

И.В. Ржепаковский¹
С.И. Писков¹
С.С. Аванесян¹
М.Н. Сизоненко¹
С.Н. Поветкин¹
Л.Д. Тимченко¹
М.Ш. Шахбанов¹
А.А. Нагдалян¹ ✉
М.Б. Ребезов^{2,3}

¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

²ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ anagdalian@ncfu.ru

Поступила в редакцию: 01.09.2025

Одобрена после рецензирования: 13.09.2025

Принята к публикации: 28.09.2025

© Ржепаковский И.В., Писков С.И., Аванесян С.С., Сизоненко М.Н., Поветкин С.Н., Тимченко Л.Д., Шахбанов М.Ш., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б.

Igor V. Rzhepakovsky¹
Sergey I. Piskov¹
Svetlana S. Avanesyan¹
Marina N. Sizonenko¹
Sergey N. Povetkin¹
Lyudmila D. Timchenko¹
Magomed Sh. Shakhbanov¹
Andrey A. Naghdalyan¹ ✉
Maksim B. Rebezov^{2,3}

¹North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ anagdalian@ncfu.ru

Received by the editorial office: 01.09.2025

Accepted in revised: 13.09.2025

Accepted for publication: 28.09.2025

© Rzhepakovsky I.V., Piskov S. I., Avanesyan S.S., Sizonenko M.N., Povetkin S.N., Timchenko L.D., Shakhbanov M.Sh., Naghdalian A.A., Rebezov M.B.

Влияние различных методов сушки на некоторые физико-химические свойства и антиоксидантную активность гидролизата белков куриного эмбриона

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Прямое добавление биоактивных пептидных субстанций в пищевые продукты и фармацевтические средства ограничено из-за их физико-химической нестабильности. Условия обработки, направленные на стабилизацию белковых гидролизатов, могут влиять на их биоактивные свойства. В этом исследовании проведен сравнительный анализ влияния условий лиофильной и распылительной сушки на комплекс бета-циклодекстрина и кислотно-ферментативного гидролизата белков куриного эмбриона. Были изучены структурные, физико-химические и антиоксидантные свойства.

Методы. Морфологию комплекса циклодекстрина и гидролизата исследовали методом рентгеновской микротомографии. Количество хлорида натрия определяли методом титрования. Содержание белков, пептидов, аминокислот и других продуктов гидролиза определяли методом Варбурга — Кристиана. Уровень аминного азота оценивали методом титрования формальдегидом. Антиоксидантную активность порошков определяли методом поглощения АБТС радикала.

Результаты. Лиофильно высушенный комплекс отличался хаотично распределенными длинными игольчатыми структурами. Порошок комплекса после распылительной сушки характеризовался мелкими округлыми частицами и значительно большей (на 21,6%) насыпной плотностью. По гранулометрическим данным, в обоих исследуемых образцах преобладали частицы размером 44,7–89,4 мкм. Лиофилизат отличался расширением гранулометрического состава в сторону укрупнения частиц (71,5 мкм — 1,4 мм; 2,8–5,7 мм). Микротомографические параметры и расчетные индексы указывали на преимущество распылительной сушки в плане равномерности структуры, трехмерной симметрии частиц, стремящейся к изотропии. Образцы комплексов бета-циклодекстрина и гидролизата после лиофильной и распылительной сушки не отличались по основным химическим свойствам. Однако уровень антирадикальной активности комплекса почти вдвое уменьшился после дегидратации методом распылительной сушки — $31,0 \pm 4,1$ против $61,5 \pm 3,6$ мМ ТЭ/г. Это требует совершенствования и отработки процесса с возможной корректировкой скорости подачи субстанции, температуры нагрева или дополнительного включения защитных компонентов в субстанцию перед высушиванием распылением.

Ключевые слова: куриный эмбрион, гидролизат белков, пептиды, лиофильная сушка, распылительная сушка

Для цитирования: Ржепаковский И.В. и др. Влияние различных методов сушки на некоторые физико-химические свойства и антиоксидантную активность гидролизата белков куриного эмбриона. *Аграрная наука*. 2025; 399(10): 182–190.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-182-190>

Effect of different drying methods on some physicochemical properties and antioxidant activity of chicken embryo protein hydrolysate

ABSTRACT

Relevance. Direct addition of bioactive peptide substances to food products and pharmaceuticals is limited due to their physicochemical instability. Processing conditions aimed at stabilizing protein hydrolysates can influence their bioactive properties. In this study, a comparative analysis of the effect of freeze-drying and spray drying conditions on a complex of beta-cyclodextrin and acid-enzymatic hydrolysate of chicken embryo proteins was carried out. Structural, physicochemical and antioxidant properties were studied.

Methods. The morphology of the cyclodextrin complex and hydrolysate was studied by X-ray microtomography. The amount of sodium chloride was determined by titration. The content of proteins, peptides, amino acids and other hydrolysis products was determined by the Warburg — Christian method. The level of amine nitrogen was estimated by titration with formaldehyde. The antioxidant activity of the powders was determined by the ABTS radical absorption method.

Results. The freeze-dried complex was characterized by chaotically distributed long needle-like structures. The powder of the complex after spray drying was characterized by small rounded particles and a significantly higher (by 21.6%) bulk density. According to the granulometric data, particles of 44.7–89.4 μm in size predominated in both studied samples. The lyophilisate was characterized by an expansion of the granulometric composition towards larger particles (71.5 μm — 1.4 mm; 2.8–5.7 mm). Microtomographic parameters and calculated indices indicated the advantage of spray drying in terms of uniformity of structure, three-dimensional symmetry of particles tending to isotropy. The Samples of beta-cyclodextrin and hydrolysate complexes after lyophilic and spray drying did not differ in their main chemical properties. However, the level of antiradical activity of the complex decreased almost twofold after dehydration by spray drying — 31.0 ± 4.1 versus 61.5 ± 3.6 μM TE/g. This requires improvement and development of the process with possible adjustment of the substance feed rate, heating temperature, or additional inclusion of protective components in the substance before spray drying.

Key words: chicken embryo, protein hydrolysate, peptides, freeze drying, spray drying

For citation: Rzhepakovsky I.V. et al. Effect of different drying methods on some physicochemical properties and antioxidant activity of chicken embryo protein hydrolysate. *Agrarian science*. 2025; 399(10): 182–190 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-182-190>

Введение/Introduction

В настоящее время в мировой науке и технологии интенсивно проводят работы, связанные с эффективной переработкой сырья животного происхождения [1–4], в том числе в интересах медицины [5–7]. Особое внимание обращается на белки куриного яйца в качестве источника пептидов для пищевой и фармацевтической промышленности [8, 9].

Пептиды — это органические вещества, образованные короткими цепочками 2–50 аминокислотных остатков, соединенных между собой пептидными связями. Некоторые пептиды выполняют важные функции в организме человека, включая регуляцию биологических процессов, участие в процессах иммунитета и проявление других биологических активностей, например антимикробной и антиоксидантной [10–13].

Учитывая количество различных аминокислот, их возможные варианты соединения в цепочки, а также вероятность химической модификации, существуют возможности получения молекул пептидов, обладающих как отдельными полезными активностями, так и комплексом активностей [14–17].

Недавние исследования показали, что белки и пептиды, полученные из куриных яиц, обладают различными типами антиоксидантной, противовоспалительной, иммуномодулирующей, антимикробной, противодиабетической, противораковой активностью, гипотензивным эффектом, хелатирующей и пенообразующей способностью [18–20].

Ранее авторами было подтверждено, что наличие большого комплекса белков внеэмбриональных и эмбриональных тканей птиц дает возможность получать широкий перечень пептидов, обладающих различными биологическими активностями. Проведенные исследования свидетельствуют о значительном увеличении биологической активности компонентов куриного яйца в процессе инкубации. Выявлено изменение качественного состава белков в различных компонентах куриного яйца, обусловленное в основном формированием новых органов и тканей в процессе эмбриогенеза. Моделирование желудочно-кишечного пищеварения *in vitro* привело к значительному увеличению антиоксидантной, противовоспалительной и гипотензивной активности [21].

Однако пептиды, кроме положительных качеств, обладают и некоторыми недостатками, в частности низким уровнем стабильности как в растворах, так и в биологических жидкостях организма. Поэтому, кроме создания технологии получения пептидсодержащих субстанций, требуется разработка приемов стабилизации данных комплексов как в процессе хранения, так и при применении [22].

Ранее для повышения стабильности и биологической активности пептидов авторами были предприняты попытки создания комплексов бета-циклодекстрина (β ЦД) и гидролизатов белков

куриного эмбриона. Бета-циклодекстрин — это циклический олигосахарид, состоящий из семи остатков глюкозы. Он широко используется в различных отраслях промышленности, включая фармацевтику, пищевую, косметическую и химическую [23–26].

В фармацевтике β ЦД применяется для улучшения растворимости и биодоступности лекарственных препаратов, особенно плохо растворимых в воде. В пищевой промышленности он используется как пищевая добавка (E459¹), стабилизатор и эмульгатор. В косметике β ЦД применяется для стабилизации активных компонентов, маскировки запахов и улучшения текстуры. Кроме того, β ЦД значительно улучшает процесс порошкообразования различных субстанций [27].

Основная задача данного исследования — сравнить способы получения стабилизированных порошков комплексов бета-циклодекстрина и смешанного гидролизата белков куриного эмбриона методами лиофильного и распылительного высушивания.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проводили на базе межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии медико-биологического факультета Северо-Кавказского федерального университета в 2025 году (г. Ставрополь, Россия).

Использовали оплодотворенные куриные яйца Хайсекс Браун, приобретенные в ООО «Агрокормсервис плюс» (станция Гиагинская, Республика Адыгея, Россия).

Инкубировались яйца в инкубаторе Rcom Maru Deluxe Max 380 (Autoalex Co, Южная Корея) при температуре 37,5–37,8 °C, относительной влажности 45–50%, повороте лотков с периодичностью 1 час.

Сырьем для гидролиза служил обезжиренный сублимат эмбрионально-яичной массы, полученный из инкубированных до 10-х (HH36) суток куриных яиц.

Последовательный кислотнo-ферментативный гидролиз осуществляли по ранее отработанной авторами схеме с использованием соляной кислоты и ферментов: алкалаза (активность 50 000 ед/г), нейтразы (активность 1,75 AU/г). Полученный гидролизат очищали микрофильтрацией с помощью системы фильтрации Vivaflow 50 (Sartorius, Франция) с полиэфирсульфоновыми мембранами 0,2 мкм [28]. Затем проводили приготовление комплекса гидролизата с бета-циклодекстрином (β ЦД). Раствор, содержащий β ЦД и гидролизат (1:1), инкубировали при 50 °C в течение 60 мин. при постоянном перемешивании в шейкер-термостате ES 20/60 (Biosan, Латвия) [27].

¹ https://www.atamanchemicals.com/e459-beta--cyclodextrin_u27984/?lang=RU

Для лиофильного высушивания полученный комплекс β ЦД и гидролизата замораживали в морозильной камере («ПОЗиС», Россия) при температуре минус 38–40 °С в течение 4 ч. и дегидратировали в лиофильной сушилке BK-FD10T (Biobase, Китай). Рабочее давление в сушильной камере — 1–2 Па, температура сублиматора — минус 60–65 °С. Температура высушиваемой субстанции за процесс сушки не превышала 28 °С. Время сушки 2,0 л образца — 28 ч.

Распылительную сушку комплекса β -циклодекстрина и гидролизата белков куриного эмбриона осуществляли на распылительной сушилке Mini spray dryer B-290 (Buchi, Швейцария) при температуре на входе 170 °С, на выходе 80 °С, аспирация 100%, скорость подачи образца 10 мл/мин, давление газа 4 бар, скорость сушки 0,6 л/ч. Общее время сушки 2 л образца составило 3,5 ч.

Насыпную плотность порошков рассчитывали в соответствии с ОФС «Насыпная плотность и плотность после уплотнения» измерением объема образца вещества известной массы в градуированном цилиндре и рассчитывали по формуле (1):

$$D = m/V, \quad (1)$$

где: D — насыпная плотность, г/см³; m — масса порошка, г; V — наблюдаемый объем неуплотненного испытуемого образца, мл³.

Растворимость образца определяли как массу порошка, которая может раствориться в единице объема дистиллированной воды при 25 °С до выпадения осадка и создании насыщенного раствора, и измеряли в г / 100 мл.

Объемные структурные свойства полученных порошков исследовали методом рентгеновской микротомографии на рентгеновском микрокомпьютерном томографе «Продис.Компакт» («Продис», Россия). Для исследования порошки были помещены в пластиковые пробирки без особого дополнительного уплотнения. Образцы сканировали при следующих параметрах: напряжение 40 кВ, ток 50 мкА, без фильтра, размер пикселя 22,35 мкм, время сканирования 50 мин.

Протокол сканирования включал поворот на 360° с шагом 0,3°, время экспозиции 1000 мс на изображение, усреднение изображения — 1. Управление сканированием и трехмерная реконструкция образцов были выполнены с помощью программы proDIS (версия 1.4, «Продис», Россия).

Для количественного анализа внутренней структуры и оценки рентгеноплотности в единицах шкалы Хаунсфилда (HU) использовали программное обеспечение СТАн (версия: 1.18.4.0, Bruker, Бельгия). Визуализацию структур осуществляли с

помощью программы DataViewer (версия: 1.5.6.2, Bruker, Бельгия).

Внутренняя структура порошков была охарактеризована микротомографическими параметрами, такими как процент объема объекта (ПОО), отношение поверхности к объему (ОПО), индекс фрагментации (ИФ), степень анизотропии (СФ), индекс моделирования структуры (ИМС) [29].

Определение количества натрия хлорида проводили методом титрования [30].

Белки, пептиды, аминокислоты и другие продукты гидролиза определяли методом Варбурга — Кристиана [31].

Массовую долю низкомолекулярных производных белков (пептидов и аминокислот) определяли методом Варбурга — Кристиана² после осаждения белков трихлоруксусной кислотой.

Массовую долю пептидов и аминокислот (МДПА) рассчитывали по формуле (2):

$$МДПА = B/A \times 100, \quad (2)$$

где: A — содержание белка в исходном гидролизате, мг/мл; B — содержание белка в фильтрате, мг/мл.

Содержание аминного азота определяли методом титрования формальдегидом.

Антиоксидантную активность определяли методом поглощения АБТС радикала³. Для этого порошки растворяли в фосфатно-солевом буфере (PBS, pH 7,4) и исследовали после центрифугирования с использованием набора реагентов для количественной оценки антиоксидантной активности (FITCHEM) методом, описанным в предыдущей работе с некоторой модификацией. АБТС-активность по удалению радикалов выражали в мкМ эквивалентов тролокса на 1 г сухого вещества (мкМ ТЭ/г) [32].

Статистическую обработку количественных данных проводили с использованием программного пакета Biostat (Primer of Bio-statistic version 4.03). Применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA)⁴. Количественные данные представляли в виде $M \pm Sd$ (M — среднее значение, Sd — стандартное отклонение).

Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Порошки комплексов β -циклодекстрина и смешанного гидролизата (соляная кислота, алкалаза, нейтраза) сублимата яично-эмбриональной массы получали методами лиофильной и распылительной сушки (рис. 1).

² Шлейкин А.Г., Скворцова Н.Н., Бландов А.Н. Биохимия. Лабораторный практикум. Ч. 2. Белки. Ферменты. Витамины: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО. 2015; 106.

³ <https://studfile.net/preview/2872890/page:15/>

⁴ <https://studfile.net/preview/1582408/page:3/>

Рис. 1. Процесс приготовления порошка комплекса β -циклодекстрина и смешанного гидролизата белков куриного эмбриона двумя способами: А — сублимат эмбрионально-яичной массы; Б — гидролизат эмбрионально-яичной массы; В — лиофильное высушивание; Г — дегидратация распылительной сушкой

Fig. 1. The process of preparing the powder of the β -cyclodextrin complex and the mixed hydrolysate of chicken embryo proteins in two ways: A — sublimate of the embryonic-egg mass; B — hydrolysate of the embryonic-egg mass; C — lyophilic drying; D — dehydration by spray drying



А



Б



В



Г

Выбранные методы сушки уже набрали популярность в пищевой и фармакологической промышленности. Лиофильная сушка выступает щадящей технологией дегидратации, обеспечивающей стабильность физико-химической и биологической активности пептидов. Распылительная сушка является широко используемой технологией микрокапсулирования благодаря низкой стоимости обработки и хорошей стабильности конечного продукта [33].

На рисунке 2 представлены полученные порошки комплексов β -циклодекстрина и гидролизата белков куриного эмбриона, высушенные методом лиофильной (β ЦД-СГАНл) и распылительной (β ЦД-СГАНр) сушки.

По внешнему виду порошок, полученный методом распылительной сушки, отличается более легкой текстурой, высоким уровнем равномерности и имеет более светлый оттенок. Визуализация порошков с применением рентгеновской микротомографии подтверждает более равномерный характер структур порошка, полученного методом распылительной сушки.

В отличие от длинных игольчатых структур лиофильно высушенного комплекса β ЦД-СГАНл, порошок β ЦД-СГАНр, полученный методом распылительной сушки, представлен в виде мелких округлых и неровных структур (рис. 3А).

Гранулометрический анализ исследуемых порошков показал, что и в комплексе β ЦД-СГАНл, и в β ЦД-СГАНр максимальное представительство имеют частицы 44,7–89,4 мкм. При этом порошок β ЦД-СГАНл отличался более широким гранулометрическим составом (рис. 3Б).

Спектр размерного распределения частиц комплекса β ЦД-СГАНл в сравнении с β ЦД-СГАНр включал крупные частицы (71,5 мкм — 1,4 мм; 2,8–5,7 мм).

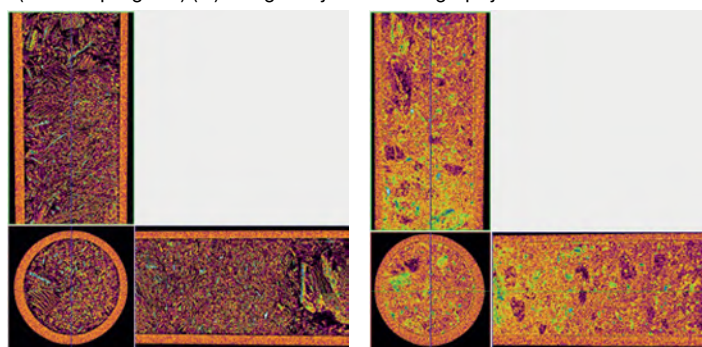
Рис. 2. Внешний вид порошков: β ЦД-СГАНл — комплекс, высушенный методом лиофильной сушки; β ЦД-СГАНр — комплекс, высушенный методом распылительной сушки

Fig. 2. Appearance of powders: β CD-MHANld — complex dried by freeze drying; β CD-MHANsd — complex dried by spray drying

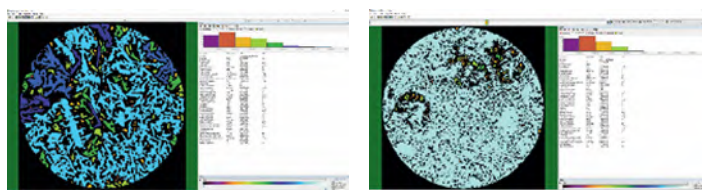


Рис. 3. Визуализация порошков (в программе DataViewer) (А) и 2D-анализ (в программе CTAn) (Б) с использованием рентгеновской микротомографии

Fig. 3. Powder visualization (in DataViewer program) (A) and 2D analysis (in CTAn program) (B) using X-ray microtomography



А



Б

βЦД-СГАНл — комплекс, высушенный методом лиофильной сушки

βЦД-СГАНр — комплекс, высушенный методом распылительной сушки

Стоит отметить, что время лиофильной сушки 2 л образца с учетом заморозки составил 32 ч., а того же объема методом распылительной сушки — 3,5 ч.

Анализ физико-химических показателей, представленных в таблице 1, свидетельствует об отсутствии достоверной разницы между порошками β ЦД-СГАНл и β ЦД-СГАНр по основным химическим показателям, характеризующим их биологически активные вещества.

Достоверное увеличение на 21,6% насыпной плотности при распылительной сушке подтверждает результаты, полученные при макро- и микровизуальном исследовании и связаны с особенностями технологического процесса высушивания.

Общая рентгеноплотность порошка, полученного при распылительной сушке, закономерно увеличилась на 12,9%, что связано с его более низкой (в 3,26 раза) регистрируемой пористостью.

Крупные рентгеноконтрастные игольчатые структуры лиофильно высушенного комплекса не смогли полностью компенсировать по рентгеноплотности наличие в этом порошке значительных пустот (табл. 2).

Микроструктурный рентгеновский анализ показал достоверную разницу между расчетными индексами, характеризующими распределение визуализируемого объема частиц порошков, полученных различными методами высушивания. Индексы структурного разделения и выпуклости поверхности в порошке β ЦД-СГАНр уменьшились, соответственно, на 30,5% и в 67,6 раза, что указывает на большую равномерность структур и сглаживание визуального регистрируемого объема частиц порошка в общие структуры. Вышеприведенные выводы хорошо подтверждаются визуализацией при 2D-анализе.

Степень анизотропии является показателем трехмерной структурной симметрии, которая в данном случае указывает на наличие или отсутствие преимущественной ориентации частиц порошка. Значение 0 соответствует полной изотропии, 1 — полной анизотропии.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что структуры порошка, полученного методом распылительной сушки, стремятся к большей изотропии, чем полученные методом лиофильной сушки.

Однако, несмотря на общую положительную с точки зрения технологии и экономической эффективности характеристику распылительной сушки, обращает на себя внимание снижение почти в 2 раза антирадикальной активности. Выявленный авторами факт согласуется с результатами других работ, согласно которым скорость поглощения супероксидного аниона, гидроксильного радикала и 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH) оказались самыми высокими для порошка пептидного гидролизата белка утиного яйца, полученного лиофильно, и самыми низкими для порошка, полученного распылительной сушкой [34]. Это может

Таблица 1. Некоторые физико-химические показатели и антиоксидантная активность комплексов бета-циклодекстрина и гидролизатов белков куриного эмбриона, высушенных различными способами ($M \pm Sd$)

Table 1. Some physicochemical parameters and antioxidant activity of beta-cyclodextrin complexes and hydrolysates of chicken embryo proteins dried in different ways ($M \pm Sd$)

Показатели ($n = 10$)	β ЦД-СГАНл	β ЦД-СГАНр
Насыпная плотность, г/см ³	18,2 $\pm$ 1,3	23,2 $\pm$ 1,4*
Растворимость, г / 100 мл	3,7 $\pm$ 0,2	3,8 $\pm$ 0,2
Аминный азот, %	14,6 $\pm$ 1,9	13,1 $\pm$ 2,1
Белки, пептиды, аминокислоты и другие продукты гидролиза, %	28,8 $\pm$ 3,9	28,0 $\pm$ 3,1
Низкомолекулярные продукты гидролиза (после обработки ТХУ), %	20,6 $\pm$ 2,4	21,2 $\pm$ 2,2
Содержание натрия хлорида, %	12,3 $\pm$ 0,8	12,8 $\pm$ 0,7
Антирадикальная активность (АБТС), μ М ТЭ/г	61,5 $\pm$ 3,6	31,0 $\pm$ 4,1*

Примечание: * $p \leq 0,05$.

Таблица 2. Микротомографические параметры комплексов бета-циклодекстрина и гидролизатов белков куриного эмбриона, высушенных различными способами ($M \pm Sd$)

Table 2. Microtomographic parameters of beta-cyclodextrin complexes and hydrolysates of chicken embryo proteins dried in different ways ($M \pm Sd$)

Показатели ($n = 10$)	β ЦД-СГАНл	β ЦД-СГАНр
Процент объема объекта (ПОО), %	50,8 $\pm$ 4,9	85,0 $\pm$ 3,1*
Пористость порошка, %	49,2 $\pm$ 5,8	15,1 $\pm$ 2,5*
Общая рентгеноплотность (НУ)	-673 $\pm$ 30	-596 $\pm$ 35*
Отношение поверхности объекта к объему (ОПОО), 1/мм	41,9 $\pm$ 3,8	15,4 $\pm$ 2,1*
Структурное разделение (СР), мм	0,082 $\pm$ 0,0041	0,057 $\pm$ 0,0023*
Индекс выпуклости поверхности (ИВП), 1/мм	-0,46 $\pm$ 0,04	-31,1 $\pm$ 5,1*
Индекс моделирования структуры (ИМС)	-0,06 $\pm$ 0,002	-12,3 $\pm$ 1,5*
Степень анизотропии (СА)	0,48 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,01*

Примечание: * $p \leq 0,05$.

объясняться низкой температурой лиофильной сушки, препятствующей изменению пространственной структуры белковых пептидов и, следовательно, изменению их биоактивных свойств.

В то же время данные авторов идут в некий разрез с целым рядом результатов других исследователей, проводящих сравнительный анализ влияния лиофильной и распылительной сушек на биоактивные свойства белковых гидролизатов в пользу распылительной [35, 36]. Это, по всей видимости, обусловлено влиянием высокой температуры на биологически активные вещества, являющиеся донорами электронов для АБТС-радикала. Полагаем, данный факт может отрицательно сказаться и на других термолабильных соединениях, понизив различные специфические активности полученной субстанции.

Вышесказанное еще раз подтверждает, что изменения условий распылительной сушки, таких как температура воздуха на входе и скорость потока подачи, могут по-разному влиять на гигроскопичность и морфологию частиц образца, физико-химические и, как следствие, биоактивные свойства белкового гидролизата [37]. Поэтому

комплекс бета-циклодекстрина и гидролизата белков куриного эмбриона целесообразно изучить при различных вариациях условий распылительной сушки, что и выступит целью дальнейшего исследования.

Выводы/Conclusions

В настоящем исследовании в оптимизированных условиях получен комплекс включения β -циклодекстрина со смешанным гидролизатом (пептидными фракциями) белков куриного эмбриона.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00178 «Разработка научно-методических основ переработки куриного яйца для производства функциональных пептидсодержащих пищевых ингредиентов» (дата обращения: 25.07.25).
<https://rscf.ru/project/24-26-00178>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чанов И.М. Применение методов *in silico* при направленном гидролизе сывороточных белков. *Аграрная наука*. 2024; (7): 170–178. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-170-178>
2. Duffuler P., Bhullar K.S., de Campos Zani S.C., Wu J. Bioactive Peptides: From Basic Research to Clinical Trials and Commercialization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70 (12): 3585–3595. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06289>
3. Takahashi D., Shukla S.K., Prakash O., Zhang G. Structural determinants of host defense peptides for antimicrobial activity and target cell selectivity. *Biochimie*. 2010; 92(9): 1236–1241. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.02.023>
4. Зинина О.В., Меренкова С.П., Ребезов М.Б., Вишнякова Е.А. Исследование свойств белковых гидролизатов, полученных из желтков цыплят-бройлеров, как потенциального компонента биоактивных пленочных покрытий. *Пищевые системы*. 2024; 7 (1): 44–51. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-44-51>
5. Okasha H. Fundamental uses of peptides as a new model in both treatment and diagnosis. *Recent Patents on Biotechnology*. 2024; 18 (2): 110–127. <https://doi.org/10.2174/1872208317666230512143508>
6. Lebleu B. Feature collection in peptide therapeutics: current applications and future directions. *Biomedicines*. 2024; 12 (12): 2919. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12122919>
7. Hou H. *et al.* A Review of Bioactive Peptides: Chemical Modification, Structural Characterization and Therapeutic Applications. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 2020; 16(12): 1687–1718. <https://doi.org/10.1166/jbn.2020.3001>
8. Song L., Chen Y., Liu H., Zhang X. Preparation, biological activities, and potential applications of hen egg-derived peptides: A review. *Foods*. 2024; 13: 885. <https://doi.org/10.3390/foods13060885>
9. Abeer M.M., Trajkovic S., Brayden D.J., Measuring the oral bioavailability of protein hydrolysates derived from food sources: A critical review of current bioassays. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2021; 144(2021): 112275. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112275>
10. Chen Q. *et al.* Impact of Antifouling PEG Layer on the Performance of Functional Peptides in Regulating Cell Behaviors. *Journal of the American Chemical Society*. 2019; 141(42): 16772–16780. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b07105>
11. Zinina O., Merenkova S., Rebezov M., Galimov D., Khayrullin M., Burkov P. Physicochemical, functional, and technological properties of protein hydrolysates obtained by microbial fermentation of broiler chicken gizzards. *Fermentation*. 2022; 8(7): 317. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070317>
12. Ma J., Yan L., Yang J., He Yu., Wu Li. Effect of modification strategies on the biological activity of peptides/proteins. *ChemBioChem*. 2024; 25(3). <https://doi.org/10.1002/cbic.202300481>

Полученные результаты доказывают возможность использования как распылительной, так и лиофильной сушки в целях стабилизации комплексов бета-циклодекстрина и гидролизатов белков куриного эмбриона. Однако для проведения высушивания методом распылительной сушки требуются совершенствование и отработка процесса с возможной корректировкой скорости подачи субстанции, температуры нагрева или дополнительного включения защитных компонентов в субстанцию перед высушиванием.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-26-00178 “Development of scientific and methodological foundations for processing chicken eggs for the production of functional peptide-containing food ingredients” (accessed: 07/25/25).
<https://rscf.ru/project/24-26-00178>

REFERENCES

1. Chanov I.M. Application of *in silico* methods for targeted hydrolysis of whey proteins. *Agrarian science*. 2024; (7): 170–178 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-170-178>
2. Duffuler P., Bhullar K.S., de Campos Zani S.C., Wu J. Bioactive Peptides: From Basic Research to Clinical Trials and Commercialization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70 (12): 3585–3595. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06289>
3. Takahashi D., Shukla S.K., Prakash O., Zhang G. Structural determinants of host defense peptides for antimicrobial activity and target cell selectivity. *Biochimie*. 2010; 92(9): 1236–1241. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.02.023>
4. Zinina O.V., Merenkova S.P., Rebezov M.B., Vishnyakova E.A. Research of the properties of protein hydrolysates obtained from the broiler chicken gizzards as a potential component of bioactive film coatings. *Food systems*. 2024; 7 (1): 44–51 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-44-51>
5. Okasha H. Fundamental uses of peptides as a new model in both treatment and diagnosis. *Recent Patents on Biotechnology*. 2024; 18 (2): 110–127. <https://doi.org/10.2174/1872208317666230512143508>
6. Lebleu B. Feature collection in peptide therapeutics: current applications and future directions. *Biomedicines*. 2024; 12 (12): 2919. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12122919>
7. Hou H. *et al.* A Review of Bioactive Peptides: Chemical Modification, Structural Characterization and Therapeutic Applications. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 2020; 16(12): 1687–1718. <https://doi.org/10.1166/jbn.2020.3001>
8. Song L., Chen Y., Liu H., Zhang X. Preparation, biological activities, and potential applications of hen egg-derived peptides: A review. *Foods*. 2024; 13: 885. <https://doi.org/10.3390/foods13060885>
9. Abeer M.M., Trajkovic S., Brayden D.J., Measuring the oral bioavailability of protein hydrolysates derived from food sources: A critical review of current bioassays. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2021; 144(2021): 112275. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112275>
10. Chen Q. *et al.* Impact of Antifouling PEG Layer on the Performance of Functional Peptides in Regulating Cell Behaviors. *Journal of the American Chemical Society*. 2019; 141(42): 16772–16780. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b07105>
11. Zinina O., Merenkova S., Rebezov M., Galimov D., Khayrullin M., Burkov P. Physicochemical, functional, and technological properties of protein hydrolysates obtained by microbial fermentation of broiler chicken gizzards. *Fermentation*. 2022; 8(7): 317. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070317>
12. Ma J., Yan L., Yang J., He Yu., Wu Li. Effect of modification strategies on the biological activity of peptides/proteins. *ChemBioChem*. 2024; 25(3). <https://doi.org/10.1002/cbic.202300481>

13. Зинина О.В., Николина А.Д., Хвостов Д.В., Ребезов М.Б., Завьялов С.Н., Ахмедзянов Р.В. Белковый гидролизат как источник биоактивных пептидов в пищевой продукции диабетического питания. *Пищевые системы*. 2023; 6(4): 440–448. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>
14. Шевченко В.П., Вьюнова Т.В., Андреева Л.А., Нагаев И.Ю., Шевченко К.В., Мясоедов Н.Ф. Специальные подходы для синтеза и использования пептидных фрагментов и их аналогов при конструировании лекарственных средств: обзор. *Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах*. 2024; 518(1): 3–22. <https://doi.org/10.31857/S2686953524050014>
15. de Araújo R.S.A., Mendonça F.J.B., Scotti M.T., Scotti L. Protein modeling. *Physical Sciences Reviews*. 2023; 8(4): 567–582. <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0161>
16. Chavan S.S., Saze H., Tanaka F. Chemical modification of peptides and proteins using spirooxindole oxirane derivatives. *Advanced Synthesis and Catalysis*. 2023; 365(13): 2171–2176. <https://doi.org/10.1002/adsc.202300578>
17. Окусханова Э.К., Асенова Б.К., Смольникова Ф.Х., Ребезов М.Б. Исследование химического, аминокислотного состава и микро-структуры мяса марала крестьянского хозяйства «Багратион» Восточно-Казахстанской области. *АПК России*. 2021; 28(5): 671–677. <https://elibrary.ru/losohw>
18. Zhao W., Zhang D., Yu Z., Ding L., Liu J. Novel membrane peptidase inhibitory peptides with activity against angiotensin converting enzyme and dipeptidyl peptidase IV identified from hen eggs. *Journal of Functional Foods*. 2020; 64: 103649. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103649>
19. Lee J.H., Lee J.-E., Paik H.-D. Immunomodulatory activity of egg yolk protein hydrolysates prepared by novel two-step hydrolysis: A study of mechanism and stability after in vitro digestion model. *Poultry Science*. 2022; 101: 101802. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101802>
20. Li Z., Huang X., Tang Q., Ma M., Jin Y., Sheng L. Functional properties and extraction techniques of chicken egg white proteins. *Foods*. 2022; 11: 2434. <https://doi.org/10.3390/foods11162434>
21. Rzhepakovsky I., Piskov S., Avanesyan S., Kurchenko V., Shakhbanov M., Sizonenko M., Timchenko L., Kovaleva I., Özbek H.N., Gogus F., Ulrih N., Nagdalian A. Analysis of bioactive compounds of hen egg components at the first half of incubation. *Journal of Food Science*. 2024; 89: 8784–8803. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17596>
22. Lamers C. Overcoming the shortcomings of peptide-based therapeutics. *Future Drug Discovery*. 2022; 4(2). <https://doi.org/10.4155/fdd-2022-0005>
23. Искинеева А.С., Мустафаева А.К. Новая водорастворимая форма витаминов А и Е в форме комплекса включения с бета-циклодекстрином. *Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сборник материалов VIII Всероссийской конференции, посвященной 60-летию ПАО «Химпром»*. Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова. 2020; 187. <https://elibrary.ru/lkocxe>
24. Шиловская М.О. Получение и биофармацевтическая оценка комплексов леводопы с бета-циклодекстрином. *Белые цветы: сборник тезисов XI Международного молодежного научного медицинского форума, посвященного 150-летию Н.А. Семашко*. Казань: Казанский государственный медицинский университет. 2024; 1114–1115. <https://elibrary.ru/gsdpxy>
25. Рудометова Н.В. Бета-циклодекстрины как инструмент создания новых конкурентоспособных пищевых ингредиентов. *Продовольственная безопасность и научное обеспечение развития отечественной индустрии конкурентоспособных пищевых ингредиентов. Материалы Международной научно-практической конференции*. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок. 2015; 180–182. <https://elibrary.ru/vjogyp>
26. Воробьева Н., Корнелюк О., Ложко Д. Стабильность рекомбинантного белка AIMP1/P43 людини в наноконкомпозитном комплексі з бета-циклодекстрином. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Проблеми регуляції фізіологічних функцій*. 2016; 1(20): 15–18. <https://elibrary.ru/wilvod>
27. Halavach T.M. et al. Influence of complexation with β - and γ -cyclodextrin on bioactivity of whey and colostrum peptides. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24: 13987. <https://doi.org/10.3390/ijms241813987>
28. Rzhepakovsky I.V., Timchenko L.D., Areshidze D.A., Avanesyan S.S., Budkevich E.V., Piskov S.I., Kochergin S.G. Antioxidant activity of chicken embryo tissues powder obtained by different methods of hydrolysis. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019; 27: 127–133. <https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads/2020/07/10.-Full-paper-Igor-Rzhepakovsky.pdf>
13. Zinina O.V., Nikolina A.D., Khvostov D.V., Rebezov M.B., Zavyalov S.N., Akhmedzyanov R.V. Protein hydrolysate as a source of bioactive peptides in diabetic food products. *Food systems*. 2023; 6(4): 440–448 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>
14. Shevchenko V.P., Vyunova T.V., Andreeva L.A., Nagaev I.Yu., Shevchenko K.V., Myasoedov N.F. Special approaches for the synthesis and use of peptide fragments and their analogues in the design of medicines. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Chemistry, Materials Science*. 2024; 518(1): 3–22 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2686953524050014>
15. de Araújo R.S.A., Mendonça F.J.B., Scotti M.T., Scotti L. Protein modeling. *Physical Sciences Reviews*. 2023; 8(4): 567–582. <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0161>
16. Chavan S.S., Saze H., Tanaka F. Chemical modification of peptides and proteins using spirooxindole oxirane derivatives. *Advanced Synthesis and Catalysis*. 2023; 365(13): 2171–2176. <https://doi.org/10.1002/adsc.202300578>
17. Okuskhanova E.K., Asenova B.K., Smolnikova F.Kh., Rebezov M.B. Studying the chemical, amino acid composition and microstructure of the maral meat of the farm “Bagration” in East Kazakhstan oblast. *Agro-industrial complex of Russia*. 2021; 28(5): 671–677 (in Russian). <https://elibrary.ru/losohw>
18. Zhao W., Zhang D., Yu Z., Ding L., Liu J. Novel membrane peptidase inhibitory peptides with activity against angiotensin converting enzyme and dipeptidyl peptidase IV identified from hen eggs. *Journal of Functional Foods*. 2020; 64: 103649. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103649>
19. Lee J.H., Lee J.-E., Paik H.-D. Immunomodulatory activity of egg yolk protein hydrolysates prepared by novel two-step hydrolysis: A study of mechanism and stability after in vitro digestion model. *Poultry Science*. 2022; 101: 101802. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101802>
20. Li Z., Huang X., Tang Q., Ma M., Jin Y., Sheng L. Functional properties and extraction techniques of chicken egg white proteins. *Foods*. 2022; 11: 2434. <https://doi.org/10.3390/foods11162434>
21. Rzhepakovsky I., Piskov S., Avanesyan S., Kurchenko V., Shakhbanov M., Sizonenko M., Timchenko L., Kovaleva I., Özbek H.N., Gogus F., Ulrih N., Nagdalian A. Analysis of bioactive compounds of hen egg components at the first half of incubation. *Journal of Food Science*. 2024; 89: 8784–8803. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17596>
22. Lamers C. Overcoming the shortcomings of peptide-based therapeutics. *Future Drug Discovery*. 2022; 4(2). <https://doi.org/10.4155/fdd-2022-0005>
23. Iskineeva A.S., Mustafayeva A.K. A new water-soluble form of vitamins A and E in the form of an inclusion complex with beta-cyclodextrin. *Actual issues of chemical engineering and environmental protection: collection of materials of the VIII All-Russian conference dedicated to the 60th anniversary of PJSC “Khimprom”*. Cheboksary: Chuvash State University named after I.N. Ulyanov. 2020; 187 (in Russian). <https://elibrary.ru/lkocxe>
24. Shilovskaya M.O. Production and biopharmaceutical evaluation of levodopa complexes with beta-cyclodextrin. *White flowers: collection of abstracts of the XI International Youth Scientific Medical Forum dedicated to the 150th anniversary of N.A. Semashko*. Kazan: Kazan State Medical University. 2024; 1114–1115 (in Russian). <https://elibrary.ru/gsdpxy>
25. Rudometova N.V. Beta-cyclodextrins as a tool for creating new competitive food ingredients. Food security and scientific support for the development of the domestic industry of competitive food ingredients. *Proceedings of the International scientific and practical conference. St. Petersburg: All-Russian Research Institute of Food Additives*. 2015; 180–182 (in Russian). <https://elibrary.ru/vjogyp>
26. Vorobyova N., Kornelyuk O., Lozhko D. Stability of recombinant human AIMP1/P43 protein in a nanocomposite complex with beta-cyclodextrin. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Problems of Physiological Functions Regulation*. 2016; 1(20): 15–18 (in Ukrainian). <https://elibrary.ru/wilvod>
27. Halavach T.M. et al. Influence of complexation with β - and γ -cyclodextrin on bioactivity of whey and colostrum peptides. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24: 13987. <https://doi.org/10.3390/ijms241813987>
28. Rzhepakovsky I.V., Timchenko L.D., Areshidze D.A., Avanesyan S.S., Budkevich E.V., Piskov S.I., Kochergin S.G. Antioxidant activity of chicken embryo tissues powder obtained by different methods of hydrolysis. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019; 27: 127–133. <https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads/2020/07/10.-Full-paper-Igor-Rzhepakovsky.pdf>

29. Naghdalyan A., Rzhepakovsky I., Siddiqui S., Piskov S., Oboturova N., Timchenko L., Lodygin A., Blinov A., Ibrahim S. Analysis of the content of mechanically separated poultry meat in sausage using computing microtomography. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021; 100: 103918. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103918>
30. Sezey M., Adun P. Validation of mohr titration method to determine salt in olive and olive brine. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 2019; 6(3): 329–334. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.496563>
31. Prakash J.B., Pandey S., Goswami S.K. Estimation of proteins by UV spectrophotometric method. *Protocols in Biochemistry and Clinical Biochemistry*. 2025; 97. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13945-1.00044-4>
32. Rzhepakovsky I., Anusha Siddiqui S., Avanesyan S., Benlidayi M., Dhinra K., Dolgalev A., Grimm W.D. Anti-arthritis effect of chicken embryo tissue hydrolyzate against adjuvant arthritis in rats (X-ray microtomographic and histopathological analysis). *Food Science & Nutrition*. 2021; 9(10): 5648–5669. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2529>
33. Wang H., Tong X., Yuan Y., Peng X., Zhang Q., Zhang S., Li Y. Effect of spray drying and freeze drying on the properties of soybean hydrolysates. *Journal of Chemistry*, 2020; 9201457. <https://doi.org/10.1155/2020/9201457>
34. Du T., Xu J., Zhu S., Yao X., Guo J., Lv W. Effects of spray drying, freeze drying, and vacuum drying on physicochemical and nutritional properties of protein peptide powder from salted duck egg white. *Frontiers in Nutrition*, 2022; 9: 1026903. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1026903>
35. Kumar D., Mishra A., Tarafdar A., Kumar Y., Verma K., Aluko R., Badgujar P.C. in vitro bioaccessibility and characterisation of spent hen meat hydrolysate powder prepared by spray and freeze-drying techniques. *Process Biochemistry*. 2021; 105: 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.03.029>
36. Liu T., Wang Y., Yu X., Li H., Ji L., Sun Y., Liu H. Effects of freeze-drying and spray-drying on the physical and chemical properties of Perinereis aibuhitensis hydrolysates: Sensory characteristics and antioxidant activities. *Food Chemistry*. 2022; 382: 132317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132317>
37. Sepúlveda Rincón C., Vásquez P., Zapata Montoya J. Effect of spray-drying conditions on the physical and antioxidant properties of a hydrolysate from red tilapia (*Oreochromis spp.*) viscera. *Food Science and Technology*. 2023; 43: e101522. <https://doi.org/10.1590/fst.101522>

ОБ АВТОРАХ

Игорь Владимирович Ржепаковский¹

кандидат биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
irzhepakovskii@ncfu.ru
<http://orcid.org/0000-0002-2632-8923>

Сергей Иванович Писков¹

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
spiskov@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5558-5486>

Светлана Суменовна Аванесян¹

научный сотрудник
savanesian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Марина Николаевна Сизоненко¹

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
msizonenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1009-7112>

Сергей Николаевич Поветкин¹

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры пищевых технологий и инжиниринга
spovetkin@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8293-3984>

Людмила Дмитриевна Тимченко¹

доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник
ltimchenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2011-880X>

29. Naghdalyan A., Rzhepakovsky I., Siddiqui S., Piskov S., Oboturova N., Timchenko L., Lodygin A., Blinov A., Ibrahim S. Analysis of the content of mechanically separated poultry meat in sausage using computing microtomography. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021; 100: 103918. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103918>

30. Sezey M., Adun P. Validation of mohr titration method to determine salt in olive and olive brine. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 2019; 6(3): 329–334. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.496563>

31. Prakash J.B., Pandey S., Goswami S.K. Estimation of proteins by UV spectrophotometric method. *Protocols in Biochemistry and Clinical Biochemistry*. 2025; 97. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13945-1.00044-4>

32. Rzhepakovsky I., Anusha Siddiqui S., Avanesyan S., Benlidayi M., Dhinra K., Dolgalev A., Grimm W.D. Anti-arthritis effect of chicken embryo tissue hydrolyzate against adjuvant arthritis in rats (X-ray microtomographic and histopathological analysis). *Food Science & Nutrition*. 2021; 9(10): 5648–5669. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2529>

33. Wang H., Tong X., Yuan Y., Peng X., Zhang Q., Zhang S., Li Y. Effect of spray drying and freeze drying on the properties of soybean hydrolysates. *Journal of Chemistry*, 2020; 9201457. <https://doi.org/10.1155/2020/9201457>

34. Du T., Xu J., Zhu S., Yao X., Guo J., Lv W. Effects of spray drying, freeze drying, and vacuum drying on physicochemical and nutritional properties of protein peptide powder from salted duck egg white. *Frontiers in Nutrition*, 2022; 9: 1026903. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1026903>

35. Kumar D., Mishra A., Tarafdar A., Kumar Y., Verma K., Aluko R., Badgujar P.C. in vitro bioaccessibility and characterisation of spent hen meat hydrolysate powder prepared by spray and freeze-drying techniques. *Process Biochemistry*. 2021; 105: 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.03.029>

36. Liu T., Wang Y., Yu X., Li H., Ji L., Sun Y., Liu H. Effects of freeze-drying and spray-drying on the physical and chemical properties of Perinereis aibuhitensis hydrolysates: Sensory characteristics and antioxidant activities. *Food Chemistry*. 2022; 382: 132317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132317>

37. Sepúlveda Rincón C., Vásquez P., Zapata Montoya J. Effect of spray-drying conditions on the physical and antioxidant properties of a hydrolysate from red tilapia (*Oreochromis spp.*) viscera. *Food Science and Technology*. 2023; 43: e101522. <https://doi.org/10.1590/fst.101522>

ABOUT THE AUTHORS

Igor Vladimirovich Rzhepakovsky¹

Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor, Leading Researcher
irzhepakovskii@ncfu.ru
<http://orcid.org/0000-0002-2632-8923>

Sergey Ivanovich Piskov¹

Candidate of Biological Sciences,
Leading Researcher
spiskov@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5558-5486>

Svetlana Surenovna Avanesyan¹

Researcher
savanesian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Marina Nikolaevna Sizonenko¹

Candidate of Biological Sciences,
Leading Researcher
msizonenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1009-7112>

Sergey Nikolaevich Povetkin¹

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
of the Department of Food Technology and Engineering
spovetkin@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8293-3984>

Lyudmila Dmitrievna Timchenko¹

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Chief Researcher
ltimchenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2011-880X>

Магомед Шамилович Шахбанов¹

младший научный сотрудник медико-биологического факультета
mshakhbanov@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2580-7233>

Андрей Ашотович Нагдалян¹

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
anagdalian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник²
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет,
ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Magomed Shamilovich Shakhbanov¹

Junior Researcher at the Faculty
of Medicine and Biology
mshakhbanov@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2580-7233>

Andrey Ashotovitch Naghdalyan¹

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
anagdalian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Maksim Borisovich Rebezov^{2, 3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher²
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department
of Biotechnology and Food Products³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University,
1 Pushkin Str., Stavropol, 355002, Russia

²V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems
of the Russian Academy of Sciences,
26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia