

# 新鲜猪肉和经盐腌后在加热过程中 超微细结构变化的研究

刘静明

(北京市食品研究所, 北京 100076)

**摘要:** 取新鲜的、未发生僵直的猪背最长肌并分为两组, 其中一组样品分别在 45、50、55、60、65、70、80 和 90℃ 水中加热; 另一组样品先分别在 1%、3% 和 5% 的 NaCl 溶液中进行腌制, 然后再加热到 72~75℃。所有样品在透射电镜及扫描电镜下对肌原纤维的结构进行观察及分析。

加热对肌原纤维的结构具有明显的破坏作用。45~50℃ 会导致肌原纤维发生超收缩; 在 55、60 和 65℃ 时, 部分肌原纤维超收缩加剧, 而另一部分则不发生超收缩, 另外由于肌丝和肌浆蛋白发生变性, 肌原纤维的原始结构遭到一定程度破坏; 若加热温度为 70、80 和 90℃, 未发生超收缩肌节数量随着温度升高而增多, 肌丝发生热变性而凝固加剧, 导致 A 带缩短、I 带断裂, 肌原纤维结构严重破坏, 其崩解程度随温度升高而增大。用 NaCl 腌制对加热时肌原纤维的崩解起到促进作用, 并可避免肌原纤维发生强烈收缩, 其中 3%~5% NaCl 溶液的作用尤为明显。

**关键词:** 新鲜; 腌制; 猪肉; 加热; 超微结构

**Abstract:** L. dorsi samples from pork before rigor mortis were taken and divided into two groups. The samples of one group were heated in water to 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80 and 90℃ respectively. The samples of the other group were first cured in 1%, 3% and 5% NaCl solution respectively and then heated to 72~75℃. All the samples were prepared into SEM and TEM specimens and the structure of the myofibrils was studied. Heating has an evident damaging effect on the myofibril structure. 40~50℃ induced super-contraction of the myofibrils. At 55, 60 and 65℃, super-contraction intensified to some myofibrils while others underwent no super-contraction, together with a mild damage to the structure due to heat-induced protein denaturation. More and more myofibrils with no super-contraction were observed at 70, 80 and 90℃, along with rising of the temperature. Coagulation of the myofilaments became more severe, which induced shortening of A-band and break of I-band, and the structure of the myofibrils was severely damaged. Higher temperatures resulted in even greater breakage. Curing with NaCl has the effect of enhancing structural damage to the myofibrils and preventing severe contraction while heating, especially at the concentration of 3%~5%.

**Key words:** fresh; cured; pork; heating; ultra-structure

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2003)10-0067-06

肉在被加热时, 由于蛋白质变性, 其超微细结构会发生明显变化。在肉制品的加工过程中, 肉在加热前一般还需经过 NaCl 腌制, 受腌制和加热的共同作用, 肉的超微细结构变化更为复杂。这种结构的变化与肉在加工过程中的汁液流失和质地变化有着密切联系, 并且在很大程度上决定着肉制品的某些质量评价因素, 如: 结着性、弹性、嫩度等等。

尽管在过去的几十年中, 世界上许多肉类科学家曾借助光学显微镜和电子显微镜对肉在加热过程中的超微细结构变化进行过研究<sup>[1~4][13~17]</sup>, 然而, 其实验材

料大部分为牛肉, 并且均为未经 NaCl 腌制的鲜肉。在我国, 目前几乎还没有关于猪肉在加工过程中超微细结构变化的报道。

在本实验中, 我们采用新鲜猪肉和经不同浓度 NaCl 溶液腌制的猪肉, 经加热至不同温度后, 对其超微细结构的变化进行了电镜观察, 其目的是将此结构变化与肉在加热时汁液流失和质地变化的关系进行分析, 为猪肉制品的加工提供科学的理论依据。

## 1 材料和方法

收稿日期: 2003-03-15

作者简介: 刘静明(1963-), 男, 高级工程师, 研究方向: 肉类科学技术。

### 1.1 新鲜猪肉及其加热样品的制备

取新鲜、未发生僵直的猪背最长肌,用锋利的刀片切成  $50 \times 30 \times 5(\text{mm})^3$  的肉片若干并分组,其中一组直接按照“1.2”中所叙述的步骤制备透射电镜观察样品,即新鲜的未经加热的样品,作为对照组;其余各组分别在 45、50、55、60、65、70、80、90℃ 的蒸馏水中加热 30min,而后缓慢冷却至室温。

### 1.2 新鲜猪肉加热样品的肌原纤维的扫描电镜标本制备

将 1.1 中所制备好的经过加热的样品细切成  $10 \times 3 \times 3(\text{mm})^3$  的小块,于 4℃ 的 Karnovsky 固定液<sup>[6]</sup>中固定 2.5h 以上→用二甲胍酸钠缓冲液洗 1 或 2 次→用匀浆器将缓冲液中的肉样品破碎,匀浆器转速为 10000 r/min,时间为 1~1.5min →于 400r/min 的速度下将匀浆液离心 10min →弃掉上层液体,只保留离心管下部的肌原纤维悬浮液,加入二甲胍酸钠缓冲液并充分振荡,静置 3~5min 后弃掉上层液体,如此反复 8~10 次,待上层液体清亮时,弃掉上清液并保留沉淀→向沉淀中加入  $\text{OsO}_4$  固定液将样品进行二次固定,时间为 15~20min →用二甲胍酸钠缓冲液洗 3 次,每次 10min →用 50%、70%、90%、100% 的系列浓度乙醇脱水→临界点干燥→将肌原纤维用棉签弹洒在贴有双面胶带的扫描电镜标本台上,喷金后,于 JSM-35CF 扫描电镜下观察。

### 1.3 新鲜猪肉及其加热样品的透射电镜标本制备

将 1.1 中制备好的样品细切成  $1(\text{mm})^3$  的小块,经戊二醛固定液初固定、 $\text{OsO}_4$  固定液二次固定、系列浓度乙醇脱水、Epon812 树脂包埋、超薄切片、染色后,于 JEM-1200EX 透射电镜下观察。

### 1.4 猪肉的腌制和加热

取新鲜的、未发生僵直的猪背最长肌,用锋利的刀片切成  $30 \times 20 \times 5(\text{mm})^3$  的肉片若干,分别将其置于 NaCl 浓度为 1%、3%、5% 的水溶液中,在 4℃ 的环境下腌制约 10h。而后,于同等浓度的 NaCl 溶液中加热至 72~75℃,保持约 30min 后取出,缓慢冷却至室温。

### 1.5 经 NaCl 腌制并加热的猪肉样品的扫描电镜标本制备

将“1.4”中制备好的样品细切成  $3 \times 2 \times 2(\text{mm})^3$  的小块,经 Karnovsky 固定液初固定、液氮冷冻割断、 $\text{OsO}_4$  固定液二次固定、系列浓度乙醇脱水、临界点干燥、喷金后,于 JSM-35CF 扫描电镜下观察。

## 2 结果与讨论

### 2.1 新鲜猪肉的超微细结构及其在加热过程中的变化

#### 2.1.1 新鲜猪肉的超微细结构

在新鲜的、未发生僵直的猪肉中,肌肉细胞内的肌原纤维排列整齐,未发生收缩现象(见图 2)。在肌原纤维内部,由肌球蛋白纤丝及肌动蛋白纤丝所构成的 A 带(即:暗带)、由肌动蛋白纤丝所构成的 I 带(即:明带)、A 带中央的 M 线及 I 带中央的 Z 盘结构非常清晰(见图 1)。肌节的长度为  $1.8 \mu\text{m}$ ,其中 A 带的长度为  $1.5 \mu\text{m}$ (见图 1)。

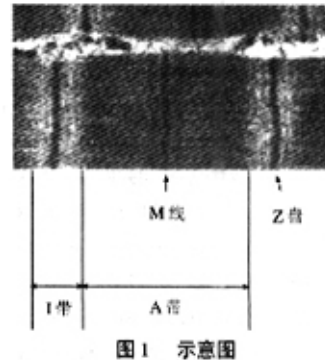


图1 示意图

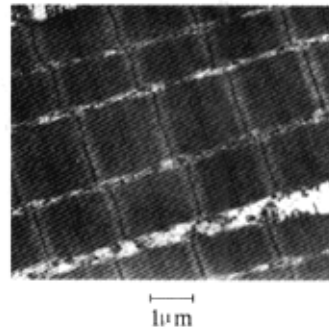


图2 6700倍

#### 2.1.2 45℃和50℃

新鲜猪肉在 45℃ 和 50℃ 的温度下加热时,肌原纤维中的肌节明显缩短,图 3 中的透射电镜照片显示出,肌节的平均长度为  $1.1 \mu\text{m}$ ,与新鲜猪肉中未发生收缩的肌节长度  $1.8 \mu\text{m}$ (见图 2)相比,缩短了 45%;I 带(即:明带)变得非常暗。在扫描电镜下,我们观察到肌原纤维的表面出现周期性的环状凸起(见图 4)。将非常暗的 I 带高倍放大时,可以发现肌球蛋白纤丝从 Z 盘两侧穿过 Z 盘并重叠在一起(见图 5)。这就造成了 Z 盘及 I 带的直径增大并在扫描电镜下显示

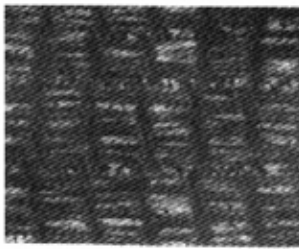


图3 7200倍

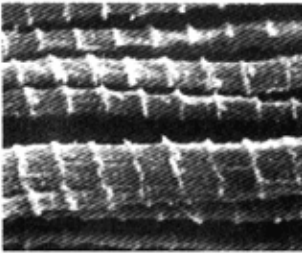


图4 5300倍

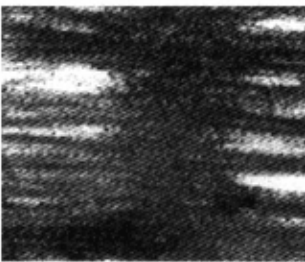


图5 30000倍

出环状凸起。肌肉所表现出的这种超微细结构表明肌肉发生了超收缩现象。此时，肌丝的热变性尚不明显，从图3和图5中我们可以发现，肌球蛋白和肌动蛋白纤维的结构清晰，未发生热变性而凝聚成颗粒。

### 2.1.3 55℃和60℃

当新鲜猪肉在55℃和60℃的水中加热时，肌原纤维表现出两种结构变化形式。

第一种：与45℃和50℃时相似，肌原纤维发生超收缩现象。另外，A带（即：暗带）中的肌丝断裂，A带中心部位的M线消失(见图6)。将A带在高倍镜下放大后可以发现，肌丝的断裂一般起始于肌球蛋白纤维的中心区域(见图7)。

第二种：肌原纤维未发生超收缩现象，A带和

I带仍可辨认，但是肌节已缩短至1.1μm(见图8)。

在55℃和60℃时，肌丝开始热变性，图7及图9中的透射电镜高倍放大照片显示出，肌丝由于热变性而变得结构模糊不清。肌浆蛋白也发生了热变性而颗粒样化，有些附着于肌原纤维的表面(见图10)。在加热到60℃的样品中，肌原纤维在某些区域发生断裂而小片化(见图11)，这使得肌原纤维开始变得脆弱。

肌原纤维在50℃和60℃时出现以上两种结构变化的原因可以分析如下：我们在加热时所采用的肉块为50×30×5(mm)<sup>3</sup>，将肉块浸入50℃和60℃的水中以后，肉块的表面温度可立刻升高至50℃或60℃，导致肌原纤维中的肌丝发生轻微的热变性，结构变得模糊不清，肌原纤维因此丧失了收缩机制；然而肉

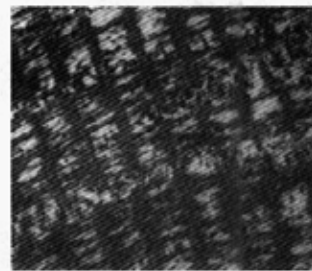


图6 7200倍

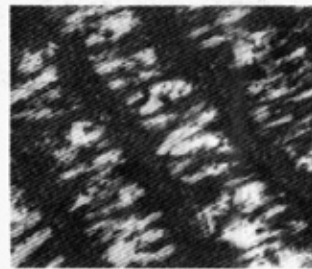


图7 19200倍

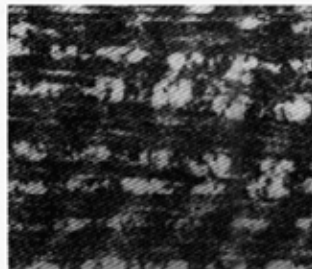


图8 8200倍

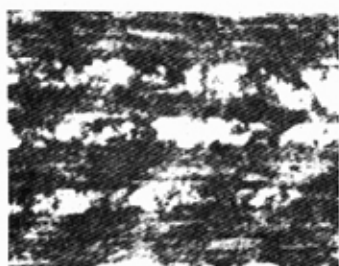


图9 14500倍

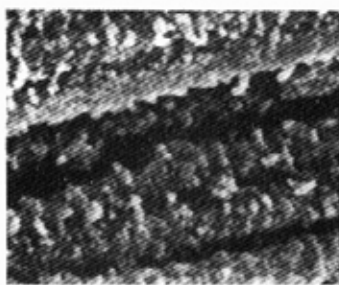


图10 3550倍

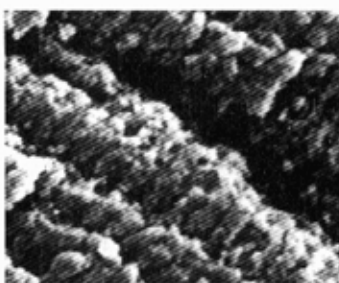


图11 4700倍

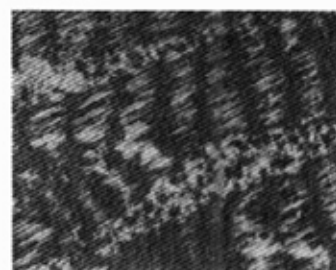


图12 7200倍



图13 26000倍

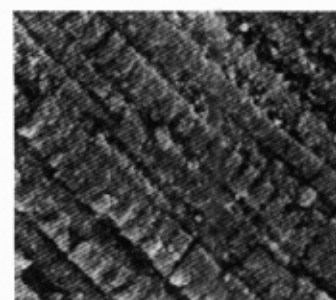


图14 2900倍

块中心部位的温度上升得相对较慢, 在通过 45~50℃ 时即发生超收缩。

#### 2.1.4 65℃

新鲜猪肉在 65℃ 水中加热时, 肌原纤维结构变化同样存在两种形式, 但变化的程度更为剧烈。在肉块的中心部位, 由于受到超收缩及热变性的双重作用, 许多肌节变得很短, 而另外一些肌节则被其两侧发生强烈收缩的肌节拉得很长(见图 12)。在该温度下, 大部分肌丝发生热变性而凝固, 图 13 的透射电镜照片中具有高电子密度的黑色斑点说明了这一点, 只有很少的肌丝仍维持其丝状形态。在肉块的表面, 肌节虽然未发生超收缩现象, 但由于肌丝发生热变性, 导致肌节长度缩短至 1.1 μm(见图 14), 比正常

的未收缩的肌节(1.8 μm)缩短了 38%; 同时在较大范围内肌节发生断裂(见图 14), 肌原纤维更加脆弱。

#### 2.1.5 70℃、80℃和 90℃

通过采用透射电镜观察, 我们发现, 尽管在这三个温度下所有样品都存在着超收缩的肌节, 但是加热温度越高, 未发生超收缩的肌节数量越多, 在这些未发生超收缩的肌节中, 有些明显短于正常肌节, 其缩短程度约为 63%, A 带和 I 带虽可辨认, 但已变短, Z 盘和 M 线消失(见图 15); 另外一些虽等长于正常肌节, 但是 A 带的长度只有 0.7 μm(见图 16), 比正常肌节 A 带的长度 1.5 μm(见图 2)缩短了 53%, 并且 I 带崩解。由于加热温度较高, 肌丝的正常结构



图 15 9100倍

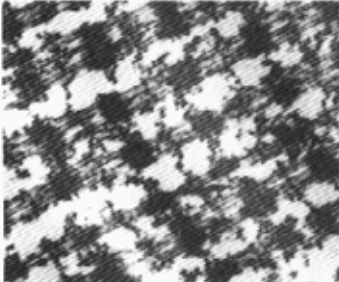


图 16 6500倍

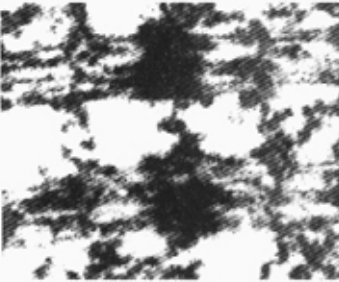


图 17 15700倍

遭到严重破坏, A 带轮廓不很清晰, Z 盘弥散(见图 16)。在高倍镜下可以发现, 样品加热到 70℃ 时, 所有肌丝均发生了热变性而凝固, 导致肌原纤维丧失其原有结构(见图 17)。从大量的观察中我们还发现, 样品的加热温度越高, 肌原纤维发生断裂而小片化越广泛, 尤其是在 90℃, 几乎所有肌原纤维都断裂成小片, 这会导致肌原纤维变得非常脆弱。

Light 等人<sup>[8]</sup>指出, 肌内膜的胶原纤维在 50℃ 时开始变性而收缩; Motr 等人<sup>[9]</sup>的实验表明, 肌束膜的胶原纤维在 64℃ 时开始变性而收缩; Jones 等人<sup>[5]</sup>在对牛的半腱肌进行加热时发现, 肌内膜的胶原在 50℃ 时未发生结构变化, 但在 60℃ 和 90℃ 时凝固,

丧失其纤维状结构, 并且肌原纤维 A 带的凝结和 I 带的断裂在 90℃ 时比 60℃ 时更为明显; Leander 等人<sup>[7]</sup>也发现, 牛的半腱肌在加热到 63℃ 时, I 带肌丝崩解, A 带肌丝收缩。该变化随温度的升高而加剧, 但是这并不会导致肉嫩度的改善, 反而使肉的嫩度变差。他们指出, 这是由于 A 带肌丝的收缩及硬化所致。对于蒸煮损失及肉的质地与肉结构的关系, Offer 等人<sup>[10~12]</sup>也曾做过综合性论述。

根据本实验的结果以及这些科学家的结论, 我们对猪肉在加热过程中的蒸煮损失和质地变化从形态学的角度做出如下分析。对于新鲜的、未发生僵直的猪肉, 当加热到 45℃ 左右时, 肌原纤维发生超收缩, 肌原纤维中的水分被排放到肌原纤维与肌内膜之间以及肌束与肌束膜之间的通道中, 但由于肌内膜和肌束膜这时未发生收缩, 通道中的水分不会被排放到肉组织表面, 因此肉块不会出现大量失水。肌内膜的胶原纤维在 50℃ 时开始收缩, 当温度升高至 60~65℃ 时, 肌束膜的胶原纤维发生热变性而导致肌束膜强烈收缩, 将通道中的水分排放到肉块表面, 造成肉块的大量失水。因此, 50~65℃ 是新鲜猪肉在加热时大量丢失水分的主要温度区间, 尤其是 60~65℃。在更高的温度下加热时, 由于 I 带崩解, 使大量肌原纤维断裂成小片, 导致肉的脆弱性增大, 因此肉容易被牙齿切断, 但是由于 A 带肌丝的收缩和凝固以及水分的大量丢失, 肉会变得又干、又碎、又硬, 其感官质量下降。因此新鲜猪肉不宜在较高的温度下(如: 90、100℃)加热较长时间。

### 2.2 猪肉经 NaCl 腌制和加热后的超微细结构变化

经过 1%、3% 和 5% 溶液腌制过的新鲜猪肉在加热到 72~75℃ 时, 肌原纤维的原有结构遭到不同程度的破坏, 几乎所有 Z 盘的两侧都出现空隙, Z 盘的结构蛋白质发生颗粒样热变性, 肌原纤维表面及其间

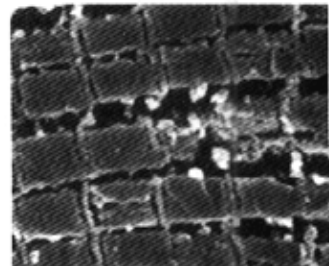


图 18 8000倍

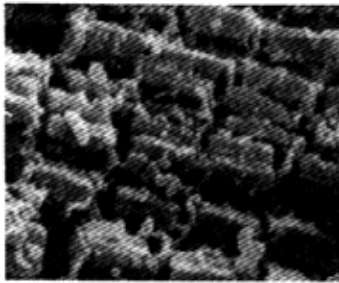


图 19 8000 倍

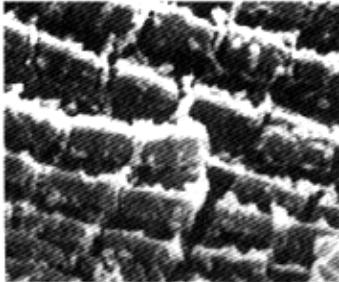


图 20 8000 倍

隙中也存在着已发生颗粒样热变性的蛋白质(见图 18、19 和 20)。将图 18、19、20 进行比较可以发现,经 3% 和 5% NaCl 腌制并加热的样品中, Z 盘两侧的间隙较宽,小片化更为明显。另外,图 18、19 和 20 中 A 带的长度约为  $1.1 \mu\text{m}$ , 比正常的 A 带( $1.5 \mu\text{m}$ )只缩短了 27%, 这说明 A 带中的肌丝未发生强烈的热变性, 没有导致 A 带大幅度收缩。

将新鲜猪肉经过 NaCl 腌制后再进行加热对肌原纤维的小片化具有促进作用。Offer 等人<sup>[10,11]</sup>曾指出,  $0.6\text{mol/L}$  的 NaCl 溶液可将肌球蛋白从 A 带的中央部位(即: M 线的位置)提取。从我们的实验结果看, I 带中的肌动蛋白也被 NaCl 溶液提取出来, 从而导致 I 带结构的脆弱化, 因为在扫描电镜的照片上可观察到, 当样品的加热温度仅为  $72\sim 75^\circ\text{C}$  时, 几乎所有的 I 带都发生了断裂, 使肌原纤维变成许许多多小片, 其中经过 3% 和 5% NaCl 腌制的样品更为明显; 此外, 由于 A 带肌丝没有发生强烈的热变性, 未导致 A 带大幅度缩短, 肌原纤维中的水分不会被大量地排出。因此我们认为, 新鲜猪肉在加热前, 使肉中的肌原纤维处在 3%~5% 的 NaCl 溶液中进行腌, 将会减少肉在加热时的蒸煮损失, 并有助于改善经过加热的肉的嫩度。

### 3 结 论

加热对猪肉的超微细结构具有明显的破坏作用。尚未发生僵直的新鲜猪肉在加热到  $45\sim 50^\circ\text{C}$  时, 肌原纤维发生超收缩; 在  $60^\circ\text{C}$  和  $65^\circ\text{C}$  的环境中加热时, 部分肌原纤维超收缩程度加剧, 而另一部分肌原纤维则不发生超收缩, 另外由于肌丝和肌浆蛋白发生变性, 肌原纤维的原始结构遭到一定程度的破坏, 肌原纤维开始崩解; 若加热温度为  $70$ 、 $80$  和  $90^\circ\text{C}$ , 未发生超收缩肌节的数量随着温度的升高而增多, 肌丝发生热变性而凝固的过程加剧, 导致 A 带缩短、I 带断裂, 肌原纤维的结构遭到严重破坏, 其崩解的程度随温度的升高而增大。新鲜猪肉在加热前先用 NaCl 进行腌制, 将对肌原纤维的崩解起到促进作用, 并可避免肌原纤维发生强烈收缩, 其中 3%~5% NaCl 溶液的作用尤为明显。

#### 参考文献:

- [1] Bendall J R, Restal D J. *Meat Sci*, 1983, (8): 89.
- [2] Cheng C S, Parrish F C. *J Food Sci*, 1976, (41): 1449.
- [3] Davey C L, Niederer A F, Graafhuts A E. *J Sci Food Agr*, 1967, (27): 251.
- [4] Giles B G. In '15<sup>th</sup> European Meeting of Meat Research Workers', Institutes of Meat Technology, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 1969. 289.
- [5] Jones S B, Carroll R J, Cavanaugh J R. *J Food Sci*, 1977, 42: 125.
- [6] Karnovsky K C. *J Cell Bio*, 1965, 27: 137-138.
- [7] Leander R C, Hedrick H B, Brown M F, White J A. *Food Sci*, 1980, 45: 1.
- [8] Light N D, Bailey A J. *Proc. 29<sup>th</sup> European Meeting of Meat Research Workers*, 1983. 135.
- [9] Mohr V, Bendall J R. *Nature*, 1969, 223: 404.
- [10] Offer G, Trinick J. *Meat Sci*, 1983, 8: 254.
- [11] Offer G. In 'Fibrous Protein Structure' (Squjire J M, Vibert P V), Academic Press, London, 1987. 307.
- [12] Offer G. *Proc. 34<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*, Brisbane, Australia, 1981, Part A, 161.
- [13] Paul P C. *J Food Sci*, 1965, 30: 960.
- [14] Paul P C, Mandlgo R W, Arthaud V H. *J Food Sci*, 1970, 35: 505.
- [15] Ramsbottom J M, Strundline E J. *J Animal Sci*, 1949, 8: 398.
- [16] Schmidt J G, Parrish F C. *J Food Sci*, 1971, 36: 110.
- [17] Weidemann J F, Kaess G, Carruthers L D. *J Food Sci*, 1967, 32: 7.