

УДК 633.854.78

Изучение фракционирования подсолнечного шрота при различных способах измельчения

И. В. КРЫЛОВА^{1,2*}, д-р техн. наук А. В. ФЕДОРОВ^{1,2}¹Университет ИТМО²Всероссийский НИИ жиров

*E-mail: irinakrylova1987@gmail.com

Статья посвящена исследованию фракционного состава и содержания сырого протеина в продуктах механического фракционирования подсолнечного шрота. Для нашей страны особую актуальность имеет рациональное использование белковых продуктов из семян подсолнечника, потенциал которых пока еще существенно недооценен. В статье изучен метод механического фракционирования шрота подсолнечника и описаны варианты его проведения. Целью статьи было сравнение двух способов измельчения подсолнечного шрота и продуктов, полученных после фракционирования измельченных образцов. Эффективность фракционирования определяется выходом целевого продукта, его составом и механическими свойствами. Измельчение шрота проводили двумя способами: на роторно-ножевом измельчителе и на кулачковой мельнице. Фракционирование продуктов измельчения проводили на ситах с разным диаметром отверстий. Содержание сырого протеина определяли по методу Кьельдаля, а содержание сырой клетчатки по методу Геннеберга — Штомана. Распределение размеров частиц в целевом продукте определяли методом лазерной дифракции. Все приведенные в статье результаты работ выполнены с использованием современных аналитических приборов и методов исследований. Изучены массовые выходы отдельных фракций шрота с разным размером частиц после механического отсева. Определены содержание сырого протеина и сырой клетчатки в каждой из фракций. Показана возможность получения из подсолнечного шрота фракции с повышенным содержанием сырого протеина. Для данной фракции изучено распределение размеров частиц, влияющее на возможность ее использования. Данная фракция после дополнительной обработки может быть использована как ингредиент мучных изделий.

Ключевые слова: подсолнечный шрот, сухое фракционирование, сырой протеин, сырая клетчатка, размер частиц, измельчитель, мельница.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 29.01.2024, одобрена после рецензирования 22.03.2024, принята к печати 13.05.2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-56-61

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Крылова И. В., Федоров А. В. Изучение фракционирования подсолнечного шрота при различных способах измельчения. // Вестник Международной академии холода. 2024. № 3. С. 56–61. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-56-61

Sunflower meal fractionation using various crushing techniques

I. V. KRYLOVA^{1,2*}, D. Sc. A. V. FEDOROV^{1,2}¹ITMO University²All-Russian Research Institute of Fats

*E-mail: irinakrylova1987@gmail.com

The article concerns the study of the fractional composition and crude protein content in the products of mechanical fractionation of sunflower meal. For our country, the rational use of protein products from sunflower seeds, the potential of which is still significantly underestimated, is of particular relevance. The article examines the method of mechanical fractionation of sunflower meal and describes options for its implementation. The aim of the article was to compare two methods of grinding sunflower meal and products obtained after fractionation of crushed samples. The efficiency of fractionation is determined by the yield of the target product, its composition and mechanical properties. The meal was crushed in two ways: using a rotary knife grinder and a cam mill. Fractionation of grinding products was carried out by sieves with hole diameters. The crude protein content was determined using the Kjeldahl method, and the crude fiber content using the Henneberg — Stoman method. The particle size distribution in the target product was determined by laser diffraction. All the results presented in the article were obtained using modern analytical instruments and research methods. The mass yields of individual meal fractions with different particle sizes after mechanical sieving were studied. The content of crude protein and crude fiber in each fraction was determined. The possibility of obtaining a fraction with a high content of crude protein from sunflower meal has been shown. For this fraction, the particle size distribution, which

affects the possibility of its use, has been studied. This fraction, after additional processing, can be used as an ingredient in flour products.

Keywords: sunflower meal, dry fractionation, crude protein, crude fiber, particle size, grinder, mill.

Article info:

Received 29/01/2024, approved after reviewing 22/03/2024, accepted 13/05/2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-56-61

Article in Russian

For citation:

Krylova I. V., Fedorov A. V. Sunflower meal fractionation using various crushing techniques. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2024. No 3. p. 56-61. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-56-61

Введение

В 2023 г. производство подсолнечника в мире составило 56,4 млн тонн [1], по сравнению с 2022 г., когда было произведено 52,4 млн тонн. Из этого количества на долю Российской Федерации приходится 17,5 млн тонн, или 31 % мирового производства. Для сравнения, Европейский союз в целом производит 10,7 млн тонн. Таким образом, Российская Федерация является крупнейшим производителем подсолнечника в мире. Кроме того, в России подсолнечник является основной масличной культурой. По данным Минсельхоза России [2], валовой сбор масличных культур в 2023 г. составил 24 млн тонн. Более 70 % из этого количества занимает подсолнечник, остальное — соя, рапс, лен и горчица. При переработке семян подсолнечника на масло образуются побочные продукты — жмыхи и шроты. Прессовый способ извлечения масла приводит к получению до 75 % жмыха от массы сырья, а наиболее распространенный экстракционный способ — до 60 % шрота от массы сырья [3]. Подсолнечный шрот используется главным образом в кормовых целях, однако благодаря ценному составу этого сырья перспективна его переработка на пищевые ингредиенты. Подсолнечный шрот содержит до 50 % сырого протеина, 29–52% углеводов и до 3 % фенольных соединений, обладающих антиоксидантными свойствами [4]. Питательная ценность белка определяется аминокислотным профилем и его соответствием требованиям ФАО/ВОЗ. Семена подсолнечника могут быть источником глутамина и глутаминовой кислоты, аспарагина и аспарагиновой кислоты, а также аргинина и цистеина [3]. Подсолнечный шрот, по сравнению с соевым шротом, отличается повышенным количеством серосодержащих аминокислот, особенно метионина, но низким уровнем лизина. Содержание остальных незаменимых аминокислот, кроме лизина, соответствует требованиям ФАО/ВОЗ [5]. Таким образом, актуальной является проблема получения белковых продуктов пищевого качества из подсолнечного шрота.

Одним из основных препятствий к использованию подсолнечного шрота является присутствие остатков лузги, состоящей из неперевариваемой клетчатки [6]. В зависимости от состава исходного сырья подсолнечный шрот может содержать 20–49 % сырой клетчатки (Sentis2022). Клетчатка в большом количестве значительно снижает переваримость белка в составе подсолнечного шрота, так как не может перерабатываться пищеварительными ферментами. Также присутствие нерастворимых волокон препятствует усвоению микроэлементов,

особенно двухвалентных катионов (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}), образуя с ними прочные связи [7].

Сухое фракционирование позволяет отделить белковые компоненты растительного сырья от небелковых. Этот способ позволяет получать белковые продукты с более высоким выходом, чем влажные способы, но с меньшей концентрацией сырого протеина [8]. Процесс сухого фракционирования эффективно применялась на различных видах растительного сырья, в том числе и масличного [7]. Этот процесс включает предварительное измельчение сырья и дальнейшую его классификацию на две и более фракции, отличающиеся по составу. Сухое фракционирование может проводиться в одну, две и более стадии, если проводится повторное измельчение и классификация. Процесс сухого фракционирования не требует применения водных растворов, органических растворителей и сушки готовых продуктов. Недостатком сухого фракционирования является относительно невысокий выход сырого протеина по сравнению с экстракционными методами, и его повышение является главной задачей при оптимизации процесса. Для разделения измельченного сырья на фракции применяют рассев на ситах различной конструкции, воздушную классификацию и электросепарирование [9].

При фракционировании овса было показано [10], что во время просеивания мелкие частицы склонны к агломерации. Электростатическое взаимодействие и силы Ван-дер-Ваальса приводят к слипанию мелких частиц между собой, а также с более крупными частицами. Из-за этого размер частиц, измеренный физическими методами, оказывается ниже, чем при ситовом анализе [10].

Так как мелкую фракцию предполагается использовать в мучных пищевых продуктах, размер частиц этой фракции имеет большое значение для ее применения. Размер частиц пищевых ингредиентов влияет на их качество, в частности текстуру и функционально-технологические свойства [11].

Цели и задачи исследования

Целью исследования был выбор оптимального способа измельчения подсолнечного шрота по критериям выхода мелкой фракции и ее состава. Для достижения данной цели были выполнены следующие задачи.

1. Определить массовые доли полученных фракций, от соотношения которых зависит целесообразность процесса.

2. Изучить размеры частиц в мелкой фракции, чтобы определить, насколько эффективно отделяется мелкая фракция от крупных при расसेве на ситах.

3. Изучить распределение сырого протеина и сырой клетчатки по фракциям, так как требуется получать продукт с повышенным уровнем белка.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран подсолнечный шрот российского производства, изготовленный на заводе фирмы «Астон» и соответствующий ГОСТ 11246–96. Для шрота были определены следующие физико-химические показатели: массовая доля влаги 9,91%, содержание сырого протеина 39,44% на а. с. в., содержание сырой клетчатки 17,12% на а. с. в. Кроме того, по данным производителя шрот содержал 1,89% жира на а. с. в. и не более 0,2% остаточного растворителя; посторонние и металлические примеси отсутствовали.

Выбранный образец измельчали двумя способами. По первому способу шрот измельчали на роторно-ножевом измельчителе до прохода через сито 2,0 мм. Измельчитель представляет собой мельницу электрическую лабораторную ЭМ-3А производства СССР (мощность 220В, частота 50 Гц, ТУ 46-22-26-84). По второму способу шрот измельчали на кулачковой мельнице также до прохода через сито 2,0 мм.

На втором этапе механического фракционирования был проведен рассев измельченного материала. Для отсева использовали лабораторные сита (ГОСТ Р 51568–99) с размерами ячеек 0,25 мм и 1,00 мм. Измельченный материал помещали на верхнее сито и встряхивали круго-

выми движениями в течение 1 мин. Для определения массового выхода каждую из фракций взвешивали на лабораторных весах ВЛКТ-500 (погрешность 20 мг, цена деления 1 г).

Во фракциях с размерами частиц менее 0,25 мм было изучено распределение частиц по размерам. Измерение проводили методом лазерной дифракции на приборе PSA 1090 LD (Anton Paar, Швейцария). Пробу распыляли потоком воздуха под давлением 2000 мБар, с частотой 47 Гц.

Массовую долю влаги определяли методом высушивания до постоянного веса (ГОСТ 10856–96). Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4–2019). Содержание сырой клетчатки определяли методом Генненберга — Штомана (ГОСТ 31675–2012).

Результаты и их обсуждение

После проведения фракционирования были изучены внешний вид и массовые доли полученных фракций. Внешний вид фракций, полученных после размола на роторно-ножевом измельчителе, представлен на рис. 1, после измельчения на кулачковой мельнице — на рис. 2.

При расसेве образца, размолотого на измельчителе (рис. 1), были получены 3 фракции. Мелкая фракция представляла собой однородный порошок, средняя однородную крупку, крупная — частицы лузги.

При расसेве образца, размолотого на мельнице (рис. 2), были также получены 3 фракции, визуаль-



Рис. 1. Фракции, полученные после измельчения на роторно-ножевом измельчителе. Размеры частиц во фракциях, слева направо: менее 0,25 мм; 0,25–1,00 мм; 1,00–2,00 мм

Рис. 1. Fractions obtained after crushing using a rotary knife grinder. Particle sizes, from left to right: менее 0.25 мм; 0.25–1.00 мм; 1.00–2.00 мм



Рис. 2. Фракции, полученные после измельчения на кулачковой мельнице. Размеры частиц во фракциях, слева направо: менее 0,25 мм; 0,25–1,00 мм; 1,00–2,00 мм

Рис. 2. Fractions obtained after crushing using a cam mill. Particle sizes, from left to right: менее 0.25 мм; 0.25–1.00 мм; 1.00–2.00 мм

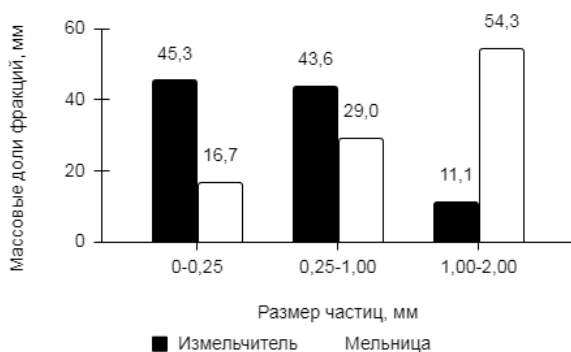


Рис. 3. Массовые доли фракций
 Рис. 3. Weights ratios of the fractions

не отличавшиеся от первого отсева, частицы лузги были сосредоточены в крупной фракции.

Значительные различия были выявлены при сравнении массовых долей фракций в обоих отсевах (рис. 3). При размоле на роторно-ножевом измельчителе преобладала мелкая фракция, являющаяся целевым продуктом фракционирования. При размоле на кулачковой мельнице напротив, массовая доля крупной фракции превышала суммарное количество двух других фракций.

По результатам данного исследования, массовая доля мелкой фракции после измельчения на роторно-ножевом измельчителе, была в 2,7 раза выше, чем после измельчения на кулачковой мельнице. Суммарная доля средней и крупной фракции после измельчения на роторно-ножевом измельчителе была на 29 % меньше, чем после измельчения на кулачковой мельнице. По данным показателям роторно-ножевой измельчитель позволяет добиться более эффективного размола.

В одном из исследований [12] при фракционировании различных видов растительного сырья также преобладала крупная фракция. Эти результаты были получены для желтого гороха, вигны и бобов мунга, измельченных на штифтовой мельнице. В другом исследовании, при фракционировании рапсового жмыха, измельченного на дисковой мельнице [8], массовая доля мелкой фракции составила 27 %. Таким образом, выход целевого продукта при фракционировании может значительно отличаться в зависимости от сырья и от параметров процесса.

Фракция с размерами частиц менее 0,25 мм является целевым продуктом, так как в ней предполагается наибольшее содержание сырого протеина. При отсевах на ситах разделение частиц по размерам не является точным из-за их агломерации [9]. Это особенно характерно для мелких частиц, поэтому их размеры в целевой фракции были изучены дополнительно (рис. 4). Данный график показывает в логарифмическом виде распределение частиц мелкой фракции по размерам. Распределение приведено для мелких фракций, полученных при двух способах размола.

Из логарифмического графика на рис. 4 видно, что форма распределения схожа для обоих способов измельчения. В то же время помол на кулачковой мельнице был более крупным, чем на роторно-ножевом измельчителе.

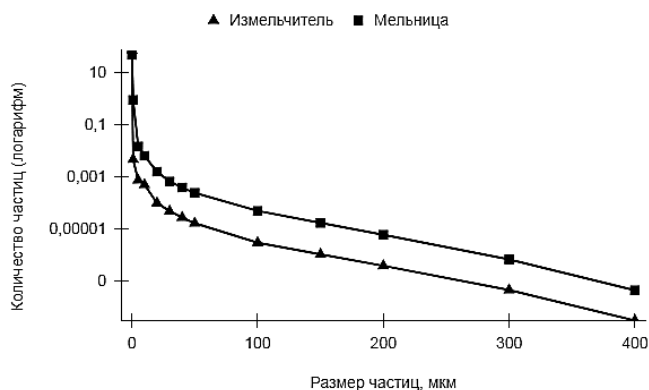


Рис. 4. Распределение частиц целевой фракции по размерам
 Рис. 4. Distribution of target fraction particles according to size

В данном исследовании было также проведено сравнение размера частиц мелкой фракции при различных способах измельчения (табл. 1). Относительный диапазон, рассчитанный как $(D90-D10)/D50$, показывает разброс частиц по размерам, который имел схожие значения у обоих образцов. В то же время, само среднее значение размера частиц было немного выше у образца, измельченного на кулачковой мельнице. Величины D10, D50 и D90 показывают процент частиц, размер которых меньше определенного значения. Например, при размоле на роторно-ножевом измельчителе 90 % частиц меньше 215,80 мкм. Все эти величины также схожи для обоих способов измельчения. Большинство частиц в обоих случаях находятся в пределах от 12–17 мкм до 105–110 мкм.

Таблица 1

Относительный диапазон размеров частиц в мелкой фракции

Table 1

Relative range of particle sizes in fine fraction

Показатели, мкм	Измельчитель	Мельница
D10	12,29±0,01	16,68±0,01
D50	85,06±0,01	91,84±0,01
D90	215,80±0,01	216,28±0,01
Среднее значение	105,48±0,01	109,80±0,01
Относительный диапазон	2,39±0,01	2,17±0,01

Эти данные можно сравнить с данными по размолу желтого гороха [11], где были получены частицы в диапазоне 80–300 мкм, по размолу бобов [13] с получением частиц от 45 до 300 мкм, с размерами частиц в пшеничной муке [14] от 20 до 177 мкм. Таким образом, размеры частиц подсолнечного шрота 12–110 мкм сравнимы с размерами частиц пшеничной муки, что способствует получению однородной смеси с мукой.

В одном из исследований [11] приводятся данные по влиянию размеров частиц на качество мучных продуктов. Так, качество спагетти повышалось при использовании муки помола 250 мкм и более, а хлеба — при использовании помола не более 75 мкм. В то же время в статье [15] предложено использовать для приготовления хлеба муку из бобов с размерами частиц около 200 мкм. Также в статье [16] оптимальным размером частиц муки

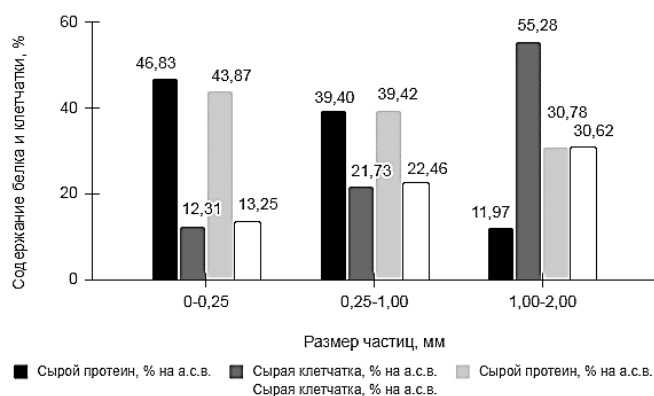


Рис. 5. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки во фракциях

Fig. 5. Crude protein content and crude fiber content in the fractions

для лапши был назван диапазон от 85 до 100 мкм. Поэтому полученные фракции подсолнечного шрота могут применяться в мучных изделиях в смеси с мукой, но их использование требует дальнейших исследований.

Так как целью фракционирования является получение продукта с повышенным уровнем белка, необходимо изучить содержание сырого протеина в каждой из фракций. Кроме того, важным показателем является содержание клетчатки, влияющей на питательную ценность продукта. В данном исследовании, распределение белка и клетчатки по фракциям заметно отличалось для разных способов измельчения. Сравнение этих показателей представлено на рис. 5, где показан состав фракций, полученных после измельчения на роторно-ножевом измельчителе и на кулачковой мельнице.

Для образца, измельченного на роторно-ножевом измельчителе, максимальное содержание сырого протеина наблюдалось в мелкой фракции, в средней фракции оно примерно таким же, как в исходном шроте, а в крупной фракции содержалось минимальное количество белка. Такое распределение сырого протеина по фракциям характерно для процесса сухого фракционирования и позволяет сконцентрировать белок в мелкой фракции. Для образца, измельченного на кулачковой мельнице, мелкая фракция также отличалась повышенным уровнем белка, но этот уровень был на 3 % ниже, чем для первого образца. Средняя фракция содержала такое же количество белка, как средняя фракция первого образца и как исходный шрот. Однако в крупной фракции содержание белка было достаточно высоким, что означает потери белка. Таким образом, измельчение на роторно-ножевом измельчителе позволило повысить содержание белка на 7,4%, а измельчение на кулачковой мельнице на 4,4% по сравнению с исходным шротом.

Для сравнения, при сухом фракционировании овса [10] содержание протеина было повышено примерно на 5 %, при фракционировании киноа [8] на 12 %. При фракционировании бобов мунга, желтого гороха и вигны [12] содержание сырого протеина было повышено на 30 %, 28 % и 20 % соответственно. При фракционировании рапсового шрота различными способами [9] содержание сырого протеина было повышено на 5 % и 8 % соответственно. Таким образом, эффективность

сухого фракционирования имеет высокий разброс в зависимости от вида сырья и параметров процесса, причем состав сырья имеет большее влияние, чем сам процесс.

Для получения продуктов повышенного качества необходимо добиться не только повышения уровня белка, но и снижения клетчатки в мелкой фракции. Для этого клетчатка должна быть сконцентрирована в крупной и средней фракциях. В данном исследовании для образца, измельченного на роторно-ножевом измельчителе, это условие было выполнено — более 55 % сырой клетчатки было сконцентрировано в крупной фракции. При этом в мелкой содержание клетчатки было снижено на 5 % по сравнению с исходным шротом. В образце, измельченном на кулачковой мельнице, в крупной фракции было сосредоточено только 30 % клетчатки. Однако в мелкой фракции ее содержание было снижено примерно также, на 4 %.

При сухом фракционировании киноа [8] содержание клетчатки было снижено на 1,5%, при фракционировании рапсового шрота [9] от 4 % до 18 % при различных параметрах процесса. Результаты, полученные в данном исследовании, находятся в этих пределах.

Выводы

В данном исследовании было изучено два способа сухого фракционирования подсолнечного шрота для выбора из них оптимального способа, в результате чего были получены следующие результаты.

1. Массовая доля мелкой фракции была выше при измельчении шрота на роторно-ножевом измельчителе (45,3 %), чем при измельчении на кулачковой мельнице (16,7%). Использование роторно-ножевого измельчителя позволило получить больше целевого продукта (мелкой фракции, отличающейся повышенным содержанием белка) и меньше побочных продуктов.

2. Размеры частиц мелкой фракции, полученной обоими способами, находятся в пределах 12–110 мкм, что сравнимо с размерами частиц пшеничной муки. Исходя из литературных данных, продукт с таким размером частиц может применяться в мучных изделиях, например хлебобулочных или макаронных.

3. При измельчении на роторно-ножевом измельчителе содержание сырого протеина в мелкой фракции было на 7,4% выше, чем в исходном шроте, а содержание клетчатки на 4,8% ниже. При измельчении на кулачковой мельнице содержание сырого протеина в мелкой фракции было на 4,4% выше, чем в исходном шроте, а содержание клетчатки на 3,9% ниже. Таким образом, использование роторно-ножевого измельчителя в большей степени повлияло на состав полученного продукта, особенно на уровень в нем белка.

В результате проведенного исследования была показана большая эффективность роторно-ножевого измельчителя по сравнению с кулачковой мельницей при фракционировании подсолнечного шрота. Из полученных продуктов оптимальным составом обладал продукт с 46,83% сырого протеина и 12,31% сырой клетчатки на абсолютно сухое вещество. Данный продукт имеет перспективы применения в мучных изделиях, и дальнейшие исследования будут направлены на изучение его влияния на качество таких изделий.

Литература/References

- World Sunflower Production 2023/2024. [Electronic resource]: <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/sunflower.aspx> (Date of application 25.01.2024).
- Масличные, экспорт и импорт. [Электронный ресурс]: <https://specagro.ru/news/202310/sbor-osnovnykh-maslichnykh-kultur-v-rossii-uvlichilsya-v-15-raza> (Дата обращения: 25.01.2024). [Oilseeds, exports and imports. [Electronic resource]: <https://specagro.ru/news/202310/sbor-osnovnykh-maslichnykh-kultur-v-rossii-uvlichilsya-v-15-raza> (Date of application 01/25/2024). (in Russian)]
- Egea M. B., de Oliveira Filho J. G., Bertolo M. R. V., de Araújo J. C., Gautério G. V., Lemes A. C. Bioactive Phytochemicals from Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Oil Processing Byproducts. / Ramadan Hassanien M. F. (eds). *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products. Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. 2021. P. 1–16. DOI: 10.1007/978-3-030-63961-7-4-1
- Liu H. M., Liu X. Y., Yan Y. Y., Gao J. H., Qin Z., Wang X. D. Structural properties and antioxidant activities of polysaccharides isolated from sunflower meal after oil extraction. *Arabian Journal of Chemistry*. 2021. V. 14. N 12. Article 103420. DOI: 10.1016/j.arabjc. 2021.103420
- Verstringe S., Vandercruyssen R., Carmans H., Rusu A. V., Bruggeman G., Trif M. Alternative Proteins for Food and Feed. / Galanakis C. M. (eds). *Biodiversity, Functional Ecosystems and Sustainable Food Production*. Springer, Cham. 2023. P. 325–351. DOI: 10.1007/978-3-031-07434-9_10
- Jia W., Sutanto I. R., Ndiaye M., Keppler J. K., van der Goot A. J. Effect of aqueous ethanol washing on functional properties of sunflower materials for meat analogue application. *Food Structure*. 2022. V. 33. Article 100274. DOI: 10.1016/j.foostr. 2022.100274
- Hadidi M., Aghababaei F., McClements D. J. Sunflower meal/cake as a sustainable protein source for global food demand: Towards a zero-hunger world. *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 147. Article 109329. DOI: 10.1016/j.foodhyd. 2023.109329
- Giteru S. G., Loveday S. M., Gathercole J., Cakebread J. Influence of extraction method on inherent properties and techno-functional behavior of quinoa protein ingredients. *Sustainable Food Proteins*. 2023. V. 1. N 4. P. 133–186. DOI: 10.1002/sfp2.1017
- Wockenfuss L., Lammers V., Heinz V., Sozer N., Silventoinen-Veijalainen P. Two steps of dry fractionation: Comparison and combination of air classification and electrostatic separation for protein enrichment from defatted rapeseed press cake. *Journal of Food Engineering*. 2023. V. 357. Article 111623. DOI: 10.1016/j.jfoodeng. 2023.111623
- Gu Y., Qian X., Sun B., Ma S., Tian X., Wang X. Nutritional composition and physicochemical properties of oat flour sieving fractions with different particle size. *LWT*. 2022. V. 154. Article 112757. DOI: 10.1016/j.lwt. 2021.112757
- Sivakumar C., Nadimi M., Stobbs J. A., Karunakaran C., Paliwal J. A comprehensive assessment of microscopic characterization techniques to accurately determine the particle size distribution of roller-milled yellow pea flours. *Powder Technology*. 2024. V. 434. Article 119374. DOI: 10.1016/j.powtec. 2024.119374
- Schlangen M., Dinani S. T., Schutyser M. A. I., van der Goot A. J. Dry fractionation to produce functional fractions from mung bean, yellow pea and cowpea flour. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2022. V. 78. Article 103018. DOI: 10.1016/j.ifset. 2022.103018
- Anuntagool J., Soonthonsun S. Effect of particle size classification on properties of flour from jack bean: An under-utilized high protein legumes. *LWT*. 2023. V. 189. Article 115418. DOI: 10.1016/j.lwt. 2023.115418
- Yang L., Wang S., Zhang H., Du C., Li S., Yang J. Effects of black soybean powder particle size on the characteristics of mixed powder and wheat flour dough. *LWT*. 2022. V. 167. Article 113834. DOI: 10.1016/j.lwt. 2022.113834
- Marchini M., Carini E., Cataldi N., Boukid F., Blandino M., Ganino T., Vittadini E., Pellegrini N. The use of red lentil flour in bakery products: How do particle size and substitution level affect rheological properties of wheat bread dough. *LWT*. 2021. V. 136. N 1. Article 110299. DOI: 10.1016/j.lwt. 2020.110299
- Dube N. M., Xu F., Zhao R. The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. *Grain & Oil Science and Technology*. 2020. V. 3. N 4. P. 164–171. DOI: 10.1016/j.gaost. 2020.08.001

Сведения об авторах

Федоров Александр Валентинович

Д. т. н., доцент факультета биотехнологий
 Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург,
 ул. Ломоносова, 9, ВНИИЖиров, 191119,
 Санкт-Петербург, ул. Черняховского, 10,
afedorov@itmo.ru

Крылова Ирина Владимировна

Аспирант факультета биотехнологий
 Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург,
 ул. Ломоносова, 9, научный сотрудник ВНИИЖиров,
 191119, Санкт-Петербург, ул. Черняховского, 10,
irinakrylova1987@gmail.com.
 ORCID 0000-0002-0132-2189

Information about authors

Fedorov Aleksandr V.

D. Sc., Associate professor of the Faculty of Biotechnology of
 ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str.,
 9, Fat Research of All-Russian Research Institute of Fats, 191119,
 Russia, St. Petersburg, Chernyakhovskogo str. 10,
afedorov@itmo.ru

Krylova Irina V.

Graduate student of the Faculty of Biotechnology of ITMO
 University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9,
 researcher of Fat Research of All-Russian Research Institute of
 Fats, 191119, Russia, St. Petersburg, Chernyakhovskogo str. 10,
irinakrylova1987@gmail.com.
 ORCID 0000-0002-0132-2189

