ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2514
https://elibrary.ru/AGWHLV

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Гистологические исследования мясной продукции по Sous vide на основе обзора известных подходов к формированию качества

А. А. Кокшаров*, Л. А. Маюрникова, А. Д. Пластун, Н. И. Давыденко, Т. В. Крапива

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 12.10.2023
Принята после рецензирования: 11.12.2023
Принята к публикации: 09.01.2024

**А. А. Кокшаров: koksharov.arkadiy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2782-5833*
Л. А. Маюрникова: https://orcid.org/0000-0003-4592-8382
А. Д. Пластун: https://orcid.org/0000-0002-1474-6829
Н. И. Давыденко: https://orcid.org/0000-0003-2479-8750
Т. В. Крапива: https://orcid.org/0000-0002-9441-8744

© А. А. Кокшаров, Л. А. Маюрникова, А. Д. Пластун, Н. И. Давыденко, Т. В. Крапива, 2024

Аннотация.
Технология Sous vide известна с середины 1970-х гг., а в России с 2000-х. Для формирования теоретико-методологической базы, регламентирующей качество продукции, актуально проведение разноаспектных исследований. Целью работы являлось изучение влияния заданных режимов технологии Sous vide на формирование качества продукции из мяса говядины путем проведения гистологического и органолептического анализа.
Объекты и режимы исследования выбрали на основе анализа научной информации, представленной в базах данных Scopus, Web of Science и eLIBRARY.RU. Изучили процесс получения готовой продукции по Sous vide из крестцовой части туши мяса говядины при заданных режимах: 57 и 64 °C (24 ч варки), 80 °C (12 ч варки). Качество продукции определяли гистологическим и органолептическим методами.
Гистологические исследования показали, что процесс варки при 100 °C и режимы Sous vide при 57, 64 и 80 °C приводят к увеличению размера межклеточного пространства и растворению соединительной ткани. Чем выше температура, тем более выражена усадка и деформация мышечных волокон. В условиях варки по Sous vide наибольшую степень разрушения волокнистых структур получили образцы, приготовленные при 80 °C в течение 12 ч. С повышением степени разрушения мышечных волокон обнаружили увеличение выхода ядер в межклеточное пространство, а также проявление грануляции перимизия и сарколеммы с образованием зернистых масс, которые заполняют пространство между пучками мышечных волокон. Говядина, приготовленная по технологии Sous vide, имеет высокие показатели консистенции по сочности и нежности.
Обобщение результатов исследований и их анализ выявило противоречие между возрастанием степени разрушения волокон при увеличении температуры и формированием показателя консистенция (сочность и нежность). Мы считаем необходимым продолжение исследований в этом направлении и приглашаем профильных специалистов к дискуссии.

Ключевые слова. Технология Sous vide, мясо говядины, качество, гистология, микроструктура, органолептические свойства

Для цитирования: Гистологические исследования мясной продукции по Sous vide на основе обзора известных подходов к формированию качества / А. А. Кокшаров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 382–397. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2514

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2514
https://elibrary.ru/AGWHLV

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Histological Studies of *Sous Vide* Beef Based on Best Practices in Meat Quality Formation

Arkadiy A. Koksharov*, Larisa A. Mayurnikova, Anna D. Plastun, Nataliia I. Davydenko, Tatyana V. Krapiva

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 12.10.2023
Revised: 11.12.2023
Accepted: 09.01.2024

**Arkadiy A. Koksharov: koksharov.arkadiy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2782-5833*
Larisa A. Mayurnikova: https://orcid.org/0000-0003-4592-8382
Anna D. Plastun: https://orcid.org/0000-0002-1474-6829
Nataliia I. Davydenko: https://orcid.org/0000-0003-2479-8750
Tatyana V. Krapiva: https://orcid.org/0000-0002-9441-8744

© A.A. Koksharov, L.A. Mayurnikova, A.D. Plastun, N.I. Davydenko, T.V. Krapiva, 2024

Abstract.
Sous vide technology came to Russia in the early 2000s. Its quality standards require a multidimensional comprehensive study to develop theoretical and methodological foundations. The research featured the effect of various *Sous vide* modes on beef quality based on histological analysis and sensory assessment.
The review of best practices in this sphere included publications registered in Scopus, Web of Science, and eLIBRARY.RU. Beef from sacral part underwent *Sous vide* processing at two modes, i.e., 57 and 64°C for 24 h and 80°C for 12 h. The samples obtained were subjected to histological analysis and sensory assessment.
The histology showed that the cooking process at 100°C and the *Sous vide* modes at 57, 64, and 80°C increased the intercellular space and dissolved the connective tissue. Higher temperature modes led to more pronounced shrinking and deformation of muscle fibers. Under the *Sous vide* conditions, fibrous structures demonstrated the most severe destruction after 12 h at 80°C. As the destruction of muscle fibers increased, more nuclei entered intercellular space. Moreover, perimysium and sarcolemma demonstrated signs of granulation between muscle fiber bundles. The *Sous vide* samples received the best score for juiciness and tenderness.
The research revealed a certain contradiction between the growing degree of fibrous destruction caused by thermal treatment and the improving consistency index for juiciness and tenderness. The authors consider it necessary to investigate the matter further and invite specialists to submit their ideas.

Keywords. *Sous vide* technology, beef meat, quality, review, histology, modes, microstructure, organoleptic properties

For citation: Koksharov AA, Mayurnikova LA, Plastun AD, Davydenko NI, Krapiva TV. Histological Studies of *Sous Vide* Beef Based on Best Practices in Meat Quality Formation. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(2):382–397. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2514

Введение

В питании россиян говядина занимает третье место по количеству потребления среди других мясных продуктов. На начало 2022 г. производство говядины в России (в убойном весе) в хозяйствах всех категорий составило 983,8 тыс. т, что меньше на 3,7 % в сравнении с предыдущим годом. Сокращение объема предложения спровоцировало рост цен [1]. Вместе с этим ухудшилась покупательская способность населения, поэтому потребители предпочитают искать более доступную по цене продукцию, не отказываясь от привычных товаров, но покупая их в меньшем количестве [2]. По мнению экспертов федерального центра «Агроэкспорт», к факторам, которые сохраняют и стимулируют спрос на говядину, относится развитие туризма и ресторанного сектора.

Согласно ГОСТ 34120-2017 говядину классифицируют в зависимости от возраста и пола, а категория мяса устанавливается в зависимости от массы, формы туши (классы) и толщины подкожного жира (подклассы). Особое место занимает говядина высокого качества, к которой относят «мраморную». Она имеет повышенное содержание внутримышечного жира, который менее плотный, чем денатурированный и коагулированный белок. «Мраморное» распределение жировой ткани снижает прочность мяса и повышает его сочность [3]. Производство говядины высокого качества относится к развивающемуся сегменту рынка

и имеет высокую стоимость, в отличие от мяса более низкой категории, которая пока пользуется большим спросом у российских потребителей [4, 5]. В таком мясе, в отличие от «мраморного», жировая ткань расположена в подкожном слое и носит очаговый характер. Мясо имеет более плотную мышечную структуру и, в зависимости от отруба, содержит разное количество соединительной ткани и консистенцию (текстуру) мяса [6]. Такое мясо требует длительного приготовления при невысоких температурах. Это обусловлено тем, что формирование консистенции готовой продукции зависит от соединительной ткани, содержащейся в мясе низкого качества, поэтому чем длительнее приготовление, тем этот показатель имеет более высокую оценку [7].

При принятии решения о покупке продуктов люди руководствуются органолептическими показателями, такими как внешний вид, запах, вкус и консистенция [8, 9]. Запах и вкус имеют определяющую роль при выборе продукта, но для мясной продукции консистенция имеет особую, а иногда ключевую роль [10]. Консистенция мясного продукта – это свойство, которое характеризует его стойкость при пережевывании и/или деформировании. Этот показатель является одним из сложных в органолептической оценке и включает множество характеристик: нежность, упругость, сочность, мягкость и др. [11–13]. На восприятие консистенции влияет ряд факторов, в частности уровень знаний экспертов и потребителей о текстуре как свойстве пищевого продукта.

Важную роль играют национальные и культурные особенности питания и оценки качества продукции. Например, в Японии при оценке качества продуктов специалистами применяется в 6 раз больше характеристик по сравнению с аналогичными процедурами в Америке [14]. В России имеет место неоднозначность процессов оценки качества однородных продуктов. Также отмечается неоднозначность в терминологии государственных стандартов: в ГОСТ ISO 5492-2014 «консистенция – это механическая характеристика, обнаруживаемая путем стимулирования тактильных (пережёвывание) или визуальных рецепторов», а в ГОСТ 31985-2013 консистенция рассматривается только с точки зрения оценки механическими и тактильными рецепторами. В доступной литературе не обнаружено спецификаций описания характеристик консистенции продукции, полученных на основе визуальных, тактильных и механических рецепторов экспертов [15, 16].

К факторам, которые формируют консистенцию мяса в процессе приготовления, можно отнести содержание воды, жира и соединительной ткани, активность ферментов, состояние мышечных волокон, способ созревания мяса, условия хранения, способ приготовления и др. [3, 16, 17]. Процесс формирования качества мяса должен начинаться на этапе выбора вида убойных животных для выращивания и откорма для последующего применения в пищевых отраслях. В России для производства говядины используют скот молочного и комбинированного направления продуктивности, что составляет 96 %. Доля специализированных мясных пород, выращиваемых целенаправленно для получения высококачественного мяса, составляет 4 % [18]. Для этих целей разводят мясной скот девяти пород, из которых 59,4 % это калмыцкая, 25,2 % герефордская, 10 % казахская белоголовая, от 0,6 до 1,4 % остальные [19, 20]. В Западной Сибири наибольшее распространение имеет герефордская порода [21]. У разных пород «мраморность» формируется по-разному и достигает требуемого результата в разное время: у бычков калмыцкой породы к 17-месячному возрасту, у казахской белоголовой к 18-месячному возрасту, у герефордской к 19–20 месяцу. У симментальской породы мраморность отсутствует [22, 23]. В мраморном мясе специализированных пород содержание внутримышечного жира изменяется в пределах от 3,5 до 38 %, а в мясе, лишенном мраморности, внутримышечный жир составляет около 1 % [24]. Однако если мясо специализированных пород характеризуется «мраморностью» как высококачественное, то остальные виды мяса относятся к постному, содержащему не более 1 % жира и занимающему важную роль в питании населения [25, 26].

На формирование качества в целом и консистенции в частности влияет каждый из этапов процесса: от получения мясной продукции до ее реализации (рис. 1). Многие исследователи отмечают необходимость расширения показателей качества на всех этапах, в частности на уровне изменения микроструктуры сырья и готовой продукции.

В мясе после убоя животного ферментативные изменения проходят в направлении распада. Это автолитические изменения, от глубины и характера которых зависит качество и пищевая ценность мяса, определяемая при разных способах обработки: охлаждении, хранении, замораживании, размораживании, измельчении и т. д. Выделяют три состояния мяса в период его автолитических изменений: парное, максимального окоченения и созревшее. К парному относится мясо непосредственно после убоя животного и разделки туши (2–4 ч для говядины). Оно характеризуется расслаблением тканей, сравнительно небольшой механической прочностью, высокой водосвязывающей способностью и мягкой консистенцией. Вкус и запах такого мяса выражены слабо. Через 3 часа после убоя начинается развитие посмертного окоченения, при котором мясо теряет эластичность, становится жестким и теряет влагосвязывающую способность. Такое мясо плохо поддается механической обработке и сохраняет жесткость после варки. Процесс созревания на 5–7 сутки после убоя при 0–4 °C способствует снижению жесткости мяса. На 10–14 сутки органолептические показатели достигают оптимальных значений. Уменьшение жесткости мяса связано с процессом изменения белков, при котором образуются продукты распада коллагена под воздействием гидролитических ферментов, высвобождающихся из

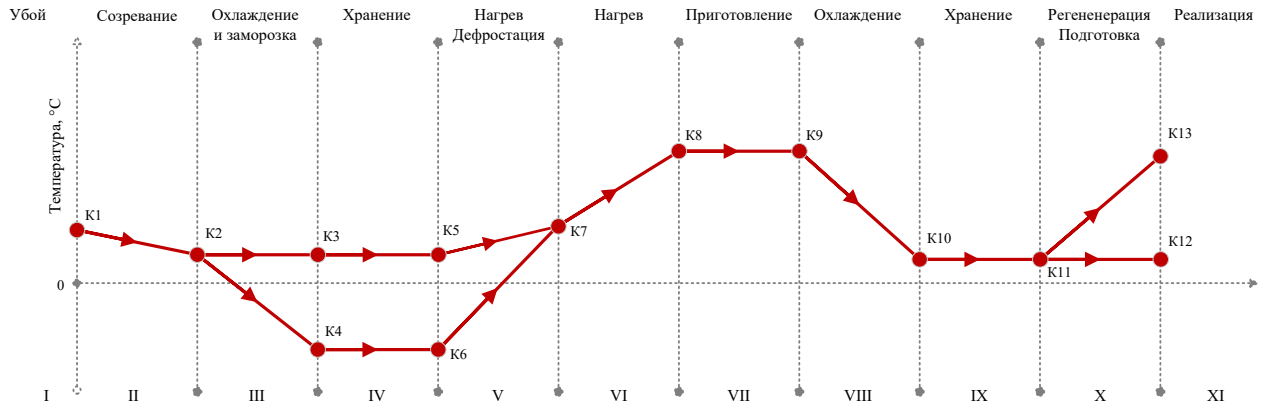

Рисунок 1. Диаграмма процессов преобразования мяса от убоя животного до реализации мясной продукции

Figure 1. Meat processing from slaughter to shelf

лизосом. Образующиеся кислоты в процессе созревания мяса приводят к разрыхлению коллагеновых пучков, ослаблению межмолекулярных поперечных связей и набуханию коллагена. Таким образом, в процессе созревания мяса происходит улучшение консистенции, но для разных отрубов этот процесс неодинаков [27, 28].

Созревшее мясное сырье реализуется в охлажденном или замороженном виде. Сохранение качества мяса после его созревания – одна из важнейших задач предприятий пищевой отрасли. Сохранение качества зависит от способа замораживания, наличия или отсутствия упаковки, режимов хранения. В процессе низкотемпературного хранения могут протекать процессы, которые снижают качество мясных полуфабрикатов. К ним относятся отепление, усушка, частичное оттаивание и формирование крупных кристаллов льда, разрушающих клеточную стенку. Под воздействием низких температур происходит разрушение микроструктур мышечного волокна говядины, которое проявляется в виде потерь мясного сока и растворенных веществ в условиях подготовки мяса к механической и/или кулинарной обработке. Это можно наблюдать при проведении гистологических исследований, которые выявляют нарушение целостности клеток и уменьшение их объема. Снижение влаги в поверхностном слое при хранении приводит к денатурации белков и снижению водосвязывающей способности, что ухудшает консистенцию сырого мяса и готовой мясной продукции [29–31].

Представляют интерес исследования по влиянию последовательности применяемых операций созревание – хранение при низких температурах на качество готовой мясной продукции. D. Setyabrata и др. изучили влияние последовательности процессов созревания и замораживания на качественные характеристики говяжьей корейки при различных способах заморозки: быстрая – криогенная заморозка при –75 °С, медленная – шоковая заморозка при –20 °С [32]. Авторы выявили, что на результирующие качественные характеристики замороженных/размороженных стейков из говядины влияют последовательность вызревание – замораживание и способ замораживания. При комбинации быстрой заморозки и последовательности замораживание – оттаивание – вызревание снижаются потери продукта при оттаивании, по сравнению с медленной заморозкой, в то время как потери от быстрой и медленной заморозки последовательности вызревание – замораживание – оттаивание не отличались друг от друга. Потери при варке были выше у образцов мяса, созревшего без замораживания (контроль), чем у мяса, подвергнутого последовательности замораживание – оттаивание – вызревание. Результаты гистологических исследований визуально подтверждают увеличение межклеточного пространства у мяса медленной заморозки по сравнению с быстрой. Поэтому последняя способствует лучшему сохранению качества сырья.

Недостатком технологии Sous vide является то, что на стадии вакуумирования возникает деформация изделий, которая усиливается при термическом воздействии и приводит к ухудшению внешнего вида продукции. В снижении влияния этого фактора положительную роль играет подмораживание, которое способствует обеспечению более высоких органолептических показателей продукта (сохранение формы изделия и увеличение сочности), снижению потерь на 15–20 % и повышению биологической ценности. Оптимальным режимом предварительного подмораживания полуфабрикатов является шоковое замораживание при –30 °С [33].

Изучению процесса кристаллообразования при замораживании мяса посвящены научные исследования С. И. Хвыля [34]. Было установлено, что кристаллы льда, образующиеся при замораживании, располагаются в мясе в зоне перимизия, между мышечными волокнами в эндомизии и внутри самих мышечных волокон. В процессе длительного хранения мяса происходит увеличение размеров кристаллов льда, что может привести либо к деформации мышечных волокон

без разрушения клеточной мембраны, либо к разрыву клеточной мембраны с последующим выходом внутриклеточного содержимого в межклеточное пространство после размораживания мяса и снижения его качества.

Повторное замораживание мяса приводит к еще большому увеличению кристаллообразования и более выраженному деструктивному изменению мембранных и филаментных структур мышечного волокна. Продукция, приготовленная из повторно замороженного мяса, может обладать низким уровнем качества.

Мясная продукция, независимо от территории проживания, социального статуса и возраста человека, является обязательной составляющей его рациона с учетом Норм физиологической потребности. Это является основанием для проведения научных исследований специалистами разных областей знаний в зависимости от поставленных целей и задач. Мы провели анализ специализированной научно-технической литературы за период 2015–2019 гг., посвященной исследованиям в области формирования качества мясной продукции. Обобщили и систематизировали материал по показателям качества говядины, которые наиболее часто определяются исследователями при разных видах обработки: замораживание и тепловая обработка (тушение и Sous vide) (табл. 1).

Во всех исследованиях контролем (табл. 1) служили показатели мясной продукции, не подвергнутой замораживанию. В экспериментальных исследованиях все образцы мяса были подвергнуты однократному замораживанию. Для проведения гистологических исследований использовали мясо говядины, температурные режимы замораживания которого составили от –18 до –30 °С. Кроме того, представлял интерес температурный режим при –75 °С, который относится к технологии криогенной заморозки и является новым направлением исследований.

С одной стороны, анализ данных таблицы 1 показывает глубину опубликованных результатов исследований и возможность их применения в практической деятельности, а с другой – целесообразность расширения спектра исследований при других малоизученных параметрах технологий пищевых производств. Ниже представлен обзор результатов исследований технологий и их параметров, направленных на выявление факторов, которые формируют потребительские свойства готовой мясной продукции.

Если блок исследования, приведенный в первой части статьи, был посвящен вопросам формирования качества мясного сырья, в зависимости от режимов хранения, то второй блок посвящен вопросам формирования

Таблица 1. Перечень показателей мяса говядины, подвергнутого замораживанию с последующей тепловой обработкой, полученных исследователями и опубликованных в научной литературе

Table 1. Quality indicators for beef subjected to freezing and heat treatment, by different authors

Показатели	Температура замораживания, °С							Вид тепловой обработки	
	б/з*	–75	–30	–25	–24	–20	–18	Sous vide	Тушение
Внутренняя температура сырья, °С	3–8	–20	–2	–25	–2	–20	–2	+	
Массовая доля жира, %			+		+		+	+	+
Массовая доля влаги, %			+		+		+	+	+
Массовая доля белка, %			+		+		+	+	+
Кислотность, pH	+	+		+					
Анализ протеолиза	+	+				+			
Энергетическая ценность, ккал			+		+		+	+	+
Коэффициент различия аминокислотного скора, %			+		+		+	+	+
Биологическая ценность, %			+		+		+	+	+
Коэффициент утилитарности (U), %			+		+		+	+	+
Содержание витаминов, %			+		+		+	+	+
Порозность мышечной ткани, %	+								
Потери при тепловой обработке, %	+	+	+		+	+	+	+	+
Потери при оттаивании, %	+	+				+			
Капельные потери влаги, %	+	+				+			
Размер кристаллов льда, мкм			+		+		+		
Количество повторения заморозки	1	1	1	1	1	1	1		
Начальное характеристическое время замерзания (T_c), мин		+	+		+	+	+		
Сила сдвига, Н	+	+				+			
Санитарно-гигиенические			+		+		+	+	+

*б/з – без замораживания.

*б/з – without freezing.

качества готовой мясной продукции. В качестве технологии производства мясной продукции рассматривали относительно новую технологию Sous vide в установленных граничных условиях (температура и время).

Наряду с показателями качества, регламентируемыми нормативными документами и общепринятыми методами исследования при оценке качества готовой мясной продукции, ряд исследователей использует гистологический анализ, применяемый при идентификации и получении более объективных показателей.

Анализ литературы показал, что технологии приготовления при температурах (120–130 °C) остаются более предпочтительными для мяса, которое имеет высокую долю соединительной ткани. Технологический процесс для 1–2 кг полуфабриката может длиться 5–7 ч, в течение которых мясо приобретает нежную структуру, мягкость и сочность. Однако такой продукт не пригоден для длительного хранения согласно требованиям существующих нормативных документов. Альтернативным способом длительного приготовления мяса является технология Sous vide, которая характеризуется приготовлением продукта в вакуумной среде в диапазоне температур от 50 до 95 °C. Получаемые мясные изделия имеют высокие органолептические показатели и в вакуумной среде (упаковка) могут храниться более 4 недель. Продукт аналогичен отварным мясным полуфабрикатам, но обладает более высокими показателями по консистенции (сочность и мягкость) [35–37].

В сравнении с приготовлением мясных изделий традиционной варкой и на гриле Sous vide приводит к меньшим потерям [38]. Однако исследователи отмечают, что при 77 °C, независимо от используемого метода, условий приготовления и характеристики мяса (содержании жира, тип мышц), потери схожи и составляют примерно 30 % веса образцов мяса. Это связано с тем, что при температуре 77 °C структура перимизия нарушается, несмотря на используемый метод приготовления, а соединительная ткань между адипоцитами при варке начинает изменяться.

Ранние исследования по изменению цвета образцов мяса показывают, что при более длительном приготовлении происходит переход от красных тонов (денатурация DeoxyMb и OxyMb белков) к коричневато-красным с зеленоватым оттенкам (гемовые группы MetMb и SulfMb белков) [39]. Стейки из говядины, приготовленные методом Sous vide, имеют более интенсивный красноватый цвет, сине-желтые хроматические значения также выше по сравнению с остальными видами обработки. Эти изменения более заметны при низких температурах 60–80 °C

Отмечается положительное влияние технологии Sous vide на консистенцию мяса жесткой структуры и низкого качества. Проведенные исследования на мясе тайской говядины (*Bos indicus*) показали, что данная технология изменяет, но не разрушает митохондрии полностью, вызывает усадку миофибриллярной массы, а при 60 и 70 °C – волнистость некоторых мышечных волокон [40]. Увеличение потерь при варке незначительно при температуре 60–70 °C в сравнении с 70–80 °C. Микроструктурные изменения более изменчивы для образцов, приготовленных при 60 и 70 °C, чем для образцов при 80 °C, которые показали большую площадь поперечного сечения миофибриллярной массы. Ученые обнаружили гиперконтрактивные волокна при всех сочетаниях температуры и времени, которые были связаны с соседними волнистыми волокнами и характерной структурной эволюцией в митохондриях.

Результаты исследований по изучению консистенции (плотность, жевательность, упругость, начальное напряжение и твердость) и микроструктуры мышечных волокон мяса крупного рогатого скота при варке показывают, что они изменяются независимо друг от друга [41]. Скорость изменений увеличивается с повышением температуры мяса до различных максимумов в диапазоне 70–100 °C, а затем уменьшается. Потери при варке увеличиваются с повышением внутренней температуры образцов. Наибольшие приросты потерь при варке наблюдаются между 50–70 °C в результате термической денатурации миофибриллярных белков и усадки коллагена. Уменьшение диаметра волокна наблюдалось в образцах, нагретых до 60 и 121 °C. Выявлена зависимость между диаметром волокон и упругостью мяса при нагревании в диапазоне 60–121 °C. Упругость мяса связана со степенью набухания волокон, что отражается на диаметре волокон. Изменения длины саркомера и потери при кулинарной обработке обратно пропорциональны.

Представляют интерес работы, которые описывают результаты комбинирования различных технологий совместно с Sous vide. F. M. Chian и др. исследовали влияние воздействия ударно-волновой обработки в сочетании с Sous vide (12 ч варки при 60 °C) на структурные характеристики образцов мяса из говяжьей грудинки [42]. Ударная волна сама по себе и с приготовлением Sous vide изменяет структуру мяса: снижается термостабильность внутримышечной соединительной ткани, а молекулярная структура миофибрилл не изменяет профиль электрофореза в белковом геле говядины. Технология ударно-волновой обработки нарушает ультраструктуру мышц за счет образования волнистых саркомеров и дезорганизованных Z-дисков, а последующая варка Sous vide дополнительно модифицирует молекулярную, микро- и ультраструктуру мышц, обработанных ударно-волновой обработкой, что смягчает мясо. Из этого следует, что сочетание ударно-волновой обработки и варки Sous vide может быть эффективным для повышения ценности более жестких мясных отрубов за счет увеличения их степени нежности.

Проводились исследования при сочетании умеренного давления с технологией Sous vide на примере мяса тайской говядины [43]. Сочетание Sous vide при давлении 200–300 кПа и температуре 60 °C способствовало формированию более интенсивного цвета, нежности и сочности образцов мяса, уменьшению потерь при варке

в сравнении с образцами, приготовленными при атмосферном давлении 101 кПа. Различия становятся более значимыми только после 3 ч варки (примерно на 10–11 %). Кроме того, создание условий умеренного давления (200–300 кПа) в условиях производства является более доступным в сравнении с высоким давлением (300–600 МПа). Скороварка обеспечивает давление 180–200 кПа (абсолютное). Установлено, что соединительная ткань говядины, приготовленной в вакууме, неоднородная и с более рыхлыми мышечными волокнами, чем у отварной или сырой говядины. Электрофоретические профили показали, что денатурация тяжелой цепи миозина влияет на физические свойства мяса.

Имеются результаты исследований, которые описывают изменение качества мясной продукции под влиянием технологии Sous vide в сочетании с ингредиентами, подавляющими развитие микрофлоры продукта [44]. Срок годности говядины, обработанной имбирным порошком (зингибаином), с последующим приготовлением по Sous vide увеличивается до 10 недель при температуре 4 ± 2 °C. Не установлено влияния внесения имбирного порошка на силу сдвига, текстуру и микроструктуру образцов.

Несмотря на исследования по оценке влияния температуры и времени приготовления на срок годности, органолептические и физико-химические свойства мяса, приготовленного по технологии Sous vide, остаются недостаточно изученными. На отечественном рынке это затрудняет совершенствование процесса повышения качества такой продукции и внедрение технологии в массовое использование. Анализ имеющегося опыта и получение новых результатов будет способствовать развитию технологии Sous vide в пищевых отраслях.

Провели поиск и анализ зарубежных и отечественных исследований технологии Sous vide, которые описывают результаты микроскопического анализа по определению влияния температуры на структуру волокон мяса в вакуумной среде. По результатам анализа более 200 источников зарубежной научной литературы, находящейся в свободном доступе, было определено 9 работ, которые включают гистологические исследования. Схожих публикаций российских исследователей обнаружено не было, кроме тех, что представлены выше. На обобщении и систематизации имеющейся научно-технической информации по изучаемой теме (1980–2023 гг.) составлен сводный перечень показателей, определяемых исследователями при изучении качества мясных полуфабрикатов, приготовленных по технологии Sous vide (табл. 2).

Анализ таблицы 2 показал, что в большей степени изучены показатели качества сырья и готовой продукции Sous vide из мяса говядины при режимах 60, 70 и 80 °C. Из указанного перечня показателей исследователи проявили интерес к потерям при тепловой обработке и реологическим показателям (упругость, растяжимость, жевательность и др.), из группы морфометрических показателей – к диаметру волокон, длине саркомера, площади поперечного сечения мышечных волокон и площади экстрамиофибриллярных масс.

Выявили наличие ограниченного количества исследований, которые рассматривают качественные и структурные изменения готовой мясной продукции из говядины, в т. ч. продукции Sous vide, подвергнутой различным режимам замораживания и размораживания. Поэтому проведение дальнейших исследований в данном направлении считаем целесообразным. Определили диапазоны температуры технологии Sous vide, которые являются неизученными или недостаточно изученными: 50–59, 61–69, 71–79, 81 °C и более. Не обнаружили исследований по микроскопическим исследованиям мяса по технологии Sous vide и их влиянию на формирование органолептических свойств готовой продукции.

Вышесказанное обуславливает актуальность продолжения и расширения направлений исследований процессов технологии Sous vide и их влияния на формирование качества готовой продукции. Важность этого вопроса подтверждается отсутствием национальных нормативных документов, которые регламентируют качество и безопасность мясной продукции по этой технологии. Производители продукции Sous vide самостоятельно формируют технологическую документацию, подтверждающую ее безопасность, но необходимость разработки единого подхода и единой нормативной документации (государственных стандартов) остается актуальной.

Мясная продукция, приготовленная по Sous vide в диапазоне температур от 50–70 °C, по российскому законодательству определяется как не доведенная до кулинарной готовности и представляющая потенциальную опасность для потребителя. Согласно ГОСТ Р 50647-94 кулинарная готовность характеризуется совокупностью физико-химических, структурно-механических и органолептических показателей. В условиях производства критерием готовности является температура внутри продукта [45]. Готовность изделий из мяса определяется выделением бесцветного сока в месте прокола и серым цветом на разрезе продукта, а также температурой в толще продукта. Для натуральных рубленых изделий температура должна быть не ниже 85 °C; она определяет его готовность, обеспечивает микробиологическую безопасность и сроки годности. На предприятиях пищевой промышленности, которые имеют аттестованную химическую лабораторию, кулинарную готовность отварной мясной продукции подтверждают определением остаточной активности фосфатазы. Международная организация FDA (Food and Drug Administration) определила минимальную температуру для доведения до готовности мяса говядины – 63 °C в толще продукта.

Широкий диапазон температур и времени приготовления продукции по технологии Sous vide, описанный в литературе, создает сложности и вызывает

Таблица 2. Обзор результатов исследований, опубликованных в научной литературе, показателей мясного сырья и готовой продукции из мяса говядины по технологии Sous vide при разных температурах

Table 2. Quality indicators of raw beef and finished products after different *Sous vide* modes, by different authors

Показатели	Температура, °C	Мясное сырье без тепловой обработки	50	55	60	65	70	77	80	90	100	121
Время приготовления	0/до достижения внутренней температуры	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
	15 мин				+		+		+			
	30 мин				+		+		+			
	45 мин				+		+		+			
	60 мин				+	+	+		+			
	90 мин				+							
	2 ч				+		+		+			
	2,5 ч				+							
	3 ч				+							
	3,5 ч				+							
	4 ч				+		+		+			
	6 ч				+		+		+			
	8 ч					+						
	12 ч				+		+		+			
	18 ч				+		+		+			
	24 ч				+		+		+			
	30 ч				+		+		+			
	36 ч				+		+		+			
Физико-химические	Массовая доля жира, %	+										
	Массовая доля влаги, %	+				+						
	Массовая доля белка, %	+										
	Кислотность (pH)	+				+						
	Окисление липидов (TBARS), мг МДА/кг					+						
	Цвет	+			+	+	+		+			
	% вторичной белковой структуры	+			+							
Морфометрические	Диаметр волокна, мкм (n = 40)	+	+		+		+		+	+	+	+
	Длина саркомера, мкм (n = 20)	+	+		+		+		+	+	+	+
	Площадь поперечного сечения мышечных волокон (CSA×10^5), мкм^2	+		+	+		+	+	+			
	Периметр, мкм	+			+							
	Диаметр Фере, мкм	+			+							
	Площадь внеклеточных пространств (ECSA×10^4), мкм^2	+			+							
	Изменение площади экстрамиофибриллярных масс (EMA), %	+		+	+		+	+	+			
	Количество волокон в 0,25 мм^2	+		+				+				
	% мышечных волокон и соединительной ткани	+			+							
	% расстояния между мышечными волокнами	+			+							
Дополнительные	Потери при тепловой обработке, %		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Упругость, см	+	+		+	+	+		+	+	+	+
	Растяжимость, Н/мм^2	+	+		+	+	+		+	+	+	+
	Сила сдвига, Н	+			+	+	+		+			
	Жевательность, Н	+	+		+	+	+		+	+	+	+
	Модуль упругости, кПа	+	+		+		+		+	+	+	+
	Начальное напряжение, кПа	+	+		+		+		+	+	+	+
	Усилие резания/твердость, Н	+	+		+	+	+		+	+	+	+
	Липкость, Н/см^2					+						
	Клейкость, Н·с					+						
	Органолептический анализ				+							
	Санитарно-гигиенические					+						

необходимость проведения исследований при подборе режимов и параметров для конкретных продуктов. Теория и механизмы формирования и управления качеством продукции по технологии Sous vide до конца не сформированы и требуют дополнения и уточнения. В этой связи провели исследования по изучению влияния технологии Sous vide на качество мясной продукции в диапазоне температур 57 и 64 °C в сравнении с 80 и 100 °C.

Целью работы являлось изучение влияния заданных режимов технологии Sous vide на формирование качества продукции из мяса говядины путем проведения гистологического и органолептического анализа.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось мясо тазобедренной части говядины, хранившееся в течение 48 ч после убоя при температуре от 0 до 4 °C. Выбор данного вида сырья обусловлен тем, что большая часть мяса говядины, потребляемой населением, является низкосортным, т. к. оно выработано из пород, предназначенных для производства молока. Разные части туши отличаются между собой степенью жесткости – бедренная часть говядины является достаточно жесткой, поэтому представляет интерес для исследования.

Для определения изменений микроструктуры мяса говядины исследованию подвергали следующие образцы: мясо сырое, отварное мясо при 100 °C в течение 2 ч (в соответствии с рекомендациями сборников рецептур), отварное мясо по технологии Sous vide при 57 и 64 °C в течение 24 ч, 80 °C – 12 ч. Охлажденные после приготовления образцы до температуры 4–6 °C подвергали криофиксации, после чего их нарезали на автоматическом микротом-криостате МСМ-3500 на кусочки толщиной 10 мкм, окрашивали гематоксилин-эозином и помещали под покровные стекла для проведения гистологии.

Оценку гистологических срезов образцов мяса говядины проводили на основе анализа фотографий с общим увеличением от ×40 до ×100. Фотографии получили при помощи биологического микроскопа марки «Микромед» с видеоокуляром ToupCam 5,1 Мпк в проходящем свете по методу светового поля. Определили состояние мышечных волокон и их изменения в процессе тепловой обработки при разных температурах. Линейные размеры мышечных волокон и других структур мяса говядины установили при помощи программы ToupTek ToupView (версия x64, 4.7.14011.20190228).

Органолептический анализ проводили путем ранжирования с участием 30 экспертов. Предварительно приготовленные и охлажденные образцы повторно нагревали на водяной бане при 60 °C в течение 10 мин и подавали экспертам для оценки в одноразовой посуде. Для каждого члена экспертной комиссии образцам были присвоены случайные трехзначные числа, а порядок образцов был рандомизирован. Каждый рейтинговый тест был разделен на 4 показателя: цвет, запах, консистенция на нежность и сочность. Ранжирование цвета было от самого темного (= 1) до самого яркого (= 4), от наименее насыщенного (= 1) до насыщенного запаха готовой отварной говядины (= 4), нежность от самой жесткой (= 1) до самой нежной (= 4), сочность от самой сухой (= 1) до самой сочной (= 4).

Результаты и их обсуждение

Объектом для проведения гистологического анализа по изменению микроструктуры мяса говядины по технологии Sous vide были образцы, относящиеся к поперечнополосатой мышечной ткани, которая является основной в мясе убойных животных. У крупного рогатого скота данная ткань составляет 49–68 % массы всей туши. В основе строения поперечнополосатой мышечной ткани лежат поперечнополосатые мышечные волокна в виде тонких и длинных цилиндров с тупыми или слегка заостренными концами. Длина волокон колеблется от нескольких миллиметров до 15 см, диаметр – от 10 до 150 мкм. Объединенные прослойками рыхлой соединительной ткани (эндомизием) пучки таких волокон составляют отдельные мышцы [46, 47]. В каждом волокне различают сарколемму (наружную оболочку), жидкую саркоплазму, ядра, миофибриллы (сократительные органеллы с регулярно повторяющейся организацией) и др.

Готовые гистологические срезы мяса говядины, полученные при заданных режимах обработки, подвергли исследованию структурных изменений мышечных волокон, видимых при проведении светового микроскопирования со степенью увеличения объективов ×40, ×100 и с окуляром на ×10. Качественные изменения в микроструктурах образцов представлены на микрофотографиях фиксированных структур в поперечном (рис. 2) и продольном (рис. 3) срезах, окрашенных гематоксилином и эозином.

Анализ показал, что в сыром мясе отсутствуют нарушения целостности волокон, они плотно прилегают друг к другу, а на поперечном срезе видна их плотность – четко очерчены границы волокон. Ядра расположены преимущественно на периферии мышечных волокон под сарколеммой, единичные ядра, отделившиеся от волокон в процессе нарезки срезов, наблюдаются в межклеточном пространстве. Отчетливо видна рыхлая соединительная ткань между волокнами и их пучками (эндомизий и перимизий).

Процесс варки приводит к увеличению размера межклеточного пространства и изменениям структуры внутримышечной соединительной ткани: к сморщиванию и растворению. Увеличение площади межклеточных пространств наблюдается у образцов после варки при 100 °C (2 ч). Также следует отметить усадку волокон при варке традиционным способом и их деформацию – это видно на продольном и поперечном срезах соответственно. Соединительную ткань было труднее различить в приготовленных Sous vide образцах при 57 °C (24 ч). В остальных образцах перимизий можно было иденти-

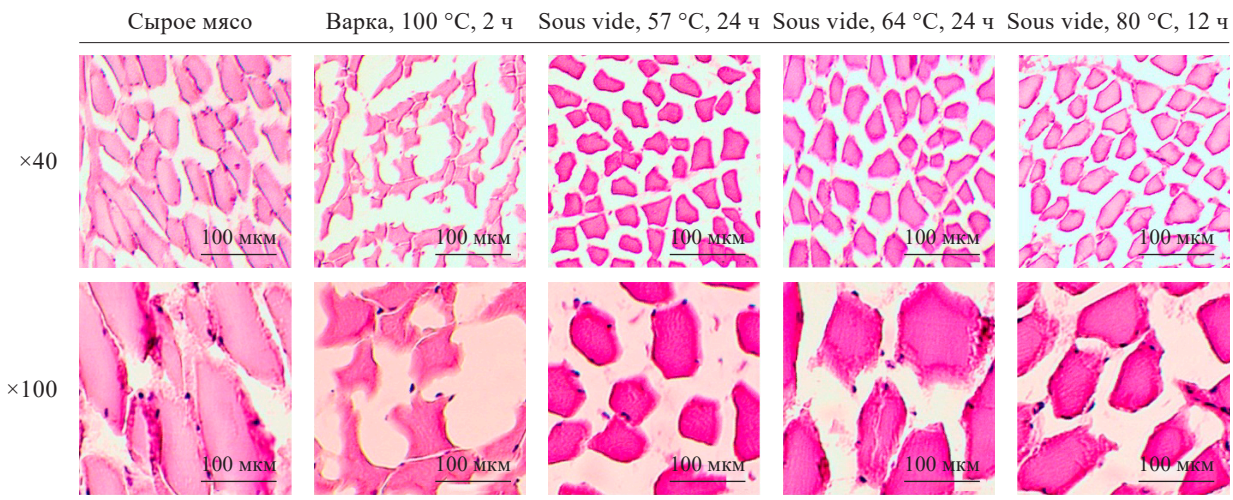

Рисунок 2. Фотографии световой микроскопии поперечных срезов мышечных волокон мяса говядины при исследуемых режимах обработки с общим увеличением изображений ×40 и ×100; окраска гематоксилином и эозином

Figure 2. Cross sections of beef muscle fibers under different processing modes: hematoxylin and eosin staining, light microscopy at ×40 and ×100

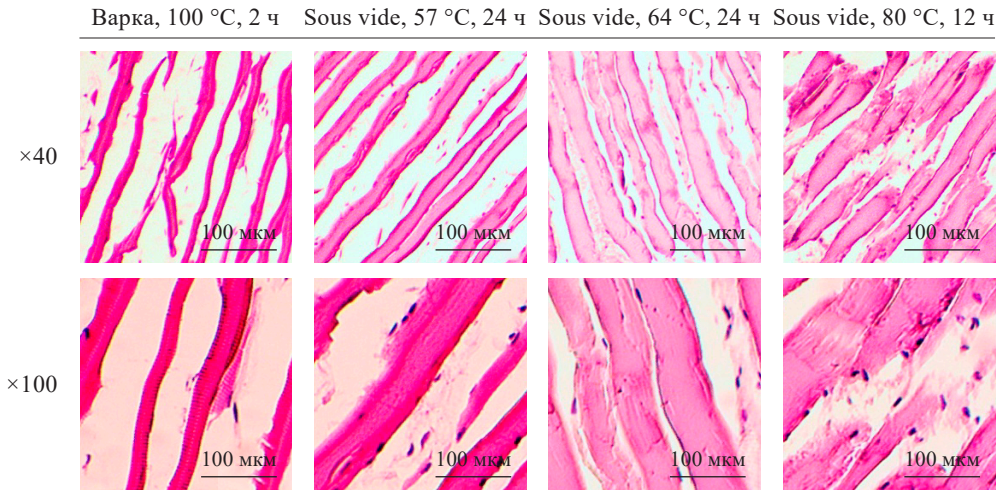

Рисунок 3. Фотографии световой микроскопии продольных срезов мышечных волокон мяса говядины при исследуемых режимах обработки с общим увеличением изображений ×40 и ×100; окраска гематоксилином и эозином

Figure 3. Longitudinal sections of beef muscle fibers under different processing modes: hematoxylin and eosin staining, light microscopy at ×40 and ×100

фицировать, несмотря на его увеличивающуюся растворимость с температурой и временем приготовления. На поперечном срезе образцов, сваренных Sous vide при 57 °C, видно сжатие волокон, как и при 100 °C – их диаметр визуально меньше образцов, подвергнутых варке под вакуумом при 64 и 80 °C. На продольном срезе у обоих образцов видно, что волокна плотные, но при 57 °C они относительно ровные, а при 100 °C наблюдается деформация и разорванность.

Из-за разрушения волокон увеличилось высвобождение ядер в межклеточное пространство, что видно на продольных срезах сваренных образцов. Наибольший выход ядер в межклеточное пространство наблюдается у образцов, сваренных при 100 °C. Наибольшая степень разрушения волокнистых структур отмечена при варке по технологии Sous vide при 80 °C в течение 12 ч: волокнам труднее сохранять свою целостность, поэтому после нарезки срезов на микрофотографиях наблюдаются поперечные разрывы длиной оси волокна. Подобная степень разрушения и разорванность наблюдается у образцов, сваренных Sous vide при 64 °C в течение 24 ч. У обоих образцов отметили

проявления грануляции перимизия и сарколеммы из-за денатурирования внутримышечной соединительной ткани и миофибрилл. После варки Sous vide при 80 °C образования зернистых масс сильнее заполнили пространство между пучками волокна, чем при 64 °C.

Данные, представленные в таблице 3, в количественном выражении подтверждают описанные выше качественные изменения в микроструктурах образцов. Наивысшие значения расстояния между мышечными волокнами обнаружили у образцов, сваренных при 100 °C: 75,14 ± 36,18 мкм в поперечном, 130,19 ± 93,82 мкм в продольном срезах, наименьшие у образцов, сваренных Sous vide при 57 и 64 °C: 50,61 ± 19,46 и 63,73 ± 21,75 мкм в поперечном, 84,17 ± 33,69 и 76,50 ± 27,55 мкм в продольном срезах соответственно. Средний диаметр волокна в сырой говядине составил 127,93 ± 25,61 мкм, а в вареном (в среднем) – 106,14 ± 8,24 мкм. Как диаметр, так и площадь поперечного сечения мышечных волокон уменьшались при варке, что подтверждает сжимание волокон, видимых на снимках. В исследовании структурных изменений тайской говядины авторы отметили данное явление и предположили, что это связано с уменьшением миофибриллярной массы [44]. Наибольшая поперечная усадка волокна наблюдается в значениях показателя «Толщина волокон» при двухчасовой варке при 100 °C – 52,44 ± 13,53 мкм, что в среднем меньше в 1,5 раза в сравнении с образцами Sous vide. Наряду с усадкой и деформацией волокон, при варке традиционным способом отмечается наибольшее скопление волокон на площади в 0,25 мм^2 (в среднем 99 ± 16 мкм). Это может быть связано с дефрагментацией мышечных волокон и неравномерным плотным прилеганием пучков друг к другу.

Органолептический анализ образцов, приготовленных по технологии Sous vide, проводили в сравнении с контрольным образцом мяса говядины (варка при 100 °C, 2 ч). Установлено, что цвет образцов мяса говядины по Sous vide был более насыщен, вкус выражен, консистенция более нежная и сочная по сравнению с контролем. Органолептические профили полученных образцов отварного мяса представлены в таблице 4.

Сравнительный анализ показал, что образцы мяса говядины, приготовленные по технологии Sous vide, имеют преимущества по органолептическим показателям в сравнении с контрольным образцом, приготовленным по традиционной технологии. Оценка образцов мяса говядины по технологии Sous vide по 5-балльной шкале представлена в таблице 5. В основу проведения органолептической оценки продукции Sous vide положены требования ГОСТ 9959-2015.

Образцы, приготовленные при 80 °C (12 ч), были более нежными, чем образцы при 57 и 64 °C (24 ч). У образцов Sous vide консистенция по сочности и нежности уменьшается в сторону меньших температур. Это согласуется с результатами гистологических исследований (рис. 2 и 3). Образцы, приготовленные по Sous vide, имеют более высокие баллы по показателю сочности (3,29–3,74) в сравнении с отварной говядиной при 100 °C (1,96). Образцы Sous vide были оценены по вкусу ниже (2,63–3,14), чем отварные по традиционному способу (3,76). Так как технология Sous vide широко не применяется для приготовления мясной продукции на предприятиях питания и отсутствует в ассортименте на рынке, то можно предположить, что для экспертов более привычен вкус отварной говядины, поэтому они оценили эти образцы выше. Образцы, приготовленные по технологии Sous vide, по таким показателям, как внешний вид и консистенция (нежность и сочность), имеют лучшие показатели, в отличие от образцов, приготовленных традиционным способом при 100 °C.

Таблица 3. Морфометрические показатели мяса сырой говядины и говядины, прошедшей тепловую обработку по традиционной технологии и Sous vide

Table 3. Morphology indicators of raw beef, beef after conventional thermal treatment, and beef processed by *Sous vide*

Показатели \ Образцы	Общ. ув.	Срез	Без тепловой обработки	Варка при 100 °C, 2 ч	Sous vide при 57 °C, 24 ч	Sous vide при 64 °C, 24 ч	Sous vide при 80 °C, 12 ч
Толщина волокна, мкм	100	||	–	52,44 ± 13,53	75,50 ± 13,19	79,88 ± 17,73	79,63 ± 16,80
Диаметр волокна, мкм	100	=	127,93 ± 25,61	99,36 ± 15,03	99,27 ± 14,94	115,93 ± 24,37	109,99 ± 19,70
Площадь поперечного сечения волокна, ($S_{п.с.}\times10^3$), мкм^2	100	=	13,35 ± 5,02	7,92 ± 2,37	7,91 ± 2,33	11,01 ± 4,52	9,79 ± 3,55
Расстояние между мышечными волокнами, мкм	100	||	–	130,19 ± 93,82	84,17 ± 33,69	76,50 ± 27,55	102,27 ± 55,50
		=	74,65 ± 29,70	75,14 ± 36,18	50,61 ± 19,46	63,73 ± 21,75	67,34 ± 45,02
Количество волокон в 0,25 мм^2	40	=	48 ± 7	99 ± 16	75 ± 70	55 ± 10	71 ± 70

Примечания: || – продольный срез; = – поперечный срез.

Note: || – longitudinal section; = – cross section.

Таблица 4. Органолептические профили мяса говядины при разных режимах и параметрах тепловой обработки

Table 4. Sensory profiles of beef under different modes and parameters of thermal treatment

Образцы	Органолептические показатели
Варка основным способом: 100 °C, 2 ч	Внешний вид: форма стейка, сохраненная при нарезке, без деформации Цвет: от темно-коричневого с красным оттенком до серо-коричневого с желтым оттенком Запах: советующий вареной говядине, умеренный Вкус: отварного мяса говядины, пресный и выраженный Консистенция: поверхность мяса ощущается сухой и жесткой, внутри – мясо плотное, немного сухое
Sous vide: 80 °C, 12 ч	Внешний вид: форма стейка, сохраненная при нарезке, приплюснутая; поверхность слегка влажная Цвет: коричневый с красным оттенком Запах: соответствующий вареной говядине, насыщенный Вкус: вареной говядины, приятный Консистенция: снаружи и внутри мясо очень мягкое и сочное, текстура ощущается однородной
Sous vide: 64 °C, 24 ч	Внешний вид: форма стейка, сохраненная при нарезке, приплюснутая; поверхность слегка влажная с небольшими по бокам фрагментами коагулированных белков Цвет: от коричневого до коричнево-красного Консистенция: снаружи и внутри мясо также мягкое и сочное, но более плотное, ощущается волокнистость Запах: советующий вареной говядине, насыщенный Вкус: вареной говядины, приятный
Sous vide: 57 °C, 24 ч	Внешний вид: форма стейка, сохраненная при нарезке, приплюснутая; поверхность слегка влажная с фрагментами коагулированных белков Цвет: от светло-коричневого до коричнево-красного Консистенция: снаружи и внутри мясо достаточно мягкое и сочное, текстура более плотная и упругая, но при этом нежная Запах: советующий вареной говядине, насыщенный Вкус: вареной говядины, приятный

Таблица 5. Балльная оценка органолептических показателей образцов мяса говядины

Table 5. Sensory assessment of beef samples, score

Показатели	Образцы			
	Sous vide: 57 °C, 24 ч	Sous vide: 64 °C, 24 ч	Sous vide: 80 °C, 12 ч	Варка основным способом: 100 °C, 2 ч
Цвет	3,71 ± 0,96	4,01 ± 0,84	2,85 ± 0,89	1,91 ± 1,06
Вкус	2,63 ± 1,11	2,88 ± 1,03	3,14 ± 1,11	3,76 ± 1,23
Нежность	3,63 ± 0,95	3,89 ± 0,95	4,36 ± 0,95	1,48 ± 0,68
Сочность	3,29 ± 0,85	3,74 ± 0,84	3,68 ± 1,09	1,96 ± 1,00

Выводы

Обзор данных научной литературы показал перспективность применения технологии Sous vide в производстве пищевой продукции, что определяет интерес исследователей к изучению разных аспектов формирования и сохранения ее качества. Обобщили результаты исследований влияния факторов (температура, время, особенности исходного сырья, степень созревания мяса, условия приготовления готовой продукции и ее хранения и т. д.) на процесс формирования потребительских свойств мясной продукции.

Однако объекты и экспериментальные исследования носят локальный характер, что свидетельствует о целесообразности расширения граничных условий, имеющихся в литературе. Выявили малую изученность показателей качества продукции из мяса говядины, приготовленной по технологии Sous vide, методом гистологического анализа. Отличительными режимами технологии от известных при организации исследований являлись 57 и 64 °C (24 ч), 80 °C (12 ч) применительно к объекту – крестцовой части туши говядины. Собственные исследования позволили установить влияние заданных режимов на структурные изменения мяса говядины на микроуровне и на показатели сочности и мягкости путем сравнительной характеристики результатов микроскопирования сырья и готовой продукции.

Результаты собственных гистологических исследований показали, что процесс варки при 100 °C при рассматриваемых режимах Sous vide (57, 64 и 80 °C)

приводит к увеличению размера межклеточного пространства и растворению соединительной ткани. Показано, что чем выше температура, тем значительнее наблюдаемые изменения. У мяса, приготовленного при 100 °C (традиционная варка), более выражена усадка и деформация мышечных волокон, что в количественном выражении в 1,5 раза выше, чем у образцов Sous vide. В условиях варки по технологии Sous vide наибольшую степень разрушения волокнистых структур наблюдали в образцах, приготовленных при 80 °C в течение 12 ч. С повышением степени разрушения мышечных волокон обнаружили увеличение выхода ядер в межклеточное пространство. Проявления грануляции перимизия и сарколеммы у образцов Sous vide отметили при 64 и 80 °C. Для последних образование зернистых масс, заполняющих пространство между пучками мышечных волокон, более интенсивное. Результаты исследований образцов мяса Sous vide методом гистологии выявили зависимость степени разрушения волокон от температуры в порядке убывания: при 80 °C → при 64 °C → при 57 °C.

Процесс формирования сочности мясных полуфабрикатов отражается в результатах органолептической оценки. Результаты исследований показали, что наиболее высокие показатели консистенции по сочности имели образцы Sous vide при 64 °C в течение 24 ч, по нежности – при 80 °C в течение 12 ч, наименьшие (по обоим показателям) – при 57 °C в течение 24 ч. Образцы, полученные при 80 °C в течение 12 ч, по показателю консистенции «сочность» характеризовались оценкой средняя/выше средней.

Обобщение результатов исследований и их анализ выявило противоречие между возрастанием степени разрушения волокон при увеличении температуры и формированием показателя консистенция (сочность и нежность). Образцы Sous vide при 64 °C и 24 ч имели самую высокую сочность, но обладали меньшей степенью разрушения мышечного волокна, чем образцы при 80 °C (12 ч), которые были менее сочными, несмотря на наличие многочисленных разрушений мышечных волокон. Мы считаем необходимым продолжение исследований в этом направлении и приглашаем профильных специалистов к дискуссии.

Критерии авторства

А. А. Кокшаров и Л. А. Маюрникова – разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация литературных данных, написание статьи. А. Д. Пластун – сбор и анализ литературных данных, выполнение лабораторных исследований. Н. И. Давыденко и Т. В. Крапива – сбор и анализ литературных данных, обработка результатов, редактирование и подготовка статьи к публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.A. Koksharov and L.A. Mayurnikova developed the research concept, designed the methodology, analyzed the data, reviewed scientific literature, and wrote the manuscript. A.D. Plastun collected and analyzed literary data, as well as performed the laboratory research. N.I. Davydenko and T.V. Krapiva collected and analyzed literary data, processed the results obtained, and proofread the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article

References/Список литературы

1. Meat market: statistics updated for the third quarter of 2022 [Internet]. [cited 2023 Sep 12]. Available from: https://ab-centre.ru/news/rynok-myasa-statistika-s-obnovleniem-na-iii-kvartal-2022-goda

2. Consumers have reconsidered their diet: how customer preferences changed last year [Internet] [cited 2023 Sep 12]. Available from: https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39533-potrebiteli-peresmotreli-ratsion-kak-v-proshlom-godu-menyalis-predpochteniya-pokupateley

3. Gurinovich GV, Khrenov VA, Patrakova IS. Comparative evaluation of beef quality depending on the aging conditions. Polzunovskiy Vestnik. 2022;(1):73–78. (In Russ.). https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.010; https://www.elibrary.ru/JJBYWC

4. Lisitsyn AB, Kozyrev IV, Mittel'shteyn TM. Production and evaluation of high-quality beef. Vsyo o Myase. 2015;(3):22–25. (In Russ.). [Лисицын А. Б., Козырев И. В., Миттельштейн Т. М. Особенности производства и оценки высококачественной говядины // Все о мясе. 2015. № 3. С. 22–25.]. https://www.elibrary.ru/TYWJUZ

5. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Lisitsyn AB, Bolaev BK, Natyrov AK, Mosolova DA. Modern approaches to increasing the efficiency of genetic potential of Kalmyk cattle. Volgograd: Sfera LLC; 2019. 260 p. (In Russ.). [Современные подходы к повышению эффективности использования генетического потенциала калмыцкого скота / И. Ф. Горлов [и др.]. Волгоград: ООО «Сфера», 2019. 260 с.]. https://www.elibrary.ru/UYEHVK

6. Gurinovich GV, Khrenov VA, Patrakova IS, Patshina MV. Studying an effect of thermal treatment methods on physico-chemical properties of beef depending on aging technology. Food Systems. 2022;5(4):376–382. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-376-382; https://www.elibrary.ru/OMZMET

7. Cheremenina NA, Zhiryakov ED, Mikhailov MS. Comparative characteristics of raw and thermally treated meat of different animal species and poultry. Proceedings of the international scientific and practical conference on Integration of science and practice for agro-industrial development; 2018; Tyumen. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University; 2018. p. 166–171. (In Russ.). [Череменина Н. А., Жиряков Е. Д., Михайлова М. С. Сравнительная характеристика сырого и термически обработанного мяса разных видов животных и птицы // Сборник статей международной научно-практической конференции «Интеграция науки и практики для развития агропромышленного комплекса». Тюмень, 2018. С. 166–171.]. https://www.elibrary.ru/VPOPLP

8. Robbins K, Jensen J, Ryan KJ, Homco-Ryan C, McKeith FK, Brewer MS. Consumer attitudes towards beef and acceptability of enhanced beef. Meat Science. 2003;(65):721–729. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00274-7

9. Saha A, Perumalla AVS, Lee Y, Meullenet JF, Owens CM. Tenderness, moistness, and flavor of pre- and postrigor marinated broiler breast fillets evaluated by consumer sensory panel. Poultry Science. 2009;88(6):1250–1256. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00236

10. Nishinari K, Peyron M-A, Yang N, Gao Z, Zhang K, Fang Y, *et al.* The role of texture in the palatability and food oral processing. Food Hydrocolloids. 2024;147:109095. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109095

11. Drey LN, O'Quinn TG. Tenderness, juiciness and flavor contribute to the overall consumer beef eating experience. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. 2017;3(1):27. https://doi.org/10.4148/2378-5977.1361

12. O'Sullivan MG, Cruz-Romero MC, Kerry JP. Sensory and physiochemical comparison of traditional bone-in dry-aged beef loin with bone-less dry ageing and ageing using a moisture permeable bag. Food and Nutrition Sciences. 2018; 9(9):1078–1098. https://doi.org/10.4236/fns.2018.99079

13. Felderhoff C, Lyford C, Malaga J, Polkinghorne R, Brooks C, Garmyn A, *et al.* Beef quality preferences: Factors driving consumer satisfaction. Foods. 2020;9(3):289. https://doi.org/10.3390/foods9030289

14. Garmyn A. Consumer preferences and acceptance of meat products. Foods. 2020;9(6):708. https://doi.org/10.3390/foods9060708

15. Sokolov AYu, Shishkina DI, Pchelkina VA. Development of meat products with wheat fiber for food industry. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2018;(4):172–178. (In Russ.). [Соколов А. Ю., Шишкина Д. И., Пчелкина В. А. Разработка мясных полуфабрикатов с пшеничными волокнами для индустрии питания // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 4. С. 172–178.]. https://www.elibrary.ru/LCIETW

16. Lazarev AA, Kuznetsova TG. National and foreign approaches in descriptionand assessment of consistency and texture of meat products. Vsyo o Myase. 2019;(5):19–23. (In Russ.). [Лазарев А. А., Кузнецова Т. Г. Отечественные и зарубежные подходы при описании и оценке консистенции и текстуры мясной продукции // Все о мясе. 2019. № 5. С. 19–23.]. https://www.elibrary.ru/RSKRBK

17. Lisitsyn AB, Sus′ IV, Mittel′shteyn TM, Legoshin GP, Mogilenets ON, Afanas′eva ES. Principles of classification and quality assessment in the new unified national standard on Cattle for slaughter; beef and veal in carcasses, half-carcasses and quarters. Vsyo o Myase. 2010;(3):39–43. (In Russ.). [Принципы классификации и оценки качества в новом едином национальном стандарте «Крупный рогатый скот для убоя, говядина и телятина в тушах, полутушах и четвертинах» / А. Б. Лисицын [и др.] // Все о мясе. 2010. № 3. С. 39–43.]. https://www.elibrary.ru/MRYEPR

18. Gurinovich GV, Patrakova IS, Khrenov VA, Patshina MV, Shevchenko AI. Effect of dry aging on beef muscle proteins. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):621–629. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2462

19. Breeding beef cows: features and prospects [Internet]. [cited 2023 Sep 20]. Available from: https://сельхозпортал.рф/articles/razvedenie-korov-na-myaso

20. Amerkhanov KhA, Fedorenko VF, Strekozov NI. Breeds of pedigree farm animals and poultry: distribution in the Russian Federation. Catalog. Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh"; 2006. 60 p. (In Russ.). [Амерханов Х. А., Федоренко В. Ф., Стрекозов Н. И. Породы племенных сельскохозяйственных животных и птицы, распространение в российской федерации. Каталог. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 60 с.]. https://www.elibrary.ru/WFONSH

21. Inerbayev BO, Khramtsova IA. Meat breeds of cattle in the Siberian Federal District. Development strategy for beef cattle breeding and feed production in Siberia: conference proceedings; 2013; Tyumen. Tyumen: Pechatnik; 2013. p. 28–33. (In Russ.). [Инербаев Б. О., Храмцова И. А. Мясные породы крупного рогатого скота в СФО // Стратегия развития мясного скотоводства и кормопроизводства в Сибири: сборник трудов конференции. Тюмень, 2013. С. 28–33.].

22. Gorlov IF, Kaydulina AA, Kolomeytseva AS, Komarova ZB. Innovative technologies for marbled beef from various cattle breeds. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2012;(1):68–71. (In Russ.). [Инновационные технологии производства «мраморной» говядины с использованием различных пород мясного скота / И. Ф. Горлов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1. С. 68–71.]. https://www.elibrary.ru/OWIDTD

23. Kaydulina AA, Randelin AV. Histological studies of the marble beef obtained from Kazakh white-headed bulls at different periods of slaughter. New approaches, principles, and efficiency mechanisms for production and processing of agricultural products: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; 2014; Volgograd. Volgograd: Volga Region

Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 2014. p. 55–57. (In Russ.). [Кайдулина А. А., Ранделин А. В. Гистологические исследования «мраморности» говядины, полученной от бычков казахской белоголовой породы при разных сроках убоя // Новые подходы, принципы и механизмы повышения эффективности производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2014. С. 55–57.]. https://www.elibrary.ru/VXXTFN

24. Santos D, Monteiro MJ, Voss H-P, Komora N, Teixeira P, Pintado M. The most important attributes of beef sensory quality and production variables that can affect it: A review. Livestock Science. 2021;250:104573. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104573

25. Androsova AN, Golovko EN, Zabashta NN, Sinelshchikova IA. Effect of the gender status of young cattle on meat productivity and suitability of beef for baby food. Collection of Scientific Papers of KRCAHVM. 2020;9(1):315–321. (In Russ.). https://doi.org/10.34617/41jg-qm96; https://www.elibrary.ru/WACFVH

26. Cheong J-K, Oh Y-T, Lee C-H, Kim K-H, Choy H-N, Kim H-C, *et al.* Effects of geographic locations and year-seasons of birth on ultrasound scanned measures and carcass traits of hanwoo steers. Journal of Animal Science and Technology. 2012;54(4):247–253. (In Korean). https://doi.org/10.5187/JAST.2012.54.4.247

27. Terjung N, Witte F, Heinz V. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. Meat Science. 2021;172:108355. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108355

28. Zhukov RB. Changes in the properties of meat during ripening. Innovative developments and their implementation: problems and prospects: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Part 1; 2021; Chelyabinsk. Ufa: OMEGA SCIENCE LLC; 2021. p. 180–184. (In Russ.). [Жуков Р. Б. Изменения свойств мяса при созревании // Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 180–184.]. https://www.elibrary.ru/EABHBW

29. Korotkaya EV, Sakhabutdinova GF, Vasiliev KI. The study of freezing methods influence on the meat semi-finished products quality indicators. Bulletin of KSAU. 2021;(10):173–178. (In Russ.). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-10-173-178; https://www.elibrary.ru/BGGDSH

30. 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; https://www.elibrary.ru/JKPSED

31. Korotkiy IA, Rasshchepkin AN, Korotkaya EV, 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. https://www.elibrary.ru/PWKWFZ

32. Setyabrata D, Tuell JR, Kim B. The effect of aging/freezing sequence and freezing rate on quality attributes of beef loins (*M. longissimus lumborum*). Meat and Muscle Biology. 2019;3(1):488–499. https://doi.org/10.22175/mmb.11234

33. Rodionova NS, Popov ES. Sous-vide process small-sized semi-finished beef: modes and quality indicator. Food Industry. 2015;(10):32–34. (In Russ.). [Родионова Н. С., Попов Е. С. Sous-vide обработка мелкокусковых полуфабрикатов из мяса говядины: режимы и показатели качества // Пищевая промышленность. 2015. № 10. С. 32–34.]. https://www.elibrary.ru/ULVWRX

34. Khvylya SI. Histological method of estimation of impact of freezing and storage on meat microstructure. Kholodilnaya Tekhnika. 2016;(11):44–47. (In Russ.). [Хвыля С. И. Гистологический метод оценки влияния замораживания и хранения на микроструктуру мяса // Холодильная техника. 2016. № 11. С. 44–47.]. https://www.elibrary.ru/ZQODAL

35. Tsaregorodtseva EV. Effect of heat treatment method on the quality of finished meat products. Current Issues of Improving the Technology of Agricultural Production and Processing. 2021;(23):234–237. (In Russ.). [Царегородцева Е. В. Влияние способа тепловой обработки на качество готовых мясных продуктов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 234–237.]. https://www.elibrary.ru/IONVNA

36. Koksharov AA, Mayurnikova LA, Grigor'eva RZ, Petkovich AI, Krapiva TV. Identification and studying the factors forming quality of meat semi-finished products with use of sous vide technology. AIP Conference Proceedings. 2021; 2419(1):040001. https://doi.org/10.1063/5.0069972

37. Tunieva EK, Motovilina AA, Mileenkova EV. Several aspects of quality and safety formation in sous-vide products. Vsyo o Myase. 2023;(4):18–21. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-4-18-21

38. Anne D, Thierry A, Keisuke S, Michiyo M. Transformation of highly marbled meats under various cooking processes. Meat Science. 2022;189:108810. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108810

39. García-Segovia P, Andrés-Bello A, Martínez-Monzó J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). Journal of Food Engineering. 2007;80(3):813–821. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.010

40. Supaphon P, Kerdpiboon S, Vénien A, Loison O, Sicard J, Rouel J, *et al.* Structural changes in local Thai beef during Sous vide cooking. Meat Science. 2021;175:108442. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108442

41. Palka K, Daun H. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. Meat Science. 1999;51(3):237–243. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00119-3

42. Chian FM, Kaur L, Astruc T, Vénien A, Stübler A-S, Aganovic K, *et al.* Shockwave processing of beef brisket in conjunction with sous vide cooking: Effects on protein structural characteristics and muscle microstructure. Food Chemistry. 2021;343:128500. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128500

43. Chotigavin N, Kerr WL, Klaypradit W, Kerdpiboon S. Novel sous-vide pressure technique affecting properties of local beef muscle. LWT. 2023;175:114439. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114439

44. Naqvi ZB, Campbell MA, Latif S, Thomson PC, Astruc T, Friend MA, *et al.* The effect of extended refrigerated storage on the physicochemical, structural, and microbial quality of sous vide cooked *biceps femoris* treated with ginger powder (zingibain). Meat Science. 2022;186:108729. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108729

45. Yushina YuK, Vostrikova NL, Stanovova IA. Content of residual acid phosphatase activity in liver sausages and offal pates. Vsyo o Myase. 2010;(3):36–37. (In Russ.). [Юшина Ю. К., Вострикова Н. Л., Становова И. А. Исследование содержания остаточной активности кислой фосфатазы в ливерных колбасах и субпродуктовых паштетах // Все о мясе. 2010. № 3. С. 36–37.]. https://www.elibrary.ru/MRYEPH

46. Antipova LV, Slobodyanik VS, Suleymanov SM. Anatomy and histology of farm animals. Moscow: KolosS; 2005. 382 p. (In Russ.). [Антипова Л. В., Слободяник В. С., Сулейманов С. М. Анатомия и гистология сельскохозяйственных животных. М.: КолосС, 2005. 382 с.]. https://www.elibrary.ru/QKXFQT

47. Sultana K, Jayathilakan K, Sajeevkumar VA. Chemistry of animal tissues. In: Chauhan OP, editor. Advances in food chemistry. Singapore: Springer; 2022. pp. 385–437. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_11