Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-272-281 Оригинальная статья/Research article
УДК 665.11; 633.854.78 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние матрикальной разнокачественности семян подсолнечника на белковые и фенольные соединения и антиоксидантную активность

Мария Л. Доморощенкова [1] protein@vniig.org 0000-0003-4230-8372
Татьяна Ф. Демьяненко [1] protein@vniig.org 0000-0002-4220-7224
Ирина В. Крылова [1] protein@vniig.org 0000-0002-0132-2189
Лилия О. Шагинова [1] protein@vniig.org 0000-0001-9938-8962
Ирина А. Лисицына [1] protein@vniig.org 0009-0005-4559-6228
Владимир Н. Марков [1] vegoils@vniig.org 0000-0002-4711-0085

1 Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия

Аннотация. Подсолнечные семена и шроты играют важную роль в питании человека и животных. Понимание их питательной ценности и химического состава имеет важное значение для использования продуктов переработки в различных областях применения, а также для повышения уровня комплексной переработки растительного сырья. Для подсолнечника характерно явление матрикальной разнокачественности или матрикальной неоднородности семян, которое влияет не только на морфологические и урожайные показатели, но и на характеристики состава семян по фракциям корзинки подсолнечника. В данной работе объектом исследования являлись семена подсолнечника (*Helianthus annuus L.)*, которые были рассортированы по размерам на 3 фракции, характерные для локализации в центральной, средней и периферийных зонах корзинки подсолнечника. В обезжиренном ядре семян отдельных фракций исследовали содержание сырого протеина, фракционный состав белков по растворимости по схеме Т.Осборна, содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность. Проведенные исследования показали, что наибольшее содержание сырого протеина синтезируется по краю корзинки. При этом в обезжиренном ядре самой крупной фракции семян (периферийной зоны) содержалось больше глобулинов (33,07%), а в самой мелкой фракции семян (центральной зоны) было самое высокое содержание альбуминов (13,97%). Содержание глютелинов по фракциям уменьшалось от края корзинки к центру (от 9,76% до 7,44%). Для всех зон корзинки характерно следующее распределение содержания белковых фракций по растворимости: глобулины > альбумины > глютелины. Содержание фенольных соединений в отдельных фракциях варьировалось в диапазоне 2,49% - 4,07%. Антиоксидантная активность положительно коррелировала с концентрацией фенольных соединений и изменялась в диапазоне 67,29% - 88,29%. С уменьшением размера семян концентрация фенольных соединений и антиоксидантная активность фракций возрастали. С учетом выявленных различий в химическом составе ядра семян по зонам корзинки при переработке семян подсолнечника для улучшения качества шрота рекомендовано отделять мелкие семена центральной зоны.

Ключевые слова: матрикальная неоднородность, подсолнечные шроты, сырой протеин, фракционный состав белков, растворимость белков, фенольные соединения, хлорогеновая кислота, антиоксидантная активность.

The influence of matric heterogeneity of sunflower seeds on protein and phenolic compounds and antioxidant activity

Maria L. Domoroshchenkova [1] protein@vniig.org 0000-0003-4230-8372
Tatyana F. Demyanenko [1] protein@vniig.org 0000-0002-4220-7224
Irina V. Krylova [1] protein@vniig.org 0000-0002-0132-2189
Liliia O. Shaginova [1] protein@vniig.org 0000-0001-9938-8962
Irina A. Lisitsyna [1] protein@vniig.org 0009-0005-4559-6228
Vladimir N. Markov [1] vegoils@vniig.org 0000-0002-4711-0085

1 All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia

Abstract. Sunflower seeds and meals play an important role in human and animal nutrition. Understanding their nutritional value and chemical composition is essential for the use of processed products in various areas, as well as for improving the level of complex processing of plant raw materials. Sunflower is characterized by the phenomenon of matric heterogeneity of seeds, which affects not only the morphological and yield indicators, but also the characteristics of the seed composition by fractions of the sunflower head. In this study, the object of study were sunflower seeds (*Helianthus annuus L.*), which were sorted by size into 3 fractions characteristic of localization in the central, middle, and peripheral circles of the sunflower head. The defatted kernels from seeds of individual fractions, were analyzed for crude protein content, fractional composition of proteins by solubility according to T. Osborne scheme, phenolic compounds content and antioxidant activity. The studies showed that the highest crude protein content was synthesized along the edge of the head. Moreover, the largest seed fraction (peripheral zone) contained more globulins (33,07%) in defatted kernel, and the smallest seed fraction (central zone) had the highest albumin content (13,97%). The glutelin content by fractions decreased from the peripheral zone to the central zone of the head (from 9,76 to 7,44%). All zones of the head were characterized by the following distribution of the content of protein fractions by solubility: globulins > albumins > glutelins. The content of phenolic compounds in individual fractions varied in the range of 2.49–4.07%. Antioxidant activity was positively correlated with the concentration of phenolic compounds and varied in the range of 67.29–88.29%. With decreasing seed size, the concentration of phenolic compounds and antioxidant activity of the fractions increased. Taking into account the identified differences in the chemical composition of the seed kernel by head zones, it is recommended to separate small seeds of the central zone when processing sunflower seeds to improve the quality of the meal.

Keywords: matric heterogeneity, sunflower meal, crude protein, fractional composition of proteins, protein solubility, phenolic compounds, chlorogenic acid, antioxidant activity.

Для цитирования
Доморощенкова М.Л., Демьяненко Т.Ф., Крылова И.В., Шагинова Л.О., Лисицына И.А., Марков В.Н. Влияние матрикальной разнокачественности семян подсолнечника на белковые и фенольные соединения и антиоксидантную активность // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 272–281. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-272-281

For citation
Domoroshchenkova M.L., Demyanenko F.S., Krylova I.V., Shaginova L.O., Lisitsyna I.A., Markov V.N. The influence of matric heterogeneity of sunflower seeds on protein and phenolic compounds and antioxidant activity. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 272–281. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-272-281

© 2026, Доморощенкова М.Л. и др. / Domoroshchenkova M.L. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Подсолнечные семена и шроты играют важную роль в питании человека и животных, способствуя сбалансированному рациону и обеспечивая необходимые питательные вещества для роста, энергии и общего здоровья. Понимание их химического состава и выявление факторов, влияющих на питательную ценность, имеет важное значение для рационального использования их потенциальных преимуществ в различных областях применения, а также для повышения уровня комплексной переработки растительного сырья.

Для семян подсолнечника характерно явление материнской разнокачественности или матрикальной неоднородности, которое еще недостаточно учитывается при их промышленной переработке.

Разнокачественность семян и плодов – явление, широко распространенное в растительном мире. Она выражается в том, что семена и плоды одного растения неравнозначны по своим морфологическим, анатомическим, физиологическим и биохимическим показателям. Давно известно, что одно и то же растение дает семена, разные по размеру, весу, форме, химическому составу и биологическим особенностям.

Причиной возникновения разнокачественности семян является постоянная и тесная связь развивающегося семени с окружающими условиями. Все условия, которые складываются во время развития семян, влияют на их свойства, создают их разнокачественность [1–3].

Различают три категории разнокачественности семян генетическую, экологическую и матрикальную [1, 4, 5]. Генетическая разнокачественность возникает в результате соединения мужских и женских родительских гамет и обеспечивает общий тип наследственности, присущий сорту, и таким образом обусловливает сортовые различия. Экологическая разнокачественность возникает в результате взаимодействия формирующихся семян с условиями окружающей среды и, как правило, все ее проявления связаны с практикой семеноводства. Одной из наиболее четко выраженных разнокачественностей является материнская или матрикальная неоднородность, проявляющаяся в результате различия в местонахождении развивающегося семени на материнском растении. Она обусловлена неодновременностью прохождения процессов органогенеза и анатомическими особенностями отдельных органов растения, что приводит к неодинаковым условиям питания.

Свойства и химический состав семян изменяются обычно тем больше, чем больше их количество в одном соцветии. Неоднородность особенно отчетливо видна у корзинки подсолнечника *Helianthus annuus L.*, которая может содержать до 8 тысяч семянок. В результате различной интенсивности развития цветка подсолнечника в определенные периоды (от цветения, оплодотворения цветков до образования семян) в цветке семена наиболее интенсивно формируются в направлении от периферии к центру. При изучении явления материнской разнокачественности наибольшее внимание уделяется морфологическим признакам, таким как размер, форма, масса, выполненность и окраска семян, урожайным признакам, таким как энергия прорастания, всхожесть, сила роста, параметры проростков. Однако, разнокачественность может проявляться и в различиях химического состава семян. В семянках периферийной, средней и центральной зон накапливается различное количество жиров, белков и углеводов; они могут различаться по влажности, лузжистости, удельному весу, масличности, жирнокислотному составу масла, концентрации биологически активных веществ и другим характеристикам.

Матрикальную или материнскую неоднородность использовали учёные ВНИИМКа для управления качеством посевного материала при выведении новых сортов подсолнечника [6].

В работе [7] показано, что содержание хлорогеновой кислоты в лузге подсолнечника варьировалось в зависимости от зонального расположения семян в корзинке. Содержание хлорогеновой кислоты в лузге семян, расположенных в центре цветка (в радиусе 50,0 мм), почти вдвое выше, чем в семенах его периферийной зоны.

Среди запасных веществ подсолнечника азотсодержащие соединения занимают второе место после липидов, из них основную часть составляют белковые соединения. Содержание сырого протеина в семенах подсолнечника колеблется в широком диапазоне от 15% до 40% [8–10]. Изучение влияния матрикальной неоднородности семян на белковые соединения имеет важное значение для совершенствования промышленных технологий переработки и повышения качества получаемых продуктов.

Исследования, проведенные нами ранее, показали влияние матрикальной неоднородности в корзинке подсолнечника на показатели окисленности масла и содержание белкового и небелкового азота в ядре семян подсолнечника [11].

Фракционный состав белков семян подсолнечника зависит от региона произрастания, погодных условий, от сорта подсолнечника. По классификации Осборна белки подсолнечника подразделяются на четыре основные фракции: альбумины (растворимые в воде), глобулины (растворимые в разбавленных солевых растворах), проламины (растворимые в водно-этанольных растворах) и глютелины (растворимые в разбавленных кислых / щелочных растворах и нерастворимые в воде). В семенах подсолнечника преобладают 11S глобулины, известные как гелиантинин (helianthinin), составляющие порядка 40–90% от общего содержания белка, с молекулярной массой от 300 до 350 кДа, и 2S альбумины, составляющие от 10 до 30% от общего содержания белка, с молекулярной массой от 10 до 18 кДа. Известны сорта с более высоким содержанием альбуминовой фракции по сравнению с глобулинами. Гексамерная структура основного запасного белка подсолнечника – гелиантинина (11S) состоит из шести субъединиц, состоящих из основного α-полипептида (21–27 кДа) и кислотного β-полипептида (32–44 кДа), связанных дисульфидной связью. Подсолнечный альбумин состоит из одной полипептидной цепи размером от 10 до 18 кДа с одной внутримолекулярной дисульфидной связью. Содержание глютелинов в семенах подсолнечника обычно невысокое, а проламины практически отсутствуют [12–14].

Фенольные соединения являются еще одной группой веществ, влияющих на показатели пищевой и кормовой ценности продуктов переработки семян подсолнечника. Наиболее распространенным классом фенольных соединений подсолнечника являются фенольные кислоты, которые включают целый ряд изомеров хлорогеновой кислоты, а также кофейной, коричной, оксикоричной и других кислот, среди которых хлорогеновая кислота преобладает. При получении подсолнечного масла фенольные соединения подсолнечника остаются в шроте. Содержание фенольных соединений в шроте составляет в среднем 1–4% и варьирует в зависимости от содержания лузги в шроте, сорта и региона, в котором выращивается подсолнечник [15–17].

Известно, что фенольные соединения могут образовывать ковалентные связи с белком при его выделении, что приводит к появлению зеленой окраски у белковых продуктов из семян подсолнечника, ограничивающей их применение в пищевых продуктах. Кроме того, такие связи вызывают значительные изменения в нативной структуре белка, что может приводить к снижению его растворимости, функциональности и усвояемости [18, 19]. Обзор способов удаления фенольных соединений из подсолнечного шрота приведен в работе [20].

С другой стороны, фенольные вещества подсолнечника могут оказывать положительное действие за счет того, что являются сильными антиоксидантами, способными к нейтрализации свободных радикалов, сохраняя эту способность в процессе переработки сырья [15, 21–23]. Контролируемый процесс ковалентной модификации белков фенольными соединениями можно использовать для улучшения эмульгирующих и гелеобразующих свойств и для достижения необходимых текстурных характеристик получаемых белковых продуктов [24].

Учитывая, что фенольные соединения семян подсолнечника обладают выраженной биологической активностью, взаимодействуют с белковыми соединениями и оказывают влияние на качество получаемых продуктов переработки, представляло интерес изучить их распределение и антиоксидантную активность в ядре семян по зонам корзинки подсолнечника.

Цель работы – исследование характеристик белковых веществ, концентрации фенольных соединений и их антиоксидантной активности по фракциям семян, дифференцированным по размерам в зависимости от их расположения в корзинке подсолнечника (периферийная, средняя и центральная зоны).

Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы семян подсолнечника: образец № 1 – урожая 2023 года, и образец № 2 – урожая 2025 года, собранные в разных регионах РФ с одного поля.

Усредненные пробы семян в количестве 20 кг получали из нескольких 50 кг мешков методом диагонального деления. Необходимая для исследований фракция семян выделялась ситовым методом из общей массы семян.

Усредненные пробы семян были рассортированы по размеру на 3 фракции: крупные, средние и семена центральной зоны корзинки (жухлые) путём просева через щелевые сита. Определяющий размер семянки – его толщина δ: фракция семян $\delta > 4$ мм; фракция семян 2 мм $< \delta < 4$ мм и фракция семян $\delta < 2$ мм. Учитывая, что усредненные пробы получали из образцов семян, собранных с одного поля, подобное решение с некоторой достоверностью гарантирует, что в семенах присутствуют семена различных матрикальных зон одного сорта подсолнечника. Поскольку в результате матрикальной неоднородности размер семян уменьшается от периферии корзинки к ее центру, условно было принято,

что фракция с наибольшим размером семян соответствует внешнему краю корзинки, фракция со средним размером семян – середине корзинке, а самая мелкая фракция – её центру.

Ядра семян отделяли от лузги вручную.

Показатели, отмеченные (*), определяли по методам, изложенным в Руководстве [25].

Массовая доля масла в семенах, ядре семян (*с. 117).

Массовая доля влаги и летучих веществ в семенах, ядре семян (*с. 96).

Фракционный состав белков исследовали с использованием схемы Т. Осборна (*с. 297). Соответствующие фракции белков последовательно экстрагировали из обезжиренных образцов дистиллированной водой, 10% раствором NaCl и 0,2% раствором NaOH.

Массовую долю сырого протеина определяли методом Кьельдаля по [26] с использованием анализатора азота Buchi KjelFlex K-360.

Массовую долю фенольных соединений в пробе определяли методом Фолина-Чокалтеу [27, 28]. Фенольные соединения выделяли из подготовленной пробы 3-х кратным экстрагированием 80%-ным раствором этанола. Оптическую плотность проб определяли на фотоколориметре КФК-2-УХЛ-4.2 при длине волны 550 нм. Калибровочный график строили по галловой кислоте.

Антиоксидантную активность измеряли по уровню поглощения свободных радикалов. Методика основана на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный радикал ДФПГ (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил, $C_{18}H_{12}N_5O_6$, M = 394,33). Метод оценивает снижение значений оптической плотности в результате добавления антиоксиданта к раствору радикала ДФПГ в 80%-ном этаноле. [29, 30]. Измерения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 при длине волны 517 нм. В качестве контроля использовали раствор 80%-ного этанола.

Все измерения проводили в 2-х повторнотях. В качестве конечного результата рассчитывали среднее значение с учетом погрешности метода.

Результаты и обсуждение

Характеристика выделенных фракций, полученных из семян образца № 1, и из очищенного от лузги ядра подсолнечника приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики семян подсолнечника и ядра семян по фракциям (образец № 1)

Table 1.

Characteristics of sunflower seeds and seed kernels by fractions (Sample № 1)

Показатель | Parameter	Периферийная зона Крупные, δ > 4 мм | Large, δ > 4mm		Средняя зона, Средние, 2 мм < δ <4 мм | Medium, 2 mm < δ < 4 mm		Центральная зона Мелкие, δ < 2 мм | Small, δ < 2 mm	
Содержание фракции к массе семян, % | Fraction content to seed weight, %	11,6 ± 0,1		84,4 ± 0,1		3,9 ± 0,1	
Объект исследований |Object of research	Семена | Seed	Ядро | Kernel	Семена | Seed	Ядро | Kernel	Семена | Seed	Ядро | Kernel
Массовая доля масла на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), % | Crude oil, moisture-free basis (m.f.b.), %	43,75 ± 0,01	59,27 ± 0,01	42,98 ± 0,01	59,37 ± 0,01	42,26 ± 0,01	57,12 ± 0,01
Массовая доля сырого протеина на а.с.в., % | Crude protein, m.f.b., %	15,8 ± 0,5	-	15,7 ± 0,5	-	16,2 ± 0,5	-
Массовая доля влаги и летучих веществ, % | Moisture and volatiles, %	3,5 ± 0,01	-	4,3 ± 0,01	-	3,6 ± 0,01	-

Более высокое содержание сырого протеина в мелких семенах по сравнению с крупными и средними объясняется тем, что показатель «сырой протеин» характеризует суммарное количество всех азотсодержащих веществ, а не только белковых соединений. Как нами было показано ранее в работе [11], содержание белкового азота снижается по мере приближения к центру семянки, т. е. с уменьшением размера семян, тогда как вещества небелкового характера имеют тенденцию к увеличению. Это связано с тем, что созревание семян и, следовательно, образование и накопление запасных питательных веществ, и протеина в том числе, идёт последовательно от крайней периферийной зоны по направлению к центральной зоне, и в центральной зоне корзинки может наблюдаться незавершённость процесса синтеза белка. Кроме того, в центральной зоне корзинки содержится меньше масла, что соответственно приводит к увеличению относительной концентрации

остальных веществ, в том числе азотсодержащих соединений, учитываемых в показателе «сырой протеин».

Результаты исследования фракционного состава белков по растворимости в зависимости от размеров семян для обр. № 1 представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Фракционный состав белков по растворимости в обезжиренном ядре подсолнечных семян, расположенных в разных зонах корзинки подсолнечника (образец № 1)

Table 2.

Fractional composition of proteins by solubility in defatted sunflower seed kernels located in different zones of the sunflower basket (Sample № 1)

Показатель | Parameter	Фракция семян δ > 4 мм | Seed fraction δ > 4 mm	Фракция семян 2 мм < δ <4 мм | Seed fraction 2mm < δ <4mm	Фракция семян δ < 2 м | Seed fraction δ < 2 mm
Водорастворимые протеины (альбумины), % | Water soluble proteins (albumins), %	12,95 ± 0,5	13,25 ± 0,5	13,97 ± 0,5
Солерастворимые протеины (глобулины), % | Salt soluble proteins (globulins), %	33,07 ± 0,5	32,09 ± 0,5	30,94 ± 0,5
Щелочерастворимые протеины (глютелины), % | Alkali soluble proteins (glutenins), %	9,76 ± 0,5	8,17 ± 0,5	7,44 ± 0,5

Как видно из таблицы 2, содержание альбуминов в обезжиренном ядре семян изменяется от 12,95% – у фракции семян, расположенных по периферии корзинки, до 13,97% у семян, расположенных в центре корзинки. Следует отметить, что в составе водорастворимой фракции могут извлекаться также аминокислоты и низкомолекулярные азотсодержащие соединения неполного синтеза белков, которые очевидно преобладают в центральной зоне корзинки. Дистиллированная вода извлекает также соли и другие водорастворимые вещества небелковой природы, поэтому часть глобулинов может также переходить в эту фракцию, приводя к завышенным результатам.

Содержание глобулинов по зонам корзинки изменяется в диапазоне от 33,07% для периферийной зоны до 30,94% в центре корзинки.

Содержание глютелинов по фракциям уменьшается от периферии корзинки к центру от 9,76% до 7,44%.

Таким образом, основная доля растворимых белков представлена глобулинами, что характерно для подсолнечника. Для всех зон корзинки характерно следующее распределение содержания белковых фракций по растворимости: глобулины> альбумины> глютелины.

Содержание фенольных соединений и антиоксидантная способность в различных фракциях обезжиренного ядра семян подсолнечника в зависимости от размеров семян оценивались для образцов № 1 и № 2 (таблица 3).

Результаты исследования указывают, что с уменьшением размера семян по фракциям содержание сырого протеина снижается на 3,75% для обр. № 1 и на 6,39% для обр. № 2, при этом концентрация фенольных соединений и антиоксидантная активность увеличиваются. Максимальная концентрация фенольных веществ в центральной зоне может быть обусловлена тем, что хлорогеновая кислота может связываться с полипептидами и олигонуклеотидами с низкой молекулярной массой [18], концентрация которых очевидно преобладает в мелких семенах из центральной зоны корзинки, о чем свидетельствует также повышенное содержание водорастворимой фракции (табл. 2) в семенах из этой зоны корзинки.

Как видно из таблицы 3, антиоксидантная активность изменяется в диапазоне 66,85–88,29% и возрастает от периферии к центру корзинки пропорционально росту концентрации фенольных соединений.

Полученные результаты подтверждают влияние матрикальной неоднородности в корзинке подсолнечника не только на состав протеиновой фракции ядра семян, но и на содержание фенольных соединений и, соответственно, антиоксидантную активность по отдельным фракциям.

Таблица 3.

Содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность в различных фракциях обезжиренного ядра семян подсолнечника

Table 3.

Content of phenolic compounds and antioxidant activity in different fractions of defatted sunflower seed kernels

Образец | Sample	Фракция семян δ > 4 мм | Seed fraction δ > 4 mm	Фракция семян 2 мм < δ <4 мм | Seed fraction 2mm < δ <4mm	Фракция семян δ < 2 мм Seed fraction δ < 2 mm
Массовая доля сырого протеина, % | Crude protein, %			
1	56,73 ± 0,5	54,13 ± 0,5	52,98 ± 0,5
2	54,08 ± 0,5	48,25 ± 0,5	47,69 ± 0,5
Содержание фенольных соединений, % | Phenolic compounds, %			
1	2,95 ± 0,01	3,14 ± 0,01	3,29 ± 0,01
2	2,49 ± 0,01	2,89 ± 0,01	4,07 ± 0,01
Антиоксидантная активность, % | Antioxidant activity, %			
1	66,85 ± 0,01	67,29 ± 0,01	68,63 ± 0,01
2	77,14 ± 0,01	83,41 ± 0,01	88,29 ± 0,01

Учитывая выявленную разнокачественность характеристик ядра семян по зонам корзинки, имеет смысл отделять семена из центральной зоны при промышленной переработке семенной массы. Это позволит улучшить качество подсолнечного шрота, получаемого из более крупных семян периферийной и средней зон. Семена центральной зоны можно накапливать и использовать для получения экстракта фенольных соединений. Такой экстракт может найти применение в качестве антиоксиданта, для модификации функциональных свойств белков, при разработке функциональных продуктов питания, в производстве активной и биологически активной пищевой упаковки [24, 31–33] или использоваться для получения различных биодобавок в профилактике ряда заболеваний, связанных с окислительным и нитрозативным стрессом, таких как рак, сердечно-сосудистые заболевания, атеросклероз, неврологические расстройства, гипертония и сахарный диабет и ряда других [34, 35]. Выделение и использование природных антиоксидантов представляется перспективным ввиду экономической доступности побочных продуктов, образующихся при производстве растительных масел. В то же время частичная дефенолизация семенной массы может улучшить качество шрота и продуктов глубокой переработки с расширением направлений использования [8, 17, 36, 37]. В дальнейшем необходимо более детально исследовать групповой состав фенольных соединений, концентрирующихся в разных зонах корзинки.

Заключение

Проведённые исследования показали влияние матрикальной неоднородности семян, являющейся природным феноменом, на их размеры, фракционный состав белковой составляющей, содержание фенольных соединений и, соответственно, антиоксидантную активность.

Более крупные фракции семян (периферийной и центральной зон) характеризовались более высоким содержанием глобулинов и глютелинов по сравнению с центральной зоной, а в мелкой фракции семян (центральной зоны) по сравнению с ними было более высокое содержание альбуминов.

Наибольшее содержание сырого протеина синтезировалось в периферийной зоне корзинки, а наибольшее количество фенольных соединений и наибольшая антиоксидантная активность была характерна для центральной зоны корзинки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что рациональное использование сырья с получением продуктов переработки улучшенного качества должно проводиться с учётом матрикальной неоднородности семян.

Литература

1 Репко Н.В., Заика Р.П., Коблянский А.С. Разнокачественность семян и ее значение в семеноводстве // Journal of Agriculture and Environment. 2023, № 8 (36), https://doi.org/10.23649/JAE.2023.36.9.

2 Olson, Neil & Trostle, Calvin & Meyer, Ronald & Hulke, Brent. Canopy closure, yield, and quality under heterogeneous plant spacing in sunflower // Agronomy Journal. 2024. Vol. 118. P. 2275–2283. https://doi.org/10.1002/agj2.21655.

3 Zalai, Mihály & Bojtor, Csaba & Nagy, János & Széles, Adrienn & Monoki, Szabolcs & Illés, Árpád. Challenges in Precision Sunflower Cultivation: The Impact of the Agronomic Environment on the Quality of Precision Sowing Techniques and Yield Parameters // AgriEngineering. 2025. Vol. 7. № 5. Art. 145 https://doi.org/10.3390/agriengineering7050145.

4 Остапенко Н.В., Чинченко Н.Н., Джамирзе Р.Р., Разнокачественность семян и первичное семеноводство (обзор) // Рисоводство. 2022. № 3 (56). С. 48–55. https://doi.org/10.33775/1684–2464–2022–56–3–48–55.

5 Колотов А.П. Экологическая и матрикальная разнокачественность семян масличного льна // Масличные культуры. 2021. Вып. 1 (185). С. 18–26.

6 Бушнев А.С., Гриднев А.К., Котлярова И.А. и др. Эффективность применения агроприемов на участке гибридизации подсолнечника для улучшения физико-механических и биологических свойств выращиваемых семян // Масличные культуры. 2023. Вып. 2 (194). С. 76–85.

7 Likhanov A., Klyachenko O., Yunyk A., & Kalenska S. Identification of chlorogenic acid in cotyledonous leaves and husks of common sunflower (Helianthus annuus L.) // Plant and Soil Science. 2022. № 13(4). P. 27–34. https://doi.org/10.31548/agr.13(4).2022.27–34.

8 De Oliveira Filho JG, Egea MB. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process // J. Food Sci. 2021. № 86(5). P. 1497–1510. https://doi.org/10.1111/1750 – 3841.15719.

9 Zhang, M., Wang, O., Cai, S., Zhao, L., Zhao, L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review // Food Research International. 2023. № 171. P. 11306.

10 Li Z, Xiang F, Huang X. et al. Properties and characterization of sunflower seeds from different varieties of edible and oil sunflower seeds // Foods. 2024. № 13. P. 1188. https://doi.org/10.3390/foods13081188.

11 Марков В.Н., Доморощенкова, М.Л., Демьяненко Т.Ф. и др. Влияние матрикальной неоднородности на показатели окисленности масла и содержание белкового и небелкового азота в семенах подсолнечника // Вестник ВНИИЖ. 2024. № 1–2. С. 11–17. https://doi.org/10.25812/VNIIG.2024.34.29.022.

12 Parodi, Elisabetta & La Nasa, Jacopo & Ribechini, Erika & Petri, Antonella & Piccolo, Oreste. Extraction of proteins and residual oil from flax (Linum usitatissimum), camelina (Camelina sativa), and sunflower (Helianthus annuus) oilseed press cakes // Biomass Conversion and Biorefinery. 2021. № 13. P. 1–12. https://doi.org/10.1007/s13399–021–01379-z.

13 Доморощенкова М.Л., Демьяненко Т.Ф., Крылова И.В. и др. Исследование фракционного состава белков и жирнокислотного состава масла семян подсолнечника // Ж. «Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров». 2019. № 1–2. С. 60–69. https://doi.org/ 10.25812/VNIIG.2019.83.71.022.

14 Анисимова И.Н., Васипов В.В., Гаврилова В.А. Запасные белки семян подсолнечника: теоретические и прикладные аспекты // Biomics. 2026. Т.18. № 1. С. 46–64. https://doi.org/10.31301/2221–6197.bmcs.2026–4.

15 Alexandrino T.D., Silva M.G., Ferrari R.A. Evaluation of some in vitro bioactivities of sunflower phenolic compounds // Current Research in Food Science. 2021. Vol. 4. P. 662–669. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.09.007.

16 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 By-products. In: Ramadan Hassanien, M.F. (eds) / Springer, Cham, Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products // Reference Series in Phytochemistry. https://doi.org/10.1007/978–3–030–91381–6_4.

17 Qiang, Li. Research Progress on Chlorogenic Acid Removal from Sunflower Seed Meal and Application of Sunflower Seed Meal Protein // Shipin Kexue. 2024, Vol. 45. https://doi.org/10.7506/spkx1002–6630–20231114–108.

18 Shahidi F., Dissanayaka C.S. Phenolic-protein interactions: insight from in-silico analyses – a review // Food Production, Processing and Nutrition. 2023. Vol. 5. Art. 2. https://doi.org/10.1186/s43014–022–00121–0.

19 Lin, Xiao & Ye, Liying & He, Kan & Zhang, Tingting & Sun, Fan & Mei, Tiantian & Wu, Xuli. New Method to Reduce Allergenicity by Improving the Functional Properties of Soybean 7S Protein through Covalent Modification with Polyphenols // Food Chemistry. 2021. Vol. 373. Art. 131589. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131589.

20 Gaigai Qi, Tingwei Zhu, Xingfeng Guo, Fengyan Lin. Research progress on the extraction and functional properties of protein from sunflower seed meal // Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition). 2025. № 46(3). P. 125–134. https://doi.org/10.16433/j. 1673–2383.202410310001.

21 Plankensteiner Lorenz, Nikiforidis Constantinos V., Vincken Jean-Paul, Hennebelle Marie. The oxidative stability of sunflower oleosomes depends on co-extracted phenolics and storage proteins // Food Chemistry. 2025. Vol. 475. Art. 143145. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143145.

22 Thepthanee C., Li H., Wei H., Prakitchaiwattana C., Siriamornpun S. Effect of Soaking, Germination, and Roasting on Phenolic Composition, Antioxidant Activities, and Fatty Acid Profile of Sunflower (Helianthus annuus L.) Seeds // Horticulturae. 2024, Vol. 10. P. 387. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040387

23 Durruty, María & Guiotto, Estefania & Rikal, Luis & Rodríguez, Marcela. Characterization of Phenolic Compounds from Sunflower Hulls and their Application as Antioxidants in Oil-in-Water Emulsions // Plant Foods for Human Nutrition. 2026. Vol. 81. № 2. https://doi.org/10.1007/s11130–026–01489-x.

24 Keppler, J.K., Schwarz, K., Jan van der Goot, A., Covalent modification of food proteins by plant-based ingredients (polyphenols and organosulphur compounds): A commonplace reaction with novel utilization potential // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 101. P. 38–49. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.023.

25 «Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учёту производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржехина, А.Г. Сергеева. ВНИИЖ. Т. 2. 1965. С. 419.

26 ГОСТ 13496.4–2019 «Корма, комбикорма, комбикормовой сырье. Метод определения содержания азота и сырого протеина», п. 8.

27 Singleton, V.L.; Rossi, Jr J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents // American Journal of Enology and Viticulture. 1965. Vol. 16, P. 144–158.

28 Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 291–299.

29 Taha FS, Mohamed GF, Mohamed SH, Mohamed MK. Optimization of the extraction of total phenolic compounds from sunflower meal and evaluation of the bioactivities of chosen extracts // American Journal of Food Technology. 2011. Vol. 6. № 12. P. 1002–1020. https://doi.org/10.3923/ajft.2011.1002.1020.

30 Ye F, Liang Q, Li H, Zhao G. Solvent effects on phenolic content, composition, and antioxidant activity of extracts from florets of sunflower (Helianthus annuus L.) // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 76. P. 574–581. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.07.063.

31 Abu-Reidah, I.M., Taamalli, A. Special Issue on “Phenolic Compounds: Extraction, Optimization, Identification and Applications in Food Industry” // Processes. 2022. Vol. 10. № 1. P. 128. https:// doi.org/10.3390/pr10010128.

32 Czajkowska-Gonzalez Y.A., Alvarez-Parrilla E., Ruiz M.R.N. Addition of phenolic compounds to bread: antioxidant benefits and impact on food structure and sensory characteristics // Food Production, Processing and Nutrition. 2021. Vol. 3. Art. 25. https://doi.org/10.1186/s43014–021–00068–8.

33 Faber, Iris, Laurice A.M. Pouvrea, Atze Jan van der Goot, Julia K. Keppler. Modulating commercial pea protein gel properties through the addition of phenolic compounds. // Food Hydrocolloids. 2024. V. 154. Art. 110123. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110123.

34 Chibuye B., Singh I.S., Ramasamy S., Maseka K.K. Natural antioxidants: A comprehensive elucidation of their sources, mechanisms, and applications in health // Next Research. 2024. Vol. 1. №. 2. Art. 100086. https://doi.org/10.1016/j.nexres.2024.100086.

35 Singh SK, Thakur K, Sharma V, Saini M, Sharma D, et al. Exploring the multifaceted potential of chlorogenic acid. Journey from nutraceutical to nanomedicine. // South African Journal of Botany. 2023. № 159. P. 658–677. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.038.

36 Saricaoglu B., Yılmaz H., Subası B.G., Capanoglu E. Effect of de-phenolization on protein-phenolic interactions of sunflower protein isolate // Food Research International. 2023. Vol. 164. Art. 112345. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112345.

37 Jia W, Kyriakopoulou K, Roelofs B, Ndiaye M, Vincken JP, et al. Removal of phenolic compounds from de-oiled sunflower kernels by aqueous ethanol washing // Food Chemistry. 2021. № 362. Art. 130204. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130204.

References

1 Repko N.V., Zaika R.P., Koblyansky A.S. Heterogeneity of seeds and its importance in seed production. Journal of Agriculture and Environment. 2023, no. 8 (36), https://doi.org/10.23649/JAE.2023.36.9 (in Russian).

2 Olson, Neil & Trostle, Calvin & Meyer, Ronald & Hulke, Brent. Canopy closure, yield, and quality under heterogeneous plant spacing in sunflower. Agronomy Journal. 2024. Vol. 116. p. 2275–2283. https://doi.org/10.1002/agj2.21655

3 Zalai, Mihály & Bojtor, Csaba & Nagy, János & Széles, Adrienn & Monoki, Szabolcs & Illés, Árpád. Challenges in Precision Sunflower Cultivation: The Impact of the Agronomic Environment on the Quality of Precision Sowing Techniques and Yield Parameters. AgriEngineering. Vol. 7. no. 5. Art. 145. https://doi.org/10.3390/agriengineering7050145.

4 Ostapenko N.V., Chinchenko N.N., Dzhamirze R.R., Heterogeneity of seeds and primary seed production (review). Rice Growing. 2022, no. 3 (56). pp. 48–55. https://doi.org/10.33775/1684–2464–2022–56–3–48–55. (in Russian).

5 Kolotov A.P. Ecological and matricial heterogeneity of oil flax seeds. Oilseed Crops. 2021. no. 1 (185). pp. 18–26. (in Russian).

6 Bushnev A.S., Gridnev A.K., Kotlyarova I.A. et al. Efficiency of using agricultural techniques in a sunflower hybridization plot to improve the physical, mechanical and biological properties of grown seeds. Oilseed Crops. 2023. no. 2 (194), pp. 76–85. (in Russian).

7 Likhanov A., Klyachenko O., Yunyk A., & Kalenska S. Identification of chlorogenic acid in cotyledonous leaves and husks of common sunflower (Helianthus annuus L.). Plant and Soil Science. 2022. no. 13(4). pp. 27–34. https://doi.org/10.31548 agr.13(4).2022.27–34.

8 De Oliveira Filho JG, Egea MB. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. J. Food Sci. 2021. no. 86. pp. 1497–1510. https://doi.org10.1111/1750 – 3841.15719.

9 Zhang, M., Wang, O., Cai, S., Zhao, L., Zhao, L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review. Food Research International. 2023. no. 171, p. 11306.

10 Li Z, Xiang F, Huang X et al. Properties and characterization of sunflower seeds from different varieties of edible and oil sunflower seeds. Foods. 2024. no. 13. p. 1188. https://doi.org 10.3390/ foods13081188.

11 Markov V.N., Domoroshchenkova M.L., Demyanenko T.F. et al. The influence of matricial heterogeneity on oil oxidation indices and the content of protein and non-protein nitrogen in sunflower seeds. Bulletin of VNIIZh (All-Russian Research Institute of Fats) 2024. no. 1–2. – pp. 11–17. https://doi.org 10.25812/VNIIG.2024.34.29.022. (in Russian).

12 Parodi, Elisabetta & La Nasa, Jacopo & Ribechini, Erika & Petri, Antonella & Piccolo, Oreste. Extraction of proteins and residual oil from flax (Linum usitatissimum), camelina (Camelina sativa), and sunflower (Helianthus annuus) oilseed press cakes. Biomass Conversion and Biorefinery. 2021. no. 13. pp. 1–12. https://doi.org 10.1007/s13399–021–01379-z.

13 Domoroshchenkova M.L., Demyanenko T.F., Krylova I.V. et al. Study of fractional composition of proteins and fatty acid composition of oil of sunflower seeds. Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats. 2019. no. 1–2. pp. 60–69. https://doi.org10.25812/VNIIG.2019.83.71.022. (in Russian).

14 Anisimova I.N., Vasipov V.V., Gavrilova V.A. Storage proteins of sunflower seeds: theoretical and applied aspects. Biomics. 2026. no. 18(1). pp. 46–64. https://doi.org/10.31301/2221–6197.bmcs.2026–4. (in Russian).

15 Alexandrino T.D., Silva M.G., Ferrari R.A. Evaluation of some in vitro bioactivities of sunflower phenolic compounds. Current Research in Food Science. 2021. no. 4. pp. 662–669. https://doi.org10.1016/j.crfs.2021.09.007.

16 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 By-products. In: Ramadan Hassanien, M.F. (eds) / Springer, Cham, Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products. Reference Series in Phytochemistry. https://doi.org/10.1007/978–3–030–91381–6_4.

17 Qiang, Li. Research Progress on Chlorogenic Acid Removal from Sunflower Seed Meal and Application of Sunflower Seed Meal Protein. Shipin Kexue. 2024. no. 45. https://doi.org10.7506/spkx1002–6630–20231114–108.

18 Shahidi F., Dissanayaka C.S. Phenolic-protein interactions: insight from in-silico analyses – a review. Food Production, Processing and Nutrition. 2023. no. 5. p. 2. https://doi.org10.1186/s43014–022–00121–0.

19 Lin, Xiao & Ye, Liying & He, Kan & Zhang, Tingting & Sun, Fan & Mei, Tiantian & Wu, Xuli. New Method to Reduce Allergenicity by Improving the Functional Properties of Soybean 7S Protein through Covalent Modification with Polyphenols. Food Chemistry. 2021. no. 373. p. 131589. https://doi.org10.1016/j.foodchem.2021.131589.

20 Gaigai Qi, Tingwei Zhu, Xingfeng Guo, Fengyan Lin. Research progress on the extraction and functional properties of protein from sunflower seed meal. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition). 2025. no. 46(3). pp. 125–134. https://doi.org10.16433/j. 1673–2383.202410310001.

21 Plankensteiner Lorenz, Nikiforidis Constantinos V., Vincken Jean-Paul, Hennebelle Marie. The oxidative stability of sunflower oleosomes depends on co-extracted phenolics and storage proteins. Food Chemistry. 2025. no. 475. p. 143145/ ISSN 0308–8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143145.

22 Thepthanee C., Li H., Wei H., Prakitchaiwattana C., Siriamornpun S. Effect of Soaking, Germination, and Roasting on Phenolic Composition, Antioxidant Activities, and Fatty Acid Profile of Sunflower (Helianthus annuus L.) Seeds. Horticulturae. 2024. no. 10. p. 387. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040387.

23 Durruty, María & Guiotto, Estefania & Rikal, Luis & Rodríguez, Marcela. Characterization of Phenolic Compounds from Sunflower Hulls and their Application as Antioxidants in Oil-in-Water Emulsions. Plant Foods for Human Nutrition. 2026. no. 81(2). https://doi.org10.1007/s11130–026–01489-x.

24 Keppler, J.K., Schwarz, K., Jan van der Goot, A., Covalent modification of food proteins by plant-based ingredients (polyphenols and organosulphur compounds): A commonplace reaction with novel utilization potential. Trends in Food Science & Technology. 2020. no. 101. pp. 38–49. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.023.

25 Manuel to research methods, technochemical control and production accounting in the oil and fat industry. / edited by V.P. Rzhekhin, A.G. Sergeev, L.: VNIIZh. 1965. no. 2. p. 419. (in Russian).

26 State Standard GOST 13496.4–2019. Feed, Compound Feed, Compound Feed Raw Materials. Method for Determining Nitrogen and Crude Protein Content. Paragraph 8. Moscow, Standartinform Publ. (in Russian).

27 Singleton, V.L.; Rossi, Jr J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 1965. no. 16. pp. 144–158.

28 Nikolaeva T.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V. Method for determination of total content of phenolic compounds in plant extracts using Folin-Denis reagent and Folin-Ciocalteu reagent: modification and comparison. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya, 2021, no. 2, pp. 291–299. https://doi.org10.14258/jcprm.2021028250. (in Russian).

29 Taha FS, Mohamed GF, Mohamed SH, Mohamed MK. Optimization of the extraction of total phenolic compounds from sunflower meal and evaluation of the bioactivities of chosen extracts. American Journal of Food Technology. 2011. no. 6(12). pp. 1002–1020. https://doi.org/10.3923/ajft.2011.1002.1020.

30 Ye F, Liang Q, Li H, Zhao G. Solvent effects on phenolic content, composition, and antioxidant activity of extracts from florets of sunflower (Helianthus annuus L.). Industrial Crops and Products. 2015. no. 76. pp. 574–581. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.07.063

31 Abu-Reidah, I.M.; Taamalli, A. Special Issue on “Phenolic Compounds: Extraction, Optimization, Identification and Applications in Food Industry”. Processes 2022. no. 10(1). pp. 128. https://doi.org/10.3390/pr10010128

32 Czajkowska-Gonzalez Y.A., Alvarez-Parrilla E., Ruiz M.R.N. Addition of phenolic compounds to bread: antioxidant benefits and impact on food structure and sensory characteristics. Food Production, Processing and Nutrition. 2021. no. 3. p. 25. https://doi.org10.1186/s43014–021–00068–8.

33 Faber, Iris, Laurice A.M., Pouvrea, Atze Jan van der Goot, Julia K. Keppler. Modulating commercial pea protein gel properties through the addition of phenolic compounds. Food Hydrocolloids. 2024. no. 154, p. 110123. ISSN 0268–005X. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110123.

34 Chibuye B., Singh I.S., Ramasamy S., Maseka K.K. Natural antioxidants: A comprehensive elucidation of their sources, mechanisms, and applications in health. Next Research. 2024. no. 1(2). p. 100086. – doi: 10.1016/j.nexres.2024.100086.

35 Singh SK, Thakur K, Sharma V, Saini M, Sharma D, et al. Exploring the multifaceted potential of chlorogenic acid. Journey from nutraceutical to nanomedicine. South African Journal of Botany. 2023. no. 159. pp. 658–677. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.038.

36 Saricaoglu B., Yılmaz H., Subası B.G., Capanoglu E. Effect of de-phenolization on protein-phenolic interactions of sunflower protein isolate. Food Research International. 2023. no. 164. p. 112345. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112345.

37 Jia W, Kyriakopoulou K, Roelofs B, Ndiaye M, Vincken JP, et al. Removal of phenolic compounds from de-oiled sunflower kernels by aqueous ethanol washing. Food Chemistry. 2021. no. 362. p. 130204. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130204.

Сведения об авторах

Мария Л. Доморощенкова к.т.н., доцент, вед. науч. сотр., зав. отделом производства пищевых растительных белков и биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, protein@vniig.org

https://orcid.org/0000-0003-4230-8372

Татьяна Ф. Демьяненко к.т.н., вед. науч. сотр. отдела производства пищевых растительных белков и биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, protein@vniig.org

https://orcid.org/0000-0002-4220-7224

Information about authors

Maria L. Domoroshchenkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, leading researcher, head of dep of vegetable proteins and biotechnology, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, protein@vniig.org

https://orcid.org/0000-0003-4230-8372

Tatyana F. Demyanenko Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, department of food vegetable proteins and biotechnology, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, protein@vniig.org

https://orcid.org/0000-0002-4220-7224

Ирина В. Крылова научный сотрудник, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, protein@vniig.org
https://orcid.org/0000-0002-0132-2189

Лилия О. Шагинова мл. научный сотрудник, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, protein@vniig.org
https://orcid.org/0000-0001-9938-8962

Ирина А. Лисицына зав. отделом, отдел исследования жиров, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, protein@vniig.org
https://orcid.org/0009-0005-4559-6228

Владимир Н. Марков к.т.н., зав. отделом производства растительных масел, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, vegoils@vniig.org
https://orcid.org/0000-0002-4711-0085

Irina V. Krylova Researcher, department of food vegetable proteins and biotechnology, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, protein@vniig.org
https://orcid.org/0000-0002-0132-2189

Liliia O. Shaginova junior researcher, department of food vegetable proteins and biotechnology, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, protein@vniig.org
https://orcid.org/0000-0001-9938-8962

Irina A. Lisitsyna head of department, fats research department, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, protein@vniig.org
https://orcid.org/0009-0005-4559-6228

Vladimir N. Markov Cand. Sci. (Engin.), head of department, department of vegetable oils production, All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, vegoils@vniig.org
https://orcid.org/0000-0002-4711-0085

Вклад авторов
Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution
All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 20/08/2026

Received 01/07/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 20/08/2026