

Электрофизическое воздействие на белковое сырье

Юлия В. Устинова¹

yul48888048@ya.ru

 0000-0002-1649-889XДмитрий М. Бородулин¹

borodulin@rgau-msha.ru

 0000-0003-3035-0354¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, 127434, Россия

Аннотация. Органические полимеры используются во всех аспектах человеческой жизни и в настоящее время признаны важными материалами для общества. Для разработки органических полимерных материалов необходимо понимать структуру полимера. Белки – незаменимые компоненты живой материи, относящиеся к классу полиэлектролитов. Они являются главными полимерами среди органических веществ и имеют особую сложность строения. Макромолекулы белков также обладают высокой мобильностью при изменении внешних условий. Это облегчает создание органических веществ с новыми свойствами. Казеин является сложным белком с мощным аминокислотным составом. Представлены результаты экспериментов по разработке способов изменения изоэлектрической точки молочного белка казеина двумя доступными и технологически простыми способами. Первый способ основан на использовании воды с примесью современного наноматериала – фуллерена, являющегося новой аллотропной модификацией углерода, выделенной из природного материала шунгита. Отмечен существенный сдвиг изоэлектрической точки казеина в щелочную область, предложен механизм наблюдаемого явления, определена его практическая значимость для усовершенствования некоторых технологических стадий в производстве пищевых продуктов. Установлено, что коагуляция казеина (ИЭТБ) наблюдалась при значении pH=5,8 (стандартное значение области ИЭТБ составляет pH=4,6–4,7). Второй способ основан на использовании воды, предварительно обработанной микроволнами с частотой 2.45 ГГц. Установлен сдвиг изоэлектрической точки в кислую сторону. В проведенных испытаниях снижается положительный заряд в электростатическом балансе макромолекулы и наблюдается пониженное (pH = 3.2) значение ИЭТБ. Предложен механизм наблюдаемого явления, определена практическая значимость найденного приема для производства цельномолочной продукции с увеличенным сроком хранения.

Ключевые слова: белки, изоэлектрическая точка, казеин, фуллерен, микроволны, практическая значимость

Electrophysical effect on protein raw materials

Yulia V. Ustinova¹

yul48888048@ya.ru

 0000-0002-1649-889XDmitry M. Borodulin¹

borodulin@rgau-msha.ru

 0000-0003-3035-0354¹ Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia

Abstract. Organic polymers are used in all aspects of human life and are now recognized as important materials for society. To develop organic polymer materials, it is necessary to understand the structure of the polymer. Proteins are essential components of living matter belonging to the class of polyelectrolytes. They are the main polymers among organic substances and have a special complexity of structure. Protein macromolecules also have high mobility under changing environmental conditions. This makes it easier to create organic substances with new properties. Casein is a complex protein with a powerful amino acid composition. The results of experiments on the development of methods for changing the isoelectric point of milk casein protein in two accessible and technologically simple ways are presented. The first method is based on the use of water with an admixture of a modern nanomaterial – fullerene, which is a new allotropic modification of carbon isolated from the natural material shungite. A significant shift of the isoelectric point of casein to the alkaline region was noted, the mechanism of the observed phenomenon was proposed, and its practical significance for improving some technological stages in food production was determined. It was found that casein coagulation (IETB) was observed at pH = 5.8 (the standard value of the IETB region is pH = 4.6–4.7). The second method is based on the use of water pretreated with microwaves with a frequency of 2.45 GHz. The shift of the isoelectric point to the acidic side has been established. In the conducted tests, the positive charge in the electrostatic balance of macromolecules decreases and a reduced (pH = 3.2) value of IETB is observed. The mechanism of the observed phenomenon is proposed, the practical significance of the found technique for the production of whole milk products with an extended shelf life is determined.

Keywords: proteins, isoelectric point, casein, fullerene, microwaves, practical significance

Введение

Особой формой существования химических соединений является полимерное состояние веществ. При этом они качественно отличаются от низкомолекулярных веществ в физико-химических проявлениях.

Главное место среди них занимают органические полимеры, у которых основная цепь молекул построена из четырех элементов (углерода, азота, кислорода, водорода). Ассортимент полимерных продуктов постоянно расширяется. Они по объему производства и потреблению значительно опережают производство и потребление

важных промышленных материалов – металлов и неорганических полимеров [1–3].

При этом основным требованием современной техники является разработка «умных» материалов, способных оперативно изменять комплекс физико-химических и технологических свойств полимеров при различных условиях их существования [4].

Главными полимерами среди органических веществ являются белки – незаменимые компоненты живой материи, относящиеся к классу полиэлектролитов. Они обладают особой сложностью строения и значительными размерами

Для цитирования

Устинова Ю.В., Бородулин Д.М.. Электрофизическое воздействие на белковое сырье // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 113–118. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-113-118

For citation

Ustinova Yu.V., Borodulin D.M.. Electrophysical effect on protein raw materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 113–118. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-113-118

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

своих макромолекул, а также высокой мобильностью при изменении внешних условий. Это облегчает создание органических веществ с новыми свойствами [5].

Характеристика казеина. Казеин (лат. caseus – сыр) – сложный белок (фосфопротеид), образующийся из предшественника казеина – казеиногена при створаживании молока. Его содержание в коровьем молоке составляет 75–87% от суммы всех белков (2,8–3,5%) [6]. Основное преимущество данного белка – мощный аминокислотный состав. В состав казеина с химической формулой $C_{81}H_{125}N_{22}O_{39}P$ и молекулярной массой 24000 а.е.м., входят 8 важных для человека аминокислот [7].

Элементарный состав казеина (в%): углерод – 53,1; водород – 7,1; кислород – 22,8; азот – 15,4; сера – 0,8; фосфор – 0,8. Он широко используется в различных областях жизни. Казеин хорошо известен не только, как спортивная добавка к питанию спортсменов. Его активно применяют в медицинской практике [8]. Белки как полипептиды чувствительны к концентрации ионов водорода (рисунок 1).

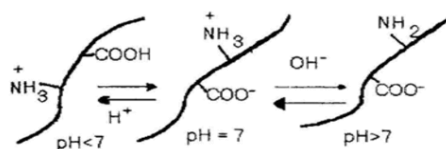


Рисунок 1. Влияние pH среды на структуру макромолекул белка

Figure 1. The effect of the pH of the medium on the structure of protein macromolecules

Из рисунка 1 следует: при $pH < 7$ на макромолекуле казеина имеются положительно заряженные аминокислотные группы (NH_3^+); при $pH = 7$ на макромолекуле белка одновременно находятся положительные (NH_3^+) и отрицательные (COO^-) группы; при $pH > 7$ имеются только отрицательные группы (COO^-). Важным физико-химическим и технологическим свойством казеина и всех белковых соединений является изоэлектрическое состояние белка – наличие изоэлектрической точки белка (ИЭТБ). При этом состоянии (определенное значение pH) число отрицательных зарядов равно числу положительных, а pH определяют по известной формуле Михаэлиса [9]: $pH = (pK_k + pK_o)/2$, где pK_k , pK_o – это константы диссоциации белков по типу кислоты и основания соответственно.

Управление величиной ИЭТБ имеет важное практическое значение, т. к. она определяет многие физико-химические свойства белков: минимум вязкости и набухания, наименьшее осмотическое давление, максимальная скорость застудневания, способность связывать воду и др. [10–11].

Использование фуллерена. К наноматериалам, производимых из природного материала – шунгита и востребованных на практике, относятся нанокуглеродные продукты – фуллерены разного строения (рисунок 2) [12].

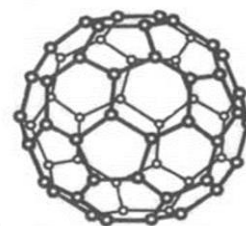


Рисунок 2. Схема структуры фуллерена C_{60}

Figure 2. Diagram of the C_{60} fullerene structure

Из рисунка 2 следует, что молекула углерода имеет замкнутую структуру, сочлененную из пятиугольников и шестиугольников. Это сложная сопряженная электрофильная структура, имеющая чередующиеся одинарные и двойные связи. Они могут при контакте с водой резко менять ее свойства. Его чистые образцы получают лазерным воздействием на графит [13–15].

Микроволны. Микроволны (МВ) имеют частотный диапазон электромагнитного излучения, расположенный в спектре между ультравысокими телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Этот частотный диапазон соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм, поэтому его называют так же диапазоном дециметровых или сантиметровых волн. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты МВ представлено на рисунке 3 [16–18].

В настоящее время МВ – обработка применяется в качестве стимулирующего фактора, направленного на интенсификацию технологических процессов и повышение пищевой ценности сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [19–23].

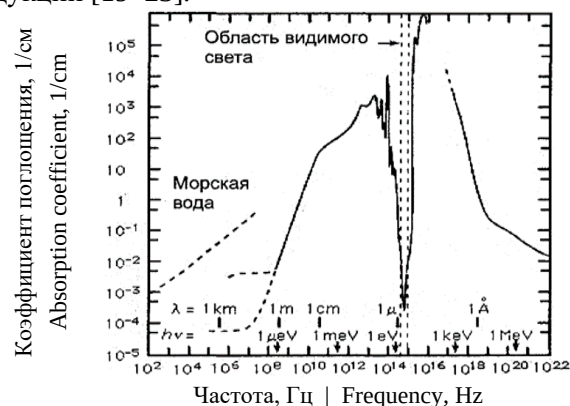


Рисунок 3. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты МВ

Figure 3. Absorption of the electromagnetic field by water depending on the frequency of MV

Цель работы – управление изoeлектрическим состоянием белков на примере казеина за счет его взаимодействия с водой, содержащей примеси современного наноматериала – фуллерена, и с водой, предварительно обработанной микроволнами.

Материалы и методы

Объектами исследования являются: 1 – определение влияния фуллерена на ИЭТБ; 2-определение влияния микроволн на ИЭТБ.

Экспериментальные исследования проводили двумя способами: 1 – в качестве основного экспериментального приема выбран контакт дистиллированной воды с шунгитом (произведен по ТУ 1916–002–55154581–2009), содержащем наноматериал – фуллерен C₆₀). Настаивание воды на шунгите проводили в течение 3-х суток; 2- использование воды, предварительно обработанной микроволнами с частотой 2.45 ГГц в течении 3 сек. Определение ИЭТБ казеина проведено фотометрически и визуально по стандартной методике, описанной в различных источниках [23]. Определение pH раствора с помощью pH-метра ЭВ-74.

Результаты и обсуждение

Подготовка воды с фуллереном. В результате контакта образуется гидратированный фуллерен C₆₀ – C₆₀ HyFn – это прочный, гидрофильный высокомолекулярный комплекс с размером 1,6–1,8 нм. В настоящее время, максимальная концентрация C₆₀, в виде C₆₀ HyFn, которую удалось создать в воде, эквивалентна 4 мг/мл [25].

Определение ИЭТБ казеина. Опытные растворы были приготовлены из раствора казеина (10% от объема пробы), с добавкой ацетатного буфера. Для создания pH среды в интервале 2–6,5 использованы растворы уксусной кислоты и воды с примесью фуллерена. Созревание растворов после перемешивания проходило в течение 10 минут. Для каждого раствора с помощью pH-метра определяли величину pH и визуально прозрачность. Установлено, что коагуляция казеина (ИЭТБ) наблюдалась при значении pH=5,8 (стандартное значение области ИЭТБ составляет pH=4,6–4,7) [26–28]. Этот факт указывает на связывание излишних отрицательных зарядов на макромолекуле белка примесью фуллерена по схеме на рисунке 4.

Выявлено, что отрицательные заряды на макромолекуле казеина экранируются сопряженными системами фуллерена. При этом снижается доля отрицательного заряда

в электростатическом балансе макромолекул и наблюдается повышенное значение ИЭТБ. Такое новое явление раннего осаждения белка в присутствии наноматериала – фуллерена имеет большую практическую значимость для ускоренного промышленного производства казеина и кисломолочных продуктов на его основе (творог, сыр).

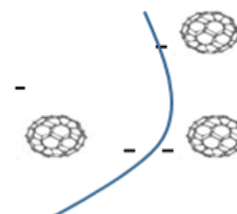


Рисунок 4. Схема взаимодействия макромолекул белков с фуллереном

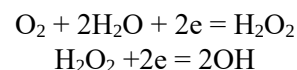
Figure 4. Diagram of the interaction of protein macromolecules with fullerene

Подготовка воды микроволнами. Микроволны (МВ) имеют частотный диапазон электромагнитного излучения, расположенный в спектре между ультравысокими телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Этот частотный диапазон соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм, поэтому его называют так же диапазоном дециметровых или сантиметровых волн.

При воздействии электромагнитного излучения с водой происходит накопление энергии в кластерной структуре до некоторого критического значения, затем происходит разрыв связей как между кластерами, так и других, происходит лавинообразное освобождение энергии, которая может затем трансформироваться в другие типы (рисунок 3). В случае биологических систем это может служить первичным механизмом сложных процессов. Из рисунка 3 следует, что при частоте волн $2,45 \times 10^9$ Гц наблюдается интенсивное поглощение водой энергии микроволн (эффект резонанса).

В настоящее время МВ – обработка применяется в качестве стимулирующего фактора, направленного на интенсификацию технологических процессов и изменения качества исходного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

Определение ИЭТБ казеина. При обработке воды микроволнами наблюдается дополнительное растворение кислорода в воде с образованием примесей перекиси водорода с последующим ее разложением по реакциям:



Поэтому можно сделать вывод о появлении дополнительных количеств гидроксильных ионов в воде, обрабатываемой микроволнами. При этом происходит нейтрализация части положительных зарядов на макромолекуле белка по предлагаемой схеме (рисунок 5).

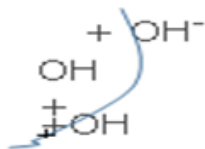


Рисунок 5. Схема взаимодействия OH – групп с молекулами белка

Figure 5. Diagram of the interaction of OH groups with protein molecules

Из рисунка 5 следует, что в проведенных испытаниях снижается положительный заряд в электростатическом балансе макромолекул и наблюдается пониженное (pH=3.2) значение ИЭТБ.

Такое новое явление позднего осаждения белка водой, обработанной МВ, имеет большую практическую значимость для промышленного производства восстановленного молока с повышенным сроком хранения без добавки консервантов.

Заключение

В результате проведенных исследований предложены альтернативные методы управления ИЭТБ при использовании современных наноматериалов и микроволновой обработки водной системы, что является основой интенсификации ряда промышленных производств.

Литература

- 1 Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф. и др. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. Т. 12. № 6. С. 320–325.
- 2 Чанг Ч.И.Д., Зенитова Л.А. Полимерный композиционный материал на основе пенополиуретана и хитина и его свойства // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 56–60.
- 3 Лескова С.А. Проблемы биodeградации полиолефинов на примере полиэтилена // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 40. С. 309–315.
- 4 Нгуен Ч.Н., Пыхтин А.А., Симонов-Емельянов И.Д. Дисперсные деформирующиеся частицы, расчет составов и технология получения высоконаполненных полимерных композиционных материалов // Пластические массы. 2022. № 5–6. С. 39–44.
- 5 Долинская Р.М., Прокопчук Н.Р. Использование резиновой крошки в качестве наполнителя термопластов (обзор) // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 37–44.
- 6 Худякова Н., Ступина А., Классен И. Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у разных пород крупного рогатого скота // Аграрный научный журнал. 2023. Р. 85–91. doi: 10.28983/asj.y2023i4pp85–91
- 7 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Богданова Е.В., Шабалова Е.Д. Особенности получения и применения мицеллярного казеина в технологии молокоемких белковых продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 592–601.
- 8 Сенцова Т.Б., Ильенко Л.И., Казюкова Т.В. и др. Сравнительная нутрициологическая эффективность казеин-доминирующих и сывороточных смесей, используемых для вскармливания детей первого полугодия жизни // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2019. Т. 98. № 4. С. 149–157.
- 9 Федоров А.А., Сочивко Д.Г., Варламов Д.А., Курочкин В.Е. Модель линейного ингибирования активности фермента в ходе полимеразной цепной реакции // Журнал технической физики. 2022. Т. 92. № 7. С. 958–962.
- 10 Chen G.Q., Qu Y., Gras S.L., Kentish S.E. Separation technologies for whey protein fractionation // Food Engineering Reviews. 2023. V. 15. № 3. P. 438–465. doi: 10.1007/s12393-022-09330-2
- 11 Pedrali D., Scarafoni A., Giorgi A., Lavelli V. Binary Alginate-Whey Protein Hydrogels for Antioxidant Encapsulation // Antioxidants. 2023. V. 12. № 6. P. 1192. doi: 10.3390/antiox12061192
- 12 Miwa K., Aoyagi S., Sasamori T., Morisako S. et al. Facile Multiple Alkylations of C60 Fullerene // Molecules. 2022. V. 27. № 2. P. 450.
- 13 Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Dzhemilev U.M. Fullerene-containing lubricants: Achievements and prospects // Petroleum Chemistry. 2020. V. 60. P. 113–133. doi: 10.1134/S0965544120010144
- 14 Fernandes N.B., Shenoy R.U.K., Kajampady M.K., DCruz C.E. et al. Fullerenes for the treatment of cancer: an emerging tool // Environmental Science and Pollution Research. 2022. V. 29. № 39. P. 58607–58627. doi: 10.1007/s11356-022-21449-7
- 15 Yamaguchi N., Sano H., Sawahata H., Nakano M. et al. Statistical analysis of properties of non-fullerene acceptors for organic photovoltaics // Japanese Journal of Applied Physics. 2022. V. 61. № 3. P. 030905. doi: 10.35848/1347-4065/ac4894
- 16 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. № 16. P. 9288.
- 17 Al_Dulamey Q.K. The Development of microwave applications in medical field // Rafidain Journal of Science. 2021. V. 30. № 2. P. 23–39.
- 18 Chan J.H., Mumtaz S., Lee S.V., Kim, D.–Y. et al. Focusing high-power microwaves with positive and negative band plates to increase the receiving power in an axial axial oscillator with a virtual cathode // Curr. Appl. Phys. 2021. V. 29. P. 89–96.
- 19 Ryan T.P. History and development of microwave thermal therapy // Principles and Technologies for Electromagnetic Energy Based Therapies. Academic Press, 2022. P. 313–347.
- 20 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. № 16. P. 9288. doi: 10.3390/ijms23169288

- 21 Балан Д.Д., Кулемин И.В. Экспериментальное исследование свойств микроволнового излучения // Шаг в науку. 2023. № 1. С. 11–16.
- 22 Авакян С.В., Баранова Л.А. Микроволновые излучения в проблеме современных вирусных заболеваний // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 4. С. 372–383.
- 23 Петрова С.Ю., Хлгатын С.В., Емельянова О.Ю. и др. Современные сведения о казеинах молока // Биоорганическая химия. 2022. V. 48. № 2. С. 207–216.
- 24 Шевченко Т.В., Дубинина И.Е., Устинова Ю.В., Попов А.М. Получение цветных пищевых крахмалов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 75–83.
- 25 Сенченкова Е.А., Боровская Л.В. Процесс коагуляции белков молока // The Scientific Heritage. 2021. № 80–3. С. 28–31.
- 26 Пат. № 2794151, RU, A23J 3/08. Способ изменения изоэлектрической точки белка с использованием активированной воды / Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Попов А.М. № 2021123640; Заявл. 05.08.2021; Опубл. 12.04.2023, Бюл. № 11.
- 27 Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Юстратов В.П., Безруков М.С. и др. Использование фуллерена при хранении и сушке яблок // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. №2. С.85-93.
- 28 Titorenko E., Ermolaeva E., Ivanov P., Ustinova Yu. Designing the technology and composition of plant extracts using reduced atmospheric pressure // Nexo Revista Científica. 2023. V. 36. № 02. P. 139–147.

References

- 1 Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F. et al. Biodegradable polymer materials and modifying additives: current state. Part 1. Nanotechnologies in construction: scientific online journal. 2020. vol. 12. no. 6. pp. 320–325. (in Russian).
- 2 Chang C.I.D., Zenitova L.A. Polymer composite material based on polyurethane foam and chitin and its properties. Bulletin of the Technological University. 2021. vol. 24. no. 2. pp. 56–60. (in Russian).
- 3 Leskova S.A. Problems of biodegradation of polyolefins using the example of polyethylene. Innovations. The science. Education. 2021. no. 40. pp. 309–315. (in Russian).
- 4 Nguyen Ch.N., Pykhtin A.A., Simonov-Emelyanov I.D. Dispersed deformable particles, calculation of compositions and technology for producing highly filled polymer composite materials. Plastic masses. 2022. no. 5–6. pp. 39–44. (in Russian).
- 5 Dolinskaya R.M., Prokopchuk N.R. The use of crumb rubber as a filler for thermoplastics (review). Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2022. no. 1 (253). pp. 37–44. (in Russian).
- 6 Khudyakova N., Stupina A., Klassen I. Frequency of occurrence of beta-casein gene alleles in different breeds of cattle. Agricultural Scientific Journal. 2023. pp. 85–91. doi: 10.28983/asj.y2023i4pp85–91 (in Russian).
- 7 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Bogdanova E.V., Shabalova E.D. Features of the production and use of micellar casein in the technology of milk-intensive protein products. Equipment and technology of food production. 2022. vol. 52. no. 3. pp. 592–601. (in Russian).
- 8 Sentsova T.B., Ilyenko L.I., Kazyukova T.V. and others. Comparative nutritional effectiveness of casein-dominant and whey formulas used for feeding children in the first half of life. Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky. 2019. vol. 98. no. 4. pp. 149–157. (in Russian).
- 9 Fedorov A.A., Sochivko D.G., Varlamov D.A., Kurochkin V.E. Model of linear inhibition of enzyme activity during the polymerase chain reaction. Journal of Technical Physics. 2022. vol. 92. no. 7. pp. 958–962. (in Russian).
- 10 Chen G.Q., Qu Y., Gras S.L., Kentish S.E. Separation technologies for whey protein fractionation. Food Engineering Reviews. 2023. vol. 15. no. 3. pp. 438–465. doi: 10.1007/s12393–022–09330–2
- 11 Pedrali D., Scarafoni A., Giorgi A., Lavelli V. Binary Alginate-Whey Protein Hydrogels for Antioxidant Encapsulation. Antioxidants. 2023. vol. 12. no. 6. pp. 1192. doi: 10.3390/antiox12061192
- 12 Miwa K., Aoyagi S., Sasamori T., Morisako S. et al. Facile Multiple Alkylations of C60 Fullerene. Molecules. 2022. vol. 27. no. 2. pp. 450.
- 13 Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Dzhemilev U.M. Fullerene-containing lubricants: Achievements and prospects. Petroleum Chemistry. 2020. vol. 60. pp. 113–133. doi: 10.1134/S0965544120010144
- 14 Fernandes N.B., Shenoy R.U.K., Kajampady M.K., DCruz C.E. et al. Fullerenes for the treatment of cancer: an emerging tool. Environmental Science and Pollution Research. 2022. vol. 29. no. 39. p. 58607–58627. doi: 10.1007/s11356-022-21449-7
- 15 Yamaguchi N., Sano H., Sawahata H., Nakano M. et al. Statistical analysis of properties of non-fullerene acceptors for organic photovoltaics. Japanese Journal of Applied Physics. 2022. vol. 61. no. 3. pp. 030905. doi: 10.35848/1347-4065/ac4894
- 16 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects. International Journal of Molecular Sciences. 2022. vol. 23. no. 16. pp. 9288. doi: 10.3390/ijms23169288
- 17 Al_Dulamey Q.K. The Development of microwave applications in medical field. Rafidain Journal of Science. 2021. vol. 30. no. 2. pp. 23–39.
- 18 Chan J.H., Mumtaz S., Lee S.V., Kim, D.–Y. et al. Focusing high-power microwaves with positive and negative band plates to increase the receiving power in an axial axial oscillator with a virtual cathode. Curr. Appl. Phys. 2021. vol. 29. pp. 89–96.
- 19 Ryan T.P. History and development of microwave thermal therapy. Principles and Technologies for Electromagnetic Energy Based Therapies. Academic Press, 2022. pp. 313–347.
- 20 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects. International Journal of Molecular Sciences. 2022. vol. 23. no. 16. pp. 9288. doi: 10.3390/ijms23169288
- 21 Balan D.D., Kulemin I.V. Experimental study of the properties of microwave radiation. Step into science. 2023. no. 1. pp. 11–16. (in Russian).
- 22 Avakyan S.V., Baranova L.A. Microwave radiation in the problem of modern viral diseases. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2022. vol. 92. no. 4. pp. 372–383. (in Russian).

23 Petrova S.Yu., Khlgatyan S.V., Emelyanova O.Yu. et al. Modern information about milk caseins. *Bioorganic chemistry*. 2022. vol. 48. no. 2. pp. 207–216. (in Russian).

24 Shevchenko T.V., Dubinina I.E., Ustinova Yu.V., Popov A.M. Production of colored food starches. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 4. pp. 75–83. (in Russian).

25 Senchenkova E.A., Borovskaya L.V. The process of coagulation of milk proteins. *The Scientific Heritage*. 2021. no. 80–3. pp. 28–31. (in Russian).

26 Shevchenko T.V., Ustinova Yu.V., Popov A.M. Method for changing the isoelectric point of a protein using activated water. Patent RF, no. 2794151, 2023.

27 Shevchenko T.V., Ustinova Yu.V., Yustratov V.P., Bezrukov M.S. and others. Use of fullerene during storage and drying of apples. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 2. pp. 85–93. (in Russian).

28 Titorenko E., Ermolaeva E., Ivanov P., Ustinova Yu. Designing the technology and composition of plant extracts using reduced atmospheric pressure. *Nexo Revista Científica*. 2023. vol. 36. no. 02. pp. 139–147.

Сведения об авторах

Юлия В. Устинова к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 1274346 Россия, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 1274346 Россия, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yulia V. Ustinova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of storage and processing of animal products department, Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Eng.), professor, technology of storage and processing of animal products department, Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 21/05/2024
Received 09/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 21/05/2024