

Сморodin А.В.¹, Мирошникова Е.П.¹, Абрамова Л.Л.²

¹ ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

² ГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет»

E-mail: aleksei-smorodin@mail.ru

МОРФОЛОГИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ СОЗРЕВАНИИ МЯСА

Статья посвящена изучению гистологических изменений структуры мышечной ткани при автолизе мясного сырья, полученного от крупного рогатого скота различных половозрастных групп. Полученные данные позволяют сделать вывод о лучших качественных изменениях тканей кастратов в процессе созревания по сравнению с тканями бычков и телок.

Ключевые слова: мышечное волокно, созревание, структура саркомера, гистологические изменения.

Введение

Одной из главных задач мясной отрасли является обеспечение населения высококачественным охлажденным мясом [1]. Уверенность потребителя в безопасности и хорошем качестве продуктов питания является критерием, ориентиром при их покупке [2].

В Европе в середине 90-х годов увидел свет итоговый документ «Научная концепция функциональных продуктов в Европе». Согласно ему под понятием «качество» подразумевают широкий спектр свойств, характеризующих пищевую и биологическую ценность пищевых продуктов, а также органолептические, структурно-механические, функционально-технологические, санитарно-гигиенические и прочие характеристики продукта, степень их выраженности [3].

В свою очередь пищевая ценность мясопродуктов определяется химическим составом – содержанием белков, жиров, углеводов, экстрактивных веществ, витаминов, макро- и микроэлементов, набором незаменимых аминокислот, содержанием в жире непредельных жирных кислот. Следовательно, пищевая ценность мясопродуктов зависит от содержания в них биологически важных составных компонентов, изменение которых в процессе хранения и обработки оказывает решающее влияние на качество готовых продуктов. Она определяется степенью доступности этих компонентов к воздействию ферментов желудочно-кишечного тракта, способностью усваиваться и удовлетворять определенные физиологические потребности организма [4, 5, 6].

В этой связи специфической особенностью формирования качественных характеристик мясного сырья является его способность к созреванию. Созревание, или автолиз, от гречес-

кого «автолизис» – саморастворение тканей под действием собственных ферментов клеток мяса. В течение нескольких последовательных этапов мясо благодаря биохимическим превращениям накапливает компоненты аромата и вкуса, приобретает мягкость и нежность. При этом происходят значительные структурные ротации, определяемые гистологическими изменениями структуры тканей.

Данные современных научных исследований позволяют сформировать достаточно отчетливые представления о механизме и химизме различных процессов автолиза мясного сырья. В то же время нет отчетливого представления о взаимосвязях биохимических и гистологических изменений, существует большое количество неконкретизированных временных режимов созревания мясного сырья [7]. В связи с этим были проведены гистологические исследования.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили образцы длиннейших мышц спины, полученные от животных крупного рогатого скота калмыкской породы, выращенных интенсивно при полноценном кормлении в нормальных условиях. Исследуемые образцы были разделены на три группы: бычков (I), кастратов (II) и телочек (III). Образцы хранились в течение 17 суток при температуре $2 \pm 0,2$ °C. На 7, 11 и 17-е сутки созревания от них отбирались пробы для гистологического исследования. Материал был зафиксирован в 10% растворе нейтрального формалина. Серийные гистологические срезы были окрашены гематоксилином и эозином.

Световую микроскопию осуществляли микроскопом Micros MSD 500 (Австрия), осна-

ценным цифровой видеокамерой, с помощью которого получали электронные версии гистопрепаратов, редактированные на компьютере DEPO Ego 8530-2.

Количественную информацию о размерах структур мышечных волокон получали в ходе морфометрических исследований при использовании винтового окуляр-микрометра МОВ-1-15х1500 (ГОСТ 15150-69) и лицензированной программы Test-morfo-2.8.

В отдельном образце ткани измерение каждого показателя осуществлялось не менее чем в 16 полях зрения каждого объекта. В процессе гистостереометрических исследований оценивали объемы и удельную площадь гистологических структур с помощью окулярных вставок: измерительных линеек, контрольных точек для работы по исчислению объема структур.

Результаты и их обсуждение

При гистологическом исследовании образцов на 7-е сутки созревания установлено следующее: у **бычков** в составе мышечных пучков длиннейшей мышцы спины волокна утолщены, набухшие, волнообразные (рис. 1).

В центральной части мышечного волокна видны зоны просветления с пониженным содержанием миоглобина. Прослойки эндомизия и перимизия набухшие. Большинство мышечных волокон имеют бледно-розовую окраску. В участках мышечных волокон, где полностью исчезает миоглобин и нарушается миофибриллярная структура, преобладают ядра с просветленной кариоплазмой, двумя ядрышками и вкраплениями мелкодисперсного гетерохроматина (ишемичные волокна). Долевые щелевидные полости и поперечные разрывы мышечного во-

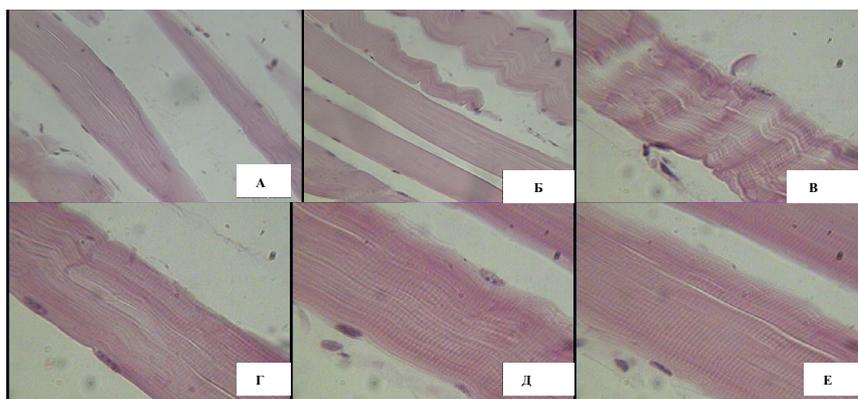


Рисунок 1. Длиннейшая мышца спины бычков калмыкской породы на 7-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; В; Г; Д; Е – значительно набухшие и волнообразные мышечные волокна с массовыми разрывами саркоплазмы и сарколеммы с сохраненной структурой саркомера.

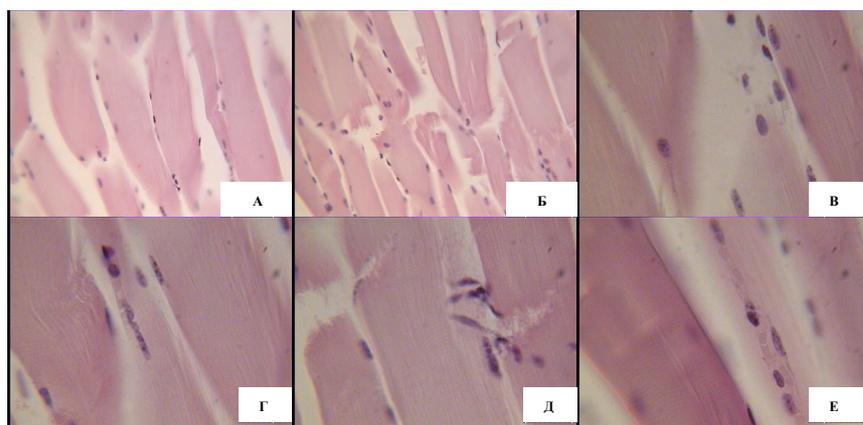


Рисунок 2. Длиннейшая мышца спины кастратов калмыкской породы на 7-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; В; Г; Д; Е – значительно набухшие и волнообразные мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы с сохраненной структурой саркомера.

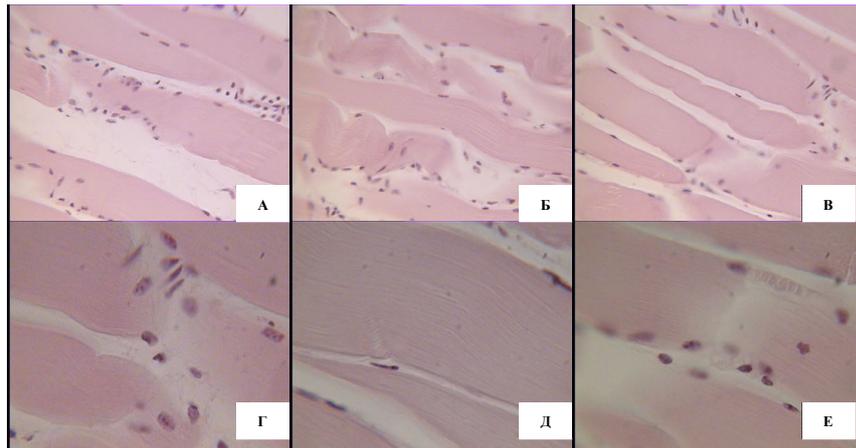


Рисунок 3. Длиннейшая мышца спины телок калмыкской породы на 7-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б; В – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; Г; Д; Е – значительно набухшие и волнообразные мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы с сохраненной структурой саркомера.

локна значительных размеров. В мышечных волокнах ярко-розового цвета видна поперечная исчерченность, сохранена структура саркомера, полости и разрывы отсутствуют. Вокруг сарколеммы отдельных мышечных волокон встречаются клетки-миосателлиты. Мышечная ткань созревает гетерохронно.

У **кастратов** волокна в составе мышечных пучков длиннейшей мышцы спины утолщены, хорошо выражены миофибриллярная структура саркомера и поперечная исчерченность. Волокна преобладают прямые, волнообразных – минимальное количество (рис. 2).

В центральной части саркоплазмы отдельных мышечных волокон встречаются одиночные узкие щелевидные полости с отсутствием миофибрилл. Преобладают мышечные волокна интенсивно розовые. В волокнах бледно-розового цвета, с пониженным содержанием миоглобина, встречаются поперечные разрывы. Мышечные волокна созревают гетерохронно.

У **телок** прослойки эндомизия и перимизия в длиннейшей мышце спины увеличены, мышечные волокна в составе мышечных пучков утолщены. Поперечная исчерченность в волокнах видна лишь участками, структура саркомера нарушена. Сарколемма волокна двухслойная. Вокруг мышечных волокон скопления многочисленных миосателлитов. Волнообразных мышечных волокон достаточно большое количество. Вдоль центральной части саркоплазмы большинства мышечных волокон видны щелевидные полости, с отсутствием миофиб-

рилл. Поперечных разрывов волокон незначительное количество (рис. 3).

На 11-е сутки созревания образцы мышечной ткани претерпели следующие изменения: у **бычков** в длиннейшей мышце спины мышечные волокна набухшие, прослойки эндомизия и перимизия увеличены, структура соединительной ткани нарушена. В мышечных волокнах поперечная исчерченность не выражена, структура саркомера нарушена (рис. 4).

Однако видны продольно расположенные миозиновые миофибриллы. В центральной части волокон формируются значительные по объему полости с отсутствием миофибрилл. В ишемических участках мышц с пониженным содержанием миоглобина редко встречаются поперечные разрывы.

У **кастратов** в длиннейшей мышце спины большая часть мышечных волокон значительно набухшая, бледно-розового цвета (рис. 5).

Хорошо выражена поперечная исчерченность и структура саркомера, содержание миоглобина в саркоплазме понижено. Массовое образование разрывов поперек продольной оси мышечного волокна. В центральной части саркоплазмы большинства мышечных волокон визуализируются обширные, продольные полости. Волнообразные мышечные волокна встречаются единично. Мышечное волокно по структуре созревшее.

У **телок** в длиннейшей мышце спины большая часть мышечных волокон значительно набухшая, сарколемма истончена. Саркоплазма

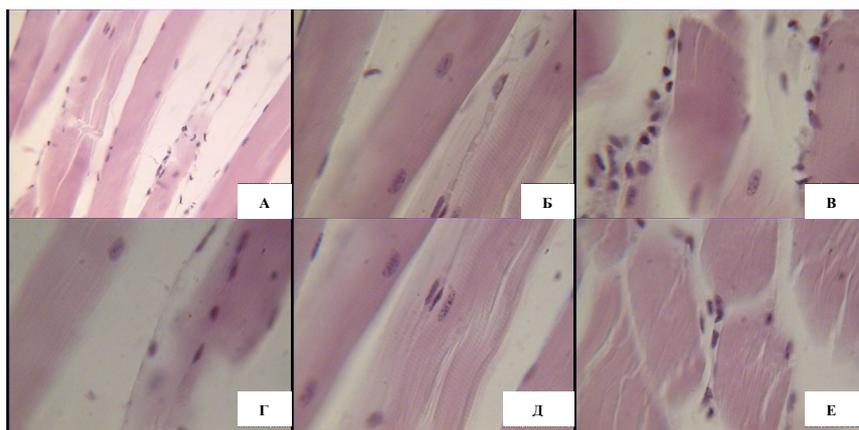


Рисунок 4. Длиннейшая мышца спины бычков калмыкской породы на 11-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; В; Г; Д; Е – значительно набухшие и волнообразные мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, местами лизирования внутренних структур волокна, с полостями исчезновения миофибрилл.

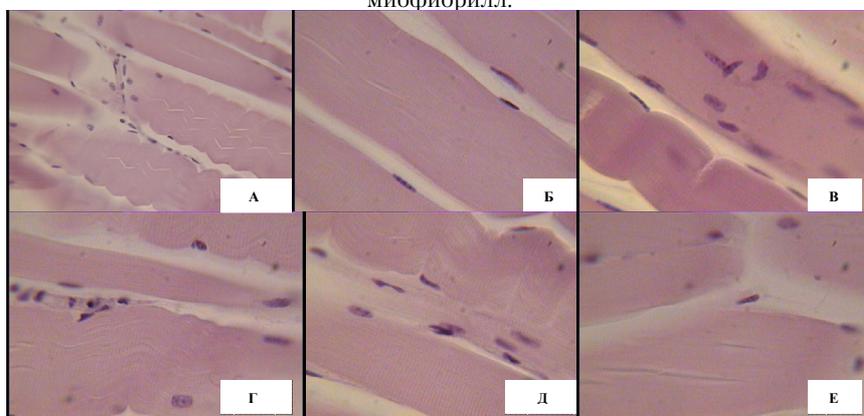


Рисунок 5. Длиннейшая мышца спины кастратов калмыкской породы на 11-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; Б; В; Г; Д; Е – значительно набухшие и волнообразные мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, местами лизирования внутренних структур волокна.

волокон бледная, полное отсутствие миоглобина. Массовое образование разрывов поперек продольной оси мышечного волокна. Ядра в саркоплазме уменьшены в объеме, уплотненные, выражено базофильные (рис. 6).

В местах нарушения целостности сарколеммы волокна масса ядер обнаруживается в эндомизии. Прослойки эндомизия и перимизия утолщены.

На 17-е сутки созревания образцы мышечной ткани претерпели следующие изменения: у **бычков** в длиннейшей мышце спины большая часть мышечных волокон имеет значительную степень набухания, структура сарколеммы сохранена. В саркоплазме не выражены комплексы миофибрилл и саркомеров. Поперечная исчерченность не видна. Массовое образование разрывов поперек продольной оси мышечного

волокон. Прослойки эндомизия и перимизия утолщены (рис. 7).

У **кастратов** в длиннейшей мышце спины в составе мышечных пучков волокна набухшие, продольно идущие миофибриллы хорошо видны. В мышечных волокнах поперечная исчерченность отсутствует, структура саркомера нарушена, истонченная сарколемма сохранена (рис. 8).

Прослойки эндомизия и перимизия увеличены. В отдельных участках мышечных волокон часто встречаются очаги ишемии и лизирования ядер и органелл. Редко образуются разрывы саркоплазмы поперек продольной оси мышечного волокна.

У **телок** в длиннейшей мышце спины в составе мышечных пучков волокна набухшие, сарколемма крайне истончена, местами отслаива-

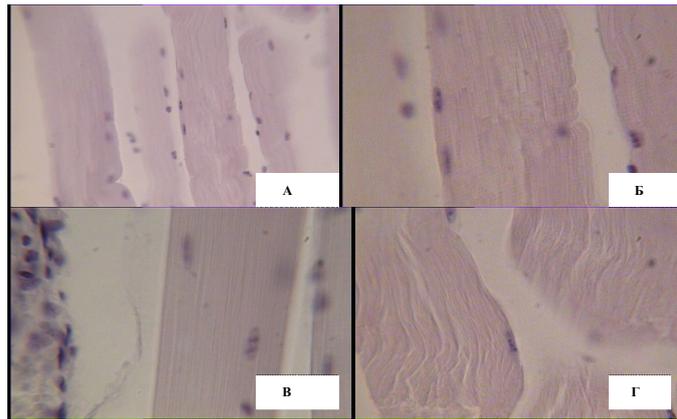


Рисунок 6. Длиннейшая мышца спины телок калмыкской породы на 11-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; Б; В; Г – значительно набухшие мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, разрушением структуры саркомера.

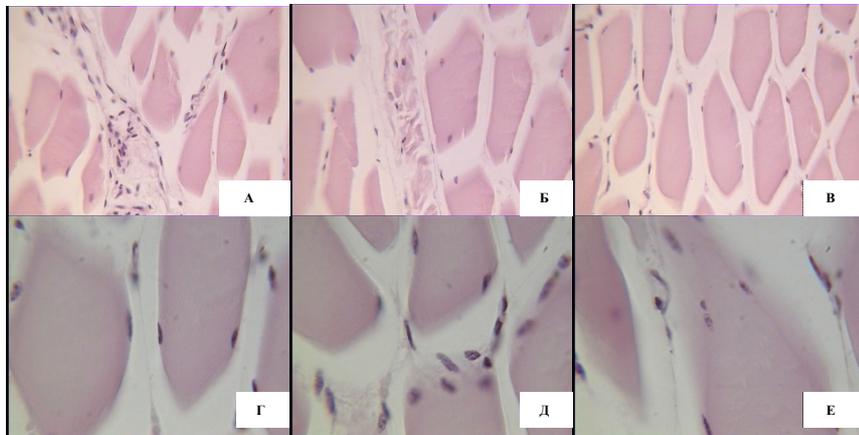


Рисунок 7. Длиннейшая мышца спины бычков калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б; В – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий, микрососуды, скопления миосателлитов; Г; Д; Е – значительно набухшие мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, разрушением структуры саркомера.

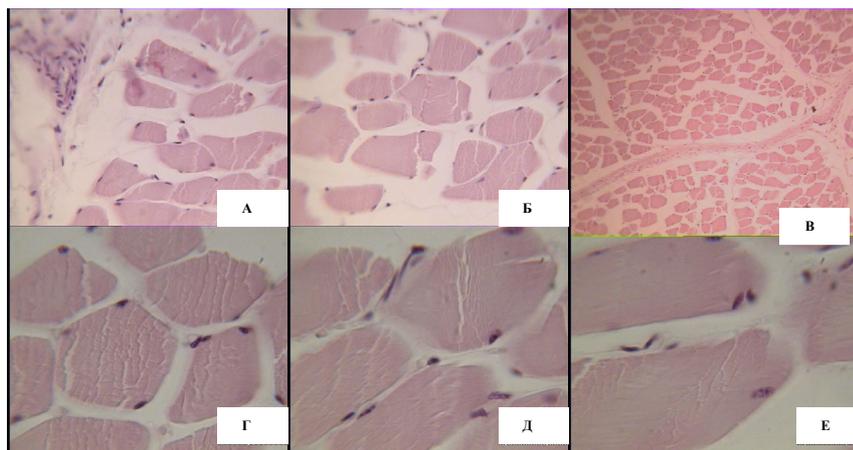


Рисунок 8. Длиннейшая мышца спины кастратов калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б; В – поперечные срезы мышечных волокон, перимизий и эндомизий; Г; Д; Е – значительно набухшие мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, разрушением структуры саркомера.

Таблица 1. Показатели гистоструктур длиннейшей мышцы спины крупного рогатого скота калмыкской породы (мкм)

Показатель	Мышцы																	
	телки						бычки						кастраты					
	7 дней		11 дней		17 дней		7 дней		11 дней		17 дней		7 дней		11 дней		17 дней	
	\bar{X}	Sx	X	Sx	\bar{X}	Sx	X	Sx	\bar{X}	Sx	X	Sx	\bar{X}	Sx	X	Sx	X	Sx
Диаметр мышечного волокна	32,89	5,88	20,7	8,35	26,8	6,61	30,4	3,48	22,7	4,92	38,4	17,5	23,1	3,86	25,8	8,22	38,0	14,3
Толщина перимизия	26,53	4,75	37,0	10,8	60,9	25,8	27,3	0,45	21,6	3,64	60,9	25,8	48,1	14,6	36,6	12,8	32,4	8,98
Толщина эндоизия	7,42	0,87	7,78	2,28	7,65	3,87	9,73	1,6	7,68	1,97	10,6	3,28	10,4	1,78	7,21	1,94	13,4	6,21
Толщина миозинового диска	0,71	0,15	0,53	0,15	0,59	0,08	0,82	0,26	0,55	0,13	0,35	0,07	0,62	0,13	0,56	0,09	0,55	0,17
Диаметр ядра мышечного волокна	4,44	0,25	5,51	0,45	4,65	0,41	4,82	0,25	4,73	0,98	4,94	0,93	3,69	0,85	4,24	0,46	3,44	1,08

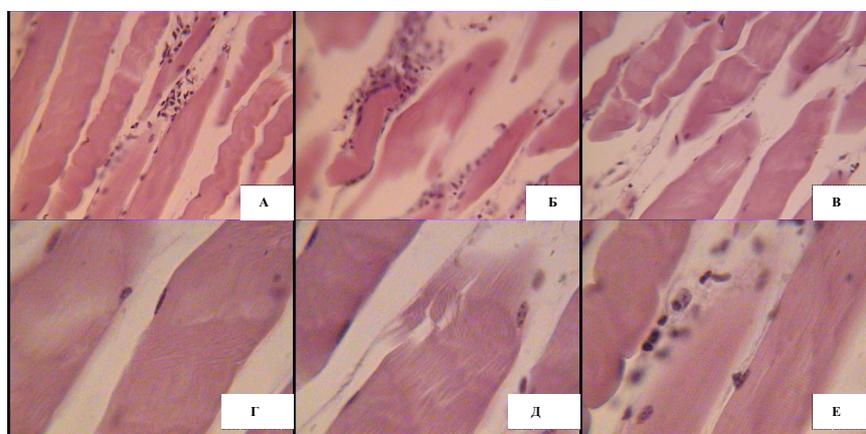


Рисунок 9. Длиннейшая мышца спины телок калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса. (Окрашивание: гематоксилин-эозином) А; Б; В – продольные срезы мышечных волокон, перимизий и эндоизий, скопления миосателлитов; Г; Д; Е – значительно набухшие мышечные волокна с разрывами саркоплазмы и сарколеммы, разрушением структуры саркомера.

ется от поверхности мышечного волокна вместе с ядрами (рис. 9).

Продольная структура миозиновых миофибрилл хорошо выражена. Центральная часть мышечного волокна имеет обширные полости, лишенные миофибрилл.

Поперечная исчерченность мышечного волокна не выражена, нарушена структура саркомера. Ядра мышечных волокон выражено базофильные. В мышечных волокнах встречаются участки лизирования ядер и органелл и ишемии.

Струшировав полученные морфометрические показатели длиннейшей мышцы спины I, II и III опытных групп по системно взаимосвязанным гистологическим элементам, мы подвергли их статистической обработке (табл. 1).

Проведя парный корреляционный анализ выявили, что у **бычков** на 17-е сутки созревания

мяса взаимосвязь структур широчайшей мышцы спины была на 60% отрицательной и 60% – несущественной. Относительный коэффициент парной корреляции был равен 0,8.

Достоверной являлась взаимосвязь толщины миозинового диска с толщиной эндоизия ($r=-0,75$) и с диаметром мышечного волокна ($r=-0,65$). Значимыми были взаимосвязи диаметра мышечного волокна с толщиной эндо- и перимизия (соответственно: $r=0,60$, $r=-0,56$).

Таким образом, у бычков калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса ведущими структурами в широчайшей мышце спины являются: толщина миозинового диска и диаметр мышечного волокна, которые высоко достоверно коррелируют с уровнем тканевого гомеостаза в области пери- и эндоизия мышечных пучков и обуславливают завершение ферментативных процессов в деградирующем волокне. При-

оритет представительства всех уровней взаимосвязей. Созревание мяса внутри мышечных волокон и их пучков полностью завершено.

У **кастратов** на 17-е сутки созревания мяса взаимосвязь структур широчайшей мышцы спины была на 50% отрицательной и 100% – несущественной. Относительный коэффициент парной корреляции был равен 0,74.

Значимой и отрицательной была взаимосвязь толщины миоинового диска с толщиной перимизия ($r=-0,46$). Остальные существенные связи отсутствовали.

Таким образом, у кастратов калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса в широчайшей мышце спины отсутствие значимых взаимосвязей между структурами свидетельствует о завершении ферментативных процессов на всех уровнях органа и начинающейся полной деградации структур. Видимо, процесс созревания мяса полностью завершается на 12-13-е сутки.

У **телок** на 17-е сутки созревания мяса взаимосвязь структур широчайшей мышцы спины была на 50% отрицательной и 70% – несущественной. Относительный коэффициент парной корреляции был равен 1,03.

Значимой являлась взаимосвязь диаметра мышечного волокна с толщиной эндоми-

зия ($r=0,74$) и с толщиной миоинового диска ($r=-0,72$).

Существенными были взаимосвязи толщины миоинового диска с толщиной эндомизия ($r=-0,63$) и перимизия ($r=-0,42$).

Таким образом, у телок калмыкской породы на 17-е сутки созревания мяса ведущими структурами в широчайшей мышце спины являются: диаметр мышечного волокна, толщина миоинового диска и толщина эндомизия, характеризующие стабилизацию ферментативных процессов в мышечных волокнах, клеточно-тканевую деградацию соединительнотканых прослоек мышцы. Созревание мяса и увеличение объема мышцы за счет процессов, происходящих как в мышечных волокнах, так и в эндо- и перимизии, полностью завершено. Видимо, процесс созревания мяса полностью завершается на 13-15-е сутки.

Таким образом, механизмы автолиза мяса у бычков, кастратов и телок различны и определяют сроки его созревания и изменения функционально-технологических свойств мяса.

При идентичной направленности гистологических изменений в процессе созревания тканей различных половозрастных групп лучшими качественными характеристиками обладали мышечные волокна образцов, полученных от кастратов.

Список использованной литературы:

1. Кузьмичева М.Б. Обеспечение эффективности товародвижения охлажденного мяса / М.Б. Кузьмичева // Мясная индустрия, 2009. – №1. – С. 4-7.
2. Донцова Н.Т. Качественные и безопасные продукты – основа здорового питания / Н.Т. Донцова, А.М. Сивачева, Т.П. Ниценко, Н.Н. Машкова // Мясная индустрия, 2009. – №2. – С. 20-23.
3. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
4. Гиллеспи А. Наука о мясе и мясных продуктах / перевод с английского А.К. Искондаряна и Ф.Н. Чебуньковой. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 392 с.
5. Павловский, П.Е. Биохимия мяса: уч. изд. / П.Е. Павловский, В.В. Пальмин. – М.:Изд-во «Пищевая промышленность», 1975. – 343 с.
6. Месхи, А.И. Биохимия мяса, мясопродуктов и птицепродуктов: уч. изд. / А.И. Месхи. – М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1984. – 280 с.
7. Скалинский, Е.И. Микроструктура мяса / Е.И. Скалинский, А.А. Белоусов. – М.: Пищевая промышленность, 1978.

Smorodin A.V., Miroshnikova E.P., Abramova L.L. MORPHOLOGY OF STRUCTURAL CHANGES IN MUSCLE TISSUE AT MEAT MATURATION

This article is devoted to the study of histological changes in the muscle tissue structure at autolysis of meat raw materials derived from cattle of different age-groups. These data allow making conclusions about the best qualitative changes of spado's tissue during the process of ripening compared with the tissues of bulls and heifers.

Key words: muscle fiber, ripening, sarcomere structure, histological changes.

Сведения об авторах: Смородин Алексей Валерьевич аспирант Оренбургского государственного университета 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13. Тел.89225392136, e-mail: aleksei-smorodin@mail.ru

Мирошникова Елена Петровна доктор биологических наук, профессор кафедры технологии переработки молока и мяса Оренбургского государственного университета 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13. Тел. (3532)314266, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Абрамова Людмила Леонидовна доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой анатомии, патанатомии и гистологии Оренбургского государственного аграрного университета 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13. Тел. (3532)775461, e-mail: anatom.OSAU@mail.ru