

Ек

## XII Европейский конгресс работников НИИ мясной промышленности

---

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
мясной промышленности. СССР

### БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОЗРЕВАНИЯ МЯСА

В.И. Соловьев

#### А Н Н О Т А Ц И Я

До сих пор в теории процесса созревания был ряд весьма существенных пробелов, которые мы попытались восполнить своими исследованиями, проводившимися на протяжении ряда лет. В настоящем сообщении кратко излагаются и обобщаются результаты этих работ. Эти результаты суммированы в следующих основных выводах.

1. Установлено, что, начиная с 1-2-х суток хранения туш при 0° происходит диссоциация актомиозина на актин и миозин, которая полностью заканчивается к 4-6-м суткам. Показано, что распад актомиозинового комплекса не может рассматриваться как главная и единственная причина увеличения нежности при созревании мяса.

2. Процессы, приводящие к разрыву пептидных связей в молекулах белков фракции миозина и к образованию и накоплению в них N-концевых групп, протекают на всем протяжении созревания мяса. При этом мышечные катепсины не только сохраняют, но и значительно увеличивают свою активность. Установлено, что накопление в белках фракции миозина N-концевых групп ряда аминокислот при созревании мяса является исключительно автолитическим процессом.

3. Ферментативные процессы деструкции компонентов внутримышечной соединительной ткани при созревании мяса выражаются в увеличении развариваемости коллагена (это увеличение обусловлено повышением лабильности фибриллярных компонентов и основного вещества внутримышечной соединительной ткани), а также в уменьшении во внутримышечной соединительной ткани количества основного вещества.

4. При обработке мяса испытывавшимися препаратами протеолитических ферментов и при его созревании в условиях низких положительных температур биохимические процессы, проте-

кающие в мышечных волокнах и внутримышечной соединительной ткани и приводящие к улучшению его консистенции, в основном однотипны.

5. Основной процесс, происходящий при созревании мяса и выражающийся в уменьшении его жесткости, необходимо рассматривать как начальную стадию протеолиза миофибриллярных белков и компонентов внутримышечной соединительной ткани.

6. Впервые установлено значение инозиновой кислоты и продуктов ее распада для улучшения вкусовых свойств при созревании говяжьего мяса. Количество свободного гипоксантина может служить косвенным показателем улучшения вкусовых свойств созревающего мяса после его тепловой обработки.

7. Исследование протеолитической природы изменений, приводящих к увеличению нежности созревающего мяса, указывает на то, что одним из наиболее эффективных способов интенсификации этого процесса является воздействие на мясо препаратов протеолитических ферментов. Характер изменений, вскрытых при изучении химизма процесса ферментации мяса, свидетельствует о том, что для этих целей наиболее **эффективное** применение препаратов таких протеолитических ферментов, которые воздействуют как на миофибриллярные белки, так и на компоненты соединительной ткани.

8. Показана наибольшая целесообразность применения фицина в качестве средства, улучшающего консистенцию мяса.

## THE BIOCHEMICAL PROCESS OF MEAT AGEING

Solovyov V.I.

## S U M M A R Y

Up to now the theory of the ageing process had a number of essential deficiencies which we tried to make up for by means of our investigations carried out for several years. This paper briefly presents and summarizes the results of the above investigations, the conclusions being as follows.

1. It has been established that from the 1st - 2nd day of carcass storage at 0°C actomyosin dissociation occurs resulting in actin and myosin production; this process is completed by the 4 - 6th day. It has been shown that actomyosin complex dissociation cannot be considered as the main and the only cause of increases in tenderness during meat ageing.

2. The processes resulting in the breaking the peptide bonds in the protein molecules of the myosin fraction and in the production and accumulation of the N-terminal groups are going on during meat ageing, the muscular cathepsins not only retaining, but also intensifying their activity. It has been established that the accumulation of the N-terminal groups of some amino acids in the proteins of the myosin fraction is exclusively an autolytic process.

3. The fermentation processes of the destruction of the intramuscular connective tissue components during meat ageing manifest themselves in increasing collagen digestibility, the latter being conditioned by an increase in the lability of the fibrillar components and the main substance of the intramuscular connective tissue; as well as in decreasing the main substance content in the intramuscular connective tissue.

4. When meat is treated by the tested proteolytic enzyme preparations and is subjected to ageing at low above-zero temperatures, the biochemical processes occurring in muscle fibers and in the intramuscular connective tissue and causing consistency improvement are basically of the same type.

5. The main process going on during meat ageing and resulting in its toughness decreases should be considered as the initial stage of the proteolysis of the myofibrillar proteins and the components of the intramuscular connective tissue.

6. For the first time the importance of inosine acid and its dissociation products has been established to improve beef flavour during ageing. Free hypoxanthine content may serve an indirect index of improvements in the ageing meat flavour following its thermal treatment.

7. A research into the proteolytic nature of changes resulting in ageing meat tenderness increasing indicates that one of the most effective methods of this process intensification is meat exposure to the influence of proteolytic enzyme preparations. The nature of changes revealed when studying the chemical aspects of meat fermentation process renders an evidence that most effective for these aims may be the preparations of such proteolytic enzymes which influence both myofibrillar proteins and the components of the connective tissue.

8. Ficin has been shown as being most expedient for use to improve meat consistency.

## DIE BIOCHEMISCHEN VORGÄNGE BEIM FLEISCHREIFEN

W.I.Solowjow

## Z U S A M M E N F A S S U N G

Bis jetzt hatte die Theorie des Reifensprozesses recht viele Lücken, die wir durch unsere Untersuchungen auszufüllen versuchten. Die Arbeit dauerte einige Jahre. In vorliegender Mitteilung werden die Ergebnisse zusammengefaßt und folgende Schlußfolgerungen gezogen.

1. Während der Lagerung der Tierkörper bei 0°C erfolgt ab 1.-2. Tag Dissoziation des Aktomyosins in Aktin und Myosin, die bis zum 4.-6. Tag vollendet wird. Der Zerfall des Aktomyosinkomplexes darf nicht als die wichtigste und einzige Ursache der Zartheitssteigerung beim Fleischreifen betrachtet werden.

2. Im Laufe der ganzen Reifungszeit spielen sich Vorgänge ab, die zum Zerreißen der Peptidketten in Eiweißmolekeln der Myosinfraktion und auch zur Ansammlung von N-Endgruppen darin führen, wobei die Wirksamkeit der Muskelkalkkathepsine nicht nur erhalten bleibt, sondern beträchtlich zunimmt. Es wurde festgestellt, daß die Ansammlung von N-Endgruppen einiger Aminosäuren in Proteinen der Myosinfraktion beim Fleischreifen ein ausschließlich autolytischer Prozeß ist.

3. Die enzymatische Destruktion einiger Bestandteile des intramuskulären Bindegewebes beim Fleischreifen äußert sich sowohl in erhöhter Kollagenzerkochung (was ihrerseits durch die Labilitätssteigerung der Fibrillarkomponenten und Zunahme der Grundstoffmenge im intramuskulären Bindegewebe bedingt wird), als auch in Verminderung des Grundstoffgehalts im intramuskulären Bindegewebe.

4. Die sich in Muskelfasern, wie auch im intramuskulären Bindegewebe abspielenden Vorgänge, die zur Besserung der Fleischkonsistenz führen, sind sowohl bei der Behandlung mit den untersuchten Präparaten, als auch im Falle der Fleischreifung bei niedrigen Temperaturen über 0°C etwa ähnlich.

5. Der Hauptvorgang der Fleischreifung, der sich in Verminderung der Fleischzähigkeit äußert, ist als Anfangsstadium der Proteolyse zu betrachten, an der Myofibrilleneiweiße sowie intramuskuläres Bindegewebe beteiligt sind.

6. Zum ersten Mal wurde die Rolle der Inosinsäure und deren Abbauprodukte für die Besserung des Rindfleischgeschmacks beim Reifen erkannt.

Der Gehalt an Hypoxanthin kann als indirekter Hinweis für die Geschmacksbesserung des reifenden Fleisches nach der Wärmebehandlung dienen.

7. Die Untersuchung der proteolytischen Natur der Umwandlungen, die eine erhöhte Zartheit des reifenden Fleisches zur Folge haben, weist darauf hin, daß die Fleischbehandlung mit Präparaten der proteolytischen Enzyme der beste Weg zur Intensivierung dieses Vorgangs ist. Der Charakter der Umwandlungen, die durch die Forschung des Chemismus von Fleischfermentierung aufgedeckt worden sind, zeugt davon, daß für diese Zwecke die Präparate derjenigen proteolytischen Enzyme am wirksamsten sind, die sowohl auf Myofibrilleneiweiß, als auch auf Bindegewebekomponenten einwirken.

8. Es wird gezeigt, das Fizin sich sehr gut als Mittel der Konsistenzbesserung des Fleisches bewährt hat.

S O M M A I R E

Jusqu'ici dans la théorie du procédé de la maturation il était une série de lacunes que nous tâchions de combler par nos études depuis plusieurs années. Dans ce rapport nous résumons en peu de mots des résultats de ces travaux. Ces résultats sont sommés dans les conclusions suivantes:

1. On a défini qu'en commençant de 1-2 jour de conservation des carcasses à 0°C il se passe la dissociation de l'actomyosine en l'actine et la myosine. Cette dissociation finit vers 4-6 jour. On a montré que la destruction du complexe actinomyosine ne peut pas être considérée comme l'unique et principale cause de l'augmentation de la tendreté pendant la maturation de la viande.

2. Les procédés qui mènent à la destruction des liaisons peptides dans les molécules de la protéine de la fraction de myosine et à la formation et l'accumulation des groupes N-finales se passent pendant tout le temps de la maturation des viandes. En ce temps - là les catépsines musculaires non seulement gardent mais augmentent leur activité. On a défini que l'accumulation dans les protéines de la fraction de myosine des groupes N-finales des amino-acides pendant la maturation de la viande c'est le procédé uniquement autolytique.

3. Les procédés fermentatifs de la destruction des composants du tissu conjonctif intramusculaire pendant la maturation de la viande sont exprimés par l'augmentation de la digestion du collagène (Cette augmentation est déterminée par l'accroissement de la labilité des composants fibrillaires et de la substance de base du tissu conjonctif intramusculaire) et par la diminution de la quantité de la substance de base dans le tissu conjonctif intramusculaire.

4. Pendant le traitement de la viande par les préparations étudiées des ferments protéolytiques et pendant sa maturation dans les conditions des températures basses positives des procédés biochimiques qui se passent dans les fibres musculaires et dans le tissu conjonctif intramusculaire et qui améliorent la consistance de la viande sont en principe de mêmes types.

5. Il faut - considérer le procédé principale pendant la maturation de la viande qui diminue sa rigidité comme la stade initiale de la protéolyse des protéines myofibrillaires et des composants du tissu conjonctif intramusculaire.

6. Pour la première fois on a défini l'importance de l'acide inosinique et des produits de sa destruction pour l'amélioration des propriétés gustatives pendant la maturation de la viande de boeuf. La quantité du hypoxanthine libre peut être l'indice indirecte de l'amélioration des propriétés gustatives de la viande pendant sa maturation après le traitement thermique.

7. L'analyse de la nature protéolytique des changements qui augmentent la tendreté de la viande lors de sa maturation montre qu'une des méthodes les plus efficaces pour l'intensification de ce procédé est le traitement de la viande par les préparations des ferments protéolytiques. Le caractère des changements révélés dans les études du chimisme du procédé de la fermentation de la viande montre que pour ces buts la plus efficace est l'utilisation des préparations de tels ferments protéolytiques qui influence sur les protéines myofibrillaires comme sur les composants du tissu conjonctif.

8. On a montré l'utilité maximum du ficine comme le moyen pour l'amélioration de la consistance des viandes.

## БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОЗРЕВАНИЯ МЯСА

В.И. Соловьев

Из разнообразных процессов, которые имеют место после прекращения жизни животного, одним из наиболее резко выраженных является окоченение. Оно находится в исключительной зависимости от состояния белков мышечной ткани, и в настоящее время выяснены с определенной степенью достоверности сопровождающие его физические, физико-химические, биохимические и гистологические изменения. Немедленно после убоя животного в мясе начинаются процессы распада экстрактивных веществ, углеводов, липидов и белков, автолитических по своей природе. Литература по этим вопросам огромна, и результаты исследований суммированы в ряде обзорных и экспериментальных работ /3-6,9,11,12,18,29/.

Многочисленные исследователи /5,14,21,26,27/ изучали изменения различных органолептических показателей в процессе созревания говяжьего мяса. В этих исследованиях отмечается, что нежность, по сравнению с другими показателями, подвергается наиболее значительному увеличению.

Ряд авторов /1,9,13,23,31/ отмечал, что установленные гистологическим методом изменения в процессе созревания мяса характеризуются поперечным распадом волокон с сохранением сарколеммы и увеличением диаметра мышечных волокон, а также дезинтегрированием мышечной протоплазмы с утратой как продольной, так и поперечной исчерченности волокон. Число распавшихся волокон увеличивается по мере удлинения сроков хранения. Причины возникновения этих явлений установлены не были.

Гаммом /19/, Детерейджем и Вербицким /30/, а также другими исследователями было показано, что физико-химические изменения в процессе созревания мяса 0-4° выражаются прежде всего в увеличении гидратации. При этом между изменениями нежности, количества выделяющегося при варке сока и содержания в мясе связанной воды существует параллелизм.

Весьма важное значение имеют также исследования /10, 20/, показавшие, что уменьшение количества ионов калия в водных экстрактах из созревающего мяса во много раз больше количества ионов кальция, появляющегося в нем. В результате этого общий сдвиг в количестве катионов свидетельствует об их связывании белками мяса.

О протеолитических изменениях, происходящих при созревании мяса, свидетельствуют данные о некотором накоплении небелкового азота во второй фазе процесса созревания /24/ и о появлении в мясном экстракте свободных тирозина, фенилаланина, треонина и триптофана /2,9,15,25/.

Среди продуктов распада белковых веществ также обнару-

жены еще неидентифицированные пептиды /17,21/. Весьма интересны также данные /22/ о том, что в процессе созревания лишь незначительная часть растворимых в воде белков утрачивает свою способность экстрагироваться из мышечной ткани, но соотношение между водорастворимыми белками изменяется в сторону увеличения низкомолекулярных белков за счет распада высокомолекулярных. Фуджимаки и Аракава /16/ показали, что в процессе созревания мяса миозин В становится более устойчивым к воздействию  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , что указывает на возможность изменения его молекулярного веса или структуры. Однако не имеется прямых доказательств того, что миофибриллярные белки подвергаются протеолитическим изменениям в процессе созревания мяса.

В доступной литературе нам также не удалось найти достаточно убедительных экспериментальных данных, полученных биохимическими методами, свидетельствующих об изменениях в процессе созревания белковых компонентов внутримышечной соединительной ткани (коллагена, эластина и основного вещества).

Однако при помощи гистохимического метода было показано /28/, что при этом происходит прогрессивное уменьшение способности коллагеновой соединительной ткани к окрашиванию кислым фуксином. Причин этого явления установлено не было.

Таким образом, до сих пор в теории процесса созревания был ряд весьма существенных пробелов, которые мы попытались восполнить своими исследованиями, проводившимися на протяжении ряда лет /9/.

В настоящей работе кратко излагаются и обобщаются результаты этих исследований.

Исследования проводились по избранному нами широкому комплексу биохимических показателей, характеризующих изменения консистенции, вкуса и аромата созревающего мяса. При этом мы исходили из того факта, что увеличение нежности при созревании является главным показателем, ради которого проводится этот процесс.

Результаты выполненных нами исследований на различных стадиях созревания мяса выявили определенные закономерности в изменениях ряда показателей, установление которых позволяет сделать выводы о сущности изучаемых процессов. В процессе созревания при плюс  $8-10^{\circ}$  количество связанной воды изменяется, имея отчетливо выраженный минимум, отмеченный нами на вторые сутки хранения, т.е. в мясе, еще находящемся в состоянии послеубойного окоченения (табл. 1).

Измерение нежности мяса тремя объективными методами (пресс-методом Грау, по сопротивлению резанию и по расходу электроэнергии на измельчение) выявило весьма существенное улучшение этого показателя при созревании мяса при той же температуре. Например, определяя его по расходу электроэнергии на измельчение вареных образцов, мы установили, что жесткость созревшего мяса составляет в среднем только 56,6% жесткости, характерной для мяса, сваренного в парном состоя-

нии (табл. 1). Таким образом, наши данные еще раз подтвердили, что увеличение степени гидратации мяса во второй фазе его созревания сопровождается увеличением его нежности.

Таблица 1

Изменения биохимических показателей в процессе созревания мяса при плюс 8-10° (по средним данным)

№ п/п	Показатели	Характеристика состояния мяса		
		парное	2-суточного хранения	6-суточного хранения
1.	Связанная вода мяса, % к исходной величине	100	69	77
2.	Нежность - усилия, затрачиваемые на измельчение электромясорубкой образцов вареного мяса, % к исходной величине	100,0	74,8	56,6
3.	Активность катепсинов мышечной ткани, мг тирозина, освобожденного за 1 час при 37° на 100 г сухого вещества мяса	0,2	1,1	1,3
4.	Суммарное количество 6 N-концевых аминокислот белков фракции миозина, ммоль на 1 моль миозина	57	225	433
5.	Развариваемость коллагена, %	28,2	15,0	22,3
6.	Оксипролинрастворимой при автоклавировании фракции коллагена (% к его содержанию в мясе)	75,1	70,6	76,2
7.	Общее количество гексозаминов основного вещества (% к содержанию гексозаминов в мясе)	63,5	69,1	60,8
8.	Гексозамины щелочерастворимой фракции основного вещества (% к содержанию гексозаминов в основном веществе)	73,9	63,9	72,2

К 12-му часу хранения при  $0^{\circ}$  распадается свыше 90% содержащейся в парном говяжьем мясе АТФ (рис. 1). Еще в 1951 г. нами было впервые установлено, что охлажденное мясо содержит фракцию остаточного легкогидролизуемого фосфора АТФ, содержание которого после двух суток хранения несколько увеличивается (рис. 1).

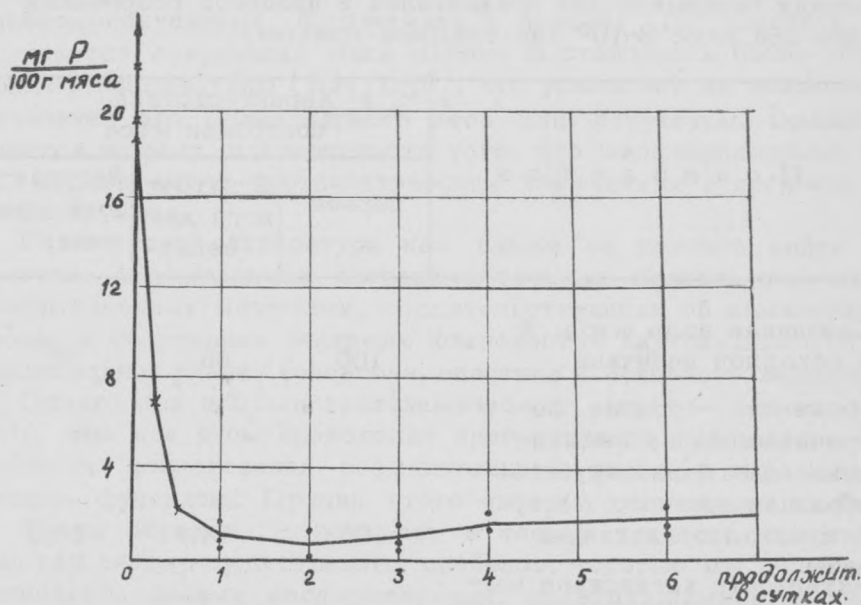


Рис. 1. Изменение содержания легкогидролизуемого фосфора АТФ в процессе созревания мяса при  $0-4^{\circ}$

В отличие от других авторов мы определяли активность катепсинов мышечной ткани при том рН, которое в данный момент имеется в мясе, и установили (табл. 1), что в процессе созревания она значительно возрастает, и данный рост не может быть объяснен только снижением величины рН. При этом происходит накопление в экстракте всех свободных аминокислот, но наиболее интенсивное увеличение наблюдается для глутаминовой кислоты и треонина, имеющих, как известно, прямое отношение к вкусу мяса и аромату белковых гидролизатов.

В процессе послеубойного окоченения говяжьего мяса происходит резкое падение растворимости белков фракции миозина (табл. 2). По истечении первых суток хранения мяса начинается последовательное нарастание величины этого показателя, продолжающееся до 4-х — 6-х суток хранения при  $0^{\circ}$ , в результате чего к этому сроку растворимость белков фракции миозина возрастает вдвое по сравнению с ее минимальным значением, характерным для стадии окоченения. Изучение изменений азота белков, экстрагируемых соевым раствором, дает аналогичные результаты.

Было также установлено, что, начиная с 4-х — 6-х суток хранения при  $0^{\circ}$ , экстрагируемый миозин не связан с актином в

комплекс, так как активность актомиозина равна нулю (табл.2). Эти данные были опубликованы нами в 1952-1953 гг. /7/ и впоследствии, в 1958 г., были подтверждены Фуджимаки и Аракава /16/.

Таблица 2

Изменения в белках фракции миозина в процессе созревания мяса при 0-+4° (по средним данным)

Продолжительность созревания, сутки	Растворимость белков фракции миозина		Активность актомиозина, %
	г белка на 100 г мяса	% к исходному количеству	
Парное	3,71	100,0	75
1/4	1,39	37,4	-
1/2	1,01	27,2	-
1	0,65	17,4	31
2	0,98	26,5	59
4	1,32	35,6	18
6	1,32	35,6	5
10	-	-	0
14	-	-	0

Вместе с этим следует подчеркнуть, что момент перехода извлекаемого актомиозина в диссоциированную на актин и миозин форму не совпадает с органолептическими данными о сроках достижения наибольшей нежности мяса. Поэтому распад актомиозина на актин и миозин не может рассматриваться как главная и единственная причина увеличения нежности в процессе созревания говяжьего мяса.

Поэтому мы предприняли новые исследования изменений белков фракции миозина на различных стадиях процесса созревания.

Нами были поставлены модельные опыты по изучению действия выделенного из мяса катепсина на растворы выделенных из мяса белков фракции миозина. Результаты этих опытов показали, что при воздействии катепсинов в белках фракции миозина накапливаются N-концевые группы ряда аминокислот. При этом содержание семи исследованных концевых аминокислот в среднем увеличивается на 62%.

В опытах на созревающем мясе было показано (табл. 1), что белки фракции миозина, выделенные из мяса сразу же после

убоя животного, содержат только следы или крайне незначительные количества *N*-концевых групп. В процессе созревания мяса в этих белках появляются и накапливаются *N*-концевые группы ряда аминокислот. Это накопление тем больше, чем глубже прошел процесс созревания. Среди *N*-концевых аминокислот охлажденного и созревшего мяса большинство составляют группы лейцина и дикарбоновых кислот. Кроме того, имеются также группы аланина, глицина, серина, треонина, тирозина и валина.

Процесс хранения мяса в стерильных условиях (облученного) по образованию и накоплению в белках фракции миозина *N*-концевых групп в сопоставимые сроки не отличается от процесса созревания мяса, проводимого в производственных условиях. Следовательно, в том и в другом случаях это изменение является чисто автолитическим. Поэтому основной процесс, происходящий при созревании мяса и выражающийся в изменении ряда физико-химических свойств белков мяса, необходимо рассматривать как начальную стадию протеолиза.

Имеющиеся в литературе данные /10/ свидетельствуют о том, что во второй фазе процесса созревания происходит связывание катионов (в первую очередь калия) белками мяса. В результате этого перемещения ионов белки становятся более положительно заряженными, что, в свою очередь, приводит к увеличению их гидратации и нежности. Нами выдвинута гипотеза о том, что при этом катионы связываются образующимися при протеолизе свободными карбоксильными группами белков фракции миозина.

Вместе с этим следует отметить, что, как нами было установлено /8/, общее содержание кальция в мышечной ткани к концу шестисуточного созревания при плюс 8-10° увеличивается в среднем на 18%. Это увеличение, по крайней мере частично, объясняет накопление при этом ионов кальция в водном экстракте, и, очевидно, должно быть отнесено за счет перехода кальция из соединительной ткани в мышечную.

После двухсуточного хранения нами была отмечена более низкая, по сравнению с установленной для парного мяса, лабильность фибриллярных компонентов и основного вещества внутримышечной соединительной ткани (табл. 1). На второй стадии созревания мяса (при его хранении в течение 6 суток при плюс 8-10°) лабильность этих компонентов снова возрастает вместе с увеличением нежности и гидратации мяса. В соответствии с этим величина развариваемости коллагена имеет отчетливо выраженный минимум на стадии послеубойного окоченения (табл. 1). Одновременно с этим количество основного вещества, увеличиваясь на вторые сутки хранения до 69,1% к содержанию гексоаминов в мясе (по сравнению с 63,5% в парном мясе), вновь уменьшается к концу 6-суточного хранения до 60,8% при одновременном повышении его лабильности (табл. 1).

Следовательно, на второй стадии процесса созревания мяса, когда наблюдается улучшение его консистенции, изменения в

основном веществе внутримышечной соединительной ткани выражаются в превращении его труднорастворимой фракции в легко растворимую. Последняя в свою очередь частично лизируется, в результате чего гексозаминсодержащие соединения основного вещества переходят в мышечную плазму.

Полученные Адуцкевичем /1,9/ данные об изменениях при созревании структуры тканей хорошо согласуются с указанными выше биохимическими изменениями миофибриллярных и соединительнотканых белков мяса.

В парном вареном мясе содержится /9/ в среднем 19,40 мг% азота нуклеотидов 1,39 мг% — нуклеотидов (инозин) и 6,06 мг% азота свободных пуринов (в том числе 4,55 мг% азота гипоксантина). Нами было выяснено, что процесс созревания вносит весьма существенные изменения в это распределение (рис. 2-5).

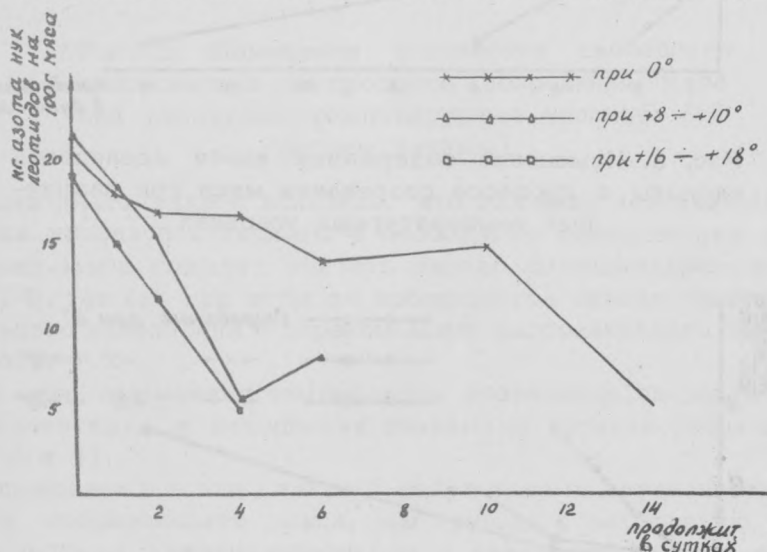


Рис.2. Изменение содержания азота нуклеотидов в процессе созревания мяса при различных температурных условиях (по средним данным)

Было установлено, что на всем протяжении созревания мяса наблюдается распад содержащихся в нем нуклеотидов (рис. 2), в частности адениловой кислоты (рис. 3), сопровождающийся накоплением свободных пуринов (рис. 4). При этом содержание адениловой кислоты последовательно снижается, а уменьшение количества инозиновой кислоты при этих условиях ускоряется только на конечных стадиях данного процесса, когда в основном уже израсходованы имеющиеся резервы адениловой кислоты, являющейся источником ее образования.

В результате этого в парном вареном мясе нуклеотиды сохраняются главным образом в виде адениловой кислоты. В охлажденном мясе после его тепловой обработки находятся как адениловая, так и инозиновая кислоты, а в вареном мясе, предварительно созревавшем при разных температурных условиях, преобладает инозиновая кислота.

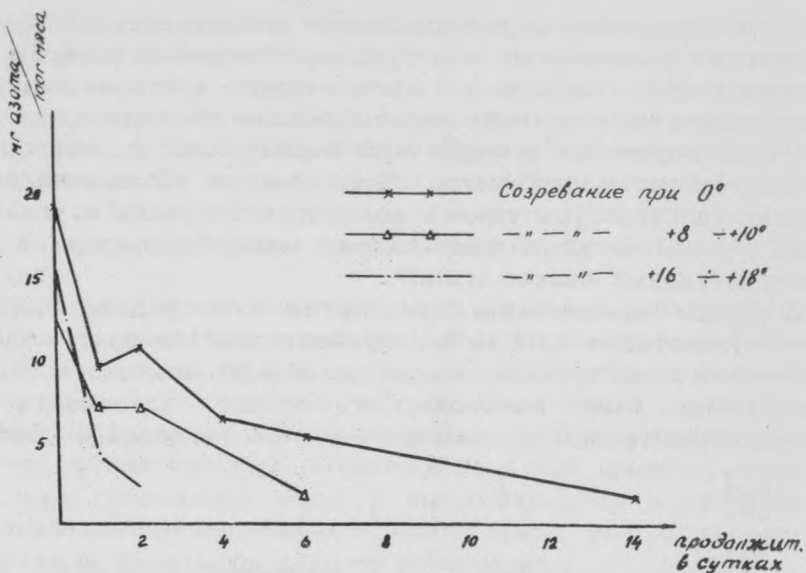


Рис. 3. Изменение содержания азота адениловой кислоты в процессе созревания мяса при различных температурных условиях

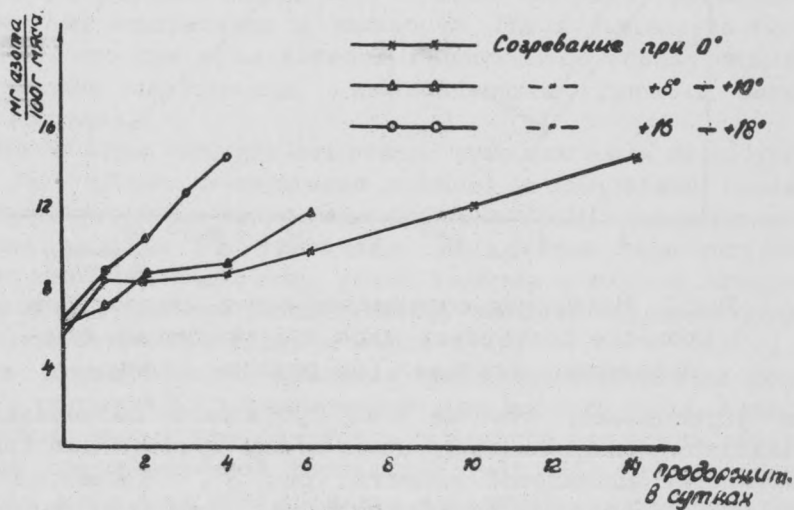


Рис. 4. Изменение содержания азота свободных пуринов в процессе созревания мяса при различных температурных условиях (по средним данным).

Главной составной частью фракции свободных пуринов вареного мяса (от 76,8 до 91,0%) на всех этапах процесса созревания при различных температурах является гипоксантин. Его количество непрерывно увеличивается по мере увеличения продолжительности созревания. К концу процесса оно более чем удваивается по сравнению с его содержанием в парном мясе (рис.5).

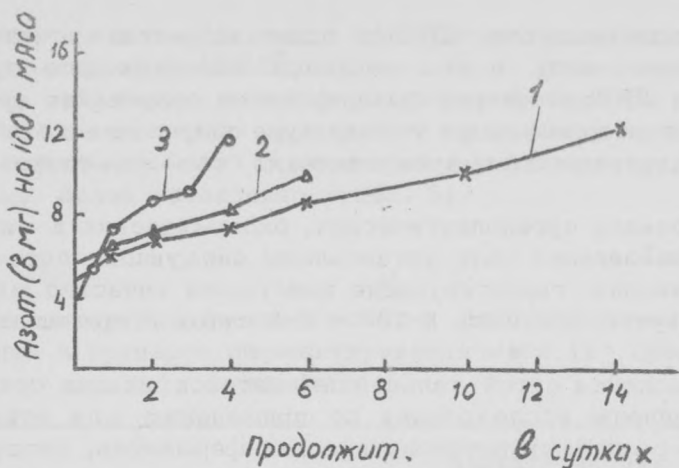


Рис. 5. Изменение количества свободного гипоксантина в процессе созревания мяса при различных температурных условиях (по средним данным)

Нами было также показано, что главным источником образования инозиновой кислоты и свободного гипоксантина при созревании мяса следует считать распад содержащейся в мышцах АТФ, так как при этом не наблюдается сколько-нибудь значительного накопления в вареном мясе экстрактивного пуринового азота.

По мере повышения температуры созревания скорость распада нуклеотидов и накопления свободных пуринов увеличивается (рис. 2 и 4).

Сопоставив все эти данные с результатами органолептической оценки созревающего мяса, мы пришли к заключению, что по мере распада адениннуклеотидов и увеличения в мясе свободного гипоксантина в процессе созревания улучшаются вкусовые свойства вареного мяса. Следовательно, количество свободного гипоксантина может служить косвенным показателем улучшения вкусовых свойств подвергнутого тепловой обработке созревающего мяса, и оно становится зрелым, когда количество азота свободного гипоксантина достигает в нем 9-10 мг% (рис.5).

Данные о перераспределении пуринового азота по фракциям и значения инозиновой кислоты и продуктов ее распада для вкусовых свойств созревающего мяса нами были впервые получены и опубликованы в 1952 и 1953 гг. /7/.

На первые-вторые сутки созревания мяса при 0° также происходит резкое уменьшение количества летучих редуцирующих веществ от 3,19 мэк в 0<sub>2</sub> на 100 г мяса до 1,33 мэкв. После этого начинается процесс накопления в созревающем мясе (исследовавшемся в вареном состоянии) летучих редуцирующих веществ, в результате чего их содержание к 14-м суткам достигает 4,20 мэкв. Эти факты свидетельствуют о том, что в процессе созревания мяса происходит смена состава летучих

редуцирующих веществ (ЛРВ): одни вещества исчезают из мяса, после чего в нем начинают накапливаться другие. Накопление ЛРВ во второй фазе процесса созревания происходит тем быстрее, чем выше температура созревания и оно сопровождается улучшением ароматических свойств созревающего мяса.

На основании органолептических, биохимических и микроскопических показателей нами установлены следующие оптимальные сроки созревания, гарантирующие наилучшее качество мяса: при  $0^{\circ}$  - 10-12 суток; при плюс  $8-10^{\circ}$  - 5-6 суток и при плюс  $16-18^{\circ}$  - 3 суток.

Для изыскания путей дальнейшей интенсификации созревания нами выполнены исследования по применению для этих целей препаратов различных протеолитических ферментов, вводящихся в мясо в равных по их протеолитической активности количествах.

Опыты показали, что на величину сопротивления резанию большее влияние оказывает обработка мяса фичином, чем трипсином (рис. 6).

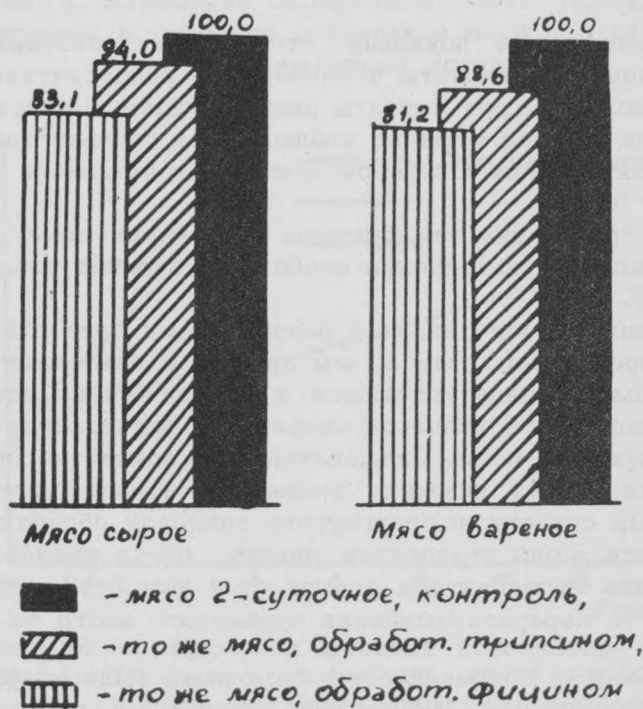


Рис. 6. Сравнительная величина сопротивления резанию вдоль мышечных волокон мяса, обработанного ферментными препаратами

Из наших данных также следует, что размягчение фичином достигается не только при тепловой обработке, как утверждают некоторые исследователи, но главным образом в процессе вы-

держивания мяса в контакте с препаратом при низкой положительной температуре (8-10°). Далее было установлено, что в результате обработки мяса ферментным препаратом (проверялось действие трипсина) изменения гидратации протекают в том же направлении, что и во второй фазе созревания мяса, но значительно более интенсивно (табл. 3).

Таблица 3

Изменения некоторых биохимических и физико-химических показателей в процессе ферментирования мяса (по средним данным)

Показатели	Характеристика мяса	
	не обработанное ферментом	обработанное ферментом
Связанная вода, в % к объему содержания влаги в мясе; обработка трипсином	62,7	68,2
Перевариваемость <i>in vitro</i> при последовательном воздействии пепсином и панкреатином, мг% освобожденного аминокислота; обработка фицином	2219	2375
Суммарное количество семи N-концевых аминокислот в белках фракции миозина. В ммольях на 1 моль миозина; обработка фицином	384	590

Суммарное содержание 14 изучавшихся свободных аминокислот в ферментированном фицином мясе более чем в два раза больше, чем в не ферментированном. Было отмечено появление весьма существенных количеств тирозина и значительное увеличение содержания глицина, лейцина, лизина, серина, глутаминовой кислоты, аргинина и треонина.

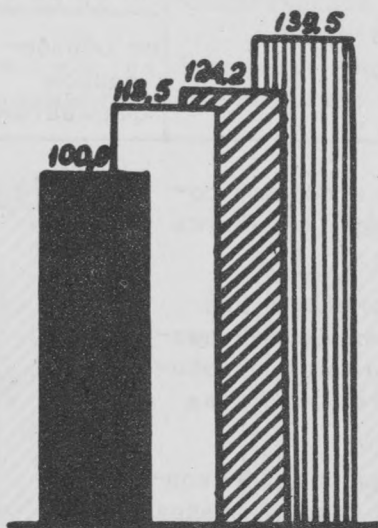
Однако из полученных данных нами был затем сделан вывод о том, что улучшение нежности мяса при его обработке препаратами протеолитических ферментов нельзя охарактеризовать одним таким показателем, как накопление небелкового азота.

В результате обработки мяса фицином его перевариваемость *in vitro* (табл. 3) при последовательном воздействии пепсина и панкреатина увеличивается на 6-9%. Следовательно, в подвергнутом предварительной обработке фицином мясе белки легче поддаются последующему воздействию на них ферментов желудочно-кишечного тракта.

При обработке мяса препаратами фицина или трипсина в белках фракции миозина накапливаются N-концевые группы тех же самых аминокислот, которые освобождаются при созревании мяса (табл. 3).

В результате воздействия на мясо фицина суммарное количество семи изучавшихся N-концевых аминокислот в белках фракции миозина по средним данным превышает величину этого показателя для созревшего мяса шестисуточного хранения при плюс 8-10° и достигает 590 и 433 ммоль на 1 моль миозина соответственно (табл. 1 и 3).

При ферментировании происходит увеличение, по сравнению с контрольными образцами, развариваемости коллагена (рис. 7); при применении субтилопептидазы - на 18,5%, трипсина - на 24,2% и фицина - на 39,5%.

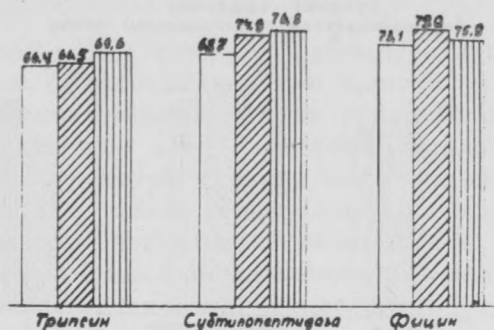


- - 2-суточное мясо, контроль,
- - то же мясо, обраб. субтилопептидазой,
- ▨ - то же мясо, обраб. трипсином,
- ▤ - то же мясо, обраб. фицином.

Рис. 7. Увеличение развариваемости коллагена внутримышечной соединительной ткани в результате обработки мяса препаратами протеолитических ферментов (в % к контрольным образцам)

Под воздействием вводимых в мясо препаратов протеолитических ферментов наблюдается увеличение лабильности фибриллярных белков внутримышечной соединительной ткани (рис. 8). Однако при обработке мяса трипсином не происходит значительных изменений (рис. 8).

Фракция, растворимая при автоклавировании



Фракция, не растворимая при автоклавировании



- 2-суточное мясо без обработки ферментами.
- то же мясо, обработанное ферментами.
- мясо, прошедшее созревание в течение 6 суток.

Рис. 8. Изменение лабильности структурных белков внутримышечной соединительной ткани мяса при его обработке ферментами и естественном созревании при  $8-10^{\circ}$

При обработке мяса этими ферментными препаратами мы наблюдали также изменение содержания во внутримышечной соединительной ткани основного вещества (рис. 9). Так, при действии фицина его количество уменьшается в среднем от 67,5 до 47,0%, что значительно превышает результат, достигаемый при созревании мяса. Другие ферментные препараты в меньшей степени действуют на этот компонент внутримышечной соединительной ткани.

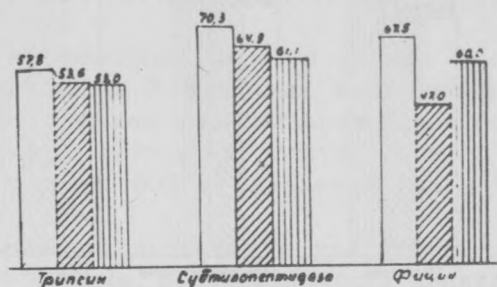
Кроме того, изучавшиеся препараты увеличивают лабильность основного вещества (рис. 9). Эти изменения наиболее резко выражены при действии фицина, когда лабильность основного вещества практически достигает того же уровня, что и в мясе, созревавшем в течение 6 суток при плюс  $8-10^{\circ}$ .

Результаты, полученные нами при помощи биохимических методов исследования хорошо согласуются с данными В.А. Адуцкевича /1,9/ об изменениях микроскопической картины строения тканей в результате воздействия на те же образцы мяса тех же препаратов протеолитических ферментов.

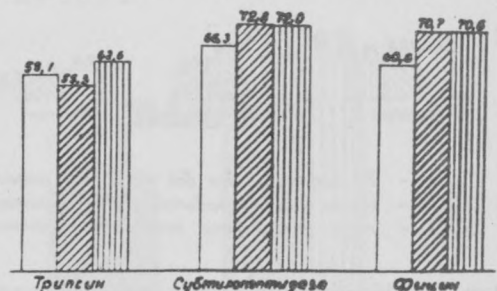
Таким образом, по убывающей интенсивности воздействия исследованные препараты ферментов располагаются в следующем порядке:

фицин > субтилопептидаза > трипсин.

Основное вещество  
внутримышечной соединительной ткани



Щелочерастворимая фракция основного вещества



- 2-сут. мясо без обработки ферментами,
- то же мясо, обработанное ферментами,
- мясо, прошедшее созревание в течение 6 суток

Рис. 9. Изменение общего количества основного вещества и его легкорастворимой фракции при обработке мяса ферментами и естественном созревании при 8-10°

При этом результат воздействия физина превышает влияние длительного созревания мяса на процессы накопления N-концевых групп в белках фракции миозина, увеличения лабильности фибриллярных компонентов и основного вещества внутримышечной соединительной ткани, уменьшения количества основного вещества, увеличения развариваемости коллагена и на изменения микроскопической картины тканей.

Таким образом, выполненные нами опыты дают возможность установить, что процесс обработки мяса ферментными препаратами с целью улучшения его консистенции вызывает в нем биохимические изменения, в основном однотипные с теми, которые имеют место при длительном созревании в естественных условиях.

Итак, изучение химизма воздействия на мясо препаратов различных протеолитических ферментов дает дополнительное доказательство того, что одной из главных причин увеличения нежности при созревании мяса являются протеолитические изменения в белках мышечных волокон и в компонентах внутримышечной соединительной ткани.

## ВЫВОДЫ

1. Созревание мяса следует рассматривать как комплекс биохимических и физико-химических процессов, протекающих в мышечной и соединительной тканях после прекращения жизни животных. Следствием этих процессов являются изменения в гистологической структуре тканей, выражающиеся в начальной стадии их распада, а также значительное улучшение ряда органолептических и технологических свойств мяса. Главным и наиболее резко изменяющимся органолептическим показателем является увеличение нежности мяса; существенно улучшаются также его вкус и аромат. В результате проведения процесса созревания повышается перевариваемость белков мяса ферментами желудочно-кишечного тракта.

2. Установлено, что, начиная с 1-2 суток хранения туш при 0°, происходит диссоциация актомиозина на актин и миозин, которая полностью заканчивается к 4-6 суткам. Показано, что распад актомиозинового комплекса не может рассматриваться как главная и единственная причина увеличения нежности при созревании мяса.

3. Процессы, приводящие к разрыву пептидных связей в молекулах белков фракции миозина и к образованию и накоплению в них N-концевых групп, протекают на всем протяжении созревания мяса. При этом мышечные катепсины не только сохраняют, но и значительно увеличивают свою активность.

Установлено, что накопление в белках фракции миозина N-концевых групп ряда аминокислот при созревании мяса является исключительно автолитическим процессом.

4. Ферментативные процессы деструкции компонентов внутримышечной соединительной ткани при созревании мяса выражаются в увеличении развариваемости коллагена, обусловленном повышением лабильности фибриллярных компонентов и основного вещества внутримышечной соединительной ткани, а также в уменьшении во внутримышечной соединительной ткани количества основного вещества.

5. При обработке мяса испытывавшимися препаратами протеолитических ферментов и при его созревании в условиях низких положительных температур биохимические процессы, протекающие в мышечных волокнах и внутримышечной соединительной ткани и приводящие к улучшению его консистенции, в основном, являются однотипными.

6. Основной процесс, происходящий при созревании мяса и выражающийся в уменьшении его жесткости, необходимо рассматривать как начальную стадию протеолиза миофибриллярных белков и компонентов внутримышечной соединительной ткани.

7. Впервые установлено значение инозиновой кислоты и продуктов ее распада для улучшения вкусовых свойств при созревании говяжьего мяса. Количество свободного гипоксантина может служить косвенным показателем улучшения вкусовых свойств созревающего мяса после его тепловой обработки.

8. Выяснение протеолитической природы изменений, приводящих к увеличению нежности созревающего мяса, указывает на то, что одним из наиболее эффективных способов интенсификации этого процесса является воздействие на мясо искусственно вводимых препаратов протеолитических ферментов. Характер изменений, вскрытых при изучении химизма процесса ферментирования мяса, свидетельствует о том, что для этих целей наиболее эффективно могут быть применены препараты таких протеолитических ферментов, которые воздействуют как на миофибриллярные белки, так и на компоненты соединительной ткани.

9. Показана целесообразность применения фицина (по сравнению с другими проверявшимися нами препаратами протеолитических ферментов) в качестве средства, улучшающего консистенцию мяса.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адуцкевич В.А. сб. "Пищевая пром-сть" (мясная и пти-  
цеперерабатывающая) Цинтипешепром, 10, 1965.
2. Бабин Ф.П., Лазарев Е.Н. "Холод. техн.", 2, 1960.
3. Головкин Н.А. Тр. Ленингр. технол. ин-та холод. пром-  
сти, 5, 1954.
4. Головкин Н.А. и Першина Л.И. Тр. научно-исслед.  
ин-та механизации рыбной пром-сти, 1, 2, 3, 1961.
5. Смородинцев И. А., Вольферц В. Ю., Крылова  
Н. Н., Николоева Н.В., Лясковская Ю.Н. и Пас-  
сонина В.М. "Укр. биохим. ж.", 10, 1, 1937.
6. Смородинцев И.А. "Мясн. индуст. СССР", 3, 1939.
7. Соловьев В.И., Пиульская В.И., Боткина А.Г. и  
Михайлова Е.Н. Тр. ВНИИМПа, вып. 5, Пищепромиздат,  
1953.
8. Соловьев В. И. и Шеголева О. П. Тр. ВНИИМПа,  
вып. 16, Пищепромиздат, 1964.
9. Соловьев В.И. Созревание мяса, изд-во "Пищ. пром-сть",  
1966.
10. Arnold N., Wierbicki E., Kunkle L.E., Cahill  
Y.R. and Deatherage F.E. "Food technol.", 10,6,1956,245-250.
11. Bate-Smith E.C. "Adv. food res.", 1, 1948, 1-34.
12. Bate-Smith E.C., Vendall J.R. "Brit. med. bull.", 12,  
1956, 230-235.
13. Carrey E.Y. "Arch. pathol.", 30, 5, 1041-1072.
14. Deatherage F.E., Reiman W. "Food res.", 11,6,1946,525-534.
15. Dvorak Z. "Českoslov. biol.", 5, 4, 1957, 236-240.
16. Fujimaki M., Arakawa N., and Joneto N. Bull.  
agric. chem. soc. Japan, 24, 4, 1958, 249-255.
17. Ginger J.L., Wachter J.P., Loty L.M., Schwei-  
ger B.S., Beard F.J., Pierce J.C., Hankins O.G.  
"Food res.", 19, 4, 1954, 410-416.
18. Hamm R. "Fleischwirtschaft", 10, 2, 1958, 80-83.
19. Hamm R. "Zs.Lebensmittel- Unters. und -Forsh.", 109,2,1959,113-121.
20. Hamm R. Ibid, 109, 4, 1959, 337-347.
21. Howard A., Lawrie R.A. Department of scientific and indust-  
rial ressearch of food investigation, Special report No.67,London,1957.
22. Kronman M.I., Winterbottom R.I. "J.agric.food chem",  
8, 1, 1960, 67-72.
23. Locker R.H. "J.biophys.biochem.cytol.", 6, 3, 1959, 419-421.
24. Locker R.H. "J. sci. food agric.", 11, 9, 1960, 520-526.
25. Niewiarowicz A. Roczniki Wyzszej Szkoły Rolniczej W.Poznanu,  
2, 1958, 129-184.
26. Paul P.C., Lowe B., McClurg B.R. "Food res.", 9, 3, 1944,  
221-233.

27. S l e e t h R.B., K e l l e y G.G., B r a d y D.E. "Food technol.", 12, 2, 1958, 86-90.
28. The science of meat and products. San Francisco and London, 1960.
29. W h i t a k e r I.R. "Adv. food res.", 9, 1959, 1-60.
30. W i e r b i c k i E., K u n k l e L.E., C a h i l l V.R., D e a t - h e r a g e F.E. "Food technol.", 10, 2, 1956, 80-86.
31. Z e n d e r L., L a t a s t e - D o r o l l e C., C o l l e t R.A., R o w i n s k i P., M o u t o n R.F. "Food res.", 23, 3, 1958, 305-326.