УДК/UDC 637.5'62.05:637.5.032 DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-13-26

Оригинальная научная статья

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ МРАМОРНОСТИ ГОВЯДИНЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ

Козырев И.В.,* Миттельштейн Т.М., Кузнецова Т.Г., Пчелкина В.А., Спиридонов К.И., Лисицын А.Б.

Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
говядина, степень мраморности, созревание, органолептические, микроструктурные показатели, усилие резания

В эксперименте использовали образцы говядины степеней мраморности «умеренная» и «хорошая» (n=4), половину образцов упаковывали в полимерную пленку под вакуумом, половину оставляли в неупакованном виде. Созревание проводили в камере хранения охлажденного мяса при температуре 2±1 °С и относительной влажности не более 90% в течение 4, 16 и 28 суток. В процессе созревания говядины исследовали величину pH, органолептические показатели уровня качества и свежести, микроструктурные характеристики, усилие резания. По органолептическим показателям свежести вне зависимости от степени мраморности на 28 сутки говядина в неупакованном виде имела признаки несвежего мяса, в упакованных образцах отклонений не установлено. Органолептическая оценка уровня качества свидетельствовала о высоких показателях вареного мяса и бульона в течение всего времени созревания для упакованного мяса и в течение 16 суток для неупакованного вне зависимости от уровня мраморности. В результате гистологических исследований установлено, что с увеличением срока созревания говядины усиливался характер деструктивных изменений тканей. Образцы упакованной говядины, как с мраморностью «хорошая», так и «умеренная», на 16 и 28 сутки соответствовали второму и третьему этапу созревания мяса, изменения неупакованной говядины на соответствующие сутки созревания были менее выражены. Результаты исследования усилия резания свидетельствовали о том, что в течение всего наблюдаемого периода созревания происходило постепенное снижение усилия резания.

Original scientific paper

INFLUENCE OF BEEF MARBLING SCORE ON QUALITY INDICATORS DURING MEAT AGING

Il`ya V. Kozyrev,* Tat`yana M. Mittelshtein, Tat`yana G. Kuznetsova, Viktoriya A. Pchelkina, Kiril I. Spiridonov, Andrey B. Lisitsyn

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
beef, marbling score, aging, sensory indicators, microstructural indicators, shear force

In the experiment, beef samples were used with the marbling scores «moderate» and «good» (n=4). Half of the samples were packaged in a plastic film under vacuum, while the rest ones were left unpackaged. Aging was carried out for 4, 16, and 28 days in a storage chamber at a temperature of 2±1 °C and a relative humidity of not more than 90%. During beef aging, pH, sensory indicators of quality and freshness, microstructural indicators, and shear force were evaluated. Regardless of the marbling score, on day 28, sensory indicators of unpackaged beef had the signs of non-fresh meat, while the packaged samples had no deviations. Regardless of the marbling score, sensory evaluation indicated the high quality of boiled meat and broth during the entire aging period for packaged beef and during 16 days for unpackaged beef. Histological studies found that with the increase in beef aging period, the destructive changes in tissues increased as well. On days 16 and 28, samples of packaged beef, both with marbling score «good» and «moderate», corresponded to the second and third stage of meat aging. Changes in unpackaged beef at the corresponding days of aging were less pronounced. The results of a shear force study indicated that, during the entire observed aging period, a gradual decrease in shear force occurred.

1. Введение

Благодаря развитию производства говядины в России в последние годы развивается также культура потребления мяса. Одним из немаловажных процессов, получивших распространение в нашей стране, является длительное созревание говядины. Благодаря длительному созреванию можно получить высококачественный продукт, обладающий отличными органолептическими характеристиками и вкусовыми свойствами. Так как длительное созревание — процесс, требующий больших затрат энергии и строгого соблюдения всех режимов, обычно созреванию подвергают сырьё высшей ценовой категории, в частности, высококачественную мраморную говядину [1,2].

Получение такой говядины возможно только от специализированных мясных пород крупного рогатого скота: преимущественно абердин-ангусской, герефордской, вагу (наиболее распространена в Японии, но выращивается и в других странах) и других. Это связано с тем, что мраморность обусловлена, прежде всего, генетической предрасположенностью — с ней связан целый ряд генов, но наиболее желательным для появления мраморности является генотип GG гена GH. Для получения высококачественной говядины используют бычков и телок в возрасте от 8 месяцев до двух лет, бычков-кастратов в возрасте от 8 до 30 месяцев [3].

Также для получения говядины с высоким уровнем мраморности даже от генетически предрасположенных к этому пород необходим заключительный высокоэнергетический (зерновой) откорм в течение не менее 100 дней. Рационы откорма могут быть различными в зависимости от региона, могут быть использованы кукуруза, овёс, ячмень и другие зерновые культуры.

Общепринятой мировой практикой является высокая культура производства высококачественной говядины и внедрение системы прослеживаемости «от поля до при-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Козырев И.В., Миттельштейн Т.М., Кузнецова Т.Г., Пчелкина В.А., Спиридонов К.И., Лисицын А.Б. Влияние степени мраморности говядины на показатели качества в процессе созревания. *Пищевые системы.* 2018;1(3): 13–26. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-13-26

FOR CITATION: Kozyrev I.V., Mittelshtein T.M., Kuznetsova T.G., Pchelkina V.A., Spiridonov K.I., Lisitsyn A.B. Influence of beef marbling score on quality indicators during meat aging. *Food systems.* 2018; 1(3): 13–26. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-13-26

лавка» — начиная с подбора животных и прижизненной оценки их продуктивности и заканчивая упакованной продукцией.

Созревание мяса — важный процесс в подготовке мяса для кулинарного использования, который происходит при выдержке туш (полутуш, четвертин, отрубов) после убоя животных с соблюдением определенных условий. В результате созревания усиливаются нежность, сочность, специфический приятный вкус и аромат мяса.

Созревание мяса представляет собой начальную стадию автолиза, т.е. обусловливается деятельностью ферментов самого мяса. При этом важно не допускать развития нежелательной микрофлоры, ферменты которой также могут вызывать лизис клеточных структур животных тканей и распад пищевых веществ.

Сразу после убоя мясо находится в парном состоянии, которое по мере снижения температуры мышц переходит в посмертное окоченение. Развитие состояния посмертного окоченения сменяется его разрешением и началом созревания мяса.

При созревании происходят сложные биохимические процессы, приводящие к изменению физико-химических, структурно-механических и органолептических характеристик мяса [4,5,6].

Парным считается мясо, полученное непосредственно после убоя, имеющее температуру не ниже 35 °C в любой точке измерения. Парное мясо характеризуется мягкой консистенцией мышц. Его способность удерживать содержащуюся в нем влагу максимально высока. Аромат и вкус выражены слабо. Величина pH парного мяса составляет 6,8–7,3.

Посмертное окоченение в говядине (для мяса в полутушах) начинается примерно через 3 часа после убоя. Развитие посмертного окоченения при температуре 0–4 °C достигает своего максимума к 24 часам с момента убоя. Мясо в состоянии посмертного окоченения характеризуется повышенной жесткостью, минимальной способностью удерживать влагу, и наиболее низкими значениями pH (для говядины, как правило, pH снижается до 5,5), что ухудшает его органолептические характеристики.

Примерно через 48 часов после убоя посмертное окоченение переходит в стадию разрешения. При нормальном течении автолиза pH незначительно увеличивается, влагоудерживающая способность возрастает. Вместе с этим начинается процесс созревания и улучшения органолептических свойств мяса, в том числе, консистенции, вкуса и аромата.

Скорость созревания мяса зависит как от анатомического происхождения, типа мышцы, количества молочной кислоты и гликогена так и от внешних факторов, главными из которых является температура окружающей среды, условия тепло- и массопереноса.

Говядина (в полутушах) считается созревшей не менее, чем через 5–7 суток ее хранения при температуре 0–4 °C. К этому моменту развитие автолиза приводит к значимым положительным изменениям качества мяса — наблюдается заметное снижение жесткости, улучшение аромата и вкуса. Однако созревание мяса может продолжаться достаточно долго в зависимости от желаемой степени выраженности органолептических характеристик. Так, например, ряд исследований, показали, что созревание говядины целесообразно до 10–14 суток, при этом дальнейшего улучшения органолептических характеристик не отмечалось. Более поздние исследования показали результаты, позволявшие рекомендовать срок созревания говядины до 25–30 суток и более.

Важно понимать, что результат органолептических изменений, происходящих в мясе при созревании, зависит не только от длительности самого созревания, но и от характера протекания автолиза. Наилучший результат созревания достижим только для говядины, полученной от животных, содержавшихся в надлежащих условиях, при правильном и гуманном обращении с ними до момента убоя. При отклонении от надлежащих производственных практик, биохимические изменения, проходящие в мясе при автолизе, могут существенно отличаться, как по времени и по характеру их протекания, так и по конечному результату, приводящему к неудовлетворенности потребителя.

В промышленных условиях созревание мяса (в полутушах) проводят при температуре 0–4 °C и относительной влажности воздуха 85 % не менее чем в течение 3 суток. Затем его направляют на реализацию или выработку мясной продукции. В этих условиях потери массы полутуш минимальны и составляют не более 3 % от массы парной туши.

В зарубежной практике для получения говядины с отличительными органолептическими свойствами применяют следующие способы ее длительного созревания:

- dry-ageing («сухое созревание») — в полутушах, четвертинах и отрубах на кости в неупакованном виде, подвесом или на стеллажах (полках) при температуре 0–4 °C и относительной влажности воздуха не выше 75 %;
- wet-ageing («влажное созревание») — в отрубах на кости и бескостных, в упакованном виде (с применением непроницаемых пленочных материалов, под вакуумом) при температуре 0–4 °C, относительная влажность воздуха принципиального значения не имеет, так как контакт воздуха с продуктом исключен, упакованное мясо раскладывают в один ряд на полках или стеллажах.

Созревание говядины возможно проводить в течение длительного времени при условии исключения опасностей, связанных с рисками микробиологического характера: для первого способа — за счет ограничения влажности и образования подсохшего поверхностного слоя мяса значительной толщины; для второго способа — за счет упаковки, препятствующей развитию аэробной микрофлоры. Как правило, созревание мяса проводится в производственных условиях в холодильных камерах. К концу срока созревания мясо отправляют в торговую сеть, где оно продолжает храниться при аналогичных условиях.

Хотя в литературных данных имеются зарубежные публикации о качестве мяса длительного созревания, однако они немногочисленны и относятся к мясу, полученному от определенных пород крупного рогатого скота и условиям их выращивания и убоя в других странах. В связи с этим, исследование качества российского мяса длительного созревания представляло научный и практический интерес.

В задачи исследования входило:

- на основании комплексных исследований сделать вывод о потребительских свойствах говядины разной степени мраморности;
- изучить изменение органолептических, структурно-механических и гистологических свойств говядины разной степени мраморности в процессе созревания;
- определить оптимальный срок созревания говядины разной степени мраморности в упакованном и неупакованном виде.

2. Материалы и методы

Эксперимент по созреванию проводили на спинном отрубе говядины на кости (n=4), полученных при разделке туш крупного рогатого скота — кастратов абердино-ангусской породы (black angus) в возрасте 18 месяцев, получавших в течение 200 дней зерновой откорм. Убой и первичную переработку туш осуществляли в условиях ООО «Брянская мясная компания» (АПХ «Мираторг»), Брянская область. Отрубы выделяли через 48 часов после убоя. Созревание говядины проводили в упакованном и неупакованном виде в камере хранения охлажденной продукции при температуре 2±1 °C и относительной влажности не более 90% в течение 28 суток.

Степень мраморности определяли визуально по ГОСТ 33818–2016 «Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия».

Измерение величины pH осуществляли потенциометрическим методом с использованием портативного pH-метра «Testo 205». При проведении измерений электрод погружали в толщу мышечной ткани на глубину не менее 3 см. За окончательный результат принимали среднее арифметическое значение трех единичных измерений, расхождение между предельными значениями трех результатов измерений не превышало 0,15 единиц pH.

Определение структурно-механических характеристик мышечной ткани осуществляли с помощью испытательной машины «Shimadzu» серии AGS-X, предназначенной для измерения сдвиговых, поверхностных и компрессионных характеристик. Все измерения проводились с четырехкратной повторностью. За окончательный результат принималось среднее арифметическое значение при уровне доверительной вероятности $P \geq 0,95$.

Исследование микроструктуры образцов проводили по ГОСТ 19496–2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования». Для исследования от каждого образца отбирали кусочек размером 2х1,5х0,5 см. Кусочки помещали в 10%-й водный раствор формалина на 72 часа при комнатной температуре. Затем промывали под холодной проточной водой в течение 12 часов. Промытый материал клали в формы, заливали 25%-м желатином и помещали в термостат при температуре 35 °C на 12 часов для пропитки.

Полученный кусочек помещали в замораживающую камеру микротом-криостатата «MIKROM–HM525» (Carl Zeiss, Германия) на предметном столике. Замораживали при температуре минус 20 °C в течение 15–20 мин и изготавливали срезы толщиной 20 мкм.

Окрашивали срезы гематоксилином Эрлиха и докрашивали 1%-м свежеприготовленным водно-спиртовым раствором эозина, затем заключали под покровные стекла в глицерин-желатин.

Изучение гистологических препаратов и их фотографирование осуществляли на световом микроскопе «AxioImaiger A1» (Carl Zeiss, Германия) с помощью подключенной видеокамеры «AxioCam MRc 5». Обработку изображений производили с применением компьютерной системы анализа изображений «AxioVision 4.7.1.0», адаптированной для гистологических исследований.

Органолептические исследования и определение уровня качества образцов после варки оценивали по 9-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 9959–2015, исследования свежести говядины проводили по ГОСТ 7269–2015.

3. Результаты и обсуждение

В результате оценки мраморности установлено, что образцы характеризовались степенями мраморности «умеренная» и «хорошая» (Табл. 1). Неупакованные образцы обозначали как 1–1 (мраморность «хорошая») и 2–1 (мраморность «умеренная»), упакованные под вакуумом в полимерную пленку — как 1–2 (мраморность «хорошая») и 2–2 (мраморность «умеренная»).

На протяжении всего времени созревания величина pH говядины оставалась стабильной (Табл. 2). Это объяснялось тем, что существенные изменения pH наблюдаются в говядине в первые 4 суток после убоя. Затем в процессе дальнейшего хранения мяса величина pH остается стабильной, может наблюдаться медленный рост в результате гнилостной порчи и накопления продуктов распада белков, имеющих щелочную реакцию. Стабильность pH в процессе проведения исследований свидетельствовала о нормальном развитии процесса созревания мяса. Стабильность величины pH в процессе созревания отмечается и в работах других исследователей, например, Hulankova и др. [4]

Таблица 2

Величина pH образцов в процессе созревания

Срок созревания, сутки	Образцы			
	1–1	1–2	2–1	2–2
4	5,50	5,52	5,91	5,90
16	5,61	5,60	5,90	5,87
28	5,61	5,61	5,90	5,85

По органолептическим показателям свежести (внешний вид и цвет поверхности, состояние мышц на разрезе, консистенция, запах, состояние жира, прозрачность и аромат бульона) говядина разной степени мраморности в упакованном и неупакованном виде преимущественно соответствовала свежему мясу. Однако вне зависимости от степени мраморности говядина, созревавшая в неупакованном виде, на 28 сутки имела отклонения по органолептическим показателям свежести. Отмечено, что на разрезе мясо было менее плотное, менее упругое, образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивалась медленнее; отмечены также кисловатый, не свойственный свежему мясу, запах и мутноватый бульон.

Анализ данных органолептической оценки уровня качества говядины в процессе созревания показал, что после варки общая оценка качества по 9-балльной шкале на 4, 16 сутки созревания для упакованной под вакуумом говядины с мраморностью «хорошая» (образец 1–2) и «умеренная» (образец 2–2) составила 8 баллов («очень хорошее») (Табл. 3), при этом на 28 сутки наблюдалось увеличение нежности с 8 до 9 баллов. Общая органолептическая оценка бульона составила 8 баллов («очень хороший») (Табл. 4).

Таблица 1

Характеристика мраморности образцов

Показатели	Наименование и номер образца			
Характеристика мраморности	1–1	1–2	2–1	2–2
	«Хорошая»	«Хорошая»	«Умеренная»	«Умеренная»
Доля жировых включений, %	23,54	20,43	10,98	11,82
Фотографии мышечных глазков образцов				

Таблица 3

Оценка уровня качества упакованной под вакуумом говядины после варки по 9-балльной шкале

№ п/п	Срок созревания образца	Оценка продукта по 9-ти балльной системе					Общая оценка качества
		Внешний вид	Запах (аромат)	Вкус	Консистенция	Сочность	
1	4 суток	9 Очень приятный	9 Очень приятный, ароматный, сильный	8 Вкусное	8 Нежная	8 Сочное	8 Очень хорошее
2	16 суток	9 Очень приятный	9 Очень приятный, ароматный, сильный	8 Вкусное	8 Нежная	8 Сочное	8 Очень хорошее
3	28 суток	8 Очень хороший	9 Очень приятный, ароматный, сильный	8 Вкусное	9 Очень нежная	8 Сочное	8 Очень хорошее

Таблица 4

Оценка уровня качества бульона по 9-балльной шкале

№ п/п	Срок созревания	Оценка продукта по 9-ти балльной системе				Общая оценка качества
		Внешний вид	Запах (аромат)	Вкус	Наваристость	
1	4 суток	9 Очень приятный	9 Приятный, ароматный, сильный	8 Вкусный	8 Наваристый	8 Очень хороший
2	16 суток	9 Очень приятный	8 Приятный, ароматный, сильный	8 Вкусный	8 Наваристый	8 Очень хороший
3	28 суток	9 Очень приятный	8 Приятный, ароматный, сильный	8 Вкусный	8 Наваристый	8 Очень хороший

Общая оценка качества говядины после варки по 9-балльной шкале на 4, 16 сутки созревания для неупакованной говядины с мраморностью хорошая (образец 1–1) и умеренная (образец 2–1) составила 8 баллов («очень хорошее») (Табл. 5), при этом на 28 сутки наблюдалось уменьшение нежности с 8 до 7 баллов. Общая органолептическая оценка бульона на 4, 16 сутки созревания составила 8 баллов («очень хороший»), но к 28 суткам она снизилась до 5 баллов (Табл. 6).

Полученные результаты согласуются с работами других авторов. Так, Berger и др. [7], изучая три разных способа созревания — в упакованном под вакуумом виде, в упакованном в воздухопроницаемый пакет виде (комбинированный способ), в неупакованном виде — отметили, что говядина, созревавшая в течение 7 суток после убоя в неупакованном виде и комбинированным способом, обладала более высокими органолептическими характеристиками, чем созревавшая в упакованном виде. При этом в образцах, созревавших комбинированным способом, отмечена меньшая потеря влаги, чем у образцов, созревавших в неупакованном виде. Нашим экспериментом не предусматривалось созревание комбинированным способом; это может представлять интерес для дальнейших исследований.

Похожие результаты были получены американскими исследователями Colle и др. [8]. Их работа была направлена на длительное созревание стейков из двуглавой мышцы бедра (*m. biceps femoris*) и полуперепончатой мышцы бедра (*m. semimembranosus*). Созревание проводили в течение 2, 14, 21, 42 и 63 дней, во всех случаях отмечено повышение нежности, сочности, улучшение органолептических характеристик. Ими же проведена работа [9] по изучению показателей качества стейков из средней ягодичной мышцы (*m. gluteus medius*) и поясничной мышцы (*m. longissimus lumborum*) в течение 2, 14, 21, 42 и 63 дней. Отмечено улучшение органолептических характеристик во всех исследованных образцах; полученные данные по усилию резания свидетельствовали о том, что для стейков из средней ягодичной мышцы оно снижалось незначительно на протяжении всего времени созревания, тогда, как для стейков

Таблица 5

Оценка уровня качества неупакованной говядины после варки по 9-балльной шкале

№ п/п	Срок созревания	Оценка продукта по 9-ти балльной системе					Общая оценка качества
		Внешний вид	Запах (аромат)	Вкус	Консистенция	Сочность	
1	4 суток	9 Очень приятный	9 Очень приятный, ароматный, сильный	8 Вкусное	8 Нежная	8 Сочное	8 Очень хорошее
2	16 суток	9 Очень приятный	8 Приятный, сильный	8 Вкусное	8 Нежная	7 Достаточно сочное	8 Очень хорошее
3	28 суток	6 Недостаточно хороший	3 Приятный, сильный	6 Недостаточно вкусное	7 Достаточно нежная	6 Недостаточно сочное	7 Хорошее

Таблица 6

Оценка уровня качества бульона по 9-балльной шкале

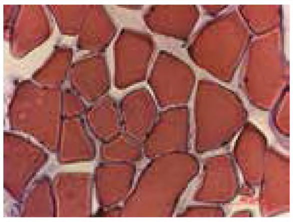
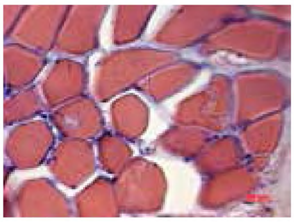
№ п/п	Срок созревания	Оценка продукта по 9-ти балльной системе				Общая оценка качества
		Внешний вид	Запах (аромат)	Вкус	Наваристость	
1	4 суток	9 Очень приятный	9 Приятный, ароматный, сильный	8 Вкусный	8 Наваристый	8 Очень хороший
2	16 суток	9 Очень приятный	8 Приятный, ароматный, сильный	8 Вкусный	8 Наваристый	8 Очень хороший
3	28 суток	6 Недостаточно хороший, мутноватый	3 Немного неприятный, посторонний	3 Немного неприятный посторонний	6 Недостаточно наваристый	5 Средняя

из поясничной мышцы отмечено снижение уже к 21 дню созревания.

Результаты гистологических исследований структуры образцов говядины разной степени мраморности в процессе созревания представлены в Табл. 7 и Табл. 8 на Рис. 1–12 (созревание в неупакованном виде) и 13–24 (созревание в упакованном виде).

Таблица 7

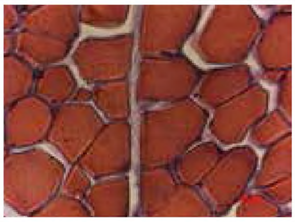
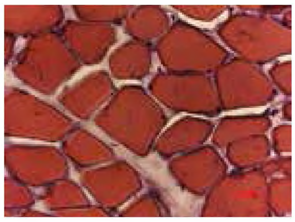
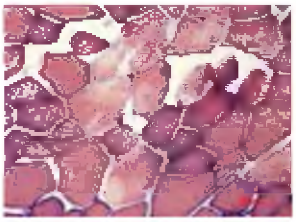
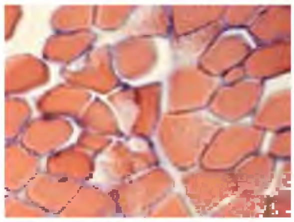
Результаты гистологических исследований образцов в неупакованном виде

Срок созревания, сутки	Мраморность «хорошая» (образец 1–1)	Мраморность «умеренная» (образец 2–1)
4	 Рисунок 1.Поперечный срез	 Рисунок 3. Поперечный срез
	 Рисунок 2. Продольный срез	 Рисунок 4. Продольный срез
16	 Рисунок 5. Поперечный срез	 Рисунок 7. Поперечный срез
	 Рисунок 6.Продольный срез	 Рисунок 8. Продольный срез
28	 Рисунок 9. Поперечный срез	 Рисунок 11. Поперечный срез
	 Рисунок 10. Продольный срез	 Рисунок 12. Продольный срез

При гистологическом исследовании структуры образцов на 4 сутки созревания установлено, что все образцы (1–1, 1–2, 2–1 и 2–2) имеют сходные микроструктурные характеристики. На поперечном срезе мышечные волокна характеризуются уплотненной упаковкой в пучках первого порядка. Форма волокон полигональная или же слабо окру-

Таблица 8

Результаты гистологических исследований образцов в упакованном виде

Срок созревания, сутки	Мраморность «хорошая» (образец 1–2)	Мраморность «умеренная» (образец 2–2)
4	 Рисунок 13. Поперечный срез	 Рисунок 15. Поперечный срез
	 Рисунок 14. Продольный срез	 Рисунок 16. Продольный срез
16	 Рисунок 17. Поперечный срез	 Рисунок 19. Поперечный срез
	 Рисунок 18. Продольный срез	 Рисунок 20. Продольный срез
28	 Рисунок 21. Поперечный срез	 Рисунок 23. Поперечный срез
	 Рисунок 22. Продольный срез	 Рисунок 24. Продольный срез

глая. Прослойки эндомизия хорошо выражены, границы между отдельными мышечными волокнами устанавливаются без особых затруднений. Диаметр мышечных волокон 55–60 мкм.

На продольном срезе мышечные волокна преимущественно спрямленные, но присутствуют и волнистой формы (стадия разрешения посмертного окоченения). Поперечная исчерченность хорошо выражена. В отдельных волокнах обнаруживаются участки с наличием продольной исчерченности, свидетельствующие о наличии зон сокращения. Ядра в мышечных волокнах хорошо окрашиваются, имеют овальную форму и располагаются непосредственно под сарколеммой.

Соединительнотканные прослойки перимизия волнистые, плотно прилегают к пучкам мышечных волокон. Ядра в соединительнотканных прослойках отчетливо выявляются на препарате. Между пучками мышечных волокон в областях перимизия выявляются участки жировой ткани, имеющие типичное гистологическое строение.

Функциональное состояние мышечной ткани достаточно однотипное. Присутствуют единичные поперечные микротрещины, единичные участки с локальным распадом саркомеров. Повреждений сарколеммы, деструкции миофибрилл и разрывов мышечных волокон не обнаружено. Микроструктура образцов соответствует свежему мясному сырью первого этапа созревания (Рис. 1–4 и Рис. 13–16).

При гистологическом исследовании структуры образцов на 16 сутки созревания установлено, что в образцах неупакованной говядины 1–1 и 2–1 наблюдаются следующие микроструктурные изменения. Наряду с выраженной поперечной исчерченностью в некоторых мышечных волокнах присутствуют участки со сглаженной исчерченностью. Окраска волокон неравномерная. Ядра в мышечных волокнах теневидные, хуже по сравнению с соответствующими образцами на 4 сутки созревания дифференцируются на препарате. В мышечных волокнах присутствуют множественные поперечно-щелевидные нарушения целостности, единичные разрывы и фрагментация. Встречаются участки с отслоением сарколеммы, а также с разрушением внутренней структуры волокна (локальный распад саркомеров). Наблюдается разрыхление соединительнотканных прослоек перимизия. Микроструктура образцов соответствует свежему не подлежащему длительному хранению мясному сырью начала второго этапа созревания (Рис. 5–8).

В образцах 1–2 и 2–2 упакованной говядины изменения в структуре тканей более выражены. В мышечных волокнах присутствуют большие участки со сглаженной исчерченностью. Ядра теневидные, в некоторых волокнах в состоянии полного распада. В мышечных волокнах присутствуют множественные поперечно-щелевидные нарушения целостности и разрывы, фрагментация с образованием между фрагментами мелкозернистой белковой массы. Встречаются продолжительные участки с отслоением сарколеммы, а также с разрушением внутренней структуры волокна (локальный распад саркомеров). Наблюдается разрыхление соединительнотканных прослоек перимизия, на некоторых участках их отслоение от мышечных волокон. Микроструктура образцов соответствует свежему мясному сырью середины второго этапа созревания (Рис. 17–20).

При гистологическом исследовании структуры образцов на 28 сутки созревания установлено, что во всех образцах усиливаются деструктивные изменения тканей.

В неупакованных образцах 1–1 и 2–1 поперечная исчерченность присутствует не на всем протяжении мышечного волокна, местами сглажена. Окраска волокон ослаблена, неравномерная. Ядра в мышечных волокнах теневидные или в состоянии полого распада. Отмечено увеличение по сравнению с соответствующими образцами на 16 сутки созревания разрывов мышечных волокон и фрагментации с образованием между фрагментами мелкозернистой белковой массы. Встречаются участки с разволокнением, отслоением и деструкцией сарколеммы, а также с разрушением внутренней структуры волокна (локальный распад саркомеров). Соединительнотканные прослойки перимизия разрыхлены, местами отмечается отслоение их от мышечных волокон, присутствуют очажки микрофлоры. Ядра хуже дифференцируются на препарате. Микроструктура образцов соотвегствует мясному сырью сомнительной категории свежести окончания второго этапа созревания (Рис. 9–12).

В образцах 1–2 и 2–2 в большинстве мышечных волокон исчерченность сглажена. Ядра геневидные, в некогорых волокнах в состоянии полного распада. В мышечных волокнах присутствуют множественные разрывы и фрагментация с расхождением фрагментов и образованием между ними мелкозернистой белковой массы. Встречаются продолжительные участки с отслоением сарколеммы, а также с разрушением внутренней структуры волокна. Обнаруживается распад отдельных фрагментов на миофибриллы, а миофибрилл — на саркомеры в виде зернистой массы, местами заключенной в эндомизий. Соединительнотканные прослойки перимизия разрыхлены, наблюдается их отслоение от мышечных волокон. Изменения в структуре тканей соответствуют свежему не подлежащему длительному хранению мясному сырью третьего этапа созревания (Рис. 21–24).

В результате гистологических исследований установлено, что с увеличением срока созревания говядины усиливается характер деструктивных изменений тканей. Образцы упакованной говядины, как с мраморностью «хорошая» (1–2), так и «умеренная» (2–2), на 16 и 28 сутки соответствовали второму и третьему этапу созревания мяса по ГОСТ 19496. Сырье оставалось свежим на протяжении 28 суток.

Изменения неупакованной говядины, как с мраморностью «хорошая» (1–1), так и «умеренная» (2–1), на соответствующие сутки созревания (16 и 28 сутки) менее выражены.

Результаты исследования усилия резания (Табл. 9 и Табл. 10) свидетельствовали о том, что в течение всего наблюдаемого периода созревания происходило постепенное снижение усилия резания, что свидетельствует о размягчении мяса. Однако, в отдельных случаях, усилие резания на более позднем этапе созревания было выше, чем на предыдущем. Это можно объяснить особенностями строения мраморного мяса, в составе мышечной ткани которого находятся множественные включения жировой ткани. На 4 и 16 сутки созревания в среднем показатели жёсткости говядины упакованной под вакуумом имели более низкие значения, чем у неупакованной говядины, что говорит о большей эффективности созревания мяса в упакованном виде. Однако, на более поздних сроках созревания, динамика снижения усилия резания и у упакованной говядины снизилась.

В работе A.N. Lepper-Blilie [10] и др. также выявлена обратная корреляционная зависимость между усилием резания и временем созревания, согласно этим данным, степень снижения усилия резания не зависела ни от части туши, ни от способа созревания, ни от мраморности. Однако, в работе Yuan H. Brad Kim и др. [11], имеются данные о том, что усилие резания через 17 суток созревания было ниже у упакованных образцов в сравнении с неупакованными, что свидетельствовало о более быстром созревании в упакованном виде. L. Clay Eastwood и др. [12] отмечают также, что усилие резания зависит, в том числе и от того, в каком виде

Таблица 9

Результаты исследования усилия резания образцов в неупакованном виде

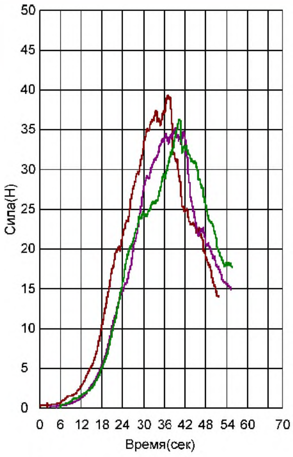
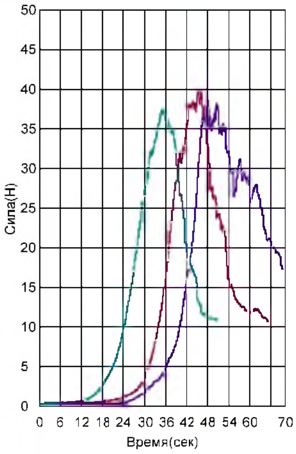
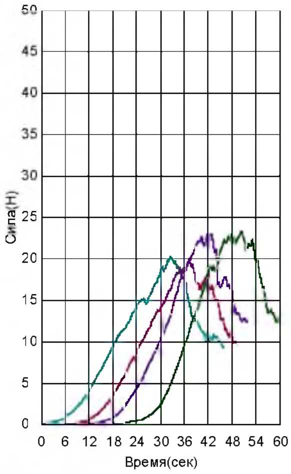
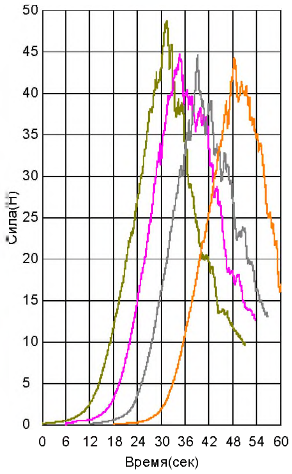
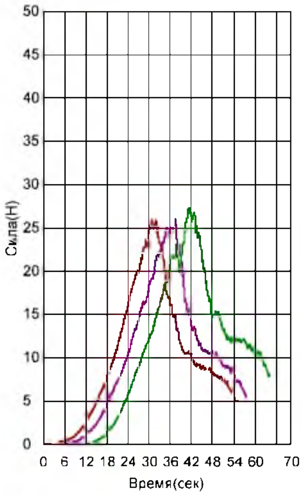
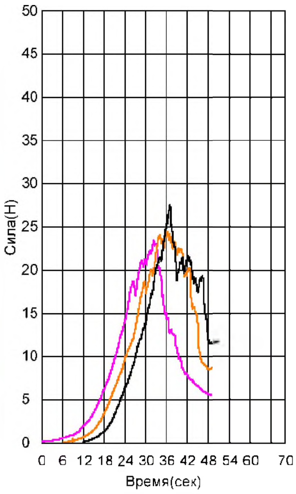
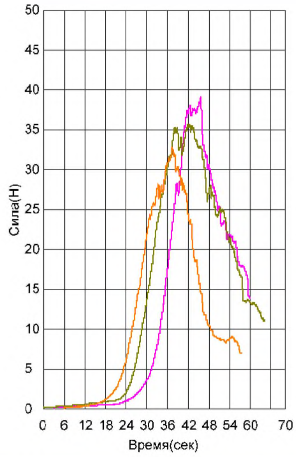
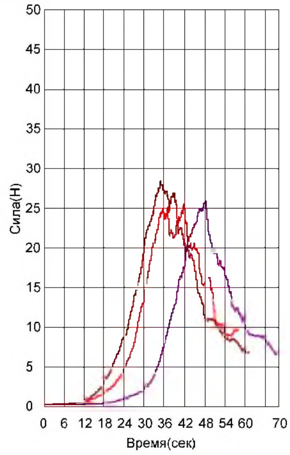
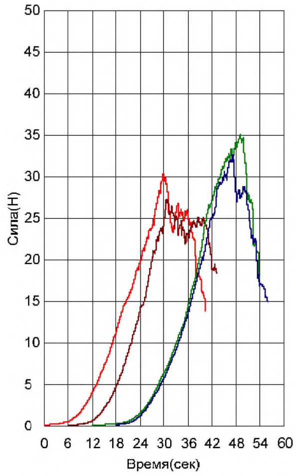
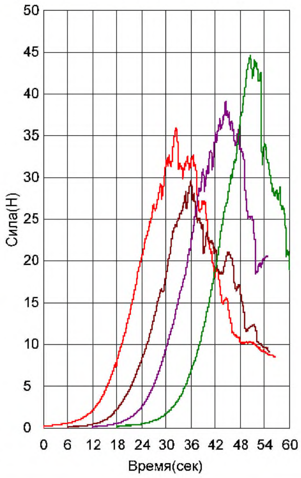
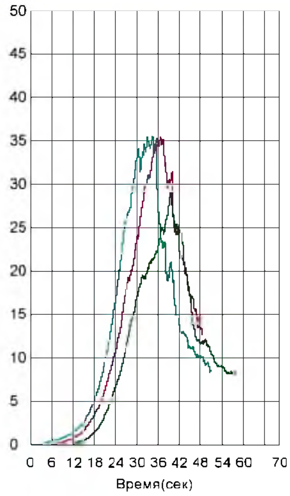
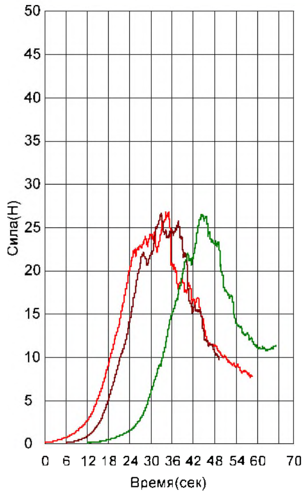
Срок созревания, сутки	Мраморность «хорошая» (образец 1–1)	Мраморность «умеренная» (образец 2–1)
4		
16		
28		

Таблица 10

Результаты исследования усилия резания образцов в упакованном виде

Срок созревания, сутки	Мраморность «хорошая» (образец 1–2)	Мраморность «умеренная» (образец 2–2)
4		
16		
28		

проходит созревание — так, для образцов, созревавших в отрубах, усилие резания было ниже, чем для образцов, созревавших в виде полуфабрикатов (стейков). Fumiko Iida и др. [13] установили, что усилие резания и нежность говядины с высокой степенью мраморности стабилизируется в течение 20 суток созревания, тогда как улучшение вкусоароматических свойств продолжается вплоть до 60 суток.

4. Выводы

Способ созревания оказывает большое влияние на показатели качества говядины (микроструктуру, органолептические и структурно-механические свойства) вне зависимости от степени мраморности. Не установлено влияние изученных степеней мраморности *L. dorsi* «умеренная» и «хорошая» на сроки созревания говядины.

1. Introduction

Due to the development of beef production in Russia, the culture of meat consumption has also been developing in recent years. One of the important processes that have spread in our country is a prolonged beef aging. Due to prolonged aging, it is possible to obtain a high-quality product with excellent sensory indicators and taste properties. Since prolonged aging is a process that requires high energy consumption and strict adherence to all condition requirements, usually it is used for raw materials of the highest price category, in particular high-quality marbled beef [1,2].

The production of such beef is possible only with specialized cattle meat breeds: predominantly Aberdeen-Angus, Hereford, Wagoo (most common in Japan, but also grown in other countries) and others. This is due to the fact that the marbling score is primarily determined by genetic factors: a number of genes are associated with it, but GG genotype of the GH gene is the most desirable for marbling. For the production of high-quality beef, bulls and heifers are used of 8 months to 2 years old, as well as steers of 8 to 30 months old [3].

Also, to obtain beef with a high marbling score, even from genetically predisposed breeds, high-energy (grain) finishing diet is required for at least 100 days. Feeding diets may be different depending on the region, so corn, oats, barley and other cereals can be used.

The generally accepted world practice is a high culture of high-quality beef production and the introduction of «From Field to Fork» traceability system — from the selection of animals and their antemortem productivity assessment to packaged products.

Aging is an important process in meat production for cooking, which occurs when carcasses (half-carcasses, quarters, cuts) after slaughter are exposed to certain conditions. As a result of aging, meat tenderness, juiciness, specific pleasant taste and flavor increase.

Meat aging is the initial stage of autolysis, so it is determined by the activity of the endogenous enzymes. It is important not to allow the growth of undesirable microflora, the enzymes of which may also cause lysis of cellular structures in animal tissues and breakdown of nutrients.

Immediately after slaughter, the meat is hot, and then the temperature of muscles decreases with the onset of rigor mortis. The development of rigor mortis stops with the beginning of meat aging.

During aging, complex biochemical processes occur, leading to a change in physical and chemical properties, structural and mechanical properties and sensory indicators of meat [4,5,6].

Meat obtained immediately after slaughter with a temperature of at least 35 °C at any point of measurement is considered «hot». Hot meat is characterized by a soft muscle texture. Its ability to hold the moisture contained in it is as high as possible. Flavor and taste are poorly expressed. The pH value of hot meat is 6.8 to 7.3.

Rigor mortis in beef (for meat in half-carcasses) begins about 3 hours after slaughter. The development of rigor mortis at a temperature of 0 to 4 °C reaches its maximum by 24 hours from the moment of slaughter. Meat in the state of rigor mortis is characterized by increased toughness, minimal water-holding capacity, and the lowest pH values (for beef, as a rule, the pH decreases to 5.5), which deteriorates its sensory indicators.

Approximately 48 hours after slaughter, rigor mortis passes into the resolution stage. During normal autolysis, pH slightly increases, and water-holding capacity rises too. At the same time, aging process begins, which improves the sensory indicators of meat, including texture, taste and flavor.

The rate of meat aging depends on both endogenous factors, i.e. type of muscles, the amount of lactic acid and glycogen, and exogenous factors, the main of which are the ambient temperature and the conditions of heat and mass transfer.

Beef (in half-carcasses) is considered aged after its storage at a temperature of 0 to 4 °C at least for 5 to 7 days. By this time, the development of autolysis leads to significant beneficial changes in the quality of meat, i.e. decrease in toughness, improved flavor and taste. However, meat aging may take long time depending on the desired degree of sensory indicators. For example, a number of studies have shown that beef aging for up to 10 to 14 days is advisable, while with longer period no further improvement in sensory indicators is noted. Later studies showed that a period of beef aging up to 25 to 30 days or more may be recommended.

It is important to understand that the result of changes in sensory indicators during meat aging depends not only on the duration of aging itself, but also on the nature of the autolysis. The best aging result is possible only for beef obtained from animals maintained in proper conditions, with the correct and humane handling until the slaughter. Deviations from the good manufacturing practices may cause significant changes in biochemical processes that occur in meat during autolysis, both in time and in nature, as well as in the final result leading to consumer dissatisfaction.

In industrial conditions, meat aging (in half-carcasses) is carried out at 0 to 4 °C and 85 % relative humidity for at least 3 days. Then it is transferred for sale or production of meat foods. Under these conditions, the weight loss of half-carcasses is minimal, i.e. not more than 3 % of hot carcass weight.

In foreign practice, to obtain beef with distinctive sensory indicators, the following methods of its prolonged aging are used:

- dry-aging — in half-carcasses, quarters and bone-in cuts in unpackaged form, suspended or on shelves (racks) at 0 to 4 °C and relative humidity not more than 75 %;
- wet-aging — in bone-in and boneless cuts, in packaged form (with the use of impermeable film materials, under vacuum) at a temperature of 0 to 4 °C; the relative humidity does not matter, since the contact with air is excluded; packaged meat is laid in one row on shelves or racks.

Beef aging may be carried out for a prolonged time provided that hazards associated with microbiological risks are excluded: for the first method, by limiting humidity and creating a dried surface meat layer of significant thickness; for the second method, by packaging, which prevents the development of aerobic microflora. Typically, meat aging in industrial conditions is carried out in cooling rooms. By the end of aging, meat is transferred for sale, where it continues to be stored under similar conditions.

Literature data contain foreign publications on meat quality after prolonged aging, however, they are few and refer to meat obtained from certain breeds of cattle and certain conditions of their growth and slaughter specific to other countries. In this regard, the study of the quality of Russian meat after prolonged aging is of scientific and practical interest.

The objectives of the study were:

- on the basis of complex studies, to draw a conclusion about the consumer properties of beef with various marbling scores;
- to study the change in sensory indicators, structural and mechanical properties of beef with various marbling scores during the aging process;
- to determine the optimal aging period for beef with various marbling scores in a packaged and unpackaged form.

2. Materials and methods

The experiment on aging was carried out on in-bone dorsal beef cut (n=4), obtained during the cutting of cattle carcasses from Aberdeen-Angus breed (black angus) at the age of 18

Таблица 1

Характеристика мраморности образцов

Parameters	Sample name and number			
Marbling score	1–1	1–2	2–1	2–2
	Good	Good	Moderate	Moderate
Proportion of fat inclusions, %	23.54	20.43	10.98	11.82
Pictures of muscle samples				

months fed with grain diet during 200 days. The slaughter and the primary processing of carcasses were carried out at Bryansk Meat Company LLC (Miratorg Agribusiness Holding), Bryansk Region. The cuts were removed 48 hours after the slaughter. Beef aging was carried out for 28 days in packaged and unpackaged form in a cold storage chamber at a temperature of 2±1 °C and a relative humidity of not more than 90%.

Marbling score was determined visually according to GOST 33818–2016 «Meat. High quality beef. Technical conditions».

The pH was measured by a potentiometric method using Testo 205 portable pH meter. During the measurements, the electrode was immersed in the muscle tissue to a depth of at least 3 cm. The final result was the mean of three single measurements; the difference between the limiting values of three measurement results did not exceed 0.15 pH units.

Determination of muscle tissue structural and mechanical characteristics was carried out using AGS-X series Shimadzu test machine designed to measure shear force, surface and compression parameters. All measurements were carried out in four replicates. The final result was the mean with a significance level $P \geqslant 0.95$.

The study of sample microstructure was conducted in accordance with GOST 19496–2013 «Meat and meat products. Histological examination method». A piece of 2×1.5×0.5 cm was taken from each sample and placed in a 10% aqueous solution of formalin for 72 hours at room temperature. Then piece was washed under cold running water for 12 hours. The washed material was put into trays, filled with 25% gelatin and placed in a thermostat at 35 °C for 12 hours to impregnate.

The resulting piece was placed in a freezing chamber of MIKROM-HM525 microtome-cryostat (Carl Zeiss, Germany) on object table. Freezing was conducted at a temperature of −20 °C for 15 to 20 minutes and sections were made with a thickness of 20 μm.

The sections were stained with Ehrlich's hematoxylin and dyed with freshly prepared 1% aqueous-alcoholic eosin solution, and then placed under cover slips in glycerin-gelatin.

Histological specimens were studied and photographed using the AxioImaiger A1 microscope (Carl Zeiss, Germany) using connected AxioCam MRc 5 video camera. Image processing was performed using AxioVision 4.7.1.0 digital image analysis system adapted for histological studies.

Sensory evaluation and quality assessment of samples after cooking were carried out using 9-point scale in accordance with GOST 9959–2015. Beef freshness evaluation was carried out in accordance with GOST 7269–2015.

3. Results and discussions

As a result of marbling evaluation, it is established that the samples were characterized by marble scores «moderate» and «good» (Table 1). Unpackaged samples were labeled as 1–1 (marbling score «good») and 2–1 (marbling score «moderate»), while samples packaged under vacuum in polymer film were labeled as 1–2 (marbling score «good») and 2–2 (marbling score «moderate»).

Throughout the aging period, the pH of beef remained stable (Table 2). This was due to the fact that significant pH changes were observed in beef in the first 4 days after slaughter. Then, during the further storage of meat, the pH remains stable, and slight increase may occur as a result of putrefaction and the accumulation of protein decomposition products having alkaline properties. The stability of pH during the research indicates the normal development of meat aging process. The stability of pH during aging process is also noted by other researchers, e.g. Hulankova et al. [4].

Table 2

The pH of the samples during the aging process

Aging period, days	Samples			
	1–1	1–2	2–1	2–2
4	5.50	5.52	5.91	5.90
16	5.61	5.60	5.90	5.87
28	5.61	5.61	5.90	5.85

According to the sensory indicators of freshness (surface appearance and color, the condition of muscles on the section, texture, odor, fat condition, transparency and broth flavor), beef with various marbling scores in packaged and unpackaged form predominantly considered as fresh meat. However, regardless of the marbling score, the beef aged in unpackaged form had deviations in sensory indicators on day 28. It was noted that meat on the section was less dense, less elastic; the fovea formed with the finger pressing straightened more slowly; there were also sour and not typical for fresh meat odor and slightly turbid broth.

Analysis of data from beef sensory evaluation during the aging process showed that, on days 4 and 16, after the boiling, the overall quality assessment according to the 9-point scale for vacuum-packaged beef with marbling score «good» (sample 1–2) and «moderate» (sample 2–2) was 8 points («very good») (Table 3), while on day 28, there was an increase in tenderness from 8 to 9 points. Overall sensory evaluation of broth resulted in 8 points («very good») (Table 4).

On days 4 and 16, overall beef quality evaluation after cooking according to the 9-point scale for unpackaged beef with marbling score «good» (sample 1–1) and «moderate» (sample 2–1) resulted in 8 points («very good») (Table 5), while on day 28, there was a decrease in tenderness from 8 to 7 points. On days 4 and 16, overall sensory evaluation of broth resulted in 8 points «very good», but on day 28, it decreased to 5 points (Table 6).

The results obtained are in agreement with the works of other authors. Thus, Berger et al. [7], studied three different aging methods — in vacuum-packaged form, in air-permeable package (combined method), in unpackaged form — and noted that beef aged for 7 days after slaughter in unpackaged form and in combined package had higher sensory indicators than aged in packaged form. In the samples aged in combined package, less mois-

Table 3

Quality evaluation of vacuum-packaged beef after cooking according to the 9-point scale

No.	Sample aging period	Product assessment according to the 9-point scale					Overall quality evaluation
		Appearance	Odor (flavor)	Taste	Texture	Juiciness	
1	4 days	9 Delicious	9 Delicious, flavory, intense	8 Tasty	8 Tender	8 Juicy	8 Very good
2	16 days	9 Delicious	9 Delicious, flavory, intense	8 Tasty	8 Tender	8 Juicy	8 Very good
3	28 days	8 Very good	9 Delicious, flavory, intense	8 Tasty	9 Very tender	8 Juicy	8 Very good

Table 4

Quality evaluation of broth according to the 9-point scale

№ п/п	Aging period	Product assessment according to the 9-point scale				Overall quality evaluation
		Appearance	Odor (flavor)	Taste	Richness	
1	4 days	9 Delicious	9 Pleasant, flavory, intense	8 Tasty	8 Rich	8 Very good
2	16 days	9 Delicious	8 Pleasant, flavory, intense	8 Tasty	8 Rich	8 Very good
3	28 days	9 Delicious	8 Pleasant, flavory, intense	8 Tasty	8 Rich	8 Very good

Table 5

Quality evaluation of unpackaged beef after cooking according to the 9-point scale

№ п/п	Aging period	Product assessment according to the 9-point scale					Overall quality evaluation
		Appearance	Odor (flavor)	Taste	Texture	Juiciness	
1	4 days	9 Delicious	9 Delicious, flavory, intense	8 Tasty	8 Tender	8 Juicy	8 Very good
2	16 days	9 Delicious	8 Pleasant, intense	8 Tasty	8 Tender	7 Juicy enough	8 Very good
3	28 days	6 Not good enough	3 Pleasant, intense	6 Not tasty enough	7 Tender enough	6 Not juicy enough	7 Good

Table 6

Quality evaluation of broth according to the 9-point scale

№ п/п	Aging period	Product assessment according to the 9-point scale				Overall quality evaluation
		Appearance	Odor (flavor)	Taste	Richness	
1	4 days	9 Delicious	9 Pleasant, flavory, intense	8 Tasty	8 Rich	8 Very good
2	16 days	9 Delicious	8 Pleasant, flavory, intense	8 Tasty	8 Rich	8 Very good
3	28 days	6 Not good enough, slightly turbid	3 Not pleasant enough, off-odor	3 Not pleasant enough, off-odor	6 Not rich enough	5 Moderate

ture loss was noted than in samples aged in unpackaged form. Our experiment did not investigate aging in combined package; this is the object for further research.

Similar results were obtained by American researchers Colle et al. [8]. Their work was aimed at prolonged aging of steaks from *M. biceps femoris* and *M. semimembranosus*. Aging was carried out for 2, 14, 21, 42, and 63 days. In all cases, tenderness, juiciness, and sensory indicators improved. They also conducted the study [9] on the quality of steaks from *M. gluteus medius* and *M. longissimus lumborum* for 2, 14, 21, 42, and 63 days. Improvement of sensory indicators in all samples was noted. The data obtained indicated that for steaks from *M. gluteus medius* shear force slightly decreased throughout the aging period, whereas for steaks from *M. longissimus lumborum* a decrease was noted already on day 21 of aging.

The results of histological studies to determine the structure of beef samples with various marbling scores during the aging process are presented in Tables 7 and 8 and in Figures 1 to 12 (aging in unpackaged form) and 13 to 24 (aging in packaged form).

Histological examination of sample structure on day 4 of aging showed that all samples (1–1, 1–2, 2–1, and 2–2) have similar microstructural indicators. In the cross section, the muscle fibers are characterized by a densified packing in bundles of the first order. The shape of the fibers is polygonal or slightly rounded. Endomysium interlayers are well pronounced; the boundaries between individual muscle fibers are well defined. Diameter of muscle fibers is 55 to 60 µm.

In the longitudinal section, muscle fibers are predominantly straightened, but there are also some fibers of curly form (the stage of rigor mortis resolution). Cross-striation is well pronounced. In some fibers, there are areas with longitudinal striation indicating the zones of contraction. The nuclei in muscle fibers are well colored, oval in shape and located directly under the sarcolemma.

Perimysium interlayers are curly, tightly adjacent to bundles of muscle fibers. The nuclei in the connective tissue layers are clearly defined on the slide. Between the bundles of muscle fibers, in perimysium, there are areas of adipose tissue with a typical histological structure.

Table 7

Results of histological examination of samples in unpackaged form

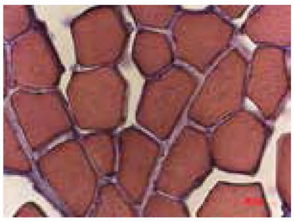
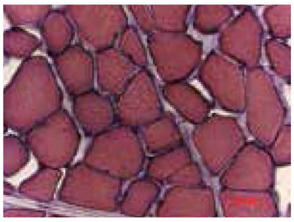
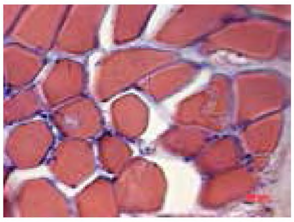
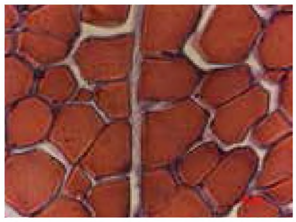
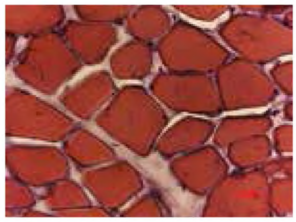
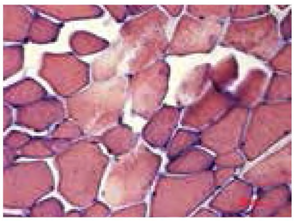
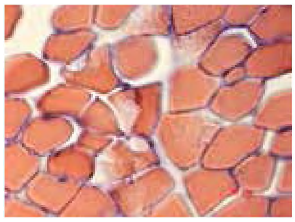
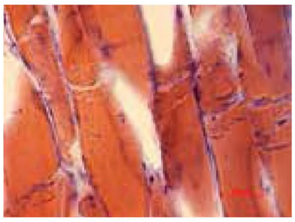
Aging period, days	Marbling score «good» (sample 1–1)	Marbling score «moderate» (sample 2–1)
4	 Picture 1. Cross section	 Picture 3. Cross section
	 Picture 2. Longitudinal section	 Picture 4. Longitudinal section
16	 Picture 5. Cross section	 Picture 7. Cross section
	 Picture 6. Longitudinal section	 Picture 8. Longitudinal section
28	 Picture 9. Cross section	 Picture 11. Cross section
	 Picture 10. Longitudinal section	 Picture 12. Longitudinal section

Table 8

Results of histological examination of samples in packaged form

Aging period, days	Marbling score «good» (sample 1–2)	Marbling score «moderate» (sample 2–2)
4	 Picture 13. Cross section	 Picture 15. Cross section
	 Picture 14. Longitudinal section	 Picture 16. Longitudinal section
16	 Picture 17. Cross section	 Picture 19. Cross section
	 Picture 18. Longitudinal section	 Picture 20. Longitudinal section
28	 Picture 21. Cross section	 Picture 23. Cross section
	 Picture 22. Longitudinal section	 Picture 24. Longitudinal section

The functional state of muscle tissue is quite uniform There are individual transverse micro-ruptures, single sites with local sarcomere degradation. Sarcolemma deterioration, myofibril destruction of and muscle fiber ruptures was not detected. Sample microstructure corresponds to fresh raw meat at the first aging stage (Figures 1 to 4 and 13 to 16).

Histological examination of sample structure on day 16 of aging showed that, in samples of unpackaged beef 1–1 and 2–1, the following microstructural changes were observed. Along with the pronounced cross-striation, in some muscle fibers there are sites with smoothened striation. The color of fibers is not uniform. The nuclei in muscle fibers are shady, worse defined on the slide in comparison with the corresponding samples on day 4 of aging. In muscle fibers, there are multiple fissured transverse integrity disorders, single ruptures and fragmentation. There are areas with sarcolemma separation, as well as with the destruction of fiber internal structure (local degradation of sarcomeres). There is a loosening of perimysium interlayers. Sample microstructure corresponds to fresh raw meat of non-prolonged storage at the beginning of the second aging stage (Figures 5 to 8).

In samples of packaged beef 1–2 and 2–2, the changes in tissue structure are more pronounced. In muscle fibers, there are large areas with smoothened striation. The nuclei are shady, and in some fibers, are completely degraded. In muscle fibers, there are multiple fissured transverse integrity disorders and ruptures, fragmentation with formation of fine-grained protein mass between fragments. There are long areas with sarcolemma separation, as well as with the destruction of fiber internal structure (local degradation of sarcomeres). There is a loosening of peri-

Таблица 9

Результаты исследования усилия резания образцов в неупакованном виде

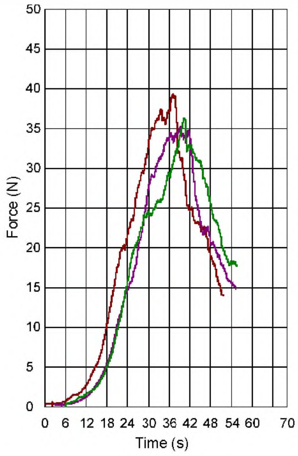
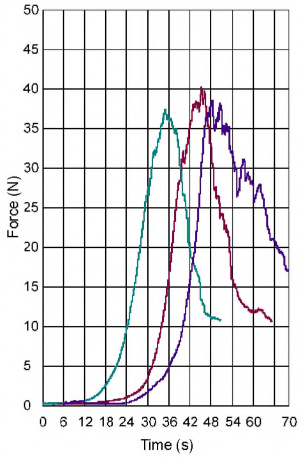
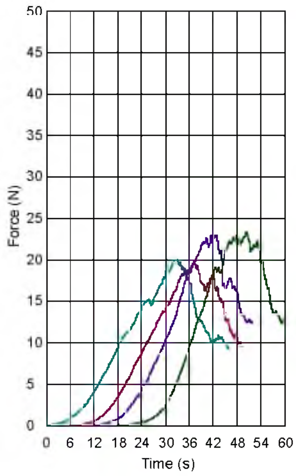
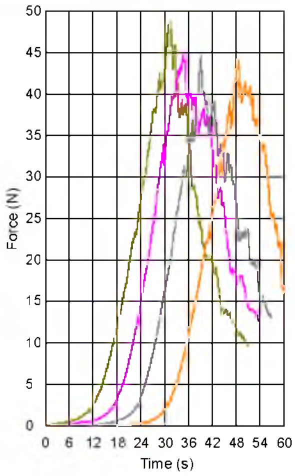
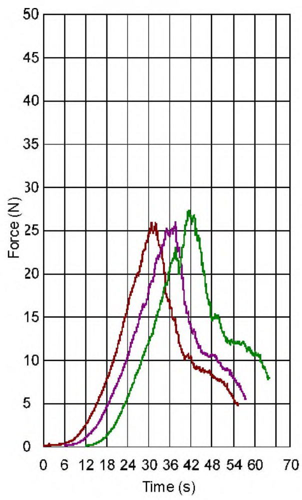
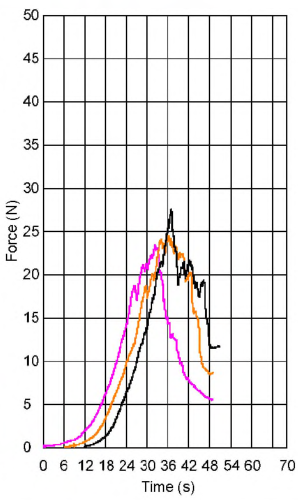
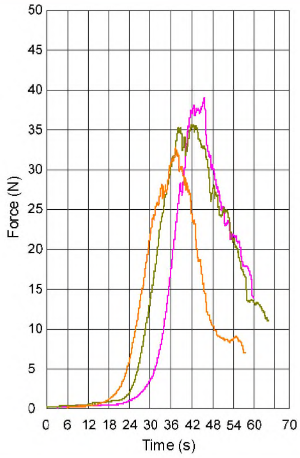
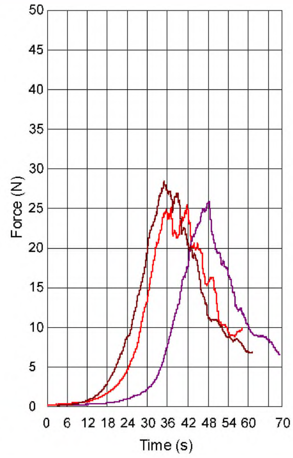
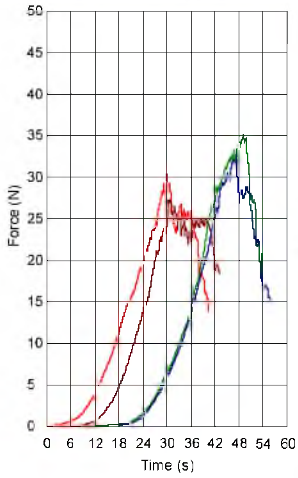
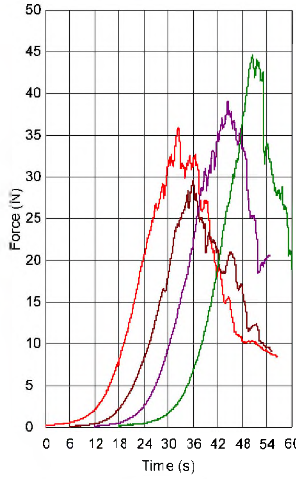
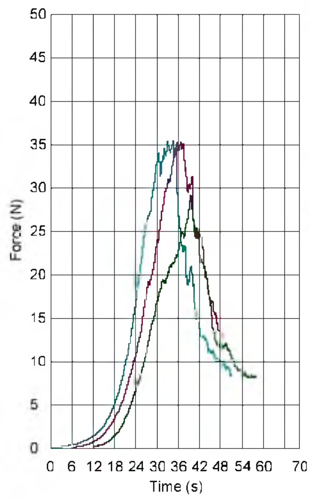
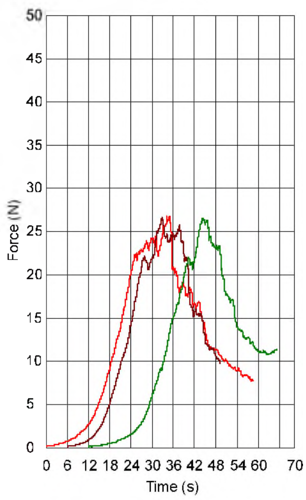
Aging period, days	Marbling score «good» (sample 1–1)	Marbling score «moderate» (sample 2–1)
4		
16		
28		

Table 10

The results of shear force study for samples in packaged form

Aging period, days	Marbling score «good» (sample 1–2)	Marbling score «moderate» (sample 2–2)
4		
16		
28		

mysium interlayers, and in some areas, they are separated from muscle fibers. Sample microstructure corresponds to fresh raw meat at the middle of the second aging stage (Figures 17 to 20).

Histological examination of sample structure on day 28 of aging showed that destructive changes were intensified in tissues of all samples.

In unpackaged samples 1–1 and 2–1, cross-striation only partly present throughout the muscle fiber, and sometimes is smoothened. The color of the fibers is faded, and not uniform. The nuclei in muscle fibers are shady or completely degraded. On day 16, an increase in ruptures and fragmentation of muscle fibers was observed in comparison with the corresponding samples, with the formation of fine-grained protein mass between fragments. There are areas with sarcolemma separation and degradation, as well as with the destruction of fiber internal structure (local degradation of sarcomeres). There is a loosening of perimysium interlayers, and in some areas, they are separated from muscle fibers. There are foci of microflora. The nuclei are worse defined on the slide. Sample microstructure corresponds to raw meat of ambiguous freshness category at the end of the second aging stage (Figures 9 to 12).

In samples 1–2 and 2–2, in most muscle fibers, the striation is smoothened. The nuclei are shady, and in some fibers, completely degraded. In muscle fibers, there are multiple ruptures and fragmentation with separation of fragments and the formation of fine-grained protein mass between them. There are long areas with sarcolemma separation, as well as with the destruction of fiber internal structure. The disintegration of individual fragments into myofibrils is detected, and myofibrils are degraded into sarcomeres in the form of grained mass sometimes confined to endomysium. There is a loosening of perimysium interlayers and separation from muscle fibers. Changes in tissue structure correspond to fresh raw meat of non-prolonged storage at the third aging stage (Figures 21 to 24).

As a result of histological studies, it was found that, with the increase in the duration of beef aging, the nature of destructive changes in tissues is enhanced. On days 16 and 28, samples of packaged beef, both with marbling score «good» (1–2) and «moderate» (2–2), corresponded to the second and third stage of meat aging in accordance with GOST 19496. The raw material remained fresh throughout 28 days.

On the corresponding aging days (days 16 and 28), changes in unpackaged beef, both with marbling score «good» (1–1) and «moderate» (2–1), are less pronounced.

The results of shear force study (Tables 9 and 10) showed that during the entire observed period of aging, a gradual decrease in shear force occurred indicating meat softening. However, in some cases, shear force at a later stage of aging was higher than at the previous one. This may be explained by the properties of marble meat structure, in the muscular tissue of which there are multiple inclusions of adipose tissue. In average, on days 4 and 16 of aging, the toughness of vacuum-packaged beef was lower than in unpackaged beef, indicating greater efficacy of meat aging in a packaged form. However, at later stages of aging, the dynamics of decrease in shear force of packaged beef declined.

A.N. Lepper-Blilie et al. [10] also revealed an inverse correlation between shear force and aging period. According to these data, the degree of shear force decrease depended neither on carcass part, nor on aging method, nor on the marbling score. However, in the work of Yuan H. Brad Kim et al. [11], there is evidence that shear force after 17 days of aging was lower in packaged samples than in unpackaged indicating faster aging in packaged form. L. Clay Eastwood et al. [12] also noted that shear force depended, in part, on the type of aged product, e.g. for samples in cuts, shear force was lower than for samples in the form of semi-finished products (steaks). Fumiko Iida et al. [13] found that shear force and tenderness of beef with a high marbling score stabilized during 20 days of aging, while the improvement in taste and flavor continued up to 60 days.

4. Conclusion

The aging method has a great influence on the quality indicators of beef (microstructure, sensory indicators, structural and mechanical properties) regardless of the marbling score. In *M. longissimus dorsi*, the effect of marbling scores «moderate» and «good» on the duration of beef aging was not established.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сусь, И.В., Миттельштейн, Т.М., Козырев, И.В. (2013). Высококачественная говядина — новый продукт на российском рынке. *Все о мясе*, 5, 4-6.
2. Лисицын, А.Б., Козырев, И.В., Миттельштейн, Т.М. (2015). Особенности производства и оценки высококачественной говядины. *Все о мясе*, 3, 22-25.
3. Сулимова, Г.Е., Федюнин, А.А., Климов, Е.А., Столповский, Ю.А. (2011). Оценка генетического потенциала отечественного скота по признакам высокого качества мяса на основе ДНК-маркерных систем. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 1, 62–64.
4. Hulánková, R., Kameník, J., Saláková, A., Závodský, D., Borilova, G. (2018). The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *LWT — Food Science and Technology*, 89, 559–565.
5. Devine, C.E. (2004). Conversion of muscle to meat / Ageing. Encyclopedia of Meat Sciences. Elsevier. — P. 330–338. ISBN 9780124649705.
6. Лисицын, А.Б., Семенова, А.А., Козырев, И.В., Миттельштейн, Т.М., Синичкина, А.И. (2017). Формирование качества говядины в процессе длительного созревания. *Все о мясе*, 5, 5-10.
7. Berger, J., Brad Kim, Yu. H., Legako, J.F., Silvana Martini, S., Lee, J., Ebner, P., Zuelly, S.M.S. (2018). Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Science*, 145, 285–291.
8. Colle, M.J., Richard, R.P., Killinger, K.M., Bohlscheid, J.C., Gray, A.R., Loucks, W.I., Day, R.N., Cochran, A.S., Nasados, J.A., Doumit, M.E. (2016). Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the biceps femoris and semimembranosus. *Meat Science*, 119, 110–117.
9. Colle, M.J., Richard, R.P., Killinger, K.M., Bohlscheid, J.C., Gray, A.R., Loucks, W.I., Day, R.N., Cochran, A.S., Nasados, J.A., Doumit, M.E. (2015). Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the gluteus medius and longissimus lumborum. *Meat Science*, 110, 32–39.
10. Lepper-Blilie, A.N., Berg, E.P., Buchanan, D.S., Berg, P.T. (2016). Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Science*, 112, 63–68.
11. Brad Kim, Yu. H., Meyers, B., Kim, H-W., Liceaga, A.M., Lemenager, R.P. Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins. (2017). *Meat Science*, 123, 57–63.
12. Eastwood, L.C., Arnold, A.N., Miller, R.K., Gehring, K.B., Savell, J.W. (2016). Novel approach to aging beef: Vacuum-packaged foodservice steaks versus vacuum-packaged subprimals. *Meat Science*, 116, 230–235.
13. Iida, F., Miyazaki, Yu., Tsuyuki, R., Kato, K., Egusa, A., Ogoshi, H., Nishimura, T. (2016). Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. *Meat Science*, 112, 46–51.

REFERENCES

1. Sus, I.V., Mittelshteyn, T.M., Kozyrev, I.V. (2013). High-quality beef — a new product in the Russian market. *Vsyo o myase*, 5, 4-6.
2. Lisitsyn, A.B., Kozyrev, I.V., Mittelshteyn, T.M. (2015). Features of production and evaluation of high-quality beef. *Vsyo o myase*, 3, 22-25.
3. Sulimova, G.E., Fedunin, A.A., Klimov, E.A., Stolpovski, Yu. A. (2011). Evaluation of cattle genetic potential of for traits of good quality meat on the basis of DNA-markers. *Problems of productive animals biology*, 1, 62–64. (in Russian)
4. Hulánková, R., Kameník, J., Saláková, A., Závodský, D., Borilova, G. (2018). The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological

parameters of organic beef loin muscle. *LWT — Food Science and Technology*, 89, 559–565.
5. Devine, C.E. (2004). Conversion of muscle to meat / Ageing. Encyclopedia of Meat Sciences. Elsevier. — P. 330–338. ISBN 9780124649705.
6. Lisitsyn, A.B., Semenova, A.A., Kozyrev, I.V., Mittelshtein I.M., Sinieh-kina A.I. (2017). Forming the beef quality during aging. *Vsyo o myase*, 5, 5-10.
7. Berger, J., Brad Kim, Yu. H., Legako, J.F., Silvana Martini, S., Lee, J., Ebner, P., Zuelly, S.M.S. (2018). Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Science*, 145, 285–291.
8. Colle, M.J., Richard, R.P., Killinger, K.M., Bohlscheid, J.C., Gray, A.R., Loucks, W.I., Day, R.N., Cochran, A.S., Nasados, J.A., Doumit, M.E. (2016). Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the biceps femoris and semimembranosus. *Meat Science*, 119, 110–117.
9. Colle, M.J., Richard, R.P., Killinger, K.M., Bohlscheid, J.C., Gray, A.R., Loucks, W.I., Day, R.N., Cochran, A.S., Nasados, J.A., Doumit, M.E. (2015). Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the gluteus medius and longissimus lumborum. *Meat Science*, 110, 32–39.
10. Lepper-Blilie, A.N., Berg, E.P., Buchanan, D.S., Berg, P.T. (2016). Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Science*, 112, 63–68.
11. Brad Kim, Yu. H., Meyers, B., Kim, H-W., Liceaga, A.M., Lemenager, R.P. Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins. (2017). *Meat Science*, 123, 57–63.
12. Eastwood, L.C., Arnold, A.N., Miller, R.K., Gehring, K.B., Savell, J.W. (2016). Novel approach to aging beef: Vacuum-packaged foodservice steaks versus vacuum-packaged subprimals. *Meat Science*, 116, 230–235.
13. Iida, F., Miyazaki, Yu., Tsuyuki, R., Kato, K., Egusa, A., Ogoshi, H., Nishimura, T. (2016). Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. *Meat Science*, 112, 46–51.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Козырев Илья Владимирович — научный сотрудник, руководитель направления, Отдел научно-прикладных и технологических разработок, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-97-71 E-mail: ikozyrev@vniimp.ru *автор для контактов	**Il`ya V. Kozyrev** — research scientist, Head of the Direction, Department of applied scientific and technological development, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-97-71 E-mail: ikozyrev@vniimp.ru *corresponding author
Миттельштейн Татьяна Михайловна — старший научный сотрудник, Отдел научно-прикладных и технологических разработок, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-97-71 E-mail: pervichka@vniimp.ru	**Tat`yana M. Mittelshtein** — senior research scientist, Department of applied scientific and technological development, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-97-71 E-mail: pervichka@vniimp.ru
Кузнецова Татьяна Георгиевна — доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, руководитель направления, Отдел научно-прикладных и технологических разработок, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-99-91 E-mail: t.kuznecova@fncps.ru	**Tatyana G. Kuznetsova** — doctor of veterinary science, professor, leading research scientist, Head of Direction, Department of applied scientific and technological development, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-99-91 E-mail: t.kuznecova@fncps.ru
Пчелкина Виктория Александровна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, экспериментальная клиника -лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-69-71 E-mail: v.pchelkina@fncps.ru	**Viktoriya A. Pchelkina** — candidate of technical sciences, senior research scientist, Experimental clinic — laboratory of biologically active substances of an animal origin, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-69-71 E-mail: v.pchelkina@fncps.ru
Спиридонов Кирилл Игоревич — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Отдел научно-прикладных и технологических разработок, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-71-11 E-mail: k.spiridonov@fncps.ru	**Kiril I. Spiridonov** — candidate of technical sciences, junior researcher,, Department of applied scientific and technological development, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-71-11 E-mail: k.spiridonov@fncps.ru
Лисицын Андрей Борисович — доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 E-mail: info@fncps.ru	**Andrey B. Lisitsyn** — doctor of technical sciences, professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific supervisor, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel: +7-495-676-95-11 E-mail: info@fncps.ru

Критерии авторства	**Contribution**
Авторы внесли одинаковый вклад в статью. Авторы одинаково несут ответственность за плагиат	Authors are equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest
Поступила 21.08.2018	**Received 21.08.2018**