

УДК 637.24.2

Поступила в редакцию 03.05.2024
Received 03.05.2024**З. В. Василенко, Т. Н. Болашенко, Е. Н. Кучерова***Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь***ХАРАКТЕРИСТИКА АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКОВ И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЖИРОВ ЖМЫХА ЛЬНЯНОГО**

Аннотация. Исследованы аминокислотный состав белков и жирнокислотный состав жиров жмыха льняного. Проведены расчеты аминокислотного сора и других коэффициентов биологической ценности белка (коэффициент утилитарности аминокислотного состава, показатель избыточности содержания незаменимых аминокислот, показатель сопоставимой избыточности, индекс незаменимых аминокислот). Охарактеризована переваримость белков жмыха льняного в сравнении с соевым жмыхом *in vitro*. Показано, что белок жмыха льняного характеризуется полным набором незаменимых аминокислот, переваримость белков жмыха льняного незначительно уступает белкам соевого жмыха, жирнокислотный состав жира характеризуется наибольшим содержанием α -линоленовой кислоты.

Ключевые слова: жмых льняной, аминокислотный состав, аминокислотный скор, показатели утилитарности, переваримость белков, жирнокислотный состав.

Z. V. Vasilenko, T. N. Bolashenko, E. N. Kucherova*Educational Institution “Belarusian State University of Food and Chemical Technologies”, Mogilev, Republic of Belarus***CHARACTERISTICS OF THE PROTEINS AMINO ACID COMPOSITION AND FATTY ACID COMPOSITION OF FLAXSEED CAKE FATS**

Abstract. The protein amino acid composition and fatty acid content of linseed cake fats have been studied. The amino acid score calculations and other protein biological value coefficients (the amino acid composition utility coefficient, the essential amino acids content redundancy index, the comparable redundancy index, the essential amino acids index) have been carried out. The flaxseed cake proteins digestibility in comparison with soy flour *in vitro* has been characterized. It has been shown that flaxseed cake protein has been characterized by a essential amino acids complete set, the flaxseed cake proteins digestibility is slightly inferior to soy flour proteins, the fatty acid composition of fat is characterized by the highest content of α -linolenic acid.

Keywords: linseed cake, amino acid composition, amino acid score, utility indicators, protein digestibility, fatty acid composition.

Введение. Согласно Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г. государственная политика в области обеспечения национальной продовольственной безопасности направлена на повышение обеспеченности населения всеми необходимыми питательными веществами [1]. Достижение этого возможно при условии наиболее полного использования сырья и веществ, находящихся в них.

Жмых льняной относится к побочным ресурсам растительного сырья отечественного производства [2, 3] и, по данным зарубежных авторов [4–11], представляет собой источник ценных питательных веществ, недостающих организму человека. Он имеет высокую энергетическую ценность, а также богатый состав микроэлементов и витаминов. Протеин льняного жмыха отличается высокой усваиваемостью и достаточно сбалансированным аминокислотным составом [4]. Согласно литературным данным, жмых льняной также характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в том числе омега-3 класса, — до 50 % от общей массовой доли жирных кислот [5].

Поскольку состав продуктов растительного происхождения зависит от ряда факторов, в том числе климатических, агротехнических и др., то целью работы явилось определение аминокислотного состава белков и жирнокислотного состава жиров в жмыхе, полученном из семян льна белорусской селекции.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов исследований в работе использована информация ряда доступных литературных источников [1-20].

Проведение лабораторных испытаний осуществляли с использованием следующих методов исследований:

- ♦ массовая доля белка по ГОСТ 25011-2017,
- ♦ аминокислотный состав с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии по МВИ.МН 1363-2000,
- ♦ массовая доля жира по ГОСТ 23042-2015,
- ♦ жирнокислотный состав методом газовой хроматографии по ГОСТ Р 55483-2013.

Определение аминокислотного сора и других коэффициентов и критериев биологической ценности белка — расчетным методом.

Расчет индекса незаменимых аминокислот (ИНАК), аминокислотного сора (АС, %), коэффициента утилитарности для каждой незаменимой аминокислоты (α), обобщающего коэффициента утилитарности аминокислотного состава (U), показателя сопоставимой избыточности (G) осуществляли по формулам, изложенным в [12].

Переваримость белков жмыха льняного и белков соевого жмыха определяли согласно методике, представленной в [13].

Объект исследований — жмых из семян льна белорусской селекции.

Результаты исследований и их обсуждение. В настоящее время наука о питании утверждает, что белок должен удовлетворять потребности организма в аминокислотах не только по количеству. Эти вещества должны поступать в организм в определенных соотношениях между собой, так как аминокислотный дисбаланс может приводить к нарушению процессов метаболизма.

Известно, что биологическая ценность белков зависит не только от содержания в них незаменимых аминокислот (НАК), но и от их соотношения [4].

Результаты исследований аминокислотного состава белков жмыха льняного представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика аминокислотного состава белков жмыха льняного
Table 1. Characteristics of the flaxseed cake proteins amino acid composition

Наименование аминокислоты	Содержание аминокислоты, г/100 г белка
Незаменимые аминокислоты	
Изолейцин	4,86±0,23
Лейцин	6,51±0,31
Лизин	4,89±0,23
Метионин	1,22±0,06
Фенилаланин	4,83±0,23
Треонин	3,09±0,15
Валин	4,51±0,22
Гистидин	2,66±0,13
Триптофан	1,27±0,06
Сумма незаменимых аминокислот	33,84
Заменимые аминокислоты	
Аспарагиновая кислота	9,42±0,63
Глютаминовая кислота	18,56±1,24
Серин	4,43±0,21
Глицин	9,16±0,61
Аланин	5,56±0,27
Аргинин	5,67±0,27
Пролин	7,50±0,50
Цистеин	1,03±0,05
Тирозин	2,62±0,13
Сумма заменимых аминокислот	63,95

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что белок жмыха льняного является полноценным, так как содержит все незаменимые аминокислоты. Суммарный удельный вес незаменимых и заменимых аминокислот в белках жмыха льняного составляет 33,84 г/100 г белка и 63,95 г/100 г белка соответственно.

Важным показателем, характеризующим биологическую ценность белка [14–16], является аминокислотный скор, определяемый отношением незаменимой аминокислоты в исследуемом белке к ее содержанию в белке, принимаемом за эталонный. Эталонный белок представляет собой белок, идеально сбалансированный по аминокислотному составу, который полностью удовлетворяет потребности человека в незаменимых аминокислотах. Наиболее актуальные данные приведены в докладе консультации экспертов ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) за 2011 год, опубликованном в 2013 году [15, 16].

Результаты расчета аминокислотного сора незаменимых аминокислот белков жмыха льняного представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика аминокислотного сора белков жмыха льняного
Table 2. Characteristics of the flaxseed cake proteins amino acid score

Наименование аминокислоты	«Идеальный» белок ФАО/ ВОЗ, г/100 г белка	Содержание аминокислоты в белках, г/100 г белка	Аминокислотный скор, %
Изолейцин	3,0	4,86	162,08
Лейцин	6,1	6,51	106,69
Лизин	4,8	4,89	101,81
Метионин+цистеин*	2,3	2,25	97,64
Фенилаланин+ тирозин*	4,1	7,45	181,74
Треонин	2,5	3,09	123,64
Валин	4,0	4,51	112,72
Гистидин	1,6	2,66	166,18
Триптофан ¹	0,66	1,28	193,24

¹ Данные по триптофану получены расчетным путем на основании имеющихся литературных данных по его содержанию в используемом сырье.

*Содержание данных аминокислот определяется в сумме, так как организм человека может получать из метионина — цистеин, из фенилаланина — тирозин.

Поэтому при недостаточном содержании в потребляемом белке цистеина (тирозина) потребность организма в метионине (фенилаланине) увеличивается, а при недостаточном содержании — значительно уменьшается. Цистеин и тирозин являются заменимыми лишь при условии достаточного поступления с пищей метионина и фенилаланина соответственно [17].

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что минимальный аминокислотный скор в белках жмыха льняного имеет метионин+цистеин (97,64 %). Аминокислотный скор по остальным аминокислотам составляет более 100 %.

Известно, что усвоение аминокислот зависит от определенной их сбалансированности в продукте. Поскольку возможность усвоения организмом незаменимых аминокислот предопределяется минимальным скором одной из них, то для характеристики их усвояемости был произведен расчет показателя утилитарности незаменимых аминокислот.

Расчетные величины показателей утилитарности незаменимых аминокислот белков жмыха льняного представлены на рис. 1.

Их данных, представленных на рис. 1, видно, что по показателю утилитарности незаменимые аминокислоты белков жмыха льняного можно расположить в следующей убывающей последовательности: метионин+цистеин (100 %) → лизин (95,91 %) → лейцин (91,52 %) → валин (86,62 %) → треонин (78,97 %) → изолейцин (60,24 %) → гистидин (58,76 %) → фенилаланин+тирозин (53,73 %) → триптофан (50,53 %).

Наименьшим показателем утилитарности аминокислот белков жмыха льняного обладает триптофан. Следовательно, именно эта незаменимая аминокислота в количественном отношении будет использоваться организмом человека наименее рационально.

Для более полной информативности и анализа данных, характеризующих биологическую ценность белков жмыха льняного, определили их аминокислотную сбалансированность. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

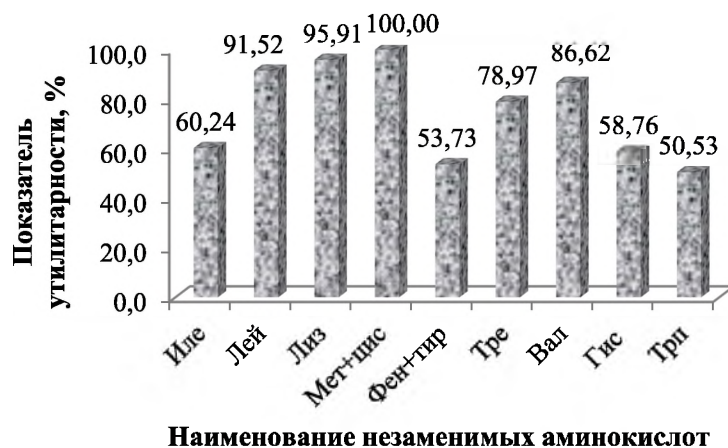


Рис. 1. Показатели утилитарности незаменимых аминокислот белков жмыха льняного
Fig. 1. Flaxseed cake proteins essential amino acids utility indicators

Таблица 3. Аминокислотная сбалансированность белков жмыха льняного
Table 3. Flaxseed cake proteins Amino acid balance

Наименование показателя	«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ	Белки жмыха льняного
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава, U	1,0	4,2
Показатель избыточности содержания незаменимых аминокислот, σ_n	0	1,38
Показатель сопоставимой избыточности, σ_e	0	0,014
Индекс незаменимых аминокислот, ИНАК	1	1,4

Известно, что для образования в организме человека необходимых белковых элементов, потребляемые в составе пищи белки должны обеспечивать его взаимосбалансированными количествами незаменимых аминокислот. Для характеристики этого показателя использовали коэффициент утилитарности аминокислотного состава (U), который характеризует сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталонному значению).

Чем выше значение коэффициента утилитарности, тем лучше сбалансированы аминокислоты в белке и тем рациональнее они могут быть использованы организмом. Значение данного коэффициента для белков жмыха льняного на 3,2 больше показателя «идеального» белка ФАО/ВОЗ.

Определение показателя избыточности содержания незаменимых аминокислот (σ_n), который для «идеального» белка равен 0, показало, что избыточное содержание незаменимых аминокислот для белков жмыха льняного составляет 1,38.

Коэффициент (показатель) сопоставимой избыточности характеризует суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых на анаболические нужды в таком количестве белка оцениваемого продукта. Чем меньше значение коэффициента сопоставимой избыточности, тем лучше сбалансированы незаменимые аминокислоты и тем рациональнее они могут быть использованы организмом. Определение показателя сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот (σ_e), который для «идеального» белка также равен 0, позволяет заключить, что в белках жмыха льняного значение данного показателя составляет 0,014. По индексу незаменимых аминокислот (ИНАК) белки жмыха льняного составляют 1,4, что на 0,4 больше «идеального» белка.

Анализ аминокислотной сбалансированности белков жмыха льняного показал, что они не являются идеально сбалансированными по незаменимым аминокислотам по отношению к «идеальному» белку ФАО/ВОЗ.

Приведенные выше характеристики аминокислотного состава белков важны и необходимы, но отражают лишь потенциальную возможность белков в удовлетворении в них потребностей организма человека, так как конечный результат зависит от особенностей структуры белка и атакующести его со стороны пищеварительных протеаз.

Поэтому были проведены исследования гидролиза белков жмыха льняного пищеварительными ферментами (пепсин, трипсин) *in vitro*.

Переваримость белков жмыха льняного *in vitro* определяли с помощью прибора, разработанного Покровским А. А. и Ертановым И. Д. Степень атакуемости белков, находящихся в составе продукта, оценивали по нарастанию продуктов гидролиза в результате ферментативного переваривания. Количество продуктов гидролиза белков определяли по методу Лоури [13].

На предприятиях мясоперерабатывающей промышленности в рецептурах мясных изделий используется соевая мука, в связи с этим считали необходимым определить переваримость белков жмыха льняного *in vitro* от продолжительности протеолиза в сравнении с белками соевого жмыха. Результаты исследований представлены на рис. 2.

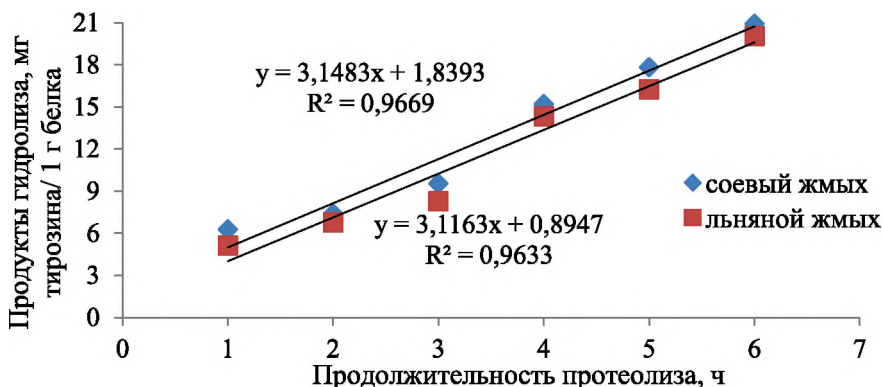


Рис. 2. Переваримость белков жмыха льняного и белков соевого жмыха *in vitro* от продолжительности протеолиза

Fig. 2. The flaxseed cake proteins and soy cake proteins *in vitro* digestibility dependence from the proteolysis duration

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что переваримость белков соевого жмыха составила $(20,93 \pm 0,63)$ мг тирозина на 1 г белка, а переваримость белков жмыха льняного — $(20,05 \pm 0,60)$ мг тирозина на 1 г белка. Это свидетельствует о большей доступности белков соевого жмыха к воздействию пищеварительных ферментов. Однако, переваримость белков жмыха льняного, являющегося побочным продуктом от переработки семян льна, незначительно уступает белкам соевого жмыха.

Дав полную характеристику белкам, в работе также исследовали жирнокислотный состав жиров жмыха льняного.

Жирнокислотный состав жиров жмыха льняного представлен в табл. 4.

Таблица 4. Жирнокислотный состав жиров жмыха льняного
Table 4. Linseed cake fatty acid composition

Наименование жирных кислот	Содержание жирных кислот, % от суммы жирных кислот
Насыщенные (НЖК):	11,1
миристиновая	$0,2 \pm 0,03$
пальмитиновая	$8,1 \pm 0,97$
стеариновая	$2,8 \pm 0,34$
Мононенасыщенные (МНЖК):	16,9
олеиновая	$16,9 \pm 2,03$
Полиненасыщенные (ПНЖК):	70,7
линолевая (омега-6)	$15,5 \pm 1,86$
α-линоленовая (омега-3)	$54,9 \pm 13,7$
γ-линоленовая (омега-6)	$0,2 \pm 0,04$
эйкозеновая	$0,1 \pm 0,03$
Всего:	100,00

Анализ данных, приведенных в табл. 4, показал, что жир жмыха льняного характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), общее количество

которых составляет 70,7 % от суммы жирных кислот. Обращает на себя внимание высокое содержание α -линоленовой кислоты (54,9 % от суммы жирных кислот), которая не синтезируется в организме и поступает только с пищей.

Биологическая роль α -линоленовой жирной кислоты в организме заключается в регулировании деятельности эндокринной и нервной систем; участии в процессах образования клеточных мембран, снижении риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, антиоксидантной активности» [18, 19].

Содержание олеиновой жирной кислоты (МНЖК) составило 16,9 % от общей суммы жирных кислот. Главная функция данных кислот — это нормализация обменных процессов в организме. При регулярном потреблении МНЖК уменьшается количество «плохого» холестерина в крови, улучшается тонус сосудов, снижается риск возникновения сердечно-сосудистых и аутоиммунных патологий [20].

Суточная потребность (СП) в α -линоленовой кислоте составляет 0,8–1,6 г/сут, удовлетворение СП составляет 70–30 %. Ежедневное потребление будет являться успешным механизмом предотвращения развития сердечно-сосудистых заболеваний [20].

Таким образом, высокое содержание α -линоленовой кислоты позволяет рекомендовать жмых льняной как ингредиент для производства функциональных мясных продуктов с целью профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

Заключение. Исследованы аминокислотный состав белков и жирнокислотный — жира жмыха льняного. Белок жмыха льняного характеризуется полным набором незаменимых аминокислот, из заменимых преобладающей аминокислотой является глутаминовая, которая усиливает вкус мяса. Лимитирующими аминокислотами являются метионин, триптофан и треонин. При этом минимальным скором характеризуется метионин+цистеин (97,64 %). Переваримость белков жмыха льняного *in vitro* составила 20,05 мг тирозина на 1 г белка, что незначительно уступает белкам соевого жмыха. Жирнокислотный состав жира жмыха льняного белорусской селекции характеризуется наибольшим содержанием α -линоленовой кислоты, ее значение в жмыхе льняном составляет 54,9 % от суммы жирных кислот.

Список использованных источников

1. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. [Электронный ресурс] / Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.12.2017 г. №962. — Режим доступа: <http://www.bgp.by/>. — Дата доступа: 23.03.2024.
2. Исследование состава льняного жмыха как нового ингредиента в производстве молочных продуктов / Н. С. Воронова, Л. С. Бередица // Современные тенденции технических наук: материалы IV междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2015 г.). — Казань: Бук, 2015. — С. 93–96.
3. Льняная мука и качество мясных рубленых полуфабрикатов / Г.В. Гуринович [и др.] // Мясная индустрия. — 2013. — №9. — С. 38–41.
4. Бегеулов, М. Ш. Технология хлебопечения с использованием льняного жмыха / М.Ш. Бегеулов, Е. О. Сычева // Известия ТСХА. — 2017. — №3. — С. 110–127.
5. Шульвинская, И. В. Композиционные белковые добавки из семян масличных и бахчевых растений / И. В. Шульвинская, О. А. Доля, О. В. Ширококорядова // Известия вузов. Пищевая технология. — 2007. — №5–6. — С. 40–42.
6. Ловкис, З. В. Применение клетчатки льняной как физиологически функционального ингредиента в производстве обогащенных пищевых концентратов / З.В. Ловкис, Ю.С. Усеня, М.Ю. Уложинова, Л.В. Филатова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя аграрных навук. — 2019. — Т. 7. — №3. — С. 368–378.
7. Томашева, Е. В. Использование льняной муки в рецептуре сухариков «Кантуччи» / Е. В. Томашева, А. Ф. Макарчиков, И. К. Колос, Е. Г. Букатко // Наука, питание и здоровье: материалы II Международного конгресса (Минск, 3–4 октября 2019 г.). — Минск : ИВЦ Минфина. — 2019. — С. 385–390.
8. Cócaro, E. S. The addition of golden flaxseed flour (*Linum usitatissimum* L.) in chicken burger: Effects on technological, sensory, and nutritional aspects / E. S. Cócaro, L. F. Laurindo, M. Alcantara, I. V. A. Martins, A. A. B. Junior, R. Deliza // Food Science and Technology International. — 2019. — Т. 26. — №2. — С. 105–112.
9. Султаева, Н. Л. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий / Н.Л. Султаева, В.С. Перминова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». — 2015, том 7. — №1. — 13 с.
10. Тылова, О. Ю. Разработка индустриальной технологии замороженных полуфабрикатов на основе льняной муки / О.Ю. Тылова, Н.В. Барсукова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2014. — №3. — С. 43–52.

11. Мисюра, К. А. Использование фасоли и льняной муки при производстве мясорастительных консервов / К.А. Мисюра, С.В. Шинкарева, Л.Ф. Григорян, Т.А. Гревцова // Все о мясе. — 2017. — №3. — С. 43–45.
12. Рогов, И. А. Химия пищи. Принципы формирования качества мясопродуктов / И.А. Рогов, А.И. Жаринов, М.П. Воякин. — СПб.: Издательство РАПП, 2008. — 340 с.
13. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / И.А. Глотова, И.А. Рогов — М.: Колос, 2001. — 376 с.
14. Национальная база данных продуктов питания (FoodData Central), созданная Министерством сельского хозяйства США (USDA). [Электронный ресурс]. — URL: <https://fdc.nal.usda.gov>
15. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of FAO Expert Consultation. — Rome: FAO, 2013. — 66 p.
16. Махинько, В. Н. Изменение представлений об аминокислотной формуле идеального белка / В.Н. Махинько, М.А. Прищепчук // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции. — Гродно : ГТАУ, 2017. — С. 102–104.
17. Молчанова, Е. Н. Оценка качества и значение пищевых белков / Е.Н. Молчанова, Г.М. Сусянок // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2013. — №1. — С.16–22.
18. Меренкова, С. П. Разработка технологии обогащенных мучных кондитерских изделий на основе использования продуктов переработки семян льна масличного / С.П. Меренкова, А.П. Колотов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». — 2017. — Т. 5, №2. — С. 49–59.
19. Драпкина, О. М. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты и возраст — ассоциированные заболевания: реалии и перспективы / О.М. Драпкина, Р.Н. Шепель // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. — 2015. — №11 (3). — С. 309–325.
20. Кипрушкина, Е. И. Инновационные технологии производства и хранения растительной продукции / Е.И. Кипрушкина // Материалы V Международной конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». — СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. — С. 350–353.

Информация об авторах

Василенко Зоя Васильевна, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси; заслуженный деятель науки Республики Беларусь, профессор кафедры технологии продукции общественного питания и мясопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: vzv0003@rambler.ru

Болашенко Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии продукции общественного питания и мясопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: tatyana-bola@yandex.ru

Кучерова Екатерина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продукции общественного питания и мясопродуктов учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: katya.1485@mail.ru

Information about authors

Vasilenko Zoja Vasilevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus; Honored Scientist of the Republic of Belarus, Professor of the Department of the Technology of Food Processing and Meat Products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: vzv0003@rambler.ru

Bolashenko Tatyana Nikolaevna, PhD (Engineering), Head of the Department of the Technology of Food Processing and Meat Products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: tatyana-bola@yandex.ru

Kucherova Ekaterina Nikolaevna, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of the Technology of Food Processing and Meat Products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: katya.1485@mail.ru