L., Lyon T., Litwin S.E., Rabovsky A., Symons J. D., Jalili T. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects. *J Nutr.* 2007; 137: 2405–11.
 23. Mzhelskaya K.V., Trusov N.V., Guseva G.N., Aksenov I.V., Kravchenko L.V., Tutelyan V.A. Effects of quercetin on liver carbohydrate and lipid metabolism enzyme gene expression in rats fed a high-fructose diet. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]*. 2019; 167 (2): 218–22. (in Russian)
 24. Miyazaki M., Dobrzyn A., Man W.C., Chu K., Sampath H., Kim H.-J., et al. Stearoyl-CoA desaturase 1 gene expression is necessary for fructose-mediated induction of lipogenic gene expression by sterol regulatory element-binding protein-1c-dependent and -independent mechanisms. *J Biol Chem.* 2004; 279 (2): 25 164–71.
 25. Tran L.T., Yuen V.G., McNeill J.H. The fructose-fed rat: a review on the mechanisms of fructose-induced insulin resistance and hypertension. *Mol Cell Biochem.* 2009; 332: 145–59.

Для корреспонденции

Мазо Владимир Кимович – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии детских и специальных продуктов ВНИИПП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН
 Адрес: 141552, Россия, Московская область, Солнечногорский район, р.п. Ржавки
 Телефон: (495) 698-53-71
 E-mail: mazo@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3237-7967>

Стефанова И.Л.¹, Гушчин В.В.¹, Зорин С.Н.², Мазо В.К.¹

Влияние коагулированного яичного меланжа на физическую выносливость растущих крыс-самцов линии Вистар: физиолого-биохимическая оценка

Influence of coagulated egg melange on the physical endurance of growing male Wistar rats: physiological and biochemical assessment

Stefanova I.L.¹, Gushchin V.V.¹, Zorin S.N.², Mazo V.K.¹

- ¹ ВНИИПП – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр “Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства”» РАН, р.п. Ржавки, Солнечногорский район, Московская область, Россия
² ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия
¹ Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal Scientific Center «All-Russian Research and Technology Institute of Poultry» of the Russian Academy of Sciences, Rzhavki, Solnechnogorsk District, Moscow Region, Russia
² Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

Яичный меланж (ЯМ) является одним из наиболее часто используемых продуктов переработки куриного яйца, однако его применение для производства функциональных пищевых продуктов ограничено жидкой консистенцией. Ассортимент таких продуктов, в том числе способствующих повышению физической выносливости и работоспособности, может быть расширен при использовании коагулированной формы меланжа (КЯМ). В связи с этим актуально доклиническое тестирование пищевой ценности КЯМ и влияния его потребления на показатели физической выносливости лабораторных животных.

Цель – экспериментальная сравнительная физиолого-биохимическая оценка *in vivo* влияния потребления КЯМ растущими животными на их ростовые показатели и физическую выносливость.

Материал и методы. В качестве объектов исследования использовали образцы лиофильно высушенного ЯМ и КЯМ. Эксперимент выполнен на 45 растущих крысах-самцах линии Вистар с исходной массой тела 80 ± 5 г. По результатам предварительных тренировок в эксперимент было отобрано 27 животных,

Для цитирования: Стефанова И.Л., Гушчин В.В., Зорин С.Н., Мазо В.К. Влияние коагулированного яичного меланжа на физическую выносливость растущих крыс-самцов линии Вистар: физиолого-биохимическая оценка // *Вопр. питания.* 2019. Т. 88, № 2. С. 17–23. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10013.

Статья поступила в редакцию 19.11.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Stefanova I.L., Gushchin V.V., Zorin S.N., Mazo V.K. Influence of coagulated egg melange on the physical endurance of growing male Wistar rats: physiological and biochemical assessment. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2019; 88 (2): 17–23. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10013. (in Russian)

Received 19.11.2018. **Accepted** 13.03.2019.

у которых оценивали состояние нейромоторики, измеряя силу хватки. Далее крыс рандомизированно по массе тела и силе хватки распределили на 2 группы. Животные обеих групп получали в течение 32 сут базовый полусинтетический рацион, в котором белковый компонент (25% от сухой массы) был представлен ЯМ и КЯМ. Силу хватки определяли 1 раз в неделю; 2 дня в неделю всех животных подвергали физической нагрузке в течение 10 мин. На 31-е сутки эксперимента животных подвергали физической нагрузке до полного истощения, с последующим выведением из эксперимента на 32-е сутки. В сыворотке крови определяли концентрацию глюкозы, триглицеридов, холестерина, липопротеинов высокой и низкой плотности.

Результаты и обсуждение. Большему потреблению животными корма (20 ± 1 г/крыса в сутки, содержащего КЯМ, соответствовал больший прирост ($204 \pm 9\%$) их массы тела за весь период эксперимента по сравнению с животными, получавшими ЯМ (13 ± 1 г/крыса в сутки; $160 \pm 9\%$, $p \leq 0,05$). Увеличение потребления пищи, содержащей КЯМ, оказало выраженное положительное влияние на физическую выносливость животных, оцениваемую в тесте «Сила хватки». За 21 день эксперимента этот показатель для крыс, потреблявших ЯМ, увеличился на 26%, тогда как у крыс, потреблявших КЯМ, сила хватки увеличилась значительно – на 42%. Потребление животными КЯМ увеличивало продолжительность бега ($33,8 \pm 1,4$ мин) и пройденную дистанцию (557 ± 35 м) до наступления истощения по сравнению с аналогичными показателями для животных, получавших ЯМ (соответственно $24,8 \pm 2,5$ мин и 365 ± 50 м, $p \leq 0,05$). Полученный результат свидетельствует о повышенной устойчивости животных, получавших КЯМ, к истощающей физической нагрузке.

Заключение. Потребление в составе рациона КЯМ растущими крысами значительно эффективнее увеличивало их ростовые показатели и физическую выносливость по сравнению с животными, потреблявшими рацион с некоагулированным меланжем. Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования КЯМ в качестве функционального пищевого ингредиента в составе специализированных пищевых продуктов, способствующих повышению физической выносливости и работоспособности.

Ключевые слова: куриное яйцо, меланж, функциональный пищевой ингредиент, специализированные пищевые продукты, физическая выносливость, сила хватки, липидный обмен

Melange, is one of the most commonly used products of egg processing, however, its use for the production of functional foods is limited by its liquid consistency. The range of functional foods, including those that increase physical endurance and working ability, can be expanded by using the coagulated form of the melange. Thus, the preclinical testing of the nutritional value of coagulated melange and the effect of its consumption on the physical endurance of laboratory animals is relevant.

The aim of this research was the experimental comparative physiological and biochemical *in vivo* evaluation of the effects of coagulated melange consumption by Wistar male rats on their growth indices and physical endurance.

Material and methods. Samples of the lyophilized egg melange (EM) and coagulated egg melange (CEM) were used as objects of the research. The experiment was conducted with the use of 45 growing male Wistar rats with initial body weight 80 ± 5 g. According to the preliminary training results, 27 animals were selected for further experiment. The motor function was evaluated by means of grip test. The rats were randomized into 2 experimental groups according to their weight and grip strength. Animals were treated for 32 days with isocaloric and isonitrogenic semi-synthetic diets with EM and CEM as protein component (25% of the dry weight), consequently. The grip test was conducted once per week, two days a week animals were trained on the treadmill for 10 min. On the 31st day of the experiment, animals were exposed to exhaustive training till total exhaustion. On the 32nd day of experiment animals were decapitated under light ether anesthesia. The concentration of glucose, triglycerides, cholesterol (CHL), high-density lipoproteins (HDL) and low-density lipoproteins (LDL) was determined in the blood serum.

Results and discussion. The greater consumption of food (20 ± 1 g/rat/day) containing CEM by animals corresponded to a greater increase ($204 \pm 9\%$) of their body weight over the entire experiment period compared with animals that received EM (13 ± 1 g/rat/day; $160 \pm 9\%$, respectively, $p \leq 0,05$). An increase in the intake of food containing CEM had a pronounced positive effect on the physical endurance of the animals, assessed in the grip test. For the 21 days of the experiment, this indicator increased by 26% in rats consuming EM, whereas in rats consuming CEM, the grip strength increased more significantly – by 42%. Consumption of CEM by animals increased the run time (33.8 ± 1.4 min) and the distance covered (557 ± 35 m) in the treadmill test before the exhaustion in comparison with similar indicators for animals that received EM (24.8 ± 2.5 min and 365 ± 50 m, respectively, $p \leq 0,05$). The obtained results indicate an increased resistance of animals treated with CEM to exhausting physical loads.

Conclusion. The consumption of CEM by growing Wistar male rats increased more effectively their growth and physical endurance in comparison with animals treated with non-coagulated egg melange. These results show the prospective of the use of CEM as a functional food ingredient in specialized foods, enhancing physical endurance and working ability.

Keywords: hen egg, mülange, functional food ingredient, specialized foods, physical endurance, grip strength, lipid metabolism

Одним из наиболее часто используемых продуктов переработки куриного яйца является яичный меланж (ЯМ), хорошо сочетающийся с самыми разнообразными ингредиентами [1, 2], однако использование ЯМ для производства функциональных пищевых продуктов ограничено его жидкой консистенцией. Так, в мясных продуктах содержание ЯМ не превышает 5% от рецептуры, поскольку при его большем содержании продукты не формируются. При увеличении доли ЯМ в продукте необходимо внесение связующих компонентов, что приводит

к снижению пищевой ценности. Однако ассортимент функциональных пищевых продуктов с включением в состав коагулированного яичного меланжа (КЯМ) в качестве функционального пищевого ингредиента (ФПИ) может быть значительно расширен по сравнению с использованием его жидкой формы [3].

Органолептическая оценка свидетельствует, что КЯМ представляет собой продукт светло-желтого цвета, с мягкой зернистой структурой, приятного вкуса, со слабо выраженным яичным ароматом [4]. В качестве

Таблица 1. Химический состав яичного меланжа

Образец	Массовая доля, %		
	белок	жир	влага
Яичный меланж	48,6±0,7	42,0±0,4	5,0±0,4
Коагулированный яичный меланж	50,5±0,8	41,6±0,9	4,0±0,3

частичной замены мяса при производстве мясных полуфабрикатов КЯМ придает продукту сочность, сохраняя мясной аромат [5]. Ранее нами было показано, что разработанная технология коагулирования меланжа, включающая нагрев и мягкий кислотно-солевой гидролиз, не оказывает существенного влияния на жирнокислотный состав меланжа и содержание фосфолипидов [3]. Однако пока не выяснен вопрос о том, как процесс коагуляции влияет на пищевую ценность меланжа и каковы перспективы его использования в качестве ФПИ в составе специализированных пищевых продуктов (СПП), способствующих повышению физической выносливости и работоспособности. Обоснование с позиций доказательной медицины эффективности ФПИ для включения его в состав СПП предполагает необходимость его предварительного доклинического тестирования [6]. Соответственно, **цель** данного исследования – экспериментальная сравнительная физиолого-биохимическая оценка *in vivo* влияния потребления коагулированного меланжа растущими крысами-самцами линии Вистар на их ростовые показатели и физическую выносливость.

Материал и методы

Использовали образцы лиофильно высушенного ЯМ и КЯМ, полученного путем нагрева при перемешивании сырого меланжа, в который вносили 5,0% 5% раствора лимонной кислоты и 0,8% поваренной соли. Нагревали до получения сгустка со структурой зерненого творога. Отличия в содержании белка и жира для обоих образцов были незначительными и статистически незначимы (табл. 1). Лиофилизация не оказала существенного влияния на структуру коагулированного меланжа, о чем свидетельствовало его качество после восстановления.

Эксперимент проводили на 45 растущих крысах-самцах линии Вистар с исходной массой тела 80±5 г, полученных из питомника филиала «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий» ФМБА России. Исследования на животных выполнены в соответствии с приказом Минздрава России от 01.04.2016 № 199н «Об утверждении Правил лабораторной практики» и требованиями ГОСТ Р 53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики». Животные были адаптированы в лаборатории в течение 7 сут до начала эксперимента. Во время этого периода осуществляли ежедневный осмотр внешнего состояния крыс, и в эксперимент были взяты животные без признаков отклонений в состоянии здоровья.

Дизайн исследования. В первые 3 дня всех животных в течение 10 мин тренировали на беговой дорожке и по результатам предварительных тренировок в дальнейший эксперимент с кормлением были отобраны 27 животных, продемонстрировавших способность к обучению. У отобранных животных оценивали состояние нейромоторики (мышечного тонуса) с помощью определения силы хватки их передних лап. Затем крыс распределили по двум группам с применением принципа рандомизации таким образом, чтобы средняя масса тела животных и показатель силы хватки, определенный до начала эксперимента, статистически не различались между группами: 1-я группа ($n=13$) и 2-я группа ($n=14$) с массой тела соответственно 102±4 и 104±3 г ($p \leq 0,05$). После распределения по группам животных содержали по 2 особи в клетках из поликарбоната при 12/12-часовом режиме освещенности и температуре 25±1 °С. Животные обеих групп получали в течение 32 сут базовые изокалорийные и изоазотистые полусинтетические рационы. Состав рационов представлен в табл. 2. Воду и корм животные получали *ad libitum*. На протяжении всего эксперимента по кормлению определяли индивидуальные показатели

Таблица 2. Состав используемых полусинтетических рационов

Ингредиент	Количество, г	Белок, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность	
					ккал	%
Яичный меланж (1-я группа)	25,0	12,15	10,50	–	143,1	32,5
Коагулированный яичный меланж (2-я группа)	25,0	12,60	10,40	–	144,0	32,7
Крахмал	58,0	0,58	–	50,20	203,1	46,0
Масло подсолнечное нерафинированное	5,0	–	4,99	–	44,9	10,2
Лярд	5,0	–	4,98	–	44,8	10,2
Солевая смесь [7]	4,0	–	–	–	–	–
Смесь водорастворимых витаминов [7]	1,0	–	–	1,00	4,0	0,9
Смесь жирорастворимых витаминов [7]	0,1	–	0,10	–	–	–
Микрокристаллическая целлюлоза	2,0	–	–	–	–	–
Итого	100,1	20,78	10,45	51,20	440	100

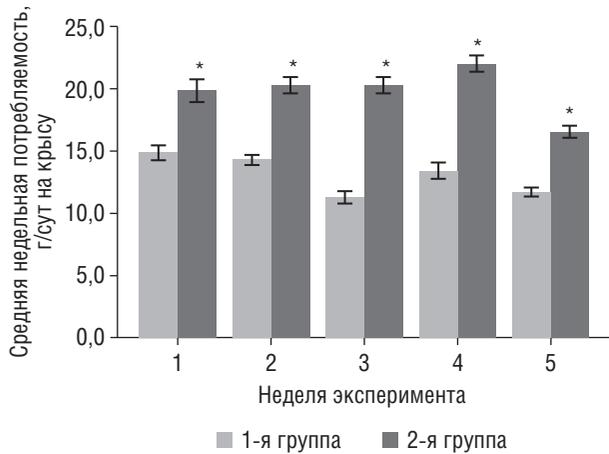


Рис. 1. Потребляемость корма (средние значения по неделям)

* – статистическая значимость отличия по сравнению с потребляемостью животными корма, содержащего яичный меланж.

поедаемости корма (через сутки) и прироста массы тела каждого животного (1 раз в неделю взвешивали животных). Суммировали потребление корма за неделю всеми животными для каждой из сравниваемых групп и рассчитывали по неделям среднюю величину потребляемости корма на 1 животное в сутки.

Физиологические методы исследования. Тест «Сила хватки» использовали для оценки состояния срединного нерва, который у крыс отвечает за хватку передних конечностей [8]. Измеряли максимальное усилие в граммах, при котором животное разжимало пальцы кистей. Силу хватки животных измеряли до начала эксперимента и затем 1 раз в неделю в течение всего эксперимента.

Истощающую беговую нагрузку моделировали, используя 5-полосную беговую дорожку «Treadmill LE 8710 R» (Panlab Harvard Apparatus, Испания) с регулируемой скоростью и наклоном [9]. В ходе эксперимента животных принуждали к бегу воздействием элек-

трического тока при помощи электрода, помещенного в нижнем конце дорожки на электрической решетке (сила тока может варьировать от 0 до 2 мА).

Измеряли общую протяженность пройденного расстояния, полное время шока для каждого животного, количество контактов с электрической решеткой, время пробега. После 7-дневной адаптации на протяжении последующих 3 сут всех животных в течение 10 мин тренировали на беговой дорожке при наклоне 0°. Минимальная скорость движения ремня беговой дорожки составляла 10 см/с, максимальная скорость – 18 см/с. Затем животных обеих групп подвергали физической нагрузке 2 дня в неделю. Продолжительность тренировок составляла 10 мин. Минимальная скорость движения ремня беговой дорожки соответствовала 12 см/с, максимальная скорость – 24 см/с. Минимальную и максимальную скорости постепенно увеличивали на 3 см/с каждую неделю, угол наклона беговой дорожки был равен нулю.

На 31-е сутки эксперимента животных подвергали физической нагрузке до полного истощения. Минимальная скорость движения ремня беговой дорожки составила 18 см/с, максимальная – 50 см/с, наклон беговой дорожки – 20°.

Биохимические методы исследования. На 32-е сутки депривированных голодом в течение ночи и подвергшихся накануне истощающей физической нагрузке животных выводили из эксперимента декапитацией под легким эфирным наркозом. Собранную после декапитации животного кровь центрифугировали в течение 15 мин при 500g, сыворотку крови хранили при -20 °С. В сыворотке крови на автоматическом анализаторе «Konelab 20i» (Thermo Scientific, Финляндия) определяли концентрацию глюкозы, триглицеридов, холестерина (ХС), липопротеинов высокой (ЛПВП) и низкой плотности (ЛПНП) [10].

Статистическую обработку полученных результатов проводили с применением пакета программ SPSS Statistics 20 (IBM, США), используя непараметрический

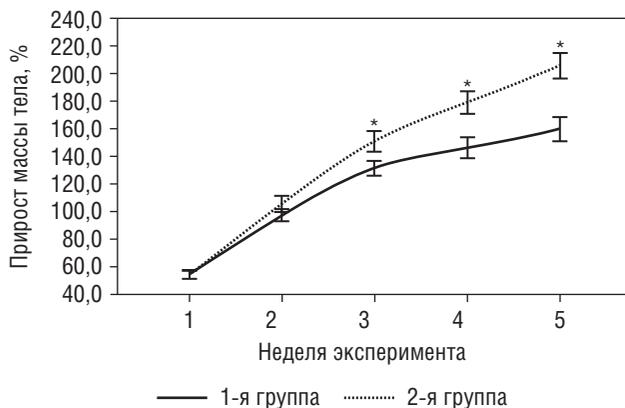


Рис. 2. Прирост массы тела животных в течение эксперимента

* – статистическая значимость отличия по сравнению с приростом массы тела животных, потреблявших яичный меланж.

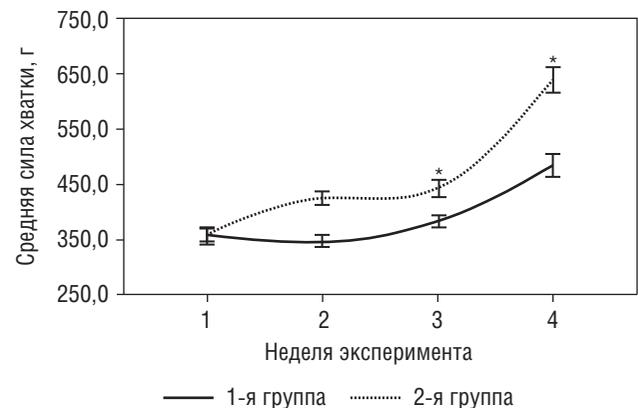


Рис. 3. Изменения показателя силы хватки в течение эксперимента

* – статистически значимые отличия от показателя силы хватки у животных, потреблявших яичный меланж.

ранговый критерий Мана–Уитни и критерий Стьюдента. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05. Вычисляли среднее значение (M), стандартное отклонение (SD) и стандартную ошибку среднего (m). Данные представлены как $M \pm m$.

Результаты и обсуждение

Общее состояние всех животных по внешнему виду, качеству шерстного покрова и поведению при ежедневном осмотре на протяжении всего эксперимента было удовлетворительным. На рис. 1 представлен график временной зависимости величины (средней по группе) суточной потребляемости корма в расчете на 1 животное.

Средняя поедаемость животными корма, содержащего КЯМ, была статистически значимо выше на протяжении всего эксперимента по сравнению с животными, получавшими ЯМ ($p < 0,05$). Большему потреблению животными корма, содержащего КЯМ, соответствовал прирост их массы тела, который начиная с 3-й недели эксперимента достоверно превысил увеличение массы тела животных, потреблявших ЯМ (рис. 2).

Увеличение потребляемости пищи, содержащей КЯМ, оказало выраженное положительное влияние на физическую выносливость животных, оцениваемую в тесте «Сила хватки». На следующем графике приведены кривые изменения показателя силы хватки в зависимости от времени эксперимента (рис. 3).

При тестировании начиная со 2-й недели эксперимента показатель силы хватки был значимо выше у животных, получавших КЯМ. При этом следует отметить, что если за 21 день этот показатель для крыс, потреблявших корм, содержащий ЯМ, увеличился на 26%, то для крыс, потреблявших КЯМ, сила хватки увеличилась значительно – на 42%.

В динамике данный тест дополнительно позволяет оценивать снижение и повышение статического компонента неспецифической выносливости (статическая выносливость, определяется как способность к поддержанию вынужденной позы в условиях малой подвижности и, как правило, в ограниченном пространстве).

Более благоприятное влияние потребления КЯМ на устойчивость крысы к истощающей физической нагрузке (по сравнению с потреблением ЯМ) подтверждают данные, представленные в табл. 3. Потребление животными КЯМ увеличивало продолжительность бега и пройденную дистанцию до наступления истощения по сравнению с аналогичными показателями для животных, получавших ЯМ.

Истощающая физическая нагрузка не привела к патологическим отклонениям липидного профиля крови, показатели которого у крыс обеих групп соответствовали норме для животных данного вида и возраста. В пределах нормы у крыс, потреблявших КЯМ, была статистически значимо снижена концентрация ЛПНП и повышен уровень триглицеридов (табл. 4).

Таблица 3. Результаты истощающей физической нагрузки

Показатель	Группа животных	
	1-я	2-я
Общее время бега, мин	24,8±2,5	33,8±1,4*
Дистанция, м	365±50	557±35*
Время шока, с	19±3	29±5

Примечание. * – статистически значимые отличия от показателя животных, потреблявших яичный меланж.

Таблица 4. Биохимические показатели крови (ммоль/л)

Показатель	Группа животных	
	1-я	2-я
Глюкоза	4,8±0,3	7,0±0,2*
Холестерин	2,3±0,1	2,0±0,1
Триглицериды	1,13±0,08	1,80±0,15*
ЛПВП	0,74±0,03	0,74±0,03
ЛПНП	0,41±0,05	0,26±0,02*

Примечание. * – статистически значимые отличия от показателя животных, потреблявших яичный меланж. Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Концентрация глюкозы крови у физически истощенных животных, получавших КЯМ, была статистически значимо выше по сравнению с этим показателем для животных, получавших ЯМ, по-видимому, вследствие значительно большей физической нагрузки. Поскольку при интенсивной мышечной работе глюкоза подвергается анаэробному гликолизу с образованием лактата, поступающего с током крови в печень как место скопления ферментов глюконеогенеза, то синтез глюкозы из лактата и, соответственно, уровень глюкозы в крови возрастают.

Заключение

Совокупность полученных данных подтвердила высокую пищевую ценность КЯМ, полученного с использованием технологии кислотно-солевого гидролиза и теплового нагрева. Потребление в составе рациона КЯМ растущими крысами-самцами линии Вистар значительно эффективнее увеличивало их ростовые показатели и физическую выносливость по сравнению с потреблением животными рациона с некоагулированным меланжем.

Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования КЯМ в качестве ФПИ в составе СПП, способствующих повышению физической выносливости и работоспособности.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-16-04047).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Стефанова Изабелла Львовна (*Stefanova Izabella L.*) – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии детских и специальных продуктов ВНИИПП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (р.п. Ржавки, Солнечногорский район, Московская область, Россия)

E-mail: dp.vniipp@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4394-5149>

Гущин Виктор Владимирович (*Gushchin Viktor V.*) – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель ВНИИПП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (р.п. Ржавки, Солнечногорский район, Московская область, Россия)

E-mail: victor@dinfo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5771-1642>

Зорин Сергей Николаевич (*Zorin Sergey N.*) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: zorin@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2689-6098>

Мазо Владимир Кимович (*Mazo Vladimir K.*) – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии детских и специальных продуктов ВНИИПП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»» РАН (р.п. Ржавки, Солнечногорский район, Московская область, Россия)

E-mail: mazo@ion.ru

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

Литература

- Kim J.E., Gordon S.L., Ferruzzi M.G., Campbell W.W. Effects of egg consumption on carotenoid absorption from co-consumed, raw vegetables // *Am. J. Clin. Nutr.* 2015. Vol. 102, N 1. P. 75–83. doi: 10.3945/ajcn.115.111062
- Сидорова Ю.С., Мазо В.К., Зорин С.Н., Стефанова И.Л. Оценка биологической ценности и антигенности коагулированного белка куриного яйца // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87, № 1. С. 44–50.
- Стефанова И.Л., Шахназарова Л.В., Клименкова А.Ю., Крассюков Ю.Н. Исследование процесса коагуляции меланжа и качественных характеристик получаемого продукта // *Птица и птицепродукты.* 2017. № 5. С. 49–52.
- Стефанова И.Л., Борисова В.Л., Кузнецова Т.Г. Влияние уровня введения меланжа коагулированного на органолептические показатели полуфабрикатов куриных для питания беременных женщин // *Птица и птицепродукты.* 2016. № 4. С. 55–58.
- Стефанова И.Л., Кузнецова Т.Г., Лазорев А.А., Борисова В.Л. Влияние введения меланжа на аромат куриных полуфабрикатов для питания беременных женщин // *Мясная индустрия.* 2016. № 9. С. 48–51.
- Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Шипелин В.А., Петров Н.А., Кочеткова А.А. Полифенольные растительные экстракты: влияние на нарушения углеводного и липидного обмена у лабораторных грызунов // *Пробл. эндокринолог.* 2016. Т. 62, № 4. С. 38–44.
- Сидорова Ю.С., Зорин С.Н., Петров Н.А., Макаренко М.А., Саркисян В.А., Мазо В.К. и др. Физиолого-биохимическая оценка обогащения рациона крыс докозагексаеновой кислотой и астаксантином // *Вопр. питания.* 2015. Т. 84, № 5. С. 46–55.
- Апратин С.А., Шипелин В.А., Сидорова Ю.С., Петров Н.А., Гмошинский И.В., Никитюк Д.Б. Межвидовые различия поведенческих реакций и нейромоторики лабораторных грызунов, получающих рационы с легкоусвояемыми углеводами // *Бюл. экспер. биол.* 2018. Т. 165, № 1. С. 9–14.
- Сидорова Ю.С., Шипелин В.А., Зорин С.Н., Мазо В.К., Петров Н.А., Кочеткова А.А. Влияние индуцированной стрептозотоцином гипергликемии на уровень тревожности и физическую выносливость у крыс линии Вистар // *Вопр. питания.* 2015. Т. 84, № 6. С. 38–45.
- Sidorova Yu., Shipelin V., Mazo V., Zorin S., Petrov N., Kochetkova A. Hypoglycemic and hypolipidemic effect of Vaccinium myrtillus L. Leaf and Phaseolus vulgaris L. Seed coat extracts in diabetic rats // *Nutrition.* 2017. Vol. 41. P. 107–112.

References

- Kim, J.E., Gordon, S.L., Ferruzzi, M.G., Campbell, W.W. Effects of egg consumption on carotenoid absorption from co-consumed, raw vegetables. *Am J Clin Nutr.* 2015; 102 (1): 75–83. doi: 10.3945/ajcn.115.111062
- Sidorova Yu.S., Mazo V.K., Zorin S.N., Stefanova I.L. The evaluation of biologic value and antigenicity of hen egg coagulated protein. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2018; 87 (1): 44–50. (in Russian)
- Stefanova I.L., Shahnazarova L.V., Klimenkova A.Yu., Krasnyukov Yu.N. The research of mйlange coagulation process and the quality characteristics of obtained product. *Ptitsa i ptitseprodukty [Poultry and Poultry Products].* 2017; (5): 49–52. (in Russian)
- Stefanova I.L., Borisova V.L., Kuznetsova T.G. The impact of the quantity of coagulated mйlange included into the chicken processed food for pregnant on their organoleptic properties. *Ptitsa i ptitseprodukty [Poultry and Poultry Products].* 2016; 4: 55–8. (in Russian)
- Stefanova I.L., Kuznetsova T.G., Lazorev A.A., Borisova V.L. The impact of mйlange inclusion on the flavor of chicken processed food for pregnant. *Myasnaya industriya [Meat Industry].* 2016; (9): 48–51. (in Russian)
- Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Shipelin V.A., Petrov N.A., Kochetkova A.A. Polyphenol plant extracts: the impact on carbohydrate

- and lipid metabolism disorders in laboratory rodents. *Problemy endokrinologii* [Problems of Endocrinology]. 2016; 62 (4): 38–44. (in Russian)
7. Sidorova Yu.S., Zorin S.N., Petrov N.A., Makarenko M.A., Sarkisyan V.A., Mazo V.K., et al. Physiological and biochemical evaluation of the enrichment of rats diets with docosahexaenoic acid and astaxanthin. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2015; 84 (5): 46–55. (in Russian)
 8. Apryatin S.A., Shipelin V.A., Sidorova Yu.S., Petrov N.A., Gmshinskiy I.V., Nikityuk D.B. Interspecific differences in behavioral responses and neuromotorics between laboratory rodents receiving rations with easily digested carbohydrates. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2018; 165 (1): 9–14. (in Russian)
 9. Sidorova Yu.S., Shipelin V.A., Zorin S.N., Mazo V.K., Petrov N.A., Kochetkova A.A. The impact of streptozotocin-induced hyperglycemia on anxiety level and physical endurance of Wistar rats. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2015; 84 (6): 38–45. (in Russian)
 10. Sidorova Yu., Shipelin V., Mazo V., Zorin S., Petrov N., Kochetkova A. Hypoglycemic and hypolipidemic effect of *Vaccinium myrtillus* L. Leaf and *Phaseolus vulgaris* L. Seed coat extracts in diabetic rats. *Nutrition*. 2017; 41: 107–12.

Для корреспонденции

Федулова Лилия Вячеславовна – кандидат технических наук, заведующая экспериментальной клиникой-лабораторией биологически активных веществ животного происхождения ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
 Адрес: 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26
 Телефон: (495) 676-95-11
 E-mail: l.fedulova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3573-930X>

Федулова Л.В., Зверев С.В., Котенкова Е.А., Василевская Е.Р.

Изучение растительных белковых продуктов из сои и безалкалоидного люпина сорта Дега в эксперименте *in vivo*

In vivo study of plant protein products from soybeans and non-alkaloid lupine Dega variety

Fedulova L.V., Zverev S.V.,
Kotenkova E.A., Vasilevskaya E.R.

ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия
 V.M. GorbatoV Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Научные исследования по поиску дополнительных источников растительного белка в качестве альтернативы сое показали большую перспективу использования люпина. Исследование биологических эффектов муки безалкалоидного люпина сорта Дега позволит оценить дальнейшие перспективы его применения в промышленности.

Цель – сравнительное изучение белковых продуктов (муки сои и муки безалкалоидного люпина сорта Дега) при введении их в рацион лабораторным крысам.

Материал и методы. Эксперимент продолжительностью 28 сут проводили на 3 группах животных линии Вистар ($n=30$, 210 ± 5 г): 1-я группа – крысы, потреблявшие стандартный рацион вивария (контроль); 2-я и 3-я группы состояли из животных, в стандартный рацион которых дополнительно вводили муку семян люпина (содержание белка – 42,1%) и муку сои (содержание белка – 50,2%), замещающая 26 и 23% белка стандартного рациона соответственно.

Результаты. В результате эксперимента были отмечены колебания массы тела крыс 2-й и 3-й групп начиная с 11-х суток. Прибавка массы тела экспериментальных животных в конце эксперимента составила у крыс 1-й группы 7,74%, 2-й и 3-й групп – 3,32 и 2,04%, что, возможно, обусловлено пищевой адаптацией организма к основным нутриентам белковых продуктов. Анализ крови показал незначительные изменения со стороны морфологических и биохимических показателей в пределах физиологических референтных значений. При потреблении муки люпина у крыс относительно контроля наблюдалось недостоверное увеличение количества лейкоцитов (на 14,2%) и лимфоцитов (на 24,5%), повышение активности некоторых ферментов (аспартатаминотрансферазы на 18,4%, аланинаминотрансферазы на 26,2% и лактатдегидрогеназы на 21,6%, $p \geq 0,05$) при снижении активности щелочной фосфатазы (на 14,4%, $p < 0,05$). При введении в рацион муки сои у крыс показано статистически

Для цитирования: Федулова Л.В., Зверев С.В., Котенкова Е.А., Василевская Е.Р. Изучение растительных белковых продуктов из сои и безалкалоидного люпина сорта Дега в эксперименте *in vivo* // Вопр. питания. 2019. Т. 88, № 2. С. 24–31. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10014. **Статья поступила в редакцию** 21.01.2019. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Fedulova L.V., Zverev S.V., Kotenkova E.A., Vasilevskaya E.R. *In vivo* study of plant protein products from soybeans and non-alkaloid lupine Dega variety. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 24–31. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10014. (in Russian)

Received 21.01.2019. **Accepted** 13.03.2019.

значимое увеличение содержания смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (на 57,1% относительно контроля и на 83,3% относительно показателей крыс 2-й группы) при снижении относительного содержания гранулоцитов (на 15,1% относительно контроля).

Заключение. Включение белковых продуктов в рацион крыс не вызывало значимых изменений физиологических (характер двигательной активности), биохимических, гематологических параметров у экспериментальных животных. Однако выявленные особенности у животных опытных групп, возможно, связанные с наличием в составе муки сои и люпина биологически активных веществ и антиалиментарных факторов, свидетельствуют о необходимости совершенствования технологических подходов к производству белковых продуктов из люпина для повышения функциональных характеристик и полного удаления веществ, ухудшающих усвоение нутриентов. Возможным решением является протеолиз белков люпина, применение различных методов фракционирования, выделения и очистки в сочетании с предварительной обработкой для получения белковых концентратов или изолятов с улучшенными пищевыми, технологическими и функциональными свойствами.

Ключевые слова: зерно люпина, соевая мука, алкалоидность, крысы

Research on finding additional sources of vegetable protein as an alternative to soy has shown a great prospect of using lupine. The study of biological effects of flour of non-alkaloid lupine Dega variety will assess the future prospects for its use in food industry.

The aim – a comparative study of protein products – soybean flour and non-alkaloid lupine flour (Dega-1 variety), added to laboratory rats' diet.

Material and methods. Experiment was carried out on three groups of Wistar rats ($n=30$, 210 ± 5 g) for 28 days: 1st group – rats that consumed the standard vivarium diet (control); 2nd group and 3rd group – animals, that consumed standard diet with addition of lupine flour (protein content – 42.1%) and soy flour (protein content – 50.2%), replacing 26 and 23% protein in standard diet, respectively.

Results. As a result of the experiment, fluctuations in body weight of rats in 2nd group and 3rd group were observed from the 11th day; the weight gain of rats in 1st group was 7.74%, 2nd group and 3rd group – 3.32 and 2.04%. Noted changes could be explained by food adaptation of organism to the main nutrients of protein products. The blood test showed minor changes in the hematological and biochemical parameters within physiological reference values. Consumption of lupine flour led to a slight increase of leukocytes (by 14.2%) and lymphocytes (by 24.5%), an increase in the activity of certain enzymes (aspartate aminotransferase by 18.4%, alanine aminotransferase by 26.2% and lactate dehydrogenase by 21.6%, $p \geq 0.05$), while alkaline phosphatase activity decreased (14.4%, $p < 0.05$) in comparison with control. Incorporation of soy flour into the diet of rats showed a statistically significant increase in the concentration of monocytes, eosinophils, basophils and immature cells (by 57.1% in comparison with 1st group and 83.3% in comparison with 2nd group), while relative content of granulocytes reduced (by 15.1% relative to the control).

Conclusion. The inclusion of plant proteins into the rat's diet did not cause significant deviations in physiological (motor activity), biochemical, hematological parameters in experimental animals. However, the identified features in animals of the experimental groups, possibly related to biologically active substances and anti-alimentary factors in soybean and lupine, indicate the need to improve technological approaches to lupine protein products production in order to improve functional characteristics and completely remove substances that deteriorate nutrients absorption. A possible solution is lupine proteins' proteolysis, the use of various methods of fractionation, isolation and purification in combination with pretreatment to obtain protein concentrates or isolates with improved nutritional, technological and functional properties.

Keywords: lupine seed, soy flour, alkaloids, rats

Бобовые культуры являются важным компонентом рациона питания населения, на их долю приходится порядка 20% мирового потребления белка, причем большую часть составляют соевые бобы [1]. Потребление сои в Российской Федерации достигает 3 млн тонн в год, из них около половины импортируется, поскольку возможности внутреннего производства сои в стране ограничены из-за малого количества почвенно-клима-

тических зон ее эффективного выращивания. По этой причине постоянно предпринимаются попытки найти сое приемлемую альтернативу. В качестве таковой уже не один десяток лет продвигается люпин, который по содержанию белка немногим уступает сое, но имеет районы произрастания, существенно сдвинутые к северу, при этом выход белка с гектара у него в 1,5 раза выше [2].

Таблица 1. Физико-химические характеристики исследуемых объектов

Показатель	Мука люпина	Мука соевая
Влажность, %	8,4	11,8
Белок, %	42,1	50,2
В том числе Σ НАК, г на 100 г белка	13,2	17,0
Жир, %	11,0	9,2
В том числе Σ ПНЖК, г на 100 г жира	60,6	61,5
Углеводы, %	36,8	25,4
В том числе:		
сахароза, г/100 г углеводов	3,5	7,6
клетчатка, %	16,6	3,4
Минеральные вещества:		
кальций, %	0,16	0,15
фосфор, %	0,50	0,72
селен, мг/кг	1,78	0,60
Витамины:		
витамин Е, мкг/г	28,87	2,08
каротиноиды, мкг/г	31,92	6,02
Общее содержание алкалоидов, %	>0,02	–

Примечание. Σ НАК – сумма незаменимых аминокислот; Σ ПНЖК – сумма полиненасыщенных жирных кислот.

В настоящий момент в Российской Федерации культивируют 3 вида люпина: желтый, белый и люпин узколистный, при этом сорта люпина принято делить на безалкалоидные (до 0,025%), малоалкалоидные (0,025–0,1%) и алкалоидные (>0,1%). В пищевой промышленности и кормопроизводстве применяют мало- и безалкалоидные сорта. Белый люпин привлекает внимание из-за высокого содержания белка и сбалансированности аминокислот при низком содержании алкалоидов [3]. Кроме того, многочисленными исследованиями показано, что белый люпин может служить источником пищевых и биоактивных компонентов [4]. Так, в ядрах люпина содержится порядка 40% пищевых волокон, что превышает показатели большинства других бобовых [5]. Показан позитивный эффект полисахаридов белого люпина, в частности выявлено, что α-галактозиды люпина предотвращают рост и развитие потенциально патогенных бактерий [6]. Получены данные о значительном содержании в люпине белом высокоактивных ингибиторов протеаз, подавляющих канцерогенные и воспалительные процессы в желудочно-кишечном тракте [7]. продемонстрированы гипополипидемический эффект *in vivo*

Таблица 2. Пищевая ценность рационов экспериментальных животных

Показатель	Содержание, г/100 г		
	СРВ	СРВ + Л	СРВ + С
Белок	16,7	19,8	19,6
Жиры	4,1	4,9	4,5
Углеводы	43,2	37,9	39,6
Клетчатка	4,9	4,5	4,8
Неорганические вещества	7,2	6,6	6,9
Энергетическая ценность, ккал/100 г	276,4	275,5	277,2

Здесь и в табл. 3–6: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

белковых изолятов белого люпина, характеризующийся снижением концентрации холестерина и нормализацией профиля липопротеинов в крови, а также гипогликемическое действие за счет позитивного влияния на углеводный обмен [8–10], что было подтверждено данными об инсулинсвязывающих свойствах основных белковых компонентов семян люпина – конглютинов (в частности белка γ-конглютина) [11]. Таким образом, люпин является ценным источником растительных белков, в том числе оказывающих биологические эффекты. Однако основными лимитирующими факторами широкого использования люпина в Российской Федерации являются содержащиеся в нем токсические вторичные метаболиты: люпанин, люпинидин, гидроксилупанин и др. [2, 12]. К настоящему времени разработана технология производства продуктов первичной переработки безалкалоидного люпина сорта Дега в виде муки, крупки, хлопьев для использования в производстве мясных продуктов, хлебобулочных и макаронных изделий и т.п. для повышения пищевой ценности и увеличения ассортимента аглютиновых диетических продуктов [13].

Цель работы – сравнительное изучение белкового соевого продукта и белкового продукта из безалкалоидного люпина сорта Дега при введении их в рацион лабораторным животным.

Материал и методы

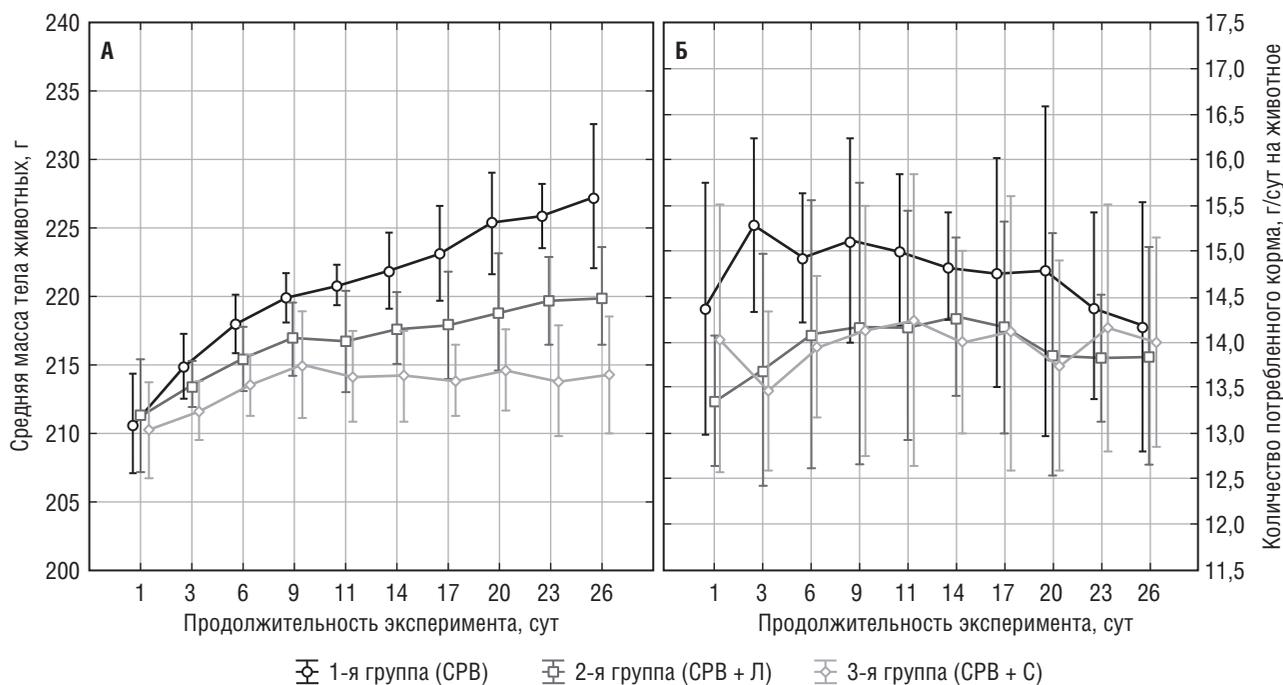
Объектами исследования являлись мука люпина белого сорта Дега (ВНИИЗ, Россия) и мука соевая («Партнер-М», Россия), данные по физико-химическому составу образцов представлены в табл. 1. В процессе производства белковых продуктов растительное сырье не подвергалось тепловому воздействию.

Исследование проводили на лабораторных крысах-самцах линии Вистар с исходной массой тела 210±5 г (n=30), полученных из филиала «Андреевка» ФГБУ «НЦБМТ» РАМН (Московская область, п. Андреевка). В период карантина (14 сут) и проведения эксперимента (28 сут) животных содержали в стандартных условиях вивария при свободном доступе к воде и пище в клетках типа IV S (Tecniplast, Италия).

Для проведения эксперимента животные были произвольно распределены на 3 группы (n=10): 1-я группа состояла из контрольных животных, потребляющих на протяжении всего эксперимента стандартный рацион вивария (СРВ); животным 2-й и 3-й групп в рацион дополнительно вводили муку безалкалоидного люпина сорта Дега (СРВ + Л) и соевую муку (СРВ + С), замещая 27,7 и 23,5% белка стандартного рациона соответственно.

Содержание основных пищевых компонентов использованных рационов представлено в табл. 2.

Каждые 3-и сутки животных всех групп осматривали и взвешивали с помощью электронных технических весов «Ohaus» (Adventurer Pro, США) с точностью ±0,1 г. Изучение ориентировочно-исследовательского поведе-



Динамика массы тела животных (А) и потребления корма (Б) в течение эксперимента

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

ния животных проводили на установке «Открытое поле» (НПК «Открытая наука», Россия) за 1 сут до начала и на 27-е сутки эксперимента, регистрировали вертикальную и горизонтальную двигательную активность, норковый рефлекс.

На 28-е сутки эксперимента после усыпления животных в камере для эвтаназии с помощью углекислого газа (VetTech, Великобритания) брали кровь из правого желудочка сердца в стеклянные пробирки без антикоагулянта и пластиковые пробирки с EDTA (Aquisel, Испания). Также определяли абсолютную массу печени, левой почки, селезенки, сердца путем взвешивания на электронных весах с точностью $\pm 0,001$ г (Acculab Vicon, США). Общее клиническое исследование проб цельной крови проводили на автоматическом ветеринарном гематологическом анализаторе «Abacus junior vet 2.7» (Diatron Messtechnik GmbH, Австрия), используя наборы реактивов Diatron. Биохимические исследования сыворотки крови, полученной по [14], проводили на анализаторе «BioChem SA» (НТИ, США), используя наборы реактивов НТИ.

Содержание, питание, уход и выведение животных из эксперимента осуществляли в соответствии с требованиями российских и зарубежных нормативных актов – приказа Минздрава России от 01.04.2016 № 199н «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики», Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

Полученные данные обрабатывали с помощью программного обеспечения SPSS Statistics 17.0, использовали *t*-критерий Стьюдента и критерий Манна–Уитни при

нормальном и отличающемся от нормального распределении параметров. Математическая обработка данных включала расчет средних значений со стандартными ошибками ($M \pm m$). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Состояние животных всех групп на протяжении всего эксперимента находилось в пределах физиологической нормы. Наблюдение за динамикой изменения массы тела крыс в ходе эксперимента (см. рис. А) показало, что животные контрольной (1-й) группы стабильно увеличивали массу тела в течение всего эксперимента, в среднем по 3 г/сут. Масса тела крыс 2-й и 3-й групп

Таблица 3. Показатели ориентировочно-исследовательского поведения и двигательной активности крыс, получавших разные рационы

Группа животных	Двигательная активность, с		Норковый рефлекс, с
	горизонтальная	вертикальная	
<i>До начала эксперимента</i>			
1-я (CPV)	48,5 \pm 6,5	13,4 \pm 3,2	9,6 \pm 1,3
2-я (CPV + Л)	51,0 \pm 2,8	12,9 \pm 1,9	10,9 \pm 2,0
3-я (CPV + С)	49,7 \pm 4,3	12,6 \pm 2,4	11,2 \pm 2,3
<i>27-е сутки эксперимента</i>			
1-я (CPV)	36,6 \pm 1,4	10,3 \pm 1,6	7,1 \pm 0,4
2-я (CPV + Л)	38,3 \pm 3,1	8,6 \pm 2,2	5,1 \pm 1,2*
3-я (CPV + С)	43,1 \pm 5,4	7,1 \pm 3,5	6,3 \pm 0,8

Примечание. * – статистически значимое отличие от показателя животных 1-й группы.

Таблица 4. Гематологические показатели экспериментальных животных

Показатель	Норма [15]	Группа животных		
		1-я (СРВ)	2-я (СРВ + Л)	3-я (СРВ + С)
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	6,76–9,75	8,35 \pm 0,28	8,24 \pm 0,22	7,96 \pm 0,31
Лимфоциты, $\times 10^9/л$	4,78–9,12	6,12 \pm 0,78	7,62 \pm 0,88	6,47 \pm 0,76
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	6,6–12,6	8,51 \pm 0,92	9,72 \pm 0,84	8,74 \pm 0,16
Гранулоциты, $\times 10^9/л$	1,77–3,38	2,07 \pm 0,32	2,04 \pm 0,19	1,89 \pm 0,47
Содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток, $\times 10^9/л$	0,02–0,15	0,07 \pm 0,02	0,06 \pm 0,01	0,11 \pm 0,04*
Тромбоциты, $\times 10^9/л$	631–820	770 \pm 55	711 \pm 39	731 \pm 43
Лимфоциты, %	57,5–83,6	74,6 \pm 8,1	77,6 \pm 5,6	74,1 \pm 6,6
Гемоглобин, г/л	115–161	150 \pm 3	147 \pm 6	140 \pm 6
Гранулоциты, %	20–28	26,5 \pm 1,2	25,8 \pm 2,3	22,5 \pm 2,3*
Моноциты, %	0,5–2,9	0,58 \pm 0,03	0,66 \pm 0,09	0,93 \pm 0,07*
Гематокрит, %	37,6–50,6	39,0 \pm 0,7	39,5 \pm 1,8	37,6 \pm 1,4
Тромбокрит, %	–	0,49 \pm 0,05	0,48 \pm 0,07	0,44 \pm 0,08
Средний объем эритроцита, мкм ³	–	43,3 \pm 0,9	44,3 \pm 1,0	42,3 \pm 1,3
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, ммоль/л	–	18,0 \pm 0,5	18,0 \pm 0,8	17,9 \pm 0,5
Средний объем тромбоцита, мкм ³	–	6,01 \pm 0,30	6,22 \pm 0,39	6,04 \pm 0,21
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах, г/л	–	419 \pm 3	414 \pm 5	417 \pm 6
Ширина распределения эритроцитов, %	–	16,1 \pm 0,5	16,3 \pm 1,1	17,1 \pm 1,0
Распределение тромбоцитов	–	33,8 \pm 0,4	33,7 \pm 0,7	32,5 \pm 0,5

Примечание. * – статистически значимое отличие от показателя животных 1-й группы.

возрастала в среднем по 2 г/сут с 1-х по 11-е сутки эксперимента, впоследствии выявлено снижение массы тела крыс 2-й группы до 14-х суток, 3-й группы – вплоть до 17-х суток (не более 1,5 г). Дальнейшее наблюдение показало стабилизацию массы тела экспериментальных животных 2-й и 3-й групп. Поедаемость корма в течение эксперимента в среднем для животных 1-й группы составляла 12,3–13,6 г/сут на крысу, 2-й группы – 12,5–13,1 г/сут, 3-й группы – 12,1–12,9 г/сут (см. рис. Б). Статистически значимых изменений потребления корма животными всех групп не выявлено. В целом к концу эксперимента прибавка массы тела относительно начальной у крыс 1-й группы составила 7,74%, у животных 2-й группы – 3,32%, у крыс 3-й группы – 2,04%.

У животных, потреблявших соевую и люпиновую муку, в первые 10 сут эксперимента отмечена схожая тенденция к увеличению массы тела, дальнейшие колебания массы тела крыс начиная с 11-х суток, возможно, связаны с включением в рацион экспериментального растительного белка и последующей пищевой адаптации организма.

При тестировании ориентировочно-исследовательского поведения было показано, что до начала эксперимента животные всех групп при помещении в центр установки проявляли нормальную локомоторную активность. Изменений в характере двигательной активности на 27-е сутки не отмечено, снижение исследовательского поведения, проявляющегося как норковый рефлекс, к концу эксперимента можно связать с привыканием животных к экспериментальной установке и переходу их к патрулированию знакомой территории (табл. 3).

Гематологическое исследование выявило, что показатели крыс всех групп (табл. 4) не выходили за границу физиологической нормы для данного вида животных, возраста и пола. У животных 2-й группы относительно контроля отмечено увеличение количества лейкоцитов (на 14,2%) и лимфоцитов (на 24,5%), не достигающее, однако, уровня статистической значимости. У животных 3-й группы выявлено статистически значимое увеличение содержания смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (на 57,1% и на 83,3% по сравнению с показателями крыс 1-й и 2-й групп) за счет увеличения относительного содержания моноцитов (на 60,3% и на 40,9% по сравнению со значениями крыс 1-й и 2-й групп) на фоне снижения относительного содержания гранулоцитов (на 15,1% по сравнению с показателями крыс 1-й группы). Достоверных различий между остальными анализируемыми показателями у крыс экспериментальных групп не отмечено.

При биохимическом исследовании сыворотки крови животных опытных групп выявлены некоторые отличия от показателей крыс контрольной группы. У крыс 2-й группы отмечено снижение активности щелочной фосфатазы на 14,4% ($p < 0,05$) на фоне повышения активности аспаратаминотрансферазы на 18,4%, аланинаминотрансферазы на 26,2% и лактатдегидрогеназы на 21,6%, не достигающего уровня статистической значимости. У крыс 3-й группы отмечено уменьшение уровня креатинина на 9,2% ($p < 0,05$) при недостоверном увеличении активности аланинаминотрансферазы на 24,9% и щелочной фосфатазы на 15,2% (табл. 5). Также у животных 3-й группы при сравнении с показателями крыс 2-й группы отмечены повышенная активность

Таблица 5. Биохимические показатели сыворотки крови экспериментальных животных

Показатель	Норма [15]	Группа животных		
		1-я (СРВ)	2-я (СРВ + Л)	3-я (СРВ + С)
Общий белок, г/л	50,0–80,0	62,1±2,6	60,5±3,7	60,6±2,1
Альбумин, г/л	30,0–50,0	31,9±1,4	32,0±1,4	32,4±1,4
Креатинин, мкмоль/л	9,0–70,0	48,0±1,1	45,9±1,7	43,6±1,6*
Мочевина, ммоль/л	4,3–8,6	5,1±0,5	5,6±0,4	5,7±0,7
Билирубин общий, мкмоль/л	0–8,5	2,46±0,18	2,68±0,23	2,74±0,41
Активность аспартатаминотрансферазы, Ед/л	20,0–110,0	91,2±6,7	108,0±11,9	92,6±9,1
Активность аланинаминотрансферазы, Ед/л	10,0–80,0	44,2±5,1	55,8±5,2	55,2±4,6
Активность щелочной фосфатазы, Ед/л	70,0–450,0	106,1±7,2	90,8±6,6*	122,2±10,3#
Активность γ -глутамилтрансферазы, Ед/л	0–4,0	3,01±0,36	2,99±0,47	3,21±0,45
Активность лактатдегидрогеназы, Ед/л	50,0–700,0	140,0±10,7	170,2±35,0	136,6±13,1
Калий, ммоль/л	4,0–6,0	4,81±0,21	5,20±0,41	5,12±0,58
Натрий, ммоль/л	130,0–152,0	130,8±2,9	134,0±3,2	131,8±1,7
Холестерин, ммоль/л	0,5–2,8	1,61±0,29	1,72±0,16	1,81±0,27
Триглицериды, ммоль/л	0,6–2,3	1,32±0,28	0,96±0,21	1,37±0,12

Примечание. Статистически значимое отличие от показателя животных: * – 1-й группы; # – 2-й группы.

щелочной фосфатазы (34,6%, $p < 0,05$) и снижение активности аспартатаминотрансферазы и лактатдегидрогеназы (на 14,3 и 19,7% при $p > 0,05$). Остальные показатели не отличались от контроля и не выходили за границы физиологической нормы.

Возможно, изменения показателей крови крыс, потреблявших муку люпина, а именно: недостоверное увеличение количества лейкоцитов и лимфоцитов, повышение ферментативной активности (аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза и лактатдегидрогеназа) при статистически значимом снижении активности щелочной фосфатазы, – связаны с неблагоприятным воздействием на метаболизм азота глобулинов данного сорта люпина [16]. Однако стоит отметить, что вышеописанные изменения незначительны и находятся в пределах физиологических референтных значений.

При патологоанатомическом исследовании животных не обнаружено проявлений воспалительных патологических процессов во внутренних органах: в пищеварительном тракте, поджелудочной железе и печени, дыхательной системе, органах кровообращения и кроветворения, мочевыделительной системе. У контрольных животных печень и селезенка имели однородный бордовый цвет и упругую консистенцию, у животных, которым вводили исследуемые добавки, печень была несколько уменьшена в размерах, полнокровна, однородного цвета, упругой консистенции. Почки однородного

цвета, упругие, эластичные. Статистически значимых изменений со стороны относительной массы анализируемых внутренних органов не отмечено. Однако стоит отметить, что у крыс 2-й группы выявлено не достигающее уровня статистической значимости увеличение относительной массы почки на 18,5% и уменьшение массы печени на 7,3% (табл. 6).

Обсуждение

Таким образом, включение в рацион крыс белковых продуктов (муки безалкалоидного люпина сорта Дега и соевой муки) в течение 28 сут не вызывает выраженных изменений со стороны показателей массы тела, относительной массы внутренних органов, а также ориентировочно-исследовательского поведения, морфологических и биохимических показателей крови. При этом выявлены некоторые особенности у животных опытных групп, возможно, связанные с наличием в составе муки сои и люпина биологически активных веществ и антиалиментарных факторов. Невысокие показатели прироста массы тела крыс при включении исследуемых образцов согласуются с ранее полученными данными [9], свидетельствующими о том, что белковая фракция люпина может влиять на сытость и снижать потребление энергии. Также это может быть связано с наличием в соевой и люпиновой муке ингибитора трипсина

Таблица 6. Относительная масса внутренних органов лабораторных животных в конце эксперимента

Группа животных	Относительная масса внутреннего органа, %			
	селезенка	почка	печень	сердце
1-я (СРВ)	0,22±0,02	0,27±0,04	3,42±0,16	0,34±0,03
2-я (СРВ + Л)	0,21±0,05	0,32±0,03	3,17±0,20	0,33±0,02
3-я (СРВ + С)	0,23±0,03	0,29±0,02	3,23±0,14	0,30±0,05

Кунитца, снижающего перевариваемость белка рациона. Снижение прибавки массы тела у крыс 3-й и 2-й групп в 3,8 и 2,3 раза относительно значений крыс контрольной группы можно объяснить тем, что содержание ингибиторов трипсина в соевом шроте значительное и находится на уровне 3,0–3,5 г/кг, тогда как в разных сортах люпина не превышает 0,2 г/кг [17].

Отмеченные изменения гематологических показателей (в пределах нормальных физиологических отклонений), характеризующиеся у животных 2-й группы недостоверным увеличением содержания лейкоцитов и лимфоцитов, у крыс 3-й группы – статистически значимым увеличением содержания смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток за счет моноцитов и снижения гранулоцитов, не зафиксированы в других работах. Между тем общеизвестно, что некоторые растительные белки являются иммунореактивными. Так, в исследованиях *in vitro* установлено, что белок люпина может вызывать увеличение продукции активных форм кислорода в нейтрофилах [18]. Изменение активности щелочной фосфатазы у животных 2-й группы (снижение на 14,4% относительно значений 1-й группы и на 34,6% относительно 3-й группы), возможно, свидетельствует о снижении всасываемости

цинка и железа у животных, что может быть обусловлено содержанием фитата в муке люпина. Тем не менее известно, что в таких бобовых, как соя, которая широко используется в пищевой индустрии, содержание фитиновой кислоты, являющейся основной формой хранения фосфора в семенах растений, значительно больше, чем в зернах люпина [17, 19].

Для предотвращения возможных негативных эффектов, связанных с антиалиментарными факторами (включая ингибиторы трипсина, специфические олигосахара, фитаты, метаболиты α -галактозида и пр.), необходима оптимизация технологических подходов к производству белковых продуктов из люпина с улучшенными пищевыми, технологическими и функциональными свойствами. Одними из путей снижения аллергенности и повышения функциональности может стать протезирование белков люпина, применение различных методов фракционирования, выделения и очистки в сочетании с предварительной обработкой для получения белковых концентратов или изолятов с целевыми функциональными и технологическими свойствами.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Сведения об авторах

Федулова Лилия Вячеславовна (Fedulova Liliya V.) – кандидат технических наук, заведующая экспериментальной клиникой-лабораторией биологически активных веществ животного происхождения ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

E-mail: l.fedulova@fncps.ru

<http://orcid.org/0000-0003-3573-930X>

Зверев Сергей Васильевич (Zverev Sergey V.) – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Технологии и техники крупяных производств» ВНИИЗ – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

E-mail: zverevsv@yandex.ru

Котенкова Елена Александровна (Kotenkova Elena A.) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Экспериментальной клиникой-лабораторией биологически активных веществ животного происхождения ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

E-mail: lazovlana92@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1864-8115>

Василевская Екатерина Романовна (Vasilevskaya Ekaterina R.) – научный сотрудник Экспериментальной клиникой-лабораторией биологически активных веществ животного происхождения ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

E-mail: e.vasilevskaya@fncps.ru

<http://orcid.org/0000-0002-4752-3939>

Литература

1. Lefranc-Millot C., Teichman-Dubois V. Protein from vegetable sources: a focus on pea protein // *Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals and Agriculture*. John Wiley and Sons, 2018. P. 197–216. doi: 10.1002/9781119385332.ch10
2. Зверев С.В., Панкратьева И.А., Цыгуткин А.С., Штеле А.Л. Использование белого люпина в экономике России // *Хранение и переработка зерна*. 2014. № 5. С. 31–34.
3. Цыгуткин А.С., Зверев С.В. Белый люпин как сельскохозяйственная культура // *Хранение и переработка зерна*. 2014. № 4. С. 20–23.
4. Prusinski J. White lupin (*Lupinus albus* L.) – nutritional and health values in human nutrition – a review // *Czech J. Food Sci.* 2017. Vol. 35. P. 95–105. doi: 10.17221/114/2016-CJFS
5. Calabrt S., Cutrignelli M.I., Lo Presti V., Tudisco R., Chiofalo V., Grossi M. et al. Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) // *J. Sci. Food Agric.* 2015. Vol. 95, N 25. P. 3127–3136. doi: 10.1002/jsfa.7049
6. Palacio M.I., Weisstaub A.R., Zuleta A., Etcheverrign A.I., Manrique G.D. α -Galactosides present in lupin flour affect several metabolic parameters in Wistar rats // *Food Funct.* 2016. Vol. 7, N 12. P. 4967–4975. doi: 10.1039/C6FO01297C
7. Clemente A., Arques M.C. Bowman-Birk inhibitors from legumes as colorectal chemopreventive agents // *World J. Gastroenterol.* 2014. Vol. 20, N 30. P. 10 305–10 315. doi: 10.3748/wjg.v20.i30

8. Вдхр М., Fechner A., Кдмер J. et al. Lupin protein positively affects plasma LDL cholesterol and LDL:HDL cholesterol ratio in hypercholesterolemic adults after four weeks of supplementation: a randomized, controlled crossover study // *Nutr. J.* 2013. Vol. 12. P. 107. doi: 10.1186/1475-2891-12-107
9. Capraro J., Magni C., Scarafoni A. et al. Pasta supplemented with isolated lupin protein fractions reduces body weight gain and food intake of rats and decreases plasma glucose concentration upon glucose overload trial // *Food Funct.* 2014. Vol. 5. P. 375–380. doi: 10.1039/c3fo60583c
10. Sewani-Rusike C.R., Jumbam D.N., Chinhoyi L.R., Nkeh-Chungag B.N. Investigation of hypoglycemic and hypolipidemic effects of an aqueous extract of lupinus albus legume seed in streptozotocin-induced type i diabetic rats // *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.* 2015. Vol. 12, N 2. P. 36–42. doi: 10.4314/ajtcam.v12i2.8
11. Gętek M., Czech N., Muc-Wierzgoń M., Grochowska-Niedworok E., Kokot T., Nowakowska-Zajdel E. The active role of leguminous plant components in type 2 diabetes // *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2014. Vol. 29. P. 39–61. doi: 10.1155/2014/293961
12. Панкина И.А., Борисова Л.М. Исследование алкалоидности семян люпина // *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. «Процессы и аппараты пищевых производств».* 2015. № 4. С. 80–87.
13. Зверев С.В., Цыгуткин А.С. Первичная переработка зерна белого люпина // *Соврем. фермер.* 2014. № 8. С. 11–13.
14. Chernukha I.M., Fedulova L.V., Kotenkova E.A., Takeda S., Sakata R. Hypolipidemic and anti-inflammatory effects of aorta and heart tissues of cattle and pigs in the atherosclerosis rat model // *Anim. Sci. J.* 2018. Vol. 89, N 5. P. 784–793. doi: 10.1111/asj.12986
15. Evans G.O. *Animal Clinical Chemistry: a Practical Handbook for Toxicologists and Biomedical Researchers.* 2nd ed. UK : Taylor and Francis Group, 2009. 368 p.
16. Rubio L.A., Grant G., Scislowski P.W.O. et al. The utilization of lupin (*Lupinus angustifolius*) and faba bean globulins by rats is poorer than of soybean globulins or lactalbumin but the nutritional value of lupin seed meal is lower only than that of lactalbumin // *J. Nutr.* 1995. Vol. 125. P. 2145–2155.
17. Ленкова Т., Зевакова В. Питательная ценность и антипитательные факторы семян люпина // *Птицеводство.* 2012. № 1. С. 14–17.
18. Klos P., Poniedzialek B., Lampart-Szczapa E., Gralik J., Wiktorowicz K. The flow cytometric analysis of lupin proteins' potential to induce the respiratory burst in human neutrophils // *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2009. Vol. 8, N 1. P. 91–97.
19. Bohn L., Meyer A.S., Rasmussen S.K. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding // *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 2008. Vol. 9, N 3. P. 165–191.

References

1. Lefranc-Millot C., Teichman-Dubois V. Protein from vegetable sources: a focus on pea protein. In: *Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals and Agriculture.* John Wiley and Sons, 2018: 197–216. doi: 10.1002/9781119385332.ch10
2. Zverev S.V., Pankrat'eva I.A., Cygutkin A.S., Shtele A.L. The use of white lupine in the Russian economy. *Khranenie i pererabotka zerna [Grain Storage and Processing].* 2014; (5): 31–4. (in Russian)
3. Cygutkin A.S., Zverev S.V. White lupine as cultivation crop. *Khranenie i pererabotka zerna [Grain Storage and Processing].* 2014; (4): 20–3. (in Russian)
4. Prusinski J. White lupin (*Lupinus albus* L.) – nutritional and health values in human nutrition – a review. *Czech J Food Sci.* 2017; 35: 95–105. doi: 10.17221/114/2016-CJFS
5. Calabrò S., Cutrignelli M.I., Lo Presti V., Tudisco R., Chiofalo V., Grossi M., et al. Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.). *J Sci Food Agric.* 2015; 95 (25): 3127–36. doi: 10.1002/jsfa.7049
6. Palacio M.I., Weisstaub A.R., Zuleta A., Etcheverría A.I., Manrique G.D. α -Galactosides present in lupin flour affect several metabolic parameters in Wistar rats. *Food Funct.* 2016; 7 (12): 4967–75. doi: 10.1039/C6FO01297C
7. Clemente A., Arques M.C. Bowman-Birk inhibitors from legumes as colorectal chemopreventive agents. *World J Gastroenterol.* 2014; 20 (30): 10 305–15. doi: 10.3748/wjg.v20.i30
8. Вдхр М., Fechner A., Кдмер J., et al. Lupin protein positively affects plasma LDL cholesterol and LDL:HDL cholesterol ratio in hypercholesterolemic adults after four weeks of supplementation: a randomized, controlled crossover study. *Nutr J.* 2013; 12: 107. doi: 10.1186/1475-2891-12-107
9. Capraro J., Magni C., Scarafoni A., et al. Pasta supplemented with isolated lupin protein fractions reduces body weight gain and food intake of rats and decreases plasma glucose concentration upon glucose overload trial. *Food Funct.* 2014; 5: 375–80. doi: 10.1039/c3fo60583c
10. Sewani-Rusike C.R., Jumbam D.N., Chinhoyi L.R., Nkeh-Chungag B.N. Investigation of hypoglycemic and hypolipidemic effects of an aqueous extract of lupinus albus legume seed in streptozotocin-induced type i diabetic rats. *Afr J Tradit Complement Altern Med.* 2015; 12 (2): 36–42. doi: 10.4314/ajtcam.v12i2.8
11. Gętek M., Czech N., Muc-Wierzgoń M., Grochowska-Niedworok E., Kokot T., Nowakowska-Zajdel E. The active role of leguminous plant components in type 2 diabetes. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2014; 29: 39–61. doi: 10.1155/2014/293961
12. Панкина И.А., Борисова Л.М. The study of the alkaloids in lupin seeds. *Nauchniy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv».* 2015; (4): 80–7. (in Russian)
13. Zverev S.V., Cygutkin A.S. Primary processing of white lupine grain. *Sovremenniy fermer [Modern Farmer].* 2014; (8): 11–3. (in Russian)
14. Chernukha I.M., Fedulova L.V., Kotenkova E.A., Takeda S., Sakata R. Hypolipidemic and anti-inflammatory effects of aorta and heart tissues of cattle and pigs in the atherosclerosis rat model. *Anim Sci J.* 2018; 89 (5): 784–93. doi: 10.1111/asj.12986
15. Evans G.O. *Animal clinical chemistry: a practical handbook for toxicologists and biomedical researchers.* 2nd ed. UK: Taylor and Francis Group, 2009: 368 p.
16. Rubio L.A., Grant G., Scislowski P.W.O., et al. The utilization of lupin (*Lupinus angustifolius*) and faba bean globulins by rats is poorer than of soybean globulins or lactalbumin but the nutritional value of lupin seed meal is lower only than that of lactalbumin. *J Nutr.* 1995; 125: 2145–55.
17. Ленкова Т., Зевакова В. Nutritional value and anti-nutritional factor-tori lupine. *Ptitsevodstvo [Poultry Farming].* 2012; (1): 14–7. (in Russian)
18. Klos P., Poniedzialek B., Lampart-Szczapa E., Gralik J., Wiktorowicz K. The flow cytometric analysis of lupin proteins' potential to induce the respiratory burst in human neutrophils. *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2009; 8 (1): 91–7.
19. Bohn L., Meyer A.S., Rasmussen S.K. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2008; 9 (3): 165–91.

Для корреспонденции

Кеца Оксана Витальевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и биотехнологии Института биологии, химии и биоресурсов Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича
 Адрес: 58012, Украина, г. Черновцы, ул. Коцюбинского, д. 2
 Телефон: (0372) 58-48-38
 E-mail: o.ketsa@chnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-2695-1790>

Кеца О.В., Марченко М.М.

Влияние эссенциальных липофильных нутриентов на свободнорадикальные процессы в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей

Effect of essential lipophilic nutrients on free radical processes in liver mitochondrial fraction of the tumor-bearing rats

Ketsa O.V., Marchenko M.M.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина
 Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsy, Ukraine

Окислительный стресс является универсальным механизмом клеточных поврежденных гепатоцитов, приводящих к снижению детоксикационной функции печени, что особенно важно при онкогенезе. Ранняя коррекция этих механизмов липофильными эссенциальными нутриентами могла бы повысить эффективность противоопухолевого лечения и предотвратить развитие и прогресс онкозаболеваний.

Цель – исследование влияния раздельного и сочетанного использования ω -3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и витамина D₃ на интенсивность свободнорадикальных процессов, набухание митохондрий и содержание цитохрома с в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей в период интенсивного роста новообразования.

Материал и методы. Исследования проводили на белых беспородных крысах-самках массой тела 130–150 г, которых разделили на 5 групп (в каждой по 12 особей). В качестве модели злокачественного новообразования использовали карциному Герена. Трансплантацию карциномы осуществляли путем подкожного введения в участок бедра 0,5 мл 30% суспензии раковых клеток в физиологическом растворе. ω -3 ПНЖК (120 мг на 1 кг массы тела, per os) и витамин D₃ (600 МЕ на 1 кг массы тела, per os) животные получали предварительно в течение 28 сут до трансплантации карциномы Герена и после трансплантации в течение всего периода роста опухоли в организме. Митохондриальную фракцию печени выделяли методом дифференциального центрифугирования. Об интенсивности процессов перекисного окисления липидов судили спектрофотометрически по содержанию первичных, вторичных и третичных продуктов в изопропанольных экстрактах. Скорость образования супероксидного радикала регистрировали в тесте с нитросиним тетразолием, набухание митохон-

Для цитирования: Кеца О.В., Марченко М.М. Влияние эссенциальных липофильных нутриентов на свободнорадикальные процессы в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей // *Вопр. питания*. 2019. Т. 88, № 2. С. 32–39. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10015. **Статья поступила в редакцию** 12.02.2019. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Ketsa O.V., Marchenko M.M. Effect of essential lipophilic nutrients on free radical processes in liver mitochondrial fraction of the tumor-bearing rats. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2019; 88 (2): 32–9. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10015. (in Russian)
Received 12.02.2019. **Accepted** 13.03.2019.

дрий оценивали по снижению оптической плотности изолированных митохондрий, содержание цитохрома с в митохондриальной и цитозольной фракциях определяли методом спектроскопии.

Результаты и обсуждение. В митохондриальной фракции печени крыс в период интенсивного роста карциномы Герена обнаружено увеличение содержания первичных (диеновых и триеновых конъюгатов), вторичных (кетодиенов; сопряженных триенов; ТБК-активных продуктов) и конечных (шиффовых оснований) продуктов перекисного окисления липидов с одновременным увеличением скорости образования супероксидного радикала. При раздельном и, особенно, при совместном введении ω -3 ПНЖК и витамина D₃ наблюдается снижение интенсивности свободнорадикальных процессов в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей. При этом уменьшается набухание митохондрий, что предотвращает выход цитохрома с из митохондрий в цитозоль.

Заключение. Введение комплекса ω -3 ПНЖК и витамина D₃ снижает процессы липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей с одновременным восстановлением функциональной способности митохондрий.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, супероксидный радикал, цитохром с, полиненасыщенные жирные кислоты, митохондриальная фракция, печень, карцинома Герена, крысы

Oxidative stress is a universal mechanism of cellular damage of hepatocytes, leading to a decrease in the detoxification function of the liver, which is especially important during oncogenesis. An early correction of these mechanisms by lipophilic essential nutrients could increase the effectiveness of antitumor treatment and prevent the development and progress of cancer.

Aim to study the effect of separate and combined use of ω -3 PUFA and vitamin D₃ on the intensity of free radical processes, mitochondrial swelling and cytochrome c content in the liver mitochondrial fraction of the tumor-bearing rats during the intensive growth of the tumor has been studied.

Material and methods. Studies were carried out on white outbred female rats weighing 130–150 g, which were divided into 5 groups (each n=12). Guerin's carcinoma was used as a model of malignant neoplasm. Carcinoma transplantation was carried out by subcutaneous injection of 0.5 ml of a 30% suspension of cancer cells into saline in the upper thigh region of the right limb. ω -3 PUFAs (120 mg/kg of body weight, per os) and vitamin D₃ (600 IU/kg of body weight, per os) were pre-administered for 28 days before the transplantation of Guerin's carcinoma and after transplantation for the entire period of tumor growth in the body (14 days). Liver mitochondrial fraction was isolated by differential centrifugation. The intensity of lipid peroxidation was judged by using spectrophotometry by the content of primary, secondary, and tertiary products in isopropanol extracts. The rate of formation of the superoxide radical was recorded in a test with nitro-blue tetrazolium, the swelling of mitochondria was assessed by a decrease in the optical density of isolated mitochondria, the content of cytochrome c in the mitochondrial and cytosolic fractions was determined by multi-wavelength visible light spectroscopy.

Results and discussion. An increase in the content of primary (diene and triene conjugates), secondary (ketodienes; conjugated trienes; TBA-active products) and terminal (Schiff bases) lipid peroxidation products with a simultaneous increase in the generation of superoxide anion-radical was found in the liver mitochondrial fraction of the tumor-bearing rats. With the administration of ω -3 PUFA and vitamin D₃, both separately and especially when used together, a decrease in the intensity of free radical processes in liver mitochondrial fraction of tumor-bearing rats has been observed. At the same time, mitochondrial swelling decreased, this prevented the release of cytochrome c from mitochondria into cytosol.

Conclusion. The administration of the complex ω -3 PUFA and vitamin D₃ reduces the processes of lipid peroxidation in the mitochondrial fraction of the liver of tumor-bearing rats while simultaneously restoring the functional ability of mitochondria.

Keywords: lipid peroxidation, superoxide anion-radical, cytochrome c, polyunsaturated fatty acids, mitochondrial fraction, Guerin's carcinoma, liver, rats

Свободнорадикальные реакции перекисного окисления липидов (ПОЛ) протекают в основном в биомембранах всех клеток живых организмов и представляют собой каскад окислительных реакций деградации ненасыщенных жирных кислот, входящих в состав фосфо-

липидов мембран [1]. В физиологических условиях ПОЛ протекает на достаточно низком уровне и жизненно важен в регуляции проницаемости и транспорта веществ через мембраны [2]. В условиях патологических состояний, в частности онкогенеза, запускается каскад сво-

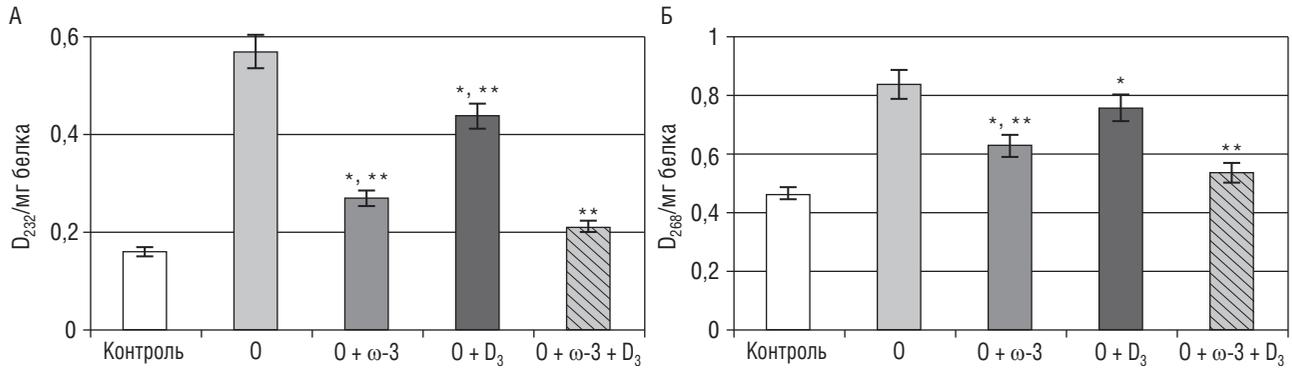


Рис. 1. Содержание первичных продуктов липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей при введении ω-3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

А – содержание диеновых конъюгатов; Б – содержание триеновых конъюгатов.

Здесь и на рис. 2–6: 0 – крысы с трансплантированной карциномой Герена; 0 + ω-3 – крысы-опухоленосители, получавшие ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты; 0 + D₃ – крысы-опухоленосители, получавшие витамин D₃; 0 + ω-3 + D₃ – крысы-опухоленосители, получавшие ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты и витамин D₃; * – статистически значимые различия (p<0,05) в сравнении с показателем контроля; ** – статистически значимые различия (p<0,05) в сравнении с показателем животных-опухоленосителей.

боднорадикальных реакций окисления жирных кислот, в результате чего образуются гидроперекиси (диеновые конъюгаты, ДК), метаболизирующиеся в дальнейшем во вторичные – кетодиены (КД), сопряженные триены (СТ), малоновый диальдегид (МДА) – и третичные (шиффовы основания) продукты ПОЛ [3].

Основными клеточными генераторами активных форм кислорода являются митохондрии, в которых сосредоточено большое количество редокс-переносчиков и центров, потенциально способных к одноэлектронному восстановлению кислорода с образованием супероксидного радикала [4]. Активация ПОЛ в этих органеллах может привести к повреждению митохондриальных мембран, изменению их проницаемости, выходу цитохрома с в цитозоль, угнетению функциональной активности митохондрий и нарушению жизненных функций клеток [5].

На интенсивность ПОЛ в значительной мере влияют липофильные эссенциальные нутриенты, которые являются компонентами фосфолипидов мембран и принимают участие в геной трансдукции. В частности,

ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), встраиваясь в мембраны органелл, могут проявлять выраженный антиоксидантный эффект [6]. Другой липофильный нутриент, противоопухолевое действие которого широко изучается, – витамин D₃. Он способен оказывать иммуномодулирующее и противовоспалительное действие, активировать дифференцировку и ингибировать клеточную пролиферацию [7, 8]. Кроме известных молекулярных механизмов противоопухолевого действия ω-3 ПНЖК и витамина D₃, открытыми остаются вопросы влияния этих липофильных нутриентов на состояние свободнорадикальных процессов в митохондриях клеток печени организма, в котором развивается злокачественное новообразование.

Цель работы – выяснение роли отдельного и комбинированного применения ω-3 ПНЖК и витамина D₃ (холекальциферола) в регуляции свободнорадикального окисления липидов и содержания цитохрома с в митохондриальной фракции печени крыс с трансплантированной карциномой Герена.

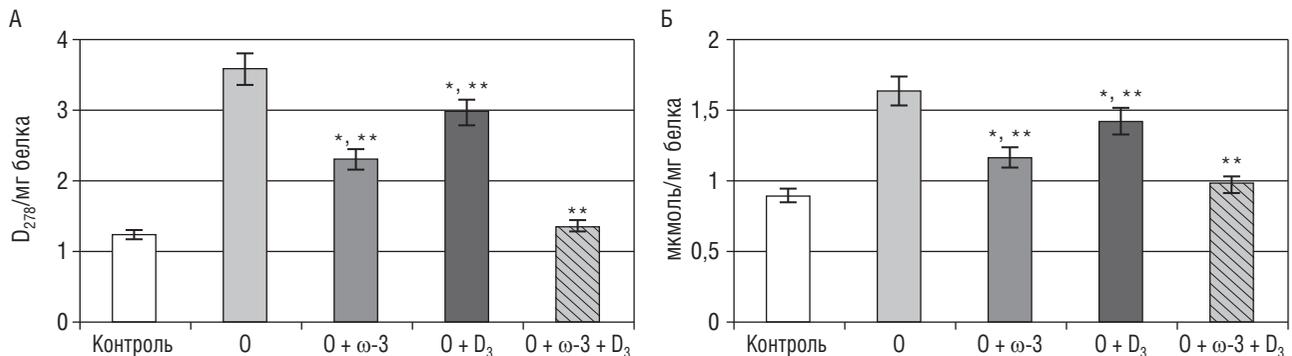


Рис. 2. Содержание вторичных продуктов липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей при введении ω-3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

А – содержание кетодиенов и сопряженных триенов; Б – содержание ТБК-активных продуктов.

Материал и методы

Исследования проводили на белых беспородных крысах-самках массой тела 130–150 г. Эксперименты на животных проводили в соответствии с Международными требованиями о гуманном отношении к животным и выполнением требований Директивы 86/609/ЕС по вопросу защиты животных. Все животные получали полусинтетический рацион, составленный на основе диеты AIN-93 [9]. Как модель злокачественного новообразования использовали карциному Герена. Трансплантацию карциномы осуществляли путем подкожного введения в участок бедра 0,5 мл 30% суспензии раковых клеток в физиологическом растворе. Животные были разделены на следующие группы (в каждой по 12 особей): 1-я – контроль (интактные животные); 2-я – крысы с трансплантированной карциномой Герена; 3-я – крысы-опухоленосители, которым до и после трансплантации карциномы Герена вводили ω -3 ПНЖК (120 мг на 1 кг массы тела, *per os*) в форме коммерческого препарата «Витрум Кардио Омега-3» (Unipharm, Inc., США); 4-я – крысы-опухоленосители, которым до и после трансплантации карциномы Герена вводили витамин D₃ *per os* в виде масляной суспензии (600 МЕ на 1 кг массы тела); 5-я – крысы-опухоленосители, получавшие ω -3 ПНЖК в комплексе с витамином D₃ в указанных дозах.

Спектр ω -3 ПНЖК в препарате анализировали методом газовой хроматографии на хроматографе «HRGC 5300» (Carlo Erba Instruments, Италия). Для идентификации индивидуальных жирных кислот использовали стандартные препараты (Sigma-Aldrich, США). В составе используемого препарата в значительных количествах присутствовали эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты (см. таблицу).

Животные получали ω -3 ПНЖК и витамин D₃ предварительно в течение 28 сут до трансплантации карциномы Герена и после трансплантации в течение всего периода роста опухоли в организме.

Декапитацию животных проводили под легким эфирным наркозом на 14-е сутки после трансплантации карциномы Герена, что для опухоленосителей соответствует логарифмической стадии роста данной опухоли.

Митохондриальную фракцию печени выделяли методом дифференциального центрифугирования [10]. Об интенсивности процессов ПОЛ судили по содержанию первичных, вторичных и третичных продуктов в изопропанольных экстрактах. Уровень первичных молекулярных продуктов липопероксидации (гидроперекисей) регистрировали в ультрафиолетовом спектре: моногидроперекисей (ДК) при длине волны 232 нм, дигидроперекисей (триеновых конъюгатов, ТК) при длине волны 268 нм. Содержание ДК выражали в мкмоль на 1 мг белка, используя коэффициент молярной экстинкции $2,2 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ [11]. Величина оптической плотности при длине волны 278 нм отражала содержание вторичных продуктов ПОЛ (КД + СТ); при длине волны

Спектр ω -3 полиненасыщенных жирных кислот в используемом препарате

Жирная кислота	Содержание жирных кислот от общей суммы, %
Эйкозапентаеновая	32,6
Докозагексаеновая	24,1
Докозатриеновая	1,04
α -Линоленовая	0,667
Эйкозатриеновая	0,25

400 нм – конечных продуктов ПОЛ (шиффовых оснований) [12, 13]. Дополнительно определяли уровень продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-активных продуктов) по методу [14].

Скорость образования супероксидного радикала регистрировали в тесте с нитросиним тетразолием [15] и выражали в нмоль/мин на 1 мг белка. Содержание белка в пробах определяли по методу Лоури [16]. Набухание митохондрий оценивали по снижению оптической плотности изолированных митохондрий с одновременной регистрацией при длине волны 520 нм [17]. Содержание цитохрома c в митохондриальной и цитозольной фракциях определяли по методике [18].

Полученные данные обрабатывали с использованием критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Активация ПОЛ в организме является результатом воздействия на живую систему различных экстремальных факторов. В физиологических условиях постоянно наблюдаются процессы ПОЛ, которые находятся в биологическом равновесии с функционированием антиоксидантной системы [19]. Однако процесс онкогенеза сопровождается дисбалансом между активностью ПОЛ и состоянием антиоксидантной системы как в самой опухоли, так и в отдаленных органах, в частности печени.

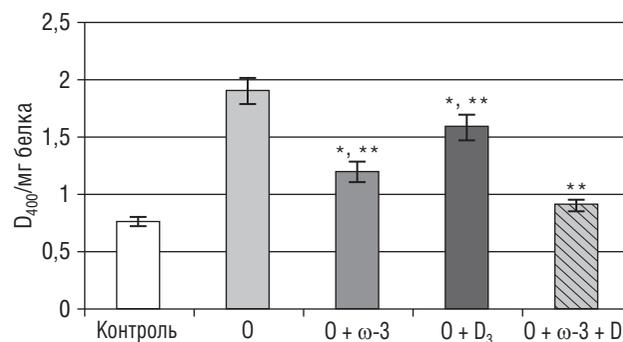


Рис. 3. Содержание конечных продуктов липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей в условиях введения ω -3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

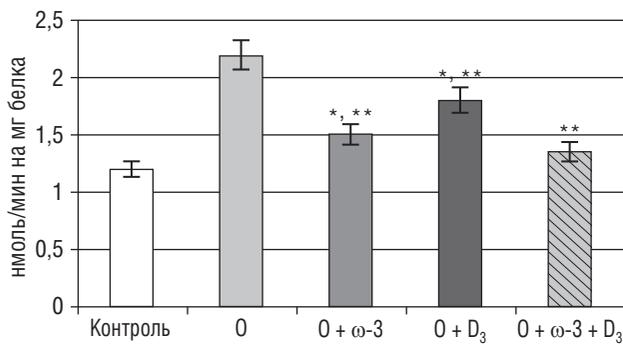


Рис. 4. Скорость образования супероксидного радикала в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей в условиях введения ω-3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

Результаты исследований интенсивности процессов ПОЛ в митохондриальной фракции печени крыс с трансплантированной карциномой Герена показали повышение интенсивности процессов свободнорадикального окисления липидов, поскольку повысилась концентрация первичных продуктов ПОЛ – ДК (рис. 1А) и ТК (рис. 1Б). Повышение уровня ДК и ТК служит предпосылкой для образования вторичных продуктов ПОЛ, поскольку гидроперекиси относятся к нестойким соединениям и быстро преобразуются в стабильные вторичные продукты – КД + СТ и ТБК-активные продукты, уровни которых в 2,9 раза (рис. 2А) и 1,8 раза (рис. 2Б) соответственно превысили значения контроля. Не столь значительное повышение уровня ТБК-активных продуктов в сравнении с КД + СТ, вероятно, связано с их способностью взаимодействовать с митохондриальными белками с образованием конечных продуктов ПОЛ – шиффовых оснований, уровень которых в 2,6 раза превысил показатели контроля (рис. 3).

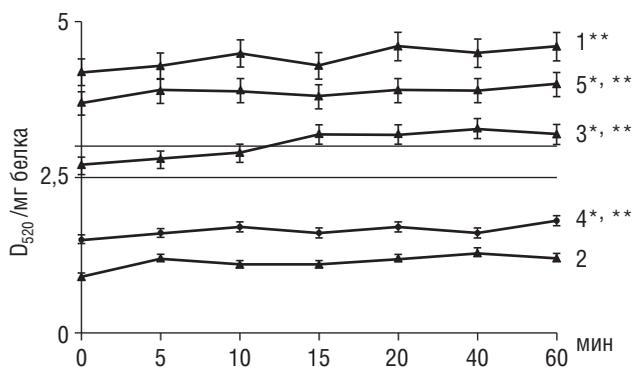


Рис. 5. Скорость набухания митохондрий печени крыс-опухоленосителей в условиях введения ω-3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

1 – интактные животные; 2 – крысы с трансплантированной карциномой Герена; 3 – крысы-опухоленосители, получавшие ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты; 4 – крысы-опухоленосители, получавшие витамин D₃; 5 – крысы-опухоленосители, получавшие ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты и витамин D₃.

Интенсификация процессов ПОЛ в митохондриальной фракции связана с нарушением работы электрон-транспортной цепи, поскольку повысилась генерация супероксидного радикала митохондриями печени крыс в условиях онкогенеза (рис. 4).

Коррекция установленного дисбаланса свободнорадикальных процессов в митохондриальной фракции возможна за счет экзогенных антиоксидантов или за счет повышения стойкости мембран путем изменения их жирнокислотного состава. Введение ω-3 ПНЖК в качестве липофильных нутриентов может способствовать восстановлению митохондриальных мембран.

Анализ экспериментальных данных показал, что введение ω-3 ПНЖК привело к снижению уровня ДК и ТК (см. рис. 1) в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей в сравнении с опухоленосителями, не получавшими исследуемые нутриенты. Одновременно снизилось содержание вторичных (см. рис. 2) и конечных (см. рис. 3) продуктов ПОЛ, однако исследуемые показатели не приблизились к показателям контроля. Вероятно, предварительное введение ω-3 ПНЖК приводит к стабилизации митохондриальных мембран печени в результате их инкорпорации в фосфолипидный состав еще до трансплантации опухоли. Послетрансплантационное использование ω-3 ПНЖК может целенаправленно действовать на опухолевую ткань, проявляя тем самым противоопухолевый эффект [19]. Наряду с мембранопротекторными свойствами ω-3 ПНЖК проявляют антиоксидантный эффект, поскольку снижалась скорость образования супероксидного радикала митохондриальной электрон-транспортной цепью (см. рис. 4).

Для повышения мембранопротекторного действия ω-3 ПНЖК был использован еще один липофильный нутриент – витамин D₃, который принимает участие в регуляции жизненного цикла опухолевых клеток, снижает пролиферацию и метастазирование, усиливает апоптотическую гибель трансформированных клеток [20].

Установлено, что моно введение витамина D₃ незначительно снижает концентрацию первичных (см. рис. 1), вторичных (см. рис. 2) и конечных (см. рис. 3) продуктов липопероксидации в митохондриальной фракции крыс-опухоленосителей. Незначительное влияние витамина D₃ на процессы ПОЛ в митохондриях печени крыс-опухоленосителей может быть обусловлено тем, что он не входит в состав биологических мембран, а антиканцерогенный эффект проявляет через гормонально активную форму – 1,25(OH)₂D₃ [21].

Комбинированное введение ω-3 ПНЖК и витамина D₃ существенно влияет на интенсивность процессов ПОЛ, о чем свидетельствует снижение уровней первичных (см. рис. 1), вторичных (см. рис. 2) и конечных (см. рис. 3) продуктов липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс-опухоленосителей по сравнению с показателями животных-опухоленосителей, не получавших комплекс исследуемых липофильных нутриентов. Механизм стабилизирующего действия ω-3 ПНЖК на митохондриальные мембраны печени может заключаться в их способности встраиваться в фосфоли-

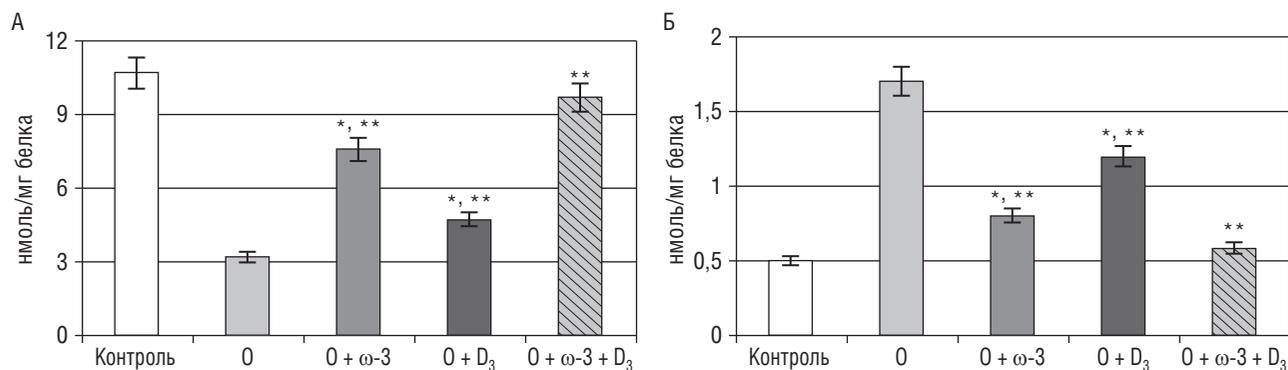


Рис. 6. Содержание цитохрома *c* в митохондриальной (А) и цитозольной (Б) фракциях печени крыс-опухоленосителей при введении ω-3 полиненасыщенных жирных кислот и витамина D₃

пиды и заменять в их составе ω-6 ПНЖК, которые более чувствительны к окислительным процессам. В то же время синтезированный в организме 1,25(OH)₂D₃ способствует снижению экспрессии индуцибельной формы NO-синтазы и, как следствие, ингибирует образование пероксинитрита (ONOO⁻), монооксида (NO•) и диоксида (NO₂•) азота в клетках. С другой стороны, витамин D₃ стимулирует экспрессию клеточной γ-глутамилтранспептидазы и активирует глутатионовое звено системы антиоксидантной защиты [22].

В результате такого стабилизирующего совместного действия ω-3 ПНЖК и витамина D₃ на митохондриальные мембраны печени крыс снизилась скорость образования супероксидного радикала (см. рис. 4) как иницирующей точки ПОЛ по сравнению с опухоленосителями, которые не получали данные липофильные нутриенты.

Итак, раздельное и, особенно, комбинированное введение ω-3 ПНЖК и витамина D₃ сопровождается снижением интенсивности свободнорадикальных процессов в митохондриальной фракции печени в сравнении с показателями крыс-опухоленосителей, не получавших исследуемые липофильные нутриенты.

Следующим этапом работы было установление особенностей набухания митохондрий как одного из следствий процесса ПОЛ в условиях онкогенеза.

Результаты исследований показали, что в группе крыс-опухоленосителей наблюдалось повышение интенсивности процесса набухания митохондрий по сравнению с показателями интактных животных (рис. 5). Установленный факт может быть следствием изменения проницаемости внутренней мембраны митохондрий в результате токсического действия свободных радикалов и деполяризации мембран митохондрий. Еще одной причиной набухания митохондрий может быть индукция митохондриальных пор, играющих ключевую роль в клеточных нарушениях в условиях окислительного стресса при онкологических заболеваниях. Именно усиленное свободнорадикальное окисление митохондриальных белков и липидов инициирует открытие пор в митохондриальной мембране. Увеличение проницаемости внутренней мембраны как для катионов, так и для анионов приводит к поступлению воды в матрикс митохондрий

и вызывает их набухание [23, 24]. Поскольку внутренняя мембрана митохондрий по площади больше, чем внешняя, то последняя разрывается, вследствие чего наблюдается выход цитохрома *c* в цитозоль, о чем свидетельствует тот факт, что его уровень в митохондриальной фракции снизился в 3,3 раза в сравнении с контролем (рис. 6А). При этом наблюдалось повышение содержания цитохрома *c* в 3,4 раза в цитозоле по сравнению с показателями интактных животных (рис. 6Б).

Повышение уровня цитохрома *c* в цитозоле может инициировать митохондриальный путь апоптической гибели клеток печени в условиях онкогенеза. Так, исследуемый протеин участвует в переходе прокаспазы 9 в активную форму, после чего каспаза 9 инициирует расщепление прокаспазы 3 в каспазу 3, которая в свою очередь активирует прокаспазу 6 в каспазу 6, что приводит к апоптозу [25]. Снижение же уровня цитохрома *c* в митохондриях скажется на их способности к фосфорилированию с нарушением сопряженности процессов окислительного фосфорилирования и дыхания. В таких митохондриях значительно снижается степень этерификации неорганического фосфата [26]. Все эти изменения можно объяснить влиянием продуктов опухолевого метаболизма на цитохромную систему митохондрий печени животных-опухоленосителей.

Введение ω-3 ПНЖК и витамина D₃ как в условиях их раздельного, так и совместного применения приводит к снижению набухания митохондрий (см. рис. 5), очевидно, за счет снижения процессов липопероксидации в митохондриальной фракции печени крыс с трансплантированной карциномой Герена. В этих же условиях наблюдалось снижение содержания цитохрома *c* в цитозоле (см. рис. 6А) с одновременным повышением в митохондриях (см. рис. 6Б). При этом исследуемые показатели приближаются к контрольным значениям.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что ω-3 ПНЖК и витамин D₃ как при раз-

дельном, так и, особенно, при их сочетанном применении проявляют выраженный корригирующий эффект на свободнорадикальные процессы в митохондриях печени крыс с трансплантированной карциномой Герена. В митохондриальной фракции снижается генерация супероксидного радикала с одновременным снижением уровня первичных, вторичных и конечных продуктов ПОЛ. При этом снижаются набухание митохондрий и выход цитохрома *c* в цитозоль клеток печени крыс-опухоленоси-

телей в логарифмическую фазу онкогенеза. Механизм такого действия исследуемых нутриентов может реализоваться через мембраностабилизирующее действие ω -3 ПНЖК и геномные эффекты гормонально-активной формы витамина D_3 – $1,25(OH)_2D_3$.

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

Сведения об авторах

Кецца Оксана Витальевна (Ketsa Oksana V.) – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и биотехнологии Института биологии, химии и биоресурсов Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича (Черновцы, Украина)

E-mail: o.ketsa@chnu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-2695-1790>

Марченко Михаил Маркович (Marchenko Mykhailo M.) – доктор биологических наук, профессор, директор Института биологии, химии и биоресурсов Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича (Черновцы, Украина)

E-mail: m.marchenko@chnu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-6104-0119>

Литература

- Moro K., Nagahashi M., Ramanathan R. et al. Resolvins and omega three polyunsaturated fatty acids: clinical implications in inflammatory diseases and cancer // *World J. Clin. Cases.* 2016. Vol. 4, N 7. P. 155–164.
- Bruins M.J., Dane A.D., Strassburg K. et al. Plasma oxylipin profiling identifies polyunsaturated vicinal diols as responsive to arachidonic acid and docosahexaenoic acid intake in growing piglets // *J. Lipid. Res.* 2013. Vol. 54. P. 1598–1607.
- Kausar S., Wang F., Cui H. The role of mitochondria in reactive oxygen species generation and its implications for neurodegenerative diseases // *Cells.* 2018. Vol. 7. P. 274–293.
- Ademowo O.S., Dias H.K.I., Burton D.G.A., Griffiths H.R. Lipid (per) oxidation in mitochondria: an emerging target in the ageing process? // *Biogerontology.* 2017. Vol. 18, N 6. P. 859–879.
- Akopova O.V., Kolchinskaya L.I., Nosar V.I. et al. Cytochrome *c* as an amplifier of ROS release in mitochondria // *Физиол. журн.* 2012. Т. 58, № 1. С. 3–12.
- Fabian C.J., Kimler B.F., Hursting S.D. Omega-3 fatty acids for breast cancer prevention and survivorship // *Breast Cancer Res.* 2015. Vol. 17. P. 62–73.
- Trump D.L. Calcitriol and cancer therapy: a missed opportunity // *Bone Rep.* 2018. Vol. 9. P. 110–119.
- Stein S.H., Tipton D.A. Vitamin D and its impact on oral health an update // *J. Tenn. Dent. Assoc.* 2011. Vol. 91, N 2. P. 30–33.
- Reeves P.G., Nielsen F.H., Fahey G.C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet // *J. Nutr.* 1993. Vol. 123. P. 1939–1951.
- Weinbach T.C. A procedure for isolating stable mitochondria from rat liver and kidney // *Anal. Biochem.* 1961. Vol. 2. P. 335–343.
- Азизова Г.И., Эфендиев А.М. Изучение взаимосвязи между процессами ПОЛ, состоянием АОЗ и основными иммунологическими показателями при хронической почечной недостаточности // *Биомед. химия.* 2009. Т. 55, № 6. С. 779–783.
- Волчегорский И.А., Налимов И.А., Яровинский Б.Г., Лифшиц Р.И. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови // *Вопр. мед. химии.* 1989. Т. 35, № 1. С. 127–131.
- Львовская Е.И., Волчегорский И.А., Шемяков С.Е. Спектрофотометрическое определение конечных продуктов перекисного окисления липидов // *Вопр. мед. химии.* 1991. Т. 37, № 4. С. 92–93.
- 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. Т. 33, № 1. С. 118–122.
- Марченко М.М., Кецца О.В. Генерация супероксидного радикала компонентами монооксигеназной системы печінки попередньо опромінених шурів-пухлиноносіїв // *Укр. біохім. журн.* 2012. Т. 84, № 6. С. 95–102.
- Lowry O.H., Rosenbrough M.J., Farr A.L., Randal R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent // *J. Biol. Chem.* 1951; Vol. 193. P. 265–275.
- Bernardi P., Vassaneli S., Veronese P. et al. Modulation of the mitochondrial cyclosporin A – sensitive permeability transition pore // *J. Biol. Chem.* 1993. Vol. 268. P. 1005–1010.
- Hollis V.S., Palacios-Callender M., Springett R.J. et al. Monitoring cytochrome redox changes in the mitochondria of intact cells using multi-wavelength visible light spectroscopy // *Biochim. Biophys. Acta.* 2003. Vol. 1607. P. 191–202.
- Serini S., Cassano R., Corsetto P.A. et al. Omega-3 PUFA loaded in resveratrol-based solid lipid nanoparticles: physicochemical properties and antineoplastic activities in human colorectal cancer cells in vitro // *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19. P. 586–605.
- Rogers C.S., Yedjou C.G., Sutton D.J., Tchounwou P.B. Vitamin D_3 potentiates the antitumorigenic effects of arsenic trioxide in human leukemia (HL-60) cells // *Exp. Hematol. Oncol.* 2014. Vol. 3. P. 9–17.
- Abdelbaset-Ismail A., Pedziwiatr D., Suszyńska E. et al. Vitamin D_3 stimulates embryonic stem cells but inhibits migration and growth of ovarian cancer and teratocarcinoma cell lines // *J. Ovarian Res.* 2016. Vol. 9. P. 26–38.
- Ma Y., Trump D.L., Johnson C.S. Vitamin D in combination cancer treatment // *J. Cancer.* 2010. Vol. 1. P. 101–107.

23. Naranmandura H., Chen X., Tanaka M. et al. Release of apoptotic cytochrome C from mitochondria by dimethylarsinous acid occurs through interaction with voltage-dependent anion channel in vitro // *Toxicol. Sci.* 2012. Vol. 128, N 1. P. 137–146.
24. Fayez A.M., Zaaan M.A. Eicosapentaenoic acid and vitamin E against doxorubicin-induced cardiac and renal damages: role of cytochrome c and iNOS // *Arch. Iran. Med.* 2018. Vol. 21, N 11. P. 502–508.
25. Hui F., Qin X., Zhang Q. et al. Alpinia oxyphylla oil induces apoptosis of hepatocellular carcinoma cells via PI3K/Akt pathway in vitro and in vivo // *Biomed. Pharmacother.* 2019. Vol. 109. P. 2365–2374.
26. Birk A.V., Chao W.M., Bracken C. et al. Targeting mitochondrial cardiolipin and the cytochrome c/cardiolipin complex to promote electron transport and optimize mitochondrial ATP synthesis // *Br. J. Pharmacol.* 2014. Vol. 171, N 8. P. 2017–2028.

References

1. Moro K., Nagahashi M., Ramanathan R., et al. Resolvins and omega three polyunsaturated fatty acids: Clinical implications in inflammatory diseases and cancer. *World J Clin Cases.* 2016; 4 (7): 155–64.
2. Bruins M.J., Dane A.D., Strassburg K., et al. Plasma oxylipin profiling identifies polyunsaturated vicinal diols as responsive to arachidonic acid and docosahexaenoic acid intake in growing piglets. *J Lipid Res.* 2013; 54: 1598–607.
3. Kausar S., Wang F., Cui H. The role of mitochondria in reactive oxygen species generation and its implications for neurodegenerative diseases. *Cells.* 2018; 7: 274–93.
4. Ademowo O.S., Dias H.K.I., Burton D.G.A., Griffiths H.R. Lipid (per) oxidation in mitochondria: an emerging target in the ageing process? *Bio gerontology.* 2017; 18 (6): 859–79.
5. Akopova O.V., Kolchinskaya L.I., Nosar V.I., et al. Cytochrome c as an amplifier of ROS release in mitochondria. *Fiziolohichnyi zhurnal [Fiziol. Zhurn].* 2012; 58 (1): 3–12. (in Ukrainian)
6. Fabian C.J., Kimler B.F., Hursting S.D. Omega-3 fatty acids for breast cancer prevention and survivorship. *Breast Cancer Res.* 2015; 17: 62–73.
7. Trump D.L. Calcitriol and cancer therapy: a missed opportunity. *Bone Rep.* 2018; 9: 110–9.
8. Stein S.H., Tipton D.A. Vitamin D and its impact on oral health an update. *J Tenn Dent Assoc.* 2011; 91 (2): 30–3.
9. Reeves P.G., Nielsen F.H., Fahey G.C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr.* 1993; 123: 1939–51.
10. Weinbach T.C. A procedure for isolating stable mitochondria from rat liver and kidney. *Anal Biochem.* 1961; 2: 335–43.
11. Azizova G.I., Efendiev A.M. Investigation of relation between LPO, AOD and some immune parameters in patients with chronic kidney disease. *Biomeditsinskaya khimiya [Biomedical Chemistry].* 2009; 55 (6): 779–83. (in Russian)
12. Volchegorskiy I.A., Nalimov I.A., Yarovinskiy B.G., Lifshits R.I. Comparison of different approaches to the determination of lipid peroxidation products in heptane-isopropanol blood extracts. *Voprosy meditsinskoy khimii [Problems of Medical Chemistry].* 1989; 35 (1): 127–31. (in Russian)
13. L'vovskaya E.I., Volchegorskiy I.A., Shemyakov C.E. Spectrophotometric determination of the final lipid peroxidation products. *Voprosy meditsinskoy khimii [Problems of Medical Chemistry].* 1991; 37 (4): 92–3. (in Russian)
14. Gavrilov V.B., Gavrilova A.R., Mazhul' L.M. Analysis of methods for determining the products of lipid peroxidation in the blood tissue by the test with thiobarbituric acid. *Voprosy meditsinskoy khimii [Problems of Medical Chemistry].* 1987; 33 (1): 118–22. (in Russian)
15. Marchenko M.M., Ketsa O.V. The generation of superoxide anion-radical in liver monooxygenase system of preliminary radiation-exposed tumor-bearing rats. *Ukrains'kyi biokhimichnyi zhurnal [Ukr. biokhim. Zhurn].* 2012; 84 (6): 95–102. (in Ukrainian)
16. Lowry O.H., Rosenbrough M.J., Farr A.L., Randal R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 1951; 193: 265–75.
17. Bernardi P., Vassaneli S., Veronese P., et al. Modulation of the mitochondrial cyclosporin A – sensitive permeability transition pore. *J Biol Chem.* 1993; 268: 1005–10.
18. Hollis V.S., Palacios-Callender M., Springett R.J., et al. Monitoring cytochrome redox changes in the mitochondria of intact cells using multi-wavelength visible light spectroscopy. *Biochim Biophys Acta.* 2003; 1607: 191–202.
19. Serini S., Cassano R., Corsetto P.A., et al. Omega-3 PUFA loaded in resveratrol-based solid lipid nanoparticles: physicochemical properties and antineoplastic activities in human colorectal cancer cells in vitro. *Int J Mol Sci.* 2018; 19: 586–605.
20. Rogers C.S., Yedjou C.G, Sutton D.J, Tchounwou P.B Vitamin D₃ potentiates the antitumorogenic effects of arsenic trioxide in human leukemia (HL-60) cells. *Exp Hematol Oncol.* 2014; 3: 9–17.
21. Abdelbaset-Ismail A., Pedziwiatr D., Suszyńska E., et al. Vitamin D₃ stimulates embryonic stem cells but inhibits migration and growth of ovarian cancer and teratocarcinoma cell lines. *J Ovarian Res.* 2016; 9: 26–38.
22. Ma Y., Trump D.L., Johnson C.S. Vitamin D in combination cancer treatment. *J Cancer.* 2010; 1: 101–7.
23. Naranmandura H., Chen X., Tanaka M., et al. Release of apoptotic cytochrome C from mitochondria by dimethylarsinous acid occurs through interaction with voltage-dependent anion channel in vitro. *Toxicol Sci.* 2012; 128 (1): 137–46.
24. Fayez A.M., Zaaan M.A. Eicosapentaenoic acid and vitamin E against doxorubicin-induced cardiac and renal damages: role of cytochrome c and iNOS. *Arch Iran Med.* 2018; 21 (11): 502–8.
25. Hui F., Qin X., Zhang Q., et al. Alpinia oxyphylla oil induces apoptosis of hepatocellular carcinoma cells via PI3K/Akt pathway in vitro and in vivo. *Biomed Pharmacother.* 2019; 109: 2365–74.
26. Birk A.V., Chao W.M., Bracken C., et al. Targeting mitochondrial cardiolipin and the cytochrome c/cardiolipin complex to promote electron transport and optimize mitochondrial ATP synthesis. *Br J Pharmacol.* 2014; 171 (8): 2017–28.

Для корреспонденции

Трушина Элеонора Николаевна – кандидат медицинских наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории иммунологии
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 109240, Россия, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
Телефон: (495) 698-53-45
E-mail: trushina@ion.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

Трушина Э.Н.¹, Выборнов В.Д.², Ригер Н.А.¹, Мустафина О.К.¹, Солнцева Т.Н.¹,
Тимонин А.Н.¹, Зилова И.С.¹, Раджабкадиев Р.М.¹

Иммуномодулирующие эффекты использования L-карнитина и коэнзима Q₁₀ в питании спортсменов-юниоров

Immunomodulating effects
of using L-carnitine
and coenzyme Q₁₀
in the nutrition of junior
athletes

Trushina E.N.¹, Vybornov V.D.²,
Riger N.A.¹, Mustafina O.K.¹,
Solntseva T.N.¹, Timonin A.N.¹,
Zilova I.S.¹, Rajabkadiyev R.M.¹

- ¹ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия
- ² ГБОУ г. Москвы «Центр спорта и образования «Самбо-70», Москва, Россия
- ¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia
- ² Sport and Education Center Sambo-70, Moscow, Russia

В настоящее время большое внимание уделяется изучению нарушений иммунорегуляции и способов эффективной иммунокоррекции у спортсменов. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос использования в юношеском спорте специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов (СПП), содержащих нутриенты, обладающие иммуномодулирующими свойствами.

Цель работы – изучение иммуномодулирующей активности L-карнитина и коэнзима Q₁₀ у спортсменов-юниоров в тренировочный период.

Материал и методы. Объектом исследования служили 30 спортсменов-юниоров (мастера спорта и кандидаты в мастера спорта по плаванию) в возрасте 14–18 лет, в том числе 9 девушек и 21 юноша. Спортсмены были распределены на 3 группы по 10 человек в каждой. Спортсмены 1-й и 2-й основных групп в течение 4 нед получали дополнительно к основному рациону соответственно L-карнитин (600 мг/сут) и коэнзим Q₁₀ (60 мг/сут). Дозировка используемых в исследовании СПП составляла 200% от адекватного уровня потребления и не превышала верхний допустимый уровень потребления. Спортсмены 3-й (контрольной) группы получали основной рацион без включения СПП. Обследование спортсменов всех групп проводили в начале и через 4 нед наблюдения.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного комплексного обследования спортсменов-юниоров установлено положительное влияние приема L-карнитина на содержание гемоглобина в эритроците (28,3±0,3 нг – в 1-й день

Для цитирования: Трушина Э.Н., Выборнов В.Д., Ригер Н.А., Мустафина О.К., Солнцева Т.Н., Тимонин А.Н., Зилова И.С., Раджабкадиев Р.М. Иммуномодулирующие эффекты использования L-карнитина и коэнзима Q₁₀ в питании спортсменов-юниоров // Вопр. питания. 2019. Т. 88, № 2. С. 40–49. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10016.

Статья поступила в редакцию 17.12.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Trushina E.N., Vybornov V.D., Riger N.A., Mustafina O.K., Solntseva T.N., Timonin A.N., Zilova I.S., Rajabkadiyev R.M. Immunomodulating effects of using L-carnitine and coenzyme Q₁₀ in the nutrition of junior athletes. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 40–9. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10016. (in Russian)

Received 17.12.2018. **Accepted** 13.03.2019.

обследования и $30,2 \pm 0,4$ пг – через 4 нед). Относительное содержание базофильных лейкоцитов у спортсменов основных групп статистически достоверно снизилось к концу периода наблюдения: в группе L-карнитин – с $0,64 \pm 0,05$ до $0,45 \pm 0,04\%$, в группе коэнзим Q_{10} – с $0,66 \pm 0,07$ до $0,50 \pm 0,04\%$, что свидетельствует о повышении резистентности организма к аллергическим реакциям.

Заключение. Биомаркерами иммуотропного влияния L-карнитина и коэнзима Q_{10} являются снижение экспрессии апоптотического маркера CD95/Fas на лимфоцитах периферической крови и супрессия продукции провоспалительных цитокинов, синтезируемых лимфоцитами Th1, с переключением ответа на гуморальный иммунитет. Получена доказательная база эффективности использования L-карнитина и коэнзима Q_{10} в спортивной нутрициологии для восстановления иммунной дисфункции и адаптационного потенциала спортсменов-юниоров.

Ключевые слова: спортсмены-юниоры, L-карнитин, коэнзим Q_{10} , иммунитет, лимфоциты, цитокины

Nowadays, much attention is paid to the study of disorders of immune regulation and methods of effective immune correction in athletes. In this regard, the use of specialized sport foods (SSF), containing nutrients with immunomodulatory properties, is of particular relevance in youth sports.

The aim of the work is to study the immunomodulating activity of L-carnitine and coenzyme Q_{10} in junior athletes during the training period.

Material and methods. The object of the study were 30 junior athletes (masters of sports and candidates for masters of sports in swimming) aged 14–18 years, including 9 girls and 21 boys. Athletes were divided into 3 groups of 10 people each. Athletes of the 1st and 2nd main groups received L-carnitine (600 mg per day) and coenzyme Q_{10} (60 mg/day), respectively, for 4 weeks in addition to the basic diet. The dosage of SSF used in the study was 200% of the adequate level of consumption and did not exceed the upper permissible level of consumption. Athletes of the 3rd group (control) received only basic diet without sports' nutrition. Examination of athletes of all groups was performed at the beginning and after 4 weeks of the observation period.

Results and discussion. As a result of a comprehensive survey of junior athletes, the positive effect of L-carnitine intake on erythrocyte hemoglobin content (30.2 ± 0.4 vs 28.3 ± 0.3 pg at the beginning) was observed. The relative content of basophilic leukocytes in athletes of the main groups statistically significantly decreased by the end of the observation period: in the L-carnitine group, from 0.64 ± 0.05 to $0.45 \pm 0.04\%$, in the coenzyme Q_{10} group, from 0.66 ± 0.07 to $0.50 \pm 0.04\%$, which indicated an increase in the body's resistance to allergic reactions.

Conclusion. The biomarkers of the immunotropic effect of L-carnitine and coenzyme Q_{10} are a decrease in the expression of the apoptotic marker CD95/Fas on peripheral blood lymphocytes and suppression of the production of pro-inflammatory cytokines synthesized by Th1-lymphocytes with switching the response to humoral immunity. An evidence base for the effectiveness of the use of L-carnitine and coenzyme Q_{10} in sports nutrition for restoring immune dysfunction and adaptive potential of junior athletes has been provided.

Keywords: junior athletes, L-carnitine, coenzyme Q_{10} , immunity, lymphocytes, cytokines

Физическое и психоэмоциональное перенапряжение высококвалифицированных спортсменов нередко приводит к состоянию перетренированности. Показатели системы иммунитета у спортсменов могут выходить за рамки физиологических границ, являясь причиной роста заболеваемости и снижения спортивной результативности. В настоящее время спортивная иммунология рассматривается в качестве самостоятельной дисциплины [1].

Перетренированность – это особое состояние организма, которое возникает в связи с нарушением баланса между фазами тренировочного процесса и отдыха. У высококвалифицированных спортсменов в периоды интенсивных тренировок обнаружена транзиторная иммуносупрессия, обусловленная нарушением функции

нейтрофилов, снижением содержания иммуноглобулинов в сыворотке крови и секреторных жидкостях, числа естественных киллеров (NK-клеток) и их цитотоксической активности [2]. Экспрессия провоспалительных цитокинов рассматривается как патогенетический фактор развития синдрома перетренированности [3]. Интенсивные физические нагрузки при недостаточных периодах восстановления спортсмена приводят к микротравмам суставов, мышц и соединительной ткани. Эти повреждения в свою очередь активируют моноциты с последующей продукцией провоспалительных цитокинов, таких как интерлейкины (IL): IL-1 β , IL-6 и фактор некроза опухоли α (TNF- α), которые инициируют хроническое системное воспаление.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению нарушений иммунорегуляции и способов эффективной иммунокоррекции у высококвалифицированных спортсменов. Широкий спектр иммуномодулирующих фармакологических препаратов для профилактики развития транзиторных иммунодефицитных состояний, применяющийся у взрослых спортсменов, не приемлем для спортсменов-юниоров. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос использования в юношеском спорте нутриентов, обладающих иммуномодулирующими свойствами, включая биологически активные добавки к пище. Одними из наиболее часто используемых компонентов специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов (СПП) являются L-карнитин и коэнзим Q₁₀ [4]. Наряду с обширной доказательной базой эффективности применения данных СПП в спортивной практике, имеются разрозненные и неоднозначно интерпретируемые результаты их иммуномодулирующего влияния.

Цель работы – изучение иммуномодулирующей активности L-карнитина и коэнзима Q₁₀ у спортсменов-юниоров в тренировочный период.

Задачи исследования:

1. Оценить пищевую ценность рационов и адекватность их энергетической ценности энерготратам спортсменов-юниоров.

2. Оценить эффективность применения коэнзима Q₁₀ и L-карнитина по динамике показателей состава тела спортсменов к концу наблюдения.

3. Идентифицировать наиболее значимые иммунологические биомаркеры для оценки иммунотропной активности широко применяемых в спортивной практике СПП: коэнзима Q₁₀ и L-карнитина.

Материал и методы

Дизайн исследования. Исследование проведено с участием 30 спортсменов-юниоров (мастера спорта и кандидаты в мастера спорта по плаванию) в возрасте 14–18 лет, в том числе 9 девушек, 21 юноша. От всех спортсменов было получено информированное согласие на участие в исследовании в соответствии со ст. 32 «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» (утв. ВС РФ 22.07.1993 № 5487-1; ред. от 29.06.2004). Спортсмены были распределены на 3 группы по 10 человек в каждой. Спортсмены 1-й и 2-й основных групп в течение 4 нед дополнительно к основному рациону получали соответственно L-карнитин (600 мг/сут) (ООО «Бинафарм», Россия) и коэнзим Q₁₀ (60 мг/сут) (Solgar Vitamin and Herb, США). В соответствии с Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) дозировка используемых в исследовании компонентов составляла 200% от адекватного уровня суточного потребления и не превышала верхний допустимый уровень потребления в составе биологически

активных добавок к пище и СПП (приложение 5). Спортсмены 3-й группы (контрольной) получали основной рацион без включения СПП. Обследование спортсменов всех групп проводили в начале и через 4 нед периода наблюдения.

Фактическое питание спортсменов исследовали методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания [5] с использованием компьютерной программы «Анализ состояния питания человека» (версия 1.2.4 ГУ НИИ питания РАМН 2004 г.). Количество потребляемой пищи оценивали с помощью альбома порций продуктов и блюд, содержащего фотографии различной величины порций наиболее часто употребляемой пищи [6].

Суточные энерготраты организма (СЭО) рассчитывали по формуле Миффлина–Сент-Джера:

$$\text{СЭО} = (\text{ВОО} + \text{СДД}) \times \text{КФА},$$

где ВОО – величина основного обмена, СДД – специфическое динамическое действие пищи (10% от основного обмена), КФА – коэффициент физической активности [7].

Состав тела спортсменов исследовали методом биоимпедансметрии по стандартной методике с помощью прибора «МЕДАСС» АВС-01 (ООО НТЦ «МЕДАСС», Россия).

Количественный состав субпопуляций лимфоцитов в периферической крови обследуемых изучали на проточном цитофлуориметре «FC-500» (Beckman Coulter, США) по программе Cytomics CXP Software с использованием двойных комбинаций моноклональных антител (Beckman Coulter, США). При этом оценивали процентные показатели Т-клеточной популяции: общее количество Т-лимфоцитов (CD3⁺), количество Т-хелперов (CD3⁺CD4⁺), цитотоксических Т-лимфоцитов (CD3⁺CD8⁺), естественных клеток-киллеров (NK-клеток – CD3⁺CD16⁺CD56⁺), естественных клеток-киллеров, обладающих свойствами Т-лимфоцитов (NKT-клеток – CD3⁺CD16⁺CD56⁺), В-клеточной популяции (CD19⁺) лимфоцитов, а также относительное содержание лимфоцитов, несущих маркеры активации (CD3⁺HLA-DR⁺, CD3⁺CD25⁺), и маркерный антиген апоптоза CD45⁺CD95⁺. В качестве изотипических контролей использовали CD45/CD14 (для идентификации популяции лейкоцитов и выделения гейта лимфоцитов по малоугловому и боковому светорассеянию) и IgG1/IgG2 (для контроля неспецифического связывания лимфоцитов с антителами и выделения отрицательного по флуоресценции лимфоцитарного гейта). Иммунорегуляторный индекс (ИРИ) выражали соотношением Т-хелперов к Т-цитотоксическим лимфоцитам. Гемолиз эритроцитов осуществляли в автоматическом режиме на станции пробоподготовки «TQ-PREP» (Beckman Coulter, США).

Уровни цитокинов: гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора (GM-CSF), интерферона-γ (IFN-γ), IL-12p70, IL-13, IL-18, IL-1β, IL-2, IL-4, IL-5, IL-6 и TNF-α в сыворотке крови спортсменов исследовали методом мультиплексного иммуноанализа с использованием коммерческого набора «eBioscience

Таблица 1. Суточные энерготраты и пищевая ценность рационов спортсменов ($M \pm m$)

Показатель	Группа спортсменов		
	контроль	козним Q ₁₀	L-карнитин
Энерготраты, ккал	3008±91	3104±104	2939±172
Калорийность рациона, ккал/сут	2921±472	3042±422	2788±358
Белок, г/сут	114,5±8,7	133,3±16,7	116,0±13,6
Жиры, г/сут	104,7±27,5	125,3±21,5	103,2±8,4
Углеводы, г/сут	382,3±73,4	364,3±40,4	348,8±63,3
Пищевые волокна, г/сут	20,0±3,9	19,4±2,5	19,5±4,5
Добавленный сахар, г/сут (% от калорийности рациона)	88,9±33,4 (11,5)	113,1±6,7 (14,6)	99,7±17,6 (12,9)
Белки/жиры/углеводы	1,0/0,9/3,3	1,0/0,9/2,7	1,0/0,9/3,0

Human Th1/Th2 Extended 11-Plex» (Bender MedSystems GmbH, Австрия). Измерения выполняли на мультиплексном анализаторе «Luminex 200» (Luminex Corporation, США).

Гематологические показатели определяли на гематологическом анализаторе «Coulter AC T™ 5 diff OV» (Beckman Coulter Int. S.A., США). Определяемые параметры: содержание эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, концентрация гемоглобина, гематокрит, средний объем эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, лейкоцитарная формула, средний объем тромбоцита, относительный объем тромбоцитов в образце цельной крови.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM, США). Расчет включал определение выборочного среднего, стандартной ошибки, медианы, вероятности принятия нуль-гипотезы о совпадении распределений сравниваемых выборок со-

гласно критерию Стьюдента, Манна–Уитни и ANOVA. Различия признавали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Энерготраты спортсменов-юниоров и пищевая ценность рационов. Плавание относится к циклическим видам спорта. Этот вид деятельности требует расхода большого количества энергии, а сама работа выполняется с высоким напряжением и значительной интенсивностью. Суммарная калорийность продуктов суточного потребления должна соответствовать энерготратам спортсмена на данный период времени с учетом возраста и пола. В соответствии с Методическими рекомендациями по питанию юных спортсменов [8], оптимальное соотношение белки/жиры/углеводы в рационе по калорийности составляет 16/28/56% (1,0/0,9/3,6).

Таблица 2. Динамика гематологических показателей спортсменов ($M \pm m$)

Показатель	Группа спортсменов						Норма [9]
	контроль		козним Q ₁₀		L-карнитин		
	1-й день	28-й день	1-й день	28-й день	1-й день	28-й день	
Общее количество эритроцитов, $\times 10^{12}/л$	4,99±0,14	4,93±0,18	5,03±0,11	4,80±0,12	4,79±0,11	4,60±0,11	4,0–5,1
Концентрация гемоглобина, г/л	151±7	150±4	153±4	152±4	135±5	139±4	132–164
Гематокрит, %	45,5±1,4	44,4±0,6	45,3±1,1	43,1±1,1	42,3±1,4	40,8±1,2	40–48
Средний объем эритроцита, мкм ³	91,3±1,3	90,0±2,1	90,2±0,6	89,7±0,8	88,4±2,4	88,5±1,0	80–94
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	30,2±0,6	30,5±0,4	30,5±0,2	30,9±0,4	28,3±0,3	30,2±0,4*	27–34
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	332±4	338±5	338±1	344±4	320±2	342±2*	320–360
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	6,98±0,65	7,00±0,70	7,12±0,66	7,31±0,67	7,97±0,55	6,99±0,47	4,0–8,8
Базофилы, %	0,60±0,04	0,70±0,15	0,66±0,07	0,50±0,04*	0,64±0,05	0,45±0,04*	0–1,0
Эозинофилы, %	2,93±0,49	2,57±0,56	2,55±0,36	2,87±0,45	2,75±0,41	3,13±0,47	0,5–5,0
Нейтрофилы, %	51,7±1,8	48,2±0,9	55,4±2,5	50,0±3,3	56,4±2,4	55,2±2,1	48–78
Лимфоциты, %	35,7±2,3	38,8±1,5	31,0±2,4	36,7±3,1	31,2±2,3	32,1±2,3	19–37
Моноциты, %	9,67±0,34	9,70±0,87	10,4±0,5	9,9±0,5	8,90±0,59	9,16±1,11	3–11
Тромбоциты, $\times 10^9/л$	217±11	224±10	196±17	233±22	230±16	233±18	180–320
Средний объем тромбоцита, мкм ³	8,85±0,37	8,63±0,66	9,63±0,30	8,96±0,33	8,76±0,27	8,59±0,29	7,4–10,4
Тромбокрит, %	0,191±0,06	0,193±0,015	0,184±0,013	0,207±0,018	0,199±0,012	0,198±0,014	0,15–0,4

Здесь и в табл. 3: * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя в 1-й день обследования.

Таблица 3. Показатели клеточного иммунитета (в %) спортсменов ($M \pm m$)

Показатель	Группа спортсменов						Норма [12, 13]
	контроль		коэнзим Q ₁₀		L-карнитин		
	1-й день	28-й день	1-й день	28-й день	1-й день	28-й день	
B-лимфоциты CD19+	10,3±1,4	12,3±1,9	11,7±1,3	9,9±1,3	18,0±1,3	16,8±2,0	5–19
T-лимфоциты CD3+	70,2±4,2	74,3±2,4	70,2±1,2	71,4±1,7	67,2±2,1	68,2±2,2	61–84
T-хелперы CD3+CD4+	38,5±2,8	43,4±2,0	37,8±2,2	38,3±3,4	37,6±1,7	41,1±2,42	32–58
T-цитотоксические лимфоциты CD3+CD8+	29,3±4,4	27,6±1,6	27,3±1,5	27,1±1,6	25,3±1,24	24,5±1,2	11–36
T-активные лимфоциты CD3+HLA-DR+	3,93±0,71	5,30±0,93	4,11±0,56	4,27±0,72	2,86±0,65	2,8±0,69	0–12
ИРИ CD4/CD8	1,47±0,21	1,56±0,09	1,44±0,13	1,46±0,17	1,52±0,09	1,71±0,14	1,0–2,0
NK-клетки CD3-CD16+CD56+	17,3±4,5	11,1±2,8	14,2±1,7	16,1±2,0	12,9±1,7	10,0±1,7	7–31
NKT-клетки CD3+CD16+CD56+	7,08±2,62	8,36±4,39	4,85±0,85	6,20±1,05	3,33±0,50	3,33±0,60	1–10
CD25-лимфоциты CD3+CD25+	4,44±0,53	5,91±0,69	3,41±0,33	3,25±0,42	3,42±0,21	3,53±0,23	1–12
CD95-клетки CD45+CD95+	3,99±0,76	4,28±1,51	4,37±0,16	1,41±0,08*	4,08±0,17	2,87±0,01*	2–12

Суточные энерготраты и пищевая ценность рационов обследованных спортсменов представлены в табл. 1.

Суммарная калорийность потребленных за сутки продуктов в основном соответствовала энерготратам спортсменов обследованных групп (нет статистически значимых различий). Соотношение белок/жиры/углеводы в суточном рационе спортсменов обследованных групп свидетельствует о недостаточной квоте углеводов в соответствии с формулой оптимального питания для юных спортсменов [8]. При этом потребление добавленного сахара у спортсменов всех категорий превышало рекомендуемый уровень (10% от калорийности суточного рациона) (см. табл. 1).

Состав тела спортсменов до и после приема специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов. Из исследованных показателей состава тела спортсменов (фазовый угол, индекс массы тела, содержание тощей, жировой, мышечной массы тела, общей жидкости, основной обмен) у спортсменов, потреблявших L-карнитин, отмечена тенденция к повышению величины фазового угла ($6,80 \pm 0,29^0$ – в 1-й день обследования и $7,71 \pm 0,83^0$ – через 4 нед, $p < 0,10$). Этот показатель характеризует состояние клеток организма, уровень общей работоспособности и интенсивности обмена веществ. Потребление спортсменами коэнзима Q₁₀ не оказало значимого влияния на исследованные показатели состава тела.

Гематологические показатели спортсменов до и после приема СПП представлены в табл. 2.

Как следует из представленных в табл. 2 данных, подавляющее большинство исследованных гематологических показателей спортсменов основных групп и контрольной находились в пределах референтных значений [9]. В группе спортсменов, потреблявших в течение 4 нед L-карнитин, обнаружено статистически значимое повышение содержания гемоглобина в эритроците. Это важный гематологический показатель для спортсменов, особенно при аэробных физических нагрузках. Результаты согласуются с данными [10] о стимуляции L-карнитином факторов эритропоэза.

Содержание базофильных лейкоцитов у спортсменов основных групп статистически значимо снизилось

к концу периода наблюдения (см. табл. 2), что свидетельствует о повышении резистентности организма к аллергическим реакциям. Установлено, что базофильные гранулоциты содержат гранулы гистамина. Основной функцией этих клеток является их участие в иммунных реакциях немедленного и замедленного типа [11].

Показатели клеточного иммунитета спортсменов.

Процесс развития иммунного ответа организма сопровождается изменениями субпопуляционного состава иммунокомпетентных клеток. Это относится как к изменению их количества, так и к появлению на клеточной поверхности определенных функциональных молекул. Под действием различных агентов клетки изменяют экспрессию мембранных и внутриклеточных маркеров. Определение субпопуляционного состава или фенотипа лимфоцитов в настоящее время является важным диагностическим критерием, позволяющим оценить состояние иммунной системы и ее нарушения при различных патологических состояниях, в том числе и при спортивных нагрузках. Исследованные показатели клеточного иммунитета у спортсменов основных групп и группы контроля в начале исследования и в конце периода наблюдения представлены в табл. 3.

Все исследованные показатели клеточного иммунитета у спортсменов основных групп и группы контроля в начале и в конце исследования находились в пределах референтных значений (см. табл. 3). В группах спортсменов, потреблявших коэнзим Q₁₀ и L-карнитин, обнаружено статистически значимое снижение экспрессии апоптотического маркера CD95/Fas на лимфоцитах периферической крови, что является отражением процессов, способствующих регрессии апоптоза лимфоцитов.

Цитокиновый профиль сыворотки крови спортсменов до и после курса приема специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов. Гуморальная составляющая межклеточных взаимодействий в иммунной системе представлена цитокинами, которые являются белковыми или полипептидными продуктами активированных клеток. Цитокины являются медиаторами при иммунном ответе, гемопоэзе и развитии воспаления. Цитокины подразделяются на несколько групп:

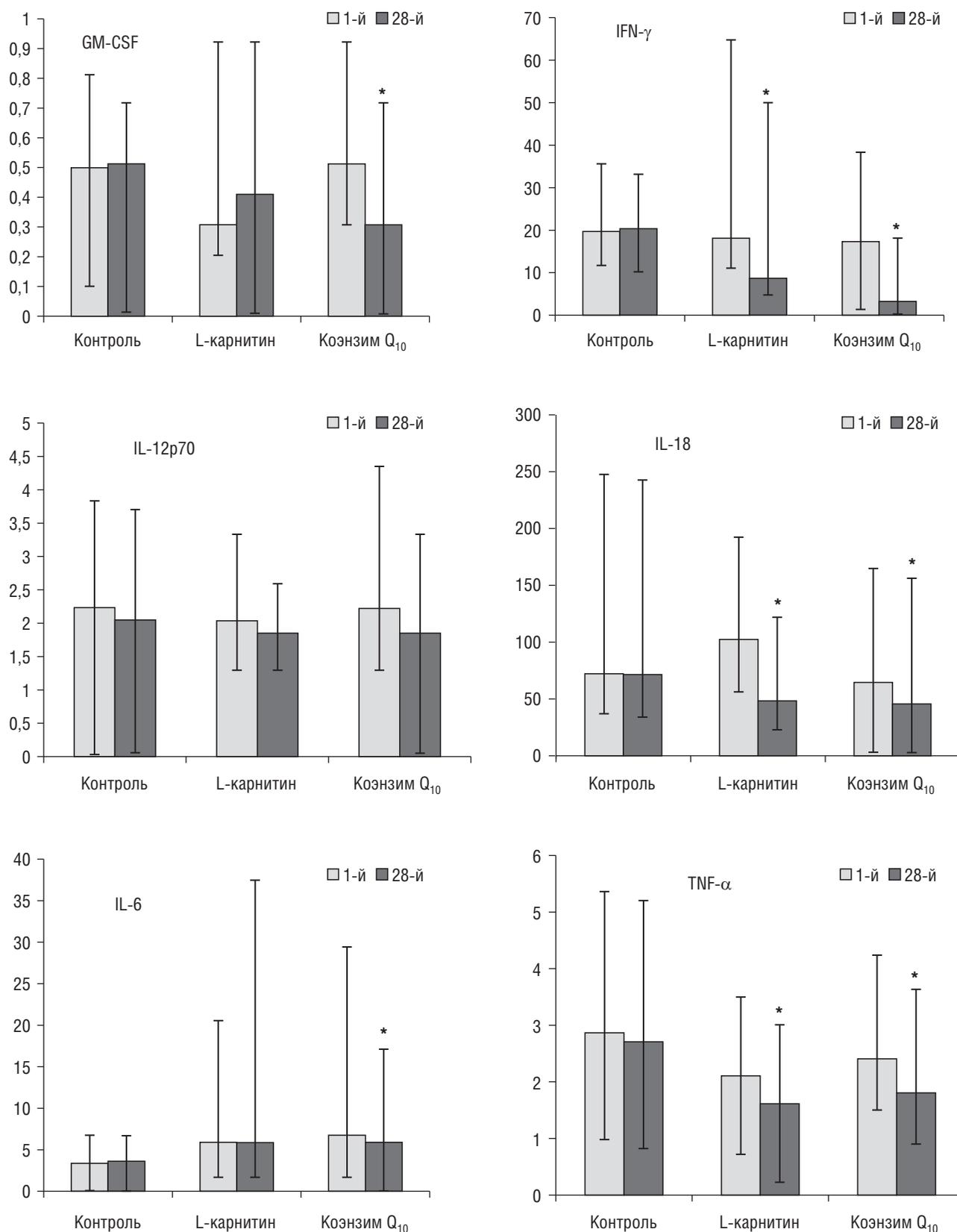


Рис. 1. Изменение уровней цитокинов Th1 в сыворотке крови спортсменов

По оси ординат – уровень цитокинов, пг/мл (медиана, min–max). Здесь и на рис. 2: * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя в 1-й день обследования.

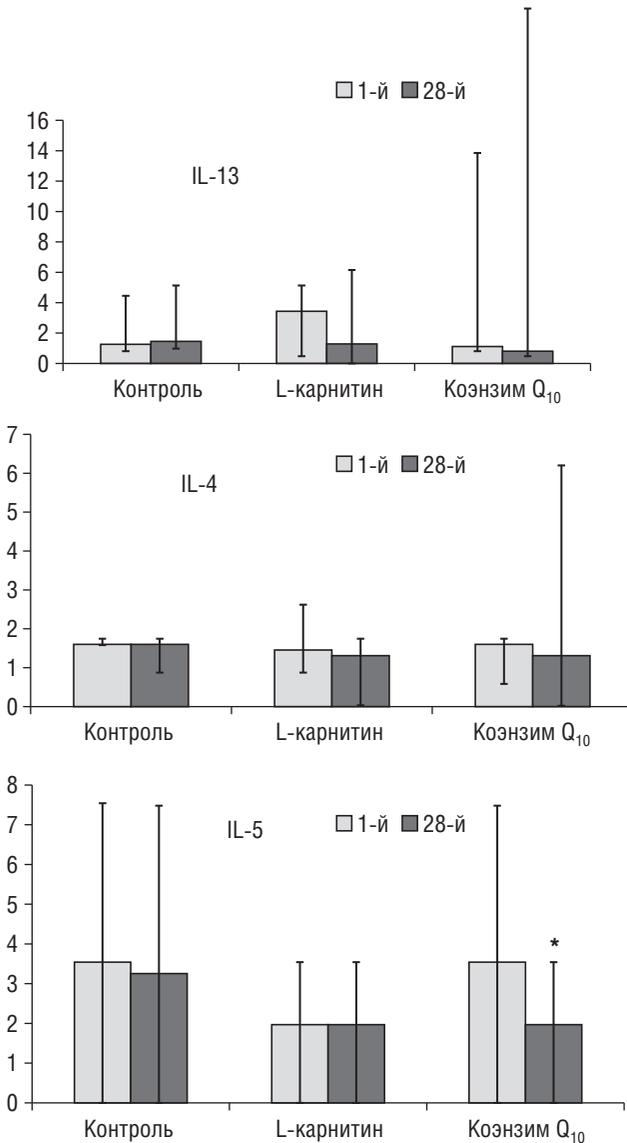


Рис. 2. Изменение уровней цитокинов Th2 в сыворотке крови спортсменов

По оси ординат – уровень цитокинов, пг/мл (медиана, min–max).

интерлейкины, интерфероны, факторы некроза опухоли, колониестимулирующие факторы и др. [12, 13]. Продукентами цитокинов являются стромальные соединительнотканые клетки, которые преимущественно вырабатывают цитокины, ответственные за гемопоэз, моноциты/макрофаги, которые являются продукентами медиаторов воспаления, и лимфоциты, обеспечивающие развитие антигенспецифической составляющей иммунного ответа. Функциональная специализация CD4⁺ Т-лимфоцитов в процессе развития иммунного ответа обеспечивается их дифференцировкой на Т-лимфоциты-хелперы 1-го (Th1) и 2-го (Th2) типа, которые характеризуются различным спектром цитокинов [14, 15]. Установлено, что лимфоциты Th1 вырабатывают IL-2, IFN- γ , TNF- α и β , осуществляя развитие преимущественно клеточного иммунного ответа. Субпопуляция Th2

продуцирует IL-4, IL-5, IL-6, IL-9, IL-10 и IL-13 и ответственна за развитие гуморального иммунного ответа [16]. Оба типа клеток вырабатывают IL-3 и GM-CSF. Пролиферативная активность Th1- и Th2-лимфоцитов поддерживается аутокринно: фактором роста для Th1 служит IL-2, для Th2 – IL-4. На регуляцию дифференцировки и соотношений этих субпопуляций также оказывают влияние продукты нелимфоидных клеток, в частности макрофагов.

Спектр исследованных в работе цитокинов можно разделить на следующие группы: регуляторы дифференцировки Th1/Th2 – клеточных популяций: IL-4, IFN- γ , IL-12p70, IL-13, IL-18; регуляторы гемопоэза; GM-CSF, IL-2, IL-5, IL-6; воспалительные факторы и индукторы апоптоза: TNF- α , IL-1b.

В результате изучения цитокинового профиля сыворотки крови у спортсменов, потреблявших в течение 4 нед L-карнитин, из 11 исследованных цитокинов выявлено статистически значимое снижение уровней: IFN- γ (с 18,1 до 8,7 пг/мл), IL-18 (с 102,4 до 48,3 пг/мл) и TNF- α (с 2,1 до 1,6 пг/мл) (рис. 1). Кроме того, можно отметить тенденцию к уменьшению содержания IL-13 (с 3,4 до 1,3 пг/мл, $p < 0,10$) (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о противовоспалительной активности L-карнитина в условиях интенсивных физических нагрузок.

Как известно, L-карнитин в качестве кофактора участвует в переносе длинноцепочечных жирных кислот через клеточные мембраны из цитозоля в матрикс митохондрий, в котором происходит их β -окисление до ацетил-КоА-субстрата для образования аденозинтрифосфорной кислоты в цикле Кребса [10, 17]. Карнитин способствует более экономному расходованию запасов гликогена и глюкозы в период продолжительных интенсивных тренировок, участвует в обмене кетоновых тел и холина, подавляет образование лактата и процессы апоптоза [17]. В настоящее время установлено, что L-карнитин стимулирует физическую работоспособность спортсменов, переключая метаболизм в условиях интенсивных нагрузок с анаэробного на более энергетически выгодный аэробный путь [18]. Имеющиеся в литературе данные об иммуотропном эффекте L-карнитина фрагментарны и носят противоречивый характер.

Наиболее значимое влияние на уровни цитокинов, продуцируемых Th1, выявлено при добавлении в рацион спортсменов коэнзима Q₁₀. Через 4 нед приема коэнзима Q₁₀ обнаружено статистически значимое снижение содержания следующих цитокинов: GM-CSF (с 0,5 до 0,3 пг/мл), IFN- γ (с 17,3 до 3,3 пг/мл), IL-18 (с 64,6 до 45,6 пг/мл) и IL-6 (с 6,8 до 5,9 пг/мл) (см. рис. 1), а также тенденция к уменьшению содержания IL-12p70 (с 2,2 до 1,9 пг/мл, $p < 0,10$) (см. рис. 1). Среди цитокинов, продуцируемых Th2, выявлено снижение только уровня IL-5 (с 3,5 до 1,9 пг/мл) (см. рис. 2). Полученные результаты согласуются с данными авторов, которые на культурах лимфоцитов здоровых доноров выявили супрессорное влияние коэнзима Q₁₀ на экспрессию цитокинов Th1,

особенно TNF- α и IL-2, продукция которых достоверно снижалась при инкубации с различными концентрациями коэнзима Q₁₀ [19].

Восстановленный убихинон (коэнзим Q₁₀) является жирорастворимым антиоксидантом, синтезируемым в клетках животных и человека. Биоэнергетическая и антиоксидантная функции коэнзима Q₁₀ считаются важнейшими при его клиническом применении, особенно в отношении клеток с высоким уровнем метаболизма, таких как миоциты сердца и скелетных мышц [20]. Коэнзим Q₁₀ принимает участие в реакциях окислительного фосфорилирования, являясь компонентом цепи переносов электронов с NADH- и сукцинатдегидрогеназного комплекса на цитохром В, и участвует, таким образом, в синтезе АТФ. По антиоксидантной активности коэнзим Q₁₀ превосходит все остальные естественные антиоксиданты и поэтому считается наиболее перспективным для применения в клинической и спортивной практике [21, 22]. Доказано положительное влияние коэнзима Q₁₀ на снижение уровней медиаторов воспаления: С-реактивного белка, IL-6 и TNF- α [23, 24]. В настоящее время установлено, что коэнзим Q₁₀ супрессирует воспаление и продукцию провоспалительных цитокинов за счет ингибирования экспрессии IL-17 и сигнального пути p-STAT3, тесно связанного на уровне цитокиновых сетей с регуляторным влиянием GM-CSF, IFN- γ , IL-18 и IL-6 [25].

Заключение

Таким образом, в результате проведенного комплексного обследования спортсменов-юниоров, пот-

реблявших в течение 4 нед в дополнение к основному рациону в составе СПП L-карнитин или коэнзим Q₁₀, установлено:

- в используемых дозировках (200% от адекватного уровня суточного потребления) данные СПП не оказывают значимого влияния на показатели состава тела;
- L-карнитин повышает содержание гемоглобина в эритроците;
- L-карнитин и коэнзим Q₁₀ повышают резистентность организма к аллергическим реакциям;
- биомаркерами иммуотропного влияния L-карнитина и коэнзима Q₁₀ являются снижение экспрессии апоптотического маркера CD95/Fas на лимфоцитах периферической крови и супрессия продукции провоспалительных цитокинов, синтезируемых лимфоцитами Th1, с переключением ответа на гуморальный иммунитет.

Результаты настоящего исследования представляют доказательную базу эффективности использования специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов (L-карнитина и коэнзима Q₁₀) в спортивной нутрициологии для восстановления иммунной дисфункции и адаптационного потенциала спортсменов-юниоров.

Финансирование. Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН (тема № 0529-2015-0009).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Сведения об авторах

Трушина Элеонора Николаевна (Trushina Eleonora N.) – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: trushina@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0035-3629>

Выборнов Василий Дмитриевич (Vybornov Vasily D.) – начальник отдела медико-биологического обеспечения ГБОУ г. Москвы «Центр спорта и образования «Самбо-70» (Москва, Россия)

E-mail: v.vybornov84@gmail.com

Ригер Николай Александрович (Riger Nikolay A.) – доктор медицинских наук, профессор, главный специалист лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: riger@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7149-2485>

Мустафина Оксана Константиновна (Mustafina Oksana K.) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: mustafina@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7231-9377>

Солнцева Татьяна Николаевна (Solntseva Tatyana N.) – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: t_solntseva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7450-8873>

Тимонин Андрей Николаевич (Timonin Andrey N.) – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: andrey8407@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6087-6918>

Зилова Ирина Сергеевна (Zilova Irina S.) – кандидат медицинских наук, главный специалист лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: zilova@ion.ru

Раджаббадиев Раджабади Магомедович (Radzhabkadiev Radzhabkadi M.) – младший научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: 89886999800@mail.ru

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

Литература

- Shephard R.J. Development of the discipline of exercise immunology // *Exerc. Immunol. Rev.* 2010. Vol. 16. P. 194–222.
- MacKinnon L.T. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes // *Immunol. Cell. Biol.* 2000. Vol. 78. P. 502–509.
- Smith L.L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Vol. 32. P. 317–331.
- Раджаббадиев Р.М., Коростелева М.М., Евстратова В.С., Никитюк Д.Б., Ханферьян Р.А. L-карнитин: свойства и перспективы применения в спортивной практике // *Вопр. питания.* 2015. Т. 84, № 3. С. 4–12.
- Мартинчик А.Н., Батуринов А.К., Феоктисова А.И., Свяховская И.В. Методические рекомендации по оценке количества потребляемой пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания: Утв. Зам. главного гос. санитарного врача РФ Г.Г. Онищенко 26 февраля 1996 г. № CI-19/14-17. М.: Минздрав РФ, 1996. 124 с.
- Мартинчик А.Н., Батуринов А.К., Баева В.С., Пескова Е.В., Ларина Т.И., Забуркина Т.Г. Альбом порций продуктов и блюд. М.: Институт питания РАМН, 1995. 64 с.
- Frankenfield D., Roth-Yousey L., Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review // *J. Am. Diet. Assoc.* 2005. Vol. 105. P. 775–789.
- Методические рекомендации по питанию юных спортсменов. М., 2017. 134 с.
- Зборовский А.Б., Зборовская И.А. Внутренние болезни в таблицах и схемах: справочник. 3-е изд. / под ред. Ф.И. Комарова. М.: Медицинское информационное агентство, 2011. 668 с.
- Балыкова Л.А., Ивьянский С.А., Пиксайкина О.А., Ефремова Ю.А. Обоснование использования L-карнитина в спортивной медицине // *Спортивная медицина: наука и практика.* 2011. № 1. С. 22–29.
- Козинец Г.И. Лабораторная диагностика. Анализы крови и мочи. Клиническое значение. М.: Практическая медицина, 2011. 160 с.
- Хайтов Р.М. Иммунология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 311 с.
- Земсков А.М., Земсков В.М., Караулов А.В. Клиническая иммунология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. 319 с.
- Зурочка А.В., Хайдуков С.В. Цитометрический анализ субпопуляций Т-хелперов (Th1, Th2, Treg, Th17, Т-хелперы активированные) // *Мед. иммунол.* 2011. Т. 13, № 1. С. 7–16.
- Кепшинский С.А. Роль Т-хелперов типов 1 и 2 в регуляции клеточного и гуморального иммунитета // *Иммунология.* 2002. № 2. С. 77–79.
- Ярилин А.А. Симбиотические взаимоотношения клеток иммунной системы // *Иммунология.* 2001. № 4. С. 16–20.
- Aartsma-Rus A., Van Ommen G.J., Kaplan J.C. Innovating therapies for muscle diseases // *Handbook of Clinical Neurology.* North-Holland Publisher, 2013. Vol. 113. P. 1497–1501.
- Kraemer W.J., Volek J.S., Dunn-Lewis C. L-carnitine supplementation: influence upon physiological function // *Curr. Sports Med. Rep.* 2008. Vol. 7. P. 218–223.
- Bessler H., Bergman M., Blumberger N., Djaldetti M., Salman H. Coenzyme Q10 decreases TNF-alpha and IL-2 secretion by human peripheral blood mononuclear cells // *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo).* 2010. Vol. 56. P. 77–81.
- Гороховская Г.Н., Чернецова Е.В., Петина М.М. Перспективы применения коэнзима Q10 в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний // *Кардиология.* 2008. № 4. С. 8–14.
- Каленикова Е.И., Городецкая Е.А., Медведев О.С. Фармакокинетика коэнзима Q10 // *Бюл. экспер. биол.* 2008. Т. 146, № 9. С. 288–295.
- Мокеева Е.Г., Савельева И.Н. Механизмы формирования иммунных дисфункций и пути их профилактики у высококвалифицированных спортсменов // *Ученые записки Ун-та им. П.Ф. Лесгафта.* 2011. Т. 78, № 8. С. 132–135.
- Fan L., Feng Y., Chen G.C et al. Effects of coenzyme Q10 supplementation on inflammatory markers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Pharmacol. Res.* 2017. Vol. 119. P. 128–136.
- Armanfar M., Jafari A., Dehghan G.R., Abdizadeh L. Effect of coenzyme Q10 supplementation on exercise-induced response of inflammatory indicators and blood lactate in male runners // *Med. J. Islam. Repub. Iran.* 2015. Vol. 29. P. 202–204.
- Lee S.Y., Lee S.H., Yang E.J. et al. Coenzyme Q10 inhibits Th17 and STAT3 signaling pathways to ameliorate colitis in mice // *J. Med. Food.* 2017. Vol. 20. P. 821–829.

References

- Shephard R.J. Development of the discipline of exercise immunology. *Exerc Immunol Rev.* 2010; 16: 194–222.
- MacKinnon L.T. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol.* 2000; 78: 502–9.
- Smith L.L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32: 317–31.
- Radzhabkadiev R.M., Korosteleva M.M., Evstratova V.S., Nikityuk D.B., Khanferyan R.A. L-carnitine: properties and perspectives for use in sports practice. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2015; 84 (3): 4–12. (in Russian)
- Martinchik A.N., Baturin A.K., Feoktissova A.I., Svyakhovskaya I.V. Guidelines for estimating the amount of food consumed by the method of 24-hour (daily) reproduction of food: Approved. Deputy main state February 26, 1996, Sanitary Doctor of the Russian Federation G.G. Onishchenko, No. CI-19/14-17. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 1996: 124 p. (in Russian)
- Martinchik A.N., Baturin A.K., Bayeva V.S., Peskova E.V., Larina T.I., Zaburkina T.G., Album portions of products and dishes. Moscow: Institut Pitaniia RAMN, 1995: 64 p. (in Russian)
- Frankenfield D., Roth-Yousey L., Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy non-

- obese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc.* 2005; 105: 775–89.
8. Guidelines for nutrition of young athletes. Moscow, 2017: 134 p. (in Russian)
 9. Zborovsky A.B., Zborovskaya I.A. Internal diseases in tables and diagrams. Directory. 3rd ed. Edited by F.I. Komarova. Moscow: Meditsinskoe Informatsionnoe Agentstvo, 2011: 668 p. (in Russian)
 10. Balykova L.A., Ivyansky S.A., Pixikina O.A., Efremova Yu.A. Justification of the use of L-carnitine in sports medicine. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika [Sports Medicine: Science and Practice]*. 2011; (1): 22–9. (in Russian)
 11. Kozinets G.I. Laboratory diagnosis. Blood and urine tests. Clinical significance. Moscow: Prakticheskaya Meditsina, 2011: 160 p. (in Russian)
 12. Khaitov R.M. Immunology. Moscow: GEOTAR-Media, 2006: 311 p. (in Russian)
 13. Zemskov A.M., Zemskov V.M., Karaulov A.V. Clinical immunology. Moscow: GEOTAR-Media, 2005: 319 p. (in Russian)
 14. Zurochka A.V., Khaydukov S.V. Cytometric analysis of T-helper subpopulations (Th1, Th2, Treg, Th17, T-activated helper cells). *Meditsinskaya immunologiya [Medical Immunology]*. 2011; 13 (1): 7–16. (in Russian)
 15. Kepshinsky C.A. The role of T-helper types 1 and 2 in the regulation of cellular and humoral immunity. *Immunologiya [Immunology]*. 2002; (2): 77–9. (in Russian)
 16. Yarilin A.A. Symbiotic relationships of cells of the immune system. *Immunologiya [Immunology]*. 2001; (4): 16–20. (in Russian)
 17. Aartsma-Rus A., Van Ommen G.J., Kaplan J.C. Innovating therapies for muscle diseases. In: *Handbook of Clinical Neurology*. North-Holland Publisher, 2013; 113: 1497–501.
 18. Kraemer W.J., Volek J.S., Dunn-Lewis C. L-carnitine supplementation: influence upon physiological function. *Curr Sports Med Rep.* 2008; 7: 218–23.
 19. Bessler H., Bergman M., Blumberger N., Djaldetti M., Salman H. Coenzyme Q10 decreases TNF-alpha and IL-2 secretion by human peripheral blood mononuclear cells. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2010; 56: 77–81.
 20. Gorokhovskaya G.N., Chernetsova E.V., Petina M.M. Prospects for the use of coenzyme Q10 in the prevention and treatment of cardiovascular diseases. *Kardiologiya [Cardiology]*. 2008; (4): 8–14. (in Russian)
 21. Kalenikova E.I., Gorodetskaya E.A., Medvedev O.S. Pharmacokinetics of coenzyme Q10. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]*. 2008; 146 (9): 288–95. (in Russian)
 22. Mokeeva E.G., Savelieva I.N. Mechanisms of formation of immune dysfunctions and ways of their prevention in highly skilled athletes. *Uchenye zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta [Scientific Notes of University named after P.F. Lesgaft]*. 2011; 78 (8): 132–5. (in Russian)
 23. Fan L., Feng Y., Chen G.C., et al. Effects of coenzyme Q10 supplementation on inflammatory markers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Pharmacol Res.* 2017; 119: 128–36.
 24. Armanfar M., Jafari A., Dehghan G.R., Abdizadeh L. Effect of coenzyme Q10 supplementation on exercise-induced response of inflammatory indicators and blood lactate in male runners. *Med J Islam Repub Iran.* 2015; 29: 202–4.
 25. Lee S.Y., Lee S.H., Yang E.J., et al. Coenzyme Q10 inhibits Th17 and STAT3 signaling pathways to ameliorate colitis in mice. *J Med Food.* 2017; 20: 821–9.

Для корреспонденции

Кобелькова Ирина Витальевна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
 Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
 Телефон: (495) 968-53-90
 E-mail: irinavit66@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1237-5147>

Кобелькова И.В.¹, Мартинчик А.Н.¹, Кешабянц Э.Э.¹, Денисова Н.Н.¹, Пескова Е.В.¹,
 Выборная К.В.¹, Соколов А.И.¹, Лавриненко С.В.¹, Никитюк Д.Б.^{1, 2}

Анализ рациона питания членов мужской сборной команды России по водному поло в соревновательный период

An analysis of the diet of members of the Russian national men's water polo team during the sports training camps

Kobelkova I.V.¹, Martinchik A.N.¹, Keshabyants E.E.¹, Denisova N.N.¹, Peskova E.V.¹, Vybornaya K.V.¹, Sokolov A.I.¹, Lavrinenko S.V.¹, Nikityuk D.B.^{1, 2}

- ¹ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия
² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия
¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia
² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Повышение адаптационного потенциала профессиональных спортсменов зависит от правильной организации питания, особенно в условиях проведения тренировочных сборов и соревнований. В связи с этим актуальным является изучение фактического питания и оценка его соответствия энергозатратам спортсменов.

Цель работы – изучить фактическое питание и энергозатраты членов мужской сборной команды Российской Федерации по водному поло в соревновательный период спортивной деятельности.

Материал и методы. В марте 2018 г. были обследованы 15 высококвалифицированных спортсменов-мужчин, занимающихся водным поло; квалификация – 11 мастеров спорта, 4 кандидата в мастера спорта; славянского этноса. Средний возраст – 23,1±0,6 года. Фактическое питание изучали 24-часовым методом воспроизведения питания и частотным методом. Антропометрическое обследование проведено по унифицированной методике с использованием стандартных медицинских весов, медицинского ростомера и прорезиненной сантиметровой ленты. Измерение энергозатрат и частоты сердечных сокращений в покое и при нагрузке осуществляли на велоэргометре с помощью эргоспирометра беспроводного и грудного пульсометра.

Для цитирования: Кобелькова И.В., Мартинчик А.Н., Кешабянц Э.Э., Денисова Н.Н., Пескова Е.В., Выборная К.В., Соколов А.И., Лавриненко С.В., Никитюк Д.Б. Анализ рациона питания членов мужской сборной команды России по водному поло в соревновательный период // *Вопр. питания.* 2019. Т. 88, № 2. С. 50–57. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10017.

Статья поступила в редакцию 18.10.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Kobelkova I.V., Martinchik A.N., Keshabyants E.E., Denisova N.N., Peskova E.V., Vybornaya K.V., Sokolov A.I., Lavrinenko S.V., Nikityuk D.B. An analysis of the diet of members of the Russian national men's water polo team during the sports training camps. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2019; 88 (2): 50–7. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10017. (in Russian)

Received 18.10.2018. **Accepted** 13.03.2019.

Результаты и обсуждение. Определение суточных энерготрат у спортсменов мужской сборной команды России по водному поло показало, что средняя величина составила 4350 ± 129 ккал. Особенностью рациона ватерполистов является его высокая калорийность (5165 ± 539 ккал/сут), обусловленная энерготратами при физических нагрузках и дополнительным термогенезом в условиях длительных тренировок в воде. Избыточное (в 1,5 раза по сравнению с рекомендуемыми величинами) потребление жирового компонента, в том числе насыщенных жирных кислот – в 1,3 раза, добавленного сахара и добавленной соли является фактором риска развития заболеваний сердечно-сосудистой, эндокринной системы, в том числе сахарного диабета 2 типа, органов пищеварения, кроветворения. Установлены низкие величины потребления овощей и фруктов, молочных продуктов, рыбопродуктов и высокие – сахара и кондитерских изделий.

Выводы. Выявлена несбалансированность рационов по двум основным пищевым веществам (жиры, углеводы). Полученные данные были положены в основу формирования индивидуальных рекомендаций по питанию для каждого спортсмена с учетом его метаболических показателей и уровня физической нагрузки. Необходимо продолжение исследований антропометрических показателей в динамике для наиболее адекватной оценки соответствия фактического питания энерготратам и проведения дальнейшей коррекции рациона с целью повышения результативности спортсменов.

Ключевые слова: питание, спорт, антропометрия, энерготраты, водное поло

Increasing the adaptive capacity of professional athletes depends on proper nutrition, especially in training and competitions' period. In this regard, it is relevant to study the actual nutrition and assess its compliance with the energy expenditure of athletes.

The aim – to study the actual nutrition and energy expenditure of athletes from male water polo national team of the Russian Federation in the competitive period.

Material and methods. In March 2018, 15 highly skilled sportsmen-men engaged in water polo were examined; qualification – 11 masters of sports, 4 candidates for the master of sports; Slavic ethnoses. The average age was 23.1 ± 0.6 years. The actual nutrition was studied by a 24-hour food record method and by the frequency method. The anthropometric examination was carried out according to a unified method using standard medical scales, a medical height meter and a rubberized measuring tape. Measurement of energy expenditure and heart rate at rest and under load was performed on a bicycle ergometer using an wireless ergospirometer and a chest pulse meter.

Results and discussion. The determination of daily energy expenditure in athletes of the men's Russian national water polo team showed that the average value was 4350 ± 129 kcal. A peculiar feature of the diet of water polo players is its high caloric value (5165 ± 539 kcal/day), caused by energy expenditure during physical exertion and additional thermogenesis in conditions of long training in water. Excessive (1.5 times in comparison with the recommended values) consumption of fats, including saturated fatty acids by 1.3 times, added sugar and added salt is a risk factor of cardiovascular diseases, diseases of digestive organs, endocrine system, including type 2 diabetes. Low values of consumption of vegetables and fruits, dairy products, fish products and high levels of sugar and confectionery have been established.

Conclusions. The imbalance of diets on two basic nutrients (fats, carbohydrates) has been revealed. The data obtained were the basis for the formation of individual recommendations on nutrition for each athlete, taking into account athletes' metabolic parameters and the level of physical activity. It is necessary to continue studies of anthropometric indices in dynamics for the most adequate assessment of the compliance of actual nutrition with energy consumption, and further correction of the diet in order to improve athletes' performance.

Keywords: nutrition, sports, anthropometry, energy consumption, water polo

Профессиональная спортивная деятельность нацелена на достижение результатов, получаемых на пределе возможностей организма спортсмена. Повышение спортивных достижений и сохранение здоровья спортсменов за счет инновационных технологий, сокращения заболеваемости и травматизма – вот основные задачи

общества, важнейшие функции государства, которые определяют международный уровень спортивного престижа РФ.

Улучшение адаптационного потенциала, сокращение профессиональных заболеваний, в том числе травм, укрепление здоровья спортсменов зависят в том числе

от правильной организации питания, особенно в условиях проведения тренировочных сборов и соревнований. В литературе представлены общие рекомендации по организации питания спортсменов игровых видов спорта, в которых необходимо добиться превосходства по количеству определенных игровых действий (гол или попадание) за установленное время либо первым совершить определенное действие [1–3]. Водное поло – это водный командный игровой вид спорта, требующий выносливости, силы, высокой скорости плавания, ловкости, тактической осведомленности и специфических технических навыков, включая контроль мяча. Особенностью водного поло является проведение игры в воде, и в некоторых источниках литературы рекомендации по питанию для этого вида спорта идентичны таковым для спортсменов, занятых плаванием [4–6]. Эти особенности, характерные именно для водного поло, определяют специфику потребности в энергии и структуры рациона спортсменов. В то же время работы по изучению фактического питания и энерготрат ватерполистов в течение последнего десятилетия представлены в основном иностранными авторами [3, 4, 6], что и определило актуальность данного исследования.

Цель настоящей работы – изучение фактического питания членов мужской сборной команды России по водному поло и его соответствия современным позициям нутрициологии.

Материал и методы

Проведено одномоментное исследование в марте 2018 г. Всего были обследованы 15 высококвалифицированных спортсменов-мужчин, занимающихся водным поло в возрасте от 19 до 29 лет; игровое амплуа: 5 защитников, 1 центральный нападающий, 6 подвижных нападающих, 3 вратаря; квалификация: 11 мастеров спорта, 4 кандидата в мастера спорта; славянского этноса. Средний возраст обследованных спортсменов составил $23,1 \pm 0,6$ года. Период спортивной деятельности: соревновательный.

Для оценки фактического питания и физической активности были разработаны и апробированы специаль-

ные анкеты. Фактическое питание спортсменов изучали двумя методами: 24-часовым методом воспроизведения питания [7] и частотным, с использованием компьютерной программы «Анализ состояния питания человека» (версия 1.2.4 ГУ НИИ питания РАМН, 2004 г.). Количество потребляемой пищи оценивали с помощью альбома порций продуктов и блюд, содержащего фотографии порций различной величины наиболее часто употребляемой пищи [8]. На основе 24-часового метода проведен анализ потребления пищевых веществ и энергии. Частотный метод позволил получить информацию о частоте потребления различных групп продуктов с учетом их количества за предшествующий сборам месяц. Кроме того, была проанализирована организация питания в условиях проведения сбора на базе ФГБУ «Учебно-тренировочный Центр «Новогорск» – филиал «Руза» (Московская область).

Антропометрическое обследование проведено по унифицированной методике с использованием стандартных медицинских весов «МАССА-К» («МАССА-К», РФ), медицинского ростомера «Tanita HR-001» (Tanita, Япония) и прорезиненной сантиметровой ленты. Измеряли массу тела (МТ, кг), рост стоя (см), обхват талии (ОТ) и обхват бедер (ОБ). Рассчитывали индекс массы тела (ИМТ) и отношение ОТ/ОБ, позволяющие оценить физическое развитие.

Для оценки физической активности измеряли энерготраты и частоту сердечных сокращений (ЧСС) в покое и при нагрузке (нагрузочный пошаговый тест на велоэргометре «MONARK RC4R» (MONARK, Швейцария) с помощью эргоспирометра беспроводного «Охусон Mobile» (VIASYS Healthcare GmbH, Германия) и нагрудного пульсометра «Polar» (Polar, Финляндия), утром натощак однократно. Начальная нагрузка при проведении нагрузочного пошагового теста на велоэргометре составляла 25 Вт; затем нагрузку увеличивали на 25 Вт каждую минуту в течение не более 10 мин. На основании полученных данных строили индивидуальную калибровочную зависимость энерготрат от ЧСС (уравнение линейной регрессии) методом наименьших квадратов. С помощью наручных пульсометров «Mio Alpha 2» (Mio Alpha, Канада) у спортсменов получены суточные пульсограммы, которые пересчитали в индивидуальные суточные энерготраты.

Таблица 1. Частота потребления основных групп продуктов членами мужской сборной команды России (количество порций в сутки)

Группа пищевых продуктов	Рекомендуемая частота	Фактическая частота				
		<i>M</i>	<i>δ</i>	<i>Me</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Хлеб, каши, макароны	5–8	2,67	0,23	2,61	1,42	4,59
Картофель	–	0,31	0,08	0,16	0,00	1,07
Овощи	5–8	2,49	0,32	2,32	0,43	4,81
Фрукты	5–8	1,54	0,17	1,69	0,52	2,61
Кондитерские изделия	0–1	5,07	0,79	4,32	0,88	11,35
Жиры	1–2	1,89	0,39	1,78	0,10	5,11
Мясо и мясные продукты	1–2	2,33	0,26	2,49	1,09	4,84
Рыба	1–2	0,19	0,04	0,16	0,05	0,47
Молочные продукты	2–3	1,81	0,22	1,70	0,49	3,28

Таблица 2. Характеристика профиля потребления основных пищевых веществ у спортсменов сборной команды России по водному поло

Показатель, в день	На спортивной базе				В предшествующем месяце				Рекомендуемая для спортсменов величина
	<i>M</i>	<i>δ</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>M</i>	<i>δ</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	
Энергетическая ценность, ккал	5839	499	2928	8803	5165	539	2442	8650	4500–5500 [10]
Белок, г	220,0	18,3	122,4	326,2	168,2	12,1	95,9	261,3	154–174 [10]
Жир, г	289,2	26,1	142,7	462,5	245,7	24,2	114,3	408,4	145–177 [10]
НЖК, г	92,6	8,7	49,3	151,0	89,8	10,2	42,1	166,2	109–133 [10]
ПНЖК, г	–	–	–	–	42,5	4,2	13,1	73,0	–
ω-6 ПНЖК, г	–	–	–	–	39,1	3,9	11,7	69,3	–
ω-3 ПНЖК, г	–	–	–	–	4,9	0,6	1,7	9,4	–
Холестерин, мг	874,8	105,6	409,0	1793,5	612,4	62,8	340,6	1148,7	300–600 [10]
Углеводы, г	584,2	52,2	223,2	936,6	566,5	77,7	230,5	1129,2	615–765 [10]
Полисахариды, г	283,4	22,8	108,4	425,0	175,6	17,7	54,8	311,8	–
Моно- и дисахариды, г	300,7	35,7	114,9	612,2	390,8	63,9	140,9	844,6	–
Сахар добавленный, г	219,3	27,0	76,0	423,6	243,4	54,9	24,5	692,8	–
Пищевые волокна, г	41,4	3,5	19,6	61,3	11,1	1,7	4,6	31,2	–
Ретинол, мкг рет.экв.	684,8	59,2	290,4	1088,2	–	–	–	–	–
β-Каротин, мг	6774,2	975,2	1771,8	14661,2	–	–	–	–	–
Витамин А, мкг рет.экв.	1813,9	175,4	585,7	3237,4	1567,5	184,0	567,1	3289,6	3500–4000 [10]
Витамин В ₁ , мг	3,4	0,3	1,7	6,8	2,1	0,2	1,1	3,8	2,9–3,9 [5], 3,2–3,9 [10]
Витамин В ₂ , мг	3,1	0,2	1,5	4,6	2,5	0,2	1,4	4,2	3,4–4,5 [5], 3,6–4,4 [10]
РР (ниацин), мг	53,7	5,3	28,0	94,7	33,6	3,7	14,4	71,7	25–40 [5], 32–39 [10]
Витамин С, мг	152,5	17,4	41,7	300,2	267,6	48,9	51,2	671,7	150–200 [5], 158–193 [10]
Добавленная соль, г	32,3	3,0	16,7	55,0	–	–	–	–	5 [12]
Натрий, г	14,7	1,3	7,8	23,5	7,3	0,6	4,4	13,4	–
Калий, мг	6797,0	612,7	2055,1	12185,8	5748,9	580,2	3217,4	12025,3	4500–5500 [5]
Кальций, мг	1716,5	191,5	699,5	3752,3	1572,0	155,6	749,3	2919,8	1200–2100 [5]
Фосфор, мг	3147,0	259,6	1494,7	4897,2	2638,9	211,9	1402,0	4190,9	1500–2600 [5]
Железо, мг	34,7	3,2	16,2	53,1	30,0	3,1	15,8	61,0	25–40 [5]
Магний, мг	806,7	69,5	293,0	1226,1	574,0	52,3	337,1	1087,7	500–700 [5]

Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Статистическая обработка данных включала вычисление параметров описательной статистики. Обработку данных проводили с помощью компьютерных программ IBM SPSS 20.0 (IBM, США), Excel 7.0.

Результаты и обсуждение

Представители различных этносов имеют характерные антропометрические показатели: массу и длину тела и, как следствие, показатели величины основного обмена. В изученной группе все обследованные спортсмены являлись представителями славянского этноса, что важно при анализе показателей величины основного обмена и суточных энергозатрат.

В спорте высших достижений изучение основных антропометрических показателей актуально и важно для профессионального отбора. Средний рост мужчин-ватерполистов составил 193±1 см, МТ – 94,3±2,2 кг, ИМТ – 25,35±0,40 кг/м², ОТ – 89,7±1,3 см, ОБ – 103,0±1,0 см, индекс ОТ/ОБ – 0,87±0,01 [9].

Сопоставление полученных нами данных с популяционными исследованиями показало, что по результатам

центильной оценки высококвалифицированные мужчины-спортсмены, занимающиеся водным поло, имеют нормальные, повышенные и очень высокие показатели физического развития. Причем, несмотря на высокие показатели МТ (в 26,7% случаев повышенные и в 66,7% высокие) и роста (100% высокие и очень высокие), ИМТ остается в пределах нормы у 60% обследованных и у 40% имеет повышенные значения, что, вероятнее всего, связано с выраженным развитием как мышечного, так и жирового компонентов тела. Показатели ОТ и ОБ также имеют повышенные и высокие значения (73,3 и 60% соответственно), при этом индекс ОТ/ОБ повышен всего в 26,6% случаев [9].

Таким образом, характерными особенностями спортсменов-ватерполистов являются высокие показатели МТ, роста, ОТ и ОБ по сравнению со средними популяционными значениями. Показатели ИМТ и индекс ОТ/ОБ в основном имеют нормальные значения, что говорит о гармоничности физического развития [9].

Определение суточных энергозатрат у спортсменов мужской сборной команды России по водному поло показало, что средняя величина составила 4350±129 ккал.

Таблица 3. Структура потребления основных групп пищевых продуктов 3 спортсменами сборной России по водному поло с наибольшей энергетической ценностью рациона

№	Рост, см/ масса тела, кг	Энергетическая ценность рациона, ккал	Потребление моно- и дисахаров, г/сут	Потребление жиров, г/сут	Профиль потребления пищевых продуктов, г/сут				
					жиры (в том числе растительное и сливочное масла, майонез)	мясо и колбасные изделия	молочные продукты, в том числе сыр	кондитерские изделия (в том числе сдоба, шоколад, конфеты)	сладкие безалкогольные напитки, соки, фрукты
1	193/91,5	8194	633,4	408,4	89	732	467	512	1539,7
2	189/86,2	7737	834,8	316,3	41,5	464,7	1135	854	712
3	193/97,0	8650	703,9	382,1	32,2	649,3	155	603	1901

Анализ ассортимента блюд, представленных в меню столовой ФГБУ «Учебно-тренировочный Центр «Новогорск»» – филиал «Руза» в д. Волынщино, выявил его широкое разнообразие. В каждый основной прием пищи были предложены все группы продуктов. В течение дня в рацион включались зерновые продукты: хлеб белый и ржаной, крупяные гарниры (на завтрак – молочные каши), макароны, изделия хлебобулочные (выпечка) собственного изготовления; мясные изделия – до 4 наименований вторых блюд, мясная гастрономия (колбасы, сосиски, ветчина) и холодные мясные закуски (студень, рулет, язык отварной); молочные, кисломолочные, в том числе йогурты, творожные продукты, сыр, сгущенное молоко; яичные блюда; рыбные вторые блюда, салаты с рыбой и морепродуктами, рыбная гастрономия (семга соленая или икра лососевая на завтрак); овощные салаты (2–5 наименований) и гарниры, свежая зелень; фрукты и сухофрукты, орехи; кондитерские изделия, включая шоколад, конфеты, батончики, мед; масло сливочное; вода минеральная, чай, кофе, компоты, соки. Технология приготовления включала щадящие режимы: отваривание и запекание, незначительную долю составили жареные блюда. Разнообразие ассортимента блюд наряду с привычными органолептическими характеристиками (вкус, запах, консистенция), вероятнее всего, обусловили у 9 из 15 спортсменов завышенную энергетическую ценность и потребление жиров и добавленного сахара. Режим питания состоял из 4 приемов пищи: завтрак, обед, полдник и ужин.

Оценку фактического питания ватерполистов проводили по нескольким направлениям. Анализ частоты потребления основных групп пищевых продуктов чле-

нами мужской сборной команды России по водному поло за последний зимний месяц 2018 года показал, что частота потребления продуктов и блюд из зерновых составила менее 3 порций в день, что в 2 раза ниже рекомендуемой. Потребление мясных продуктов и блюд соответствовало рекомендуемым уровням и составляло в среднем 2 порции в день. Следует отметить низкий уровень потребления молочных продуктов, овощей и фруктов, рыбных продуктов и блюд (табл. 1). В то же время обращает на себя внимание высокая частота потребления кондитерских изделий большинством обследованных: в среднем более 5 раз в день, что не соответствует современным принципам построения оптимального рациона. Только 3 спортсмена соблюдали рекомендуемое количество порций кондитерских изделий (0–1 в день), а у 4 отмечено потребление от 7 до 11 порций в сутки, что обусловило крайне высокую энергетическую ценность их рационов питания.

Среднее потребление основных пищевых веществ представлено в табл. 2.

При сравнении фактического потребления частотным методом за предшествующий сборам месяц и 24-часовым методом в период организованного питания на спортивной базе отмечена высокая средняя энергетическая ценность рационов.

По данным литературы [10], энерготраты спортсменов-мужчин III группы спорта, к которой отнесено водное поло, в среднем составляют 4500–5500 ккал/сут (для МТ 70 кг). МТ обследованных ватерполистов была высокой и очень высокой, что определило крайне высокую энергетическую ценность фактических рационов у 3 из 15 спортсменов. Данные по потреблению ими

Таблица 4. Характеристика вклада основных пищевых веществ в калорийность рационов предшествующего месяца и на сборах (М)

Показатель	В предшествующем месяце	На сборах	Рекомендуемые уровни [11]
Белок, % от калорийности	13,0	15,1	11–15
Жир, % от калорийности	42,8	44,6	<30
Насыщенные жирные кислоты, % от калорийности	15,6	14,4	<10
Углеводы общие, % калорийности	43,9	39,9	55±58
Добавленный сахар, % от калорийности	18,8	14,6	<10,0
Добавленная соль, г	–	32,3	<5,0
Соотношение кальция и фосфора	1:1,9	–	1:1–1:1,5
Соотношение белков, жиров и углеводов	1:1,3:3,6	1:1,3:2,7	1:1,2:5,2

Таблица 5. Характеристика энергетической и пищевой ценности рациона в пересчете на единицу массы тела

Показатель	На сборах				За предшествующий месяц				Рекомендуемый уровень [2]
	<i>M</i>	δ	min	max	<i>M</i>	δ	min	max	
Белок, г	2,3	0,2	1,3	3,4	1,8	0,1	1,1	2,7	2,3–2,5
Жиры, г	3,1	0,3	1,6	4,8	2,6	0,3	1,1	4,5	2,2–2,4
Углеводы, г	6,2	0,5	2,1	9,8	6,1	0,9	2,2	12,7	9,5–10,0
Энергетическая ценность, ккал	62,0	5,1	27,5	91,0	55,5	6,1	23,0	95,1	67–72

пищевых веществ и энергии приведены в качестве примера в табл. 3. Второй причиной этого, вероятно, является появившаяся доступность блюд, не ограниченных по массе и ассортименту при наборе на линии раздачи в столовой.

Из данных табл. 4 следует, что потребление белка соответствовало рекомендуемым уровням, но доля жира и углеводов в структуре калорийности рациона была неоптимальна. Обращает на себя внимание высокий уровень потребления жира и насыщенных жирных кислот (НЖК), превышающий соответственно в 1,3 и 1,5 раза рекомендуемые величины [11]. При этом индивидуальный разброс значений доли жира составил от 35 до 50,9%, а для НЖК – от 11,7 до 20% в энергетической ценности рациона. В то же время доля полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в среднем была на уровне рекомендуемых величин, но у 3 спортсменов – ниже 6%, что в сочетании с высоким уровнем потребления НЖК (15–18% в структуре калорийности рациона) повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у этих спортсменов.

Потребление холестерина в пересчете на 1000 ккал рациона составило в среднем $122,1 \pm 6,9$ мг за предшествующий месяц и $147,8 \pm 9,7$ мг в период сборов, что, учитывая среднюю величину суточных энергозатрат, сопоставимо с рекомендуемым уровнем для мужчин в возрасте 20–29 лет с низким коэффициентом физической активности (1,4) после аналогичного пересчета.

Важно отметить, что доля углеводов в структуре рациона в среднем была ниже рекомендуемого уровня (на 11–15%) при оценке обоими методами, а добавленного сахара – существенно выше (в 1,5–1,9 раза). В период пребывания на спортивной базе установлено высокое потребление пищевых волокон, что может быть объяснено широким ассортиментом холодных закусок и гарниров из овощей, присутствием фруктов в составе меню столовой.

Обращает на себя внимание высокий средний уровень потребления спортсменами добавленной соли, превышающий рекомендуемый Всемирной организацией здравоохранения в 6,5 раза [12].

Высокая энергетическая ценность рационов отдельных спортсменов сборной России по водному поло объясняется прежде всего потреблением углеводов (в первую очередь моно- и дисахаров) и жиров. Так, потребление моно- и дисахаров в некоторых случаях достигало $844,6$ г/сут, а жиров – $462,5$ г/сут.

Источниками моно- и дисахаров в рационах с высокой энергетической ценностью являлись в основном сладкие безалкогольные напитки, соки и компоты, а также кондитерские изделия, конфеты и шоколад. Потребление сладких газированных напитков, соков и компотов в отдельных случаях доходило до 1,5–2 л/сут, а кондитерских изделий, конфет и шоколада в сумме – до 600–800 г в день.

Источниками жиров в первую очередь являлись мясные и колбасные продукты, которые некоторые спортсмены потребляли в количестве 649–732 г/день, молочные продукты (в том числе сыр) – 467–1135 г/день, а также масла и соусы (майонез), потребление которых доходило до 89 г/день.

Энергопотребление на единицу МТ спортсменов (табл. 5) в 50% случаев превышало индивидуальный рекомендуемый уровень на 25% и более [2, 13], что можно объяснить доступностью и разнообразием представленного в столовой спортивной базы ассортимента блюд и их качеством. Потребление жиров и углеводов в пересчете на 1 кг МТ также не соответствовало рекомендуемым величинам и превышало в 1,2 раза по жирам, а по углеводам было занижено на 35% [2, 13].

Анализ потребления с рационом питания микронутриентов (см. табл. 2) показал более высокое поступление кальция, фосфора, магния и железа во время пребывания на спортивной базе (на 9, 19, 16 и 41% соответственно) при их достаточно среднем уровне в предшествующий месяц [2, 5, 14]. Неадекватное отношение кальция : фосфор обнаруживалось практически у всех членов сборной команды в результате превышения рекомендуемого уровня фосфора в среднем в 1,9 раза.

Оценка содержания витаминов в рационах питания обследованных членов сборной команды показала превышение уровня витаминов А, Е, С, ниацина, В₁ и В₂ при сравнении их с нормами физиологических потребностей [13], но не с рекомендациями для спортсменов [2, 5, 14]. При этом в период питания в Рузе отмечено повышение потребления витамина В₁ в 1,6 раза, а В₂ – в 1,2 раза по сравнению с предшествующим месяцем.

Заключение

Средняя величина энергопотребления с рационом питания у ватерполистов в период пребывания на трени-

ровочной базе (5839±499 ккал/сут) и в среднем за предшествующий месяц (5165±539 ккал/сут) была выше их среднесуточных энерготрат (4350 ккал), что, возможно, в первом случае связано с возникшей в период сборов доступностью и разнообразием представленного в столовой спортивной базы ассортимента блюд и их высоким качеством, а за прошедший месяц спортсмены, вероятно, завысили самооценку потребления пищевых продуктов.

В то же время при анализе структуры фактического питания у членов мужской сборной команды России по водному поло выявлена несбалансированность рационов по двум основным пищевым веществам – жиры, углеводы.

Избыточное потребление жирового компонента, в том числе НЖК, добавленного сахара и добавленной соли является фактором риска увеличения заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями, заболеваний органов пищеварения, эндокринной системы, в том числе сахарным диабетом 2 типа, органов кроветворения.

Установлены низкие величины потребления овощей и фруктов, молочных продуктов, рыбопродуктов и высокие уровни сахара и кондитерских изделий.

Особенностью рациона является его высокая калорийность, обусловленная энерготратами при физических нагрузках и термогенезом в условиях длительных тренировок в воде.

Полученные данные были положены в основу формирования индивидуальных рекомендаций по питанию для каждого спортсмена с учетом его метаболических показателей и уровня физической нагрузки.

Представляется важным продолжение проведения исследований в динамике для наиболее адекватной оценки соответствия фактического питания энерготратам, изменений антропометрических показателей и спортивных результатов.

Финансирование. Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы поисковых научных исследований (тема № 0529-2017-0053).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия):

Кобелькова Ирина Витальевна (Kobelkova Irina V.) – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии

E-mail: irinavit66@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1237-5147>

Мартинчик Арсений Николаевич (Martinchik Arseny N.) – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний

E-mail: amartin@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5200-7907>

Кешабянц Эвелина Эдуардовна (Keshabyants Evelina E.) – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний

E-mail: evk1410@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9762-2647>

Денисова Наталья Николаевна (Denisova Natalya N.) – кандидат медицинских наук, научный сотрудник эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний

E-mail: denisova-55@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7664-2523>

Пескова Елена Васильевна (Peskova Elena V.) – младший научный сотрудник лаборатории эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний

E-mail: peskova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2285-3640>

Выборная Ксения Валерьевна (Vybornaya Kseniya V.) – научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии

E-mail: dombim@mail.ru

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

Соколов Александр Игоревич (Sokolov Aleksandr I.) – кандидат медицинских наук, инженер-исследователь лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии

E-mail: sokolov@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9973-583X>

Лавриненко Семен Валерьевич (Lavrinenko Semen V.) – младший научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии

E-mail: lavrinenko.sem@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5913-8341>

Никитюк Дмитрий Борисович (Nikityuk Dmitry B.) – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор; профессор кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет) (Москва, Россия)

E-mail: nikitjuk@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2259-1222>

Литература

1. Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации. М.: Советский спорт, 2007. 132 с.
2. Рогозкин В.А., Пшендин А.И., Шишина Н.Н. Основные принципы питания спортсменов: методические рекомендации. Л.: ЛНИИФК, 1988. 32 с.
3. Maughan R.J. Nutrition in Sport. URL: <http://bentrem.net/NutritionInSport-Ronald-J-Maughan.pdf>
4. Nutrition for Aquatic Athletes. URL: http://www.fina.org/sites/default/files/nutrition_for_aquatic_athletes_booklet_v5_final.pdf
5. Волгарев М.Н., Коровников К.А., Яловая Н.И., Азизбекян Г.А. Особенности питания спортсменов // Теория и практика физической культуры. 1985. № 1. С. 34–39.
6. Cox G.R., Mujika I., van den Hoogenband C.R. Nutritional recommendations for water polo // Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 2014. Vol. 24, N 4. P. 382–391. doi: 10.1123/ijsnem.2014-0003
7. Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Феоктисова А.И., Сваховская И.В. Методические рекомендации по оценке количества потребляемой пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания. М.: Минздрав России, 1996.
8. Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Баева В.С., Пескова Е.В., Ларина Т.И., Забуркина Т.Г. Альбом порций продуктов и блюд. М.: Институт питания РАМН, 1995. 64 с.
9. Выборная К.В., Кобелькова И.В., Лавриненко С.В., Соколов А.И., Никитюк Д.Б. Оценка некоторых антропометрических показателей у игроков мужской сборной команды России по водному поло // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № S5. С. 160–161.
10. Рекомендации по питанию спортсменов / под ред. А.А. Покровского. М.: Физкультура и спорт, 1975. 47 с.
11. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: МР 2.3.1.2432-08.
12. Здоровое питание. URL: <http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
13. Montoye H.J. Energy costs of exercise and sport // Nutrition in Sport / ed. R.M. Maughan. Blackwell Science, 2000. P. 53–72.
14. Скальный А.В., Орджоникидзе З.Г., Катулин А.Н. Питание в спорте: макро- и микроэлементы. М.: Городец, 2005. 144 с.

References

1. Borisova O.O. Athletes' nutrition: international experience and practical recommendations. Moscow: Sovetskiy Sport, 2007: 132 p. (in Russian)
2. Rogozkin V.A., Pshendin A.I., Shishina N.N. The basic principles of nutrition of athletes: methodical recommendations. Leningrad: LNIIFK, 1988: 32 p. (in Russian)
3. Maughan R.J. Nutrition in sport. URL: <http://bentrem.net/NutritionInSport-Ronald-J-Maughan.pdf>
4. Nutrition for aquatic athletes. URL: http://www.fina.org/sites/default/files/nutrition_for_aquatic_athletes_booklet_v5_final.pdf
5. Volgarev M.N., Korovnikov K.A., Yalova N.I., Azizbekian, G. A. peculiarities of nutrition of athletes. Teoria i praktika fizicheskoy kul'tury [Theory and Practice of Physical Culture]. 1985; (1): 34–9. (in Russian)
6. Cox G.R., Mujika I., van den Hoogenband C.R. Nutritional recommendations for water polo. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2014; 24 (4): 382–91. doi: 10.1123/ijsnem.2014-0003
7. Martinchik A.N., Baturin A.K., Feoktissova A.I., Svyahovskaya I.V. Guidelines for assessing the amount of dietary intake by the method of 24-hour (daily) recall. Moscow; 1996. (in Russian)
8. Martinchik A.N., Baturin A.K., Baeva V.S., Peskova E.V., Larina T.I., Zaburkina T.G. Album portions of foods and dishes. Moscow: Institut Pitaniya RAMN, 1995: 64 p. (in Russian)
9. Vybornaya K.V., Kobelkova I.V., Lavrinenko S.V., Sokolov A.I., Nikityuk D.B. Evaluation of some anthropometric indicators in the players of the men's national team of Russia in water Polo. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (S5): 160–1. (in Russian)
10. Advice on nutrition for athletes. In: A.A. Pokrovskiy (ed.). Moscow: Fizkul'tura i sport, 1975: 47 p. (in Russian)
11. Norms of physiological needs in energy and food substances for different population groups of the Russian Federation: Mr 2.3.1.2432-08: approved by the Federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare (Rosпотребнадзор) 18.12.2008. (in Russian)
12. Healthy-diet. URL: <http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (in Russian)
13. Montoye H.J. Energy costs of exercise and sport. In: R.M. Maughan (ed.). Nutrition in Sport. Blackwell Science, 2000: 53–72.
14. Skal'niy A.V., Ordzhonikidze Z.G., Katulin A.N. Nutrition in sports: macro- and micronutrients. Moscow: Gorodets, 2005: 144 p. (in Russian)

Для корреспонденции

Цибульская Людмила Сергеевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры внутренней медицины № 3 ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского» Минздрава Украины
 Адрес: 46002, Украина, г. Тернополь, ул. Майдан Воли, д. 1
 Телефон: (0352) 52-44-92
 E-mail: lilyababinets@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0391-5850>

Бабинец Л.С.¹, Шевченко Н.А.², Цибульская Л.С.¹

Проблема минеральной недостаточности при хроническом панкреатите в зависимости от возраста

Problem of mineral insufficiency at chronic pancreatitis in dependence on age

Babinets L.S.¹, Shevchenko N.A.², Tsybul'ska L.S.¹

¹ ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского» Минздрава Украины, Тернополь, Украина
² Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина
¹ I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ternopil, Ukraine
² Odessa State Medical University, Odessa, Ukraine

Высокая заболеваемость хроническим панкреатитом (ХП) лиц молодого трудоспособного возраста, развитие серьезных осложнений подталкивают к разработке новых методов диагностики и к поиску эффективных способов лечения данного заболевания. В связи с этим актуальным и перспективным направлением является дальнейшее изучение механизмов патогенеза и формирования трофологической (в том числе минеральной) недостаточности при ХП с последующей разработкой комплексных программ их коррекции.

Цель работы – исследование показателей минерального статуса пациентов с ХП в зависимости от их возраста.

Материал и методы. Обследованы 218 больных (140 женщин и 78 мужчин) с ХП и внешнесекреторной недостаточностью в возрасте от 18 до 72 лет. Группу контроля составили 20 практически здоровых лиц, проходивших плановое амбулаторное обследование. Для оценки минерального статуса в сыворотке крови определяли макроэлементы фотометрически, железо – батофенантролиновым методом, остальные микроэлементы (Cu, Zn, Pb, Cd) – методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

Результаты и обсуждение. У больных ХП во всех возрастных группах в ходе обследования выявлено статистически значимое ($p < 0,001$) снижение концентрации кальция, фосфора, магния, калия, меди, цинка, железа в сыворотке крови по сравнению с уровнем у здоровых лиц, которое усиливается с увеличением возраста. В группе пациентов старше 60 лет выявляется состояние гипоминералемии по уровню кальция, фосфора, магния, калия, меди, цинка, железа, что требует коррекции минерального статуса. С увеличением возраста пациентов с ХП содержание токсичных металлов (свинца и кадмия) повышается по сравнению с таковым в группе здоровых лиц.

Для цитирования: Бабинец Л.С., Шевченко Н.А., Цибульская Л.С. Проблема минеральной недостаточности при хроническом панкреатите в зависимости от возраста // Вопр. питания. 2019. Т. 88, № 2. С. 58–63. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10018.

Статья поступила в редакцию 13.02.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Babinets L.S., Shevchenko N.A., Tsybul'ska L.S. Problem of mineral insufficiency at chronic pancreatitis in dependence on age. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 58–63. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10018. (in Russian)

Received 13.02.2018. **Accepted** 13.03.2019.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о том, что возраст пациентов с ХП является предиктором минеральной недостаточности и накопления токсичных элементов, что необходимо учитывать при формировании комплексного лечения.

Ключевые слова: хронический панкреатит, возраст, минеральный обмен, макроэлементы, микроэлементы, сыворотка крови

The high incidence of chronic pancreatitis (CP) which arise at young people of working age, the development of serious complications are pushing for the development of new diagnostic methods and the search for effective ways to treat this disease. In this regard, a relevant and promising direction is the further study of the mechanisms of pathogenesis and the formation of trophological (including mineral) deficiency in CP, followed by the development of comprehensive programs for their correction.

Aim is to study mineral status of patients with chronic pancreatitis, depending on their age.

Material and methods. A sample of 218 patients (140 women, 78 men) with CP with exocrine insufficiency aged 18 to 72 years was examined. The control group consisted of 20 healthy individuals who underwent a planned outpatient examination. To assess the mineral status, macronutrients were determined photometrically, iron by the batho-phenanthroline method, the remaining trace elements (Cu, Zn, Pb, Cd) were determined by atomic absorption spectrometry in blood serum.

Results and discussion. Patients with CP at all age groups revealed a statistically significant ($p < 0.001$) decrease in serum concentration of calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, zinc, and iron compared to the level in healthy individuals, which increased with age. In the group of patients older than 60 years, the state of hypominerale-mia was detected by the level of calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, zinc, iron, which required correction of the mineral status. With increasing age of patients with CP, the content of toxic metals (lead and cadmium) increased compared with that in the group of healthy individuals.

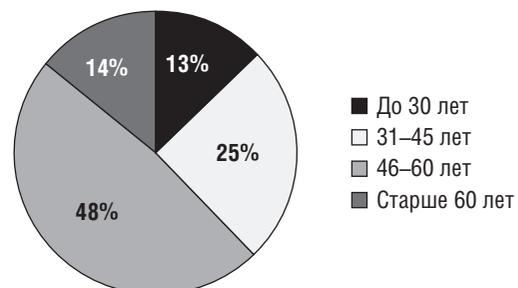
Conclusions. The findings suggest that the age of patients with CP is a predictor of mineral deficiency and the accumulation of toxic elements, which must be considered when forming a complex treatment.

Keywords: chronic pancreatitis, age, mineral status, minerals, trace elements, blood serum

Среди всего разнообразия патологий желудочно-кишечного тракта особое внимание заслуживает хронический панкреатит (ХП) как заболевание с тяжелым течением, приводящее к нарушению всех видов обмена, склонное к рецидивированию и прогрессированию, поражающее людей наиболее трудоспособного возраста, которое часто приводит к развитию рака поджелудочной железы (РПЖ) [1, 2]. В структуре злокачественных новообразований органов пищеварительного тракта РПЖ в США и Западной Европе занимает 4-е место, уступая по частоте лишь колоректальному раку и раку желудка. Чаще всего онкологические изменения поджелудочной железы (ПЖ) регистрируют в возрасте от 50 до 70 лет, причем мужчины болеют в 1,5 раза чаще, чем женщины [3, 4]. Согласно медицинской статистике, смертность от РПЖ на Украине в 2,5 раза выше, чем в странах Евросоюза, а продолжительность жизни – на 10 лет меньше. По данным мировой статистики, ХП чаще всего поражает людей наиболее молодого и трудоспособного возраста [5–7]. Известно, что при ХП в анамнезе риск развития РПЖ в течение 20 лет увеличивается в 5 раз [1, 6, 8].

ПЖ при длительном воздействии этиологического фактора в присутствии ишемии и гипоксии реагирует снижением функциональной активности, проявляю-

щейся от незначительного изменения структуры до существенной дегенерации железы, что влечет за собой атрофию структурных единиц органа, прогрессирование фиброза тканей железы и формирование собственно ХП [1, 2, 4]. Существенно, что ПЖ обладает значительными компенсаторными возможностями, поэтому длительная прогрессирующая внешнесекреторная недостаточность железы на ранних стадиях клинически проявляется синдромом мальабсорбции, а выраженная трофологическая недостаточность становится очевидной только при тяжелом поражении ПЖ. Хроническим считается



Распределение больных хроническим панкреатитом по возрасту

Таблица 1. Распределение мужчин с хроническим панкреатитом по возрасту

Возраст мужчин, годы	n (%)
До 45	40 (51,3)
46–60	32 (41,0)
Старше 60	6 (7,7)

панкреатит, при котором морфологические изменения ПЖ сохраняются после прекращения воздействия этиологического агента. Примерно у 1/3 больных с ХП вследствие поражения всех клеток островкового аппарата ПЖ развиваются расстройства углеводного обмена, в результате чего возникает дефицит не только инсулина, но и глюкагона [9–11]. Постоянное снижение функции ПЖ при ХП приводит к нарушению всех видов обмена, дисбалансу минерального и витаминного обмена.

Нарушения минерального обмена приводят к развитию тяжелых заболеваний: остеопороза, остеомалации, фосфат-диабета, рахита, повышения нервно-мышечной возбудимости и т.д. Функции каждого микроэлемента или группы минеральных веществ в организме специфичны, что обуславливает многообразие механизмов регуляции минерального обмена, дисбаланс которого в свою очередь ведет к манифестации воспалительных процессов в органах [12]. В свою очередь концентрация многих минеральных веществ в крови и моче является существенным диагностическим признаком ряда заболеваний, в том числе и ХП.

На сегодняшний день высокая заболеваемость ХП лиц молодого и трудоспособного возраста, высокая летальность при деструктивных формах острого панкреатита подталкивают к разработке новых методов диагностики и поиску эффективных способов лечения. В связи с этим актуальным и перспективным направлением в решении данной проблемы является дальнейшее изучение механизмов патогенеза и формирования трофологической (в том числе минеральной) недостаточности при ХП с последующей разработкой комплексных программ коррекции.

Цель работы – исследование показателей минерального статуса пациентов с ХП в зависимости от их возраста.

Материал и методы

Под наблюдением с 2014 по 2017 г. находились 218 больных ХП в возрасте от 18 до 72 лет, состоящих на диспансерном учете в Центре первичной медицинской помощи г. Тернополя, поликлиническом отделении Тернопольской городской коммунальной больницы № 2 и в поликлиническом отделении Одесского областного клинического медицинского центра. Анализ проводили по данным медицинской карты амбулаторного

Таблица 2. Распределение женщин с хроническим панкреатитом в зависимости от состояния репродуктивной функции

Состояние репродуктивной функции женщин	n (%)
Пременопауза	43 (30,7)
Менопауза продолжительностью до 10 лет	72 (51,4)
Менопауза продолжительностью более 10 лет	25 (17,9)

больного (ф. 025/у) и медицинской карты стационарного больного (ф. 003/у). Группу контроля составили 20 практически здоровых лиц, проходивших плановое амбулаторное обследование.

Распределение всех больных по возрасту, согласно критериям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), представлено на рисунке.

Для оценки минерального статуса больных ХП определяли уровни макро- и микроэлементов в сыворотке крови. Кальций определяли в реакции образования ионами Ca^{2+} при нейтральном значении pH с арсеназо (III) цветного комплекса, неорганический фосфор (P) – при помощи набора (Lachema, Франция) в реакции фосфорной кислоты с ванадатом и молибдатом аммония с образованием соединения желтого цвета с последующей фотометрией при длине волны 410 нм [9, 11]. Магний (Mg) определяли фотометрически при помощи реакции с калмагитом, при которой образуется цветной комплекс. Уровень железа (Fe) определяли батофенантролиновым методом с помощью набора (Lachema, Франция). Калий (K) определяли реакцией с тетрафенилборатом с образованием мутной суспензии. Уровень микроэлементов: меди, цинка, свинца и кадмия (Cu, Zn, Pb, Cd), – определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре «PerkinElmer 603» (PerkinElmer, Германия). Главные характеристики определения [граница определения ($C_{опр.}$), линейная рабочая область (Ср.обл.), оптимальная длина волны (λ)] для исследуемых микроэлементов: Cd – $\lambda=228,8$ нм, $C_{опр.} - 0,001$ мкг/мл, Ср.обл. – 2 мкг/мл; Cu – $\lambda=324,8$ нм, $C_{опр.} - 0,002$ мкг/мл, Ср.обл. – 5 мкг/мл; Pb – $\lambda=283,3$ нм, $C_{опр.} - 0,01$ мкг/мл, Ср.обл. – 20 мкг/мл; Zn – $\lambda=213,9$ нм, $C_{опр.} - 0,001$ мкг/мл, Ср.обл. – 1 мкг/мл [6, 9, 10, 13].

Результаты и обсуждение

Среди всех пациентов, вошедших в исследование, было 140 (64,2%) женщин и 78 (35,8%) мужчин. Разница по гендерному признаку была статистически значимой ($p<0,001$). Это можно объяснить тем, что исследование проводили в поликлинике, куда чаще обращались женщины среднего и пожилого возраста, которые больше внимания уделяют своему здоровью.

Анализ распределения мужчин по возрасту, согласно критериям ВОЗ (табл. 1), показал, что в группе исследования было наибольшее количество молодых мужчин (до 45 лет), при этом подавляющее большинство

Таблица 3. Показатели минерального обмена в группах больных хроническим панкреатитом (ХП) в зависимости от возраста

Показатель	Норма	Группа контроля (n=20)	Группы больных ХП			
			до 30 лет (n=29)	31–45 лет (n=54)	46–60 лет (n=104)	старше 60 лет (n=31)
Железо, мкмоль/л	14,3–26,0 (М) 10,7–21,5 (Ж)	21,59±0,57	18,78±0,59*	17,69±0,69*	16,43±0,44**	14,44±0,67** p ₂ <0,05 p ₁ <0,05
Калий, ммоль/л	3,6–4,8	4,15±0,11	3,78±0,12*	4,18±0,29**	3,95±0,08*	3,63±0,07** p ₂ <0,05
Кальций, ммоль/л	2,20–2,55	2,41±0,02	2,20±0,04*	2,21±0,04*	2,19±0,03*	2,06±0,02** p ₂ <0,05 p ₁ <0,05
Фосфор, ммоль/л	0,81–1,48	1,45±0,03	1,27±0,05*	1,13±0,04**	1,12±0,03**	0,98±0,05** p ₂ <0,001 p ₁ <0,001
Магний, ммоль/л	0,65–1,03	1,08±0,04	0,84±0,03*	0,85±0,02*	0,79±0,04*	0,68±0,05** p ₂ <0,001 p ₁ <0,05
Медь, мкмоль/л	10,0–22,0	13,76±0,48	17,12±0,16*	17,28±0,48*	12,32±1,44**	6,72±1,03** p ₂ <0,001 p ₁ <0,001
Цинк, мкмоль/л	7,0–23,0	10,42±0,10	9,02±0,54*	8,54±0,52*	7,36±0,54**	2,61±0,19** p ₂ <0,001 p ₁ <0,001
Свинец, мкмоль/л	0,97–1,93	0,55±0,04	0,86±0,15*	1,12±0,15*	1,32±0,12**	1,58±0,06** p ₂ <0,05 p ₁ <0,05
Кадмий, мкмоль/л	0,01–2,0	0,012±0,002	0,020±0,008	0,023±0,008*	0,032±0,010*	0,075±0,010** p ₂ <0,05 p ₁ <0,001

Примечание. * – статистически значимое отличие от показателя лиц из группы контроля (p<0,001); ** – статистически значимое отличие от показателя пациентов с ХП в возрасте до 30 лет (p<0,05); p₁ – статистически значимое отличие от показателя пациентов с ХП в возрасте 31–45 лет; p₂ – статистически значимое отличие от показателя пациентов с ХП в возрасте 46–60 лет.

обследованных были трудоспособного возраста, что доказывает актуальность проводимого исследования.

Для оценки состояния костного метаболизма женщины были распределены по группам по состоянию репродуктивной функции (табл. 2).

Примерно половина женщин находилась в состоянии постменопаузы до 10 лет, а более 80% были трудоспособного возраста. Таким образом, социально-медицинская актуальность проблемы не вызывает сомнения.

Определяя предикторы формирования минеральной недостаточности при ХП, мы проанализировали исследуемые показатели в разных возрастных группах (табл. 3). Согласно данным табл. 3, можно констатировать, что по мере увеличения возраста пациентов с ХП статистически значимо снижалась концентрация минеральных веществ в сыворотке крови, которая в группе лиц старше 60 лет достигала уровня гипозлементоза по показателям железа, кальция, магния, меди и цинка. Гипомикроэлементоз цинка констатировали также в группе больных ХП среднего возраста. Накопление токсичных металлов (свинца и кадмия) с увеличением возраста пациентов с ХП статистически значимо возрастало, но не превышало допустимых границ.

Таким образом, по данным проведенного исследования был установлен минеральный дисбаланс во всех обследованных возрастных группах пациентов с ХП, который проявлялся снижением концентрации в сыворотке крови кальция, фосфора, магния, калия, меди, цинка, железа

до нижней границы нормы и достоверным увеличением содержания токсичных элементов (свинца и кадмия) по сравнению с таковым в группе здоровых лиц.

Выводы

1. У больных ХП во всех возрастных группах в ходе обследования выявлено статистически значимое (p<0,001) снижение концентрации кальция, фосфора, магния, калия, меди, цинка, железа в сыворотке крови по сравнению с уровнем у здоровых лиц, которое усиливается с увеличением возраста.

2. В группе пациентов старше 60 лет выявляется состояние гипоминералемии по уровню кальция, фосфора, магния, калия, меди, цинка, железа, что требует коррекции минерального статуса.

3. С увеличением возраста пациентов с ХП содержание токсичных металлов (свинца и кадмия) повышается по сравнению с таковым в группе здоровых лиц.

4. Возраст больных ХП является предиктором минеральной недостаточности и накопления токсических металлов (свинца и кадмия), что необходимо учитывать при формировании комплексного лечения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Сведения об авторах

Бабинец Лилия Степановна (Babinets Liliya S.) – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой первичной медико-санитарной помощи и семейной медицины, ГБУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского» Минздрава Украины (Тернополь, Украина)

E-mail: lilyababinets@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0560-1943>

Шевченко Наталия Александровна (Shevchenko Nataliya A.) – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры профессиональной патологии, клинической лабораторной и инструментальной диагностики Одесского национального медицинского университета (Одесса, Украина)

E-mail: natusua9@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6789-8263>

Цибульская Людмила Сергеевна (Tsybul'ska Liudmyla S.) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры внутренней медицины № 3 ГБУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского» Минздрава Украины (Тернополь, Украина)

E-mail: milaljud78@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0391-5850>

Литература

1. Бабинец Л.С., Захарчук У.М. Можливості комплексної реабілітації хворих на хронічний панкреатит із супутнім цукровим діабетом // Здоров'я України. Гастроентерологія. Гематологія. Колопроктологія. 2017. № 3. С. 50.
2. Babinets L.S., Pinkevich Z.Ja. Clinical and pathogenetic substantiation of the influence of tobacco smoking on the clinical course of chronic pancreatitis // Health of Ukraine. 2013. Vol. 4. P. 46–48.
3. Levy P., Dominguez-Munoz E.D., Imre C., Lohr M., Masionneuve P. Epidemiology of chronic pancreatitis // Вестн. клуба панкреатологов. 2015. Т. 28, № 3. С. 7–16.
4. Христин Т.М., Темерівська Т.Г., Гончарук Д.О. Хронічний панкреатит: сучасні підходи до етіології, патогенезу, клініки, лікування та реабілітації. ВДНЗ «Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича». Чернівці, 2018. 172 с.
5. Гриневиц В.Б., Майстренко Н.А. и др. Проблема хронического панкреатита с позиции терапевта и хирурга // Мед. академ. журн. 2012. Т. 12, № 2. С. 35–53.
6. Struyvenberg M.R., Martin C.R., Freedman S.D. Practical guide to exocrine pancreatic insufficiency – breaking the myths // BMC Med. 2017. Vol. 15. PMID: 28183317; PMCID: PMC5301368; doi: 10.1186/s12916-017-0783-y.
7. Сучасні класифікації та стандарти лікування розповсюджених захворювань внутрішніх органів / за ред. Ю.М. Мостового. 16-те вид., доп. і перероб. Вінниця, 2017. 722 с.
8. Китур О.Е. Влияние лечения на качество жизни больных хроническим панкреатитом / О.Е. Китур // Вестн. проблем биологии и медицины. 2013. Вып. 3 (1). С. 100–103.
9. Lohr J.M., Dominguez Munoz E., Rosendahl J. et al. United European Gastroenterology evidence based guidelines for the diagnoses and therapy of chronic pancreatitis (HaPanEU) // United Eur. Gastroenterol. J. 2017. Vol. 5, N 2. P. 153–199.
10. Степанов Ю.М., Гравировская Н.Г., Скирда И.Ю., Петишко О.П. Болезни поджелудочной железы как одна из ведущих проблем гастроэнтерологии и абдоминальной хирургии (современная эпидемиология) // Гастроентерологія. 2014. № 3. С. 7–14.
11. Duggan S.N., Egan S.M., O'Grady H. et al. The identification of nutritional deficiencies in a patient with a 5 year history of chronic alcohol-induced pancreatitis // Pancreatol. 2017. Vol. 7. P. 269.
12. Пасишвили Л. М. Роль хронического панкреатита в нарушении метаболизма костной ткани и формировании остеопороза // Актуальні проблеми сучасної медицини. 2016. Т. 16, № 4 (56). С. 167–170.
13. Циммерман Я.С. Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний поджелудочной железы // Вестн. клуба панкреатологов. 2013. № 1 (18). С. 8–14.

References

1. Babinets L.S., Zakcharchuk U.M. Possibilities of complex rehabilitation of patients with chronic pancreatitis with concomitant diabetes. Zdorovya Ukraini. Gastroenterologiya. Gematologiya. Koloproktologiya [Health of Ukraine. Gastroenterology. Hematology. Coloproctology]. 2017; (3): 50. (in Ukrainian)
2. Babinets L.S., Pinkevich Z.Ja. Clinical and pathogenetic substantiation of the influence of tobacco smoking on the clinical course of chronic pancreatitis. Health of Ukraine. 2013; 4: 46–8.
3. Levy P., Dominguez-Munoz E.D., Imre C., Lohr M., Masionneuve P. Epidemiology of chronic pancreatitis. Vestnik cluba pancreatologov [Bulletin of the Club of Pancreatolgy]. 2015; 3 (28): 7–16. (in Russian)
4. Khristich T.M., Temerivska T.G., Gonzaruk D.O. Chronic pancreatitis: modern approaches to etiology, pathogenesis, clinics, treatment and rehabilitation. Chernivtsi National University named after Y. Fedkovich. Chernivtsi, 2018: 172 p. (in Ukrainian)
5. Grinevich V.B., Maystrenko N.A., et al. The problem of chronic pancreatitis from the position of the therapist and surgeon. Meditsinskiy akademicheskyy zhurnal [Medical Academic Journal]. 2012; 12 (2): 35–53. (in Russian)
6. Struyvenberg M.R., Martin C.R., Freedman S.D. Practical guide to exocrine pancreatic insufficiency – breaking the myths. BMC Med. 2017; 15. PMID: 28183317; PMCID: PMC5301368; doi: 10.1186/s12916-017-0783-y
7. Modern classifications and standards of treatment of common diseases of internal organs. 16th ed. revised and additional. Edited by Yu.M. Mostovoy. Vinnitsa, 2017: 722 p. (in Ukrainian)
8. Kitura O.E. Impact of treatment on the quality of life of patients with chronic pancreatitis. Vestnik problem biologii i meditsiny [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]. 2013; 3 (1): 100–3. (in Russian)
9. Lohr J.M., Dominguez Munoz E., Rosendahl J., et al. United European Gastroenterology evidence based guidelines for the diag-

- noses and therapy of chronic pancreatitis (HaPanEU). *United Eur Gastroenterol J.* 2017; 5 (2): 153–99.
10. Stepanov Yu.M., Gravirovskaya N.G., Skirda I.Yu., Petishko O.P. Diseases of the pancreas as one of the leading problems of gastroenterology and abdominal surgery (modern epidemiology). *Gastroenterologiya [Gastroenterology]*. 2014; (3): 7–14. (in Russian)
 11. Duggan S.N., Egan S.M., O'Grady H., et al. The identification of nutritional deficiencies in a patient with a 5 year history of chronic alcohol-induced pancreatitis. *Pancreatology*. 2017; 7: 269.
 12. Pasieshvili L.M. The role of chronic pancreatitis in impaired metabolism of bone tissue and the formation of osteoporosis. *Aktual'ni problemi suchasnoi meditsini [Actual Problems of Modern Medicine]*. 2016; 4 (56): 167–70. (in Russian)
 13. Zimmerman Ya.S. Laboratory and instrumental diagnostics of diseases of the pancreas. *Vestnik cluba pancreatologov [Bulletin of the Club of Pancreatology]*. 2013; 1 (18): 8–14. (in Russian)

Для корреспонденции

Жбанова Екатерина Викторовна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и пищевых технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»

Адрес: 393770, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина, д. 30

Телефон: (47545) 5-78-87

E-mail: shbanovak@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

Акимов М.Ю.¹, Жбанова Е.В.¹, Макаров В.Н.², Перова И.Б.³, Шевякова Л.В.³, Вржесинская О.А.³, Бекетова Н.А.³, Кошелева О.В.³, Богачук М.Н.³, Рылина Е.В.³, Лукьянчук И.В.¹, Миронов А.М.⁴

Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники

Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties

Akimov M.Yu.¹, Zhbanova E.V.¹, Makarov V.N.², Perova I.B.³, Shevyakova L.V.³, Vrzhesinskaya O.A.³, Beketova N.A.³, Kosheleva O.V.³, Bogachuk M.N.³, Rylyina E.V.³, Luk'yanchuk I.V.¹, Mironov A.M.⁴

- ¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», Мичуринск, Тамбовская область, Россия
- ² ООО «Экспериментальный центр “М-КОНС-1”», Мичуринск, Тамбовская область, Россия
- ³ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия
- ⁴ МКУ «Дирекция по реализации Программы развития г. Мичуринска как наукограда РФ», Мичуринск, Тамбовская область, Россия
- ¹ I.V. Michurin Scientific Centre, Michurinsk, Tambov Region, Russia
- ² LLC «Experimental Centre “M-KONS-1”», Michurinsk, Tambov Region, Russia
- ³ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia
- ⁴ Directorate for the implementation of the Development Program of Michurinsk-city as a Science City of Russian Federation, Michurinsk, Tambov Region, Russia

Одним из актуальных направлений научно-исследовательской работы с плодово-ягодными культурами является изучение их пищевой ценности и микронутриентного состава. Химический состав плодов земляники обуславливает широкий спектр ее использования не только в свежем виде, но и в качестве сырьевого ресурса для пищевой промышленности. Селекционные требования к современным сортам земляники наряду с высокой урожайностью, крупноплодностью, высокими вкусовыми и диетическими качествами плодов предусматривают повышенное содержание биологически активных веществ.

Для цитирования: Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Макаров В.Н., Перова И.Б., Шевякова Л.В., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Богачук М.Н., Рылина Е.В., Лукьянчук И.В., Миронов А.М. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники // *Вопр. питания*. 2019. Т. 88, № 2. С. 64–72. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10019.

Статья поступила в редакцию 09.10.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Makarov V.N., Perova I.B., Shevyakova L.V., Vrzhesinskaya O.A., Beketova N.A., Kosheleva O.V., Bogachuk M.N., Rylyina E.V., Luk'yanchuk I.V., Mironov A.M. Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 64–72. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10019. (in Russian)

Received 09.10.2018. **Accepted** 13.03.2019.

Цель – комплексная оценка плодов земляники по содержанию пищевых и биологически активных веществ, минеральных элементов, а также их антиоксидантной активности.

Материал и методы. В качестве объектов исследования были взяты плоды 5 сортов селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (Лакомая, Праздничная, Привлекательная, Урожайная ЦГЛ, Фейерверк), а также 9 зарубежных сортов (Вима Занта, Дукал, Зефир, Кама, Марышка, Ред Гонтлет, Фестивальная ромашка, Хоней, Эльсанта), перспективных для выращивания в Центрально-Черноземном регионе России. Содержание растворимых сухих веществ определяли рефрактометрическим методом, сахаров – по методу Бертрана – объемным методом, антоцианов – методом рН-дифференциальной спектрофотометрии, суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин – амперометрически. Определение витамина В₁ проводили флуорометрическим тиохромным методом, витамина В₂ – флуорометрическим методом титрования рибофлавинсвязывающим белком после проведения кислотного ферментативного гидролиза, аскорбиновой кислоты, витамина Е (токоферолов), ниацина, органических и гидроксикоричных кислот – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, суммы флавонолов – спектрофотометрически, макро- и микроэлементов – атомно-абсорбционным методом.

Результаты и обсуждение. Установлено значительное варьирование показателей химического состава в зависимости от сортовых особенностей. Плоды земляники накапливали 8,5–12,0% растворимых сухих веществ, 5,9–8,7% сахаров, 1,5–2,1% пищевых волокон, 0,78–1,12% пектиновых веществ, 0,89–1,45% органических кислот; 100 г плодов содержало 33,5–48,2 мг витамина С, 18,3–108,5 мг антоцианов, 0,024–0,041 мг витамина В₁, 0,012–0,029 мг витамина В₂, 0,10–0,26 мг ниацина, 0,26–0,60 мг ТЭ витамина Е; 102–270 мг калия, 0,15–0,95 мг железа; суммарная антиоксидантная активность варьировала в пределах 180,8–350,0 мг/100 г. Высоким уровнем накопления антоцианов (выше 80,0 мг/100 г) отличались сорта Привлекательная, Лакомая, Фейерверк. Десертным вкусом характеризовались сорта Урожайная ЦГЛ, Привлекательная, Лакомая. Наибольшей суммарной антиоксидантной активностью отличались сорта Фестивальная ромашка, Лакомая, Привлекательная. По результатам исследования выделен сорт Привлекательная по высокому комплексному накоплению витамина С, антоцианов, суммарной антиоксидантной активности плодов. Указанные сорта рекомендуются как для использования в свежем виде, так и для замораживания, производства пищевых продуктов функционального назначения.

Заключение. Полученные данные представляют интерес для дальнейшего внесения в таблицы химического состава российских пищевых продуктов.

Ключевые слова: плоды земляники, пищевая ценность, биологически активные вещества, антиоксидантная активность, витамины, органические кислоты, сахара, антоцианы, пектин

One of the current areas in research of fruit and berry crops is the study of their nutritional value and micronutrient composition. Valuable chemical composition of the strawberry determines a wide spectrum of its utilization not only as fresh fruit, but also as a raw material for food industry. Breeding requirements for contemporary strawberry varieties together with yield, large-fruit, important taste and dietary qualities of fruit provide for higher content of biologic active substances.

The aim of the research was an integrated assessment of strawberry fruit for content of nutrients and bioactive compounds, as well as mineral elements, and its antioxidant activity.

Material and methods. The objects of investigation were berries of 5 strawberry varieties bred in the I.V. Michurin Scientific Centre (Lakomaya, Prazdnichnaya, Privlekatelnaya, Urozhaynaya CGL, Feyerverk) and 9 foreign varieties (Vima Zanta, Dukal, Zefir, Kama, Maryshka, Red Gauntlet, Festivalnaya romashka, Honey, Elsanta) which are promising for cultivation in the Black Soil Region of Russia. The content of soluble solids was determined by the refractometric method, sugars – by Bertrand's method, pectins – by the volumetric method, anthocyanins – by pH-differential spectrophotometry. Total content of antioxidants was defined by amperometric method with recalculation per quercetin. Determination of vitamin В₁ was carried out using the fluorometric thiochrome method, vitamin В₂ – by fluorometric titration with riboflavin-binding apoprotein after acid-enzymatic hydrolysis, ascorbic acid, vitamin Е (tocopherols), niacin, organic and hydroxycinnamic acids – by HPLC, flavonols – spectrophotometrically, minerals and trace elements – by atomic absorption method.

Results and discussion. A significant variation in the chemical composition indices depending on the varietal characteristics was found. Strawberry fruit accumulated 8.5–12.0% soluble solids, 5.9–8.7% sugars, 1.5–2.1% of fibre, 0.78–1.12% pectin substances, 0.89–1.45% organic acid; 100 g contain 33.5–48.2 mg vitamin C, 18.3–108.5 mg anthocyanins, 0.024–0.041 mg vitamin В₁, 0.012–0.029 mg vitamin В₂, 0.10–0.26 mg niacin, 0.26–0.60 mg TE vitamin Е, 102–270 mg potassium, 0.15–0.95 mg iron; total antioxidant activity ranged within 180.8–350.0 mg/100 g. High level of anthocyan accumulation (over 80.0 mg/100 g) was observed in Privlekatelnaya, Lakomaya and Feyerverk strawberry varieties. Urozhaynaya CGL, Privlekatelnaya and Lakomaya varieties were characterized by dessert taste. According to the results of the studies Privlekatelnaya variety stood out because of the high complex accumulation of vitamin C, anthocyanins, and high total antioxidant activity. These varieties are recommended for both fresh use and for freezing, as well as for production of functional foods.

Conclusion. The obtained data are of interest for further inclusion in the Tables of the chemical composition of Russian food products.

Keywords: strawberry fruit, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity, vitamins, organic acids, sugars, anthocyanins, pectin

В настоящее время государственная политика России в области пищевой промышленности направлена на решение проблемы обеспечения населения качественными пищевыми продуктами и увеличения их доли в структуре питания. В 2016 г. принята Стратегия

повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, которая ориентирована на стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. В этой связи одним из приоритетных направлений науч-

но-исследовательской работы с плодовыми и ягодными культурами является углубленное изучение микронутриентного состава плодов и выявление форм с повышенным содержанием биологически активных компонентов. Плоды земляники являются источником фитохимических соединений, оказывающих положительное влияние на здоровье человека [1–5]. Большой интерес к землянике обусловлен высоким содержанием аскорбиновой кислоты, что делает ее источником этого витамина в питании человека. Для удовлетворения суточной потребности организма человека в витамине С (90 мг [6]) достаточно 150–250 г свежих плодов земляники [3, 5]. Кроме того, земляника характеризуется высоким накоплением в плодах таких важных полифенольных соединений, как антоцианы [7, 8]. Количественное содержание компонентов антоцианового профиля определяется генотипом земляники и варьирует в широких пределах: от 5 мг (сорта Ананасная белая, Абрикос, Любительская) до 100 и более мг на 100 г мякоти плодов (сорта Белруби, Дукат) [8–10]. Методами высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в плодах земляники обнаружено до 25 различных антоциановых пигментов [11]. Данные литературы [8–10] свидетельствуют, что 100 г плодов земляники темноокрашенных сортов обеспечивают адекватный уровень суточного потребления антоцианов (50 мг) [12]. Земляника также является естественным источником фолата (24 мкг/100 г [3, 13, 14]): 250 г свежих плодов земляники обеспечивают 20–30% суточной нормы потребления фолата, рекомендуемой в европейских странах (200–330 мкг/сут [15, 16]), или 15% рекомендуемой в России и США (400 мкг/сут [6, 17]). Гематогенное действие земляники обусловлено наличием комплекса соединений – витамины С, В₉ и железо [5]. Кроме того, в плодах земляники присутствуют ниацин (РР), витамин Е, пантотеновая кислота, витамины В₁, В₂, В₆, К и каротиноиды в количестве, не превышающем 6% от их рекомендуемого суточного потребления в 250 г [3, 5]. По накоплению витаминов В₁ и В₂ она несколько превосходит смородину черную, крыжовник, яблоню; по витамину Е – вишню, сливу, малину, жимолость, по содержанию флавоноидов – вишню, малину, сливу, смородину красную, крыжовник [18–20].

Наличие комплекса биологически активных веществ обуславливает востребованность плодов земляники как для потребления в свежем виде, так и в качестве сырья для многих видов переработки и замораживания. Поскольку в процессе переработки часть микронутриентов разрушается, к сырью предъявляется ряд требований по содержанию пищевых и биологически активных веществ. Так, в плодах земляники, предназначенной для консервирования, должно быть не менее: 10% растворимых сухих веществ (РСВ), 7% сахаров, 0,8–1,0% кислот и 0,8% пектиновых веществ, 60 мг/100 г витамина С, 50 мг/100 г антоцианов, потеря сока при дефростации должна составлять не более 7% [21].

В результате планомерной работы отечественных и зарубежных селекционеров сортимент земляники постоянно пополняется формами, не только ценными

по своим хозяйственно-биологическим признакам, но и характеризующимися улучшенным химическим составом плодов. Новые сорта земляники, созданные в ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (г. Мичуринск), помимо высоких вкусовых качеств отличаются повышенным содержанием биологически активных веществ, поэтому представляют особый интерес для использования в питании населения.

Цель работы – комплексная оценка плодов земляники перспективных сортов по содержанию пищевых и биологически активных веществ, минеральных элементов, а также их антиоксидантной активности.

Материал и методы

В качестве биологических объектов исследования были взяты плоды 5 сортов селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (Лакомая, Праздничная, Привлекательная, Урожайная ЦГЛ, Фейерверк), а также 9 зарубежных сортов (Вима Занта, Дукат, Зефир, Кама, Марышка, Ред Гонтлет, Фестивальная ромашка, Хоней, Эльсанта), перспективных для выращивания в Центрально-Черноземном регионе России.

Химические анализы плодов проводили согласно стандартным методикам: содержание РСВ определяли рефрактометрическим методом, титруемых кислот – методом титрования 0,1 н щелочью, рН сока – методом рН-метрии, общего сахара, моносахаридов и сахарозы – по методу Бертрана, пектиновых веществ – объемным методом по С.Я. Райк, антоцианов – методом рН-дифференциальной спектрофотометрии, суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в пересчете на кверцетин – амперометрическим методом на жидкостном хроматографе «Цвет-Яуза 01-АА» (НПО «Химавтоматика», РФ) [22–24]. Определение витамина В₁ проводили флуориметрическим тиохромным методом, витамина В₂ – флуориметрическим методом титрования рибофлавинсвязывающим белком после проведения кислотного ферментативного гидролиза, аскорбиновой кислоты, витамина Е (токоферолов), ниацина, органических и гидроксикоричных кислот – методами ВЭЖХ, суммы флавонолов – спектрофотометрическим методом с хлоридом алюминия, макро- и микроэлементов – атомно-абсорбционным методом [25–27].

Статистическая обработка результатов проведена с использованием пакета программ SPSS 20.0 (IBM, США). Расчет включал определение выборочного среднего, стандартной ошибки, медианы, 25-го и 75-го перцентилей.

Результаты и обсуждение

Важным компонентом химического состава плодов являются РСВ, количество которых определяет плотность, транспортабельность свежей продукции, расход

сырья при переработке. Этот показатель также весьма важен при оценке пригодности сортов к замораживанию, так как по результатам собственных исследований и данных других авторов при замораживании и хранении в холоде отмечена тенденция к уменьшению содержания сухих веществ в зависимости от генотипов в разных пределах [28, 29]. Согласно технологическим требованиям, содержание РСВ в плодах земляники должно составлять не менее 10% [21]. Большинство (85,7%) исследованных сортов накапливали свыше 10% РСВ и по данному параметру соответствовали технологическим требованиям (табл. 1). Наиболее высоким содержанием РСВ (выше 75-го перцентиля) характеризовались сорта Марышка, Фестивальная ромашка и Урожайная ЦГЛ. 6 сортов (Урожайная ЦГЛ, Привлекательная, Лакомая, Эльсанта, Праздничная и Зефир) накапливали 11,3–11,8% РСВ. Количество сухих веществ в плодах земляники в значительной степени определяется уровнем накопления сахаров, составляющих 50–60% от их общего содержания. Накопление сахаров различалось по сортам в 1,5 раза. Наименьшее количество сахаров накапливал сорт Дукат, а максимальное содержание имел сорт Урожайная ЦГЛ. Около трети (28,6%) изученных сортов накапливали сахаров менее 7%. Основная часть (71,4%) исследованных сортов соответствовала технологическим требованиям по содержанию сахаров в плодах [21] и характеризовалась их накоплением свыше 7%. Высоким накоплением сахаров (более 8%) отличаются сорта Урожайная ЦГЛ, Привлекательная, Лакомая, Эльсанта, Праздничная и Зефир. Сахара в ягодах земляники представлены следующими моно- и дисахаридами: глюкозой (1,8–3,4%), фруктозой (1,9–3,9%) и сахарозой (0,1–0,6%).

Одним из компонентов плодов земляники, влияющих на вкус, являются органические кислоты. Сортвые различия в содержании кислот составили 1,6 раза: наименьшее содержание органических кислот было отмечено у сорта Урожайная ЦГЛ, максимальное – у сорта Зефир (см. табл. 1). Лишь четверть от общего количества изученных сортов имела титруемую кислотность на требуемом уровне (0,8–1,0%). В плодах земляники преобладает лимонная кислота, накапливающаяся в количестве от 0,32 (Фейерверк) до 0,92% (Хоней). Содержание яблочной кислоты изменялось в пределах от 0,14 (Хоней) до 0,49% (Лакомая). Общее содержание кислот еще не в полной мере характеризует степень кислого вкуса плодов и ягод. Существенным образом он зависит от степени диссоциации отдельных кислот, т.е. концентрации водородных ионов в их растворах (рН). Кроме того, определение рН имеет значение не только для общей химической характеристики культур и сортов, но и для контроля за происходящими изменениями в растительных материалах в процессе их переработки. Показатель рН сока плодов земляники варьировал в небольших пределах – от 3,2 (Ред Гонтлет) до 3,5 (Фейерверк). Наиболее высоким сахарокислотным индексом с гармоничным сочетанием сахаров и кислот характеризовались сорта селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»: Урожайная ЦГЛ, Привлекательная и Лакомая. Сорт Урожайная ЦГЛ, обладая высоким показателем вкуса (дегустационная оценка – 4,8 балла), имел самую низкую кислотность плодов.

Важное значение для производства пищевых продуктов на основе земляники имеет содержание пектинов. Технологические требования к сортам земляники, предназначенным для переработки и заморажива-

Таблица 1. Содержание основных пищевых компонентов в плодах земляники перспективных сортов (в %)

Сорт	Растворимые сухие вещества	Сахара (сумма)	Титруемая кислотность	С/к индекс	Пектиновые вещества	Пищевые волокна (сумма)	
Вима Занта	10,1	7,5	1,03	7,3	0,97	1,9	
Дукат	8,5	5,9	1,29	4,6	1,07	1,9	
Зефир	11,3	8,4	1,45	6,0	0,78	1,7	
Кама	9,7	6,2	1,05	5,9	1,12	2,0	
Лакомая	11,5	8,5	1,10	7,9	0,95	1,9	
Марышка	12,0	6,6	1,20	5,5	0,94	2,0	
Праздничная	11,3	8,5	1,26	6,9	0,94	1,6	
Привлекательная	11,6	8,6	1,10	8,1	1,03	2,1	
Ред Гонтлет	10,4	7,3	1,26	5,8	0,89	1,8	
Урожайная ЦГЛ	11,8	8,7	0,89	9,8	1,04	1,7	
Фейерверк	10,3	6,7	0,95	7,1	0,99	1,7	
Фестивальная ромашка	12,0	7,2	1,13	6,4	0,87	1,6	
Хоней	10,5	7,7	1,00	7,7	1,11	1,5	
Эльсанта	11,3	8,5	1,11	7,7	0,96	2,0	
Среднее ($M \pm m$)	10,9 \pm 0,3	7,6 \pm 0,3	1,13 \pm 0,04	6,9 \pm 0,4	0,98 \pm 0,03	1,8 \pm 0,1	
Медиана	11,3	7,6	1,11	7,0	0,97	1,8	
Перцентиль	25-й	10,3	6,7	1,02	5,9	0,93	1,7
	75-й	11,7	8,5	1,26	7,8	1,1	2,0

Примечание. С/к – сахарокислотный.

Таблица 2. Содержание витаминов и полифенольных соединений в плодах земляники перспективных сортов (мг/100 г)

Сорт	Витамин				Е (токоферол), мг ТЭ	антицианы	Полифенольные соединения		ССА (по квар- цетину)
	С	В ₁	В ₂	ниацин			флавоноиды (по рутину)	гидроксикоричные кислоты	
Вима Занта	41,0	0,029	0,014	0,10	0,28	34,3	36,4	1,27	180,8
Дукат	45,2	0,030	0,018	0,13	0,27	57,2	43,2	3,90	303,5
Зефир	33,5	0,024	0,012	0,18	0,33	48,4	48,2	0,35	265,2
Кама	39,4	0,031	0,025	0,22	0,27	66,0	48,4	4,80	296,2
Лакомая	44,0	0,026	0,018	0,24	0,36	84,6	49,3	4,56	336,2
Марышка	48,2	0,029	0,015	0,17	0,39	46,1	44,7	14,30	340,2
Праздничная	36,4	0,031	0,029	0,17	0,35	37,8	28,4	28,50	188,0
Привлекательная	42,5	0,040	0,021	0,26	0,43	106,3	66,3	31,70	350,0
Ред Гонтлет	38,5	0,041	0,017	0,18	0,26	33,0	25,4	30,0	300,3
Урожайная ЦГЛ	36,6	0,032	0,025	0,15	0,60	43,6	55,2	27,50	299,6
Фейерверк	37,0	0,036	0,021	0,24	0,35	108,5	69,6	31,90	243,0
Фестивальная ромашка	40,5	0,040	0,019	0,14	0,53	46,2	9,9	1,75	338,6
Хоней	39,0	0,029	0,017	0,10	0,27	35,2	18,4	1,30	239,2
Эльсанта	38,0	0,037	0,015	0,18	0,30	18,3	36,3	20,60	242,0
Среднее (M±m)	40,0±1,1	0,033±0,001	0,019±0,001	0,18±0,01	0,36±0,03	54,7±7,3	41,4±4,6	14,46±3,52	280,2±14,8
Медиана	39,2	0,031	0,018	0,18	0,34	46,2	44,0	9,55	297,9
Перцентиль	36,9	0,029	0,015	0,14	0,27	35,0	27,7	1,64	241,3
75-й	42,9	0,038	0,022	0,23	0,40	70,7	50,8	28,88	336,8

Примечание. ТЭ – токофероловый эквивалент; ССА – суммарное содержание антиоксидантов.

ния, предусматривают накопление в плодах не менее 0,8% пектиновых веществ [21]. Этим требованиям соответствовало 92,9% изученных сортов земляники (см. табл. 1). Суммарное содержание пектиновых веществ изменялось в 1,4 раза в зависимости от изученного сорта. Высокими значениями данного показателя (выше 1,0%) отличались сорта Кама, Хоней, Дукат, Урожайная ЦГЛ, Привлекательная. Суммарное количество пищевых волокон в плодах исследованных сортов примерно в 2 раза превышало содержание пектиновых веществ и составило не менее 1,5%, что согласуется с данными литературы [13]. Наибольшим их содержанием (не менее 2,0%) отличалось 28,6% изученных сортов (Привлекательная, Кама, Марышка и Эльсанта). Колебания содержания пищевых волокон в зависимости от сорта составили 1,4 раза.

Как видно из данных табл. 2, в расчете на 100 г земляники уровень накопления аскорбиновой кислоты у изученных сортов составил в среднем 40,0 мг с варьированием от 33,5 мг (Зефир) до 48,2 мг (Марышка), что не достигает уровня, приведенного в таблицах химического состава пищевых продуктов – 60 мг/100 г [13], но находится в диапазоне содержания, приведенного в литературе [30]. 190–270 г свежих плодов земляники полностью обеспечивают суточную норму потребления этого витамина-антиоксиданта, что согласуется с данными других авторов [3, 5]. Наиболее высокое содержание витамина С (более 42 мг/100 г) отмечено у сортов Марышка, Дукат, Лакомая и Привлекательная. Не менее важна сохранность компонентов химического состава, в частности витамина С, после низкотемпературного хранения и дефростации. По данным ранее проведенных исследований, наилучшая сохранность аскорбиновой кислоты после размораживания была у сортов Урожайная ЦГЛ и Привлекательная [28].

Значительная часть фенольных соединений в плодах земляники представлена антоцианами. Различия по накоплению данных веществ между сортами весьма велики – их содержание в сорте Фейерверк в 5,9 раза выше, чем в сорте Эльсанта. С наличием антоцианов во многом связаны Р-витаминные и антиоксидантные свойства плодов, пригодность сортов к замораживанию и технологической переработке. Установлено, что сорта земляники, содержащие меньше 50 мг/100 г антоцианов, малоприспособны для замораживания и переработки из-за обесцвечивания плодов при этих процессах и потери привлекательности и качества конечного продукта [9, 31].

Анализ исследуемого сортамента выявил, что темной окраской плодов и, соответственно, высоким уровнем накопления антоцианов отличаются сорта селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» – Лакомая (более 80 мг/100 г), Привлекательная и Фейерверк (более 100 мг в 100 г плодов). Употребление всего 100 г плодов такого сорта, как Привлекательная, позволяет обеспечить суточную потребность в витамине С на 47%, антоцианах – на 213%. Установлено, что разрушение антоцианов в процессе низкотемпературного

Таблица 3. Содержание макро- и микроэлементов в плодах земляники перспективных сортов (мг/кг)

Сорт	Макроэлемент				Микроэлемент		
	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
Вима Занта	27,9	2273	416	524	4,68	0,40	1,25
Дукат	8,1	1853	433	235	8,80	0,23	0,93
Зефир	19,0	1663	739	448	8,56	0,33	1,11
Кама	17,8	2696	372	297	3,40	0,25	1,46
Лакомая	10,1	2213	394	534	9,27	0,20	1,24
Марышка	18,8	1086	518	316	5,00	0,34	1,46
Праздничная	16,5	1015	465	313	3,20	0,28	1,87
Привлекательная	13,6	1989	565	382	3,00	0,29	1,63
Ред Гонтлет	8,4	2029	322	246	4,16	0,17	1,18
Урожайная ЦГЛ	17,5	2510	471	292	8,25	0,27	1,67
Фейерверк	12,1	1300	521	490	7,46	0,24	1,76
Фестивальная ромашка	15,3	2006	565	247	4,74	0,35	1,22
Хоней	11,8	1893	450	497	9,48	0,30	0,93
Эльсанта	24,4	2443	587	504	1,45	0,29	1,22
Среднее (<i>M±m</i>)	15,8±1,5	1926±137	487±28	380±31	5,82±0,73	0,28±0,02	1,35±0,08
Медиана	15,9	1998	468	349	4,87	0,29	1,25
Перцентиль	25-й	11,4	1572	411	3,35	0,24	1,16
	75-й	18,9	2316	565	8,62	0,33	1,64

хранения и дефростации происходит менее интенсивно, чем витамина С, и их сохранность в зависимости от генотипа достигала 90%. Для заморозки предпочтительно использовать темноокрашенные сорта с высокой сохранностью антоцианов при размораживании: Фейерверк, Привлекательная, Лакомая [28].

Накопление флавоноидов у исследованных сортов при межсортных различиях в 7 раз составляло в среднем около 40 мг/100 г. Содержание флавоноидов в пересчете на рутин в 100 г плодов 10 из 14 изученных сортов полностью покрывало адекватный уровень их суточного потребления.

Варьирование содержания витамина В₁ (тиамина) по сортам составило 0,024–0,041 мг/100 г; витамина В₂ (рибофлавина) – 0,012–0,029 мг/100 г (см. табл. 2). Разница между максимальным и минимальным накоплением витамина В₁ в плодах земляники проанализированных сортов достигала 1,7 раза, витамина В₂ – 2,4 раза. При рекомендуемой суточной потребности в тиамине, равной 1,5 мг, и рибофлавине – 1,8 мг, потребление 250 г плодов земляники удовлетворяет ее на 4,0–6,7 и 1,7–3,9% соответственно. Витамин Е в исследованных сортах накапливался в пределах 0,26–0,60 мг ТЭ на 100 г плодов. Использование в питании 250 г плодов земляники позволяет удовлетворить суточную потребность в витамине Е (15 мг ТЭ) на 4,3–10,0%. В качестве лучших по накоплению витамина Е следует выделить сорта Урожайная ЦГЛ и Фестивальная ромашка. Содержание ниацина в исследованных сортах земляники изменялось от 0,10 до 0,26 мг/100 г, при этом при потреблении 250 г плодов потребность в этом витамине удовлетворялась не более чем на 3%. Результаты определения содержания витамина В₁ в плодах земляники исследованных сортов согласуются с данными литературы,

а витаминов В₂, Е и ниацина несколько ниже данных, приведенных в таблицах химического состава пищевых продуктов [13].

Существенное варьирование отмечено по накоплению в плодах гидроксикоричных кислот – от 0,35 (Зефир) до 31,9 мг/100 г (Фейерверк). Высоким содержанием гидроксикоричных кислот (не менее 20 мг/100 г) отличались сорта Фейерверк, Привлекательная, Ред Гонтлет, Праздничная, Урожайная ЦГЛ и Эльсанта. При потреблении 250 г плодов этих сортов поступление гидроксикоричных кислот покрывало адекватный уровень их потребления более чем на 25%.

Плоды исследованных сортов земляники характеризуются довольно высокой суммарной антиоксидантной активностью – в пределах 180–350 мг/100 г (в пересчете на кверцетин). Наибольшей антиоксидантной активностью (более 330 мг/100 г) выделялись сорта Привлекательная, Марышка, Фестивальная ромашка и Лакомая.

Проведенные исследования макро- и микроэлементного состава плодов земляники выявили значительные межсортные различия по содержанию минеральных веществ (табл. 3). Так, в плодах сорта Кама содержалось в 2,5 раза больше калия, чем у сорта Праздничная. Повышенным накоплением калия также отличался сорт Урожайная ЦГЛ. Содержание магния в плодах сорта Лакомая и Вима Занта превышало таковое в плодах сорта Дукат в 2,3 раза. Различия между максимальным (Хоней) и минимальным (Эльсанта) накоплением железа в плодах проанализированных сортов достигали 6,5 раза. Высокое содержание железа также выявлено в ягодах сорта Лакомая. Максимальный уровень меди обнаружен в плодах сорта Вима Занта, цинка – в ягодах сортов Праздничная и Фейерверк.

В целом среднее содержание макроэлементов превышает данные таблиц химического состава пищевых продуктов, а железа – в 2 раза ниже [13].

Заключение

Таким образом, очевидна перспективность использования плодов земляники для здорового питания благодаря наличию не только сахаров, органических кислот, пектинов, но и комплекса микронутриентов. Наибольшую ценность земляники представляет в качестве источника витаминов С, полифенольных соединений (антоцианы, гидроксикоричные кислоты), фолата, а также минеральных веществ – калия, железа. Одна порция плодов земляники (250 г) изученных сортов позволяет обеспечить суточную потребность в витамине С на 110%, калии и магнии – примерно на 20%, железе – на

6–10%, меди, витаминах В₁ и Е – на 6%, антоцианах – на 270%, гидроксикоричных кислот – на 18%, растворимых пищевых волокон – на 120%.

Выделены ценные сорта, имеющие относительно высокое содержание биологически активных и минеральных веществ:

- для потребления в свежем виде – Урожайная ЦГЛ, Привлекательная, Лакомая, Хоней, Эльсанта;
- для использования в переработке – Привлекательная, Урожайная ЦГЛ, Фейерверк;
- для замораживания – Фейерверк, Привлекательная, Лакомая.

Полученные данные представляют интерес для дальнейшего включения в таблицы химического состава российских пищевых продуктов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Сведения об авторах

Акимов Михаил Юрьевич (Akimov Mikhail Yu.) – кандидат сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (Мичуринск, Тамбовская область, Россия)

E-mail: info@fnc-mich.ru

Жбанова Екатерина Викторовна (Zhbanova Ekaterina V.) – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и пищевых технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (Мичуринск, Тамбовская область, Россия)

E-mail: shbanovak@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

Макаров Виктор Никитич (Makarov Viktor N.) – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель ООО «Экспериментальный центр “М-КОНС-1”» (Мичуринск, Тамбовская область, Россия)

E-mail: m-kons1@yandex.ru

Перова Ирина Борисовна (Perova Irina B.) – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории метаболического и протеомного анализа ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: Erin.Feather@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5975-1376>

Шевякова Людмила Владимировна (Shevyakova Lyudmila V.) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: mailbox@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7447-8520>

Вржесинская Оксана Александровна (Vrzhesinskaya Oksana A.) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: vr.oksana@yandex.ru

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

Бекетова Нина Алексеевна (Beketova Nina A.) – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: beketova@ion.ru

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

Коселева Ольга Васильевна (Kosheleva Olga V.) – научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: kosheleva@ion.ru

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

Богачук Мария Николаевна (Bogachuk Mariya N.) – кандидат фармакологических наук, младший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: bmariyan@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3587-5347>

Рылина Елена Валерьевна (Rylina Elena V.) – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории метаболического и протеомного анализа ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: mailbox@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9375-309X>

Лукьянчук Ирина Васильевна (*Luk'yanchuk Irina V.*) – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (Мичуринск, Тамбовская область, Россия)

E-mail: irina.lk2011@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1626-840X>

Миронов Алексей Михайлович (*Mironov Aleksey M.*) – ведущий специалист отдела научного развития инфраструктуры наукограда МКУ «Дирекция по реализации Программы развития г. Мичуринска как наукограда РФ» (Мичуринск, Тамбовская область, Россия)

E-mail: sigurd32@gmail.com

<https://orcid.org/>

Литература

- Afrin S., Gasparrini M., Forbes-Hernandez T.Y., Reboredo-Rodriguez P. et al. Promising health benefits of the strawberry: a focus on clinical studies // *J. Agric. Food Chem.* 2016. Vol. 64, N 22. P. 4435–4449.
- Battino M., Forbes-Hernandez T.Y., Gasparrini M., Afrin S. et al. The effects of strawberry bioactive compounds on human health. *Proceedings of the VIII International Strawberry Symposium // Acta Hort.* 2017. Vol. 1156. P. 354–362.
- Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J.M., Quiles J.L. et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition.* 2012. Vol. 28, N 1. P. 9–19.
- Giampieri F., Alvarez-Suarez J.M., Battino M. Strawberry and human health: effects beyond antioxidant activity // *J. Agric. Food Chem.* 2014. Vol. 62, N 18. P. 3867–3876.
- Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Биологически активный комплекс плодов земляники // *Плодоводство: сборник научных трудов / РУП «Ин-т пловодства».* Минск: Беларуская навука, 2017. № 29. С. 150–159.
- Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». 41 с.
- Sandhu A.K., Huang Y., Xiao Di, Park E. Pharmacokinetic characterization and bioavailability of strawberry anthocyanins relative to meal intake // *J. Agric. Food Chem.* 2016. Vol. 64, N 24. P. 4891–4899.
- Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Оценка генетической коллекции земляники по содержанию в плодах антоцианов // *Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология.* 2017. № 38. С. 134–148.
- Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. РАСХН. ГНУ ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина. Мичуринск: ВНИИГиСПР, 2004. 196 с.
- Kim S.K., Kim D.S., Kim D.Y., Chun C. Variation of bioactive compounds content of 14 oriental strawberry cultivars // *Food. Chem.* 2015. Vol. 184. P. 196–202.
- Lopes-da-Silva F., Escibano-Bailón M.T., Pérez Alonso J.J., Rivas-Gonzalo J.C. et al. Anthocyanin pigments in strawberry // *LWT Food Sci. Technol.* 2007. Vol. 40. P. 374–382.
- Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 28 с.
- Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания // *Справочник.* М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.
- Tulipani S., Romandini S., Alvarez Suarez J.M., Capocasa F. et al. Folate content in different strawberry genotypes and folate status in healthy subjects after strawberry consumption // *Biofactors.* 2008. Vol. 34. P. 47–55.
- 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
- Department of Health, Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom, HMSO, 1991. SACN Vitamin D and Health, 2016. URL: https://www.nutrition.org.uk/attachments/article/234/Nutrition%20Requirements_Revise%20Oct%202016.pdf
- Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Vitamins Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies, 2015. URL: http://nationalacademies.org/hmd/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRI-Tables/2_%20RDA%20and%20AI%20Values_Vitamin%20and%20Elements.pdf?la=en
- Вржесинская О.А., Коденцова В.М., Акимова О.М., Акимов М.Ю. Содержание витаминов В₁ и В₂ в отечественных сортах плодово-ягодных культур // *Вопр. питания.* 2014. Т. 83, № 3. Прил. Материалы XV Всероссийского Конгресса диетологов и нутрициологов с международным участием «Здоровое питание: от фундаментальных исследований к инновационным технологиям» (2–4 июня 2014 г., Москва). С. 228.
- Бекетова Н.А., Коденцова В.М., Савельев Н.И., Макаров В.Н. Содержание витамина Е в ягодах и фруктах российской селекции // *Вопр. питания.* 2014. Т. 83, № 3. Прил. Материалы XV Всероссийского Конгресса диетологов и нутрициологов с международным участием «Здоровое питание: от фундаментальных исследований к инновационным технологиям» (2–4 июня 2014 г., Москва). С. 226–227.
- Кошелева О.В., Жидехина Т.В., Акишин Д.В. Содержание флавонолов в плодово-ягодных культурах российской селекции // *Вопр. питания.* 2014. Т. 83, № 3. Прил. Материалы XV Всероссийского Конгресса диетологов и нутрициологов с международным участием «Здоровое питание: от фундаментальных исследований к инновационным технологиям» (2–4 июня 2014 г., Москва). С. 185.
- Мегердичев Е.Я. Технологические требования к сортам овощных и плодовых культур, предназначенным для различных видов консервирования. М.: Россельхозакадемия, 2003. 95 с.
- Ермаков А.И. и др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, Ленинградское отд., 1987. 432 с.
- Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
- Яшин А.Я. Инжекционно-проточная система с амперометрическим детектором для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках // *Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева).* 2008. Т. LII, № 2. С. 130–135.
- Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.
- Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / Рос. акад. мед. наук. Ин-т питания; под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. М.: Брандес-Медицина, 1998. 341 с.
- Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Суханов Б.П., Кудашева В.А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека // *Справочное руководство по витаминам и минеральным веществам.* М.: Колос, 2002. 424 с.

28. Жбанова Е.В., Денисова А.В., Лукьянчук И.В. Пригодность некоторых сортов земляники для замораживания // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 11. С. 16–18.
29. Причко Т.Г., Германова М.Г. Формирование сортового состава ягод земляники для замораживания // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2011. № 7. С. 33–35.
30. Кошелева О.В., Коденцова В.М. Содержание витамина С в плодовоовощной продукции // *Вопр. питания*. 2013. Т. 83, № 3. С. 45–52.
31. Жбанова Е.В., Лукьянчук И.В., Богданова О.А. Биохимический состав ягод гибридных сеянцев и отборных форм земляники // *Изв. Тимирязевской с.-хоз. акад.* 2009. № 4. С. 124–128.

References

1. Afrin S., Gasparrini M., Forbes-Hernandez T.Y., Reboredo-Rodriguez P., et al. Promising health benefits of the strawberry: a focus on clinical studies. *J Agric Food Chem*. 2016; 64 (22): 4435–49.
2. Battino M., Forbes-Hernandez T.Y., Gasparrini M., Afrin S., et al. The effects of strawberry bioactive compounds on human health. *Proceedings of the VIII International Strawberry Symposium. Acta Hort.* 2017; 1156: 354–62.
3. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J.M., Quiles J.L., et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*. 2012; 28 (1): 9–19.
4. Giampieri F., Alvarez-Suarez J.M., Battino M. Strawberry and human health: effects beyond antioxidant activity. *J Agric Food Chem*. 2014; 62 (18): 3867–76.
5. Lukyanchuk I.V., Zhbanova E.V. Biologically active complex of strawberry fruit. In: *Fruitgrowing: Collectipon of scientific papers*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2017; 150–9. (in Russian)
6. Methodical recommendations MR 2.3.1.2432-08 dated 18.12.2008 «Norms of physiological requirements in energy and nutrients for different groups of the population of the Russian Federation» 2008: 41 p. (in Russian)
7. Sandhu A.K., Huang Y., Xiao Di, Park E. Pharmacokinetic characterization and bioavailability of strawberry anthocyanins relative to meal intake. *J Agric Food Chem*. 2016; 64 (24): 4891–9.
8. Lukyanchuk I.V., Zhbanova E.V. Estimation of genetic collection for anthocyanin content in strawberry fruits. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Tomsk State University. Biology]*. 2017; (38): 134–48. (in Russian)
9. Zubov A.A. The theoretical basis of strawberry breeding. *Michurinsk: VNIIGiSPR*; 2004: 196 p. (in Russian)
10. Kim S.K., Kim D.S., Kim D.Y., Chun C. Variation of bioactive compounds content of 14 oriental strawberry cultivars. *Food Chem*. 2015; 184: 196–202.
11. Lopes-da-Silva F., Escribano-Bailón M.T., Pérez Alonso J.J., Rivas-Gonzalo J.C., et al. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT Food Sci Technol*. 2007; 40: 374–82.
12. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances: Guidelines 2/3/1/915-04 MP. Moscow: Federal center of state sanitary and epidemiological control of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004: 28 p. (in Russian)
13. Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Tables of a chemical composition and caloric content of the Russian food: Directory. Moscow: DeLi print, 2007: 276 p. (in Russian)
14. Tulipani S., Romandini S., Alvarez Suarez J.M., Capocasa F., et al. Folate content in different strawberry genotypes and folate status in healthy subjects after strawberry consumption. *Biofactors*. 2008; 34: 47–55.
15. 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
16. Department of Health, Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom, HMSO, 1991. SACN Vitamin D and Health, 2016. URL: https://www.nutrition.org.uk/attachments/article/234/Nutrition%20Requirements_ Revised%20Oct%202016.pdf
17. Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Vitamins Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies, 2015. URL: http://nationalacademies.org/hmd/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs-Tables/2_%20RDA%20and%20AI%20Values_Vitamin%20and%20Elements.pdf?la=en
18. Vrzhesinskaya O.A., Kodentsova V.M., Akimova O.M., Akimov M.Yu. Vitamin B₁ and B₂ contents in Russian fruit varieties. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. Application Materials of the XV All-Russian Congress of Nutritionists and Nutritionists with international participation «Healthy nutrition: from fundamental research to innovative technologies» (June 2–4, 2014, Moscow). 2014; 83 (S3): 228. (in Russian)
19. Beketova N.A., Kodentsova V.M., Savel'ev N.I., Makarov V.N. Vitamin E contents in fruits and berries selected in Russia. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. Application. Materials of the XV All-Russian Congress of Nutritionists and Nutritionists with international participation «Healthy nutrition: from fundamental research to innovative technologies» (June 2–4, 2014, Moscow). 2014; 83 (S3): 226–7. (in Russian)
20. Kosheleva O.V., Zhidekhina T.V., Akishin D.V. Content of flavonols in fruit and berry cultures of the Russian selection. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. Application. Materials of the XV All-Russian Congress of Nutritionists and Nutritionists with international participation «Healthy nutrition: from fundamental research to innovative technologies» (June 2–4, 2014, Moscow). 2014; 83 (S3): 185. (in Russian)
21. Megerdichev E.Ya. Technological requirements for varieties of vegetable and fruit crops, intended for various types of canning. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2003: 95 p. (in Russian)
22. Ermakov A.I., et al. Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Agropromizdat, Leningradskoe otd., 1987: 432 p. (in Russian)
23. Program and methods of variety investigation of fruit, berry and nut crops. Edited by E.N. Sedov, T.P. Ogo'tsova. Or'el: VNIISPK, 1999: 608 p. (in Russian)
24. Jashin A.Ya. Injective and pass system with amperometric detector for selective definition of antioxidants in food products and beverages. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal (Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva [Russian Chemistry Journal (Journal of Russian Chemical Society Named After D.I. Mendeleev)]*. 2008; LII (2): 130–5. (in Russian)
25. Manual on methods of quality control and safety of biologically active additives in food. Moscow: Federal center of state sanitary and epidemiological control of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004: 240 p. (in Russian)
26. Manual on methods for analyzing the quality and safety of food. Edited by I.M. Skurikhin, V.A. Tutelyan. Moscow: Brandes-Meditsina, 1998: 341 p. (in Russian)
27. Tutelyan V.A., Spirichev V.B., Suhanov B.P., Kudasheva V.A. Micronutrients in the diet of a healthy and sick person: Handbook of vitamins and minerals. Moscow: Kolos, 2002: 424 p. (in Russian)
28. Zhbanova E.V., Denisova A.V., Lukyanchuk I.V. Suitability of some strawberry varieties for freezing. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyra [Storage and Processing of Agricultural Raw Materials]*. 2009; (11): 16–8. (in Russian)
29. Prichko T.G., Germanova M.G. Forming the varietal composition of strawberry berries for freezing. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyra [Storage and Processing of Agricultural Raw Materials]*. 2011; (7): 33–5. (in Russian)
30. Kosheleva O.V., Kodentsova V.M. Vitamin C in fruits and vegetables. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*; 2013; 83 (3): 45–52. (in Russian)
31. Zhbanova E.V., Lukyanchuk I.V., Bogdanova O.A. Biochemical composition of berries hybrid seedlings and selected forms of strawberry. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy]*. 2009; (4): 124–8. (in Russian)

Для корреспонденции

Хомич Людмила Михайловна – руководитель проекта
Некоммерческой организации «Российский союз
производителей соков» (РСПС)
Адрес: 101000, Россия, г. Москва, Архангельский переулок,
д. 3, стр. 1
Телефон: (495) 628-99-19
E-mail: rsps@rsps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4312-3559>

Иванова Н.Н.¹, Хомич Л.М.¹, Перова И.Б.², Эллер К.И.²

Нутриентный профиль ананасового сока

Pineapple 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, Россия
² ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия
¹ Non-Commercial Organization «Russian Union of Juice Producers» (RSPS), Moscow, Russia
² Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

Знания о составе пищевых продуктов необходимы как специалистам для оценки состояния питания населения и разработки рекомендаций по питанию, так и потребителям для организации здорового индивидуального питания. Российским союзом производителей соков совместно с научно-исследовательскими организациями ведется работа по систематизации и расширению знаний о составе соков как одного из важных элементов в структуре питания человека.

Цель исследования – установление нутриентного профиля ананасового сока.

Материал и методы. Анализ данных справочников и научных публикаций, проведение физико-химических исследований ананасового сока промышленного производства.

Результаты и обсуждение. В нутриентном профиле ананасового сока приведено содержание более 30 пищевых и биологически активных веществ (БАВ). Сахара ананасового сока представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой в соотношении в среднем 1:1:1,6, органические кислоты – в основном лимонной и L-яблочной кислотами, при этом содержание лимонной кислоты в 2–4 раза выше, чем L-яблочной. Порция ананасового сока промышленного производства в среднем содержит 10% от суточной потребности человека в калии и магнии, около 15% – в меди, 60–70% – в витамине С. Содержание витамина В₁ и фолатов составляет около 7% от рекомендуемого уровня суточного потребления, витамина В₆ – около 12%. Ананасовый сок является источником марганца – в порции содержится свыше 100% от суточной потребности в этом микроэлементе. Полифенольные соединения в основном представлены гидроксикоричными кислотами, среди которых преобладают синаповая кислота и ее производные и п-кумароилхинная кислота (суммарно 45–80% всех гидроксикоричных кислот). Содержание гидроксикоричных кислот в порции составляет в среднем 30% от

Для цитирования: Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль ананасового сока // Вопр. питания. 2019. Т. 88, № 2. С. 73–82. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10020.

Статья поступила в редакцию 15.02.2019. Принята в печать 13.03.2019.

For citation: Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Pineapple juice nutritional profile. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 73–82. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10020. (in Russian)

Received 15.02.2019. Accepted 13.03.2019.

адекватного уровня их суточного потребления. Ананасовый сок показывает протеолитическую активность (около 1 пп в 1 г сухого вещества), что связано с содержанием в ананасах комплекса протеолитических ферментов.

Заключение. Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными БАВ для ананасового сока являются марганец, витамин С, гидроксикоричные кислоты, медь, калий, магний и витамины группы В (В₁, В₆, фолаты).

Ключевые слова: ананасовый сок, нутриентный профиль, микронутриенты, гидроксикоричные кислоты, биологически активные вещества, бромелайн

Knowledge about food composition is necessary both for specialists to assess the state of nutrition of the population and develop recommendations on nutrition, as well as for consumers to organize healthy individual nutrition. Russian Union of Juice Producers together with research organizations is working to systematize and expand knowledge about the composition of juices, as one of the important elements in the structure of human nutrition.

Aim is to establish the nutrient profile of pineapple juice.

Material and methods. Data analysis of reference books and scientific publications, conducting physico-chemical studies of industrially produced pineapple juice.

Results and discussion. The nutrient profile shows the content of more than 30 nutritive and bioactive compounds in pineapple juice. Sugars in pineapple juice are represented by glucose, fructose and sucrose in an average ratio of 1:1:1.6, organic acids are mainly citric and L-malic acids, while the content of citric acid is 2–4 times higher than that of L-malic. A portion of industrially produced pineapple juice on average contains 10% of the daily human requirement for potassium and magnesium, about 15% for copper, 60–70% for vitamin C. The content of vitamin B₁ and folate is about 7% of daily recommended level, vitamin B₆ – about 12%. Pineapple juice is a source of manganese – a portion contains more than 100% of the adequate level of daily consumption of this trace element. Polyphenolic compounds are mainly represented by hydroxycinnamic acids, among which synapic acid and its derivatives and p-coumaroyl cinnamic acid predominate (45–80% of all hydroxycinnamic acids in total). The content of hydroxycinnamic acids per serving averages 30% of the adequate level of their daily intake. Pineapple juice shows proteolytic activity (about 1 пп per 1 g of dry matter), which is associated with the content of the complex of proteolytic enzymes in pineapples.

Conclusion. The most significant from the point of view of providing a human body with micronutrients and minor bioactive compounds for pineapple juice are manganese, vitamin C, hydroxycinnamic acids, copper, potassium, magnesium, and B vitamins (B₁, B₆, folates).

Keywords: pineapple juice, nutrient profile, micronutrients, hydroxycinnamic acids, bioactive compounds, bromelain

Ананасовый сок является наиболее популярным в мире соком из тропических фруктов. В США потребление ананасового сока находится на 4-м месте после апельсинового, яблочного и виноградного [1], в европейских странах ананасовый сок составляет от 1 до 19% всех потребляемых соков [2]. По оценке Российского союза производителей соков (РСПС), в России потребляется около 20 млн л ананасового сока в год. Он также входит в состав большинства мультифруктовых соков, присутствующих в продаже.

Ананас представляет собой многолетнее травянистое растение, и это в значительной степени обуславливает нутриентный состав его плодов и сока из них. Анализ данных справочников, научных публикаций и исследования соков промышленного производства с целью уточнения и дополнения имеющейся информации позволяют максимально полно и достоверно определить состав ананасового сока, потребляемого населением.

Цель настоящей работы – установление нутриентного профиля ананасового сока, включающего данные о содержании в соке макро- и микронутриентов, органических кислот, минорных биологически активных веществ (БАВ). Статья продолжает серию публикаций о нутриентных профилях соков [3–8].

Материал и методы

Проведен анализ информации из 16 справочников о содержании в ананасовом соке пищевых и БАВ [9–24], а также опубликованных данных исследований по содержанию в ананасах и ананасовом соке витаминов, полифенольных соединений и других БАВ [25–33].

РСПС исследованы ананасовые соки промышленного производства, представленные на российском рынке. Исследования проведены в аккредитованных лабораториях: ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва,

Россия), Испытательном центре ГЭАЦ «СОЭКС» (Москва, Россия), Испытательном центре ООО «НПО Импульс» (Москва, Россия), лаборатории Eurofins (Нант, Франция), лаборатории SHELAV (Хемминген, Германия), а также в научно-исследовательских центрах и производственных лабораториях членов РСПС (ООО «Пепсико-Холдинг», АО «Мултон», АО «ПРОГРЕСС»). Определяемые пищевые и БАВ и методы, использованные для исследований, приведены в табл. 1.

Результаты и обсуждение

Углеводы (моно- и дисахариды)

Моно- и дисахариды в ананасовом соке представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой [9–10]. Данные литературы по содержанию сахаров в ананасовом соке, а также данные исследований соков промышленного производства приведены в табл. 2.

Результаты исследований ананасовых соков промышленного производства соответствуют информации, приведенной в справочниках. Суммарное содержание моно- и дисахаридов варьирует от 10 до 13 г в 100 см³.

Доля сахарозы в общем содержании сахаров в ананасовом соке может иметь значительные природные вариации [9]. Исследования соков промышленного производства показывают, что для большинства соков соотношение глюкозы, фруктозы и сахарозы близко к 1:1:1,6.

Пищевые волокна

Ананасовые 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 ананасовом соке

Таблица 1. Методы исследований, использованные для определения содержания пищевых и биологически активных веществ в ананасовом соке

Вещество	Метод определения
Глюкоза	ГОСТ 31669-2012 «Продукция соковая. Определение сахарозы, глюкозы, фруктозы и сорбита методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Фруктоза	
Сахароза	
Лимонная кислота	ГОСТ Р 51129-98 «Соки фруктовые и овощные. Метод определения лимонной кислоты»
L-Яблочная кислота	ГОСТ Р 51239-98 «Соки фруктовые и овощные. Метод определения L-яблочной кислоты»
Калий	ГОСТ 33462-2015 «Продукция соковая. Определение натрия, калия, кальция и магния методом атомно-абсорбционной спектроскопии».
Магний	
Кальций	ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)»
Фосфор	ГОСТ Р 51430-99 «Соки фруктовые и овощные. Спектрофотометрический метод определения содержания фосфора».
Железо	ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)»
Цинк	
Медь	ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)».
Марганец	Внутренняя методика лаборатории Eurofins, Франция (масс-спектрометрия: ICP-MS)
Витамин С	ГОСТ 31643-2012 «Продукция соковая. Определение аскорбиновой кислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Витамин В ₁	EN 14122-2003 «Продукты пищевые. Определение витамина В ₁ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Витамин В ₆	EN 14164-2014 «Продукты пищевые. Определение витамина В ₆ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Фолаты	АОАС 2013.13 «Определение содержания фолатов»
Гидроксикоричные кислоты	Методы анализа минорных и биологически активных веществ пищи / под ред. В.А. Тутельяна и К.И. Эллера. М. : Династия, 2010
Пектины	IFU 26 «Pectin»
Пищевые волокна	ГОСТ 54014-2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом»
Общая протеолитическая активность	Спектрофотометрический метод с использованием в качестве субстрата гемоглобина (Фармакопейная статья предприятия ФСП 42 0308-1449-01. Стандарт качества лекарственного средства, стр. 1–11), мод.

Таблица 2. Содержание моно- и дисахаридов в ананасовом соке, г/100 см³ [M (min-max)]

Источник	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Суммарно моно- и дисахариды
[9]	(1,5–4,0)	(1,5–4,0)	(2,5–8,0)	–
[10]	2,60 (2,42–3,52)	2,60 (2,39–3,61)	4,51 (4,23–4,57)	9,7
n=30	3,3 (2,1–4,3)	3,3 (2,2–4,8)	5,2 (3,3–7,7)	11,7 (10,1–13,0)

Таблица 3. Содержание лимонной и L-яблочной кислот в ананасовом соке, г/100 см³ [M (min-max)]

Источник	Лимонная кислота	L-яблочная кислота
[9]	(0,3–1,1)	(0,1–0,4)
[10]	0,47 (0,44–0,59)	0,19 (0,13–0,20)
n=30	0,50 (0,34–0,70)	0,17 (0,07–0,28)

может составлять до 0,045 г/100 см³ [9]. Целлюлоза является составной частью мякоти – нерастворимых частиц нарушенной при отжиме ткани плода. Содержание в ананасовом соке целлюлозы зависит от содержания в нем мякоти. Суммарное содержание растворимых и нерастворимых пищевых волокон в ананасовом соке лежит в интервале 0,1–1,0 г/100 см³ [11–17]. Проведенные исследования (n=9) в целом подтверждают данные литературы: содержание пектинов в ананасовых соках промышленного производства лежит в интервале 0,007–0,051 г/100 см³ (M=0,018 г/100 см³), а суммарное содержание пищевых волокон составляет 0,23–0,56 г/100 см³ (M=0,35 г/100 см³).

Органические кислоты

Органические кислоты в ананасовом соке представлены большей частью лимонной и L-яблочной кислотами, при этом L-яблочная кислота присутствует в количествах, в 2–4 раза меньших, чем лимонная кислота [9, 10]. Также в ананасовом соке обнаруживается D-изолимонная кислота (0,008–0,025 г/100 см³) [9]. Данные по содержанию лимонной и L-яблочной кислот в ананасовом соке, в том числе промышленного производства, приведены в табл. 3.

Данные исследований ананасовых соков промышленного производства соответствуют информации, приведенной в справочниках. Среднее содержание органических кислот в ананасовом соке составляет 0,6–0,7 г/100 см³.

Калий

Согласно данным литературы, содержание калия в ананасовом соке составляет 50–200 мг/100 см³ [9–11, 13–15, 17–23]. Исследования (табл. 4) показывают, что в ананасовом соке промышленного производс-

тва содержание калия лежит в интервале 90–268 мг/100 см³, что несколько выше данных литературы. Не выявлено значимых различий в содержании калия для сока прямого отжима и восстановленного сока.

Кальций

Содержание кальция в ананасовом соке, по данным справочников, находится в интервале 2,6–33 мг/100 см³ [9–11, 13–15, 17–23]. По данным исследований (см. табл. 4), содержание кальция в ананасовом соке промышленного производства соответствует данным литературы. Значимых различий в содержании кальция для сока прямого отжима и восстановленного сока не выявлено.

Магний

Диапазон содержания магния в ананасовом соке, согласно данным литературы, составляет от 6 до 25 мг/100 см³ [9–11, 13–15, 17–23]. Результаты исследований показывают, что содержание магния в ананасовом соке промышленного производства соответствует данным литературы (см. табл. 4). Отсутствуют значимые различия в содержании магния в соке прямого отжима и восстановленном соке.

Фосфор

Справочники дают широкий интервал содержания фосфора в ананасовом соке – от 1 до 15 мг/100 см³ [9–11, 13–15, 17–23]. Результаты исследований сока промышленного производства (см. табл. 4) показывают, что содержание в нем фосфора близко к верхней границе диапазона, указанного в литературе.

Железо

Содержание железа в ананасовом соке составляет 0,12–0,7 мг/100 см³ [10–12, 14, 15, 17–23]. Результаты исследований показывают содержание железа в восстановленном ананасовом соке (n=3) на уровне 0,21–0,3 мг/100 см³ (M=0,25 мг/100 см³), что соответствует данным литературы ближе к нижней границе.

Цинк

Согласно данным литературы, содержание цинка в ананасовом соке лежит в широком диапазоне – от 0,01

Таблица 4. Содержание макроэлементов в ананасовом соке, мг/100 см³ [M (min-max)]

Вид сока	Калий		Кальций		Магний		Фосфор	
	M (min-max)	n	M (min-max)	n	M (min-max)	n	M (min-max)	n
Прямого отжима	128,8 (126,7–130,9)	n=2	13,7 (11,5–15,9)	n=2	12,0 (10,3–13,7)	n=2	–	–
Восстановленный	161,7 (90,1–268,0)	n=44	16,0 (6,4–24,8)	n=21	14,3 (8,8–19,2)	n=32	13,9 (10,7–18,0)	n=11

до 0,13 мг/100 см³ [10, 11, 13–15, 17, 18, 20, 21, 23]. Данные исследований восстановленного ананасового сока ($n=3$) показывают присутствие в нем цинка на уровне 0,11–0,12 мг/100 см³.

Медь

В данных литературы наблюдается значительный разброс значений содержания меди в ананасовом соке – от 0,0023 до 0,13 мг/100 см³ [10, 11, 15, 21–23]. Исследования показывают (табл. 5), что содержание меди в ананасовом соке промышленного производства укладывается в этот интервал. Содержание меди в соке прямого отжима совпадает с ее содержанием в восстановленном соке.

Марганец

Данные справочников по содержанию марганца в ананасовом соке немногочисленны и различаются более чем в 1000 раз – от 0,0015 до 1,67 мг/100 см³ [11, 14, 21, 22]. Согласно исследованиям, содержание марганца в ананасовом соке промышленного производства находится на верхней границе данных литературы или превышает ее (см. табл. 5), при этом в восстановленном соке оно выше, чем в соке прямого отжима.

Витамин С

Согласно данным литературы, содержание витамина С в ананасовом соке колеблется в широком диапазоне и составляет от 3 до 50 мг/100 см³ [10–19, 21–23, 25–27]. Такая разница в значениях может быть связана как с природными колебаниями содержания витамина С в ананасах, из которых изготавливается сок, так и с особенностями технологической обработки сока и условиями его хранения [25]. Исследования ананасового сока промышленного производства показывают, что содержание в нем витамина С также варьирует в широком диапазоне, при этом в соке прямого отжима оно несколько выше, чем в восстановленном (табл. 6).

Витамин В₁

По данным литературы, содержание витамина В₁ в ананасовом соке лежит в интервале 0,04–0,09 мг/100 см³ [10, 11, 13–21, 23, 28, 29]. Данные исследований показывают, что содержание витамина В₁ в ананасовом соке промышленного производства находится ближе к нижней границе указанного диапазона (табл. 7), что, тем не менее, является значимым с точки зрения потребности человека. Различий в содержании витамина В₁ для сока прямого отжима и восстановленного сока не выявлено.

Таблица 5. Содержание меди и марганца в ананасовом соке, мг/100 см³ [M ($min-max$)]

Вид сока		Медь	Марганец
Прямого отжима	$n=2$	0,057 (0,04–0,073)	0,97 (0,61–1,33)
Восстановленный	$n=7$	0,055 (0,03–0,085)	2,40 (1,79–2,87)

Таблица 6. Содержание витамина С в ананасовом соке, мг/100 см³ [M ($min-max$)]

Вид сока	Содержание витамина С
Сок прямого отжима ($n=2$)	29,9 (23,4–36,4)
Сок восстановленный ($n=16$)	16,5 (0,9–33,1)

Витамин В₆

Содержание витамина В₆ в ананасовом соке, согласно данным литературы, составляет в среднем 0,05–0,1 мг/100 см³ [10, 11, 13–21, 23, 29]. Результаты исследований образцов ананасового сока промышленного производства показывают, что содержание в них витамина В₆ находится ближе к верхней границе указанного диапазона или превышает ее (см. табл. 7). Не выявлено значимых различий в содержании этого витамина для сока прямого отжима и восстановленного сока.

Фолаты

По данным литературы, содержание фолатов в ананасовом соке лежит в интервале 0–0,026 мг/100 см³ [10–21, 23, 28, 29], средние значения содержания, приводимые в различных справочниках, также имеют значительный разброс – от 0,002 до 0,023 мг/100 см³. Данные исследований показывают, что содержание фолатов в ананасовом соке прямого отжима в 1,6 раза выше, чем в восстановленном (см. табл. 7).

Полифенольные соединения

Данные литературы по содержанию полифенолов в ананасовом соке немногочисленны. По имеющейся информации, полифенольные соединения ананасового сока представлены фенольными кислотами (большей частью гидроксикоричными) и их производными [26, 30–35]. Присутствие флавоноидов в ананасах и ананасовом соке не обнаружено [24, 32, 35], за исключением следовых количеств миррицетина в кожуре плода [36]. Колебания содержания полифенольных соединений связаны с сортовыми особенностями ананасов и способами их выращивания [30, 31, 35], а также с особенностями тех-

Таблица 7. Содержание витаминов группы В в ананасовом соке, мг/100 см³ [M ($min-max$)]

Вид сока		Витамин В ₁	Витамин В ₆	Фолаты
Прямого отжима	$n=2$	0,0345 (0,0330–0,0339)	0,0923 (0,0906–0,0939)	0,0095 (0,0075–0,0115)
Восстановленный	$n=7$	0,0400 (0,0363–0,0472)	0,1010 (0,0718–0,1280)	0,0058 (0,005–0,0074)

Таблица 8. Содержание гидроксикоричных кислот в ананасовом соке, мг/100 см³ [M (min–max)]

Гидроксикоричные кислоты	Вид сока	
	прямого отжима (n=2)	восстановленный (n=6)
Суммарно В том числе:	1,51 (0,85–2,17)	1,31 (0,73–2,02)
– синаповая кислота и ее производные	0,85 (0,43–1,26)	0,24 (0,06–0,67)
– <i>p</i> -кумароилхинная кислота	0,36 (0,24–0,48)	0,38 (0,22–0,63)
– <i>p</i> -кумаровая кислота	0,09 (0,06–0,11)	0,11 (0,04–0,19)
– кофейная кислота	0,04 (0,02–0,06)	0,07 (0,04–0,12)
– феруловая кислота	0,03 (0,02–0,03)	0,04 (0,03–0,06)
– неидентифицированные ГКК	0,16 (0,08–0,23)	0,47 (0,28–0,74)

нологий переработки в сок [26]. Сообщается о прямой корреляции антиоксидантной активности ананасового сока с содержанием в нем полифенолов [37, 38].

Гидроксикоричные кислоты

Согласно данным литературы, значительная часть гидроксикоричных кислот (ГКК) ананасового сока приходится на синаповую кислоту и ее производные [26, 30–32, 34, 35]. Их содержание оценивается на уровне около 30–40% от общей массы полифенольных соединений [30, 31]. Различные источники указывают также на присутствие в ананасовом соке кофейной,

феруловой, *p*-кумароилхинной, *p*-кумаровой, *o*-кумаровой, криптохлорогеновой и других ГКК [26, 30–35]. Кроме того, в ананасовом соке были обнаружены специфические продукты конденсации синаповой кислоты с аминокислотами: S-синапил-L-цистеин, N-γ-L-глутамил-S-синапил-L-цистеин и S-синапилглутатион [31]. Эти соединения уникальны для ананасового сока и могут использоваться в качестве маркерных соединений при проведении его контроля качества.

Данные исследований 8 образцов ананасового сока промышленного производства (табл. 8) подтверждают присутствие в них синаповой кислоты и ее производных, *p*-кумароилхинной, *p*-кумаровой, кофейной и феруловой кислот, а также показывают наличие других производных *p*-кумаровой кислоты, не идентифицированных в данном исследовании. Во всех исследованных образцах ананасового сока нами также было подтверждено присутствие маркерных производных синаповой кислоты: S-синапил-L-цистеина, N-γ-L-глутамил-S-синапил-L-цистеина и S-синапилглутатиона.

Синаповая кислота и ее производные и *p*-кумароилхинная кислота в сумме составили от 45 до 80% всех ГКК ананасового сока. В соках прямого отжима на синаповую кислоту и ее производные приходится около 55% всех ГКК, в восстановленных соках – около 20%. Содержание *p*-кумароилхинной кислоты как в соках прямого отжима, так и в восстановленных соках составляет в среднем 25–30% всех ГКК.

Суммарное содержание ГКК в соках промышленного производства лежит в диапазоне 0,7–2,2 мг/100 см³. Не выявлено значимых различий в содержании для ананасового сока прямого отжима и восстановленного сока.

Протеолитическая активность

Исследования показывают воздействие ананасов и продуктов их переработки на процессы переваривания пищи [39, 40]. В значительной степени это связано с присутствием в ананасе комплекса протеолитических ферментов. Смесь протеолитических ферментов, выделяемых из ананаса, носит название бромелайн. Разделяют бромелайн из стеблей ананаса (stem bromelain) и бромелайн из его плодов (fruit bromelain). Бромелайн,

Таблица 9. Энергетическая ценность, содержание макроэлементов и органических кислот в ананасовом соке (для сока с содержанием растворимых сухих веществ 12,8%)

Показатель	Содержание в среднем, в 100 см ³
Энергетическая ценность, кДж/ккал	214/51
Углеводы ¹ , г	11,6
Сахара ² , г	11,6
Белок*, г	0,4
Жиры*, г	<0,5
Органические кислоты ³ , г	0,6
Пищевые волокна ⁴ , г	0,3
В том числе пектины, г	0,02

Примечание. * – значение основано на данных литературы. Здесь и в табл. 10: ¹ – углеводы ананасового сока представлены сахарами глюкозой, фруктозой и сахарозой; ² – сахара ананасового сока представлены глюкозой, фруктозой, сахарозой в соотношении 1:1:1,6 (в среднем), при этом доля сахарозы в общем содержании сахаров может иметь значительные природные вариации. Содержание глюкозы, как правило, варьирует в пределах 1,5–4,0 г/100 см³, фруктозы – 1,5–4,0 г/100 см³, сахарозы – 2,5–8 г/100 см³; ³ – органические кислоты ананасового сока представлены большей частью лимонной и L-яблочной кислотами. Содержание лимонной кислоты в ананасовом соке, как правило, варьирует в пределах 0,3–1,1 г/100 см³. Содержание L-яблочной кислоты ниже содержания лимонной кислоты в 2–4 раза и варьирует в пределах 0,1–0,4 г/100 см³. Также в ананасовом соке присутствует D-изолимонная кислота в количествах 0,008–0,025 г/100 см³ и аскорбиновая кислота (витамин C); ⁴ – в ананасовом соке содержатся растворимые пищевые волокна (пектины) и нерастворимые пищевые волокна (целлюлоза, или клетчатка). Содержание нерастворимых пищевых волокон в ананасовом соке может варьировать в зависимости от содержания в нем мякоти.

получаемый из стеблей, обладает меньшей протеолитической активностью, чем бромелайн из плодов. Содержание бромелайна в плодах ананаса составляет 30–40% от общего белка, основная часть ферментов содержится в соке [41]. Бромелайн из плодов содержит до трех различных протеиназ, их присутствие может варьировать в зависимости от региона произрастания плодов [42].

Данные исследований ананасовых соков промышленного производства ($n=2$) подтвердили наличие протеолитической активности на уровне 0,68–1,05 пе (протеолитических единиц) в 1 г сухого вещества ананасового сока.

Нутриентный профиль ананасового сока

Нутриентный профиль ананасового 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 ананасового сока представлен в табл. 9 и 10 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 литературы и результатов исследований, проведенных РСПС, представлен нутриентный профиль ананасового сока, где указано содержание более 30 пищевых и БАВ.

Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными БАВ для ананасового сока, в том числе для ананасового сока промышленного производства, являются минеральные вещества – калий, магний, медь и марганец, витамин С, витамины В₁ и В₆, фолаты, а также ГКК – полифенольные соединения, обладающие антиоксидантными свойствами. В порции ананасового сока содержится в среднем 10% от суточной потребности человека в калии и магнии, около 15% – в меди, более 100% – в марганце. Содержание витамина С в порции составляет около 60–70% от суточной потребности, витамина В₆ – около 12%, витамина В₁ и фолатов – около 7% (су-

Таблица 10. Содержание микронутриентов и минорных биологически активных веществ в ананасовом соке (мг/100 см³)

Вещество	Min	Max	В среднем
<i>Макроэлементы</i>			
К (калий)	90	250	150
Ca (кальций)	5	30	16
Mg (магний)	6	25	14
P (фосфор)	3	20	13
<i>Микроэлементы</i>			
Fe (железо)	0,1	0,7	0,25
Zn (цинк)	0,01	0,13	0,1
Cu (медь)	0,002	0,13	0,06
Mn (марганец)	0,0015	3,0	2,1
I (йод)*	–	–	0,001
Cr (хром)*, **	–	–	0,0016
<i>Водорастворимые витамины</i>			
C	1	46	16
В ₁ (тиамин)	0,03	0,09	0,04
В ₂ (рибофлавин)*	0,01	0,04	0,02
Ниацин*	0,02	0,5	0,2
В ₆ (пиридоксин)	0,05	0,13	0,1
Фолаты	0,002	0,026	0,006
Пантотеновая кислота*	–	–	0,07
Биотин*	–	–	0,0004
<i>Жирорастворимые витамины</i>			
β-Каротин*	0,003	0,06	0,02
<i>Полифенольные соединения⁵</i>			
Гидроксикоричные кислоты	0,7	2,2	1,3

Примечание. * – значение основано на данных литературы; ** – значение требует дополнительного изучения и уточнения; 5 – полифенольные соединения ананасового сока представлены фенольными кислотами (большой частью гидроксикоричными). ГКК ананасового сока представлены синаповой кислотой и ее производными, р-кумароилхинной, р-кумаровой, кофейной, феруловой и другими ГКК. Присутствие флавоноидов в ананасовом соке не обнаружено.

точная потребность согласно [43] и [44]). В ананасовом соке содержатся ГКК – в среднем 30% от адекватного уровня суточного потребления в порции (адекватный уровень суточного потребления согласно [45]). Ананасовый сок обладает протеолитической активностью.

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

Сведения об авторах

Иванова Наталья Николаевна (Ivanova Natalya N.) – президент Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС) (Москва, Россия)

E-mail: rsps@rsps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4604-7221>

Хомич Людмила Михайловна (Khomich Lyudmila M.) – руководитель проекта Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС) (Москва, Россия)

E-mail: l.homich@rsps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4312-3559>

Перова Ирина Борисовна (Perova Irina B.) – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории метаболизма и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: Erin.Feather@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5975-1376>

Эллер Константин Исаакович (Eller Konstantin I.) – доктор химических наук, руководитель лаборатории метаболизма и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия)

E-mail: eller@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1046-4442>

Литература

1. Fruit Juice Focus, November/December 2017. URL: www.fruitjuicefocus.com
2. Fruit Juice Focus, September/October 2018. URL: www.fruitjuicefocus.com
3. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль яблочного сока // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 4. С. 125–136.
4. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль апельсинового сока // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 6. С. 103–113.
5. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Бекетова Н.А. Нутриентный профиль томатного сока // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 2. С. 53–64.
6. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль вишневого сока // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 4. С. 78–86.
7. 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.
8. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль виноградного сока // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 95–105.
9. Свод правил для оценки качества фруктовых и овощных соков. АИЖН (Европейская ассоциация производителей фруктовых соков). Пер. на русский язык – Некоммерческая организация «Российский союз производителей соков» (РСПС). М.: Планета, 2019.
10. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchoff E. Food Composition and Nutrition Tables, based on the 7th ed. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008. 1197 p.
11. Table Ciqual, Composition Nutritionnelle des aliments de ANSES (Франция). URL: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm> (дата посещения: 05.02.2019)
12. The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket (Швеция). URL: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen> (дата обращения: 05.02.2019)
13. Bedca; Base de Datos Española de Composición de Alimentos (Испания). URL: <http://www.sennutricion.org/es/2013/05/15/base-de-datos-espaola-de-composicion-de-alimentos-bedca> (дата обращения: 05.02.2019)
14. Estonian food composition database, online version. URL: http://tka.nutridata.ee/index.action?request_locale=ru (дата посещения: 05.02.2019)
15. Norwegian Food Composition table, 2012. URL: <http://www.matvaretabellen.no/> (дата обращения: 05.02.2019)
16. Fodevaredata, DTU Fodevareinstituttet (Дания). URL: <http://www.food.dtu.dk/Fejl/Fejl.aspx?aspxerrorpath=/> (дата посещения: 05.02.2019)
17. Tabela da Composição dos Alimentos (TCA) (Португалия). URL: <http://nutrimento.pt/noticias/nova-tabela-de-composicao-de-alimentos-ja-disponivel/> (дата обращения: 05.02.2019)
18. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (дата обращения: 05.02.2019)
19. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: справочник. М.: ДеЛиПринт, 2007.
20. Fineli Finnish Food Composition Database. URL: <https://fineli.fi/fineli/fi/index>. (дата обращения: 05.02.2019)
21. German Nutrient Database: BLS online portal. URL: <https://www.vitaminedb.net/lebensmittel/> (дата обращения: 05.02.2019)
22. Slovak online food composition database with free access for public. URL: <http://www.pbd-online.sk/en> (дата обращения: 05.02.2019)
23. UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods (Великобритания). URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid> (дата обращения: 05.02.2019)
24. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015> (дата обращения: 05.02.2019)
25. Achinewhu S.C., Hart A.D. Effect of processing and storage on the ascorbic acid (vitamin C) content of some pineapple varieties grown in the Rivers State of Nigeria // *Plant Foods Hum. Nutr.* 1994. Vol. 46. P. 335–337.
26. Difonzo G., Vollmer K., Caponio F., Pasqualone A., Carle R., Steingass C.B. Characterisation and classification of pineapple (Ananascomosus [L.] Merr.) juice from pulp and peel // *Food Control*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.015>.
27. El-Shazly A.S., Ahmed M., AL-Harbi M., Alkafafy M., El-Sawy H., Amer S. Physiological and molecular study on the anti-obesity effects of pineapple (Ananascomosus) juice in male Wistar rat // *Food Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 27. P. 1429–1438. doi: [10.1007/s10068-018-0378-1](https://doi.org/10.1007/s10068-018-0378-1)
28. 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.
29. Holland B., Unwin L.D., Buss D.H. Fruit and Nuts. Suppl. to McCance and Widdowson's the Composition of Foods. 5th ed. Cambridge: Royal Soc. Chemistry, 1992.
30. Pineapple Juice: Phenolic Composition and Enzymatic Browning Inhibition. Doctor of Philosophy thesis of Ling Wen. Oregon State University, USA, June 18, 2001.
31. Wen L., Wrolstad R.E. Phenolic composition of authentic pineapple juice // *J. Food Sci.* 2002. Vol. 67, N 1. P. 155–163.
32. Mullen W., Marks S.C., Crozier A. Evaluation of phenolic compounds in commercial fruit juices and fruit drinks // *J. Agric. Food Chem.* 2007. Vol. 55, N 8. P. 3148–3157.
33. Ryan L., Prescott S. Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an in vitro digestion // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2010. Vol. 45. P. 1191–1197. doi: [10.1111/j.1365-2621.2010.02254.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02254.x)
34. Fernandez de Simon B., Perez-Illzarbe J., Hernández T., Gomez-Cordoves C., Estrella I. Importance of phenolic compounds for the characterization of fruit juices // *J. Agric. Food Chem.* 1992. Vol. 40, N 9. P. 1531–1535.
35. Yapo E.S., Kouakou H.T., Kouakou L.K., Kouadio J.Y., Kouame P., Merillon J.-M. Phenolic profiles of pineapple fruits (Ananascomosus L. Merrill). Influence of the origin of suckers // *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 2011. Vol. 5, N 6. P. 1372–1378.
36. Larrauri J.A., Ruperez P., Saura-Calixto F. Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols // *J. Agric. Food Chem.* 1997. Vol. 45, N 10. P. 4028–4031.

37. Momtazi-Borojeni A.A., Sadeghi-Aliabadi H., Rabbani M., Ghanadi A., Abdollahi E. Cognitive enhancing of pineapple extract and juice in scopolamine-induced amnesia in mice // *Res. Pharm. Sci.* 2017. Vol. 12, N 3. P. 257–264. doi: 10.4103/1735-5362.207198
38. Hossain M.A., Rahman S.M. Total phenolics, flavonoids and anti-oxidant activity of tropical fruit pineapple // *Int. Food Res. J.* 2011. Vol. 44, P. 672–676.
39. Mohamed G.A., Ibrahim S.R.M., Elkhayat E.S., Salah El Dine R. Natural anti-obesity agents // *Bull. Fac. Pharm. Cairo Univ.* 2014. Vol. 52, N 2. P. 269–284.
40. Altinbas A., Ekiz F., Başar O., Kilincalp S., Yilmaz B., Aktas B. et al. Drinking pineapple juice for undigested food in stomach // *Turk. J. Gastroenterol.* 2014. Vol. 25. P. 220–221. doi: 10.5152/tjg.2014.4012
41. Rowan A.D. Handbook of Proteolytic Enzymes. 3rd ed. / eds N.D. Rawlings, G.S. Salvesen. Oxford: Academic Press, 2013.
42. Rowan A.D., Buttle D.J. Pineapple cysteine endopeptidases // *Methods Enzymol.* 1994. Vol. 244. P. 555–568.
43. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881).
44. Методические рекомендации Роспотребнадзора МР 2.3.1.2432-08 от 18.12.2008 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».
45. Методические рекомендации Роспотребнадзора МР 2.3.1.1915-04 от 02.07.2004 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ».

References

1. Fruit Juice Focus, November/December 2017. URL: www.fruit-juicefocus.com
2. Fruit Juice Focus, September/October 2018. URL: www.fruitjuice-focus.com
3. 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)
4. 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)
5. 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)
6. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Cherry juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (4): 78–86. (in Russian)
7. 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. (in Russian)
8. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Grape juice nutritional profile. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 95–105. (in Russian)
9. Code of practice for evaluation of fruit and vegetables juices. AIJN. Translated into Russian by RSPS. Moscow: Planeta, 2019. (in Russian)
10. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchoff E. Food composition and nutrition tables, based on the 7th ed. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008: 1197 p.
11. Table Ciqual, Composition Nutritionnelles des aliments de ANSES (France). URL: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm> (date of access February 5, 2019)
12. The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket (Sweden). URL: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen> (date of access February 5, 2019)
13. Bedca; Base de Datos Española de Composición de Alimentos (Spain). URL: <http://www.sennutricion.org/es/2013/05/15/base-de-datos-espaola-de-composicion-de-alimentos-bedca> (date of access February 5, 2019)
14. Estonian food composition database, online version. URL: http://tka.nutridata.ee/index.action?request_locale=ru (date of access February 5, 2019)
15. Norwegian Food Composition table, 2012. URL: <http://www.matvaretabellen.no/> (date of access February 5, 2019)
16. Fodevaredata, DTU Fodevareinstituttet (Denmark). URL: <http://www.food.dtu.dk/Fejl/Fejl.aspx?aspxerrorpath=/> (date of access February 5, 2019)
17. Tabela da Composição dos Alimentos (TCA) (Portugal). URL: <http://nutrimento.pt/noticias/nova-tabela-de-composicao-de-alimentos-ja-disponivel/> (date of access February 5, 2019)
18. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (date of access February 5, 2019)
19. Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Tables of the chemical composition and caloric content of Russian food: Handbook. Moscow: DeLi Print, 2007. (in Russian)
20. Fineli Finnish Food Composition Database. URL: <https://fineli.fi/fineli.fi/index> (date of access February 5, 2019)
21. German Nutrient Database: BLS online portal. URL: <https://www.vitaminedb.com/lebensmittel/> (date of access August 20, 2018)
22. Slovak online food composition database with free access for public. URL: <http://www.pbd-online.sk/en> (date of access February 5, 2019)
23. UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods (Great Britain). URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid> (date of access February 5, 2019)
24. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015> (date of access February 5, 2019)
25. Achinewhu S.C., Hart A.D. Effect of processing and storage on the ascorbic acid (vitamin C) content of some pineapple varieties grown in the Rivers State of Nigeria. *Plant Foods Hum Nutr.* 1994; 46: 335–7.
26. Difonzo G., Vollmer K., Caponio F., Pasqualone A., Carle R., Steingass C.B. Characterisation and classification of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) juice from pulp and peel. *Food Control.* 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.015>
27. El-Shazly A.S., Ahmed M., AL-Harbi M., Alkafafy M., El-Sawy H., Amer S. Physiological and molecular study on the anti-obesity effects of pineapple (*Ananas comosus*) juice in male Wistar rat. *Food Sci Biotechnol.* 2018; 27: 1429–38. doi: 10.1007/s10068-018-0378-1
28. 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.
29. Holland B., Unwin L.D., Buss D.H. Fruit and nuts. Suppl. to McCance and Widdowson's the Composition of Foods. 5th ed. Cambridge: Royal Soc. Chemistry, 1992.
30. Pineapple juice: phenolic composition and enzymatic browning inhibition. Doctor of Philosophy thesis of Ling Wen. Oregon State University, USA, June 18, 2001.
31. Wen L., Wrolstad R.E. Phenolic composition of authentic pineapple juice. *J Food Sci.* 2002; 67 (1): 155–63.
32. Mullen W., Marks S.C., Crozier A. Evaluation of phenolic compounds in commercial fruit juices and fruit drinks. *J Agric Food Chem.* 2007; 55 (8): 3148–57.
33. Ryan L., Prescott S. Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an in vitro digestion. *Int J Food Sci Technol.* 2010; 45: 1191–7. doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02254.x
34. Fernandez de Simon B., Perez-Illarbe J., Hernandez T., Gomez-Cordoves C., Estrella I. Importance of phenolic compounds for the

- characterization of fruit juices. *J Agric Food Chem.* 1992; 40 (9): 1531–5.
35. Yapo E.S., Kouakou H.T., Kouakou L.K., Kouadio J.Y., Kouame P., Merillon J.-M. Phenolic profiles of pineapple fruits (*Ananascomosus* L. Merrill). Influence of the origin of suckers. *Aust J Basic Appl Sci.* 2011; 5 (6): 1372–8.
 36. Larrauri J.A., Ruperez P., Saura-Calixto F. Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols. *J Agric Food Chem.* 1997; 45 (10): 4028–31.
 37. Momtazi-Borojeni A.A., Sadeghi-Aliabadi H., Rabbani M., Ghanadi A., Abdollahi E. Cognitive enhancing of pineapple extract and juice in scopolamine-induced amnesia in mice. *Res Pharm Sci.* 2017; 12 (3): 257–64. doi: 10.4103/1735-5362.207198
 38. Hossain M.A., Rahman S.M. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineappleю. *Int Food Res J.* 2011; 44: 672–6.
 39. Mohamed G.A., Ibrahim S.R.M., Elkhayat E.S., Salah El Dine R. Natural anti-obesity agents. *Bull Fac Pharm Cairo Univ.* 2014; 52 (2): 269–84.
 40. Altinbas A., Ekiz F., Başar O., Kilincalp S., Yilmaz B., Aktas B., et al. Drinking pineapple juice for undigested food in stomach. *Turk J Gastroenterol.* 2014; 25: 220–1. doi: 10.5152/tjg.2014.4012
 41. Rowan A.D. *Handbook of proteolytic enzymes.* 3rd ed. Edited by N.D. Rawlings, G.S. Salvesen. Oxford: Academic Press, 2013.
 42. Rowan A.D., Buttle D.J. Pineapple cysteine endopeptidases. *Methods Enzymol.* 1994; 244: 555–68.
 43. 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)
 44. Methodical recommendations MR 2.3.1.2432-08 dated 18.12.2008 «Norms of physiological requirements in energy and nutrients for different groups of the population of the Russian Federation». (in Russian)
 45. Methodical recommendations MR 2.3.1.1915-04 dated 02.07.2004 «Recommended levels of consumption of food and biologically active substances». (in Russian)

Для корреспонденции

Фролова Нина Анатольевна – кандидат технических наук,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
Адрес: 675027, Россия, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе,
д. 21
Телефон: (4162) 23-46-51
E-mail: ninelfr@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0141-1998>

Фролова Н.А.¹, Резниченко И.Ю.²

Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ

Investigation of the chemical composition of fruit and berry raw materials of the Far Eastern Region as a perspective source of nutrients and bioactive compounds

Frolova N.A.¹, Reznichenko I.Yu.²

¹ ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Благовещенск, Россия

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Россия

¹ Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

² Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Дальневосточный регион богат плодово-ягодным сырьем с высоким содержанием биологически активных веществ.

Цель работы – исследование химического состава дикорастущего плодово-ягодного сырья Амурской области Дальневосточного региона.

Материалы и методы. Объектами исследований стали ягоды калины Саржента (*Viburnum sargentii* Koechne), лимонника китайского [*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill], винограда амурского (*Vitis amurensis* Rupr), собранные с 2011 по 2016 г. Содержание органических кислот и дубильных веществ определяли титрометрически, минеральных веществ – спектральным методом, аскорбиновой кислоты – визуальным титрованием, антоцианов – спектрофотометрически, полифенольных веществ и β-каротина – фотоэлектроколориметрически, витаминов В₁, В₂ – флуориметрически, витаминов В₆ и Е – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, гидроксикоричных кислот – методом прямой спектрофотометрии.

Результаты и обсуждение. Максимальное количество полифенольных веществ и витамина С обнаружено в ягодах *V. sargentii*, среднее значение которых составило 1,01±0,04% и 85,2±2,4 мг/100 г соответственно; высокое содержание калия обнаружено в ягодах *V. amurensis* (в среднем 188,5±2,2 мг/100 г) и *V. sargentii* (176,6±1,2 мг/100 г). Наиболее высокое содержание витаминов В₁, В₂, В₆ отмечено в ягодах *V. amurensis*, среднее содержание которых составило соответственно 0,071±0,002, 0,065±0,002 и 0,081±0,004 мг/100 г. В ягодах

Для цитирования: Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // *Вопр. питания.* 2019. Т. 88, № 2. С. 83–90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021.

Статья поступила в редакцию 23.06.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Frolova N.A., Reznichenko I.Yu. Investigation of the chemical composition of fruit and berry raw materials of the Far Eastern Region as a perspective source of nutrients and bioactive compounds. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (2): 83–90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021. (in Russian)

Received 23.06.2018. **Accepted** 13.03.2019.

V. sargentii выявлен более высокий уровень всех минеральных веществ: содержание кальция в 100 г ягод составило $41,4 \pm 0,8$ мг, магния – $17,3 \pm 0,4$ мг, фосфора – $227,7 \pm 4,6$ мг, марганца – $0,69 \pm 0,08$ мг, железа – $0,60 \pm 0,08$ мг, цинка – $0,90 \pm 0,08$ мг. При потреблении 100 г *V. sargentii* практически полностью удовлетворяется потребность взрослого человека в витамине С, в фосфоре, марганце – примерно на $\frac{1}{4}$, в калии, железе, цинке – на 4–8%. 100 г ягод *Sch. chinensis* содержат около 50% рекомендуемого суточного потребления витамина С, а 100 г ягод *V. amurensis* – около 10% витамина С и β-каротина, 7% – калия, около 4% – витаминов группы В. Исследуемые ягоды могут служить источником гидрокси-коричных кислот и пектинов.

Заключение. Проведенные исследования химического состава ягод *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* в период сбора 2011–2016 гг. свидетельствуют о широком спектре биологически активных веществ, и доля каждого из них варьирует.

Ключевые слова: ягоды калины Сарженга (*Viburnum sargentii* Koechne), лимонника китайского [*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill], винограда амурского (*Vitis amurensis* Rupr), химический состав, биологически активные вещества

The Far Eastern region is rich in fruit and berry raw materials with a high content of bioactive substances.

The aim of the work is to study the chemical composition of wild berries of the Amur region of the Far Eastern region.

Material and methods. The objects of the research were the berries of Sargent viburnum (*Viburnum sargentii* Koechne), Chinese Schisandra [*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill], and Amursky grapes (*Vitis amurensis* Rupr) harvested from 2011 to 2016. The content of organic acids and tannins was determined by titration, anthocyanins – spectrophotometrically, polyphenolic substances and β-carotene – photoelectrocolorimetrically, vitamins B₁, B₂ – fluorometrically, vitamins B₆ and E – by HPLC, hydroxycinnamic acids – by direct spectrophotometry.

Results and discussion. The maximum amount of polyphenolic substances and vitamin C was found in *V. sargentii* berries, the average value of which was $1.01 \pm 0.04\%$ and 85.2 ± 2.4 mg/100 g, respectively. A high content of potassium was found in *V. amurensis* (an average of 188.5 ± 2.2 mg/100 g) and *V. sargentii* (176.6 ± 1.2 mg/100 g). The highest content of vitamins B₁, B₂, B₆ was found in the berries of *V. amurensis*, the average content of which was, respectively, 0.071 ± 0.002 mg/100 g, 0.065 ± 0.002 mg/100 g and 0.081 ± 0.004 mg/100 g. It was also found that in *V. sargentii* berries the level of all minerals and trace elements was the highest: calcium content in 100 g of berries was 41.4 ± 0.8 mg, magnesium – 17.3 ± 0.4 mg, phosphorus – 227.7 ± 4.6 mg, manganese – 0.69 ± 0.08 mg, iron – 0.60 ± 0.08 mg, zinc – 0.90 ± 0.08 mg. When consumed 100 g of *V. sargentii* berries, practically fully satisfies the need of an adult in vitamin C, in phosphorus and manganese – by about a quarter; in potassium, iron, and zinc, by 4–8%. 100 g of *Sch. chinensis* contains about 50% of the recommended daily intake of vitamin C, and 100 g of *V. amurensis* – about 10% of vitamin C and β-carotene, 7% of potassium, about 4% of group B vitamins. The studied berries can serve as a source of hydroxycinnamic acids and pectins.

Conclusion. Studies of the chemical composition of the berries *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* harvested in 2011–2016 indicates a wide range of bioactive compounds, the proportion of each of which varies.

Keywords: Sargent viburnum berries (*Viburnum sargentii* Koechne), Chinese Schisandra [*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill], Amursky grape (*Vitis amurensis* Rupr), chemical composition, bioactive compounds

Дикорастущие плоды и ягоды, повсеместно произрастающие в Амурской области, в частности калины (*Viburnum sargentii*), лимонника китайского (*Schisandra chinensis*), винограда амурского (*Vitis amurensis*), характеризуются высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ), оказывающих определенное физиологическое действие на организм человека. Химический состав плодово-ягодного сырья варьирует в зависимости от природно-климатических условий и факторов произрастания, которые изменяются год от года и непостоянны.

Ягоды *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis* рассматриваются как перспективное сырье для использования в технологиях пищевых продуктов. Большинство функциональных пищевых продуктов связано с использованием функциональных ингредиентов, преимущественно полученных синтетическим путем [1]. Расширение ассортимента пищевых продуктов за счет использования в их составе дикорастущего сырья является перспективным направлением в области повышения их пищевой ценности. Данные по содержанию БАВ в доступном дикорастущем сырье

Амурской области позволят получить обоснование его применения в рецептурах пищевых продуктов функционального назначения.

Цель работы – исследование химического состава, в том числе БАВ ягод *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* с 2011 по 2016 г.

Материал и методы

Объектами исследований стали плоды ягод *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis*, собранные в 2011–2016 гг. Ягоды собирали в различных местах произрастания Амурской области: в Благовещенском, Белогорском, Свободненском и Бурейских районах. Исследования проводили в усредненной пробе (из 5 проб в 3-кратной повторности).

Исследовали органолептические показатели по совокупности показателей внешнего вида, цвета, вкуса и запаха ягод. Содержание органических кислот и дубильных веществ определяли титрометрически. При исследовании минерального состава ягод применяли спектральный метод, используя спектрометр СТЭ-1 («ЛОМО», Россия). Содержание аскорбиновой кислоты определяли визуальным методом, основанном на экстрагировании витамина С раствором метафосфорной кислоты с последующим титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия. Содержание белка определяли рефрактометрическим методом, основанным на способности повышать кислотность нейтрального водного раствора аминокислот в присутствии нейтрального формалина, в которых оба водорода аминогруппы замещаются метильной группой. Кислотность ягод определяли потенциометрически. Содержание сахара анализировали йодометрическим методом до полного окисления альдегидной группы сахаров в щелочной среде. Экстрактивность растительного сырья определяли по содержанию несгораемого остатка неорганических веществ, остающегося после сжигания ягод. Определение пектиновых веществ проводили при помощи кальций-пектатного метода. Содержание антоцианов анализировали по модифицированной спектрофотометрической методике Т.В. Купчака [2]. Содержание полифенольных веществ и β-каротина определяли фотоэлектроколориметрически [3, 4]. Определение витаминов

V_1 , V_2 проводили флуорометрическим методом ГОСТ 25999-83, витаминов B_6 и E – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ EN14663-2014 и ГОСТ EN 12822-2014. Гидроксикоричные кислоты определяли методом прямой спектрофотометрии [5, 6]. Содержание клетчатки определяли последовательной обработкой навески испытуемой пробы растворами кислоты и щелочи, озоления и количественном определении по ГОСТ 31675-2012. Статистическую обработку результатов проводили при помощи пакета прикладных программ Microsoft Excel, версия 7.0.

Результаты и обсуждение

Органолептический анализ ягод проводили ежегодно по показателям внешнего вида, цвета, вкуса и запаха. Характеристика органолептических свойств ягод *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* представлена в табл. 1.

Полученные данные (см. табл. 1) свидетельствуют о соответствии органолептических свойств собранных ягод требованиям ГОСТ 29187-91, предъявляемым к дикорастущим ягодам.

Содержание основных пищевых веществ, а также влажность, зольность и титруемая кислотность анализируемых ягод приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о более высоком содержании белка в ягодах *V. amurensis* по сравнению с другими ягодами. Максимальное значение отмечалось в 2013 г. Содержание белка в ягодах *V. amurensis* выше, чем в ягодах *V. sargentii*, в среднем на 40 и на 30% превышает содержание белка в ягодах *Sch. chinensis*. Максимальное содержание белка в ягодах *V. sargentii*, наименее богатых этим нутриентом, обнаружено в 2012 г. (на 16% выше среднего).

Наибольшее содержание влаги в ягодах *V. sargentii*, *Sch. chinensis* и *V. amurensis* отмечено в 2015 г. Это связано с выпадением месячной нормы осадков в период сбора ягод, и составило 82,40–89,20%.

Содержание кислот оказывает прямое влияние на вкус ягод. Максимальное значение титруемой кислотности обнаружено в *V. sargentii* и *Sch. chinensis* в 2011 г., что, вероятно, связано с особенностями природно-климатического фона региона.

Таблица 1. Характеристика органолептических свойств ягод

Ягоды	Внешний вид	Цвет	Вкус и запах
<i>V. sargentii</i>	Ягоды зрелые, чистые, без повреждений сельскохозяйственными вредителями, целые. Без дефектных ягод	Однородный, от светло-розового до темно-бордового, свойственный данному виду ягод в потребительской стадии зрелости	Кислый, приятный, свойственный данным плодам, без посторонних привкуса и запаха
<i>Sch. chinensis</i>	Ягоды зрелые, чистые, без повреждений сельскохозяйственными вредителями, целые. Дефектные ягоды отсутствуют	Однородный темно-бордовый, свойственный данному виду в потребительской стадии зрелости	Слегка кислый, насыщенный, приятный, свойственный данным ягодам, без посторонних привкуса и запаха
<i>V. amurensis</i>	Грозди целые, ягоды одного ампелографического сорта. Без дефектных и поврежденных	Однородный темно-фиолетовый, свойственный данному виду в потребительской стадии зрелости	Кислый, приятный, свойственный данным ягодам, без посторонних привкуса и запаха

Таблица 2. Содержание пищевых веществ в ягодах *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis*, собранных в 2011–2016 гг.

Год сбора	Белок, %	Зольность, %	Влажность, %	Титруемая кислотность (в пересчете на лимонную кислоту), %	Сумма пектиновых веществ, %	Сырая клетчатка, мг/100 г	Сахара, % (к сырой массе)
<i>V. sargentii</i>							
2011	0,42	1,42	86,4	4,20	0,32	0,94	24,4
2012	0,44	1,34	84,2	3,84	0,32	0,88	25,8
2013	0,36	1,60	83,6	4,10	0,30	0,90	26,0
2014	0,30	1,54	84,5	3,88	0,36	0,86	26,4
2015	0,38	1,96	89,2	3,70	0,30	0,82	22,6
2016	0,38	1,72	86,4	4,00	0,34	0,90	23,2
<i>M±m</i>	0,38±0,02	1,60±0,14	85,7±2,1	3,95±0,12	0,32±0,04	0,88±0,06	24,7±0,3
<i>Sch. chinensis</i>							
2011	0,68	1,52	77,8	3,24	0,28	0,84	32,4
2012	0,72	1,48	75,2	2,94	0,26	0,78	31,8
2013	0,74	1,56	74,6	3,05	0,24	0,80	28,4
2014	0,70	1,54	77,2	3,18	0,26	0,82	30,8
2015	0,70	1,67	82,4	2,80	0,24	0,77	28,0
2016	0,64	1,70	80,2	3,10	0,26	0,80	32,0
<i>M±m</i>	0,70±0,04	1,58±0,40	77,9±1,8	3,05±0,10	0,26±0,02	0,80±0,04	30,6±0,1
<i>V. amurensis</i>							
2011	0,94	1,42	76,4	2,82	0,20	0,58	26,4
2012	0,88	1,48	80,2	2,84	0,22	0,62	26,0
2013	1,00	1,52	78,6	2,96	0,26	0,60	25,4
2014	0,90	1,50	71,5	2,88	0,22	0,66	25,0
2015	0,92	1,62	84,2	2,80	0,20	0,54	26,0
2016	0,94	1,68	73,4	2,98	0,26	0,64	25,8
<i>M±m</i>	0,93±0,04	1,54±0,20	77,4±2,4	2,88±0,08	0,23±0,02	0,61±0,02	25,7±0,2

Таблица 3. Содержание биологически активных веществ в ягодах *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis*, собранных в 2011–2016 гг.

Год сбора	Дубильные вещества, %	Гидроксикоричные кислоты, %	Полифенольные вещества, %
<i>V. sargentii</i>			
2011	3,64	0,35	1,12
2012	3,48	0,34	0,98
2013	3,42	0,34	1,04
2014	3,54	0,30	1,00
2015	3,12	0,28	0,91
2016	3,60	0,31	1,00
<i>M±m</i>	3,46±0,16	0,32±0,02	1,01±0,04
<i>Sch. chinensis</i>			
2011	4,01	0,51	0,86
2012	3,88	0,50	0,84
2013	3,99	0,49	0,82
2014	3,90	0,49	0,85
2015	3,72	0,48	0,81
2016	3,80	0,50	0,83
<i>M±m</i>	3,88±0,12	0,49±0,02	0,84±0,02
<i>V. amurensis</i>			
2011	2,90	0,39	0,69
2012	2,74	0,32	0,71
2013	2,68	0,42	0,71
2014	2,70	0,33	0,75
2015	2,62	0,30	0,68
2016	2,80	0,31	0,70
<i>M±m</i>	2,74±0,12	0,35±0,02	0,71±0,04

Поскольку пектиновые вещества обладают энтеросорбирующими свойствами и способствуют связыванию эндо- и экзогенных токсинов, представляло интерес определение содержания пектиновых веществ в исследуемых ягодах в разный период сбора. Выявлено максимальное количество пектиновых веществ в ягодах *V. sargentii*, ягоды *Sch. chinensis* и *V. amurensis* по содержанию пектиновых веществ практически не различаются между собой. Максимальное содержание пектиновых веществ наблюдалось для ягод *V. sargentii* в 2014 г., для ягод *Sch. chinensis* и *V. amurensis* – в 2011 и 2016 гг. соответственно.

Среднее содержание клетчатки в ягодах *V. sargentii* было выше в 1,1 и 1,4 раза по сравнению с таковым в плодах соответственно *Sch. chinensis* и *V. sargentii*. Наибольшим количеством клетчатки характеризовались ягоды *V. sargentii*, собранные в 2011 г., наименьшее содержание клетчатки отмечено в 2015 г.

Содержание сахаров в исследуемых ягодах изменялось в анализируемый период, при этом наибольшее количество сахаров отмечено в ягодах *Sch. chinensis*, наименьшее – в ягодах *V. sargentii*. Максимальное содержание сахаров в *V. sargentii* определено в 2013 и 2014 гг., в ягодах *Sch. chinensis* – в 2011 и 2016 гг., в ягодах *V. amurensis* – в 2011 г.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено снижение таких показателей, как содержание сахара и клетчатки в ягодах *V. sargentii*, *Sch. chinensis*,

V. amurensis в 2015 г., что, очевидно, связано с выпавшей месячной нормой осадков в октябре этого года.

Результаты определения БАВ в свежих ягодах *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* в разные года сбора представлены в табл. 3.

Наибольшее содержание органических веществ ароматического ряда, содержащих гидроксильные радикалы фенольного характера (дубильных веществ), выявлено в ягодах *Sch. chinensis* в 2011 г., в то время как минимальное значение данного показателя наблюдалось в 2015 г. (на 7,8% ниже). Минимальное содержание дубильных веществ обнаружено в ягодах *V. amurensis* в 2015 г., при максимальном их обнаружении в 2011 г. Ягоды *V. sargentii* по содержанию дубильных веществ ненамного уступают ягодам *Sch. chinensis*. Максимальное содержание дубильных веществ в ягодах *V. sargentii* было обнаружено в 2011 г., минимальное – в 2015 г.

Наиболее богатыми гидроксикоричными кислотами, обладающими иммуностимулирующим действием, повышающим устойчивость организма к внешним отрицательным факторам, были ягоды *Sch. chinensis* [7, 8]. Наибольшее содержание в них гидроксикоричных кислот пришлось на 2011 г. В ягодах *V. amurensis* максимальное содержание гидроксикоричных кислот наблюдалось в 2013 г., а минимальное отмечалось в 2015 г., колебания значения данного показателя составили 1,4 раза. Ягоды *V. sargentii* практически не отличались от *V. amurensis* по содержанию гидроксикоричных кислот. Максимальное значение исследуемого показателя в плодах *V. amurensis* отмечалось в 2011 г., в то время как минимальное – в 2015 г., различия достигали 1,3 раза.

Ягоды *V. sargentii* содержат наибольшее количество полифенольных веществ [9]. Максимальное значение полифенольных веществ обнаружено в 2011 г., минимальное – в 2015 г. Ягоды *Sch. chinensis* по содержанию полифенольных веществ уступают ягодам *V. sargentii*, максимальное значение отмечалось также в 2011 г. Ягоды *V. amurensis* по содержанию полифенольных веществ уступают ягодам и *V. sargentii* в 1,4 раза, и *Sch. chinensis* в 1,2 раза. Максимальное содержание полифенольных веществ в ягодах *V. amurensis* отмечалось в 2014 г.

Антоцианы, относящиеся к группе гликозидов и по биологическим эффектам похожие на витамин Р, содержатся практически во всех органах растений [10, 11], однако в зависимости от многих факторов (освещенность, рН среды, условия произрастания и т.д.) их количество варьирует. Изменение содержания антоцианов в исследуемых ягодах приведено на рис. 1.

Максимальное количество антоцианов было обнаружено в ягодах *V. amurensis* в течение всего периода сбора. В ягодах *V. sargentii* отмечается минимальное содержание исследуемого показателя. За весь исследуемый период (2011–2016 гг.) содержание антоцианов в ягодах варьирует незначительно.

На следующем этапе работы было проведено исследование по содержанию витаминов в ягодах *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis*, собранных в 2011–2016 гг.

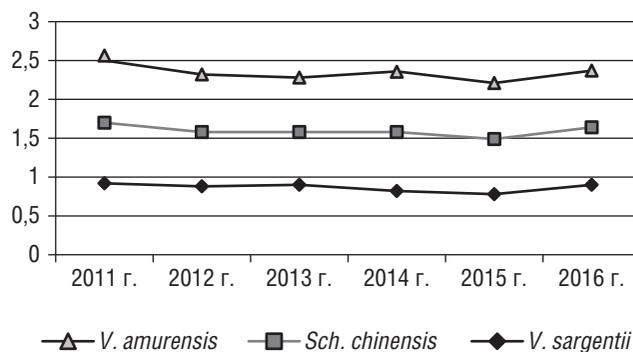


Рис. 1. Динамика содержания антоцианов в ягодах *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis* в 2011–2016 гг., %

Максимальное содержание витаминов В₁, В₂, В₆ отмечено в ягодах *V. amurensis*. Высокое содержание аскорбиновой кислоты отмечено в ягодах *V. sargentii*, причем максимальный показатель был отмечен в 2014 г. Содержание аскорбиновой кислоты в ягодах *Sch. chinensis* в 2 раза меньше, чем в ягодах *V. sargentii*. Минимальное содержание этого витамина-антиоксиданта установлено в ягодах *V. amurensis* в период сбора 2015 г. Среднее значение исследуемого показателя в 8 раз меньше, чем в плодах *V. sargentii*.

Таблица 4. Содержание витаминов в ягодах *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis*, собранных в 2011–2016 гг.

Год сбора	Витамин, мг/100 г				
	В ₁	В ₂	В ₆	С	Е
<i>V. sargentii</i>					
2011	0,028	0,030	0,025	86,2	1,82
2012	0,024	0,028	0,020	84,8	1,68
2013	0,035	0,022	0,032	85,4	1,77
2014	0,022	0,026	0,030	87,8	1,66
2015	0,020	0,020	0,024	83,2	1,77
2016	0,026	0,029	0,026	83,8	1,74
<i>M±m</i>	0,025± 0,002	0,024± 0,006	0,026± 0,002	85,2± 2,4	1,71± 0,40
<i>Sch. chinensis</i>					
2011	0,014	0,028	0,011	42,2	0,84
2012	0,012	0,029	0,010	46,2	0,92
2013	0,014	0,024	0,011	44,8	0,78
2014	0,016	0,025	0,011	45,4	0,80
2015	0,010	0,022	0,010	42,0	0,78
2016	0,014	0,028	0,010	42,8	0,86
<i>M±m</i>	0,013± 0,002	0,026± 0,002	0,011± 0,001	43,9± 0,8	0,83± 0,20
<i>V. amurensis</i>					
2011	0,074	0,070	0,084	10,8	0,62
2012	0,068	0,058	0,077	11,2	0,58
2013	0,070	0,062	0,080	12,2	0,52
2014	0,074	0,066	0,086	11,8	0,60
2015	0,066	0,062	0,074	10,6	0,54
2016	0,072	0,070	0,082	11,8	0,60
<i>M±m</i>	0,071± 0,002	0,065± 0,002	0,081± 0,004	11,4± 0,4	0,57± 0,02

Таблица 5. Минеральный состав ягод *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis*, собранных в 2011–2016 гг.

Год сбора	Макроэлементы, мг/100г				Микроэлементы, мг/кг					
	К	Са	Mg	P	Mn	Fe	Zn	Cr	Cb	Pb
<i>V. sargentii</i>										
2011	179,5	40,5	17,5	235,3	6,98	6,14	9,4	0,014	0,004	0,008
2012	177,8	42,2	17,0	222,6	7,02	5,82	9,0	0,008	0,005	0,010
2013	174,4	40,8	16,8	228,8	6,88	6,08	8,8	0,001	0,003	0,012
2014	176,8	42,0	17,1	234,8	6,87	5,96	9,2	0,008	0,004	0,009
2015	172,4	40,9	17,2	213,8	6,80	6,02	8,6	0,006	0,001	0,010
2016	178,6	41,8	17,8	230,8	7,00	5,96	9,2	0,008	0,004	0,014
<i>M±m</i>	176,6±1,2	41,4±0,8	17,3±0,4	227,7±4,6	6,93±0,8	5,99±0,8	9,03±0,8	0,0075±0,004	0,015±0,008	0,011±0,002
<i>Sch. chinensis</i>										
2011	19,4	0,80	1,92	8,24	1,90	0,18	0,14	0,020	0,011	0,012
2012	19,2	0,80	1,64	8,04	1,88	0,16	0,12	0,018	0,014	0,014
2013	19,6	0,77	1,83	8,12	1,76	0,26	0,08	0,016	0,008	0,010
2014	18,8	0,73	1,66	7,98	1,80	0,14	0,12	0,010	0,010	0,009
2015	18,2	0,74	1,28	8,00	1,92	0,14	0,08	0,008	0,011	0,010
2016	17,9	0,80	1,80	8,12	1,94	0,15	0,13	0,008	0,008	0,016
<i>M±m</i>	18,9±0,6	0,77±0,02	1,68±0,14	8,08±1,2	1,86±0,04	0,17±0,06	0,11±0,02	0,013±0,006	0,010±0,004	0,011±0,004
<i>V. amurensis</i>										
2011	191,2	10,6	7,42	20,6	0,07	0,38	0,07	0,004	0,008	0,016
2012	190,8	10,0	7,08	19,4	0,06	0,30	0,06	0,002	0,006	0,018
2013	191,0	8,99	7,64	20,4	0,06	0,32	0,04	0,003	0,004	0,012
2014	188,6	9,84	7,33	19,2	0,07	0,33	0,06	0,001	0,004	0,009
2015	182,4	8,96	6,99	18,3	0,05	0,28	0,04	0,001	0,002	0,014
2016	186,9	9,64	7,21	19,8	0,07	0,36	0,05	0,003	0,005	0,016
<i>M±m</i>	188,5±2,2	9,67±0,42	7,27±0,30	19,6±0,6	0,06±0,01	0,33±0,04	0,05±0,02	0,002±0,002	0,005±0,002	0,014±0,02

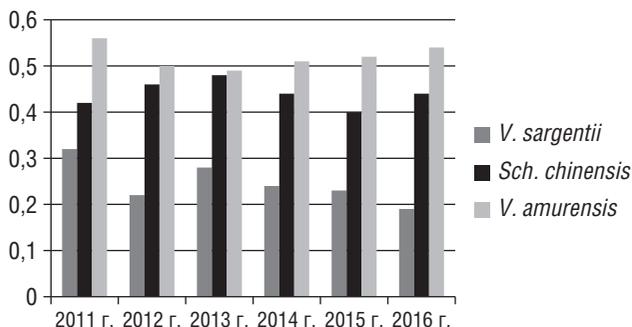


Рис. 2. Динамика содержания β-каротина в ягодах *Viburnum sargentii*, *Schisandra chinensis*, *Vitis amurensis* в 2011–2016 гг., мг/100 г

Максимальное содержание β-каротина было отмечено в ягодах *V. amurensis* в 2011 и 2016 гг. (рис. 2). Ягоды *Sch. chinensis* по содержанию β-каротина незначительно уступают ягодам *V. amurensis*. Минимальное значение наблюдается в *V. sargentii* в течение всего периода исследований.

С целью комплексного изучения исследуемых ягод Амурской области и возможности использования их в технологии пищевых продуктов нами было опре-

делено содержание в них микро- и макроэлементов (табл. 5).

Максимальное содержания калия обнаружено в 2011 г. в ягодах *V. amurensis*. Ягоды *V. sargentii* по содержанию калия незначительно уступают ягодам *V. amurensis*. Максимальное значение содержания калия для ягод *V. sargentii* отмечено также в 2011 г., что на 11,7 мг/100 г меньше, чем в ягодах *V. amurensis*. В ягодах *Sch. chinensis* присутствие калия минимально и почти в 10 раз меньше, чем в ягодах *V. amurensis*.

Максимальное содержание кальция отмечено в ягодах *V. sargentii* в период сбора 2012 г., в ягодах *V. amurensis* в 4 раза меньше содержание исследуемого макроэлемента, максимальное значение которого было отмечено в 2011 г. Ягоды *V. sargentii* также более богаты магнием, фосфором и марганцем. В ягодах *V. amurensis* содержание магния в 2,5 раза меньше, чем в ягодах *V. sargentii*, а фосфора – ниже более чем в 10 раз. В ягодах *Sch. chinensis* содержание этих макроэлементов незначительно.

В исследуемых ягодах также обнаружены такие элементы, как железо, цинк, хром и кобальт. Максимальное содержание железа отмечалось в ягодах *V. sargentii* в 2012 и 2016 гг. сбора соответственно. Содержание марганца в ягодах *V. amurensis* в 10 раз меньше чем в ягодах *V. sargentii*.

Заключение

Проведенные исследования химического состава ягод *V. sargentii*, *Sch. chinensis*, *V. amurensis* в период сбора 2011–2016 гг. свидетельствуют о широком спектре БАВ, доля каждого из которых варьирует. Установлено, что максимальное количество полифенольных веществ и витамина С обнаружено в ягодах *V. sargentii* (в среднем 1,01 и 85,2 мг/100 г соответственно); высокое содержание калия (около 180 мг в 100 г) обнаружено в ягодах *V. amurensis* и *V. sargentii*. Самое высокое содержание витаминов В₁, В₂, В₆ отмечено в ягодах *V. amurensis*. В ягодах *V. sargentii* выявлен более высокий уровень всех минеральных веществ.

Исходя из полученных результатов очевидно, что при потреблении 100 г *V. sargentii* практически полностью

удовлетворяется потребность (согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации») взрослого человека в витамине С, в фосфоре и марганце – примерно на четверть, в калии, железе, цинке – на 4–8%. 100 г ягод *Sch. chinensis* содержат около 50% рекомендуемого суточного потребления витамина С, а 100 г ягод *V. amurensis* – около 10% витамина С и β-каротина, 7% – калия, около 4% – витаминов группы В. Исследуемые ягоды могут служить источником гидроксикоричных кислот и пектинов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Сведения об авторах

Фролова Нина Анатольевна (Frolova Nina A.) – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет» (Благовещенск, Россия)

E-mail: ninelfr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0141-1998>

Резниченко Ирина Юрьевна (Reznichenko Irina Yu.) – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Управление качеством» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Кемерово, Россия)

E-mail: Irina.reznichenko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Литература

1. Мазо В.К., Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Зилова И.С. Обогащенные и функциональные пищевые продукты: сходство и различия // *Вопр. питания*. 2012. Т. 81, № 1. С. 63–68.
2. Купчак Т.В., Николаева Л.А., Шимолина Л.Л. Количественное определение антоцианов в надземной части гибридной формы *Zea Mays L.* // *Растительные ресурсы*. 1995. № 3. С. 105–111.
3. Первушкин С.В., Маркова И.И., Куркин В.А., Желонкин Н.Н. Разработка методик количественного определения содержания β-каротина и фикоцианина в биомассе спирулины пищевой // *Фундам. исслед.* 2013. № 8 (ч. 6). С. 1426–1429.
4. Veligodska A.K., Fedotov O.V. Screening of content and dynamic of accumulation of polyphenols in some basidiomycetes species // *Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького*. 2015. Т. 5, № 3 (16). С. 42–54.
5. Гончаров Н.Ф. Сравнительное изучение гидроксикоричных кислот и флавоноидных соединений плодов некоторых видов рода *Crataegus L.* // *Кубанский науч. мед. вестн.* 2008. № 5 (104). С. 49–52.
6. Хортецкая Т.В., Смойловская Г.П., Мазулин А.В., Мазулин Г.В. Определение содержания гидроксикоричных кислот в листьях подорожников большого и среднего // *Химия растительного сырья*. 2014. № 2. С. 177–180.
7. Guo S.S., Pang X., Wang Y., Geng Z.F., Cao J.Q., Liang J.Y. et al. Chemical constituents isolated from stems of *Schisandra chinensis* and their antifeedant activity against *Tribolium castaneum* // *Nat. Prod. Res.* 2019 Jan 9. P. 1–7. doi: 10.1080/14786419.2018.1547291
8. Szopa A., Ekiert R., Ekiert H. Current knowledge of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (Chinese magnolia vine) as a medicinal plant species: a review on the bioactive components, pharmacological properties, analytical and biotechnological studies // *Phytochem. Rev.* 2017. Vol. 16, N 2. P. 195–218. doi: 10.1007/s11101-016-9470-4
9. Xie Y., Wang J., Geng Y.M., Zhang Z., Qu Y.F., Wang G.S. Phenolic compounds from the fruits of *Viburnum sargentii* koehne // *Molecules*. 2015. Vol. 20, N 8. P. 14 377–14 385. doi: 10.3390/molecules200814377
10. Namiesnik J., Kupska M., Vearasilp K., Ham K.S., Kang S.G., Park Y.K. et al. Antioxidant activities and bioactive components in some berries // *Eur. Food Res. Technol.* 2013. Vol. 5. P. 819–829.
11. He Y., Wen L., Yu H., Cao Y., Nan H., Gou M. et al. Isolation and structural identification of the main anthocyanin monomer in *Vitis amurensis* Rupr // *Nat. Prod. Res.* 2018. Vol. 32, N 7. P. 867–870. doi: 10.1080/14786419.2017.1361956

References

1. Mazo V.K., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Zilova I.S. Enriched and functional foodstuffs: similarities and differences. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2012; 81 (1): 63–8. (in Russian)
2. Kupchak T.V., Nikolaeva L.A., Shimolina L.L. Quantitative determination of anthocyanins in the aerial part of the hybrid form of *Zea Mays L.* *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 1995; (3): 105–11. (in Russian)
3. Pervushkin S.V., Markova I.I., Kurkin V.A., Zhelonkin N.N. The development of the methodics of the quantitative determination of content of β-carotene and phycocyanin in the biomass of spirulina platensis. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Researches]. 2013; 8 (6): 1426–9. (in Russian)
4. Veligodska A.K., Fedotov O.V. Screening of content and dynamic of accumulation of polyphenols in some basidiomycetes

- tes species. *Vologodskiy vmsnik Mel'mopol's'kogo derhavnogo pedagogicheskogo universitetu imeni Bogdana Hmel'nits'kogo*. 2015; 5 (3, 16): 42–54. (in Russian)
5. Goncharov N.F. Comparative studying hydroxybenzoic acids and flavonoids connections of sort crataegus l. Some kinds fruits. *Kubanskiy nauchniy meditsinskiy vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin]*. 2008; 5 (104): 49–52. (in Russian)
 6. Khorotetskaya T.V., Smoylovskaya G.P., Mazulin A.V., Mazulin G.V. Determination of hydroxycinnamic acid content in the leaves of the large and medium plantains. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Material]*. 2014; (2): 177–80. (in Russian)
 7. Guo S.S., Pang X., Wang Y., Geng Z.F., Cao J.Q., Liang J.Y., et al. Chemical constituents isolated from stems of *Schisandra chinensis* and their antifeedant activity against *Tribolium castaneum*. *Nat Prod Res*. 2019; Jan 9: 1–7. doi: 10.1080/14786419.2018.1547291
 8. Szopa A., Ekiert R., Ekiert H. Current knowledge of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (Chinese magnolia vine) as a medicinal plant species: a review on the bioactive components, pharmacological properties, analytical and biotechnological studies. *Phytochem Rev*. 2017; 16 (2): 195–218. doi: 10.1007/s11101-016-9470-4
 9. Xie Y., Wang J., Geng Y.M., Zhang Z., Qu Y.F., Wang G.S. Phenolic compounds from the fruits of *viburnum sargentii* koehne. *Molecules*. 2015; 20 (8): 14 377–85. doi: 10.3390/molecules200814377
 10. Namiesnik J., Kupska M., Veerasilp K., Ham K.S., Kang S.G, Park Y.K., et al. Antioxidant activities and bioactive components in some berries. *Eur Food Res Technol*. 2013; 5: 819–29.
 11. He Y., Wen L., Yu H., Cao Y., Nan H., Gou M., et al. Isolation and structural identification of the main anthocyanin monomer in *Vitis amurensis* Rupr. *Nat Prod Res*. 2018; 32 (7): 867–70. doi: 10.1080/14786419.2017.1361956

Для корреспонденции

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)
 Адрес: 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2
 Телефон: (495) 609-19-91
 E-mail: chih@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6589-7654>

Ших Е.В., Махова А.А.

Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 в профилактике заболеваний у взрослых и детей: взгляд клинического фармаколога

Long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: a view of the clinical pharmacologist

Shikh E.V., Makhova A.A.

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

Адекватное и сбалансированное поступление длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот семейства ω -3 (ω -3 ДЦПНЖК) важно на протяжении всей жизни и напрямую влияет на состояние здоровья: от прекоцепции и беременности до профилактики различных заболеваний. Россия географически относится к регионам с низким уровнем потребления населением эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот. Помимо этого, гендерные особенности и генетические полиморфизмы лежат в основе вариабельности синтеза ω -3 ДЦПНЖК в организме человека из ω -линоленовой кислоты. ω -3 ДЦПНЖК играют одну из ключевых ролей в организме человека: регулируют липидный обмен, оказывают положительное влияние на когнитивные функции, обладают противовоспалительной активностью, способствуют пролонгации беременности. ω -3 ДЦПНЖК должны поступать в организм в достаточном количестве, обеспечивая высокую комплаентность, и быть сбалансированными по содержанию эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот.

Ключевые слова: эйкозапентаеновая кислота, докозагексаеновая кислота, полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3

Adequate and balanced intake of ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids (ω -3 LCPUFA) is important throughout life, and directly affects health status: from pre-conception and pregnancy to the prevention of various diseases. Russia geographically belongs to

Для цитирования: Ших Е.В., Махова А.А. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 в профилактике заболеваний у взрослых и детей: взгляд клинического фармаколога // *Вопр. питания.* 2019. Т. 88, № 2. С. 91–100. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10022.

Статья поступила в редакцию 01.02.2019. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Shikh E.V., Makhova A.A. Long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: a view of the clinical pharmacologist. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2019; 88 (2): 91–100. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10022. (in Russian)

Received 01.02.2019. **Accepted** 13.03.2019.

regions with a low level of consumption of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. In addition, gender characteristics and genetic polymorphisms underlie the variability of the synthesis of ω -3 LCPUFA in the human organism from alpha-linolenic acid. ω -3 LCPUFA play one of the key roles in the human organism: they regulate lipid metabolism, have a positive effect on cognitive functions, have anti-inflammatory activity, and contribute to the prolongation of pregnancy. ω -3 LCPUFA should be ingested in sufficient quantities, since they are essential nutrients, be in the form of release, provide high compliance for admission and be balanced in content of EPA and DHA.

Keywords: eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid, ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids

Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 (ω -3 ДЦПНЖК) содержат в химической структуре более одной двойной *цис*-связи. Человек способен синтезировать насыщенные жирные кислоты и некоторые мононенасыщенные жирные кислоты из углеводных и белковых углеродных групп, однако в связи с отсутствием ферментов, необходимых для вставки двойной *цис*-связи, ω -3 ДЦПНЖК практически не синтезируются организмом. Таким образом, они являются эссенциальными пищевыми веществами и должны поступать извне в адекватном количестве [1]. ω -3 ДЦПНЖК – α -линоленовая (АЛК), эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) кислоты играют одну из ключевых ролей в организме человека: регулируют липидный обмен, оказывают противовоспалительное и кардиопротекторное действие, способствуют пролонгации беременности и улучшают когнитивные способности человека [2, 3]. Основной функцией ДЦПНЖК является участие в формировании фосфолипидов клеточных мембран и синтез эйкозаноидов (биологически активных веществ – тканевых гормонов): простагландинов, простагландинов, лейкотриенов и тромбоксанов [4].

Активное изучение полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) началось в 1980-х гг., когда датские ученые выявили взаимосвязь между низким уровнем сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) у жителей Гренландии и высоким уровнем потребления морской рыбы, которая, как известно, содержит большое количество ω -3 ДЦПНЖК. У населения Гренландии в плазме крови, по сравнению с датчанами, определялась высокая концентрация ЭПК и ДГК при низком содержании линолевой и арахидоновой кислот. Аналогичные результаты были получены при эпидемиологических обследованиях населения прибрежных районов Японии, Нидерландов и ряда других стран [5].

Проведен системный анализ 298 исследований, в которых изучали содержание в крови ПНЖК – ЭПК и ДГК, с целью создания глобальной мировой карты обеспеченности населения различных стран ω -3 ДЦПНЖК. Регионы с высоким уровнем ЭПК + ДГК в крови (>8%) включали район Японского (Восточного) моря, Скандинавию и районы с коренным населением, не полностью адаптированным к западным привычкам питания. Очень низкие уровни в крови (\leq 4%) наблюдались в Северной, Центральной и Южной Америке, Европе, на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии и Африке [6].

Россия географически относится к регионам с низким уровнем потребления ДЦПНЖК, что согласуется с данными о дефиците потребления ω -3 ДЦПНЖК у большей части детского и взрослого населения России за счет пониженного потребления жирной морской рыбы [7].

Биологическая роль в организме человека

Структурная функция

ω -3 ДЦПНЖК являются важными структурными компонентами клеточных мембран. При включении в фосфолипиды они влияют на свойства клеточной мембраны, такие как текучесть, гибкость, проницаемость, а также на активность мембран-связанных ферментов [8]. В дополнение к эндогенному метаболизму потребление жирных кислот может модифицировать состав и молекулярную структуру клеточных мембран. Увеличение потребления ω -3 ДЦПНЖК приводит к повышению их содержания в эритроцитах, иммунных клетках и других типах клеток организма человека [2]. ДГК избирательно включается в мембраны сетчатки и мембраны постсинаптических нейронных клеток и играет важную роль в функциях зрения и работе нервной системы [9].

Зрение

В клеточных мембранах сетчатки основным структурным липидом мембран наружных сегментов фоторецепторов сетчатки является ДГК, которая важна для осуществления зрительных функций. Животные, выращенные на диете с дефицитом ω -3 ДЦПНЖК, имеют закономерное снижение уровня ДГК в сетчатке, что приводит к нарушению ее функций, по данным электроретинограммы [10]. Предполагают, что ω -3 ДЦПНЖК проявляют цитопротекторное и цитотерапевтическое действие, усиливая целый ряд антиангиогенных и нейропротекторных механизмов в сетчатке [11]. ω -3 ДЦПНЖК могут модулировать метаболические процессы и ослаблять эффекты воздействия окружающей среды, которые активируют такие биомолекулы, как эйкозаноиды, ангиогенные факторы, матричные металлопротеиназы, активные формы кислорода, циклические нуклеотиды, нейротрансмиттеры и нейромодуляторы, провоспалительные и иммунорегуляторные цитокины и фосфолипиды, вовлеченные в патогенез вазопроли-

феративных и нейродегенеративных заболеваний сетчатки. Эти процессы и воздействия включают ишемию, хроническое воздействие света, окислительный стресс, воспаление, клеточные сигнальные механизмы и старение ссылок.

Биофизические и биохимические свойства ДГК могут оказывать влияние на функцию мембраны фоторецептора, изменяя проницаемость, текучесть, толщину и свойства липидной фазы, что напрямую влияет на механизмы передачи сигналов клеток сетчатки, участвующие в фототрансдукции ссылок. ДГК может действовать в сигнальных каскадах для усиления активации мембран-связанных белков сетчатки, а также может участвовать в регенерации зрительного пигмента родопсина, играющего фундаментальную роль в системе визуальной трансдукции [8, 11].

Нервная система

Начиная с 1970 г. многие исследования показали [8], что дефицит в рационе ω -3 ДЦПНЖК приводит к истощению ДГК в нервной системе и уменьшению содержания ДГК в головном мозге, приводит к визуальным и когнитивным дефектам, что наблюдалось в исследованиях на животных и наблюдениях у людей, поскольку фосфолипиды серого вещества головного мозга содержат высокие концентрации ДГК, что указывает на их важность для функционирования центральной нервной системы. Механизм действия связан с изменением структуры мембран, что напрямую влияет на функционирование ионных каналов, мембран-связанных рецепторов и биодоступность нейротрансмиттеров [12].

J. Zemdegs и соавт. исследовали влияние дополнительного приема ДГК у ω -3-дефицитных животных на улучшение функции мозга, связанной с обучением, и обнаружили, что добавление ДГК в дефицитную по ω -3 ДЦПНЖК диету улучшало способность к пространственному обучению у крыс [13]. Таким образом, практическая значимость этих результатов заключается в том, что некоторые побочные эффекты дефицита ДГК во время развития нервной системы могут быть обратимы при использовании диеты с добавлением ω -3 ДЦПНЖК [13].

Экспериментальные доклинические исследования показали, что истощение ДГК в головном мозге может привести к изменению когнитивных функций, что послужило предпосылкой к проведению исследований [14] по оценке влияния приема ω -3 ДЦПНЖК на когнитивные функции человека.

Синтез эйкозаноидов

Эйкозаноиды являются мощными химическими мессенджерами, которые играют важную роль в иммунных и воспалительных реакциях. После стимуляции гормонами, цитокинами и другими биологическими регуляторами дигомо- γ -линоленовая кислота, арахидоновая кислота и ЭПК высвобождаются из клеточных мембран и становятся субстратами для синтеза эйкозаноидов. Синтез эйкозаноидов опирается главным образом на 3 семейства ферментов: циклооксигеназы (COX), ли-

поксигеназы (LOX) и монооксигеназы цитохрома P450 (P450s) [15]. ω -3 ДЦПНЖК подавляют выработку провоспалительных цитокинов, что уменьшает интенсивность воспалительного процесса путем снижения продукции простагландинов, тромбоксанов и лейкотриенов [16].

ЭПК и ДГК способны частично ингибировать патофизиологические механизмы воспаления, включая хемотаксис лейкоцитов, экспрессию молекул адгезии и лейкоцит-эндотелиальные адгезивные взаимодействия, выработку эйкозаноидов, таких как простагландины и лейкотриены, из арахидоновой кислоты (ω -6 ненасыщенная жирная кислота), выработку провоспалительных цитокинов и реактивность Т-хелперов 1-го типа. Кроме того, ЭПК дает начало эйкозаноидам, которые часто имеют более низкую биологическую активность, чем те, которые вырабатываются из арахидоновой кислоты, а ЭПК и ДГК дают начало медиаторам противовоспалительного действия и воспаления, которые называются резолвины, протектины и марезины: именно эти медиаторы препятствуют переходу острого воспаления в хроническое, что является одним из основных эффектов ω -3 ПНЖК [3]. Механизмы, лежащие в основе противовоспалительного действия ω -3 ДЦПНЖК, включают, во-первых, влияние на клеточные мембраны с изменением состава и свойств фосфолипидов, разрушение липидных рафтов. Во-вторых, ингибирование активации провоспалительного транскрипционного фактора NF- κ B (ядерного фактора каппа В), что приводит к снижению экспрессии генов провоспалительных цитокинов [16, 17]. Эксперименты на животных демонстрируют пользу от использования ω -3 ДЦПНЖК на моделях ревматоидного артрита, воспалительных заболеваний кишечника и бронхиальной астмы [8].

Регулирование экспрессии генов

Результаты экспериментальных исследований на клеточных линиях животных показывают, что ω -3 ДЦПНЖК могут модулировать экспрессию целого ряда генов, в том числе связанных с метаболизмом жирных кислот и воспалением. ω -3 ПНЖК регулируют экспрессию гена либо путем непосредственного взаимодействия со специфическими факторами транскрипции, такими как рецепторы, активируемые пролифераторами пероксисом (PPARs), либо ДЦПНЖК регулируют целый ряд транскрипционных факторов внутри ядра клетки. NF κ B является транскрипционным фактором, участвующим в регуляции экспрессии целого ряда генов, участвующих в воспалении. ω -3 ДЦПНЖК снижают содержание NF κ B в ядре, что препятствует выработке провоспалительных эйкозаноидов и цитокинов. SREBP-1 является основным фактором транскрипции, контролирующим синтез жирных кислот: как липогенез *de novo*, так и синтез ДЦПНЖК. Экзогенные ДЦПНЖК пищи могут ингибировать SREBP-1, что уменьшает экспрессию ферментов, участвующих в синтезе жирных кислот и синтезе ДЦПНЖК. Таким образом, ДЦПНЖК пищи функционируют как ингибиторы по механизму обратной связи для синтеза всех жирных кислот [17].

Метаболизм и биодоступность

Абсорбции жирных кислот в тонком кишечнике предшествует процесс их высвобождения из жиров рациона путем гидролиза (триглицеридов и фосфолипидов) с участием ферментов поджелудочной железы. Соли желчных кислот обеспечивают включение жирных кислот и других продуктов переваривания жира в смешанные, устойчивые к водной среде мицеллы с гидрофобным ядром. Мицеллы переносятся от места гидролиза жиров к всасывающей поверхности кишечного эпителия. Всасывание смешанных мицелл происходит на протяжении всей тонкой кишки. Биодоступность в физиологических условиях составляет 85–95%. Концентрация жирных кислот в крови является совокупным результатом как потребления с пищей, так и ряда метаболических процессов [16]. В организме человека существуют пути метаболизма для образования ДГК и ЭПК из предшественника – незаменимой жирной АЛК – посредством серии реакций десатурации (добавление двойной связи) и удлинения (добавления двух атомов углерода). Эти реакции происходят при участии ферментов дельта-6-десатуразы (FADS2) и дельта-5-десатуразы (FADS1), однако эффективность такого синтеза невысока и обладает большой межиндивидуальной вариабельностью по нескольким причинам. Установлено наличие генетических полиморфизмов в генах *FADS*, которые влияют на активность синтеза ДЦПНЖК, в частности гаплотип D повышает активность FADS1 и FADS2, что приводит к более эффективной конверсии АЛК пищи в ДГК и ЭПК [18]. Распространение в популяции полиморфизмов *FADS* объясняет то, что вариабельность уровней ω -3 жирных кислот в крови среди людей, проживающих в одной географической зоне, составляет до 30% [19]. За счет эстрогенного фона у женщин эволюционно сформировалась более высокая способность превращения АЛК в ω -3 ДЦПНЖК. Исследования метаболизма АЛК у здоровых молодых мужчин показывают, что приблизительно 8% АЛК из рациона превращается в ЭПК, а 0–4% превращается в ДГК [19]. У здоровых молодых женщин примерно 21% АЛК диеты превращается в ЭПК, а 9% – в ДГК [20].

Кроме того, была изучена ретроконверсия ДГК в ЭПК, которая протекает с низкой базальной скоростью [21]. Группа практически здоровых лиц, находящихся на обычном рационе ($n=8$), и вегетарианцев ($n=12$) в течение 6 нед получала ДГК без ЭПК (1,62 г/сут), при этом уровни ЭПК и ДГК повысились в фосфолипидах сыворотки на 7,4–11,4 и тромбоцитах – на 12,3–13,8%, без существенных различий между показателями обеих групп [21].

Таким образом, способность синтеза как ДГК, так и ЭПК из АЛК в организме человека значимо вариабельна среди индивидуумов, и ее нельзя рассматривать как эффективную, поэтому данные нутриенты должны поступать извне в сбалансированном и адекватном количестве. Для дополнительного поступления данных пищевых веществ в организм человека существуют 2 варианта: пищевые продукты и биологически активные

добавки к пище (БАДы). Согласно Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) Таможенного союза ЕврАзЭС, адекватный уровень потребления ω -3 ПНЖК (АЛК, ЭПК, ДГК) составляет 2 г/сут, а верхний допустимый уровень в составе специализированных пищевых продуктов и БАД – 5 г/сут [22]. В рационе жителей России в последнее время, по данным Российского рыбного союза, сократилось потребление жирной морской рыбы, основного пищевого источника эссенциальных жирных кислот, в связи с экономическими возможностями населения, пищевыми привычками, доступностью морской рыбы, а также наличием продукции в магазинах низкого качества. Все эти факторы способствуют формированию дефицита потребления ω -3 ДЦПНЖК населением России. Одним из решений такой проблемы является дотация ω -3 ДЦПНЖК при помощи БАД.

Международное общество по изучению жирных кислот и липидов (ISSFAL) рекомендует взрослым людям потреблять по крайней мере 500 мг/сут ЭПК + ДГК для здоровья сердечно-сосудистой системы, а беременным и кормящим женщинам – дополнительно (сверх общих доз для взрослого населения) 200 мг/сут ДГК. Такую же дозировку для кормящих и беременных рекомендует и Всемирная ассоциация перинатальной медицины. В соответствии с Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) Таможенного союза ЕврАзЭС, адекватное потребление для взрослого населения составляет 600 мг/сут ЭПК и 700 мг/сут ДГК, т.е. 1300 мг/сут ЭПК + ДГК. По рекомендации FDA (США) взрослые могут безопасно потреблять в общей сложности до 3000 мг/сут ЭПК + ДГК, но не более чем 2000 мг/сут из диетических добавок [3].

Пищевые источники

Поскольку ω -3 ДЦПНЖК в большом количестве синтезируются фитопланктоном, который служит традиционным источником питания для холодноводных морских рыб и других морских животных, рыба и некоторые морепродукты являются продуктами первой линии для обеспечения организма человека этими незаменимыми жирными кислотами [23, 24]. Однако многие виды рыбы могут быть потенциально загрязнены метилртутью или полихлорированными бифенилами, которые опасны для здоровья человека [23]. ω -3 ПНЖК (АЛК) содержатся в ряде растительных масел: льняном, соевом, масле из семян крестоцветных, однако ω -3 ДЦПНЖК в них практически отсутствуют. Масло криля также содержит как ЭПК, так и ДГК и считается сопоставимым с рыбьим жиром источником ω -3 ДЦПНЖК [25]. Масло печени трески является богатым источником не только ЭПК и ДГК, но и витамина А [26].

В 1980-е гг. были разработаны технологии получения рыбного жира из жировой ткани рыбной туши.

Совершенствование методов переработки позволило полностью избавиться от токсинов, содержащихся в рыбе [27]. Следует различать такие термины, как рыбий жир и рыбный жир. Рыбий жир – это вытяжка из печени рыб, в связи с этим он может содержать целый ряд токсинов. За счет того, что большая часть жирных кислот содержится в триглицеридной форме, данный продукт обладает низкой биодоступностью по ω -3 ДЦПНЖК [28]. Рыбный жир добывается из тушки рыб, печень в производстве не используется, что избавляет его от недостатков рыбьего жира. ω -3 ДЦПНЖК, выпускаемые в настоящее время, производят в основном из жиров рыб или морских млекопитающих. В большинстве случаев сырьем для выделения ω -3 ДЦПНЖК является фермерский лосось. В некоторых продуктах в качестве сырья используются дикие анчоусы, в которых содержание ω -3 ДЦПНЖК выше, чем в лососевом сырье [29]. Активным веществом является сам рыбный жир с повышенной концентрацией ЭПК и ДГК, в ряде случаев в качестве основного активного компонента могут содержаться эфиры жирных кислот [30].

Широкий спектр клинико-фармакологических эффектов и высокая безопасность современных сбалансированных диетических добавок ω -3 ДЦПНЖК (ЭПК и ДГК) позволяет эффективно применять их у здоровых лиц, в том числе и у детей. Поскольку рыба как высокоаллергенный продукт часто исключается из рациона питания детей-аллергиков, для коррекции состава рациона у детей с пищевой аллергией целесообразно использовать препараты ω -3 ДЦПНЖК [23]. Еще одна проблема детского возраста, по данным С.Г. Макаровой, – «пищевые предпочтения» или «избирательный аппетит», поэтому актуально создание нутрицевтиков, обладающих хорошими органолептическими свойствами и удобных в применении [31].

На рынке также представлены ДЦПНЖК, полученные из водорослей. Однако доказательная база по эффективности применения ω -3 из водорослей на сегодняшний день недостаточна. При применении в качестве источника ДЦПНЖК льняного масла необходимо помнить, что конверсия АЛК в ДЛК, ЭПК в этом случае ниже, чем при приеме рыбного жира [32].

В ряде БАДов, например в Мульти-табс Омега 3, используется синергизм сочетания ω -3 ДЦПНЖК с витаминами Е и D. С одной стороны, витамин Е добавляют в витаминно-минеральные комплексы с технологической целью для предохранения ω -3 ДЦПНЖК от окисления. С другой стороны, α -токоферол в организме человека также функционирует в качестве антиоксиданта. Жиры, которые являются неотъемлемой частью всех клеточных мембран, чувствительны к разрушительному действию свободных радикалов. Жирорастворимый витамин, α -токоферол, способен перехватывать свободные радикалы, предотвращая цепную реакцию разрушения липидов [22].

Основная биологическая роль витамина D в организме человека заключается в поддержании физиологических уровней кальция и фосфатов в крови, что влияет на

такие важные процессы, как минерализация кости, сокращение мышц, деятельность нервной системы и функционирование иммунных клеток [33]. В России дефицит витамина D распространен в силу пониженной инсоляции большей части дней календарного года [3]. Наличие в комплексе, помимо ω -3 ДЦПНЖК, витамина D наделяет такие БАД четкой профилактической направленностью, в том числе и на опорно-двигательную систему, начиная с детского возраста. Результаты большинства клинических испытаний свидетельствуют о том, что добавки витамина D могут замедлить потери костной плотности или уменьшить риск остеопоротических переломов у мужчин и женщин, у которых есть вероятность недостаточного естественного поступления витамина D. Кроме того, согласно данным обсервационных исследований, адекватный уровень витамина D является профилактическим фактором развития таких заболеваний, как рассеянный склероз, ревматоидный артрит и сахарный диабет 1 типа [34].

Синергизм сочетания ω -3 ДЦПНЖК с витаминами Е и D, высокая степень очистки рыбного жира, отсутствие послевкусия рыбы, капсулы небольшого размера, удобные для проглатывания, делают новый комплекс Мульти-табс Омега 3 перспективным продуктом для использования, как у детей в возрасте старше 6 лет, так и у взрослых.

Адекватное потребление во время беременности и лактации для поддержания неврологического статуса новорожденных

Последний триместр беременности и первые 6 месяцев жизни являются критическими периодами для накопления ДГК в головном мозге и сетчатке новорожденного [35].

Поскольку поступление с рационом матери определяет статус новорожденного по ДКГ, несколько экспертных групп в США рекомендуют, чтобы беременные и кормящие женщины потребляли не менее 200 мг ДКГ в день. Эпидемиологические исследования показали, что более высокие поступления ω -3 ДЦПНЖК из рыбы и морепродуктов во время беременности коррелирует с более высокими показателями развития у новорожденных [36]. Потенциальная выгода, связанная с получением ω -3 ДЦПНЖК при достаточном потреблении рыбы (например, 1–2 порции в неделю) во время беременности и лактации, перевешивают возможные риски воздействия загрязняющих веществ, таких как метилртуть, которые могут содержаться в морепродуктах [37, 38].

По данным S. Olsen и соавт., в рандомизированном мультицентровом исследовании прием 2,7 г ЭПК + ДГК с 20 нед беременности и 6,1 г ЭПК + ДГК с 33 нед способствовал значительному снижению риска преждевременных родов. Показано, что у беременных прием ПНЖК в дозе 2,7 г с 20-й недели беременности снижает риск преждевременных родов. Возможно, что ω -3 ДЦПНЖК посредством влияния на кальциевые каналы клетки могут влиять на сокращение и расслабление мышечной ткани, в том числе на миометрий [39].

Самый последний Кохрановский систематический обзор 2018 г. подтверждает положительное влияние назначения ЭПК и ДГК на пролонгацию беременности и снижение ранних преждевременных родов на 40–50%. Предполагают, что в основе механизма увеличения гестационного срока лежит изменение баланса простагландинов, в том числе снижение синтеза провоспалительных простагландинов E2 и F2 α [36].

В молоке женщины содержится смесь насыщенных (~46%) и мононенасыщенных жирных кислот (~41%), ω -6 ПНЖК (~12%) и ω -3 ДЦПНЖК (~1,3%) [3, 38]. Организм младенца сам не способен синтезировать достаточное количество ДГК. В связи с чем экзогенное дополнительное поступление в организм кормящей женщины ω -3 ДЦПНЖК необходимо, для того чтобы обеспечивать младенца этим микронутриентом в количестве, необходимом для выполнения всех физиологических функций развивающегося организма [40]. В связи с этим в смеси для искусственного вскармливания вводят жировой компонент, сбалансированный по содержанию ДЦПНЖК.

Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний

Предполагается, что увеличение потребления ω -3 ДЦПНЖК (ЭПК и ДГК) может привести к снижению риска ССЗ в результате следующих эффектов [41]: предотвращения аритмий, которые могут стать причиной внезапной сердечной смерти; снижения риска тромбоза, следствием которого может быть инфаркт миокарда или инсульт; снижения уровня триглицеридов в сыворотке крови; замедления роста атеросклеротической бляшки; улучшения эндотелиальной функции; умеренного гипотензивного действия.

В обзоре 79 рандомизированных исследований, в которых приняли участие 112 059 человек (мужчины и женщины из Северной Америки, Европы, Австралии и Азии), проанализированы эффекты дополнительного потребления ω -3 ДЦПНЖК при ССЗ. Сделан вывод о том, что дополнительный прием ЭПК и ДГК практически не влияет на общую смертность и смертность от сердечно-сосудистых событий. Однако результаты метаанализа продемонстрировали, что ЭПК и ДГК достоверно снижают уровень триглицеридов в сыворотке и повышают уровень липопротеинов высокой плотности, а также несколько снижают риск возникновения нарушений сердечного ритма [42, 43]. Необходимо отметить, что большая часть исследований, включенных в данный метаанализ, была проведена у пациентов с уже существующими ССЗ, что является серьезным фактором, ограничивающим экстраполяцию данных на профилактику ССЗ.

Рекомендации от American Heart Association для пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) остаются неизменными: адекватное потребление ω -3 ДЦПНЖК необходимо для данной категории пациентов. Для профилактики ССЗ рекомендуется потребление рыбы

(2 порции в неделю, из них одна должна быть маслянистой), что соответствует потреблению 0,2–0,4 г ω -3 ДЦПНЖК в день [44]. 2 порции жирной рыбы обеспечивают приблизительно 500 мг ЭПК + ДГК.

С целью объективизации мнения о пользе ω -3 ДЦПНЖК необходимо также отметить, что десятилетние исследования доказывают положительное клиническое значение адекватного обеспечения организма ω -3 ДЦПНЖК в профилактике и лечении ССЗ. Так, многоцентровое проспективное обсервационное когортное исследование (2692 взрослых американца старше 65 лет) обнаружило прочную взаимосвязь между содержанием ω -3 ДЦПНЖК в фосфолипидах и сердечно-сосудистой смертностью [45]. Более высокие уровни ω -3 ДЦПНЖК (ЭПК + ДГК) в фосфолипидах плазмы коррелировали с более низкой общей смертностью [ОР 0,73; 95% доверительный интервал (ДИ) 0,61–0,86]. Анализ смертности продемонстрировал, что наблюдаемое снижение риска при более высоком уровне циркулирующей ДГК объясняется в основном меньшим количеством сердечных смертей в результате аритмии (ОР 0,52; 95% ДИ 0,31–0,86).

Метаанализ (17 когортных исследований с участием 315 812 человек) [46] показал, что как низкое потребление (1 порция в неделю), так и умеренное потребление рыбы (2–4 порции в неделю) оказало значимое положительное влияние на предотвращение смертности от ИБС. В частности, по сравнению с самым низким потреблением рыбы (<1 порция/месяц) потребление 1 порции рыбы в неделю и 2–4 порций в неделю было связано с 16 (ОР 0,84; 95% ДИ 0,75–0,95) и 21% (ОР 0,79; 95% ДИ 0,67–0,92) снижением риска смерти от ИБС.

В целом результаты проспективных когортных и рандомизированных контролируемых исследований постоянно указывают на то, что потребление рыбы или рыбьего/рыбного жира значительно снижает смертность от ИБС, включая инфаркт миокарда с летальным исходом и внезапную сердечную смерть. Эти эффекты сопоставимы у лиц разного пола, возраста, не имеют расовой/этнической принадлежности [41].

Механизмы профилактического влияния ДЦПНЖК на развитие заболеваний сердечно-сосудистой системы заключаются в следующем. ω -3 ДЦПНЖК за счет встраивания в клеточную мембрану, меняют конфигурацию натриевых каналов. Трансмембранное действие ДЦПНЖК проявляется удлинением абсолютного рефрактерного периода и укорочением относительного рефрактерного периода миокарда, аналогичным при действии антиаритмиков III класса. ДЦПНЖК имеют выраженное влияние на функцию эндотелия: приводят к уменьшению его проницаемости; уменьшению сосудистых реакций на ангиотензин II, норадреналин; увеличению эндотелий-зависимой дилатации сосудов; повышению продукции оксида азота (NO). Включение ω -3 ДЦПНЖК (1 г/сут) в комплексную терапию пациентов с нестабильной стенокардией приводит к снижению желудочковой аритмической активности, а также вызывает повышение общего резерва нейрогуморальной регуляции [47].

ω -3 индекс – выраженное в процентах отношение суммарного содержания ЭПК и ДГК в мембранах эритроцитов к общему количеству жирных кислот мембран эритроцитов. Содержание ЭПК + ДГК в эритроцитах коррелирует с их содержанием в кардиомиоцитах. Обсервационные исследования показали, что более низкий ω -3 индекс связан с более высоким риском развития ИБС [48]. Ряд исследователей предлагают использовать ω -3 индекс в качестве биомаркера для дополнительного определения риска ССЗ. Предложены следующие показатели градации: высокий риск ССЗ – <4%; промежуточный риск ССЗ – 4–8%; низкий риск ССЗ – >8%.

В исследовании M.R. Flock и соавт. изучено влияние дополнительного приема ЭПК + ДГК (в капсулах рыбьего жира) в дозах 0, 300, 600, 900, 1800 мг в течение 5 мес на ω -3 индекс у 115 здоровых людей в возрасте от 20 до 45 лет. Показано статистически значимое увеличение ω -3 индекса, коррелировавшее с применяемой дозой. Однако перед введением ω -3 индекса в рутинную клиническую практику необходимо установить контрольные значения индекса в популяции [49].

Риск инсульта

Метаанализ, проведенный в 2012 г. на основе 16 проспективных исследований, с общим количеством участников 402 127 человек показал, что увеличение потребления рыбы связано со сниженным риском ишемического, но не геморрагического инсульта [50]. Согласно этому анализу, потребление рыбы даже 1 раз в неделю может значительно снизить риск ишемического инсульта. Метаанализ 8 проспективных исследований выявил нелинейную взаимосвязь потребления ω -3 ДЦПНЖК и риска инсульта: умеренный прием 200–400 мг/сут ω -3 ДЦПНЖК снижал риск развития инсульта [51].

Риск депрессии

Данные обсервационных исследований, проведенных в разных странах, свидетельствуют об обратной связи между потреблением морепродуктов и показателями частоты встречаемости глубокой депрессии и биполярного расстройства [52]. В нескольких небольших исследованиях было показано, что концентрации ω -3 ПНЖК в плазме и жировой ткани людей, страдающих депрессией, ниже, чем в контрольной группе. Высказано предположение о том, что ω -3 ПНЖК снижают частоту возникновения депрессии за счет модуляции нейрональных сигнальных путей и продукции эйкозаноидов [53].

Синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) – одна из актуальных медико-социальных про-

блем, истоки которой начинаются с раннего детского возраста. Симптомы данного заболевания включают не только гиперактивность, но и недостаток концентрации внимания и самоконтроля ребенка. Целый ряд фундаментальных и клинических исследований выявил корреляцию между дефицитом ω -3 ДЦПНЖК и риском развития СДВГ [23]. Препараты ω -3 ДЦПНЖК могут успешно применяться с целью профилактики когнитивных нарушений у детей с СДВГ. Так, в одном из плацебо-контролируемых исследований в группе детей в возрасте 6–8 лет (прием ДГК + ЭПК 345 + 69 мг/сут) показано статистически значимое улучшение зрительного восприятия и скорости зрительно-моторной координации в сложных сенсомоторных реакциях на световой стимул на 56,5% ($p=0,03$), в то время как в группе сравнения динамика данного показателя не выявлено [54].

На базе ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России выполнен ряд работ по изучению состояния когнитивных функций у детей с использованием современных инструментальных методов психофизиологического обследования. При исследовании влияния приема поливитаминных комплексов с ω -3 ДЦПНЖК (ДГК + ЭПК 345 + 69 мг/сут) на когнитивные функции в комплексном лечении детей с СДВГ и коморбидными состояниями были получены данные по улучшению перцептивных и координаторных навыков [55].

Заключение

Адекватное и сбалансированное поступление нутриентов, в том числе ω -3 ДЦПНЖК, важно на протяжении всей жизни и напрямую влияет на состояние здоровья: от прекоцепции и беременности до профилактики различных заболеваний. Россия географически относится к регионам с низким уровнем потребления ω -3 ДЦПНЖК. Помимо этого, гендерные особенности и генетические полиморфизмы лежат в основе вариативности синтеза ω -3 ДЦПНЖК в организме человека из их предшественника – АЛК. ω -3 ДЦПНЖК должны поступать в организм в достаточном количестве, поскольку являются эссенциальными нутриентами, имеют форму выпуска, обеспечивающую высокую комплаентность, и быть сбалансированным по содержанию ЭПК и ДГК.

Финансирование. Обзор литературы был написан при частичной поддержке компании «Пфайзер».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Ших Евгения Валерьевна (Shikh Evgeniya V.) – 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) (Москва, Россия)

E-mail: chih@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6589-7654>

Махова Анна Александровна (Makhova Anna A.) – доктор 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) (Москва, Россия)

E-mail: annabramova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9817-9886>

Литература

- Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary fats: total fat and fatty acids. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. Washington, DC: National Academies Press, 2002. P. 422–541.
- Тютюнник В.Л., Кан Н.Е., Ломова Н.А., Климанцев И.В. Вклад Омега-3 в микронутриентную поддержку в период беременности // РМЖ. Мать и дитя. 2017. № 15. С. 1087–1091.
- Ших Е.В., Махова А.А. Эндемичность территории по дефициту микронутриентов как критерий формирования состава базового витаминно-минерального комплекса для периконцепционного периода // Акуш. и гин. 2018. № 10. С. 25–32.
- Caron J.P., Gandy J.C., Brown J.L., Sordillo L.M. Omega-3 fatty acids and docosahexaenoic acid oxymetabolites modulate the inflammatory response of equine recombinant interleukin 1 β -stimulated equine synoviocytes // Prostaglandins Other Lipid Mediat. 2019. Vol. 142. P. 1–8. doi: 10.1016/j.prostaglandins.2019.02.007
- Гаврисюк В.К. Применение омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в медицине // Укр. пульмон. журн. 2001. № 3. С. 5–10.
- Stark K.D., Van Elsland M.E., Higgins M.R., Weatherford C.A., Salem N. Jr. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults // Progr. Lipid Res. 2016. Vol. 63. P. 132–152.
- Рацион питания населения. 2013: статистический сборник / Росстат. М.: Статистика России, 2016. 220 с.
- Calder P.C. Docosahexaenoic acid // Ann. Nutr. Metab. 2016. Vol. 69, suppl. 1. P. 7–21. Epub 2016 Nov 15.
- Carlson S.J., O'Loughlin A.A., Anez-Bustillos L. et al. A diet with docosahexaenoic and arachidonic acids as the sole source of polyunsaturated fatty acids is sufficient to support visual, cognitive, motor, and social development in mice // Front. Neurosci. 2019. Vol. 13. P. 72. doi: 10.3389/fnins.2019.00072
- Jeffrey B.G., Weisinger H.S., Neuringer M., Mitcheli D.C. The role of docosahexaenoic acid in retinal function // Lipids. 2001. Vol. 36, N 9. P. 859–871.
- SanGiovanni J.P., Chew E.Y. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina // Prog. Retin. Eye Res. 2005. Vol. 24, N 1. P. 87–138.
- Dyall S.C. Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA // Front. Aging Neurosci. 2015. Vol. 7. P. 52. doi: 10.3389/fnagi.2015.00052
- Zemdegs J., Rainer Q., Grossmann C.P. et al. Anxiolytic- and antidepressant-like effects of fish oil-enriched diet in brain-derived neurotrophic factor deficient mice // Front. Neurosci. 2018. Vol. 12. P. 974. doi: 10.3389/fnins.2018.00974
- Martins B.P., Bandarra N.M., Figueiredo-Braga M. The role of marine omega-3 in human neurodevelopment, including Autism Spectrum Disorders and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder – a review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2019 Mar 18. P. 1–16. doi: 10.1080/10408398.2019.1573800
- Ishihara T., Yoshida M., Arita M. Omega-3 fatty acid-derived mediators that control inflammation and tissue homeostasis // Int. Immunol. 2019. pii: dxz001. doi: 10.1093/intimm/dxz001
- Davidson M.H. Omega-3 fatty acids: new insights into the pharmacology and biology of docosahexaenoic acid, docosapentaenoic acid, and eicosapentaenoic acid // Curr. Opin. Lipidol. 2013. Vol. 24, N 6. P. 467–474.
- Jump D.B., Tripathy S., Depner C.M. Fatty acid-regulated transcription factors in the liver // Annu. Rev. Nutr. 2013. Vol. 33. P. 249–269.
- Cho H.P., Nakamura M., Clarke S.D. Cloning, expression, and fatty acid regulation of the human delta-5 desaturase // J. Biol. Chem. 1999. Vol. 274, N 52. P. 37 335–37 339.
- Burdge G.C., Wootton S.A. Conversion of α -linolenic acid to eicosapentaenoic, docosapentaenoic and docosahexaenoic acids in young women // Br. J. Nutr. 2002. Vol. 88, N 4. P. 411–420.
- Burdge G.C., Jones A.E., Wootton S.A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of α -linolenic acid metabolism in young men // Br. J. Nutr. 2002. Vol. 88, N 4. P. 355–364.
- Conquer J.A., Holub B.J. Dietary docosahexaenoic acid as a source of eicosapentaenoic acid in vegetarians and omnivores // Lipids. 1997. Vol. 32, N 3. P. 341–345.
- Flock M.R., Harris W.S., Kris-Etherton P.M. Long-chain omega-3 fatty acids: time to establish a dietary reference intake // Nutr. Rev. 2013. Vol. 71, N 10. P. 692–707.
- Громова О.А., Торшин И.Ю., Егорова Е.Ю. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты и когнитивное развитие детей // Вопр. соврем. педиатрии. 2011. Т. 10, № 1. С. 44–49.
- Макарова С.Г., Вишнева Е.А. Современные представления о влиянии длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот на развитие нервной системы у детей // Вопр. соврем. педиатрии. 2015. Т. 14, № 1. С. 55–56.
- Ulven S.M., Kirkhus B., Lamglait A. et al. Metabolic effects of krill oil are essentially similar to those of fish oil but at lower dose of EPA and DHA, in healthy volunteers // Lipids. 2011. Vol. 46, N 1. P. 37–46.
- Hendler S.S., Rorvik D.R. (eds). PDR for Nutritional Supplements. Montvale: Medical Economics Company, 2001. 797 p.
- URL: <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/ecol2015-10.pdf>
- URL: http://www.vniro.ru/files/publish/boeva_tehnologia_jirov.pdf
- Kirpal S., Sidhu Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil // Regul. Toxicol. Pharmacol. 2003. Vol. 38. P. 336–344.
- Васьковский В.Е., Горбач Т.Ф., Есипова А.В. Препараты омега-3 жирных кислот и их применение в медицине // Тихоокеанский мед. журн. 2010. № 2. С. 15–19.
- Макарова С.Г., Вишнева Е.А. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты классов -3 и -6 как эссенциальный нутриент в разные периоды детства // Педиатр. фармакол. 2013. Т. 10, № 4. С. 80–88.
- Burdge G.C., Calder P.C. Conversion of α -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adult // Reprod. Nutr. Dev. 2005. Vol. 45. P. 581–597.
- Pilz S., Zittermann A., Trummer C. et al. Vitamin D testing and treatment: a narrative review of current evidence // Endocr. Connect. 2019. Vol. 8, N 2. P. R27–R43.

34. Ших Е.В., Махова А.А. Витамины в клинической практике / под ред. В.Г. Кукеса. М.: Практическая медицина, 2014. 368 с.
35. Gould J.F., Smithers L.G., Makrides M. The effect of maternal omega-3 (n-3) LCPUFA supplementation during pregnancy on early childhood cognitive and visual development: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Am. J. Clin. Nutr.* 2013. Vol. 97, N 3. P. 531–544.
36. Middleton P., Gomersall J.C., Gould J.F., Shepherd E., Olsen S.F., Makrides M. Omega-3 fatty acid addition during pregnancy // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018. Vol. 11. CD003402. doi: 10.1002/14651858.CD003402.pub3
37. Mozaffarian D., Rimm E.B. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits // *JAMA.* 2006. Vol. 296, N 15. P. 1885–1899.
38. US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. Agency Response Letter: GRAS Notice No. GRN 000080. 2001. URL: <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/95s0316/95s-0316-rpt0354-061-Ref-F-FDA-Response-Ltr-g80-vol273.pdf>
39. Olsen S.F., Secher N.J. Randomized clinical trials of fish oil supplementation in high-risk pregnancies. Fish Oil Trials in Pregnancy (FO TIP) // *BJOG.* 2000. Vol. 107. P. 382–395.
40. Salas Lorenzo I., Chisaguano Tonato A.M., de la Garza Puentes A. The effect of an infant formula supplemented with AA and DHA on fatty acid levels of infants with different FADS genotypes: The COGNIS Study // *Nutrients.* 2019. Vol. 11, N 3. P. 602. URL: <https://doi.org/10.3390/nu11030602>
41. Mozaffarian D., Wu J.H. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011. Vol. 58, N 20. P. 2047–2067.
42. Abdelhamid A.S., Brown T.J., Brainard J.S., Biswas P., Thorpe G.C., Moore H.J. et al. Omega-3 fatty acids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018. Vol. 7. CD003177. doi: 10.1002/14651858.CD003177.pub3.
43. URL: https://www.cochrane.org/CD003177/VASC_omega-3-intake-cardiovascular-disease
44. American Heart Association. Frequently Asked Questions About Fish. URL: http://www.heart.org/HEARTORG/General/Frequently-Asked-Questions-About-Fish_UCM_306451_Article.jsp. (date of access April 25, 2014)
45. Mozaffarian D., Lemaitre R.N., King I.B. et al. Plasma phospholipid long-chain omega-3 fatty acids and total and cause-specific mortality in older adults: a cohort study // *Ann. Intern. Med.* 2013. Vol. 158, N 7. P. 515–525.
46. Zheng J., Huang T., Yu Y., Hu X., Yang B., Li D. Fish consumption and CHD mortality: an updated meta-analysis of seventeen cohort studies // *Public Health Nutr.* 2012. Vol. 15, N 4. P. 725–737.
47. Михин В.П., Швейнов А.И., Харченко А.В. Влияние омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на аритмическую активность миокарда и показатели вариабельности сердечного ритма у пациентов с нестабильной стенокардией // *Междунар. журн. сердца и сосудистых заболеваний.* 2017. Т. 5, № 15. С. 46–50.
48. von Schacky C. Omega-3 index and cardiovascular health // *Nutrients.* 2014. Vol. 6, N 2. P. 799–814.
49. Flock M.R., Skulas-Ray A.C., Harris W.S., Etherton T.D., Fleming J.A., Kris-Etherton P.M. Determinants of erythrocyte omega-3 fatty acid content in response to fish oil supplementation: a dose-response randomized controlled trial // *J. Am. Heart Assoc.* 2013. Vol. 2, N 6. Article ID e000513.
50. Xun P., Qin B., Song Y. et al. Fish consumption and risk of stroke and its subtypes: accumulative evidence from a meta-analysis of prospective cohort studies // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2012. Vol. 66, N 11. P. 1199–1207.
51. Chowdhury R., Stevens S., Gorman D. et al. Association between fish consumption, long chain omega 3 fatty acids, and risk of cerebrovascular disease: systematic review and meta-analysis // *BMJ.* 2012. Vol. 345. Article ID e6698.
52. Noaghiul S., Hibbeln J.R. Cross-national comparisons of seafood consumption and rates of bipolar disorders // *Am. J. Psychiatry.* 2003. Vol. 160, N 12. P. 2222–2227.
53. Locke C.A., Stoll A.L. Omega-3 fatty acids in major depression // *World Rev. Nutr. Diet.* 2001. Vol. 89. P. 173–185.
54. Кузенкова Л.М., Балканская С.В., Увакина Е.В. Место микронутриентов и полиненасыщенных жирных кислот в профилактике когнитивных нарушений у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности. М., 2010.
55. Кузенкова Л.М., Намазова-Баранова Л.С., Балканская С.В., Увакина Е.В. Поливитамин и полиненасыщенные жирные кислоты в терапии гиперактивного расстройства с дефицитом внимания у детей // *Педиатр. фармакол.* 2009. № 3. С. 66–74.

References

1. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary fats: total fat and fatty acids. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. Washington, DC: National Academies Press, 2002: 422–541.
2. Tyutyunnik V.L., Kan N.E., Lomov N.A., Klimantsev I.V. The contribution of omega-3 to micronutrient support during pregnancy breast cancer. *RMZH. Mat' i ditya [RMJ. Mother and Child]*, 2017; (15): 1087–91. (in Russian)
3. Shih E.V., Makhova A.A. The endemicity of the territory in terms of micronutrient deficiencies as a criterion for the formation of the basic vitamin-mineral complex for the peri-conceptual period. *Akusherstvo i ginekologiya [Obstetrics and Gynecology]*. 2018; (10): 25–32. (in Russian)
4. Caron J.P., Gandy J.C., Brown J.L., Sordillo L.M. Omega-3 fatty acids and docosahexaenoic acid oxymetabolites modulate the inflammatory response of equine recombinant interleukin1 β -stimulated equine synoviocytes. *Prostaglandins Other Lipid Mediat.* 2019; 142: 1–8. doi: 10.1016/j.prostaglandins.2019.02.007
5. Gavrisyuk V.K. The use of omega-3 polyunsaturated fatty acids in medicine. *Ukr. pulmon. journal.* 2001; (3): 5–10. (in Russian)
6. Stark K.D., Van Elswyk M.E., Higgins M.R., Weatherford C.A., Salem N. Jr. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults. *Progr Lipid Res.* 2016; 63: 132–52.
7. The diet of the population. 2013: Statistical compendium. Rosstat. Moscow: Statistika v Rossii, 2016: 220 p. (in Russian)
8. Calder P.C. Docosahexaenoic acid. *Ann Nutr Metab.* 2016; 69 (1): 7–21.
9. Carlson S.J., O'Loughlin A.A., Anez-Bustillos L., et al. A diet with docosahexaenoic and arachidonic acids as the sole source of polyunsaturated fatty acids is sufficient to support visual, cognitive, motor, and social development in mice. *Front Neurosci.* 2019; 13: 72. doi: 10.3389/fnins.2019.00072
10. Jeffrey B.G., Weisinger H.S., Neuringer M., Mitcheli D.C. The role of docosahexaenoic acid in retinal function. *Lipids.* 2001; 36 (9): 859–71.
11. SanGiovanni J.P., Chew E.Y. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina. *Prog Retin Eye Res.* 2005; 24 (1): 87–138.
12. Dyall S.C. Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. *Front Aging Neurosci.* 2015; 7: 52. doi: 10.3389/fnagi.2015.00052
13. Zemdegs J., Rainer Q., Grossmann C.P., et al. Anxiolytic- and antidepressant-like effects of fish oil-enriched diet in brain-derived neurotrophic factor deficient mice. *Front Neurosci.* 2018; 12: 974. doi: 10.3389/fnins.2018.00974
14. Martins B.P., Bandarra N.M., Figueiredo-Braga M. The role of marine omega-3 in human neurodevelopment, including Autism Spectrum Disorders and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder

- der – a review. *Crit Rev. Food Sci Nutr.* 2019; Mar 18: 1–16. doi: 10.1080/10408398.2019.1573800
15. Ishihara T., Yoshida M., Arita M. Omega-3 fatty acid-derived mediators that control inflammation and tissue homeostasis. *Int Immunol.* 2019. pii: dxz001. doi: 10.1093/intimm/dxz001
 16. Davidson M.H. Omega-3 fatty acids: new insights into the pharmacology and biology of docosahexaenoic acid, docosapentaenoic acid, and eicosapentaenoic acid. *Curr Opin Lipidol.* 2013; 24 (6): 467–74.
 17. Jump D.B., Tripathy S., Depner C.M. Fatty acid-regulated transcription factors in the liver. *Annu Rev Nutr.* 2013; 33: 249–69.
 18. Cho H.P., Nakamura M., Clarke S.D. Cloning, expression, and fatty acid regulation of the human delta-5 desaturase. *J Biol Chem.* 1999; 274 (52): 37 335–9.
 19. Burdge G.C., Wootton S.A. Conversion of α -linolenic acid to eicosapentaenoic, docosapentaenoic and docosahexaenoic acids in young women. *Br J Nutr.* 2002; 88 (4): 411–20.
 20. Burdge G.C., Jones A.E., Wootton S.A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of α -linolenic acid metabolism in young men. *Br J Nutr.* 2002; 88 (4): 355–64.
 21. Conquer J.A., Holub B.J. Dietary docosahexaenoic acid as a source of eicosapentaenoic acid in vegetarians and omnivores. *Lipids.* 1997; 32 (3): 341–5.
 22. Flock M.R., Harris W.S., Kris-Etherton P.M. Long-chain omega-3 fatty acids: time to establish a dietary reference intake. *Nutr Rev.* 2013; 71 (10): 692–707.
 23. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Egorova E.Yu. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cognitive development of children. *Voprosy sovremennoy pediatrii [Problems of Modern Pediatrics]*. 2011; 10 (1): 44–9. (in Russian)
 24. Makarova S.G., Vishneva E.A. Modern ideas about the effect of long-chain polyunsaturated fatty acids on the development of the nervous system in children. *Voprosy sovremennoy pediatrii [Problems of Modern Pediatrics]*. 2015; 14 (1): 55–6. (in Russian)
 25. Ulven S.M., Kirkhus B., Lamglait A., et al. Metabolic effects of krill oil are essentially similar to those of fish oil but at lower dose of EPA and DHA, in healthy volunteers. *Lipids.* 2011; 46 (1): 37–46.
 26. Hendler S.S., Rorvik D.R. (eds). *PDR for nutritional supplements*. Montvale: Medical Economics Company, 2001: 797 p.
 27. URL: <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/ecol2015-10.pdf>
 28. URL: http://www.vniro.ru/files/publish/boeva_tehnologia_jirov.pdf
 29. Kirpal S. Sidhu Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2003; 38: 336–44.
 30. Vaskovsky V.E., Gorbach T.F., Esipov A.V. Preparations of Omega-3 fatty acids and their use in medicine. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal [Pacific Medical Journal]*. 2010; (2): 15–9. (in Russian)
 31. Makarova S.G., Vishneva E.A. Long-chain polyunsaturated fatty acids classes -3 and -6 as an essential nutrient in different periods of childhood. *Pediatricheskaya farmakologiya [Pediatric Pharmacology]*. 2013; 10 (4): 80–8. (in Russian)
 32. Burdge G.C., Calder P.C. Conversion of α -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adult. *Reprod Nutr Dev.* 2005; 45: 581–97.
 33. Pilz S., Zittermann A., Trummer C., et al. Vitamin D testing and treatment: a narrative review of current evidence. *Endocr Connect.* 2019; 8 (2): R27–43.
 34. Shikh E.V., Makhova A.A. *Vitamins in clinical practice*. Edited by W.G. Kukes. Moscow: Prakticheskaya Meditsina, 2014: 368 p. (in Russian)
 35. Gould J.F., Smithers L.G., Makrides M. The effect of maternal omega-3 (n-3) LCPUFA supplementation during pregnancy on early childhood cognitive and visual development: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr.* 2013; 97 (3): 531–44.
 36. Middleton P., Gomersall J.C., Gould J.F., Shepherd E., Olsen S.F., Makrides M. Omega-3 fatty acid addition during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018; 11: CD003402. doi: 10.1002/14651858.CD003402.pub3
 37. Mozaffarian D., Rimm E.B. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits. *JAMA.* 2006; 296 (15): 1885–99.
 38. US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. Agency Response Letter: GRAS Notice No. GRN 000080. 2001. URL: <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/95s0316/95s-0316-rpt0354-061-Ref-F-FDA-Response-Ltr-g80-vol273.pdf>
 39. Olsen S.F., Secher N.J. Randomized clinical trials of fish oil supplementation in high-risk pregnancies. *Fish Oil Trials in Pregnancy (FO TIP)*. *BJOG.* 2000; 107: 382–95.
 40. Salas Lorenzo I., Chisaguano Tonato A.M., de la Garza Puentes A. The effect of an infant formula supplemented with AA and DHA on fatty acid levels of infants with different FADS genotypes: The COGNIS Study. *Nutrients.* 2019; 11 (3): 602. URL: <https://doi.org/10.3390/nu11030602>
 41. Mozaffarian D., Wu J.H. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *J Am Coll Cardiol.* 2011; 58 (20): 2047–67.
 42. Abdelhamid A.S., Brown T.J., Brainard J.S., Biswas P., Thorpe G.C., Moore H.J., et al. Omega-3 fatty acids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018; 7: CD003177. doi: 10.1002/14651858.CD003177.pub3
 43. URL: https://www.cochrane.org/CD003177/VASC_omega-3-intake-cardiovascular-disease
 44. American Heart Association. Frequently asked questions about fish. URL: http://www.heart.org/HEARTORG/General/Frequently-Asked-Questions-About-Fish_UCM_306451_Article.jsp (date of access April 25, 2014)
 45. Mozaffarian D., Lemaitre R.N., King I.B., et al. Plasma phospholipid long-chain omega-3 fatty acids and total and cause-specific mortality in older adults: a cohort study. *Ann Intern Med.* 2013; 158 (7): 515–25.
 46. Zheng J., Huang T., Yu Y., Hu X., Yang B., Li D. Fish consumption and CHD mortality: an updated meta-analysis of seventeen cohort studies. *Public Health Nutr.* 2012; 15 (4): 725–37.
 47. Mikhin V.P., Shveyinov A.I., Kharchenko A.V. The effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the arrhythmic activity of the myocardium and on the indices of heart rate variability in patients with unstable angina. *Mezhdunarodniy zhurnal sedtsa i sosudistykh zabolevaniy [International Journal of Heart and Vascular Diseases]*. 2017; 5 (15): 46–50. (in Russian)
 48. von Schacky C. Omega-3 index and cardiovascular health. *Nutrients.* 2014; 6 (2): 799–814.
 49. Flock M.R., Skulas-Ray A.C., Harris W.S., Etherton T.D., Fleming J.A., Kris-Etherton P.M. Determinants of erythrocyte omega-3 fatty acid content in response to fish oil supplementation: a dose-response randomized controlled trial. *J Am Heart Assoc.* 2013; 2 (6): e000513.
 50. Xun P., Qin B., Song Y., et al. Fish consumption and risk of stroke and its subtypes: accumulative evidence from a meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur J Clin Nutr.* 2012; 66 (11): 1199–207.
 51. Chowdhury R., Stevens S., Gorman D., et al. Association between fish consumption, long chain omega 3 fatty acids, and risk of cerebrovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2012; 345: e6698.
 52. Noaghiul S., Hibbeln J.R. Cross-national comparisons of seafood consumption and rates of bipolar disorders. *Am J Psychiatry.* 2003; 160 (12): 2222–7.
 53. Locke C.A., Stoll A.L. Omega-3 fatty acids in major depression. *World Rev Nutr Diet.* 2001; 89: 173–85.
 54. Kuzenkova L.M., Balkanskaya S.V., Uvakina Ye.V. The place of micronutrients and polyunsaturated fatty acids in the prevention of cognitive impairment in children with attention deficit hyperactivity disorder. Moscow, 2010. (in Russian)
 55. Kuzenkova L.M., Namazova-Baranova L.S., Balkanskaya S.V., Uvakina E.V. Polyvitamins and polyunsaturated fatty acids in the treatment of attention-deficit hyperactive disorder in children. *Pediatricheskaya farmakologiya [Pediatric Pharmacology]*. 2009; (3): 66–74. (in Russian)

Для корреспонденции

Федотова Ольга Борисовна – доктор технических наук, заведующая лабораторией молочных консервов ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»
 Адрес: 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7
 Телефон: (499) 236-02-36
 E-mail: vnimi-fedotova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7348-6019>

Федотова О.Б.¹, Макаркин Д.В.², Соколова О.В.³, Дунченко Н.И.⁴

Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен

The development and investigation of nutritive and biological value and consumer properties of the fermented dairy product with flour free from glute

Fedotova O.B.¹, Makarkin D.V.², Sokolova O.V.³, Dunchenko N.I.⁴

- ¹ ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Москва, Россия
 - ² АО «ПРОГРЕСС», Липецк, Россия
 - ³ ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия
 - ⁴ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева», Москва, Россия
- 1 All-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russia
 - 2 PROGRESS, Lipetsk, Russia
 - 3 V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
 - 4 Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Разработка кисломолочных продуктов сложного сырьевого состава, в частности включающих крупяные добавки, но не содержащих глютен, наиболее полно отвечающих критериям здорового питания, является актуальной задачей.

Цель – разработка нового многокомпонентного кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен.

Материал и методы. В качестве основных сырьевых компонентов использовали молоко и муку для продуктов детского питания тонкого помола (гречневая, рисовая, кукурузная и их сочетания); закваска прямого внесения для кисломолочных продуктов. Проведено измерение активной и титруемой кислотности, массовой доли белка, жира, санитарно-микробиологических показателей,

Для цитирования: Федотова О.Б., Макаркин Д.В., Соколова О.В., Дунченко Н.И. Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен // *Вопр. питания.* 2019. Т. 88, № 2. С. 101–110. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10023.

Статья поступила в редакцию 17.10.2018. **Принята в печать** 13.03.2019.

For citation: Fedotova O.B., Makarkin D.V., Sokolova O.V., Dunchenko N.I. The development and investigation of nutritive and biological value and consumer properties of the fermented dairy product with flour free from glute. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2019; 88 (2): 101–10. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10023. (in Russian)

Received 17.10.2018. **Accepted** 13.03.2019.

а также блок органолептических исследований. Кроме того, проведено определение содержания аминокислот по методике ВНИИМП им. В.М. Горбатова, жирнокислотного состава, содержания глютена с использованием метода полимерной цепной реакции.

Результаты и обсуждение. Разработан комплекс требований к продукту, проведены исследования, позволившие определить дозировку смеси муки трех выбранных видов. Совокупная массовая доля муки в составе кисломолочного продукта с мукой не превышает 5%. Варьирование позволяет создавать ассортиментный ряд продукта, содержащий различную массовую долю муки и различный состав мучной составляющей. Осуществлен типологический подбор заквасочных культур для сквашивания композиций, позволяющих получить образцы с требуемыми органолептическими, в частности вязкостными, характеристиками. Продукт обладает характерным кисломолочным приятным вкусом, запахом и ароматом с тоном применяемой муки и вязко-текучей консистенцией. Выбран тип закваски на основе термофильного стрептококка и болгарской палочки. Титр молочнокислой микрофлоры во всех образцах продукта превышал минимально требуемый для кисломолочных продуктов и составил не менее 6×10^7 КОЕ/см³. Определение содержания глютена доказало его отсутствие во всех опытных образцах, что свидетельствует о достижении поставленной цели. Исследование аминокислотного состава показало, что содержание незаменимых аминокислот в составе белка экспериментальных образцов продукта составило от 160 до 210 мг/100 г в зависимости от композиций применяемой муки. Лимитирующей аминокислотой всех экспериментальных образцов являлся изолейцин. Рассчитанный коэффициент утилитарности в экспериментальных образцах выше по сравнению со сквашенным молоком (контроль) на 9–12%, что свидетельствует о повышении биологической ценности разработанного продукта. Готовый кисломолочный продукт с мукой в небольших количествах содержит арахидоновую (1,2%) и линолевую (3,0%) кислоты, которые относятся к ω -6 полиненасыщенным жирным кислотам.

Заключение. Изложен методологический подход к созданию многокомпонентного продукта, заключающийся в том, что он рассматривается как биосистема, каждый ингредиент которой вносит определенный вклад в его требуемый комплекс свойств. При использовании данного подхода стратегически реализуется возможность совмещения компонентов животного (молоко) и растительного (мука злаковых и крупяных культур) происхождения в целостную пищевую биосистему с целевым спектром полезных свойств.

Ключевые слова: кисломолочный продукт, без глютена, пищевая ценность, дерево принятия решений, проектирование качества и безопасности продукта

The development of fermented dairy products with complex raw material composition, in particular, including cereal components, but not containing gluten, that most fully meet the criteria for a healthy diet, is actual.

The aim – the development of a new multi-component fermented dairy product with flour free from gluten.

Material and methods. Milk and fine flour mixture for baby foods (buckwheat, rice, corn and their composition); DVS starter for fermented dairy products were used as the basic raw material components. Active and titratable acidity, mass fraction of protein, fat, microbiological indexes have been measured as well as the block of organoleptic tests has been used. Besides this, amino acids' amount as well as fat acid composition and gluten level (using PCR) have been determined.

Results and discussion. A set of requirements to the product has been developed, the studies have been conducted, which made it possible to determine the dosage of the flour mixture of three selected species. The total mass fraction of flour in the fermented dairy product with flour didn't exceed 5%. The variation makes it possible to create an assortment of a product with different content of flour and different composition of flour constituent. The typological selection of the starter cultures has been carried out in order to obtain samples with the required organoleptic, particularly, viscous characteristics. The product possessed the typical fermented pleasant taste, odor and aroma with the tone of flour used, and viscous-flow consistency. The starter based on *Staphylococcus thermophiles* and *Lactobacillus bulgaricus* has been chosen. The titre of lactic microflora in all samples of the product exceeded the lowest required for fermented dairy products and composed no less 6×10^7 CFU/cm³. The determination of gluten content proved its absence in all test samples that evidenced about the achievement of the assigned task. The analysis of amino acids composition of the product samples showed that proteins contained essential amino acids from 160 to 210 g/100 g depending on the used flour combinations. It was determined that limiting amino acid of all test samples was isoleucine. The calculated coefficient of utility in the test samples was higher comparing to the fermented milk (control) by 9–12% that indicated an increase in the biological value of the developed product. The finished fermented dairy product with flour contained arachidonic (1.2%) and linoleic (3.0%) acids which relate to ω -6 PUFA in small amounts.

Conclusion. The proposed methodological approach to the development of multi-component products consisted in the fact that it was considered as a bio-system, each ingredient of which contributed to its desired set of properties. Using the mentioned approach, strategically, it is possible to combine the components of animal (milk) and vegetable (flour of cereals and groat cultures) origin into the whole food biosystem with the target spectrum of useful properties.

Keywords: fermented dairy product, gluten free, nutritive value, decision tree, product quality and safety design

Согласно концепции здорового питания РФ на период до 2020 г. (Распоряжение Правительства РФ от 25.10.2010 № 1873-р), одной из приоритетных целей государственной политики является сохранение и укрепление здоровья населения и профилактика ряда заболеваний, связанных с несбалансированным питанием. Важным критерием здорового питания является

высокая биодоступность пищевых веществ и витаминов при сравнительно небольшой калорийности продукта.

Лидирующей группой, отвечающей этим требованиям, является сегмент молочной продукции, в частности кисломолочные продукты. За счет высокого титра содержания живых молочнокислых микроорганизмов кисломолочные продукты обладают безусловным функ-

циональным потенциалом. В исследованиях ряда авторов показано, что кисломолочные продукты позитивно влияют на состав кишечной микробиоты, подавляя действие патогенной микрофлоры [1, 2]. Они не только направленно воздействуют на функционирование желудочно-кишечного тракта, но и способствуют лучшему усвоению микроэлементов, витаминов, лактозы. Кроме того, в процессе ферментации молока за счет частичного гидролиза повышается биологическая ценность белков, входящих в его состав.

На сегодняшний день существует значительное количество кисломолочных продуктов, основное место в линейке которых занимают национальные: кефир, простокваша, ацидофилин, ряженка, варенец, сметана, творог и др. Тем не менее наблюдается очевидная тенденция обогащения таких продуктов пребиотиками, витаминами, макро- и микроэлементами, пищевыми волокнами и прочими ингредиентами с целью придания им дополнительных функциональных свойств [3]. Одновременно появляются многокомпонентные продукты на молочной основе либо с использованием молочной составляющей, которые предназначены для диетического профилактического питания различных групп населения [4, 5].

Классические сочетания – это молочная составляющая с фруктовыми ингредиентами, овощными компонентами, с экстрактами растительных объектов [6]. На территории России традиционным сочетанием считается комбинация молочных, в частности кисломолочных, напитков с такими продуктами, как хлеб. У российских потребителей исторически сформирован вкусовой приоритет к употреблению в пищу одновременно молочных и мучных продуктов. Некоторые производители молочной продукции следуют за тенденцией создания ассортимента подобных кисломолочных продуктов комбинированного состава [7]. К настоящему моменту большой популярностью у производителей молочной продукции пользуются разнообразные зернобобовые и крупяные добавки, которые в основном используются в качестве источников пищевых волокон [8]. Некоторые из применяемых добавок, в частности на основе пшеницы, содержат глютен. Он может содержаться и в муке других культур, которые, теоретически, глютен не содержат (например, овсе). Это является следствием загрязнения клейковиной, которая попала на стадиях выращивания, сбора и обработки. Глютен представляет собой нерастворимый в воде комплекс белков с малым содержанием липидов, сахаров и минеральных веществ. Глютен является потенциальным аллергеном. В группу риска по непереносимости глютена (целиакия) входят в основном дети [9–11]. Некоторые авторы отмечают, что безглютеновую диету должны соблюдать не только пациенты с диагностированными заболеваниями, но и значительный контингент клинически здоровых людей с целью предотвращения развития в перспективе ряда заболеваний [10].

Используемые в кисломолочных продуктах компоненты могут выполнять различные функции, в частности, дополнять состав продукта незаменимыми аминокисло-

тами, полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами, микро- и макроэлементами. Как правило, в качестве источника пищевых волокон злакового происхождения используют пшеничные отруби, которые, как говорилось выше, содержат глютен. В зарубежных странах достаточно широко распространены безглютеновые продукты, на которые нанесена специализированная маркировка. Однако в России подобная практика отсутствует. Разрабатываются новые виды хлеба и мучных кондитерских изделий для безглютеновой диеты с использованием гречневой, рисовой, кукурузной, льняной, амарантовой, нутовой муки, муки из лебеды и некоторых других. В связи с этим одной из актуальных задач отечественной пищевой промышленности является разработка инновационных технологий безглютеновых продуктов, в том числе многокомпонентных. Разработка кисломолочных продуктов нетрадиционного состава позволяет существенно расширить существующий ассортимент продукции данной категории [12–14].

Цель данной работы – разработка многокомпонентного кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен, и определение его пищевой и энергетической ценности.

Для реализации поставленной цели был разработан алгоритм, оформленный в виде дерева принятия решений, характеризующий комплекс требований к разрабатываемому продукту (рис. 1). В разработанном совокупном комплексе требований предусмотрено соответствие проектируемого продукта требованиям четырех регламентов Таможенного союза: ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»; ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»; ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания»; ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Кроме того, учтены требования в части физико-химических, органолептических, микробиологических, реологических свойств и потребительских предпочтений.

Материал и методы

Объектами исследования являлись: молоко сухое по ГОСТ 33629-15, восстановленное водой питьевой по СанПиН 2.1.4.1074; смесь муки следующего состава: мука гречневая по ГОСТ 31645-2012, мука рисовая по ГОСТ 31645-2012, мука кукурузная по ГОСТ 14176-69 с изм. № 3 и их сочетания (использована мука для продуктов детского питания тонкого помола, поскольку базисным требованием к разработке являлось использование безглютеновых злаковых композиций), мальтодекстрин по ТУ 9189-010-27291178-2010, инулин по ТУ 10.62.11-140-00334735-2017, закваска прямого внесения для кисломолочных продуктов – *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp.*

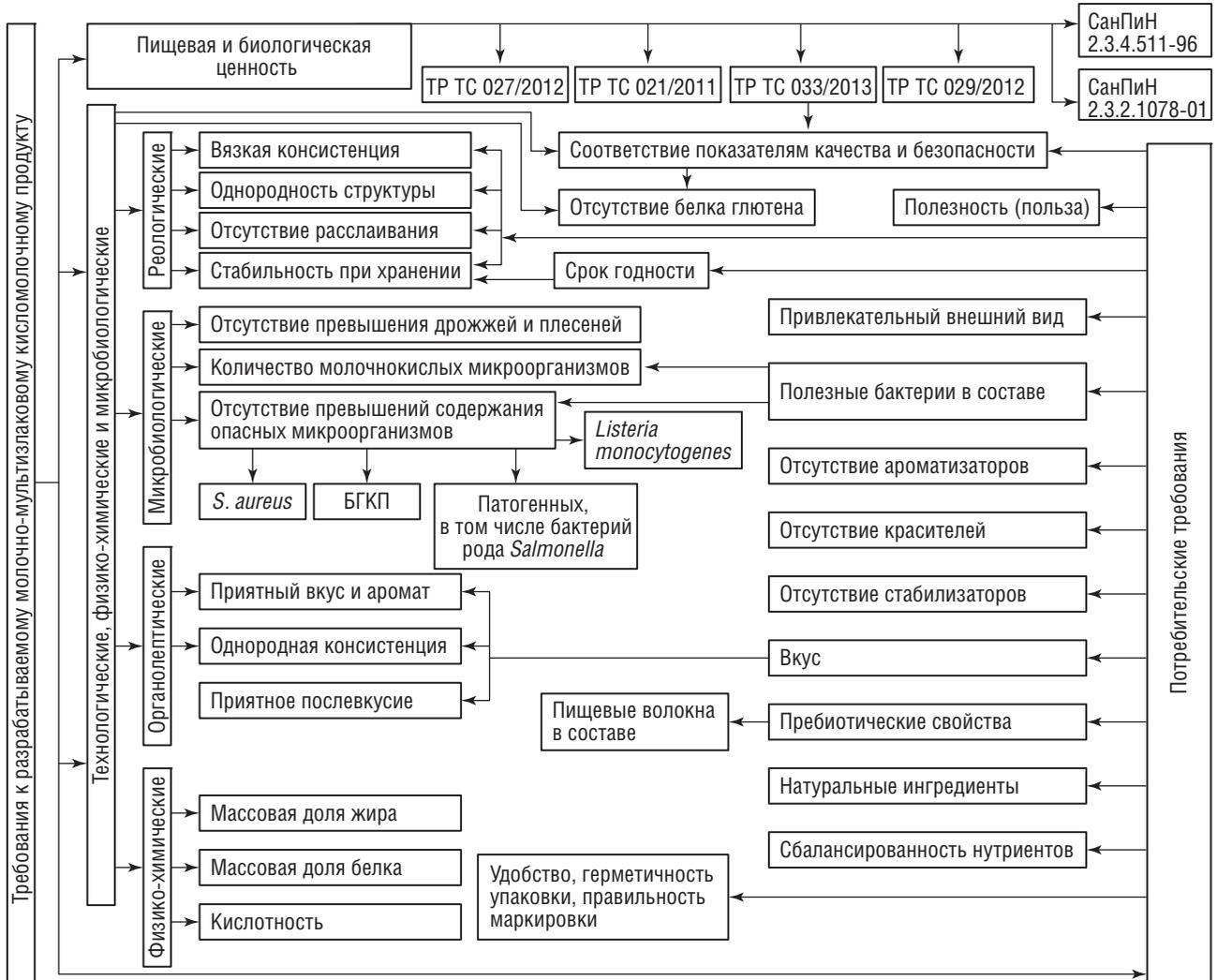


Рис. 1. Комплекс требований к разрабатываемому продукту

bulgaricus (комплексная закваска для йогурта) (Chr. Hansen, Дания), а также образцы сквашенных молочных продуктов с мукой. Условные обозначения и состав экспериментальных образцов приведены в табл. 1.

Активную кислотность образцов определяли в соответствии с ГОСТ 32892-2014 с использованием рН-метра-

милливольтметра типа рН-150 МА. Изменение активной кислотности образцов в течение сквашивания определяли на компьютеризированном приборе (DASGIP, Германия), оснащённом параллельными биореакторами.

Титруемую кислотность определяли согласно ГОСТ Р 54669-2011.

Таблица 1. Условные обозначения и состав экспериментальных образцов

Условное обозначение	Состав экспериментальных образцов	Условное обозначение	Состав экспериментального образца
1	Молоко (контрольный образец)	1 к/м	Сквашенное молоко (контрольный кисломолочный образец)
2	Молоко с гречневой мукой	2 к/м	Сквашенное молоко с гречневой мукой
3	Молоко с рисовой мукой	3 к/м	Сквашенное молоко с рисовой мукой
4	Молоко с кукурузной мукой	4 к/м	Сквашенное молоко с кукурузной мукой
5	Молоко со смесью гречневой и рисовой муки	5 к/м	Сквашенное молоко со смесью гречневой и рисовой муки
6	Молоко со смесью гречневой и кукурузной муки	6 к/м	Сквашенное молоко со смесью гречневой и кукурузной муки
7	Молоко со смесью рисовой и кукурузной муки	7 к/м	Сквашенное молоко со смесью рисовой и кукурузной муки
8	Молоко со смесью гречневой, рисовой и кукурузной муки	8 к/м	Сквашенное молоко со смесью гречневой, рисовой и кукурузной муки

Степень синерезиса определяли методом отстаивания проб как отношение отделившейся жидкости к общему объему пробы и выражали в %.

Для проведения микробиологических анализов приготавливали ряд десятикратных разведений и производили посевы в дифференциально-диагностические среды в соответствии с методиками выявления микроорганизмов.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМА-ФАНМ) и бактерий группы кишечных палочек (БГКП) проводили в соответствии с ГОСТ 32901-14; молочнокислых микроорганизмов – по ГОСТ 10444.11-2013 и 33951-16; дрожжей и плесеней – по ГОСТ 33566-12; *S. aureus* – по ГОСТ 30347-16; *L. monocytogenes* – по ГОСТ 32031-12; бактерий рода *Salmonella* – согласно ГОСТ 31659-12.

Массовую долю белка определяли по ГОСТ Р 53951-2010 методом Кьельдаля, углеводов – по ГОСТ Р 54667-2011, жира – по ГОСТ 31633-2012 фотоколориметрически.

Анализ содержания аминокислот выполняли по методике ВНИИМП им. В.М. Горбатова МВИ № 02-2002 на аминокислотном анализаторе типа LC 3000 (Eppendorf-Biotronic, Германия). Для разделения аминокислот использовали буферную систему в соответствии с нормативной документацией, приложенной к анализатору. Методика определения аминокислот включает постановку специализированных пластиковых емкостей с аликвотой анализируемой пробы объемом 20 мкм³ в штатив автоматического инжектора, оборудованный термостатом. Разделение аминокислот происходит в автоматическом режиме, обусловленном заданной программой, после разделения аминокислот исследуемый раствор поступает в секцию термостатного реактора, в котором происходит цепная реакция и окрашивание. Окрашенный раствор подается в ультрафиолетовый детектор, в котором в автоматическом режиме происходит регистрация и запись аминокислот. Данный метод позволяет определять за один анализ наличие до 17 аминокислот при их минимальном содержании от 0,5 мкмоль/см³ (погрешность измерения при этом составляет до 10%). Для количественной оценки содержания отдельных аминокислот использовали метод сравнения площади пиков полученных аминокислот с площадями пиков стандартных смесей аминокислот. Расчет проводили с применением интегрирующих систем Winpeak (Eppendorf-Biotronic, Германия).

Для оценки степени утилизации разрабатываемого продукта, т.е. уровня его усвояемости организмом, определяли его аминокислотный скор с использованием стандартных подходов к расчетам биологической ценности.

Жирнокислотный состав образцов определяли по ГОСТ 32915-2014 и ГОСТ 31665-2012 с использованием газового хроматографа «Shimadzu GC-2014» (Shimadzu, Япония) с пламенно-ионизационным детектором.

Содержание глютена определяли методом полимерной цепной реакции по ГОСТ 31719-2012 косвенно

по наличию ДНК пшеницы мягких и твердых сортов. В качестве маркеров использовали ДНК, содержащуюся в митохондриях и хлоропластах.

Органолептическую оценку образцов осуществляли согласно ГОСТ ISO 13299-2001.

Результаты и обсуждение

Разрабатываемый продукт рассматривался нами как биосистема, каждый ингредиент которой должен вносить определенный вклад в его требуемые свойства. При этом, с одной стороны, дефицит каких-либо пищевых веществ в одном из компонентов компенсируется наличием этих веществ в другом компоненте, а с другой стороны, арифметически эффекты этой компенсации по ряду качественных показателей не суммируются.

При разработке новых продуктов определяющими являются 3 аспекта: технологический, контроль качества и аспект пищевой безопасности, т.е. отсутствие определенных групп микроорганизмов, представляющих угрозу для здоровья человека, в конкретных объемах (массах) пищевого продукта. Эти аспекты тесно взаимосвязаны, и невозможно рассматривать отдельно, к примеру, пищевую безопасность и технологические особенности производства.

Что касается технологических аспектов, при разработке новых кисломолочных продуктов с мукой определяющим является выбор и совершенствование таких технологических процессов и приемов, которые обеспечивают получение продукта с высокими потребительскими свойствами и рациональную длительность протекания процесса. Таким образом, было необходимо выработать кисломолочный продукт при изменении состава его основы от молочной до сложной молочной с тремя видами муки, и при этом он должен обладать однородной консистенцией, приятным вкусом и запахом; мука должна равномерно распределяться в молоке, не комковаться, не подвариваться при повышении температуры процесса и прочее. Используемые заквасочные культуры должны одновременно, в требуемом направлении и в рациональные сроки сквашивать смесь молока со смесью муки различных культур.

Рецептуры продукта (в соответствии с заявкой на патент № 2017109645 «Способ производства ферментированного молочного продукта с мукой», положительное решение от 14.12.2018) предусматривает варьирование соотношений рисовой, гречневой и кукурузной муки в пределах от 0 до 100% по отношению к общей массе вносимой муки. При этом совокупная массовая доля муки в составе кисломолочного продукта с мукой не превышает 5%. Варьирование позволяет создавать асортиментный ряд продукта, содержащий различную массовую долю муки и различный состав мучной составляющей.

Были проведены комплексные исследования, позволившие определить дозировку смеси муки трех выбранных видов в молоке и осуществить типологический под-

бор заквасочных культур для сквашивания композиций молока и муки, позволяющих получить образцы с требуемыми органолептическими свойствами и вязкостными характеристиками.

Для исследования изначально были созданы 48 образцов с различным составом, в результате их комплексной органолептической оценки, микробиологического исследования и технологических отметок о возможности практической реализации спектр образцов был уменьшен. В результате выполнения данного этапа выбран тип закваски на основе термофильного стрептококка и болгарской палочки [15]. Титр молочнокислой микрофлоры во всех образцах превышал минимально требуемый для кисломолочных продуктов и составил не менее 6×10^7 КОЕ/см³. Причем наибольший титр был отмечен в образцах с использованием гречневой муки и смеси гречневой и рисовой муки, а также смеси рисовой, гречневой и кукурузной муки.

При органолептическом исследовании образцов продукта были отмечены следующие особенности, не присущие сквашенному молоку [16].

Образцам с гречневой и рисовой мукой был присущ кисломолочный запах с превалированием гречневых нот. При помещении пробы в рот ощущался сильный мучнистый привкус, охарактеризованный как «привкус каши», который быстро пропадал. Консистенция этого варианта была однородной, обволакивающей, вязкой. Цвет варьировал от светло-бежевого до бежевого. Такая

колеровка обусловлена цветом использованной гречневой муки. Отмечено, что рисовая мука в составе данного варианта не предопределяла вкус и послевкусие, вероятно, вследствие менее выраженного комплекса органолептических свойств по сравнению с гречневой мукой.

Образцы с гречневой и кукурузной мукой имели слабый желтовато-буроватый оттенок, обусловленный цветом использованных видов муки. Запах этого варианта продукта был кисломолочный с гречневым тоном. Аналогично варианту с гречневой и рисовой мукой преобладающие органолептические характеристики присущи гречневой муке. Вкус данного варианта кисломолочный с гречневым ароматом. Консистенция однородная, мягкая, вязкая.

Образцы с рисовой и кукурузной мукой имели желтоватый цвет в связи с использованием окрашенной в желтый цвет муки. Запах кисломолочный с ароматом кукурузы. Как и в варианте с гречневой и рисовой мукой, в данном образце отмечено проявление «привкуса каши», которое так же быстро пропадало. Консистенция однородная, вязкая.

Образцы с использованием смеси гречневой, рисовой и кукурузной муки обладали наиболее гармоничным вкусом и ароматом. Цвет проб был слабо бежевым. Вкус кисломолочный, сладковатый. В аромате угадываются ноты кукурузной и гречневой муки с преобладающим ароматом кисломолочного продукта. Консистенция обволакивающая, вязкая, однородная.

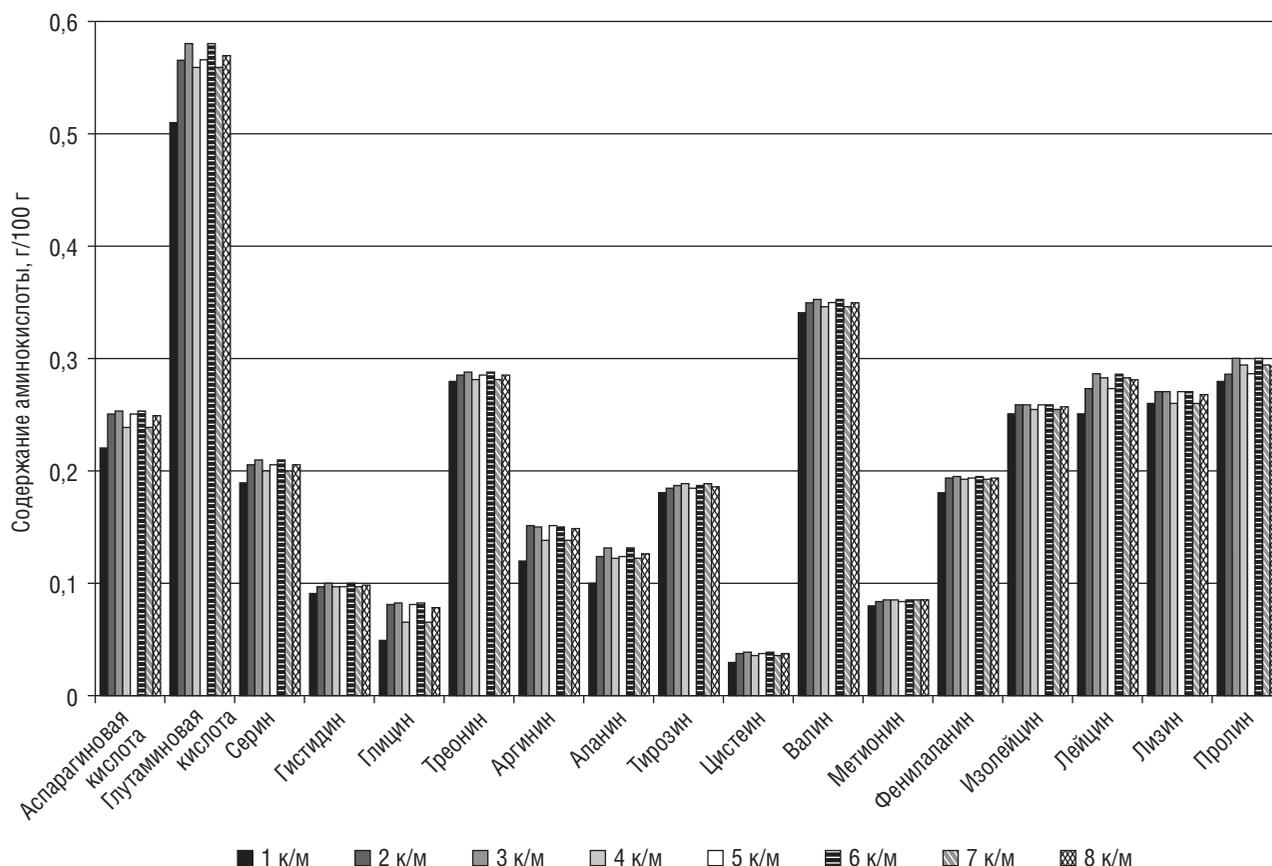


Рис. 2. Содержание аминокислот в экспериментальных образцах

В разработанных вариантах продукта не были обнаружены такие негативные органолептические характеристики, как кислый запах или вкус, плесневый аромат, затхлый вкус, хлебный запах, горький вкус и прочее. Консистенция всех разработанных вариантов была однородной, плотной, вязкой.

При разработке вариантов сквашенных продуктов удалось достичь их гармоничной вкусоароматической гаммы при пороговом содержании муки или смеси муки, не превышающем 5%. С использованием различных вариаций муки были созданы 8 образцов кисломолочных продуктов с мукой. Для подтверждения соответствия разработанного продукта заявленному целевому спектру свойств проведено исследование его ценности и функциональности в соответствии с деревом принятия решений (см. рис. 1).

Исследование содержания глютена доказало его отсутствие во всех опытных образцах; исследование количественного и качественного состава микрофлоры доказало наличие требуемой молочнокислой микрофлоры во всех образцах не менее 1×10^7 КОЕ/г, что свидетельствует о достижении поставленной цели создания кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен.

Исследование аминокислотного состава образцов продукта показало, что содержание незаменимых аминокислот варьирует в зависимости от сочетаний видов муки. При исследовании аминокислотного состава белка и анализе содержания незаменимых аминокислот в соответствии со значениями идеального белка, по данным Всемирной организации здравоохранения (1990 г.), определено, что лимитирующей аминокислотой всех экспериментальных образцов является изолейцин (рис. 2). Поскольку усвоение аминокислот лимитирует изолейцин, обеспечивается повышенная биодоступность других незаменимых аминокислот. Согласно данным В.М. Шейбак, продукты полноценного состава (содержащие белки, углеводы и жиры), в составе которых содержится лейцин, могут применяться в лечебно-профилактических целях для целенаправленной метаболической коррекции [17].

Концепция создания безглютенового кисломолочного продукта с тремя видами муки предполагает внесение смеси муки в молоко до введения ферментирующей

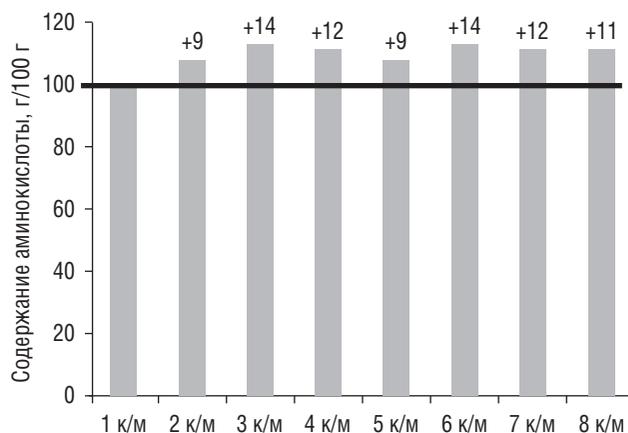


Рис. 3. Коэффициент утилитарности образцов продукта

микрофлоры. Согласно рабочей гипотезе, при использовании такой последовательности микрофлора не только сквашивает молоко, но и частично ферментирует муку, в результате чего гипотетически может повыситься усвояемость получаемого продукта.

Рассчитанный коэффициент утилитарности (рис. 3) (общее количество усвояемых незаменимых аминокислот) в экспериментальных образцах был выше по сравнению со сквашенным молоком (контроль), что свидетельствует об увеличении биологической ценности разработанного продукта.

Наиболее интересным с точки зрения дальнейших исследований является вариант с использованием смеси рисовой, гречневой и кукурузной муки. Технология получения продукта предусматривает использование молока с различной массовой долей жира. В зависимости от этого пищевая и энергетическая ценность образцов продукта может колебаться (табл. 2).

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что все образцы разработанного продукта обладают более высокой пищевой ценностью по отношению к традиционным кисломолочным продуктам при невысокой энергетической ценности.

В целях усиления функциональных свойств продукта было предложено ввести в рецептуру инулин и маль-

Таблица 2. Пищевая и энергетическая ценность образцов продукта

Образец	Из молока с массовой долей жира 3,2%				Из молока с массовой долей жира 0,05%			
	белок	жир	углеводы	энергетическая ценность, ккал/100 г	белок	жир	углеводы	энергетическая ценность, ккал/100 г
	г/100 г				г/100 г			
1 к/м	3,2	3,2	4,8	61,0	3,3	0,05	5,0	33,9
2 к/м	3,7	3,1	8,2	75,6	3,8	0,1	8,4	49,8
3 к/м	3,4	3,1	8,6	75,7	3,5	0,1	8,8	50,0
4 к/м	3,4	3,1	8,2	74,4	3,5	0,1	8,4	48,7
5 к/м	3,6	3,1	8,4	75,6	3,7	0,1	8,6	49,9
6 к/м	3,6	3,1	8,2	75,0	3,7	0,1	8,4	49,2
7 к/м	3,4	3,1	8,4	75,1	3,5	0,1	8,6	49,3
8 к/м	3,6	3,1	8,3	75,3	3,7	0,1	8,5	49,6

Таблица 3. Пищевая и энергетическая ценность образцов продукта с мальтодекстрином и инулином

Образец	Из молока с массовой долей жира 3,2%				Из молока с массовой долей жира 0,05%			
	белок	жир	углеводы	энергетическая ценность, ккал/100 г	белок	жир	углеводы	энергетическая ценность, ккал/100 г
	г/100 г				г/100 г			
1* к/м	3,2	3,2	5,9	65,4	3,3	0,05	6,1	38,7
2* к/м	3,7	3,1	9,3	80,0	3,8	0,1	9,4	54,7
3* к/м	3,4	3,1	9,7	80,1	3,5	0,1	9,9	54,8
4* к/м	3,4	3,1	9,3	78,9	3,5	0,1	9,4	53,6
5* к/м	3,6	3,1	9,5	80,0	3,7	0,1	9,6	54,7
6* к/м	3,6	3,1	9,3	79,4	3,7	0,1	9,4	54,1
7* к/м	3,4	3,1	9,5	79,5	3,5	0,1	9,6	54,2
8* к/м	3,6	3,1	9,4	79,7	3,7	0,1	9,5	54,4

* – вместе с закваской вносили инулин и мальтодекстрин.

тодекстрин. Инулин, являясь природным пребиотиком, позволит придать продукту дополнительные функциональные свойства, а мальтодекстрин, используемый как подслащающее вещество и улучшитель вкуса, одновременно позволит стабилизировать консистенцию продукта. Поскольку инулин и мальтодекстрин, введенные в количестве 1,2 г на 1 кг каждого из веществ (согласно рекомендации производителя данных пищевых добавок), могут влиять на пищевую ценность продукта, были проведены исследования пищевой и энергетической ценности полученного продукта (табл. 3).

Анализ полученных данных показывает, что введение мальтодекстрина и инулина в означенных выше количествах не влияет на содержание белка и жира в образцах, однако в среднем на 1 г/100 г увеличивает количество углеводов и, соответственно, несколько увеличивает энергетическую ценность образцов. Конечный вариант продукта решено вырабатывать на основе молока с массовой долей жира 3,2% и с применением смеси трех видов муки в соотношении 2:1,5:1,5 (при общей

массовой доле муки в составе кисломолочного продукта от 3 до 5%), так как при этом реализуется более полное удовлетворение потребительских предпочтений.

Проведено исследование жирнокислотного состава сквашенного образца, содержащего смесь муки трех культур. Для сравнения исследовали жирнокислотный состав сквашенного образца, не содержащего муку, т.е. сквашенного молока. Следует отметить определенные сложности в части пробоподготовки при проведении исследований, так как используемые образцы продукта имели массовую долю жира всего 3%, что обусловлено массовой долей жира используемого молока.

Готовый кисломолочный продукт с мукой в небольших количествах содержит арахидоновую (1,2%) и линолеовую (3,0%) кислоты, которые относятся к ω-6 полиненасыщенным жирным кислотам [16].

Для определения сроков годности нового продукта была разработана программа контроля показателей безопасности и качества, рассчитанная на 20 сут исследования, включающая 7 контрольных точек. Разрабо-

Таблица 4. Результаты оценки показателей продукта при хранении

Контролируемые показатели	Периодичность контроля, сут						
	0 (фон)	5	7	10	13	15	20
Органолептические показатели (ОП)	ОП	ОП	ОП	ОП	ОП	ОП	ОП
Массовая доля жира, %	3,0	×	×	×	×	×	3,0
Массовая доля белка, %	3,6	×	×	×	×	×	3,6
Кислотность титруемая, °Т	52	52	53	54	54	55	55
Кислотность активная, рН	4,2	×	4,2	×	4,2	×	4,2
Степень синерезиса, %	0	2	4	5	7	9	9
Количество молочнокислых микроорганизмов в 1 см ³	Более 1×10 ⁷ КОЕ	×	Более 1×10 ⁷ КОЕ	×	Более 1×10 ⁷ КОЕ	×	Более 1×10 ⁷ КОЕ
БГКП (колиформы) в 0,01 см ³	Н/о	×	×	×	×	Н/о	Н/о
БГКП (колиформы) в 0,1 см ³	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
<i>Salmonella</i> в 25 см ³	Н/о	×	×	Н/о	×	Н/о	Н/о
<i>Listeria monocytogenes</i> в 25 см ³	Н/о	×	×	Н/о	×	Н/о	Н/о
<i>Staphylococcus aureus</i> в 1 см ³	Н/о	×	×	×	×	Н/о	Н/о
Дрожжи в 1 см ³	Менее 1	×	×	Менее 1	×	×	Менее 1
Плесени в 1 см ³	Менее 1	×	×	Менее 1	×	×	Менее 1

Примечание. «×» показывает, что по данному показателю в данные сутки контроль не производился. Расшифровка аббревиатур дана в тексте.

тантный кисломолочный продукт закладывали на хранение при 4 ± 2 °С, в течение хранения отбирали пробы для проведения анализов.

График контроля по показателям и результаты исследования продукта в хранении представлены в табл. 4.

Органолептическую оценку продукта осуществляли при всех отборах проб. Показано, что на 20-е сутки хранения вкус, запах и аромат продукта был чистым, без посторонних оттенков. Незначительно, но не критично увеличилась вязкость.

Массовая доля жира и белка на конец срока хранения не менялась по сравнению с контролем и составляла соответственно 3 и 3,6%.

Титруемая кислотность увеличилась на 3 °Т относительно фонового значения, причем незначительные изменения начались через 7 сут хранения; активная кислотность не изменилась.

В процессе хранения осуществляли оценку степени синерезиса. Отмечена хорошая гомогенность образцов. Степень синерезиса через 20 сут хранения составила 9%.

Количество молочнокислых микроорганизмов в течение всего срока соответствовало предъявляемым требованиям и составляло более 1×10^7 КОЕ/см³.

Посторонняя микрофлора и патогенные микроорганизмы не обнаружены.

Таким образом, определен срок годности разработанного кисломолочного продукта с мукой, который составил 14 сут.

Заключение

В соответствии с поставленной целью техническим результатом проведенных исследований явилась разработка и создание многокомпонентного кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен. Разработанный продукт по комплексу показателей отвечает требованиям, сформулированным на стартовом этапе и представленным в виде дерева принятия решений.

Реализована возможность совмещения компонентов животного (молоко) и растительного (мука злаковых и крупяных культур) происхождения в целостную пищевую биосистему с целевым спектром полезных свойств. Содержание аминокислот в образцах продукта варьирует в зависимости от сочетаний использованной муки. За счет применения молока и безглютеновой муки в разработанных вариантах продукта достигается высокая пищевая ценность при невысокой энергетической ценности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Федотова Ольга Борисовна (Fedotova Olga B.) – доктор технических наук, заведующая лабораторией молочных консервов ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Москва, Россия)

E-mail: vnimi-fedotova@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7348-6019>

Макаркин Дмитрий Васильевич (Makarkin Dmitriy V.) – директор Департамента инноваций и управления изменениями АО «ПРОГРЕСС» (Липецк, Россия)

E-mail: dmakarkin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8119-5388>

Соколова Ольга Вячеславовна (Sokolova Olga V.) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

E-mail: o.sokolova@fnscps.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Дунченко Нина Ивановна (Dunchenko Nina I.) – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством и товароведение продукции ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева» (Москва, Россия)

E-mail: dunchenko.nina@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6158-9854>

Литература

- Кузнецова Г.Г., Трушина Э.Н., Мустафина О.К. и др. Влияние пробиотических кисломолочных продуктов на микробиоценоз толстой кишки, гематологические показатели и клеточный иммунитет крыс // *Вопр. питания.* 2011. № 3. С. 31–36.
- Черкашин А.В., Кузнецова Г.Г., Шевелева С.А. Влияние штаммов лактобактерий, используемых при производстве кисломолочных продуктов, на возбудителей пищевых токсикоинфекций // *Вопр. питания.* 2011. № 3. С. 37–40.
- Белякова С.Ю., Красникова Л.В. Синбиотические кисломолочные продукты с растительными наполнителями для питания детей школьного возраста // *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Экономика и экологический менеджмент.* 2014. № 1. С. 13.
- Atchareeya N., Ulaiwan W. Comparison of synbiotic beverages produced from riceberry malt extract using selected free and encapsulated probiotic lactic acid bacteria // *Agriculture and Natural Resources.* 2018. Vol. 52. Is. 5. P. 467–476.
- Adesulu-Dahunsi A.T., Jeyaram K., Sanni A.I. Probiotic and technological properties of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria isolated from cereal-based nigerian fermented food products // *Food Control.* 2018. Vol. 92. P. 225–231.
- Переработка и хранение: коллективная монография. М.: Изд. дом «Типография РАН», 2015. 480 с.

7. Донская Г.А. Биотехнологическая оптимизация нутриентного состава ферментированного молочного напитка // *Вопр. питания*. 2014. № 6. С. 74–80.
8. Мусина О.Н. Технологические особенности совместного сквашивания молочного и зернового сырья // *Вестник алтайской науки*. 2013. № 3. С. 257–262.
9. Ревякина В.А., Ларькова И.А., Кувшинова Е.Д. и др. Фенотипы пищевой аллергии у детей // *Вопр. питания*. 2016. Т. 5. № 1. С. 75–80.
10. Бельмер С.В., Хавкин И.А. Непереносимость глютена и показания к безглютеновой диете // *Врач*. 2011. № 5. С. 17–21.
11. Бельмер С.В. Современные принципы диетотерапии целиакии // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2012. № 6. Т. 57. С. 97–100.
12. Масалова В.В., Оботурова Н.П. Перспективы использования безглютенового растительного сырья в производстве пищевых продуктов для диетического и профилактического питания // *Пищевая пром-ть*. 2016. № 3. С. 16–20.
13. Peyer L.C., Zannini E., Arendt E.K. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages // *Trends Food Sci Technol*. 2016. Vol. 54. P. 17–25.
14. Жминченко В.М., Гаппаров М.М.Г. Современные тенденции исследований в нутрициологии и гигиене питания // *Вопр. питания*. 2015. Т. 84. № 1. С. 4–14.
15. Макаркин Д.В., Соколова О.В., Федотова О.Б. Типологический подбор заквасочных культур для молочно-мультизлаковых композиций // *Молочная промышленность*. 2016. № 7. С. 28–29.
16. Макаркин Д.В., Соколова О.В., Федотова О.Б. Особенности оценки органолептических показателей ферментированных молочно-мультизлаковых продуктов // *Контроль качества продукции*. 2018. № 6. С. 53–58.
17. Шейбак В.М. Лейцин, изолейцин, валин: биохимические основы разработки новых лекарственных средств: монография. Гродно, 2014: 242 с.
18. Рудаков О.Б., Полянский К.К., Ходырева О.Е. Инулин: применение и контроль содержания в продукции // *Переработка молока*. 2017. № 2. С. 44–47.
19. Пилипенко В.И., Теплюк Д.А., Шаховская А.К. и др. Использование многокомпонентного функционального пищевого продукта у больных с синдромом раздраженного кишечника с запорами: результаты сравнительного контролируемого исследования // *Вопр. питания*. 2016. Т. 85. № 2. С. 84–91.

References

1. Kuznetsova G.G., Trushina E.N., Mustafina O.K. The influence of probiotic fermented milk products on the microbiocenosis of the colon, hematological parameters and cellular immunity of rats. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; (3): 31–6. (in Russian)
2. Cherkashin A.V., Kuznetsova G.G., Sheveleva S.A. The effect of lactobacillus strains used in the production of fermented milk products on foodborne infection pathogens. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; (3): 37–40. (in Russian)
3. Belyakova S.Yu., Krasnikova L.V. Synbiotic fermented milk products with vegetable fillers for feeding schoolchildren. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Economy and Environmental Management*. 2014; (1): 13. (in Russian)
4. Nakkarach A., Withayagiat U. Comparison of extracts produced from rice and malt extract using selected and encapsulated probiotic lactic acid bacteria. *Agriculture and Natural Resources*. 2018; 52 (5): 467–76.
5. Adesulu-Dahunsi A.T., Jeyaram K., Sanni A.I. Probiotic and technological properties of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria isolated from cereal-based nigerian fermented food products. *Food Control*. 2018; 92: 225–31.
6. Milk. Processing and storage: collective monograph. Moscow: Printing House of the Russian Academy of Sciences Publishing House; 2015: 480 p. (in Russian)
7. Donskaya G.A. Biotechnological optimization of the nutrient composition of fermented milk drink. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; (6): 74–80. (in Russian)
8. Musina O. N. Technological features of the joint fermentation of dairy and grain raw materials. *Vestnik altayskoy nauki [Bulletin of Altai Science]*. 2013; (3): 257–62. (in Russian)
9. Revyakina V.A., Larkova I.A., Kuvshinova E.D., et al. Phenotypes of food allergies in children. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 5 (1): 75–80. (in Russian)
10. Belmer S.V., Khavkin I.A. Gluten intolerance and indications for a gluten-free diet. *Vrach [Doctor]*. 2011; (5): 17–21. (in Russian)
11. Belmer S.V. Modern principles of celiac disease diet. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]*. 2012; 57 (6): 97–100. (in Russian)
12. Masalova V.V., Oboturova N.P. Prospects for the use of gluten-free plant materials in the production of food for dietary and preventive nutrition. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*. 2016; (3): 16–20. (in Russian)
13. Peyer L.C., Zannini E., Arendt E.K. Fermented cereals-based beverages. *Trends Food Sci Technol*. 2016; 54: 17–25.
14. Zhminchenko V.M., Gapparov M.M.G. Modern trends of research in nutrition and food hygiene. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2015; 84 (1): 4–14.
15. Makarkin D.V., Sokolova O.V., Fedotova O.B. Typological selection of starter cultures for milky-multigrain compositions. *Moloch-naya promyshlennost' [Dairy Industry]*. 2016; (7): 28–9. (in Russian)
16. Makarkin D.V., Sokolova O.V., Fedotova O.B. Features of the evaluation of organoleptic characteristics of fermented milk-multigrain products. *Kontrol' kachestva produktsii [Product Quality Control]*. 2018; (6): 53–8. (in Russian)
17. Sheybak V.M. Leucine, isoleucine, valine: the biochemical basis for the development of new drugs. Monograph. Grodno; 2014: 242 p. (in Russian)
18. Rudakov O.B., Polyansky K.K., Khodyreva O.E. Inulin: application and control of content in products. *Pererabotka moloka [Milk Processing]*. 2017; (2): 44–7. (in Russian)
19. Pilipenko V.I., Teplyuk D.A., Shakhovskaya A.K., et al. Use of a multicomponent functional food product in patients with irritable bowel syndrome with constipation: results of a comparative controlled study. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 85 (2): 84–91. (in Russian)

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

ГДЕ И КАК КУПИТЬ КНИГИ

115035, Москва, ул. Садовническая, д. 11, стр. 12

Отдел оптовых продаж (вузы + опт)

Тел.: (495) 921-39-07 (доб. 109, 112, 192, 143, 152);

моб.: (916) 876-90-59;

e-mail: opt@geotar.ru, iragor@geotar.ru, sa@geotar.ru

Отдел продаж медицинским училищам и колледжам

Тел./факс: (495) 228-09-74, 921-39-07 (доб. 138, 207, 252);

моб.: (926) 817-51-50, (985) 339-53-01;

e-mail: sales2@geotar.ru, zhernova@geotar.ru

Отдел розничных продаж и выставок

Тел./факс: (495) 921-39-07 (доб. 255, 280); моб.: (926) 168-42-16;

e-mail: bobyleva@medknigaservis.ru, gnezdilov@medknigaservis.ru

Интернет-магазин «Медкнигасервис»

Тел.: 8 (800) 555-99-92; www.medknigaservis.ru;

e-mail: bookpost@medknigaservis.ru;

доставка по всей России

Фирменные магазины (Москва)

М. «Фрунзенская», Комсомольский пр-т, д. 28, подъезд 3 (здание Московского дворца молодежи, вход в магазин со стороны Комсомольского проспекта). Ежедневно с 9 до 20 ч.

Тел.: (499) 685-12-47; моб.: (916) 877-06-84



М. «Новокузнецкая», «Третьяковская», ул. Садовническая, д. 13, стр. 11.

Ежедневно с 9 до 20 ч.

Тел.: (495) 921-39-07 (доб. 602, 603)



М. «Савёловская», ул. Сущёвский Вал, д. 9, стр. 1 (вход справа от Мебельного центра).

Ежедневно с 9 до 20 ч.

Тел.: (495) 921-39-07 (доб. 729); моб.: (985) 387-14-57

