

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16>
УДК 621.798(621.56+637.5)

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Исследование замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке



И. А. Короткий^{ORCID}, Е. В. Короткая^{ORCID}, А. Н. Расщепкин^{ORCID},
Г. Ф. Сахабутдинова*^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ORCID}, Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.12.2020

Дата принятия в печать: 29.01.2021

*e-mail: 89235202979@yandex.ru



© И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. Н. Расщепкин, Г. Ф. Сахабутдинова, 2021

Аннотация.

Введение. С учетом сложившейся экологической ситуации в качестве упаковки необходимо применять пленки, способные разложиться при компостировании в короткие сроки. Поведение биоразлагаемых полимеров при низкотемпературном замораживании и хранении продуктов в настоящее время не изучено. Целью работы является нахождение оптимальных режимов замораживания для мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке.

Объекты и методы исследования. Зразы мясные с овощной начинкой и биополимерная пленка на основе кукурузного крахмала «CornBag». При проведении исследования использовали лабораторный стенд для комбинированного метода замораживания и разрывную машину марки «XLW(M)» для установления физических характеристик пленки.

Результаты и их обсуждение. Проводили экспериментальное исследование конвекционного, контактного и комбинированного способов замораживания с предварительным упаковыванием мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерную вакуумную упаковку. Предложен новый комбинированный способ замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке. Исследованы прочностные характеристики биополимерной пленки «CornBag» при замораживании и низкотемпературном хранении. Предложена графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания мясных рубленых полуфабрикатов.

Выводы. Предложен комбинированный способ замораживания мясных полуфабрикатов, включающий вакуумную упаковку, подмораживание в потоке воздуха и домораживание на охлаждаемой плите. Установлено, что биополимерная пленка может быть использована для замораживания и низкотемпературного хранения пищевых продуктов. Выявлено, что замораживание упакованных полуфабрикатов позволяет избежать усушки продукта, снизить потери витаминов, сохраняет органолептические характеристики. Обоснован режим хранения мясных рубленых полуфабрикатов при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 6 месяцев. Усовершенствованная технология замораживания включает использование комбинированного способа замораживания, объединяющего конвективный обдув воздухом и контактное домораживание на плите, с предварительным упаковыванием в биополимерный вакуумный пакет. Параметры замораживания: температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность 85 мин, скорость 1,33 см/ч.

Ключевые слова. Мясо, кристаллизация, усушка мяса, жировая фракция, бактериальная обсемененность, упаковка, биополимеры, замораживание, фарш

Финансирование. Исследования были выполнены на базе ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (КемГУ)^{ORCID}.

Для цитирования: Исследование замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке / И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. Н. Расщепкин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 6–16. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

Frozen Meat-Containing Semi-Finished Minced Products: Biopolymer Packaging Materials

Igor A. Korotkiy^{ORCID}, Elena V. Korotkaya^{ORCID}, Alexander N. Raschepkin^{ORCID},
Gulnar F. Sakhabutdinova*^{ORCID}

Kemerovo State University^{ORCID}, Kemerovo, Russia

Received: December 21, 2020

Accepted: January 29, 2021



*e-mail: 89235202979@yandex.ru

© I.A. Korotkiy, E.V. Korotkaya, A.N. Raschepkin, G.F. Sakhabutdinova, 2021

Abstract.

Introduction. Meat-containing semi-finished minced products demonstrate a wide variety of properties, as they contain both plant and meat components. This heterogeneity makes it difficult to plan the freezing process. In view of the current environmental situation, packaging films used for cold storage should be biodegradable. The effect of low-temperature freezing and storage on biodegradable polymers remains understudied. The research objective was to find the optimal modes for minced-meat semi-finished products frozen in a biopolymer package.

Study objects and methods. The study featured zrazy, or meat balls, with vegetable filling and a biopolymer film based on corn starch. It involved a laboratory combination freezing and storage cabinet and an XLW(M) tension tester to establish the physical properties of the film.

Results and discussion. The meat-containing semi-finished minced products were vacuum-packaged in biopolymer material and subjected to convection, contact, and combined freezing. The experiments resulted in a new combined method of freezing for biopolymer-packaged semi-finished meat-containing products. The research also tested the strength properties of the CornBag biopolymer film during freezing and cold storage. The paper introduces a graphoanalytic method of calculation of freezing time.

Conclusion. The new combined freezing method involved vacuum packaging, air-blast subfreezing, and further freezing on a refrigerated plate. The biopolymer film proved suitable for freezing and cold storage of food products. It keeps the product from drying, reduces vitamin losses, and preserves sensory properties. The optimal storage mode was -18°C , the maximum storage time – 6 months. The improved freezing technology combined freezing method with convective air-blasting and contact freezing on a refrigerated plate for products pre-packaging in a biopolymer vacuum bag. The optimal freezing parameters: temperature = -40°C , time = 85 min, rate = 1.33 cm/h.

Keywords. Meat, crystallization, meat drying, fat fraction, bacterial insemination, packaging, biopolymers, freezing, forcemeat

Funding. The research was performed on the premises of the Kemerovo State University  (KemSU).

For citation: Korotkiy IA, Korotkaya EV, Raschepkin AN, Sakhabutdinova GF. Frozen Meat-Containing Semi-Finished Minced Products: Biopolymer Packaging Materials. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):6–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16>.

Введение

Мясные продукты относятся к скоропортящимся. Для увеличения их срока хранения и использования в течение года, независимо от сезона, требуется специальная обработка [1]. Охлаждение и аэробное хранение мяса не исключает микробиологической порчи продукта [2]. Консервирование холодом (замораживание) является наиболее эффективным при обработке и хранении мяса и мясopодуKтов, т. к. позволяет скомпенсировать сезонность производства продукции животного происхождения, сохраняя ее биологическую и пищевую ценность в течение длительного времени. Данный способ консервирования является распространенным и экономичным, вызывает минимальные изменения первоначальных свойств пищевого сырья, позволяет предотвратить порчу, сохранить пищевую ценность и потребительские характеристики.

В основе консервирования замораживанием лежат принципы анабиоза: происходит замедление биохимической активности тканевых ферментов и подавление деятельности микроорганизмов [3–6]. Окисление липидов и белков – обычное явление в мясных охлажденных продуктах, приводящее к образованию гидропероксидов, запускающих

реакции разложения и образования нежелательных летучих соединений (альдегиды, кетоны, кислоты и спирты). Взаимодействие пигмента мяса с кислородом воздуха приводит к окислению миоглобина до оксимиоглобина и метмиоглобина, а также изменению внешнего вида мясного сырья [3]. При замораживании ферментативный гидролиз белков в животном сырье замедляется при температуре -18°C . Понижение температуры до -25°C приводит к уменьшению его скорости и окислению тканевых липидов. При замораживании мяса и мясopодуKтов ниже криоскопической точки начинается процесс фазового перехода воды в лед. На распределение кристаллов льда в мясе и их размер влияют условия замораживания, а также состав и свойства сырья [7]. При длительном холодильном хранении происходит рекристаллизация, испарение и сублимация воды, обезвоживание и усушка мяса с поверхности. Это вызывает изменения в жировой и мышечной тканях и снижает органолептические характеристики мясных продуктов [5, 6, 8].

Вышеизложенные процессы, оказывающие отрицательное воздействие на качественные показатели мясных рубленых полуфабрикатов, можно уменьшить, замораживая уже упакованные

полуфабрикаты. Для обеспечения максимально возможного сохранения качества полуфабрикатов используемые упаковочные материалы должны обеспечивать минимальные потери массы при хранении (усушку), т. е. обладать низким уровнем влагопроницаемости. Другое важное требование, которое предъявляется к материалам для упаковки замороженных продуктов, – это газонепроницаемость. Для снижения активности окислительных процессов, вызывающих ухудшение потребительских свойств, необходимо ограничить доступ кислорода к поверхности продукции [9]. С этой целью используют умеренное электрическое поле в сочетании с модифицированной газовой средой в качестве наполнителя упаковки, основными компонентами которой являются кислород и углекислый газ [10]. Для подавления жизнедеятельности микроорганизмов применяется «активная» упаковка, имеющая в составе наноконпоненты, способные продлить срок годности мясных полуфабрикатов [11–13].

Использование биополимеров, а также «съедобных» пленок из растительных компонентов позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду [14, 15]. В статье S. Jeong и др. разработаны многофункциональные биоразлагаемые пленки с использованием метабисульфита натрия в качестве активного соединения наряду с поликапролактоном [16]. Такая пленка обладает антиоксидантными и антимикробными свойствами, а также способна сохранять кислород в упаковке. Однако существует вероятность, что наночастицы, вводимые в упаковку с целью повысить срок годности продуктов, способны мигрировать в упакованный продукт [17]. В настоящее время применение биополимеров в упаковке ограничено, т. к. не достаточно изучено их поведение при низкотемпературном воздействии и долгосрочном хранении продуктов.

Низкотемпературная обработка способна значительным образом повлиять на качество мясных полуфабрикатов. Поэтому крайне важно контролировать процесс замораживания и правильно подобрать холодильное оборудование. L. Cheng с соавторами экспериментально исследовал и математически смоделировал процессы тепло- и массообмена замораживания под высоким давлением, а также ультразвукового, электрического, магнитного и микроволнового замораживания [18]. В работе J.-C. Xu и др. предложена технология «умного» замораживания. Она включает в себя новые интеллектуальные технологии и концепции, применяемые для предварительной обработки замороженного продукта, процессов замораживания, логистики холодовой цепи, а также управления складом [19]. Технология позволяет в режиме

реального времени контролировать качество в процессе замораживания, повысить качество продукции и эффективность замораживания с целью оптимизации времени и температуры процесса.

Однако вышеперечисленные модели замораживания не учитывают разнородность свойств мясных рубленых полуфабрикатов. Они не подходят для прогнозирования процессов с учетом наличия растительной составляющей в мясной оболочке (зразе), а также наличие и поведение упаковки при замораживании.

Как показал обзор литературных источников, изучение технологии замораживания и низкотемпературного хранения мясных рубленых полуфабрикатов не достаточно освещено мировым научным сообществом и требует тщательной доработки с учетом свойств компонентов полуфабрикатов. В связи с этим целью настоящей работы было определение оптимальных условий замораживания мясных рубленых полуфабрикатов с овощной начинкой в биополимерной упаковке.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись рубленые мясные полуфабрикаты с овощной начинкой – зразы. Для приготовления мясного фарша использовали мясо говядины I сорта, лук и специи. Компонентами для овощной начинки стали: морковь, лук репчатый, корень петрушки, корень сельдерея, чеснок и укроп.

Для упаковки мясных полуфабрикатов были использованы пакеты из биополимерной пленки «CornBag» (компания «Olive Green Pte Ltd», Сингапур), изготовленные из Ориго (крахмал из кукурузы и батата), и пакеты из биаксиально ориентированной полипропиленовой пленки (БОПП).

Тесты для определения физических свойств пленок проводились на разрывной машине марки «XLW(M)» (ООО «Labthink Instruments Co», Китай). Технические характеристики разрывной машины представлены в таблице 1. Погрешность измерений составляет 1 % от точности измеренных данных.

Для тестирования на разрывной машине использовали образцы биополимерной и полипропиленовой пленок шириной 20 мм, длиной 200 мм, толщиной 0,002 мм. Расстояние между зажимами разрывной машины 110 мм. Скорость удаления верхнего зажима относительно нижнего 300 мм/мин. Предварительно заготовленный образец устанавливали между двумя захватами, которые движутся в соответствующем направлении во время теста. Изменения сигналов силы и изменения положения отдельно записываются с помощью динамометра, закрепленного на подвижном захвате, и встроенного датчика перемещения. Значения прочности на растяжение, прочности на разрыв и скорости деформации рассчитывали с помощью персона-

Таблица 1. Технические характеристики автоматической разрывной машины «XLW(M)»

Table 1. Specifications of the automatic XLW(M) tension tester

Параметр	Значение
Силоизмерительный датчик, Н	300
Скорость растяжения, мм/мин	50–500
Ход траверса, мм	600
Давление газа, МПа	0,5–0,7
Габаритные размеры, мм	450×580×1100

льного программного обеспечения автоматической разрывной машины.

Органолептические характеристики мясных рубленых полуфабрикатов в свежем и замороженном состоянии оценивали в соответствии с разработанной методикой оценки органолептических показателей с помощью 5-балльной системы на основании ГОСТ 32951-2014.

Содержание витамина Е определяли по ГОСТ 32307-2013 с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа. Содержание витаминов С, В₆, каротина определялось по ГОСТ 24556-89, ГОСТ 13496.17-95 и Р.4.1.1672-03.

Микробиологические исследования количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП) определяли по ГОСТ 10444.15-94 и ГОСТ Р 52816-2007.

Теплофизические свойства свежих и замороженных мясных полуфабрикатов определяли первым буферным методом двух температурно-временных интервалов.

Измерение температуры мясных полуфабрикатов осуществляли с помощью хромель-копелевых термопреобразователей (термопар), аналогового измерительного модуля ввода «МВА8», аналогового цифрового преобразователя «АС-4» («ОВЕН», Россия). Данные об измеряемых температурах записывались в памяти персонального компьютера в формате .log. Затем информация переносилась в Microsoft Excel для обработки результатов.

Для замораживания использовали лабораторный стенд, разработанный нами (рис. 1). На поверхность и в центр продукта устанавливаются термопары, которые сообщаются с приборами и средствами измерения температуры. Продукт размещали в туннелях 9 и 10 в зависимости от используемого способа замораживания. Холодильный ларь герметично закрывали, включали вентилятор (мощность 17 Вт), установленный на соответствующем туннеле. По достижении заданной температуры в центре продукта вентилятор отключали. Температурные режимы замораживания задаются на контроллере «Comfort» морозильного ларя [20].

Для моделирования процесса быстрого замораживания мясных полуфабрикатов в вакуумированном биополимерном пакете в экспериментальных

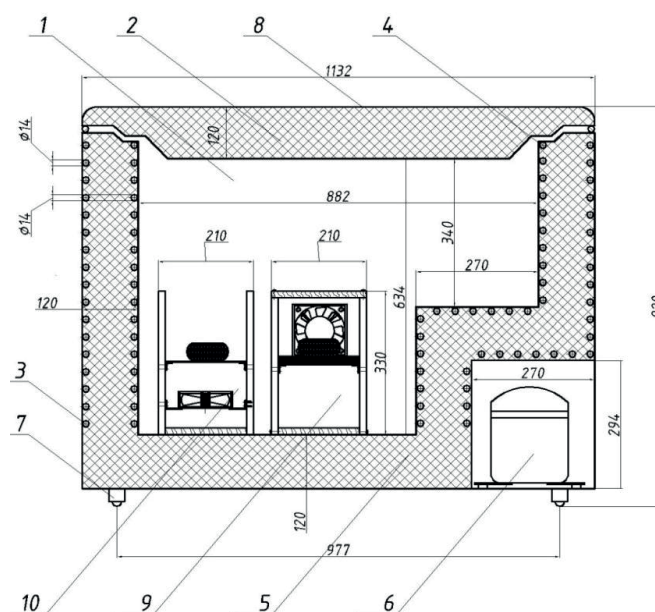


Рисунок 1. Лабораторный стенд: 1 – внутренняя камера; 2 – крышка холодильного ларя; 3 – конденсатор; 4 – испаритель; 5 – изоляционный слой; 6 – компрессор; 7 – колесная опора; 8 – корпус; 9 – туннель с металлическими плитами; 10 – туннель с металлической решеткой

Figure 1. Laboratory stand: 1 – inner chamber; 2 – cooling chest cover; 3 – capacitor; 4 – evaporator; 5 – insulating layer; 6 – compressor; 7 – wheel support; 8 – case; 9 – tunnel with metal plates; 10 – tunnel with metal grating

исследованиях использовали термоусадочные полипропиленовые пакеты для удобства установки термопар в центр продукта и на его поверхность. Для упаковывания под вакуумом мясных рубленых полуфабрикатов использовали однокамерную вакуумную машину «V110RP» («Elega», Китай). Для термоусадки полипропиленовой упаковки – термоусадочную настольную машину «MINIMA EVO» («Minipack-Torre», Италия).

Результаты и их обсуждение

Замораживание мясных рубленых полуфабрикатов осуществляется при температурах ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с этим были проведены исследования возможности применения пакетов «CornBag» для замораживания пищевых продуктов при температурах -20 , -40 и $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, что значительно ниже рекомендуемого производителем диапазона (от -20 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Пакеты хранили при указанных

температурных режимах в течение 1, 2 и 3 месяцев. Результаты экспериментальных определений прочности на разрыв $\sigma_{\text{экс.}}$ (МПа) и растяжение $\xi_{\text{экс.}}$ (%) (табл. 2) были обработаны с помощью корреляционно-регрессионного анализа в Microsoft Excel. Были получены уравнения (1) и (2), описывающие изменения этих показателей в зависимости от времени n , месяца и температуры хранения t ($^{\circ}\text{C}$).

$$\sigma = \sigma_0 + 0,42 \cdot t - 12,02 \cdot n \quad (1)$$

$$\xi = \xi_0 + 0,376 \cdot t - 10,53 \cdot n \quad (2)$$

где $\sigma_0 = 475,72$ МПа – начальная прочность на разрыв пленки при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\xi_0 = 415,67\%$ – начальное удлинение пленки при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полученные уравнения позволили построить поверхности отклика, показывающие изменения прочности на разрыв и растяжение в процессе хранения пленки при низких температурах (рис. 2, 3).

Таблица 2. Сравнение экспериментальных и расчетных значений прочностных показателей биополимерной пленки

Table 2. Experimental and calculated values of strength indicators of the biopolymer film

$\xi_{\text{экс.}}$, %	ξ_p , %	$\Delta \xi$, %	$\sigma_{\text{экс.}}$, МПа	σ_p , МПа	$\Delta \sigma$, %
Относительное удлинение			Прочность при разрыве		
405,13	414,45	2,30	479,74	474,10	1,17
388,50	403,92	3,97	470,63	462,08	1,81
385,37	393,38	2,08	443,68	450,06	1,46
402,44	406,92	1,11	470,51	465,56	1,05
384,25	396,39	3,16	463,80	453,54	2,21
381,44	385,86	1,16	421,54	441,52	4,75
393,89	399,40	1,40	468,62	457,03	2,47
379,54	388,87	2,46	430,99	445,01	3,27
367,48	378,33	2,95	426,79	432,99	1,47
Средняя погрешность, %		2,30	Средняя погрешность, %		2,18

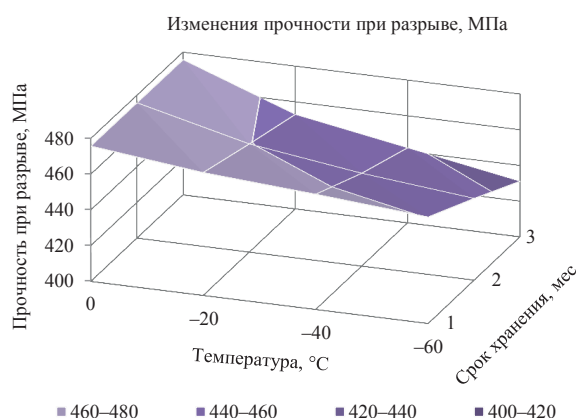


Рисунок 2. Зависимость прочности на разрыв биополимерной пленки от температуры и времени хранения

Figure 2. Effect of temperature and storage time on the strength of the biopolymer film

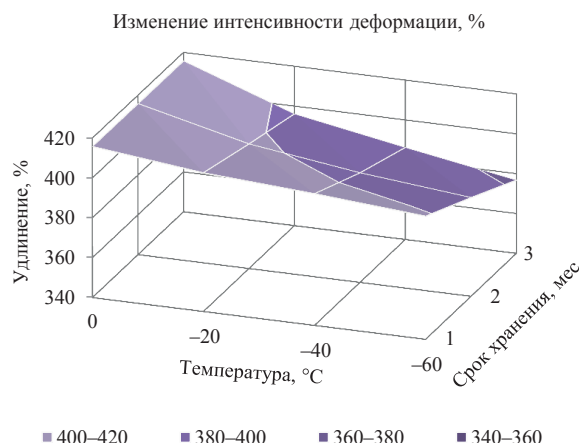


Рисунок 3. Зависимость удлинения биополимерной пленки от температуры и времени хранения

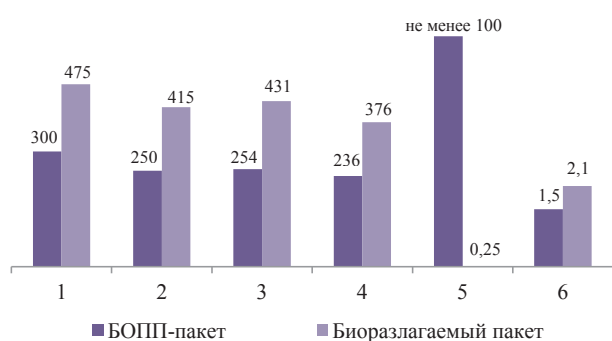
Figure 3. Effect of temperature and storage time on the elongation of the biopolymer film

Сравнение экспериментальных ($\xi_{\text{экс.}}$ и $\sigma_{\text{экс.}}$) значений физических показателей биополимерной пленки и их расчетных значений (ξ_p и σ_p), полученных при помощи регрессионных уравнений (1) и (2), приведены в таблице 2.

Исследование низкотемпературного воздействия на такие физические свойства биополимерной пленки, как прочность на разрыв и растяжение, показало, что значения прочностных характеристик уменьшились менее чем на 10 % при температуре хранения -60°C в течение 3 месяцев. Это свидетельствует о том, что низкотемпературное воздействие не оказало существенного влияния на прочностные характеристики биополимерной пленки. Следовательно, биополимерные пакеты «CornBag» могут быть использованы для упаковки, замораживания в диапазоне температур от -20 до -60°C и последующего низкотемпературного хранения в течение 6 месяцев пищевых продуктов, в частности мясных рубленых полуфабрикатов.

Согласно данным, приведенным в таблице 2, экспериментальные и расчетные значения прочностных характеристик биополимерной пленки отличаются незначительно, средняя погрешность составила менее 3 %. Следовательно, полученные на основе корреляционно-регрессионного анализа уравнения (1) и (2), описывающие изменения прочностных характеристик биополимерной пленки в зависимости от температуры и времени хранения, могут быть использованы для предсказания значений этих характеристик в заданном температурном и временном диапазонах.

Проведен сравнительный анализ свойств биополимерной и БОПП пленок (рис. 4). Его



1 – прочность при разрыве, Мпа; 2 – относительное удлинение, %; 3 – прочность при разрыва после хранения при $t = -60^\circ\text{C}$ в течение 3 мес, Мпа; 4 – относительное удлинение при хранении при $t = -60^\circ\text{C}$ в течение 3 мес, %; 5 – срок разложения при компостировании, лет; 6 – цена пакета, руб.

Рисунок 4. Сравнительный анализ свойств биополимерной и БОПП-пленок

Figure 4. Biopolymer film vs. biaxially oriented polypropylene film

Таблица 3. Скорость замораживания мясных полуфабрикатов

Table 3. Freezing speed of meat-containing semi-finished products

Способ замораживания	Скорость замораживания, см/час	
	-30°C	-40°C
Конвективный	0,59	0,59
Контактный	0,83	0,83
Комбинированный	0,77	0,77

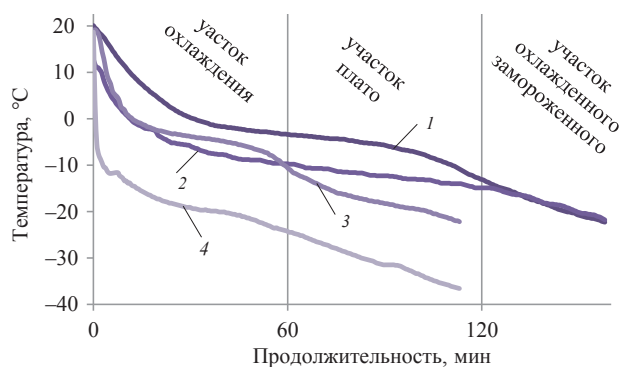
результаты показали, что биополимерная пленка превосходит биаксиально ориентированную полипропиленовую пленку по прочностным характеристикам. Также биополимерная пленка наносит меньший вред окружающей среде, т. к. срок ее разложения в 400 раз меньше, чем у полипропиленовой пленки.

На следующем этапе исследований сформированные мясные рубленые полуфабрикаты (зразы) помещали в биополимерный пакет, вакуумировали и сваривали. Затем упакованную порцию зраз замораживали при двух температурных режимах: -30 и -40°C . Замораживание осуществляли 3 способами: конвективным в потоке воздуха, контактном на металлической плите и комбинированным, включающим предварительное подмораживание в потоке восходящего воздуха и окончательное домораживание на металлической плите. Скорости замораживания рубленых мясных полуфабрикатов при двух температурных режимах приведены в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3 наибольшая скорость замораживания была отмечена при контактном способе. Однако данный способ имеет недостаток: даже незначительное содержание влаги на упаковке перед замораживанием приводит к прилипанию упаковки к поверхности плиты. Избежать этого можно, используя комбинированный способ замораживания, который был нами использован для проведения дальнейших исследований.

Проведены экспериментальные исследования, направленные на определение рациональных технологических параметров замораживания мясных рубленых полуфабрикатов новым комбинированным способом. На рисунке 5 представлены графические зависимости изменения температуры мясных рубленых полуфабрикатов от времени при температурах замораживания -30 и -40°C .

Представленная на рисунке 5 кривая замораживания зраз комбинированным способом представляет собой зависимость значений температуры на поверхности и в центре упакованной зразы от продолжительности низкотемпературной обработки и состоит из трех участков, которые характеризуют стадии замораживания. Рассмотрим кривую 1, сравнивая характер ее изменения со



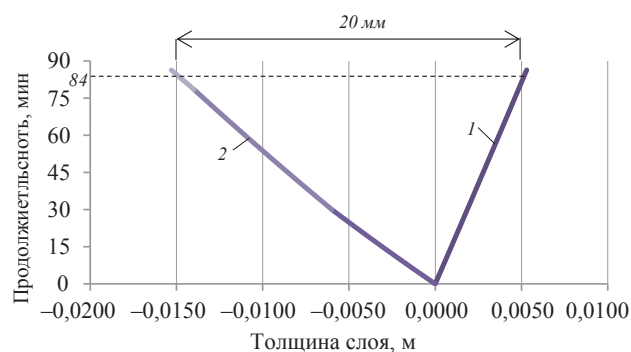
1 – при $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центре продукта; 2 – при $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхности плиты; 3 – при $t = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центре продукта; 4 – при $t = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхности плиты

Рисунок 5. Кривые замораживания мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом

Figure 5. Freezing curves of meat-containing semi-finished minced products frozen by the combined method

стандартным графиком замораживания пищевых продуктов. На первой стадии замораживания в течение 40 мин происходит охлаждение продукта, сопровождающееся интенсивным понижением его температуры. Второй участок (длительность около 1 ч) характеризуется незначительным понижением температуры в пределах $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует участку под названием «плато». На этой стадии происходит интенсивная кристаллизация влаги, содержащейся в зразях. На третьей стадии (длительность около 1 ч) происходит охлаждение замороженных зраз, сопровождающееся кристаллизацией незначительного количества влаги, связанной физико-химически. При температурном режиме $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в холодильной камере продолжительность замораживания составила 85 мин (кривые 3 и 4), скорость замораживания – $1,33\text{ см/ч}$.

По результатам экспериментальных исследований нами была предложена графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом. Она основана на представлении о перемещении границы раздела между отвердевшей и жидкой фазами от периферии вглубь тела по мере отвода теплоты от его поверхностей (рис. 6). При расчетах учитывали, что овощная начинка толщиной 8 мм окружена слоем говяжьего фарша толщиной 6 мм. Толщина упакованной зразы составляет 20 мм. Нижний слой зразы в пакете будет заморожен за счет отдачи тепла металлической плите, верхний слой – за счет отдачи теплоты горизонтальному потоку холодного воздуха со скоростью около $1,5\text{ м/с}$. Процесс замораживания зразы в упаковке закончится тогда, когда границы верхнего и нижнего слоев соприкоснутся, т. е. мясной комбинированный



1 – замораживание слоя в потоке воздуха
2 – замораживание слоя на металлической плите

Рисунок 6. График определения продолжительности замораживания комбинированным способом

Figure 6. Freezing time graph for the combined freezing method

полуфабрикат будет полностью заморожен. Расчет толщины этих двух слоев и время необходимое для их замораживания проводили, используя уравнение Планка.

Предложенная нами графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания (рис. 6) позволила рассчитать время замораживания мясных рубленых полуфабрикатов (зраз) комбинированным способом. Продолжительность замораживания, полученная расчетным путем, составила 84 мин (рис. 6), что соответствует экспериментальным данным (рис. 5, кривые 3 и 4). Толщина слоя рубленого мясного полуфабриката, заморозившего в результате нахождения в потоке холодного воздуха, составила 5 мм; слоя, заморозившего в результате нахождения на металлической плите, – 15 мм (рис. 6).

Проводили сравнительный анализ органолептических характеристик зраз замороженных без упаковки и упакованных в биополимерную пленку. Исследуемым образцам были присвоены номера: 1 – замораживание упакованных полуфабрикатов при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – замораживание упакованных полуфабрикатов при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – замораживание неупакованных полуфабрикатов при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – замораживание неупакованных полуфабрикатов при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замороженные зразы хранили в течение 6 месяцев при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно полученным баллам была построена линейная диаграмма, отражающая органолептическую оценку всех образцов (рис. 7). Анализ органолептических характеристик мясных рубленых полуфабрикатов, замороженных в различных условиях, показал, что высокие дегустационные оценки имеют зразы, подвергнутые замораживанию при температурном режиме $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ комбинированным способом с предварительным упаковыванием в биополимерную



Рисунок 7. Органолептическая оценка качества зразы с овощной начинкой

Figure 7. Sensory evaluation of the quality of the zrazy meat balls with vegetable filling

пленку (рис. 7). Самые низкие оценки получили зразы, которые замораживали при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ контактным способом без упаковки. Зразы, замороженные и хранящиеся в упаковке, не были подвержены усушке, а окисление липидной фракции происходило в них медленнее, что согласуется с данными [21]. Таким образом, упаковывание мясных полуфабрикатов перед замораживанием позволяет получать продукт с более высокими органолептическими характеристиками. Как отмечает М. Dalvi-Isfahan и его соавторы, температура замораживания оказывает влияние на морфологию кристаллов льда (размер, количество кристаллов, их форма и распределение), что влияет на микроструктуру замороженных продуктов [7]. При $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ образовавшиеся кристаллы льда в продукте имеют более мелкую структуру. Это способствует меньшему повреждению клеточной структуры фарша и овощной начинки, улучшению процесса замораживания, а также повышает органолептические характеристики замороженного продукта [22].

Сравнивали содержание витамина С, B_6 , Е и каротина в зразях с овощной начинкой до замораживания, после низкотемпературного хране-

ния в образцах упакованных в биополимерную пленку до начала замораживания и в образцах, подвергнутых низкотемпературному воздействию и хранению без упаковки (табл. 4).

Согласно полученным данным упаковывание зраз в биополимерную пленку позволяет снизить потери как водорастворимых витаминов (С и B_6), так и жирорастворимых (Е и β -каротина). Так потери витаминов Е, B_6 , С и β -каротина в зразях, замороженных комбинированным способом и хранившихся при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 6 месяцев в вакуумной упаковке, не превышали 13 %. Это в два раза меньше, чем в зразях замороженных и хранившихся в таких же условиях без упаковки.

Таким образом, использование биополимерной вакуумированной упаковки позволяет надежно защитить продукт от потери влаги, снизить потери витаминов при хранении и максимально сохранить его органолептические характеристики.

Выводы

Разработана усовершенствованная технология низкотемпературного консервирования и длительного хранения мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом, упакованных в биополимерную пленку. Она отличается следующими преимуществами: отсутствием усушки продукта, минимизацией бактериальной обсемененности и сохранением органолептических свойств. Установлено, что уменьшение прочностных характеристик (прочность на разрыв и растяжение) биополимерной пленки «СопВаг», хранившейся при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3 месяцев, составило менее 10 %. Это свидетельствует о возможности ее применения для замораживания и низкотемпературного хранения пищевых продуктов, в том числе мясных рубленых полуфабрикатов.

Разработан комбинированный способ замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной пленке, включающий предварительное подмораживание упакованного в вакууме продукта на сетчатой подложке и окончательное

Таблица 4. Содержание витаминов в зразях с овощной начинкой

Table 4. Vitamin content in the zrazy meat balls with vegetable filling

Наименование	Содержание витамина до замораживания, мг/100 г	Содержание витамина после низкотемпературного хранения в вакуумной упаковке, мг/100 г	Содержание витамина после низкотемпературного хранения без вакуумной упаковки, мг/100 г	Потери витамина после низкотемпературного хранения в вакуумной упаковке, %	Потери витамина после низкотемпературного хранения без вакуумной упаковки, %
витамин С	30,63	26,66	22,75	12,90	24,9
β -каротин	2,84	2,58	2,18	9,15	23,2
витамин B_6	0,49	0,45	0,41	8,33	16,3
витамин Е	0,47	0,43	0,38	9,14	19,1

домораживание на металлической охлаждаемой плите, исключая примерзание и повреждение упаковки при отделении от плиты.

Разработана графоаналитическая модель замораживания мясных рубленых полуфабрикатов. Подобран режим низкотемпературной обработки и хранения упакованных в биополимерную пленку мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом. Условия замораживания: температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность 85 мин, скорость 1,33 см/ч. Температура хранения $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Критерии авторства

Е. В. Короткая и А. Н. Расщепкин – аналитический обзор литературы, написание и общая редакция рукописи. И. А. Короткий – методология и орга-

низация исследований. Г. Ф. Сахабутдинова – получение фактического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.V. Korotkaya and A.N. Raschepkin reviewed related scientific publications, wrote and proofread the manuscript. I.A. Korotkiy developed the methodology and organized the research. G.F. Sakhabutdinova was responsible for obtaining factual material.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Zeisel, S. H. Precision (personalized) nutrition: understanding metabolic heterogeneity / S. H. Zeisel // Annual Review of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 11. – P. 71–92. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051736>.
2. The predominance of psychrotrophic pseudomonads on aerobically stored chilled red meat / N. N. Wickramasinghe, J. Ravensdale, R. Coorey [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – Vol. 18, № 5. – P. 1622–1635. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12483>.
3. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review / M. Pateiro, F. J. Barba, R. Domínguez [et al.] // Food Research International. – 2018. – Vol. 113. – P. 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>.
4. Ullah, J. Effect of temperature fluctuations on ice-crystal growth in frozen potatoes during storage / J. Ullah, P. S. Takhar, S. S. Sablani // LWT – Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 59, № 2. – P. 1186–1190. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.018>.
5. Effect of dynamic storage temperatures on the microstructure of frozen carrot imaged using X-ray micro-CT / V. Vicent, F.-T. Ndoye, P. Verboven [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 246. – P. 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.015>.
6. Colorimetric aptasensor for detecting *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Escherichia coli* in meat samples / S. Ledlod, S. Areekit, S. Santiwatanakul [et al.] // Food Science and Technology International. – 2020. – Vol. 26, № 5. – P. 430–443. <https://doi.org/10.1177/1082013219899593>.
7. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage / M. Dalvi-Isfahan, P. K. Jha, J. Tavakoli [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 255. – P. 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011>.
8. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle / J. M. Hughes, F. M. Clarke, P. P. Purslow [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19, № 1. – P. 44–63. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12509>.
9. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms / C. Papuc, G. V. Goran, C. N. Predescu [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Vol. 16, № 6. – P. 1243–1268. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>.
10. Effects of the combination of moderate electric field and high-oxygen modified atmosphere packaging on pork meat quality during chill storage / H. Hu, L. Zhang, L. Lu [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – Vol. 44, № 1. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14299>.
11. Basavegowda, N. Bimetallic and trimetallic nanoparticles for active food packaging applications: A review / N. Basavegowda, T. K. Mandal, K.-H. Baek // Food and Bioprocess Technology. – 2020. – Vol. 13, № 1. – P. 30–44. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02370-3>.
12. Improved mechanical and antibacterial properties of active LDPE films prepared with combination of Ag, ZnO and CuO nanoparticles / S. Dehghani, S. H. Peighambari, S. J. Peighambari [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2019. – Vol. 22. <https://doi.org/10.1016/j.foodpsl.2019.100391>.
13. The use of nanoadditives within recycled polymers for food packaging: Properties, recyclability, and safety / C. López de Dicastillo, E. Velásquez, A. Rojas [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 1760–1776. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12575>.

14. Active antibacterial food coatings based on blends of succinyl chitosan and triazole betaine chitosan derivatives / A. S. Kritchenkov, A. R. Egorov, O. V. Volkova [et al.] // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2020. – Vol. 25. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100534>.
15. Polymers and biopolymers with antiviral activity: Potential applications for improving food safety / W. Randazzo, M. J. Fabra, I. Falcó [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2018. – Vol. 17, № 3. – P. 754–768. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12349>.
16. Characterization of multi-functional, biodegradable sodium metabisulfite-incorporated films based on polycaprolactone for active food packaging applications / S. Jeong, H.-G. Lee, C. H. Cho [et al.] // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2020. – Vol. 25. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100512>.
17. Critical evaluation of migration studies of silver nanoparticles present in food packaging: a systematic review / L. D. O. Morais, E. V. Macedo, J. M. Granjeiro [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – Vol. 60, № 18. – P. 3083–3102. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676699>.
18. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: a review of recent research progresses / L. Cheng, D.-W. Sun, Z. Zhu [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Vol. 57, № 4. – P. 769–781. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1004569>.
19. Recent developments in smart freezing technology applied to fresh foods / J.-C. Xu, M. Zhang, A. S. Mujumdar [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Vol. 57, № 13. – P. 2835–2843. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1074158>.
20. Improved freezing technology of minced meat products in biopolymer packaging material / I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya, A. N. Rasshchepkin [et al.] // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 15, № 21. – P. 2547–2554.
21. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review / C. Papuc, G. V. Goran, C. N. Predescu [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 96–123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241>.
22. Santhi, D. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review / D. Santhi, A. Kalaikannan, S. Sureshkumar // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Vol. 57, № 10. – P. 2021–2027. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.858027>.

References

1. Zeisel SH. Precision (personalized) nutrition: understanding metabolic heterogeneity. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2020;11:71–92. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051736>.
2. Wickramasinghe NN, Ravensdale J, Coorey R, Chandry SP, Dykes GA. The predominance of psychrotrophic pseudomonads on aerobically stored chilled red meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019;18(5):1622–1635. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12483>.
3. Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Sant'Ana AS, Mousavi Khaneghah A, Gavahian M, et al. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*. 2018;113:156–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>.
4. Ullah J, Takhar PS, Sablani SS. Effect of temperature fluctuations on ice-crystal growth in frozen potatoes during storage. *LWT – Food Science and Technology*. 2014;59(2):1186–1190. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.018>.
5. Vicent V, Ndoye F-T, Verboven P, Nicolai B, Alvarez G. Effect of dynamic storage temperatures on the microstructure of frozen carrot imaged using X-ray micro-CT. *Journal of Food Engineering*. 2019;246:232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.015>.
6. Ledlod S, Areekit S, Santiwatanakul S, Chansiri K. Colorimetric aptasensor for detecting *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Escherichia coli* in meat samples. *Food Science and Technology International*. 2020;2(5):430–443. <https://doi.org/10.1177/1082013219899593>.
7. Dalvi-Isfahan M, Jha PK, Tavakoli J, Daraei-Garmakhany A, Xanthakis E, Le-Bail A. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. *Journal of Food Engineering*. 2019;255:50–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011>.
8. Hughes JM, Clarke FM, Purslow PP, Warner RD. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(1):44–63. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12509>.
9. Papuc C, Goran GV, Predescu CN, Nicorescu V, Stefan G. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017;16(6):1243–1268. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>.
10. Hu H, Zhang L, Lu L, Huang F, Chen W, Zhang C, et al. Effects of the combination of moderate electric field and high-oxygen modified atmosphere packaging on pork meat quality during chill storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14299>.

11. Basavegowda N, Mandal TK, Baek K-H. Bimetallic and trimetallic nanoparticles for active food packaging applications: A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2020;13(1):30–44. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02370-3>.
12. Dehghani S, Peighambaroust SH, Peighambaroust SJ, Hosseini SV, Regensteind JM. Improved mechanical and antibacterial properties of active LDPE films prepared with combination of Ag, ZnO and CuO nanoparticles. *Food Packaging and Shelf Life*. 2019;22. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100391>.
13. López de Dicastillo C, Velásquez E, Rojas A, Guarda A, Galotto MJ. The use of nanoadditives within recycled polymers for food packaging: Properties, recyclability, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(4):1760–1776. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12575>.
14. Kritchenkov AS, Egorov AR, Volkova OV, Zabolova LA, Suchkova EP, Yagafarov NZ, et al. Active antibacterial food coatings based on blends of succinyl chitosan and triazole betaine chitosan derivatives. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020;25. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100534>.
15. Randazzo W, Fabra MJ, Falcó I, López-Rubio A, Sánchez G. Polymers and biopolymers with antiviral activity: Potential applications for improving food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018;17(3):754–768. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12349>.
16. Jeong S, Lee H-G, Cho CH, Yoo S. Characterization of multi-functional, biodegradable sodium metabisulfite-incorporated films based on polycaprolactone for active food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020;25. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100512>.
17. Morais LDO, Macedo EV, Granjeiro JM, Delgado IF. Critical evaluation of migration studies of silver nanoparticles present in food packaging: a systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;60(18):3083–3102. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676699>.
18. Cheng L, Sun D-W, Zhu Z, Zhang Z. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: a review of recent research progresses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;57(4):769–781. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1004569>.
19. Xu J-C, Zhang M, Mujumdar AS, Adhikari B. Recent developments in smart freezing technology applied to fresh foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;57(13):2835–2843. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1074158>.
20. Korotkiy IA, Korotkaya EV, Rasshchepkin AN, Sakhabutdinova GF. Improved freezing technology of minced meat products in biopolymer packaging material. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020;15(21):2547–2554.
21. Papuc C, Goran GV, Predescu CN, Nicorescu V. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017;16(1):96–123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241>.
22. Santhi D, Kalaikannan A, Sureshkumar S. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;57(10):2021–2027. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.858027>.