

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОДКОЖНОГО САЛА КИТА- ФИНВАЛА ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ СПОСОБАХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЖИРА

Инженер-технолог А. Н. ГОЛОВИН

Одним из источников получения животных жиров является подкожное сало морских млекопитающих.

В настоящее время жир из сала китов получают в основном термическим методом (мокрым, сухим и вакуумным способами). Поэтому освоение и частичное внедрение в производство механического метода получения жира (прессового и импульсного способов) не снимает вопрос о необходимости дальнейшего совершенствования технологии процесса переработки сала термическими способами, а также изучения и теоретического обоснования механизма процесса выделения жира.

В настоящее время имеются различные взгляды на механизм извлечения жира из жирсодержащего сырья животного происхождения.

Проф. В. В. Колчев [4] объясняет механизм процесса выделения жира из жирсодержащего сырья, рыб и морских животных, исходя из основных положений гидратационной теории проф. А. М. Голдовского.

Положения гидратационной теории пытались применить для объяснения сущности вытопки жира из животного сырья канд. техн. наук С. Г. Либерман и инж. В. П. Петровский [7].

Проф. А. А. Манербергер и канд. техн. наук Е. Ф. Миркин [7] доказали невозможность применения гидратационной теории проф. А. М. Голдовского для объяснения сущности процесса выделения жира из сала наземных животных, так как природа и структура животного и растительного сырья различны. По их мнению, полное выделение жира из животного сырья можно достигнуть лишь в случае разрушения его структуры. Разрушение структуры сырья происходит в основном в период термической обработки его, а предварительное обводнение сырья лишь облегчает этот процесс, так как при поглощении воды уменьшается прочность коллагеновых волокон.

Поскольку сало китов отличается по структуре и химическому составу от сала наземных животных и растительного сырья, нами были проведены опыты с целью выяснения возможности использования основных положений гидратационной теории проф. Голдовского для объяснения механизма выделения жира из китового сала.

В работе особое внимание было обращено на изучение изменения структуры сала при различных способах и режимах извлечения жира, так как мы полагали, что это даст возможность более правильно выявить механизм процесса выделения жира и установить оптимальный режим переработки сала.

Строение кожного покрова китообразных изучали М. М. Слепцов [11], В. Е. Соколов [13], Раччу [20], и другие. Однако в работах указанных авторов кожа китообразных рассматривается в нативном состоянии. Сведений о структурных изменениях сала китов после термической обработки в литературе не имеется.

ГИСТОЛОГИЯ САЛА-СЫРЦА

При гистологическом исследовании сала-сырца нами были поставлены следующие задачи:

1) выяснить, в каком состоянии находится жир в сале и каким образом распределяется в нем;

2) установить размер и форму жировых включений;

3) установить природу, расположение и состояние белкового вещества.

Сало антарктического кита-финвала, добытого АКФ «Слава» в промысловый рейс 1954/55 г., исследовали по методике, указанной в следующих руководствах: Б. Ромейс [10], Г. В. Ясвин [15] и других. Срезы изготавливали на замораживающем микротоме.

В качестве плазматического красителя, как показали опыты, целесообразно использовать спиртовой раствор судана III.

Окраска ядер осуществлялась гематоксилином по Караччи. Во время окрашивания ядер жировых клеток происходило окрашивание в синий цвет пучков коллагеновых волокон.

Окрашивание срезов по методу Ван-Гизона позволило не только установить расположение и строение основного белкового вещества, но и решить вопрос о клейдающей природе его.

Исследования показали, что сало финвала состоит из трех слоев: эпидермиса, дермы и подкожной жировой клетчатки (рис. 1). Морфология указанных слоев резко различна. В эпидермисе отчетливо видны два слоя: наружный, толщина которого составляет 0,15 мм, и шиповатый толщиной 1,85—2,85 мм. В нижней части эпидермиса имеются многочисленные ячеи, в которые входят выросты дермы — дермальные сосочки. Глубина ячей, а следовательно, и высота дермальных сосочков различны (рис. 2).

Рис. 1. Строение сала финвала:
1—наружный слой эпидермиса; 2—шиповатый слой эпидермиса; 3—сосочковый слой дермы; 4—подсосочковый слой дермы; 5—подкожная жировая клетчатка.

Дермальная часть сала состоит из тонкого слоя (0,8—1,0 мм) плотно переплетающихся между собой пучков коллагеновых волокон, средний диаметр которых 0,0325 мм, и сосочков, поднимающихся от этого слоя в ячеи эпидермиса.

Если в дермальных сосочках пучки коллагеновых волокон расположены вертикально или немного наклонно, то в подсосочковом слое дермы они имеют почти горизонтальное положение. В ячеях эпидер-

миса, кроме пучков коллагеновых волокон, встречаются в небольшом количестве сравнительно небольших размеров жировые клетки; максимальный диаметр их—0,0785 мм.

По мере удаления от дермы размер и расположение тканевых элементов меняются. Диаметр пучков коллагеновых волокон увеличивается, количество их значительно уменьшается и они принимают более вертикальное положение. Одновременно увеличивается количество и размер жировых клеток.

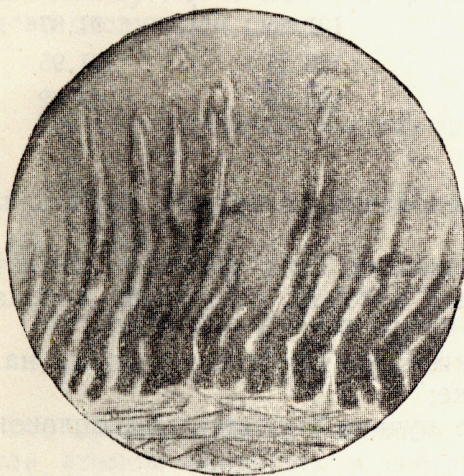


Рис. 2. Расположение дермальных сосочков в нижней части эпидермиса.

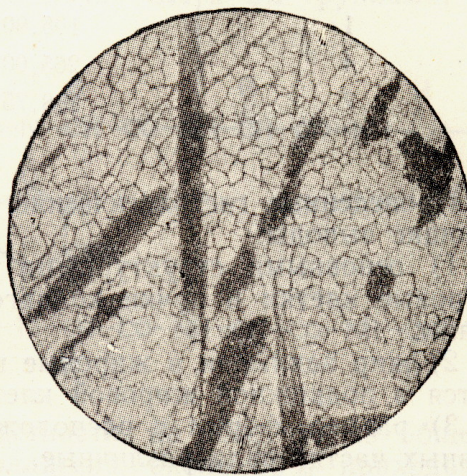


Рис. 3. Вид пучков коллагеновых волокон.

Таким образом, дермальная часть кожи переходит в подкожную жировую клетчатку. В подкожной жировой клетчатке, в зависимости от участка, расположение, форма и размер пучков, коллагеновых волокон и жировых клеток различны.

В верхнем и среднем слоях пучки коллагеновых волокон находятся на значительном расстоянии один от другого, причем они имеют прямолинейный вид и почти вертикальное положение; толщина пучков на всем протяжении одинаковая 265 μ (рис. 3). Пучки состоят из отдельных волокон, имеющих синусообразный вид. Внутри пучка отчетливо видны ядра в виде небольших веретенообразных палочек, расположенных вдоль пучка. Учитывая имеющиеся в настоящее время данные о биологии коллагеновых пучков, есть основание предполагать, что эти ядра принадлежат «бывшим» фибробластам.

Ближе к подкожной мускулатуре, то есть в нижнем слое, пучки коллагеновых волокон принимают более горизонтальное положение, утрачивают прямолинейность и равномерность толщины.

Меняются также количество, величина и форма жировых клеток. Основная масса последних сосредоточена в той части подкожной клетчатки, где пучки коллагеновых волокон имеют вид ровных «стержней» (в верхнем и среднем слоях). Клетки полиморфной формы, но большинство имеет форму пятигранников и шестигранников. Внутри клеток у самых оболочек отчетливо видны ядра в виде коротких с овальными концами палочек. Остальной объем занят жиром, находящимся в клетке в виде одной капли.

В нижних слоях подкожной жировой клетчатки количество жировых клеток значительно меньше ввиду того, что большая часть пространства занята сильно дифференцированными коллагеновыми пучками. Объем жировых клеток немного уменьшился. Форма их в нижней

части подкожной жировой клетчатки слегка продолговатая. Размеры основных тканевых элементов, в зависимости от расположения их по высоте подкожного слоя сала, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Расстояние от нижней границы эпидермиса в см	Диаметр пучков коллагеновых волокон в μ	Диаметр жировых клеток в μ	
		наибольший	наименьший
1	105,00	131,25	91,87
4	265,00	166,25	131,95
7	288,75	105,00	65,62

Проведенные гистологические исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) основными структурными элементами сала финвала являются жировые клетки и пучки коллагеновых волокон, создающие «каркас» ткани;

2) жир заключен в жировые клетки, основная масса которых находится в подкожной жировой клетчатке;

3) размер, форма и расположение пучков коллагеновых волокон в разных частях сала различные.

В верхней и средней части подкожной жировой клетчатки, где сосредоточена основная масса жира, пучки коллагеновых волокон имеют вид ровных «стержней», расположенных под разными углами друг к другу.

Ввиду того, что основным белком в сала является коллаген (более 80% всех белков), есть основание полагать, что именно он и является «рабочим элементом» в период выделения жира. Исходя из этого представляет интерес более полно ознакомиться с его строением и свойствами.

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КОЛЛАГЕНА

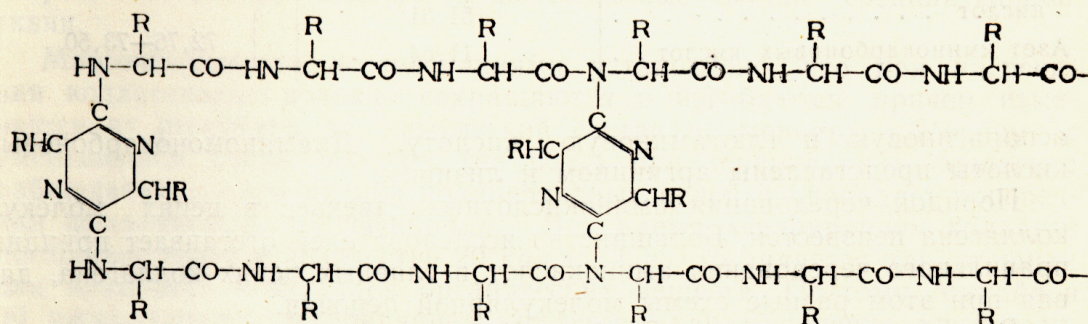
В настоящее время нет единого взгляда относительно механизма образования коллагеновых волокон. Некоторые авторы [1] считают, что указанные волокна развиваются при участии зародышевых клеток фибробластов слизистой ткани. Предполагается, что волокна возникают в клетках из протоплазмы, но затем отщепляются и теряют связь с клетками. Другие [12] предполагают, что образование коллагена в организме связано с расщеплением и окислением первичных белков, так как в его составе содержится больше кислорода. Не имеется также полного представления о строении молекулы коллагена. По современным данным, молекула коллагена состоит из остова в виде полипептидной цепи и боковых цепей. Скелет полипептидной цепи состоит из соединенных между собой пептидных группировок ($\text{NH} \cdot \text{CH} \cdot \text{CO}$), длина которых равняется 2,8—2,9 $\text{\AA}$.

В зависимости от вида белка, местонахождения его в организме и состояния пептидная цепь может находиться в сжатом или растянутом виде; в выпрямленном состоянии она имеет зигзагообразную форму. Боковые цепи располагаются соответственно чередованию пептидных группировок попеременно то сверху, то снизу плоскости основной пептидной цепи; длина цепей может быть различная, толщина принимается равной 4,6 $\text{\AA}$.

Относительно соединения отдельных полипептидных цепей в белковой молекуле существует несколько рабочих гипотез. Михайлов [8]

указывает, что связь между аминокислотами в боковых цепях осуществляется за счет свободных карбоксильных и аминных групп по типу $R_1NH_3^+ \cdots OOCR_2$ (электровалентная связь). При этом сила воздействия между зарядами обратно пропорциональна диэлектрической постоянной среды, в которой находится белок. В воде эта связь значительно уменьшается, а в ее отсутствии обладает энергией 100 ккал/моль.

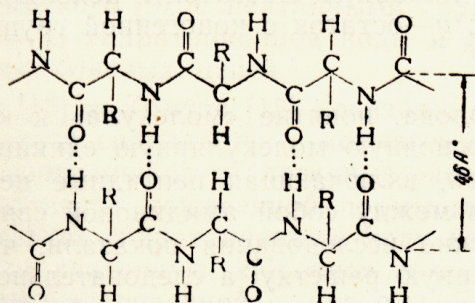
Большинство исследователей считает, что основным видом связи между полипептидными цепями и боковой цепью является водородная связь между NH и CO, а возможно, и между CH и CO группами, согласно следующей схеме:



Это предположение основано, в частности, на том, что из общего числа атомов, входящих в состав коллагена, около 50% приходится на водород.

По мнению Зелинского и Гаврилова [3], полипептидные цепи могут быть связаны α -амидиновой связью, которая образуется между дикетопиперазиновыми циклами, расположенными в боковых цепях, и пептидными группами смежных полипептидных цепей.

Согласно дикетопиперазиновой теории строения белка, выдвинутой Зелинским и Гавриловым, белковые молекулы состоят из отдельных, связанных между собой микроструктур, построенных из циклических группировок с присоединенными к ним ответвлениями из пептидов небольшой длины (три- и тетрапептиды). Исходя из этой теории, возникло наиболее реальное из существующих представление о строении макромолекулы белка, предполагающее наличие полипептидно-дигидропиперазиновой структуры, в которой пептидные цепи, состоящие из звеньев трипептидов, связаны дигидропиперазиновыми циклами по следующей схеме:



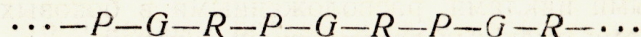
Работами отечественных и зарубежных исследователей — Чернова [14], Левашовой [6], Ninohe [19] установлено (табл. 2), что большинство аминокислот, содержащихся в коллагене, относится к моноаминомонокарбоновым кислотам, из которых значительная доля принадлежит гликокоllu. В значительном количестве найдены также пролин и оксипролин. Из числа моноаминодикарбоновых кислот следует отметить

Формы азота	Содержание в % от общего азота коллагена	
	кашалота (по данным Левашовой [6])	синего кита (по данным Ninche [19])
Азот аммиака	5,26	3,64—4,43
Азот гумина	0,42	0,68—1,16
Общий азот диаминокарбоновых кислот	25,65	20,9—22,2
Азот моноаминомонокарбоновых кислот	51,31	} 72,76—73,50
Азот иминокрбоновых кислот	11,64	

аспарагиновую и глутаминовую кислоту. Диаминомонокарбоновые кислоты представлены аргинином и лизином.

Порядок чередования аминокислотных звеньев в цепях молекул коллагена неизвестен. Большинство исследователей отстаивает принцип правильного чередования аминокислот в главных цепях коллагена, давая при этом разные схемы молекулярной цепочки.

Расчеты, проведенные Эстбери [16] на основании работ Бергмана и Нимана [17], показали, что последовательность чередования аминокислот в желатине выражается следующими цифрами: гликоколл (глицин) — 3, пролин 6, оксипролин 9, аланин 9, аргинин 18, лейцин 18, лизин 24. В связи с этим Эстбери предложил следующую схему чередования аминокислот в молекуле коллагена:

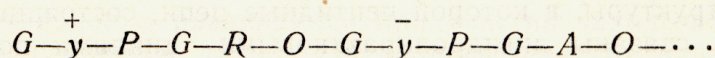


где: P — пролин или оксипролин;

G — глицин;

R — любой из других остатков.

Соколов [13] внес в указанную схему ряд дополнений, в результате которых схема получила следующий вид:



где: G — глицин; A — аланин; R — остаток с неполярной группой; O — остаток с оксигруппой; y — остаток с ионогенной группой: $(+)$ — основной или $(-)$ — кислотной.

По мнению Соколова, понятие «молекула» к коллагену не применимо и условно за основную молекулярную единицу принимается цепь главных валентностей, включающая пептидные цепочки и дегидропиперазины, связанные между собой амидиновой связью.

Рентгенографические исследования показали, что «молекула» коллагена имеет трехмерную решетку, а следовательно, три основных размера: $4,6 \text{ \AA}$, $8,4 \text{ \AA}$ и $11,3 \text{ \AA}$.

Изучение микроструктуры коллагена при помощи электронного микроскопа позволило установить размеры первичных структурных элементов — протофибрилл. Диаметр последних колеблется от $300 \text{ \AA}$ (для светлых зон) до $560 \text{ \AA}$ (для темных зон); длина светлых и темных зон составляет соответственно $550 \text{ \AA}$ и $850 \text{ \AA}$.

Протофибриллы имеют поперечную исчерченность, вызванную правильным чередованием светлых и темных зон, и обладают большой

эластичностью, причем светлые зоны удлиняются сильнее темных. Природа указанных зон до настоящего времени точно не установлена.

Работы Зайдес и Пупко [2] не подтвердили предположение Соколова [13] о том, что в темных зонах полипептидные цепи имеют складчатость.

Современные данные позволяют представить механизм построения молекулы коллагена следующим образом: химические элементы образуют длинные пептидные цепи, имеющие ширину $10 \text{ \AA}$ и толщину $15 \text{ \AA}$; соединяясь, цепи образуют протофибриллы, совокупность которых и составляет первичное волокно коллагена, диаметр которого равняется $10 \text{ \mu}$; первичные волокна образуют сложное волокно диаметром $100\text{--}200 \text{ \mu}$, входящее в коллагеновые пучки соединительной ткани.

Многочисленными исследованиями установлено, что при нагревании коллагеновые волокна сокращаются и изгибаются, причем изменяется их структура, но химический состав не меняется. Наряду с уменьшением длины волокон (на 60%) при «сваривании» коллагена наблюдается дезориентация полипептидных цепей и пропадает поперечная исчерченность протофибрилл. Во время «сваривания» коллаген поглощает тепло в количестве 20 кал на 1 г , что является характерным для плавления кристаллов органических веществ. Поэтому Михайлов [8] рассматривает «сваривание» коллагена как плавление кристаллического тела.

Изменение коллагена при нагревании зависит от содержания в нем воды. При полном насыщении водой коллаген сваривается при температуре $60\text{--}70^\circ$.

С уменьшением обводненности температура сваривания коллагена повышается.

При нагревании воздушно-сухого коллагена до 130° уменьшается прочность размоченных образцов и теряется способность восстанавливать первоначальную длину, возрастает устойчивость к действию ферментов. Однако признаков «сваривания» не наблюдается. Кутянин [5] отмечает, что «сваривание» абсолютно сухого коллагена происходит при температуре $210\text{--}225^\circ$.

По данным Михайлова [8], при обводнении коллагена в результате присоединения к нему связанной воды происходит выделение тепла и уменьшается объем системы «коллаген + вода». При удалении связанной воды из коллагена рентгенограмма последнего меняется. Четкая рентгенограмма коллагена получается только при влажности $13\text{--}15\%$.

По данным Пасынского [9], с пептидными группами основной цепи белка связано около $\frac{2}{3}$ гидратационной воды и лишь $\frac{1}{3}$ ее связана с полярными группами боковых цепей.

Работы Астбери [16] и Комтон [18] показали, что не вся гидратационная вода одинаково связывается с коллагеном. К этому же выводу пришла Зайдес, проводившая аналогичные работы в ЦНИКП (Центральный научный институт кожевенной промышленности).

Астбери подразделяет гидратационную воду коллагена на «прочно» связанную и «рыхло» связанную. «Прочно» связанной воды содержится меньше, чем «рыхло» связанной.

От содержания связанной воды зависят многие свойства белка (например, способность к набуханию, «свариванию» и др.). Увеличивая или уменьшая количество связанной воды в белке, и в частности в коллагене, можно изменять его свойства и регулировать изменения структуры, что очень важно при проведении процесса жиروتопления.

Нами были проведены опыты по определению содержания связан-

ной воды в подкожном сале финвала. Определения проводились методом прессования. Результаты опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Объект исследования	В % от веса сухого вещества		
	общее количество воды	свободная вода	связанная вода
Подкожное сало финвала толщиной не менее 8 см	229,00	168,08	59,92
То же, толщина менее 8 см	203,00	151,54	51,46
Среднее	216,00	160,31	55,69

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ САЛА ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Для выявления роли воды в процессе выделения жира сало финвала обрабатывали мокрым, сухим и вакуумным способами при температуре 50, 65, 100 и 120°.

При выделении жира мокрым способом к салу предварительно добавляли воду в количестве 25, 50 и 100% от его веса.

При вакуумном способе из сала предварительно удаляли установленное для данного опыта количество воды при температуре 46,5° и вакууме 680 мм рт. ст., после чего массу нагревали до требуемой температуры. При сухом способе извлечения жира сало никакой предварительной обработке не подвергалось.

Во всех случаях для выделения жира брали сало, нарезанное кусочками размером ~2,0 см по трем измерениям. Длительность термической обработки сала, считая с момента установления требуемой температуры, составляла 60 минут.

Выход жира, полученный при указанных способах обработки сала, показан в табл. 4.

Таблица 4

Температура в °С	Выход несепарированного жира в % от содержания его в салe при разных способах обработки						
	мокрый			сухой	вакуумный		
	добавлено воды в % к весу сала				удалено воды, содержащейся в салe в %		
	25	50	100		25	50	75
50	28,5	22,8	18,3	36,5	69,3	74,5	65,7
65	48,6	43,4	37,7	59,6	70,5	80,7	73,7
100	61,4	56,5	51,0	72,9	80,0	87,7	76,2
120	68,6	62,5	54,5	82,2	87,7	91,2	88,0

После термической обработки для гистологических исследований отбирали кусочки сала, ранее вырезанные из средних слоев, то есть на расстоянии 4 см от нижней границы эпидермиса.

Изготовление срезов из образцов сала и их обработка осуществлялись таким же образом, как при исследовании сала-сырца.

При исследовании сала, подвергнувшегося термической обработке, основное внимание было обращено на состояние жировых клеток и пучков коллагеновых волокон.

Опыты выделения жира мокрым способом. Нагревание при температуре 50° при условии добавления к салу 25, 50 и 100%

воды не вызвало значительных структурных изменений в сале. Пучки коллагеновых волокон и жировые клетки сохранялись хорошо. В коллагеновых пучках были отчетливо видны волокна и ядра; хорошо были видны ядра и в жировых клетках. Незначительное разрушение жировых клеток и концентрация свободного жира наблюдались лишь в поверхностных слоях кусочков сала (рис. 4). На микрофотографиях пучки коллагеновых волокон обозначены буквой *к*, а жир буквой *ж*.

В процессе обработки при температуре до 65° в структуре сала произошли существенные изменения. В поверхностных слоях кусочков сала наблюдалось большое количество разрушенных жировых клеток и большое скопление свободного жира. Оболочки разрушенных жировых клеток отсутствовали и можно предполагать, что они переходят в состав эмульсии. Во внутренних слоях кусочков сала значительное количество жировых клеток сохранилось в целом виде, однако форма их сильно изменилась.

Большинство пучков коллагеновых волокон, расположенных во внутренних слоях кусочков, сохранили свою форму, но в некоторых пучках структура изменилась в связи с образованием глютена. Последним объясняется наличие разрушенных участков жирсодержащей ткани в местах соединения пучков коллагеновых волокон с жировыми клетками.

Следует отметить, что при температуре 65° в случае добавления к салу 100% воды структурные изменения оказались менее сильно выражены, чем в случае добавления 50% и 25% воды (рис. 5).

Изменение сала при температуре 100° (рис. 6) оказалось особенно резким в случае добавления 25% воды. Форма и объем большинства жировых клеток, расположенных в поверхностных слоях и внутри кусочка сала, изменились. Наблюдалось образование эмульсии; значительное количество свободного жира скопилось в поверхностных слоях кусочка.

В пучках коллагеновых волокон четкое изображение отдельных волокон пропадает и прямолинейность пучков нарушается. Во многих местах взаимосвязь между видоизмененными структурными элементами нарушена, чем и объясняется распад жирсодержащей ткани.

При добавлении к салу 50 и 100% воды во внутренних слоях кусочков жировые клетки сохраняются лучше (рис. 6).

Обработка сала при температуре 120° вызывает своеобразные изменения его структурных элементов. Жировые клетки разрушаются полностью, независимо от количества прибавленной к салу воды. Пучки коллагеновых волокон «свариваются» и теряют в значительной степени способность превращаться в глютин (рис. 7).

Опыты выделения жира сухим способом. Изменение структурных элементов сала при температуре 50° выражено слабо. Основная масса жировых клеток, особенно расположенных во внутренних слоях кусочка сала, сохраняется. Частичное разрушение жировых клеток наблюдается в поверхностном слое кусочка и в местах соединения с промежуточным веществом. Значительное количество свободного жира находится у поверхности кусочка.

Хорошо сохраняются и пучки коллагеновых волокон. В них отчетливо видны волокна и ядра, что указывает на отсутствие явления «сваривания» (рис. 8,а).

Нагревание сала при температуре 65° сопровождается существенным изменением его структуры. У значительного числа жировых клеток оболочки разрушаются, а у оставшихся целыми жировых клеток сильно изменяется форма. Большие скопления свободного жира сосредоточены в поверхностных слоях кусочка сала.

Изменяется также форма и структура пучков коллагеновых воло-

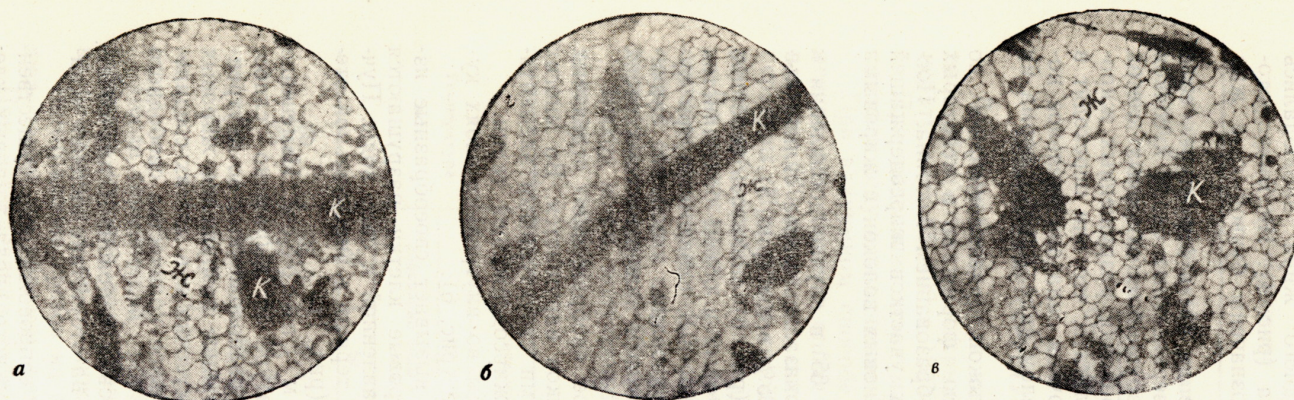


Рис. 4. Структура сала после обработки мокрым способом при температуре 50°. К салу добавлено воды: а—25%; б—50%; в—100%.

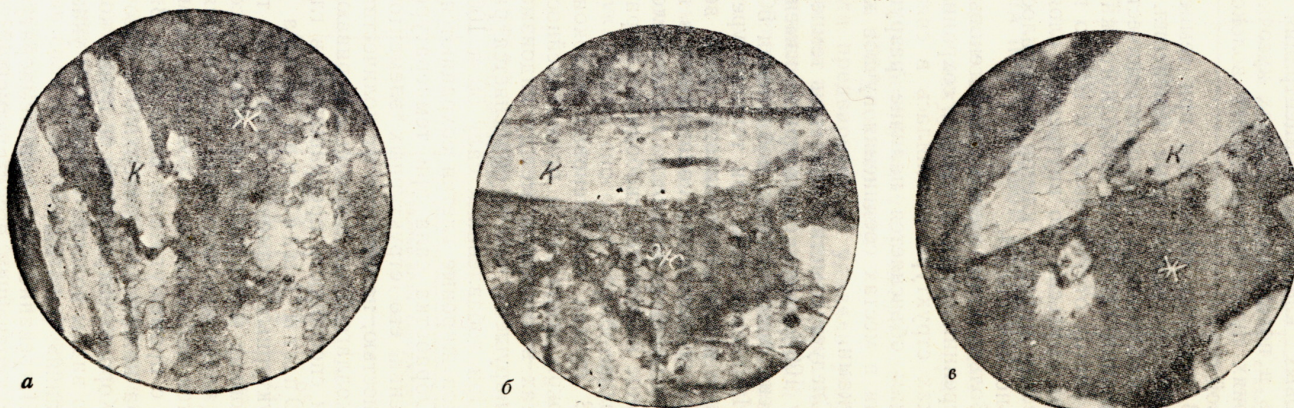


Рис. 5. Структура сала после обработки мокрым способом при температуре 65°. К салу добавлено воды: а—25%; б—50%; в—100%.

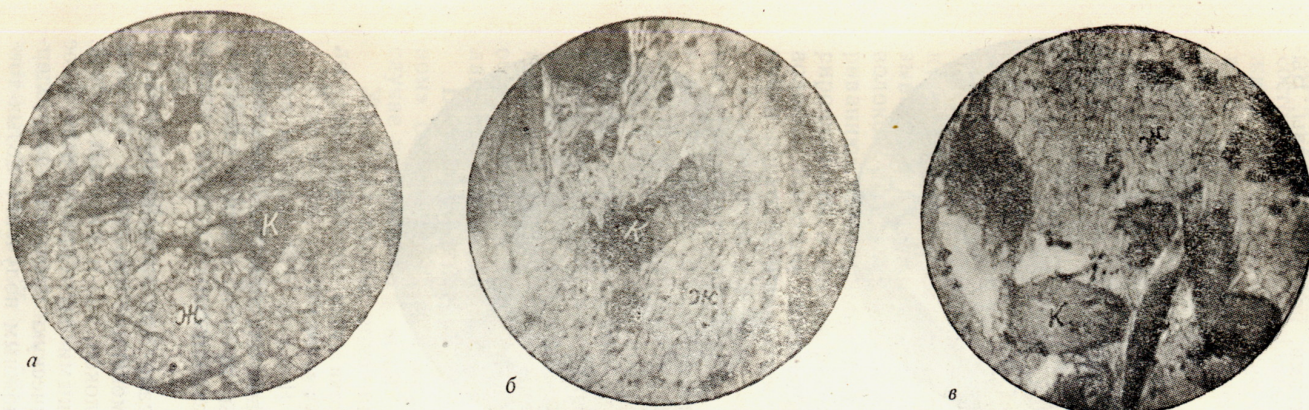


Рис. 6. Структура сала после обработки мокрым способом при температуре 100°. К салу добавлено воды: а—25%; б—50%; в—100%.

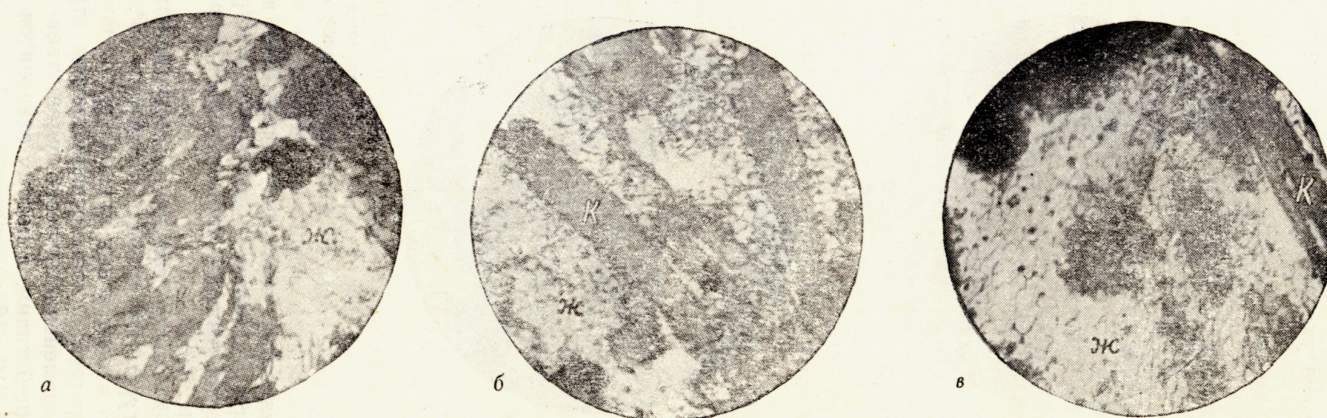


Рис. 7. Структура сала после обработки мокрым способом при температуре 120°. К салу добавлено воды: а—25%; б—50%; в—100%.

кон. В результате «сваривания» коллагена пучки резко сокращаются по длине.

Если в сале-сырце площадь, занимаемая жировыми клетками, превышает площадь, занимаемую пучками коллагеновых волокон, то в «шкваре», полученной после вытопки сала при 65°, площади, занимаемые указанными структурными элементами, почти одинаковы. Вы-

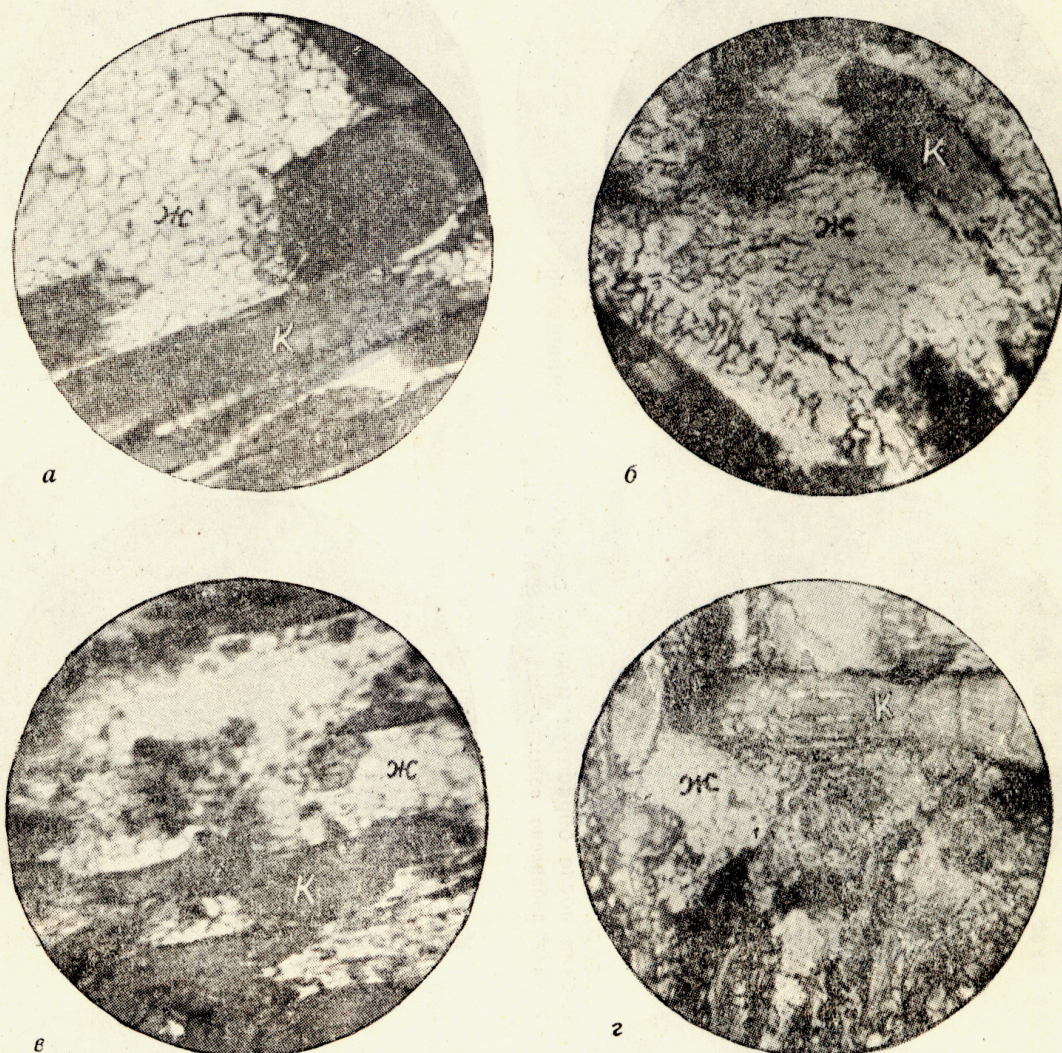


Рис. 8. Структура сала после обработки сухим способом:
а—при 50°; б—при 65°; в—при 100°; г—при 120°.

равнивание площадей происходит вследствие значительного выделения жира, вызванного изменением структуры промежуточного вещества. С этим связано и изменение формы оставшихся жировых клеток (рис. 8,б).

Характер структурных изменений в сале при воздействии температуры 100° тот же, что и при 65°, но изменения выражены сильнее. Это касается как пучков коллагеновых волокон, так и жировых клеток. Нарушение взаимосвязи между структурными элементами, вызванное их изменением, резко уменьшает механическую прочность жиродержащей ткани, а потому становится невозможным получение целых тонких (10—15 μ) срезов.

Большая часть объема кусочков занята «сваренным» коллагеном. В пространстве между «сваренными» коллагеновыми пучками находятся разрушенные оболочки жировых клеток с оставшимся в них

жиром. Форма оставшихся целых жировых клеток изменилась (рис. 8,в).

При температуре 120° в структуре сала происходят очень глубокие изменения. Жировые клетки оказались разрушенными, а пучки коллагеновых волокон «сваренными». В пространстве между коллагеновыми пучками находятся в небольшом количестве жировые включения, состоящие из разрушенных оболочек жировых клеток и свободного жира. Наблюдаются многочисленные разрывы жировой ткани как в области скопления измененных жировых клеток, так и в местах соединения их с пучками коллагеновых волокон. Это указывает на полную потерю механической прочности структурными элементами сала (рис. 8,г).

Опыты выделения жира вакуумным способом. Кусочки сала, из которых предварительно было удалено 25% воды, после часового нагревания при 50° незначительно изменяли свою форму и объем. Поверхность кусочков стала шероховатой, что является следствием значительного обезвоживания пучков коллагеновых волокон, расположенных в поверхностных слоях.

Пучки коллагеновых волокон, расположенные во внутренних слоях кусочка, становятся изогнутыми и значительно утолщаются, что указывает на явление «сваривания». В то же время пучки коллагеновых волокон, расположенные в поверхностных слоях, не подвергаются «свариванию». Они приобретают только более отчетливо выраженную гофрированность, а иногда распадаются на отдельные волокна или группы волокон, имеющие зигзагообразную форму. Кроме того, поверхностные пучки плохо окрашиваются.

Большинство жировых клеток, особенно расположенных в поверхностных слоях, разрушены. Скопление свободного жира наблюдается в местах расположения частично обезвоженных пучков коллагеновых волокон (рис. 9,а).

При удалении 50% воды характер структурных изменений аналогичен наблюдающимся при удалении 25% воды. Однако в этом случае обезвоживанию подвергаются пучки коллагеновых волокон, расположенные в более глубоких слоях, ввиду чего «жировое кольцо», охватывающее кусочек сала, значительно шире. В области расположения обезвоженных, слабо окрашивающихся, «гофрированных» пучков коллагеновых волокон жировые клетки разрушены полностью.

Большинство пучков коллагеновых волокон находится в «сваренном» состоянии, причем «сваривание» выражено более сильно, чем в случае удаления 25% воды.

Жировых клеток, сохранивших свое первоначальное состояние, мало (рис. 9,б).

Еще более глубокие структурные изменения происходят при удалении из сала 75% воды. В данном случае в результате потери воды диаметр всех пучков коллагеновых волокон резко уменьшен (с 265 м до 52,5—87,5 м). Большинство жировых клеток разрушено. Вследствие указанных изменений почти полностью нарушена структура ткани сала.

Вокруг обезвоженных и изменивших форму пучков коллагеновых волокон расположено значительное количество свободного жира (рис. 9,в).

Характер структурных изменений, происходящих в сала при вытапливании из него жира при температуре 65°, в случаях предварительного удаления 25% и 50% воды аналогичен происходящим при температуре 50°. Следует, однако, отметить, что при температуре 65° явление «сваривания» пучков коллагеновых волокон выражено сильнее, причем этот процесс наблюдается и у части пучков коллагеновых волокон, расположенных в поверхностных слоях, а следовательно ча-

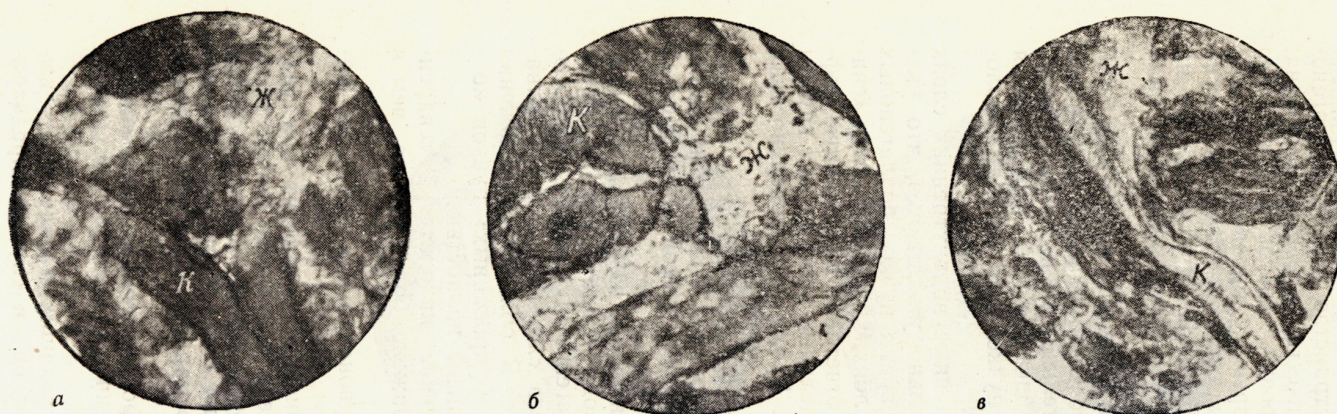


Рис. 9. Структура сала после обработки вакуумным способом при температуре 50°.
Удалено воды из сала: а—25%; б—50%; в—75%.

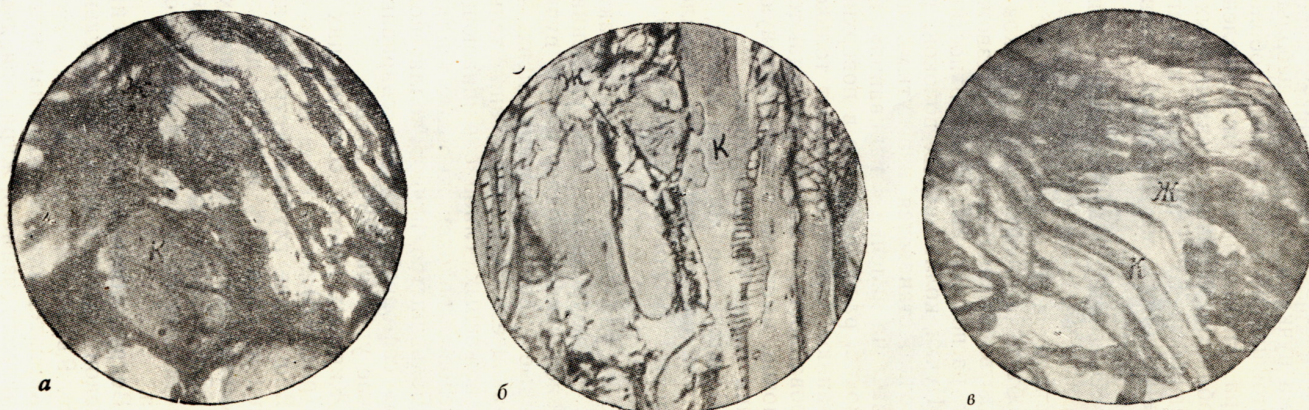


Рис. 10. Структура сала после обработки вакуумным способом при температуре 65°.
Удалено воды из сала: а—25%; б—50%; в—75%.

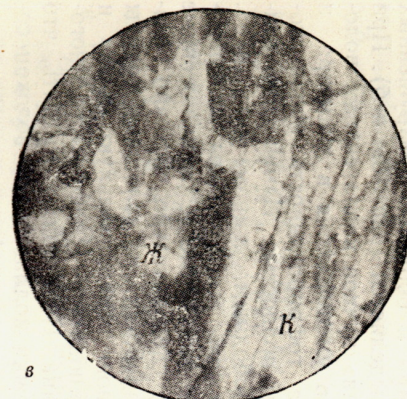
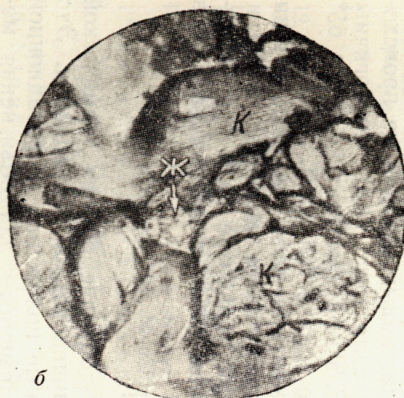
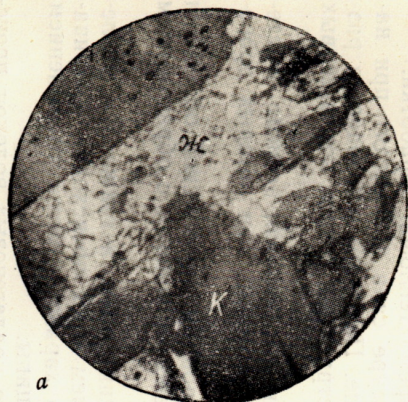


Рис. 11. Структура сала после обработки вакуумным способом при температуре 100°. Удалено воды из сала: а—25%; б—50%; в—75%.

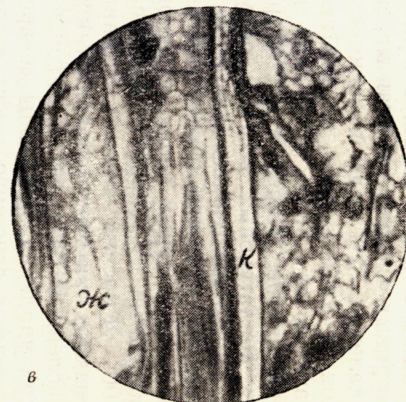
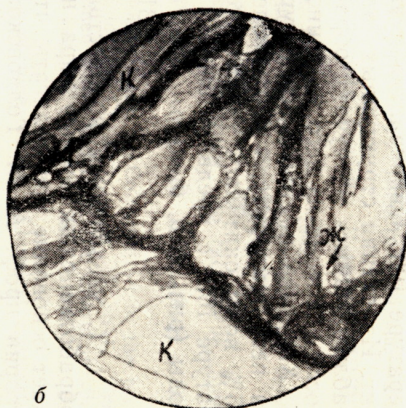
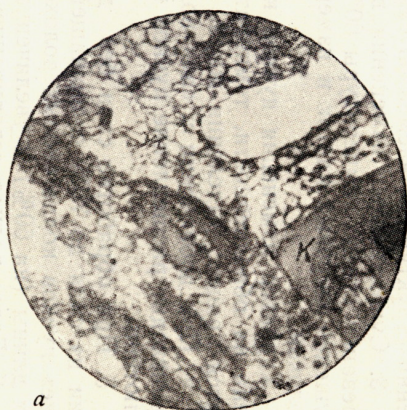


Рис. 12. Структура сала после обработки вакуумным способом при температуре 120°. Удалено воды из сала: а—25%; б—50%; в—75%.

стично обезвоженных. Более сильное «сваривание» пучков коллагеновых волокон вызывает и более значительное уменьшение их длины и увеличение диаметра, что приводит к резкому сокращению пространства между пучками. В остающемся между пучками пространстве находится лишь небольшое количество жира и оболочки разрушенных жировых клеток; основная масса жира выделяется (рис. 10, а и б). При удалении 75% воды явления «сваривания» пучков коллагеновых волокон не наблюдается, но они значительно уменьшаются в диаметре и изгибаются. Более отчетливо выражена гофрированность коллагеновых пучков. Жировые клетки разрушены полностью. Измененные пучки коллагеновых волокон окружены свободным жиром (рис. 10, в).

Предварительное выделение из сала 25% и 50% воды не предохраняет пучки коллагеновых волокон, в том числе и расположенные в поверхностных слоях кусочков сала, а следовательно частично обезвоженные, от «сваривания», в случае воздействия на сало температуры 100°. Жировых клеток, сохранивших свою первоначальную форму и размер, при этих условиях также не наблюдается. Имеют место многочисленные разрывы жирсодержащей ткани. Необходимо отметить, что при удалении 50% воды «сваренные» пучки коллагеновых волокон составляют основную массу остатка сала («шквара»).

Жировых включений в остатках кусочков сала мало (рис. 11, а и б).

При удалении 75% воды и последующем нагревании сала при температуре 100° «сваривания» пучков коллагеновых волокон не происходит. Изменения структурных элементов сала (рис. 11, в) аналогичны наблюдавшимся в случаях обработки сала при температуре 50° и 65° после удаления из него указанного выше количества воды.

Характер и степень структурных изменений сала при воздействии на него температуры 120° после предварительного удаления 25, 50 и 75% воды оказались такими же, как при обработке сала при температуре 100° с предварительным удалением соответственных количеств воды (рис. 12 а, б, в).

ВЫВОДЫ

1. С увеличением количества воды, добавляемой при термической обработке сала, выход жира не увеличивается, а уменьшается. Это дает основание предполагать, что основные положения гидратационной теории проф. А. М. Голдовского не применимы для объяснения механизма выделения жира из сала китов.

2. Выход жира зависит в основном от характера и глубины изменений структурных элементов сала во время тепловой обработки.

3. Существенные изменения в структуре сала происходят при нагревании его до температуры 60° и выше. При этом наблюдается разрушение жировых клеток и изменение структуры пучков коллагеновых волокон.

Характер изменения пучков коллагеновых волокон зависит от степени их обводненности, температуры и давления, при которых проводится процесс выделения жира.

4. При добавлении к салу воды в процессе термической обработки происходит расщепление пучков коллагеновых волокон с образованием глютина.

5. При обработке сала без добавления воды, а также при удалении из сала до 70% содержащейся в нем воды происходит «сваривание» пучков коллагеновых волокон, что характеризуется уменьшением их длины (на 60%) и увеличением толщины.

6. Более полное «сваривание» пучков коллагеновых волокон происходит при удалении из сала 50% воды и последующей часовой термической обработке его при температуре 100°. В этом случае наблюдается максимальное выделение жира из сала в процессе жиротопления.

7. Предварительное удаление воды из сала в количестве более 70% влечет за собой не только полное разрушение жировых клеток, но и предотвращает процесс «сваривания» пучков коллагеновых волокон. При этом выход жира из сала резко уменьшается.

Расчеты показывают, что при удалении из сала, или точнее из коллагена, более 70% воды происходит частичное удаление гидратной воды.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Заварзин А. А. и Щелкунов С. И., Руководство по гистологии, Медгиз, 1954.
2. Зайдес А. Л. и Пупко С. А., Электронно-микроскопическое исследование коллагена, Коллоидный журнал, т. 7, вып. 1, 1950.
3. Зелинский Н. Д. и Гаврилов Н. И., Современное состояние вопроса о циклической связи аминокислот в молекуле белка, Вестник Московского Университета, 7, 57, 1947.
4. Касаткин Ф. С., Технология рыбных продуктов, Пищепромиздат, 1940.
5. Кутянин Г. И., Термостойкость коллагена в сухом состоянии, Коллоидный журнал, т. 15, вып. 1, 1953.
6. Левашова Е. П., Зайдес А. А., Влияние зольности и обеззолки на аминокислотный состав коллагена шкуры кита-кашалота, «Легкая промышленность», 1955, № 3.
7. Манербергер А. А., Миркин Е. Ф., Физико-химическая сущность вытопки животных жиров, «Мясная индустрия СССР», 1951, № 2.
8. Михайлов А. И., Физико-химические основы технологии кожи, Гизлегпром, 1949.
9. Пасынский А. Г., Сжимаемость коллоидных растворов и сольватация коллоидов, Коллоидный журнал, т. 8, вып. 1—2, 1946.
10. Ромейс Б., Микроскопическая техника, Издательство иностранной литературы, 1954.
11. Слепцов М. М., Китообразные дальневосточных морей, Известия ТИНРО, т. 38, Владивосток, 1952.
12. Смородинцев И. А., Биохимия мяса, Пищепромиздат, 1952.
13. Соколов В. Е., Структура кожного покрова некоторых китообразных, Бюллетень Московского общества испытателей природы, № 6, 1955.
14. Чернов Н. В. и другие, Технология кожи, Гизлегпром, 1952.
15. Ясвоин Г. В., Руководство к практическим занятиям по гистологии, Медгиз, 1946.
16. Astbery N. T., The hydrogen Bond in Protein structure, Transaction of the Faraday Society vol., 36, № 233, 1940.
17. Bergmann M. u Niemann C., «On blood Fibrin. A. Contribution to the problem of protein structure, The Journal of Biological Chemistry», m. 15, № 1, 1936.
18. Compton E. D., A study of the Retained water and Dielectric Characteristics of tanned Calfskin, Journal of the American Leather Chemists Association, vol. 39, № 3, 1944.
19. Ninohe K., Purification of fibrous protein of blue whale, Chemical abstracts, vol. 46, № 6, 1952.
20. Parry D. A., The structure of whale Blubber, and Discussion of its thermal Properties, The Quarterly Journal of Microscopical Science, vol. 90, p. 1, 1949.