

## Изменение жирнокислотного состава рапсового и рыжикового жмыхов в процессе экструдирования и оценка их биологической эффективности

Яна В. Смольникова	1	ya104@yandex.ru	 0000-0002-8709-3822
Марина А. Янова	1	yanova.m@mail.ru	 0000-0003-4262-7015
Валентина Л. Бопп	1	vl_kolesnikova@mail.ru	 0000-0002-1312-7292
Александр В. Коломейцев	1	avk1978@list.ru	 0000-0002-2203-3415
Вера А. Ханипова	1	gasi.vera@yandex.ru	 0000-0002-3088-2628

1 Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы влияния процесса экструдирования на жирнокислотный состав продукции, полученной из жмыха крестоцветных масличных культур: рапса, рыжика. Жмыхи этих культур имеют широкий спектр применения в кормовых целях, что говорит об их высокой биологической ценности. Целью исследования являлась оценка биологической эффективности жмыхов рапса и рыжика до и после процесса экструдирования, на основании расчета коэффициента рациональности жирнокислотного состава. При проведении исследований после экструзионной обработки выявлено увеличение содержания насыщенных жирных кислот и снижение ненасыщенных. Отмечено снижение количества линоленовой кислоты, ее количество после экструзии снизилось на 2,24% в рапсовом жмыхе и на 2,63% в рыжиковом. Определено, что коэффициент ненасыщенности масел в жмыхах рапса и рыжика снижается после экструзионной обработки на 4 и 3 % для жмыхов рапса и рыжика соответственно. Расчет коэффициентов рациональности жирнокислотного состава показал увеличение биологической эффективности масел в рапсовом и рыжиковом жмыхах после экструзии. Сбалансированность жирнокислотного состава возрастала после экструзии на 0,07 долей единицы в рапсовом жмыхе и на 0,04 доли единицы в рыжиковом. Использование при переработке крестоцветных масличных культур метода экструзии позволяет расширить номенклатуру сырья для комбикормовой промышленности, получать корм, безопасный для скармливания животным и птице, не снижающий в процессе хранения своего качества и повышающий энергетическую ценность рациона, а также предоставляет возможности для разработки пищевых продуктов, с повышенным содержанием эссенциальных жирных кислот.

**Ключевые слова:** жирнокислотный состав, экструдирование, рапсовый жмых, холодное прессование, рыжик, масличные культуры

## Changes in the fatty acid composition of rapeseed and camelina oil cakes in the extrusion process and their biological effectiveness evaluation

Yana V. Smolnikova	1	ya104@yandex.ru	 0000-0002-8709-3822
Marina A. Yanova	1	yanova.m@mail.ru	 0000-0003-4262-7015
Valentina L. Bopp	1	vl_kolesnikova@mail.ru	 0000-0002-1312-7292
Alexander V. Kolomeytsev	1	avk1978@list.ru	 0000-0002-2203-3415
Vera A. Khanipova	1	gasi.vera@yandex.ru	 0000-0002-3088-2628

1 Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia

**Abstract.** The problems of extrusion process influence on the fatty acid composition of products obtained from the cake of cruciferous oilseeds (rapeseed, camelina) were considered in the article. Cakes of these crops have a wide range of uses for fodder purposes, which indicates their high biological value. The aim of this study was to evaluate the biological effectiveness of rape and camelina cakes before and after the extrusion process according to the calculation of the rationality coefficient of the fatty acid composition. An increase in the content of saturated fatty acids and a decrease in unsaturated fatty acids were revealed during studies after extrusion processing. A decrease in the amount of linolenic acid was also noted in the work. Its amount decreased by 2.24% in rapeseed cake and by 2.63% in camelina cake after extrusion. It was determined that the coefficient of unsaturation of oils in rapeseed and camelina cakes decreases after extrusion by 4 and 3% for rapeseed and camelina cakes, respectively. The calculation of the rationality coefficients of the fatty acid composition showed an increase in the biological efficiency of oils in rapeseed and camelina cake after extrusion. The balance of the fatty acid composition increased after extrusion by 0.07 fractions of a unit in rapeseed cake and by 0.04 fractions of a unit in camelina. The use of the extrusion method in the processing of cruciferous oilseeds makes it possible to expand the range of raw materials for the feed industry, obtain feed that is safe for feeding animals and poultry, does not reduce its quality during storage and increases the energy value of the diet, and provides opportunities for the development of food products with increased content of essential fatty acids as well.

**Keywords:** fatty acid composition, extrusion, rapeseed cake, cold pressing, camelina, oilseeds

Для цитирования

Смольникова Я.В., Янова М.А., Бопп В.Л., Коломейцев А.В., Ханипова В.А. Изменение жирнокислотного состава рапсового и рыжикового жмыхов в процессе экструдирования и оценка их биологической эффективности // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 197–203. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-197-203

For citation

Smolnikova Ya.V., Yanova M.A., Bopp V.L., Kolomeytsev A.V., Khanipova V.A. Changes in the fatty acid composition of rapeseed and camelina oil cakes in the extrusion process and their biological effectiveness evaluation. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 197–203. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-197-203

## Введение

В решении проблемы протеиновой и энергетической полноценности рационов животных и человека важное место, наряду с бобовыми растениями, отводится масличным культурам. Среди масличных культур заметную роль в качестве альтернативных источников белка и энергии играют представители семейства капустных, в частности рапс и рыжик.

Рапс является второй по распространенности масличной культурой в мире после сои в 2019 году, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО). Рапс выращивается в основном из-за высокого содержания масла и благоприятного жирнокислотного состава [1].

Жмыхи из масличных семян семейства капустных (*Brassicaceae*), как побочные продукты получения масла холодным прессованием, являются недоиспользуемым источником белка, а также содержат до 18% высоконасыщенного масла.

Основной интерес к рапсовому жмыху проявляется в производстве кормов для животных и аквакультуры [2–6]. Только небольшая часть используется в рационе человека.

В производстве получают рапсовое масло, жмых (при холодном прессовании) или рапсовую муку (при горячем прессовании), которая содержит около 38–45% белка [7].

Изучение перспектив использования жмыхов из масличных семян семейства капустных в пищевых производствах проводилось многими исследователями, включая процессы изоляции белков, снижение антипитательных компонентов, исследование физико-химических и функциональных характеристик получаемых продуктов, а также питательную ценность [8, 9].

Для повышения биологической полноценности кормов из масличных культур семейства капустных их подвергают различным способам технологической обработки, в том числе экструзионной, которая позволяет инактивировать антипитательные вещества, повысить доступность протеина, углеводов, липидов и биологически активных веществ рациона. Высокотемпературный кратковременный процесс, используемый во время экструзии, обеспечивает безопасность продукта без существенного изменения пищевой ценности [10].

Экструзия – одна из наиболее универсальных и коммерчески успешных технологий переработки, широко применяемая в производстве макаронных изделий, снеков, крекеров и аналогов мяса.

Несмотря на большое количество исследований процессов экструдирования жмыхов,

основные работы посвящены изучению влияния различных параметров экструзии на изменения белковых, углеводных компонентов и витаминов, в то время как липидному составу экструдатов уделено значительно меньше внимания.

**Цель работы** – являлось изучение влияния процесса экструдирования на жирнокислотный состав рапсового и рыжикового жмыхов, а также оценка биологической эффективности липидной составляющей полученных экструдатов.

## Материалы и методы

Для проведения исследований были приготовлены партии жмыха из рапса и рыжика массой 100 кг. Первая партия представляла собой контрольные образцы: жмых рапсовый, жмых рыжиковый, полученные из маслосемян (беззрелых, низкоглюкозинолатных сортов) методом холодного однократного прессования, вторая – жмых обработанный в экструдере.

Экструдирование жмыхов проводилось на одношнековом экструдере ЭК-100. Длительности прохождения жмыхов через экструдер составляло 20–30 секунд, а под воздействием максимальной температуры 6–9 с. Экструдирование осуществлялось при температуре 130–150° С, давлении 30 атмосфер. Влажность материала составляла 15%.

Общую масличность определяли в полуавтоматическом экстракторе фирмы VЕLP модели SER 148/6 по методу Рэндалла в соответствии с ICC 136 «Определение содержания жира в зерне и зернопродуктах». В качестве растворителя применялся диэтиловый эфир. Жирнокислотный состав определяли на газовом хроматографе фирмы Perkin Elmer (США) в соответствии с ГОСТ 30418–96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава.

Все данные представлены как средние арифметические значения и их стандартные отклонения из 3 независимых измерений.

Для оценки биологической эффективности липидного компонента жмыхов использовали критерий рациональности жирнокислотного состава относительно эталонного липида рекомендуемого ФАО/ВОЗ для взрослых (в г/100 г. липидов): сумма насыщенных жирных кислот (НЖК) – 30, сумма мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) – 60, сумма полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) – 10.

Коэффициент рациональности является показателем нутриентной адекватности сырья и готовых продуктов питания относительно жирнокислотной сбалансированности их липидов и рассчитывается по формуле [11]:

$$R_L = \left[ \prod_{i=1}^n \left( \frac{L_i}{L_{gi}} \right)^{\text{sign} \left( 1 - \frac{L_i}{L_{gi}} \right)} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

где:  $R_L$  – коэффициент рациональности жирнокислотного состава, дол. ед.;  $L_i$  – массовая доля  $i$ -ой жирной кислоты в сырье или продукте, г / 100 г. липидов;  $L_{gi}$  – массовая доля  $i$ -ой жирной кислоты, соответствующая физиологически необходимой норме (эталону), г / 100 г. липидов;  $i = 1$  соответствует сумме насыщенных жирных кислот,  $i = 2$  – сумме мононенасыщенных жирных кислот,  $i = 3$  – сумме полиненасыщенных жирных кислот.

При  $n = 3$  рациональность жирнокислотного состава оценивается по суммам насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот.

### Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования для оценки влияния процесса экструзии на липидный состав рапсового и рыжикового жмыхов было определено остаточное содержание масла. Содержание остаточного масла в контрольном образце рапсового жмыха составило 15,49%,

после экструзии – 13,91% в пересчете на сухое вещество. Аналогично для рыжикового жмыха, маслянистость контрольного образца составила 11,75%, экструдированного образца – 10,52%.

Установлено снижение содержания остаточного масла в жмыхах после экструзии на 1,58% у рапса и на 1,23% у рыжика.

Полученные данные согласуются с литературными и могут объясняться тем фактом, что высокая температура и давление приводит к образованию комплексов липид–крахмал и липид–белок, что может приводить к снижению выхода масла из экструдированных продуктов [10]. Это явление также зависит от параметров процесса экструзии. Имеются сведения об образовании амилозо-липидного комплекса при средней температуре (от 110 до 140 °С) и низкой влажности. В условиях низкой влажности амилоза имеет более гибкую  $\alpha$ -1,4 – глюкозную цепь, связанную с гидрофобными участками, которые взаимодействуют с алифатическими хвостами липидов, образуя, таким образом, комплекс V-амилозы и снижая содержание липидов [9].

Для определения биологической эффективности липидных компонентов экструдированных жмыхов был проведен анализ жирнокислотного состава остаточного масла (таблица 1).

Таблица 1.

Жирнокислотный состав остаточного масла в экструдированных жмыхах рапса и рыжика

Table 1.

Fatty acid composition of oil in extruded rapeseed and camelina cake

Жирная кислота Fatty acid	Содержание, % о суммы жирных кислот   Content, % of the amount of fatty acids			
	жмых рапсовый rapeseed cake		жмых рыжиковый camelina cake	
	контроль control	экструдат extrudate	контроль control	экструдат extrudate
Каприловая C8:0   Caprylic C8:0	0,002	0,004	0,003	0,005
Каприновая C10:0   Capric C10:0	0,016	0,018	0,015	0,046
Лауриновая C12:0   Lauric C12:0	0,008	0,009	0,003	0,004
Миристиновая C14:0   Myristic C14:0	0,051	0,080	0,054	0,086
Миристолеиновая C14:1   Myristoleic C14:1	0,005	0,003	0,025	0,022
Пентадекановая C15:0   Pentadecanoic C15:0	0,024	0,050	0,101	0,190
Пальмитиновая C16:0   Palmitic C16:0	4,658	5,841	5,583	6,785
Пальмитолеиновая C16:1   Palmitoleic C16:1	0,394	0,287	0,041	0,040
Маргариновая C17:0   Heptadecanic C17:0	0,127	0,185	0,018	0,049
Стеариновая C18:0   Stearic C18:0	1,859	3,300	2,080	3,192
Олеиновая C18:1   Oleic C18:1	59,800	58,421	14,582	13,708
Линолевая C18:2 (ω-6)   Linoleic C18:2 (ω-6)	20,750	19,843	18,202	18,261
Линоленовая C18:3 (ω-3)   Linolenic C18:3 (ω-3)	9,786	7,755	38,311	35,682
Арахидиновая C20:0   Arachidonic C20:0	0,590	0,681	1,193	1,275
Гондоиновая C20:1 ω 9   Eicosenoic C20:1 ω 9	1,218	2,216	12,697	12,658
Эйкозодиеновая C20:2   Eicosadienoic C20:2	0,067	0,043	2,001	1,990
Арахидоновая C20:4 (ω-6)   Arachidonic C20:4 (ω-6)	0,008	0,007	1,616	1,533
Бегеновая C22:0   Behenic C22:0	0,338	0,537	0,257	0,540
Эруковая C22:1   Erucic C22:1	0,087	0,042	2,830	2,085

Как показали результаты, процесс экструзии в некоторой степени снизил содержание ненасыщенных жирных кислот. Наиболее значимые изменения наблюдались в концентрации линоленовой кислоты, ее количество после экструзии снизилось на 2,24% в рапсовом жмыхе и на 2,63% в рыжиковом. Для оценки изменения жирнокислотного состава жмыхов

рапса и рыжика был проведен расчет суммарного содержания насыщенных жирных кислот (НЖК), суммарное содержание моно- и полиненасыщенных жирных кислот, а также коэффициент ненасыщенности (отношение суммы ненасыщенных ЖК к сумме насыщенных ЖК). Результаты представлены на рисунке 1.

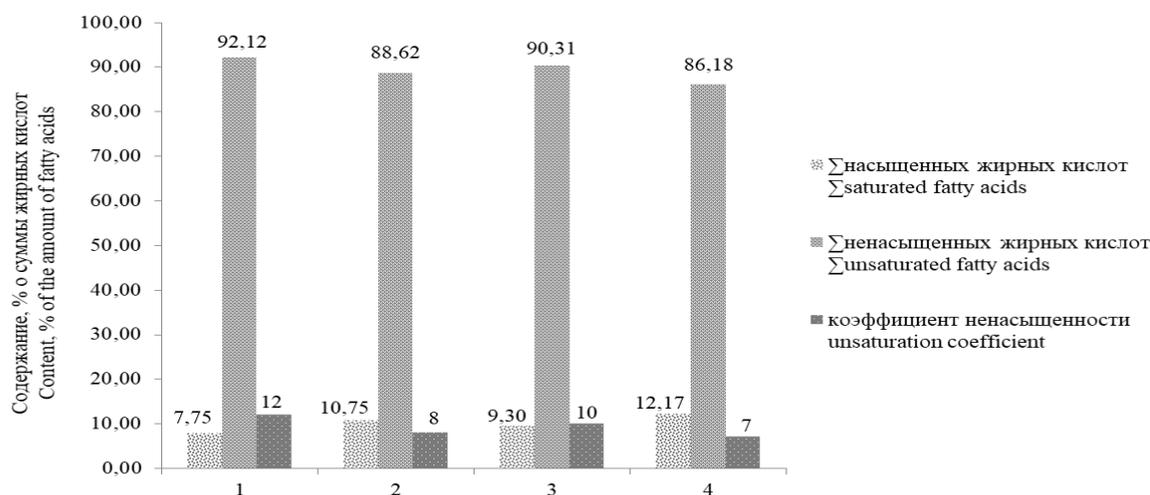


Рисунок 1. Изменение содержания насыщенных, ненасыщенных жирных кислот и коэффициента ненасыщенности масел в рапсовом и рыжиковом жмыхах после экструдирования: 1 – жмых рапсовый, контроль; 2 – жмых рапсовый, экструдат; 3 – жмых рыжиковый, контроль; 4 – жмых рыжиковый, экструдат

Figure 1. Changes in the content of saturated, unsaturated fatty acids and the unsaturated coefficient of oils in rapeseed and camelina cake after extrusion: 1 – rapeseed cake, control; 2 – rapeseed cake extrudate, 3 – camelina cake, control; 4 – camelina cake, extrudate

В результате проведенных расчетов установлено увеличение суммы насыщенных жирных кислот на 3% в рапсовом жмыхе после экструдирования, на 2,87% в рыжиковом жмыхе. Также, наблюдалось снижение коэффициента ненасыщенности после экструзии на 4% и 3% для рапсового и рыжикового жмыхов соответственно.

Биологическая эффективность жиров и масел оценивается по сбалансированности их жирнокислотного состава. Для оценки биологической эффективности липидного компонента жмыхов рапса и рыжика после экструдирования для них были рассчитаны коэффициенты рациональности жирнокислотного состава  $R_L$  (рисунок 2).

Из полученных результатов можно заключить, что коэффициент рациональности жирнокислотного состава масел рапсового и рыжикового жмыхов увеличивается после экструдирования. Более существенные изменения наблюдаются у рапсового жмыха, после экструзии сбалансированность его жирнокислотного возрастает на 0,07 долей единицы. В рыжиковом жмыхе после экструзии коэффициент рациональности жирнокислотного состава увеличился на 0,04 доли единицы.

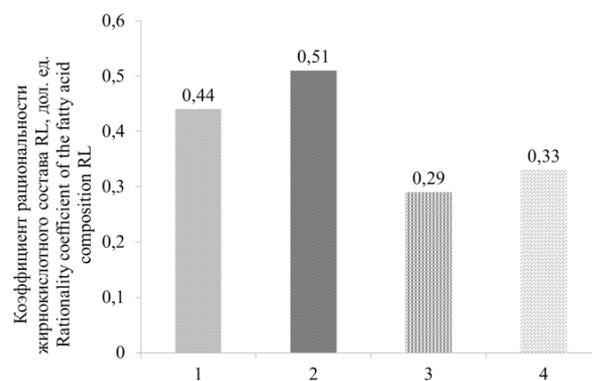


Рисунок 2. Изменение коэффициентов рациональности жирнокислотного состава масел в рапсовом и рыжиковом жмыхах после экструдирования: 1 – жмых рапсовый, контроль; 2 – жмых рапсовый, экструдат; 3 – жмых рыжиковый, контроль; 4 – жмых рыжиковый, экструдат

Figure 2. Changing the rationality coefficients of the fatty acid composition of oils in rapeseed and camelina cake after extrusion: 1 – rapeseed cake, control; 2 – rapeseed cake extrudate, 3 – camelina cake, control; 4 – camelina cake, extrudate

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что жирнокислотный состав рыжикового и рапсового жмыхов достаточно стабилен. В процессе экструзии зафиксировано незначительное снижение количества остаточного масла в жмыхах. Как показали результаты, процесс экструзии в некоторой степени снизил содержание ненасыщенных жирных кислот, в то время как пропорции насыщенных жирных кислот были увеличены. Наименее устойчивыми к воздействию высоких температур и давлению являются полиненасыщенные жирные кислоты. Полученные данные согласуются с результатами зарубежных исследований [12]. Вероятным объяснением является тот факт, что чем выше ненасыщенность жирной кислоты, тем легче она подвергается гидролизу и окислению в период экструзии, кроме того, так как в полиненасыщенные жирные кислоты имеют сопряженные двойные связи, возможно протекание реакции изомеризации из цис-формы в транс-форму, тем самым уменьшая их содержание в масле.

Несмотря на снижение количества эссенциальных жирных кислот в рапсовом и рыжиковом жмыхах, экструзионная обработка повышает общую биологическую эффективность остаточного масла. Высокая степень ненасыщенности,

благодаря содержанию ПНЖК, обуславливает довольно низкий коэффициент рациональности жирнокислотного состава рапсового и рыжикового жмыхов (0,44 и 0,29 соответственно). Из-за снижения количества линолевой, линоленовой, гондоиновой жирных кислот в процессе экструзии, ненасыщенность масла снижается, увеличивая, таким образом, общую сбалансированность и коэффициент рациональности жирнокислотного состава до 0,51 в рапсовом жмыхе и 0,33 в рыжиковом.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что процесс экструзии не оказывает негативного влияния на жирнокислотный состав рапсового и рыжикового жмыхов.

Благодаря высокому содержанию ПНЖК экструдированные рапсовый и рыжиковый жмыхи могут быть рекомендованы в качестве добавки в пищевые продукты с большим количеством насыщенных жиров (например, мясные изделия) для повышения их пищевой ценности.

### Благодарности

Результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Создание комплексного высокотехнологичного производства растительного масличного сырья и продуктов его переработки в условиях Сибири».

### Литература

- 1 FAOSTAT. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>
- 2 Yun H.M., Lei X.J., Lee S.I., Kim I.H. Rapeseed meal and canola meal can partially replace soybean meal as a protein source in finishing pigs // J. Appl. Anim. Res. 2018. V. 46. P. 195–199. doi:10.1080/09712119.2017.1284076
- 3 Kaczmarek P., Korniewicz D., Lipiński K., Mazur-Kuśnerek M. The effect of hydrothermally processed soybean and rapeseed-based diets on performance, meat and carcass quality characteristics in growing-finishing pigs // Ann. Anim. Sci. 2019. V. 19. №. 4. P. 1083–1097. doi: 10.2478/aoas-2019-0045
- 4 Boldea I.M., Dragomir C., Gras M.A., Ropotă M. Inclusion of rapeseed and pumpkin seed cakes in diets for Murciano-Granadina goats alters the fatty acid profile of milk // South African Journal Of Animal Science. 2021. V. 51(2). P. 262–270. doi: 10.4314/sajas.v51i2.14
- 5 Torres-Pitarchae A., McCormack U.M., Beattie V.E., Magowan E. et. al. Effect of phytase, carbohydrase, and protease addition to a wheat distillers dried grains with solubles and rapeseed based diet on in vitro ileal digestibility, growth, and bone mineral density of grower-finisher pigs // Livestock Science. 2018. V. 216. P. 94–99. doi: 10.1016/j.livsci.2018.07.003
- 6 Ядрищенская О.А. Использование рыжикового жмыха в рационе птицы экономически оправдано // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 58. С. 55–59. doi: 10.18411/lj-02-2020-71
- 7 Zahari I., Ferawati F., Purhagen J.K., Rayner M. et. al. Development and characterization of extrudates based on rapeseed and pea protein blends using high-moisture extrusion // Cooking. Foods. 2021. V. 10. P. 2397. doi: 10.3390/foods10102397
- 8 Fetzer A., Müller K., Schmid M., Eisner P. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties – A review // Ind. Crop. Prod. 2020. V. 158. P. 112986. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112986
- 9 Arêas J.A.G., Rocha-Olivieri C.M., Marques M.R. Extrusion cooking: Chemical and nutritional changes // Encyclopedia of food and health. Cambridge MA: Academic Press. 2016. P. 569–575. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00266-X
- 10 William L., Pangzhen Zh., Danyang Yi., Zhongxiang F. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts // An overview Comprehensive reviews in food science and food safety. 2020. V. 19. P. 218–246. doi:10.1111/1541-4337.12514
- 11 Донскова Л., Беляев Н., Лейберова Н. Жирнокислотный состав липидов как показатель функционального назначения продуктов из мяса птицы: теоретические и практические аспекты // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 1. С. 4–10. doi: 10.29141/2500-1922-2018-6-1-1
- 12 Liting W., Wan L., Wenjuan J., Linlu M. et. al. Effect of barrel temperature and moisture content on the composition and oxidative stability of extruded palm oil in an oil-starch model system // LWT – Food Science and Technology. 2018. V. 98. P. 398–405. doi:10.1016/j.lwt.2018.08.019

13 Лисицын А.Н., Быкова С.Ф., Давиденко Е.К., Ефименко С.Г. Перспективы развития сырьевой базы производства новых типов пищевых растительных масел // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2013. №. 2. С. 9-13.

14 Жигальцова Д.А., Брошко Д.В. Оценка биологической эффективности жирнокислотного состава жмыха рыжика ярового // Инновационные тенденции развития российской науки. 2020. С. 326-329.

15 Поморова Ю.Ю., Пятавский В.В., Бескорвайный Д.В., Серова Ю.М. и др. Общй химический и аминокислотный состав семян наиболее распространенных масличных культур семейства brassicaceae (обзор) // Масличные культуры. 2021. №. 3 (187). С. 78-90.

16 Thacker P., Widyaratne G. Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat–soybean meal-based diets // Archives of animal nutrition. 2012. V. 66. №. 5. P. 402-415. doi: 10.1080/1745039X.2012.710082

17 Rodríguez-Rodríguez M. F., Sánchez-García A., Salas J.J., Garcés R. et al. Characterization of the morphological changes and fatty acid profile of developing *Camelina sativa* seeds // Industrial Crops and Products. 2013. V. 50. P. 673-679. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.042

18 Juodka R., Juska R., Juskiene V., Leikus R. et al. The effect of feeding with hemp and Camelina cakes on the fatty acid profile of duck muscles // Archives animal breeding. 2018. V. 61. №. 3. P. 293-303. doi: 10.5194/aab-61-293-2018

19 Razi Z., Kahrizi D., Rostami-Ahmadvandi H. Effects of climate on fatty acid profile in *Camelina sativa* // Cellular and Molecular Biology. 2018. V. 64. №. 5. P. 91-96. doi: 10.14715/cmb/2018.64.5.15

20 Blume R., Rakhmetov D. Comparative analysis of oil fatty acid composition of Ukrainian spring *Camelina sativa* breeding forms and varieties as a perspective biodiesel source // Author contributions 4. 2017. P. 13.

### References

- 1 FAOSTAT. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>
- 2 Yun H.M., Lei X.J., Lee S.I., Kim I.H. Rapeseed meal and canola meal can partially replace soybean meal as a protein source in finishing pigs. *J. Appl. Anim. Res.* 2018. vol. 46. pp. 195–199. doi:10.1080/09712119.2017.1284076
- 3 Kaczmarek P., Korniewicz D., Lipiński K., Mazur-Kuśnerek M. The effect of hydrothermally processed soybean and rapeseed-based diets on performance, meat and carcass quality characteristics in growing-finishing pigs. *Ann. Anim. Sci.* 2019. vol. 19. no. 4. pp. 1083–1097. doi: 10.2478/aoas.2019-0045
- 4 Boldea I.M., Dragomir C., Gras M.A., Ropotă M. Inclusion of rapeseed and pumpkin seed cakes in diets for Murciano-Granadina goats alters the fatty acid profile of milk. *South African Journal Of Animal Science.* 2021. vol. 51(2). pp. 262–270. doi: 10.4314/sajas.v51i2.14
- 5 Torres-Pitarche A., McCormack U.M., Beattie V.E., Magowan E. et al. Effect of phytase, carbohydrase, and protease addition to a wheat distillers dried grains with solubles and rapeseed based diet on in vitro ileal digestibility, growth, and bone mineral density of grower-finisher pigs. *Livestock Science.* 2018. vol. 216. pp. 94–99. doi: 10.1016/j.livsci.2018.07.003
- 6 Yadrishchenskaya O.A. The use of camelina cake in the diet of poultry is economically justified. *Trends in the development of science and education.* 2020. no. 58. pp. 55–59. doi: 10.18411/lj.02-2020-71 (in Russian).
- 7 Zahari I., Ferawati F., Purhagen J.K., Rayner M. et al. Development and characterization of extrudates based on rapeseed and pea protein blends using high-moisture extrusion. *Cooking. Foods.* 2021. vol. 10. pp. 2397. doi: 10.3390/foods10102397
- 8 Fetzer A., Müller K., Schmid M., Eisner P. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties – A review. *Ind. Crop. Prod.* 2020. vol. 158. pp. 112986. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112986
- 9 Arêas J.A.G., Rocha-Olivieri C.M., Marques M.R. Extrusion cooking: Chemical and nutritional changes. *Encyclopedia of food and health.* Cambridge MA: Academic Press. 2016. pp. 569–575. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00266 X
- 10 William L., Pangzhen Zh., Danyang Yi., Zhongxiang F. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts. *An overview Comprehensive reviews in food science and food safety.* 2020. vol. 19. P. 218–246. doi:10.1111/1541-4337.12514
- 11 Donskova L., Belyaev N., Leiberova N. Fatty acid composition of lipids as an indicator of the functional purpose of poultry meat products: theoretical and practical aspects. *Nutrition Industry.* 2018. vol. 3. no. 1. pp. 4–10. doi: 10.29141/2500-1922-2018-6-1-1 (in Russian).
- 12 Liting W., Wan L., Wenjuan J., Linlu M. et al. Effect of barrel temperature and moisture content on the composition and oxidative stability of extruded palm oil in an oil-starch model system. *LWT – Food Science and Technology.* 2018. vol. 98. pp. 398–405. doi:10.1016/j.lwt.2018.08.019
- 13 Lisitsyn A.N., Bykova S.F., Davidenko E.K., Efimenko S.G. Prospects for the development of the raw material base for the production of new types of edible vegetable oils. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats.* 2013. no. 2. pp. 9-13. (in Russian).
- 14 Zhigaltsova D.A., Broshko D.V. Evaluation of the biological effectiveness of the fatty acid composition of spring camelina oilcake. *Innovative trends in the development of Russian science.* 2020. pp. 326-329. (in Russian).
- 15 Pomorova Yu.Yu., Pyatovsky V.V., Beskorvainy D.V., Serova Yu.M. et al. General chemical and amino acid composition of seeds of the most common oilseeds of the brassicaceae family (review). *Oil cultures.* 2021. no. 3 (187). pp. 78-90. (in Russian).
- 16 Thacker P., Widyaratne G. Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat–soybean meal-based diets. *Archives of animal nutrition.* 2012. vol. 66. no. 5. pp. 402-415. doi: 10.1080/1745039X.2012.710082
- 17 Rodríguez-Rodríguez M.F., Sánchez-García A., Salas J.J., Garcés R. et al. Characterization of the morphological changes and fatty acid profile of developing *Camelina sativa* seeds. *Industrial Crops and Products.* 2013. vol. 50. pp. 673-679. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.042

18 Juodka R., Juska R., Juskiene V., Leikus R. et al. The effect of feeding with hemp and Camelina cakes on the fatty acid profile of duck muscles. Archives animal breeding. 2018. vol. 61. no. 3. pp. 293-303. doi: 10.5194/aab-61-293-2018

19 Razić Z., Kahrizi D., Rostami-Ahmadvandi H. Effects of climate on fatty acid profile in Camelina sativa. Cellular and Molecular Biology. 2018. vol. 64. no. 5. pp. 91-96. doi: 10.14715/cmb/2018.64.5.15

20 Blume R., Rakhmetov D. Comparative analysis of oil fatty acid composition of Ukrainian spring Camelina sativa breeding forms and varieties as a perspective biodiesel source. Author contributions 4. 2017. pp. 13.

#### Сведения об авторах

**Яна В. Смольникова** к.т.н., доцент, кафедра технологии консервирования и пищевой биотехнологии, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, ya104@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8709-3822>

**Марина А. Янова** к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопечкарного, кондитерского и макаронного производств, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, yanova.m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4262-7015>

**Валентина Л. Бопп** к.б.н., доцент, проректор по науке, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, vl\_kolesnikova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1312-7292>

**Александр В. Коломейцев** к.б.н., доцент, начальник управления науки и инноваций, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, avk1978@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2203-3415>

**Вера А. Ханипова** к.б.н., доцент, директор научно-исследовательского испытательного центра, Красноярский государственный аграрный университет, пр-т Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия, gasi.vera@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3088-2628>

#### Вклад авторов

**Яна В. Смольникова** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат  
**Марина А. Янова, Вера А. Ханипова** предложили методику проведения эксперимента и организовали производственные испытания

**Валентина Л. Бопп, Александр В. Коломейцев** консультация в ходе исследования

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Yana V. Smolnikova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, canning technology and food biotechnology department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia, ya104@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8709-3822>

**Marina A. Yanova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of bakery, confectionery and pasta production department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia, yanova.m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4262-7015>

**Valentina L. Bopp** Cand. Sci. (Biol.), associate professor, vice-rector for science, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia, vl\_kolesnikova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1312-7292>

**Alexander V. Kolomeytsev** Cand. Sci. (Biol.) associate professor, head of the department of science and innovation, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia, avk1978@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2203-3415>

**Vera A. Khanipova** Cand. Sci. (Biol.) associate professor, director of the research and testing center, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Av., 90 Krasnoyarsk, 660049, Russia, gasi.vera@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3088-2628>

#### Contribution

**Yana V. Smolnikova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Marina A. Yanova, Vera A. Khanipova** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

**Valentina L. Bopp, Alexander V. Kolomeytsev** consultation during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/10/2021	После редакции 15/11/2021	Принята в печать 01/12/2021
Received 27/10/2021	Accepted in revised 15/11/2021	Accepted 01/12/2021