

УДК 664.64

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА БЕЛКОВЫЙ КОМПЛЕКС ЛЬНЯНОГО ЖМЫХА

© *М.А. Янова¹, Н.В. Снегирева^{2*}, С.В. Хижняк¹*

¹ *Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90,
Красноярск, 660049 (Россия)*

² *Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
ул. Республики, 7, Тюмень, 625003 (Россия), e-mail: snegirevanv@gausz.ru*

В качестве объектов исследования использовали продукты переработки семян льна масличного сортов Август, Исклюльский, Легур, Сокол и ЛМ-98, выращенные на опытном поле Государственного аграрного университета Северного Зауралья г. Тюмени (2020 г.). Льняной жмых получен «холодным» отжимом масла методом прессования, экструдированный льняной жмых – путем пропускания через экструдер предварительно полученного жмыха. Аминокислотный состав определен методом капиллярного электрофореза на автоматическом аминокислотном анализаторе марки КАПЕЛЬ. Определено 14 аминокислот, из которых 8 незаменимых. Общая сумма незаменимых аминокислот выше у сорта Сокол и Август (льняной жмых –18.19 и 10.48%, экструдированный льняной жмых – 9.92 и 7.29% соответственно). Из обнаруженных незаменимых аминокислот в льняном жмыхе наибольшим содержанием отличается: лизин (от 2.86 до 1.08%), фенилаланин (от 3.82 до 1.22%), лейцин и изолейцин (3.88–1.49%), валин (4.00–1.13%), треонин (2.30–1.52%) и, соответственно, в экструдированном льняном жмыхе: лизин (от 1.60 до 0.72%), фенилаланин (от 1.98 до 1.06%), лейцин и изолейцин (1.96–1.08%), валин (1.93–0.912%), треонин (1.77–0.81%). Полученные результаты позволяют рекомендовать экструдированный льняной жмых для расширения ассортимента хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова: семена льна, льняной жмых, экструдат, белки, аминокислотный состав.

Введение

В области формирования здорового питания важным аспектом является повышение качества продуктов питания путем внедрения в рацион новой продукции, обогащенной растительным сырьем [1–4]. Растительное сырье содержит в своем составе белки, углеводы, липиды, минеральные вещества, витамины, органические кислоты, а также обладает высокими питательными, вкусовыми и лечебно-профилактическими свойствами [5, 6].

Лен представляет особый интерес благодаря своему компонентному составу. Семена льна являются богатым источником нутриентов и биологически активных веществ, необходимых человеку для поддержания жизнедеятельности. Они содержат компоненты, способные защитить организм человека от онкологических заболеваний, заболеваний сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. По химическому составу семена льна характеризуются как диетический продукт. В качестве основных активных веществ выступают протеины, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты, полисахариды и витамины [7–11].

Главной задачей пищевой промышленности является сохранение и улучшение пищевой ценности и

Янова Марина Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
e-mail: yanova.m@mail.ru

Снегирева Наталья Владимировна – заведующая лабораторией кафедры технологии продуктов питания,
e-mail: snegirevanv@gausz.ru

Хижняк Сергей Витальевич – доктор биологических наук, профессор, e-mail: skhizhnyak@yandex.ru

потребительских качеств растительного сырья в процессе технологической обработки [12–14]. В настоящее время все большую популярность для обработки пищевого сырья набирает технология экструзии. Одним из основных направлений развития экструзионной обработки является создание функциональных и лечебных продуктов питания

* Автор, с которым следует вести переписку.

на базе отходов перерабатывающих производств, малоиспользуемого растительного сырья, которые бы могли решить проблему дефицита большинства полезных веществ в рационе питания населения [15–19].

Белки – важная часть нашего питания, поскольку в организме человека не могут синтезироваться все необходимые аминокислоты и часть из них поступает с белковой пищей. Экструзия вызывает структурное разворачивание молекулы белка с разрывами ионных, дисульфидных и водородных связей естественной третичной структуры. Денатурация белка приводит к увеличению количества свободных аминокислот и, как следствие, к повышению усвояемости белка организмом человека [20].

С этой точки зрения актуальным является использование вторичных продуктов переработки семян льна, что будет способствовать организации безотходного производства масложировой промышленности и обеспечению предприятий пищевой отрасли перспективным компонентом для расширения ассортимента и повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Цель исследования – определить влияние экструзионной обработки на изменение аминокислотного состава белкового комплекса льняного жмыха.

Экспериментальная часть

Исследования проведены в Красноярском государственном аграрном университете. Семена льна масличного сортов Август, Исилькульский, Легур, Сокол и ЛМ-98 выращены на опытном поле Государственного аграрного университета Северного Зауралья г. Тюмени (2020 г.). Почва опытного поля – чернозем выщелоченный, маломощный, тяжелосуглинистый.

В качестве объектов исследования использовали образцы измельченных жмыхов из семян льна указанных сортов, полученные «холодным» отжимом масла методом прессования, а также измельченные экструдаты, полученные путем пропускания через экструдер зерновой ЭК-100 предварительно полученного жмыха.

Аминокислотный состав определен методом капиллярного электрофореза на автоматическом аминокислотном анализаторе марки КАПЕЛЬ согласно методике измерения массовой доли аминокислот [ГОСТ Р 55569-2013]. Метод основан на разделении в кварцевом капилляре под действием электрического поля ионных форм аминокислот и на их детектировании по собственному поглощению в ультрафиолетовой области. Идентификацию и количественное определение анализируемых аминокислот проводят с помощью установленного программного обеспечения. Количественное определение белка проводили по методу Кьельдаля [21]. Статистическую значимость различий между содержанием аминокислот в вариантах «льняные жмыхи» и «экструдированные льняные жмыхи» определяли с помощью парного двухвыборочного t-теста. Связь между показателями проверяли с помощью корреляционного анализа.

Обсуждение результатов

В результате проведенного исследования определена массовая доля белка в продуктах переработки семян льна (табл. 1.) Массовая доля белковых веществ в льняных жмыхах варьируется от 39.03 до 31.55%, в экструдатах из льняного жмыха – 33.39–21.57%. В среднем доля белка в экструдированном льняном жмыхе снижается на 7.69%, что свидетельствует, о том, что процесс экструзионной обработки увеличивает количество водорастворимых белков.

Методом капиллярного электрофореза определен аминокислотный состав белковых веществ измельченных льняных жмыхов и экструдированных льняных жмыхов (табл. 2, 3). Полученные данные показывают, что белки продуктов переработки льна представлены полным набором незаменимых и наиболее часто встречающихся заменимых аминокислот. Содержание аминокислот варьируется в зависимости от сорта, что доказывает межсортные отличия льна по содержанию белкового комплекса.

Таблица 1. Содержание белка в продуктах переработки льна, %

№	Наименование образца	Белок, %
1	Измельченный жмых с. Сокол	39.03
2	Измельченный экструдат из жмыха с. Сокол	33.39
3	Измельченный жмых с. ЛМ-98	31.55
4	Измельченный экструдат из жмыха с. ЛМ-98	24.96
5	Измельченный жмых с. Исилькульский	34.10
6	Измельченный экструдат из жмыха с. Исилькульский	29.44
7	Измельченный жмых с. Легур	36.61
8	Измельченный экструдат из жмыха с. Легур	29.74
9	Измельченный жмых с. Август	36.24
10	Измельченный экструдат из жмыха с. Август	21.57

Таблица 2. Содержание незаменимых аминокислот в продуктах переработки льна, %

Аминокислота, м.д. в 100 мг, %	Наименование образца									
	Измельченный жмых с. Сокол	Измельченный экструдат из жмыха с. Сокол	Измельченный жмых с. ЛМ-98	Измельченный экс- трудат из жмыха с. ЛМ-98	Измельченный жмых с. Исикульский	Измельченный экс- трудат из жмыха с. Исикульский	Измельченный жмых с. Легур	Измельченный экс- трудат из жмыха с. Легур	Измельченный жмых с. Август	Измельченный экструдат из жмыха с. Август
Лизин	2.86	1.60	1.08	0.72	1.21	1.10	1.20	1.02	1.65	0.99
Фенилаланин	3.82	1.98	1.22	1.06	1.68	1.54	1.58	1.40	2.05	1.43
Лейцин + изолейцин	3.88	1.96	1.49	1.08	1.68	1.57	1.81	1.41	2.08	1.47
Метионин	1.30	0.64	0.61	0.43	0.85	0.61	0.76	0.46	0.83	0.60
Валин	4.00	1.93	1.24	0.97	1.13	0.93	1.33	0.91	1.82	1.54
Треонин	2.30	1.77	1.67	0.89	1.52	0.85	1.66	0.81	2.01	1.22
Триптофан	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Σ	18.19	9.92	7.34	5.20	8.10	6.64	8.38	6.05	10.48	7.29

Таблица 3. Содержание заменимых аминокислот в продуктах переработки льна, %

Аминокислота, м.д. в 100 мг, %	Наименование образца									
	Измельченный жмых с. Сокол	Измельченный экструдат из жмыха с. Сокол	Измельченный жмых с. ЛМ-98	Измельченный экс- трудат из жмыха с. ЛМ-98	Измельченный жмых с. Исикульский	Измельченный экс- трудат из жмыха с. Иси- кульский	Измельченный жмых с. Легур	Измельченный экс- трудат из жмыха с. Легур	Измельченный жмых с. Август	Измельченный экс- трудат из жмыха с. Август
Аргинин	4.60	4.42	2.41	1.52	3.00	2.05	3.33	1.93	3.93	2.53
Тирозин	1.09	1.06	0.69	0.64	1.04	0.84	0.94	0.79	1.21	0.97
Пролин	1.48	3.38	1.14	1.29	0.98	1.07	1.23	1.51	1.41	1.57
Цистин	2.55	4.79	0.81	1.35	1.35	2.53	0.78	3.23	1.94	3.58
Аспаргиновая кислота + аспаргин	3.91	1.54	2.05	0.87	1.07	0.62	1.83	0.91	1.66	1.21
Глутаминовая кислота + глутамин	1.31	2.34	0.58	0.73	0.62	1.07	0.91	1.83	1.21	1.66
Гистидин	1.86	0.98	0.65	0.55	0.78	0.68	0.88	0.68	1.06	0.61
Σ	16.80	18.51	8.33	6.95	8.84	8.86	9.90	10.88	12.42	12.13

Суммарная масса незаменимых аминокислот преобладает в продуктах переработки льна сортов Сокол и Август (льняной жмых – 18.19 и 10.48%, экструдированный льняной жмых – 9.92 и 7.29% соответственно). И, наоборот, продукты, полученные из семян сорта ЛМ-96, характеризуются низким содержанием незаменимых аминокислот (льняной жмых – 7.34%, экструдированный льняной жмых – 5.20%).

В исследуемых образцах льняного жмыха содержится больше незаменимых аминокислот: лизина (от 2.86 до 1.08%), фенилаланина (от 3.82 до 1.22%), лейцина и изолейцина (3.88–1.49%), валина (4.00–1.13%), треонина (2.30–1.52%) и, соответственно, в экструдатах: лизина (от 1.60 до 0.72%), фенилаланина (от 1.98 до 1.06%), лейцина и изолейцина (1.96–1.08%), валина (1.93–0.912%), треонина (1.77–0.81%). И в меньшей степени содержится метионина (1.30–0.61%), триптофана (0.04–0.03%) в льняном жмыхе и, соответственно, в экструдированном льняном жмыхе: метионина (0.64–0.43), триптофана (0.05–0.04%).

Установлено, что экструзия оказала избирательное влияние на аминокислотный состав. Экструзионная обработка в меньшей степени приводит к количественному изменению незаменимых аминокислот – фенилаланина и валина; заменимых – пролина. Аминокислоты, для которых установлены статистически значимые различия между вариантами льняных жмыхов и экструдированных льняных жмыхов, представлены на рисунках 1, 2. Следует отметить, что экструзионная обработка повышает содержание незаменимой аминокислоты триптофана (значимость различий $p < 0.05$) и снижает долю лизина, лейцина (изолейцина) ($p < 0.05$), метионина ($p = 0.01$) и треонина ($p < 0.001$). По заменимым аминокислотам наблюдается увеличение глутаминовой кислоты (глутамин) ($p < 0.05$) и цистина ($p < 0.01$), снижение тирозина, аспаргиновой кислоты (аспаргина), гистидина ($p < 0.05$) и аргинина ($p < 0.01$).

Связь между показателями изучали с помощью корреляционного анализа. В таблицах 4 и 5 представлены статистически значимые ($p < 0.05$) коэффициенты корреляции между аминокислотами в льняном жмыхе и экструдированном льняном жмыхе, указывающие на сильную связь показателей. В экструдированном льняном жмыхе зависимость содержания триптофана от лизина, фенилаланина, лейцина и изолейцина сильная и отрицательная.

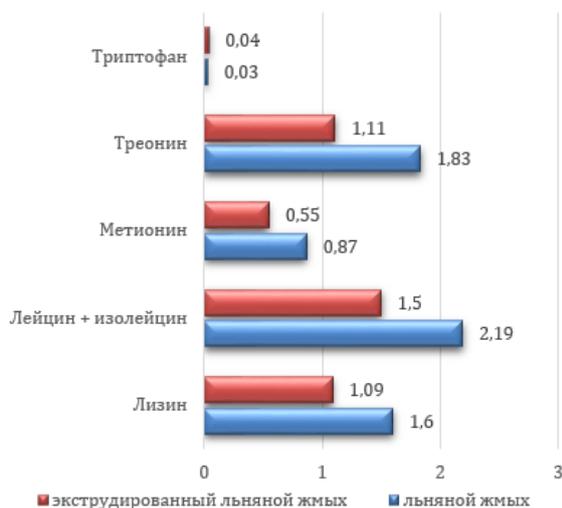


Рис. 1. Влияние экструзии на содержание незаменимых аминокислот продуктов переработки льна, %



Рис. 2. Влияние экструзии на содержание заменимых аминокислот продуктов переработки льна, %

Таблица 4. Корреляционные связи между показателями, характерные только для льняного жмыха (показаны только статистически значимые коэффициенты корреляции)

Показатель	Аргинин	Цистин	Аспаргиновая кислота + аспаргин	Глутаминовая кислота + глутамин	Гистидин	Лизин	Фенилаланин	Лейцин + изолейцин	Метионин
Глутаминовая кислота + глутамин	0.958	–	–	–	–	–	–	–	–
Гистидин	–	0.888	0.879	–	–	–	–	–	–
Лизин	–	–	0.883	–	–	–	–	–	–
Лейцин + изолейцин	–	–	0.907	–	–	–	–	–	–
Метионин	0.879	0.883	–	–	0.963	0.957	0.983	0.966	–
Валин	–	–	–	–	0.986	0.992	0.981	0.994	0.936
Треонин	–	0.883	–	0.906	0.920	0.933	0.893	0.900	–

Таблица 5. Корреляционные связи между показателями, характерные только для экструдированного льняного жмыха (показаны только статистически значимые коэффициенты корреляции)

Показатель	Аргинин	Тирозин	Цистин	Аспаргиновая кислота + аспаргин	Лизин	Фенилаланин	Лейцин + изолейцин
Аргинин	–	–	–	–	–	–	–
Тирозин	0.879	–	–	–	–	–	–
Цистин	–	0.943	–	–	–	–	–
Глутаминовая кислота + глутамин	–	–	0.968	–	–	–	–
Гистидин	–	–	–	–	–	–	–
Фенилаланин	–	0.886	–	–	–	–	–
Лейцин + изолейцин	–	0.901	0.895	–	–	–	–
Валин	0.922	–	–	–	–	–	–
Треонин	–	–	–	0.933	–	–	–
Триптофан	–	–	–	–	-0.938	-0.968	-0.978
Пролин	0.962	–	–	–	–	–	–

Выводы

Получены данные по содержанию белкового комплекса продуктов переработки льна. Обнаружено 14 аминокислот, из которых 8 незаменимых. Общая сумма обнаруженных незаменимых аминокислот выше у сорта Сокол и Август (льняной жмых – 18.19 и 10.48%, экструдированный льняной жмых – 9.92 и 7.29% соответственно). Из обнаруженных незаменимых аминокислот в льняном жмыхе наибольшим содержанием отличается: лизин (от 2.86 до 1.08%), фенилаланин (от 3.82 до 1.22%), лейцин и изолейцин (3.88–1.49%), валин (4.00–1.13%), треонин (2.30–1.52%) и, соответственно, в экструдированном льняном жмыхе: лизин (от 1.60 до 0.72%), фенилаланин (от 1.98 до 1.06%), лейцин и изолейцин (1.96–1.08%), валин (1.93–0.912%), треонин (1.77–0.81%).

Экструзионная обработка оказывает избирательное влияние на аминокислотный состав. Экструзия повышает содержание незаменимой аминокислоты триптофана (значимость различий $p < 0.05$) и снижает долю лизина, лейцина (изолейцина) ($p < 0.05$), метионина ($p = 0.01$) и треонина ($p < 0.001$). По заменимым аминокислотам наблюдается увеличение глутаминовой кислоты (глутамина) ($p < 0.05$) и цистина ($p < 0.01$), снижение тирозина, аспаргиновой кислоты (аспаргина), гистидина ($p < 0.05$) и аргинина ($p < 0.01$).

Экструзия оказывает минимальное воздействие на льняной жмых за счет относительно низкой температуры и кратковременности воздействия. Технология обработки позволяет минимизировать потери биологически активных веществ, аминокислоты при этом не разрушаются. Полученные результаты позволяют рекомендовать экструдированный льняной жмых для расширения ассортимента хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Список литературы

1. Снегирева Н.В. Использование растительного сырья в производстве мучных кондитерских изделий // Вестник КрасГАУ. 2021. №3 (168). С. 144–149. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-144-149.
2. Беспалова О.В. Инновации в технологии мучных кондитерских изделий // Хлебопродукты. 2018. №3. С. 54–57.
3. Резниченко И.Ю., Чистяков А.М., Рензьева Т.В., Рензьев А.О. Разработка рецептур мучных кондитерских изделий функционального назначения // Хлебопродукты. 2019. №6. С. 40–43.
4. Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Yu.F., Dzobelova V.B. Application efficiency of new raw materials in the production of flour confectionery products with increased nutritional value // AGRITECH-III-2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 8 (548). Pp. 82–91. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082091.
5. Паршутина И.Г., Батурина Н.А., Власова М.В. Кексы с добавками нетрадиционного растительного сырья // Вестник ОрелГИЭТ. 2012. №4(22). С. 169–174.
6. Вершинина О.Л., Деревенко В.В., Милованова Е.С. Производство хлеба повышенной пищевой ценности, обогащенного тыквенным жмыхом // Хлебопродукты. 2010. №11. С. 42–43.
7. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits // Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 2015. Vol. 31 (1). Pp. 42–51.
8. Soni R.P., Katoch M., Kumar A., Verma P. Flaxseed – composition and its health benefits // Research in Environment and Life Sciences. 2016. Vol. 9 (3). Pp. 310–316. DOI: 10.13140/RG.2.2.35208.93448.
9. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. 2014. Vol. 2(8). Pp. 10–45.
10. Parikh M., Maddaford T.G., Austria J.A., Aliani M., Neticadan T., Pierce G.N. Dietary Flaxseed as a Strategy for Improving Human Health // Nutrients. 2019. Vol. 11 (5). P. 1171. DOI: 10.3390/nu11051171.
11. Ganorkar P.M., Jain R.K. Flaxseed – a nutritional punch // International Food Research Journal. 2013. Vol. 20(2). Pp. 519–525.
12. Фролова Л.Н., Василенко В.Н., Шевцов А.А., Драган И.В., Михайлова Н.А. Стабилизация качества семян льна для использования их в хлебопечении // Хлебопродукты. 2018. №7. С. 47–49.
13. Мартинчик А.Н., Шариков А.Ю. Влияние экструзии на сохранность аминокислот и пищевую ценность белка // Вопросы питания. 2015. Т. 84. №3. С. 13–26.
14. Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Yu.F. Introduction of innovative technology for the production of textured products from grain raw materials // AGRITECH-III-2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548(2). 022104. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022104.
15. Аксенова О.И., Алексеев Г.В., Маслова К.С. Основные тенденции развития экструзионной техники и технологии // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. Барнаул, 2019. С. 589–592.
16. Шалтумаев Т.Ш., Могильный М.П., Сигарева М.А. Использование продуктов переработки семян льна для производства изделий повышенной пищевой ценности // Известия вузов. Пищевая технология. 2015. №5-6. С. 42–45.
17. Лихачева О.И., Лопашева Н.Л., Горелик О.В., Беляева Н.В. Использование семян льна в хлебопечении // Молодежь и наука. 2016. №10. С. 4–14.

18. Янова М.А. Влияние экструдирования на пищевую и биологическую ценность зерна // Вестник КрасГАУ. 2011. №3 (54). С. 167–170.
19. Smolnikova Ya.V., Yanova M.A., Vopp V.L., Olentsova J.A. Assessment of the seed safety indicators from oilseed cruciferous crops in the organization of complex processing technology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Pp. 22–61. DOI: 10.1088/1755-1315/315/2/022061.
20. Шмалько Н.А., Беликова А.В., Росляков Ю.Ф. Использование экструдированных продуктов в хлебопечении // Фундаментальные исследования. 2007. №7. С. 90–92.
21. Разумов В.А. Справочник лаборанта-химика. М., 1986. 304 с.

Поступила в редакцию 30 августа 2021 г.

После переработки 14 января 2022 г.

Принята к публикации 14 апреля 2022 г.

Для цитирования: Янова М.А., Снегирева Н.В., Хижняк С.В. Влияние экструзионной обработки на белковый комплекс льняного жмыха // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 253–259. DOI: 10.14258/jcrpm.20220210127.

Yanova M.A.¹, Snegireva N.V.^{2}, Khizhnyak S.V.¹* THE EFFECT OF EXTRUSION PROCESSING ON THE PROTEIN COMPLEX OF FLAXSEED CAKE

¹ *Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049 (Russia)*

² *State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, ul. Respubliki, 7, Tyumen, 625003 (Russia), e-mail: snegirevanv@gausz.ru*

As objects of research, we used the products of processing of oil flax seeds of the varieties August, Isilkulsky, Legur, Sokol and LM-98, grown on the experimental field of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen (2020). Flaxseed cake is obtained by "cold" pressing of oil by pressing, extruded flaxseed cake by passing the previously obtained cake through the extruder. The amino acid composition was determined by capillary electrophoresis on an automatic amino acid analyzer of the KAREL brand.

14 amino acids have been identified, of which 8 are irreplaceable. The total amount of essential amino acids is higher in the Sokol and August varieties (linseed cake – 18.19 and 10.48%, extruded linseed cake – 9.92 and 7.29%, respectively). Of the essential amino acids found in flaxseed cake, the highest content differs: lysine (from 2.86 to 1.08%), phenylalanine (from 3.82 to 1.22%), leucine and isoleucine (3.88–1.49%), valine (4.00–1.13%), threonine (2.30–1.52%) and, accordingly, in extruded flaxseed cake: lysine (from 1.60 to 0.72 %), phenylalanine (from 1.98 up to 1.06 %), leucine and isoleucine (1.96–1.08%), valine (1.93–0.912%), threonine (1.77–0.81%). The results obtained allow us to recommend extruded flaxseed cake for expanding the range of bakery and flour confectionery products.

Keywords: flax seeds, flaxseed cake, extrudate, proteins, amino acid composition.

* Corresponding author.

References

1. Snegireva N.V. *Vestnik KrasGAU*, 2021, no. 3 (168), pp. 144–149. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-144-149. (in Russ.).
2. Bespalova O.V. *Khleboprodukty*, 2018, no. 3, pp. 54–57. (in Russ.).
3. Reznichenko I.Yu., Chistyakov A.M., Renzyayeva T.V., Renzyayev A.O. *Khleboprodukty*, 2019, no. 6, pp. 40–43. (in Russ.).
4. Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Yu.F., Dzobelova V.B. *AGRITECH-III-2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 8 (548), pp. 82–91. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082091.
5. Parshutina I.G., Baturina N.A., Vlasova M.V. *Vestnik OrelGIET*, 2012, no. 4(22), pp. 169–174. (in Russ.).
6. Vershinina O.L., Derevenko V.V., Milovanova Ye.S. *Khleboprodukty*, 2010, no. 11, pp. 42–43. (in Russ.).
7. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 2015, vol. 31 (1), pp. 42–51.
8. Soni R.P., Katoch M., Kumar A., Verma P. *Research in Environment and Life Sciences*, 2016, vol. 9 (3), pp. 310–316. DOI: 10.13140/RG.2.2.35208.93448.
9. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. *Austin J. Nutri Food Sci.*, 2014, vol. 2(8), pp. 10–45.
10. Parikh M., Maddaford T.G., Austria J.A., Aliani M., Netticadan T., Pierce G.N. *Nutrients*, 2019, vol. 11 (5), p. 1171. DOI: 10.3390/nu11051171.
11. Ganorkar P.M., Jain R.K. *International Food Research Journal*, 2013, vol. 20(2), pp. 519–525.
12. Frolova L.N., Vasilenko V.N., Shevtsov A.A., Dragan I.V., Mikhaylova N.A. *Khleboprodukty*, 2018, no. 7, pp. 47–49. (in Russ.).
13. Martinchik A.N., Sharikov A.Yu. *Voprosy pitaniya*, 2015, vol. 84, no. 3, pp. 13–26. (in Russ.).
14. Yanova M.A., Sharopatova A.V., Roslyakov Yu.F. *AGRITECH-III-2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 548(2), 022104. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022104.
15. Aksenova O.I., Alekseyev G.V., Maslova K.S. *Tekhnologii i oborudovaniye khimicheskoy, biotekhnologicheskoy i pishchevoy promyshlennosti: materialy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Technologies and equipment for the chemical, biotechnological and food industry: materials of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Barnaul, 2019, pp. 589–592. (in Russ.).
16. Shaltumayev T.Sh., Mogil'nyy M.P., Sigareva M.A. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2015, no. 5-6, pp. 42–45. (in Russ.).
17. Likhacheva O.I., Lopayeva N.L., Gorelik O.V., Belyayeva N.V. *Molodezh' i nauka*, 2016, no. 10, pp. 4–14. (in Russ.).
18. Yanova M.A. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no. 3 (54), pp. 167–170. (in Russ.).
19. Smolnikova Ya.V., Yanova M.A., Bopp V.L., Olentsova J.A. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, pp. 22–61. DOI: 10.1088/1755-1315/315/2/022061.
20. Shmal'ko N.A., Belikova A.V., Roslyakov Yu.F. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2007, no. 7, pp. 90–92. (in Russ.).
21. Razumov V.A. *Spravochnik laboranta-khimika*. [Handbook of a laboratory chemist]. Moscow, 1986, 304 p. (in Russ.).

Received August 30, 2021

Revised January 14, 2022

Accepted April 14, 2022

For citing: Yanova M.A., Snegireva N.V., Khizhnyak S.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 253–259. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210127.

