

## Влияние продолжительности сухого созревания и состава посолочных веществ на белки высококачественной говядины



Г. В. Гуринович\*<sup>ORCID</sup>, И. С. Патракова<sup>ORCID</sup>, В. А. Хренов<sup>ORCID</sup>

Кемеровский государственный университет<sup>ORCID</sup>, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 17.01.2022

Поступила после рецензирования: 07.02.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

\*e-mail: [tppgs@kemsu.ru](mailto:tppgs@kemsu.ru)

© Г. В. Гуринович, И. С. Патракова,  
В. А. Хренов, 2022



### Аннотация.

Повысился интерес к процессу сухого созревания мяса в автолизе и его влиянию на основные компоненты сырья. Цель работы – изучение влияния продолжительности сухого созревания на белки высококачественной говядины и их изменение в процессе посола в зависимости от состава посолочной смеси.

В работе исследовали спинно-поясничной отруб высококачественной говядины на 21-ые и 40-ые сутки сухого созревания. Химический состав определяли арбитражными методами, растворимость и продукты окисления белков – калориметрическими методами, гидрофобность миофибриллярных белков – реакцией с бромфеноловым синим, активность каталазы и пероксидазы – стандартными методами. Созревшее сырье подвергали обвалке и посолу с использованием хлорида натрия и комбинированной смеси (70 % хлорида магния:30 % хлорида натрия). Для образцов, выдержанных в посоле, контролировали аналогичные показатели.

Установлено, что растворимость миофибриллярных белков на 21-е сутки созревания увеличивается на 23,95 % относительно исходной, но к 40 суткам уменьшается на 14,1 %. Растворимость саркоплазматических белков снижается непрерывно (22,10 и 31,12 % соответственно). Эти данные согласуются с результатами определения гидрофобности белков. Сухое созревание инициирует окисление белков. Об этом свидетельствуют результаты определения карбонильных и сульфгидрильных групп миофибриллярных белков на 40-ые сутки созревания (27,85 нмоль/л и 27,3 мкмоль/г белка соответственно). Посол сырья хлоридом натрия и комбинированной смесью позволяет повысить экстрагируемость белков на 5,2 и 6,9 % (21-е сутки созревания) и на 6,8 и 10,6 % (40-е сутки созревания), но в то же время инициирует процесс окисления белков.

Результаты исследования позволяют говорить о высокой функциональности мышечных белков высококачественной говядины после 21 суток сухого созревания, а также о целесообразности использования смеси с пониженным содержанием натрия при посоле высококачественной говядины сухого созревания.

**Ключевые слова.** Мясо, сухое созревание, ионная сила, окисление белков, посолочная смесь, мышечные белки, растворимость

**Финансирование.** Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП КемГУ в рамках соглашения № 075-15-2021-694 от 05.08.2021, заключенного между Минобрнауки России и КемГУ (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

**Для цитирования:** Гуринович Г. В., Патракова И. С., Хренов В. А. Влияние продолжительности сухого созревания и состава посолочных веществ на белки высококачественной говядины // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 1. С. 98–107. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-98-107>

## Effect of Dry Maturation Time and the Curing Composition on Proteins in High Quality Beef

Galina V. Gurinovich\*<sup>1</sup>, Irina S. Patrakova<sup>1</sup>, Vladislav A. Khrenov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University<sup>ROR</sup>, Kemerovo, Russia

Received: 17.01.2022

Revised: 07.02.2022

Accepted: 14.02.2022

\*e-mail: [tppgs@kemsu.ru](mailto:tppgs@kemsu.ru)

© G.V. Gurinovich, I.S. Patrakova, V.A. Khrenov, 2022



### Abstract.

Meat quality largely depends on the maturation conditions and natural biochemical processes that affect its taste, aroma, tenderness, and technological properties. Dry maturation and technological processing attract a lot of scientific attention. The research objective was to study the effect of dry maturation time on the physicochemical parameters of high-quality beef, as well as the effect of a new curing mix on the properties of raw materials.

The research featured dorsal-lumbar cuts of high-quality beef on maturation days 21 and 40. Matured meat was tested for the main components, the solubility of sarcoplasmic and myofibrillar proteins, the hydrophobicity of myofibrillar proteins, protein oxidation products, and the activity of catalase and peroxidase. The chemical composition was evaluated depending on the dry maturation time using the arbitration method. The solubility of proteins was determined by the calorimetric method with a biuret reagent. The hydrophobicity of myofibrillar proteins was determined by bromophenol blue reaction, and the activity of catalase and peroxidase was determined by standard methods. Proteins were extracted with potassium phosphate buffer (pH 7.2), while myofibrillar proteins were extracted with Tris-HCl and KCl buffers at pH 7.5 and 7.0.

The meat samples were deboned and salted using sodium chloride and a combined mix of 70% magnesium chloride and 30% sodium chloride. The solubility of myofibrillar proteins on day 21 increased by 23.95% but decreased by 14.1% by day 40. The solubility of sarcoplasmic proteins decreased continuously (22.10 and 31.12%, respectively). The obtained data matched the hydrophobicity of proteins. Dry maturation initiated protein oxidation, as demonstrated by carbonyl and sulfhydryl groups of myofibrillar proteins on maturation day 40 (27.85 nmol/L and 27.3  $\mu$ mol/g of protein, respectively). Sodium chloride and its mix increased the extractability of proteins by 5.2 and 6.9% on day 21 and by 6.8 and 10.6% on day 40 but triggered protein oxidation.

Muscle proteins of high-quality beef proved functional after 21 days of dry maturation. The new mix with reduced sodium content can be recommended for high-quality dry-aged beef production.

**Keywords.** Meet, dry maturation, ionic strength, protein oxidation, curing mixture, muscle proteins, solubility

**Funding.** The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center of KemSU, agreement No. 075-15-2021-694 dated August 5, 2021, between the Minobrnauka and KemSU (contract identifier RF----2296.61321X0032).

**For citation:** Gurinovich GV, Patrakova IS, Khrenov VA. Effect of Dry Maturation Time and the Curing Composition on Proteins in High Quality Beef. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):98–107. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-98-107>

### Введение

Сухое созревание – это процесс, при котором свежее мясо выдерживается без защитной упаковки при температуре охлаждения в течение нескольких недель с целью обеспечения естественных ферментативных и биохимических процессов. Они приводят к повышению нежности и развитию характерного вкуса созревшего сырья. Концентрированию и обогащению вкуса и аромата способствует испарение влаги в процессе сухого созревания [1]. Чтобы выдержка улучшила качество мяса, нужно значительное количество равномерно распределенного внутримышечного жира. Поэтому сухому созреванию подвергают мраморную или высококачественную говядину [2, 3].

Сухое созревание затратный процесс, т. к. требует длительного времени и много места для созревания. Он сопровождается большими потерями массы и образованием значительного количества сухих отходов, называемых в промышленности «коркой». Однако повышенные органолептические характеристики, лучшие, чем у сырья традиционного созревания, приводят к расширению производства сырья премиального качества.

Процесс сухого созревания вызывает большой интерес отечественных и зарубежных ученых. Об этом свидетельствует рост числа исследований, направленных на изучение и оптимизацию условий сухого созревания, их влияния на органолептические

свойства, потери массы, рН, микробиологические и структурно-механические характеристики сырья [4–7].

На формирование качества созревающего сырья оказывают влияние белки мяса. Продукты протеолиза, наряду с продуктами гидролиза и окисления жиров, участвуют в развитии вкусо-ароматических свойств и консистенции мяса [8]. В процессе длительного созревания белки мяса подвергаются окислению. Это ковалентная модификация белка, индуцируемая прямым действием активных форм кислорода или косвенно в результате реакции со вторичными продуктами окислительного стресса. Окисление белков сопровождается их фрагментацией и агрегированием, что влияет на функциональные свойства и качество мяса [9, 10]. Несмотря на большой вклад белков в конечное качество мяса, вопросы изменения их состояния и свойств в процессе сухого созревания изучены недостаточно. Это утверждение также относится к проблеме изменения свойств мяса сухого созревания при различных видах технологической обработки. Выявлены отдельные работы, связанные с замораживанием и тепловой обработкой сырья сухого созревания [11–14]. Среди процессов технологической обработки одним из наиболее распространенных является посол, предназначенный для регулирования функциональных свойств белков. Широкий круг исследований специфики влияния посола на белки и другие компоненты получил новое направление развития, обусловленное поисками альтернативных хлориду натрия посолочных составов для сокращения уровня введения натрия в мясные продукты [15, 16]. Состав и концентрация посолочных веществ определяют ионную силу раствора как фактора, влияющего на гидрофильные свойства и экстрагируемость мышечных белков.

Целью работы стало исследование влияния продолжительности сухого созревания на физико-химические показатели высококачественной говядины от скота черно-пестрой породы, включая показатели окисления и агрегирования белков, и состава посолочных веществ на изменение функциональных свойств белков говядины сухого созревания в процессе посола.

#### **Объекты и методы исследования**

В качестве объекта исследования использовалась высококачественная говядина (образец А), созревание которой выполнялось в костных отрубках сухим способом в камере Dry age. Использовали спинно-поясничный отруб и спинную часть. Условия созревания: температура 0–1 °С ( $\pm 0,5$  °С), относительная влажность воздуха 74–75 % ( $\pm 1$  %), скорость движения воздуха 0,5 м/с. Для исследований использована говядина через 21-е и 40-е сутки созревания.

При подготовке сырья к исследованиям с отрубков после созревания предварительно срезали поверхностную корку, разрезали на части и отделяли мягкие ткани. Полученное мякотное сырье измельчали (16–25 мм) и разделяли на три части. Первую использовали для контроля показателей на 21-е и 40-е сутки созревания (образец В и образец С соответственно). Вторую смешивали с хлоридом натрия (3 % к массе сырья, ионная сила  $I = 0,52$ ; образцы В1 и В2). Третью часть мяса смешивали с комбинированной смесью, включающей хлорид натрия:хлорид магния в соотношении 70:30 (3 % к массе сырья, ионная сила  $I = 0,65$ ; образцы С1 и С2). Продолжительность выдержки сырья в посоле 48 ч при температуре 0–4 °С.

В образцах разных сроков сухого созревания (В и С) определяли физико-химические показатели, включая химический состав, растворимость белков, степень окисления, гидрофобность белков и активность антиокислительных ферментов. В соленом фарше из говядины разного срока созревания и разными посолочными веществами (В1, С1; В2, С2) определяли растворимость белков, степень их окисления и активность антиокислительных ферментов.

*Химический состав высококачественной говядины.* Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля, массовую долю жира – методом Сокслета, массовую долю золы – минерализацией навески, массовую долю влаги – высушиванием до постоянной массы [17].

*Растворимость мышечных белков.* Общую растворимость белков и растворимость саркоплазматических белков (мкг белка/г мяса) устанавливали методом, предложенным Y. J. Li и др. [18]. Растворимость миофибриллярных белков – по разности между ними. В качестве растворителя использовали 0,025М калий-фосфатный буфер (рН 7,2). Экстракцию миофибриллярных белков проводили, используя последовательно буферный раствор на основе Tris-HCl и KCl с рН 7,5 и 7,0. Концентрацию белка определяли с использованием биуретового реактива [18–20].

*Содержание карбонильных групп в миофибриллярных белках* определяли колориметрическим методом с использованием 2,4-динитрофенилгидразина и измерением оптической плотности растворов при длине волны 370 и 280 нм. Содержание карбонильных групп выражали в нмоль/мг белка [21].

*Содержание сульфгидрильных групп в миофибриллярных белках* устанавливали колориметрическим методом измерения величины поглощения света раствором миофибриллярных белков при длине волны 412 нм. Содержание сульфгидрильных групп выражали в мкмоль/г белка [22].

*Гидрофобность поверхности миофибриллярных белков* определяли по методу I. Chelh с соавторами по

величине поглощения света белковым экстрактом при длине волны 595 нм [23]. Гидрофобность поверхности выражали количеством связанного бромфенолового синего, мкг.

*Активность пероксидазы* устанавливали колориметрическим методом, основанным на определении скорости реакции окисления бензидина до образования синей окраски и его окисления в присутствии перекиси и пероксидазы [24].

*Активность каталазы* определяли спектрофотометрическим методом, основанным на определении скорости разложения перекиси водорода каталазой исследуемого образца с образованием воды и кислорода [25].

*Статистическая обработка.* Экспериментальные данные получены по 5 сериям измерений, проверенных на однородность. Повторяемость измерений каждого из показателей внутри серии трехкратная. Обработка данных проводилась стандартными методами математической статистики. Однородность выборочных эффектов проверяли по t-критерию Стьюдента. Различия между средними значениями считались достоверными с доверительной вероятностью  $P \leq 0,05$ . Результаты измерений представлены в виде среднего значения  $\pm$  стандартное отклонение.

### Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлен химический состав высококачественной говядины разного срока сухого созревания. Установлено, что при принятых условиях через 21-е сутки сухого созревания массовая доля влаги в сырье уменьшилась на 5,7 % по сравнению с исходной величиной. В период созревания от 21-х до 40-х суток потеря влаги для мяса снижается. Значение показателя массовой доли влаги уменьшилось за этот период на 4,5 %. О снижении содержания влаги

в говядине сухого возраста сообщали J. Berger с соавторами [4].

Выявлено увеличение массовой доли белка на 2,6 и 11,9 % по отношению к содержанию в исходном сырье. Более выраженные изменения характерны для массовой доли жира, которая через 21-е и 40-е сутки созревания увеличилась на 31,7 и 51,7 % соответственно.

Исследования по изменению содержания белка были дополнены данными по оценке их растворимости и гидрофобных свойств структурных белков. Осажденные или денатурированные саркоплазматические белки могут связываться с миофибриллярными, что приводит к снижению водоудерживающей способности [26–30].

Результаты исследования влияния продолжительности сухого созревания на общую растворимость белков и отдельно по фракциям приведены в таблице 2.

Характер изменения растворимости мышечных белков зависит от продолжительности сухого созревания. Количество мышечных белков, извлекаемых из сырья через 21-е сутки созревания, увеличилось на 5,91 %, из сырья через 40 суток созревания оставалось практически таким же, что и для исходного. Экспериментальные данные свидетельствуют о неоднозначном вкладе отдельных фракций белков в растворимость. Растворимость саркоплазматических белков сырья в каждом из исследуемых периодов созревания остается ниже, чем в исходном сырье, и имеет тенденцию к снижению с увеличением продолжительности созревания. Полученные результаты могут быть объяснены потерей влаги и увеличением количества сухих веществ, в том числе солей, которые снижают гидрофильные свойства белков.

Растворимость миофибриллярных белков через 21-е сутки созревания увеличивается на 23,95 % относительно значения для исходного сырья и остается выше него на 14,06 %. То есть сухое созревание сопровождается увеличением растворимости миофибриллярных белков, но по мере увеличения продолжительности выдержки количество извлекаемого белка уменьшается. Снижение растворимости миофибриллярных белков при длительном сухом созревании может быть объяснено ослаблением внутримолекулярных связей. Это приводит к частичной денатурации и разворачиванию белковой молекулы, а также к увеличению числа гидрофобных групп [31].

Это согласуется с результатами определения гидрофобности миофибриллярных белков, которая характеризует относительное содержание гидрофобных аминокислот на поверхности белковых молекул и указывает на степень денатурации белка [32]. Установлено увеличение связывания бромфенолового синего сырьем с 24,0 мкг при

Таблица 1. Химический состав высококачественной говядины сухого созревания

Table 1. Chemical composition of high-quality dry-maturation beef

| Показатель, %       | Исходное сырье | После 21 суток созревания | После 40 суток созревания | SD $\pm$ |
|---------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| Массовая доля влаги | 71,24          | 67,18                     | 64,15                     | 0,54     |
| Массовая доля белка | 18,63          | 19,12                     | 20,84                     | 0,31     |
| Массовая доля жира  | 9,01           | 11,96                     | 13,67                     | 0,67     |
| Массовая доля золы  | 1,14           | 1,43                      | 1,56                      | 0,24     |

Таблица 2. Влияние продолжительности сухого созревания и состава посолочной смеси на растворимость мышечных белков высококачественной говядины

Table 2. Effect of dry maturation time and the composition of the curing mix on the solubility of muscle proteins

| Образец       | Растворимость белков, мг/г |                     |                 | Гидрофобность поверхности миофибриллярных белков, мкг |
|---------------|----------------------------|---------------------|-----------------|---|
|               | Общая                      | Саркоплазматических | Миофибриллярных |   |
| A             | 169,03                     | 59,71               | 109,32          | 12,7  |
| B – 21 сутки  | 179,02                     | 46,51               | 132,51          | 24,0  |
| B1 (I = 0,52) | 188,39                     | 40,26               | 148,13          | 23,6  |
| B2 (I = 0,65) | 191,54                     | 38,91               | 152,63          | 22,1  |
| C – 40 суток  | 168,81                     | 41,12               | 124,69          | 38,5  |
| C1 (I = 0,52) | 180,29                     | 36,57               | 143,72          | 36,9  |
| C2 (I = 0,65) | 186,73                     | 34,64               | 152,09          | 35,4  |
| SME ±         | 2,56                       | 1,89                | 2,34            | 4,5   |

сухом созревании в течение 21-х суток до 38,5 мкг в течение 40-ка суток. Повышенная гидрофобность поверхности предполагает, что белки мяса являются более уязвимыми к денатурации при последующей обработке или хранении из-за изменений во вторичных и третичных структурах.

Результаты изучения количества и состояния белков позволяют говорить о большей функциональности белков высокосортной говядины через 21-е сутки сухого созревания, чем через 40 суток или у исходного образца.

Посол говядины сухого созревания в течение 48 ч оказал положительное влияние на гидрофильные свойства белков мяса. При посоле фарша из говядины со сроком созревания 21 сутки хлоридом натрия (ионная сила 0,52 моль/л) наблюдалось повышение общей растворимости мышечных и миофибриллярных белков на 5,2 и 11,8 % соответственно. На фоне увеличения ионной силы отмечалось снижение растворимости саркоплазматических белков.

Замена 30 % хлорида натрия на хлорид магния привела к повышению ионной силы полученной посолочной смеси до 0,65 моль/л. Это способствовало повышению растворимости мышечных белков в целом и миофибриллярных в частности, по сравнению с показателями, установленными как для сырья, взятого для посола, так и фарша, посоленного хлоридом натрия.

Аналогичные зависимости получены в эксперименте с говядиной после 40-ка суток созревания.

Окисление белков – это цепная реакция свободных радикалов, которая похожа на окисление липидов. Полипептидный каркас и боковые цепи аминокислот уязвимы для окислительной атаки и образования карбонильных групп белка. Образование карбонильных групп белков в результате разрыва боковой цепи аминокислот происходит по трем направлениям: каталитическое окисление металлов, гликирование и комплексообразование других веществ с белком [33].

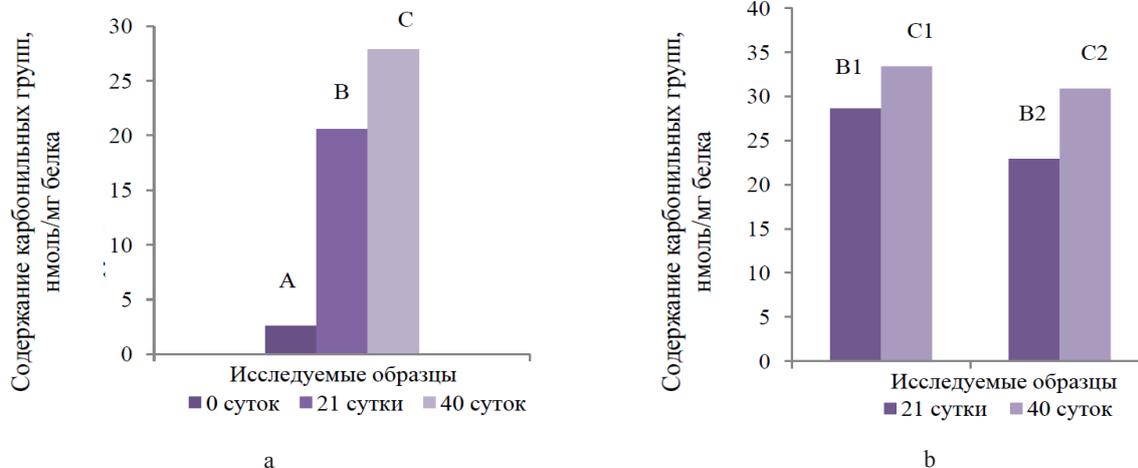


Рисунок 1. Влияние продолжительности сухого созревания высококачественной говядины (a) и состава посолочной смеси для ее посола (b) на содержание карбонильных групп

Figure 1. Effect of dry maturation time of high-quality beef (a) and curing mix (b) on carbonyl groups

Изменение содержания карбонильных групп в миофибриллярных белках высококачественной говядины в процессе сухого созревания представлено на рисунке 1.

Установлена прямая зависимость между длительностью сухого созревания и содержанием карбонильных групп миофибриллярных белков: для сырья после 21-х и 40-х суток созревания она составила 20,59 нмоль/л, на 40 сутки – 27,85 нмоль/л, увеличилась за этот период на 35,2 %.

Хлорид натрия способствует снижению устойчивости миофибриллярных белков к гидроксильным радикалам и другим проокислительным факторам. Например, метмиоглобином, который образуется в процессе посола [34, 35]. С этим согласуются полученные данные определяемого количества карбонильных групп. Для соленого фарша из говядины со сроком сухого созревания 21 и 40 суток (образец В1 и В2) установлено увеличение определяемого количества карбонильных групп на 39,1 и 19,9 %.

Использование при посоле смеси с пониженным содержанием натрия (ионная сила 0,65 моль/л) привело к стабилизации миофибриллярных белков и повышению их устойчивости к окислению. Содержание карбонильных групп в образцах с этой смесью составило 22,91 (образец В2) и 30,87 нмоль/г белка (образец С2), что на 20,0 и 8,0 % меньше, чем в соответствующих образцах с хлоридом натрия (ионная сила 0,52 моль/л).

Полученные результаты свидетельствуют о большей интенсивности процесса окисления белков высококачественной говядины на начальных стадиях сухого созревания. С увеличением срока выдержки она снижается. Посол предпочтительно осуществлять

посолочной смесью с частичной заменой натрия на магний.

Количество сульфгидрильных групп является еще одним показателем, который применяется для оценки степени окисления белков мяса, поскольку остатки цистеина характеризуются высокой восприимчивостью к окислению и образованию межмолекулярных дисульфидных мостиков [36].

Изменение содержания сульфгидрильных групп миофибриллярных белков в высококачественной говядине разных сроков созревания, а также в фаршах с различными компонентами, использованными для посола, показано на рисунке 2. С увеличением степени окисления белков количество сульфгидрильных групп снижается. Установлено, что содержание сульфгидрильных групп миофибриллярных белков снижалось с увеличением продолжительности сухого созревания. Через 21-е сутки сухого созревания оно составило 33,16 мкмоль/г белка, на 40-е – 27,3 мкмоль/г белка. Снижение количества сульфгидрилов в процессе сухого созревания может быть объяснено изменением пространственной конформации белка. В результате этого сульфгидрильные группы, находящиеся внутри белковой молекулы, становятся доступны окислительным радикалам и окисляются, поскольку являются наиболее реактивными функциональными группами миофибриллярных белков.

Посол сырья смесями разной ионной силы оказал влияние на стабильность дисульфидных связей белковых молекул. В образцах фарша из говядины со сроком сухой выдержки 21 и 40 суток, посоленных хлоридом натрия (ионная сила 0,52 моль/л), количество сульфгидрильных групп снизилось с 25,13 до 21,76 мкмоль/г белка. Эти значения оказались на 9,4

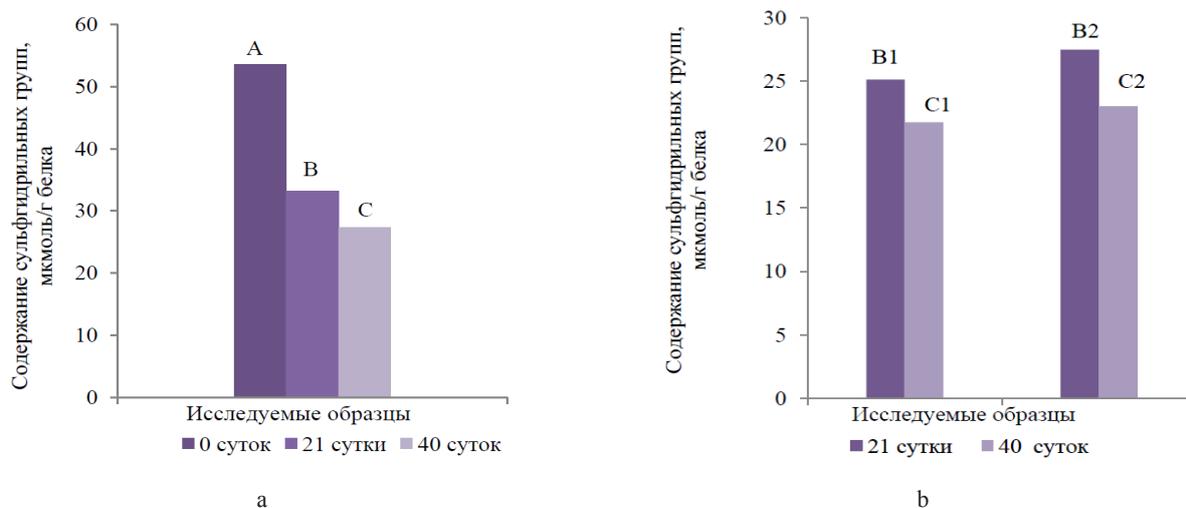


Рисунок 2. Влияние продолжительности сухого созревания высококачественной говядины (а) и состава посолочной смеси для ее посола (б) на содержание сульфидгидрильных групп

Figure 2. Effect of dry maturation time of high-quality beef (a) and curing mix (b) on sulfidehydrl groups

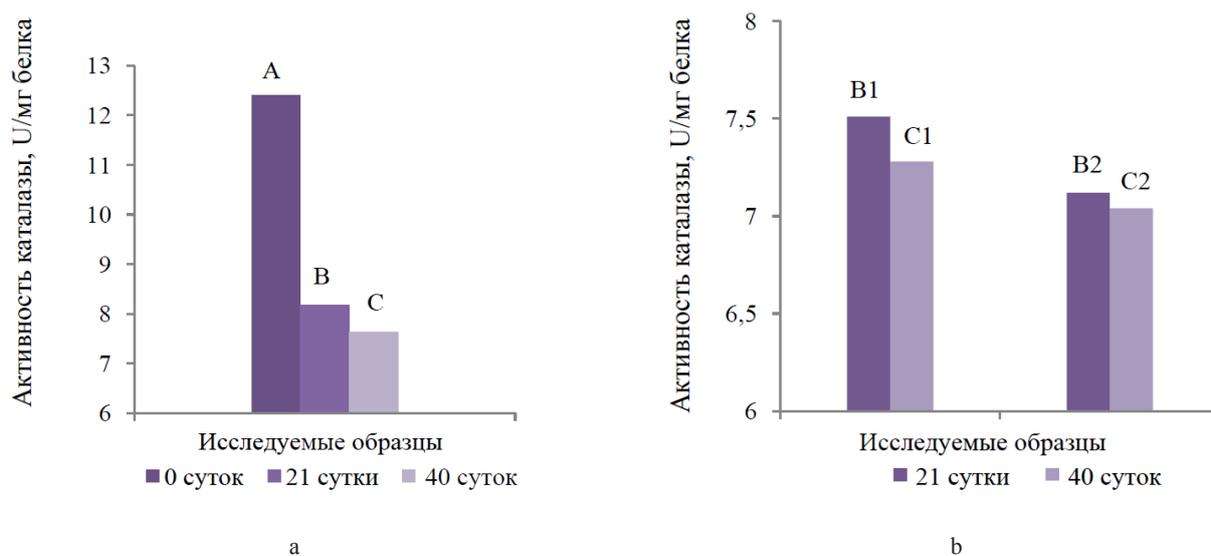


Рисунок 3. Влияние продолжительности сухого созревания высококачественной говядины (а) и состава посолочной смеси (б) на активность каталазы

Figure 3. Effect of dry maturation time of high-quality beef (a) and curing mix (b) on catalase activity

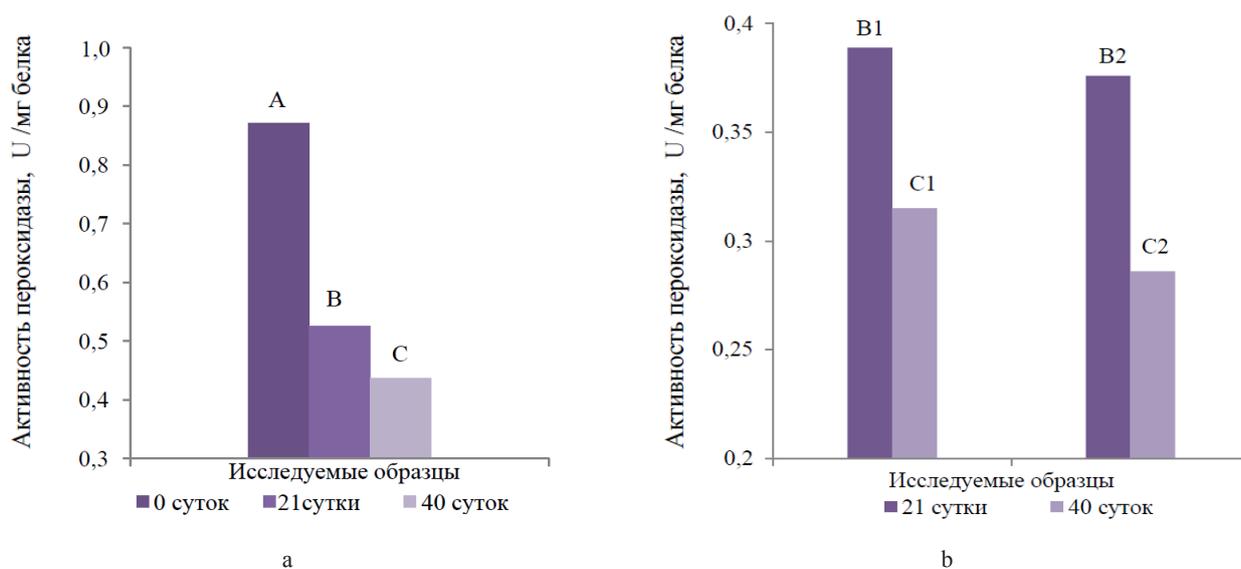


Рисунок 4. Влияние продолжительности сухого созревания высококачественной говядины (а) и состава посолочной смеси (б) на активность пероксидазы

Figure 4. Effect of dry maturation time of high-quality beef (a) and curing mix (b) on peroxidase activity

и 5,8 % ниже, чем в образцах, посоленных смесью с частичной заменой натрия на магний (ионная сила 0,65 моль/л). Это привело к снижению степени деформации миофибриллярных белков.

Полученные результаты согласуются с имеющимися литературными данными [37–39].

Среди саркоплазматических белков особый интерес представляют белки, проявляющие ферментативную активность, а именно эндогенные антиоксидантные ферменты, такие как каталаза и пероксидаза.

Они могут ингибировать развитие окислительной порчи в мясном сырье, а их антиоксидантная активность зависит от используемых технологических добавок, в частности хлорида натрия [40].

Изменение активности антиоксидантных ферментов высококачественной говядины в процессе сухого созревания, а также соленого фарша на ее основе с использованием посолочных веществ, различных по составу, представлено на рисунках 3 и 4.

Полученные результаты свидетельствуют о том,

что процесс созревания сопровождается снижением активности каталазы и пероксидазы. Это результат высаливания саркоплазматических белков в условиях снижения свободной влаги в мясе и увеличения содержания сухих веществ. Посол сырья хлоридом натрия привел к снижению активности как каталазы, так и пероксидазы. Повышение ионной силы до 0,65 моль/л в результате частичной замены хлорида натрия на хлорид магния еще больше снизило активность ферментов.

### Выводы

Продолжительность сухого созревания оказывает влияние на химический состав. Это выражается в снижении массовой доли влаги, увеличении массовой доли жира и массовой доли белка, что может быть связано с процессом протеолиза. Растворимость миофибриллярных белков через 21-е сутки созревания увеличивается, что способствует повышению общего количества извлекаемых белков. Степень окисления белков оказалась выше в говядине со сроком созревания 21 сутки. Затем процесс стабилизировался и даже замедлился, о чем свидетельствует меньшее содержание карбонильных групп в говядине со сроком созревания 40 суток. Совокупность экспериментальных данных позволяет говорить о том, что денатурация, гидролиз и агрегирование белков высококачественной говядины в процессе сухого созревания развиваются с разной скоростью. Однако этот способ созревания способствует повышению

функциональных свойств белков через 21-е сутки выдержки.

Посол улучшает функциональные свойства белков говядины со сроком сухого созревания 21 и 40 суток. Большая эффективность выявлена при использовании посолочной смеси, в которой 30 % хлорида натрия было заменено на хлорид магния.

### Критерии авторства

Г. В. Гуринович руководила проектом (0,4). В проведении исследований, обработке данных, написании и корректировке статьи принимали участие все авторы в долях И. С. Патракова – 0,4, В. А. Хренов – 0,2.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Contribution

G.V. Gurinovich supervised the project (40%). All the authors participated in the research, data processing, writing, and proofreading: I.S. Patrakov – 40%, V.A. Khrenov – 20%.

### Conflict of interest

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

### References/Список литературы

1. Lee HJ, Yoon JW, Kim M, Oh H, Yoon Y, Jo C. Changes in microbial composition on the crust by different air flow velocities and their effect on sensory properties of dry-aged beef. *Meat Science*. 2019;153:152–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.019>
2. Kim J-H, Kim T-K, Shin D-M, Kim H-W, Kim Y-B, Choi Y-S. Comparative effects of dry-aging and wet-aging on physicochemical properties and digestibility of Hanwoo beef. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2020;33(3):501–505. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0031>
3. Kozyrev IV, Mittelshtein TM, Pchelkina VA, Kuznetsova TG, Lisitsyn AB. Marbled beef quality grades under various ageing conditions. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(2):429–437. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-429-437>
4. Berger J, Kim YHB, Legako JF, Martini S, Lee J, Ebner P, *et al.* Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Science*. 2018;145:285–291. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.004>
5. Kim M, Choe J, Lee HJ, Yoon Y, Yoon S, Jo C. Effects of aging and aging method on physicochemical and sensory traits of different beef cuts. *Food Science of Animal Resources*. 2019;39(1):54–64. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e3>
6. Hulánková R, Kameník J, Saláková A, Závodský D, Borilova G. The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;89:559–565. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.014>
7. Kim YHB, Kemp R, Samuelsson LM. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*. 2016;111:168–176. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.09.008>
8. Kudryashov LS. Meat: maturation and salting. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 1992. 206 p. (In Russ.).  
Кудряшов Л. С. Созревание и посол мяса. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1992. 206 с.
9. Domínguez R, Pateiro M, Munekata PES, Zhang W, Garcia-Oliveira P, Carpena M, *et al.* Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review. *Antioxidants*. 2022;11(1). <https://doi.org/10.3390/antiox11010060>

10. 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>
11. Kim YHB, Meyers B, Kim H-W, Liceaga AM, Lemenager RP. Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins. *Meat Science*. 2017;123:57–63. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.002>
12. da Silva Bernardo AP, da Silva ACM, Francisco VC, Ribeiro FA, Nassu RT, Calkins CR, et al. Effects of freezing and thawing on microbiological and physical-chemical properties of dry-aged beef. *Meat Science*. 2020;161. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108003>
13. Álvarez S, Álvarez C, Hamill R, Mullen AM, O'Neill E. Drying dynamics of meat highlighting areas of relevance to dry-aging of beef. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021;20(6):5370–5392. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12845>
14. Kim J-H, Lee H-J, Shin D-M, Kim T-K, Kim Y-B, Choi Y-S. The dry-aging and heating effects on protein characteristics of beef *Longissimus dorsi*. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 2018;38(5):1101–1108. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e43>
15. Zheng J, Han Y, Ge G, Zhao M, Sun W. Partial substitution of NaCl with chloride salt mixtures: Impact on oxidative characteristics of meat myofibrillar protein and their rheological properties. *Food Hydrocolloids*. 2019;96:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.003>
16. Taylor C, Doyle M, Webb D. “The safety of sodium reduction in the food supply: A cross-discipline balancing act” – Workshop proceedings. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018;58(10):1650–1659. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1276431>
17. Antipova LV, Glotova IA, Rogov IA. Research methods for meat and meat products. Moscow: KolosS; 2001. 376 p. (In Russ.).  
Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. М.: КолосС, 2001. 376 с.
18. Li YJ, Li JL, Zhang L, Gao F, Zhou GH. Effects of dietary starch types on growth performance, meat quality and myofibre type of finishing pigs. *Meat Science*. 2017;131:60–67. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.237>
19. Feng Y-H, Zhang S-S, Sun B-Z, Xie P, Wen K-X, Xu C-C. Changes in physical meat traits, protein solubility, and the microstructure of different beef muscles during post-mortem aging. *Foods*. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060806>
20. Xia T, Cao Y, Chen X, Zhang Y, Xue X, Han M, et al. Effects of chicken myofibrillar protein concentration on protein oxidation and water holding capacity of its heat-induced gels. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2018;12(4):2302–2312. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9847-8>
21. Pérez-Juan M, Flores M, Toldrá F. Effect of ionic strength of different salts on the binding of volatile compounds to porcine soluble protein extracts in model systems. *Food Research International*. 2007;40(6):687–693. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.11.013>
22. Ma J, Wang X, Li Q, Zhang L, Wang Z, Han L, et al. Oxidation of myofibrillar protein and crosslinking behavior during processing of traditional air-dried yak (*Bos grunniens*) meat in relation to digestibility. *LWT*. 2021;142. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110984>
23. Chelch I, Gatellier, Santé-Lhoutellier V. Technical note: A simplified procedure for myofibril hydrophobicity determination. *Meat Science*. 2006;74(4):681–683. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.05.019>
24. Timofeyev MA, Shatilina ZM, Protopopova MV, Bedulina DS, Pavlichenko VV, Kolesnichenko AV, et al. Thermal stress defense in freshwater amphipods from contrasting habitats with emphasis on small heat shock proteins (sHSPs). *Journal of Thermal Biology*. 2009;34(6):281–285. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.008>
25. Terevinto A, Cabrera MC, Saadoun A. Influence of feeding system on lipids and proteins oxidation, and antioxidant enzymes activities of meat from Aberdeen Angus steers. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2015;3(9):581–586.
26. Zeng Z, Li C, Ertbjerg P. Relationship between proteolysis and water-holding of myofibrils. *Meat Science*. 2017;131:48–55. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.232>
27. Santos MD, Delgadillo I, Saraiva JA. Extended preservation of raw beef and pork meat by hyperbaric storage at room temperature. *International Journal of Food Science and Technology*. 2020;55(3):1171–1179. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14540>
28. Chernukha IM, Kovalev LI, Mashentseva NG, Kovaleva MA, Vostrikova NL. Detection of protein aggregation markers in raw meat and finished products. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):118–123. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-118-123>
29. Feng Y-H, Zhang S-S, Sun B-Z, Xie P, Wen K-X, Xu C-C. Changes in physical meat traits, protein solubility, and the microstructure of different beef muscles during post-mortem aging. *Foods*. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060806>
30. Liu J, Arner A, Puolanne E, Ertbjerg P. On the water-holding of myofibrils: Effect of sarcoplasmic protein denaturation. *Meat Science*. 2016;119:32–40. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.020>

31. Zhang W, Xiao S, Ahn DU. Protein oxidation: Basic principles and implications for meat quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013;53(11):1191–1201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.577540>
32. Zecca E. Investigating the role of surface hydrophobicity in protein aggregation. PhD diss. Storrs: University of Connecticut; 2017. 1488 p.
33. Hellwig M. The chemistry of protein oxidation in food. *Angewandte Chemie – International Edition*. 2019;58(47):16742–16763. <https://doi.org/10.1002/anie.201814144>
34. Pateiro M, Munekata PE, Cittadini A, Domínguez R, Lorenzo JM. Metallic-based salt substitutes to reduce sodium content in meat products. *Current Opinion in Food Science*. 2021;38:21–31. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.029>
35. Cittadini A, Domínguez R, Gómez B, Pateiro M, Pérez-Santaescolástica C, López-Fernández O, *et al.* Effect of NaCl replacement by other chloride salts on physicochemical parameters, proteolysis and lipolysis of dry-cured foal “cecina”. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57:1628–1635. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04195-6>
36. Han Z, Cai M-J, Cheng J-H, Sun D-W. Effects of microwave and water bath heating on the interactions between myofibrillar protein from beef and ketone flavour compounds. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019;54(5):1787–1793. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14079>
37. Hellwig M. Analysis of protein oxidation in food and feed products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(46):12870–12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711>
38. Zhang YM, Ertbjerg P. Effects of frozen-then-chilled storage on proteolytic enzyme activity and water-holding capacity of pork loin. *Meat Science*. 2018;145:375–382. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.017>
39. Guan F, Chen Y, Zhao S, Chen Z, Yu C, Yuan Y. Effect of slurry ice during storage on myofibrillar protein of *Pseudosciaena crocea*. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(7):3806–3814. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2355>
40. Gurinovich GV, Patrakova IS, Seregin SA, Gargaeva AG, Alekseevnina OYa, Myshalova OM, *et al.* Biological value of semi-smoked sausages with cedar oil cake. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(1):30–39. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-30-39>