卤制温度对酱卤藏羊肉品质的影响

李海[1,2]，魏秀丽[1]，张春晖[1]，陈琳莉[2]，王振宇[1]，张德权[1]
（1.中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工重点实验室，北京 100193）
（2.重庆工商大学环境与生物工程学院，重庆 400067）

摘要：为研究卤制温度对酱卤藏羊肉品质的影响，本试验分析了卤制中心温度为 30、40、50、60、70、80、90、99 ℃时对藏羊后腿肉的蒸煮损失、剪切力、蛋白溶解度的影响，并采用 SDS-PAGE 电泳和扫描与透射电镜研究了对藏羊肉肌原纤维蛋白组分及微观结构的变化。结果表明：随着卤制中心温度的升高，蒸煮损失率由中心温度为 30 ℃时的 15.82%逐渐增大到 99 ℃时的 41.15%；剪切力随着卤制中心温度的升高而逐渐增大，到 70 ℃时达到最大值，但熟化温度达到 80 ℃后剪切力变小，随后又逐渐增大；蛋白溶解度随着中心温度的升高而呈逐渐降低的趋势。SDS-PAGE 和透射与扫描电镜结果表明，随着卤制中心温度的升高，肌原纤维蛋白发生了蛋白降解与交联，肌原纤维束间的空隙逐渐缩小，变得更加密集、紧凑，且肌纤维直径和肌节长度逐渐缩小。因此，卤制中心温度为 70 ℃时是酱卤藏羊肉品质形成的关键温度点。

关键词：藏羊肉；传统卤制；中心温度；食用品质
文章篇号：1673-9078(2015)11-257-262 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.039

Effect of Marination Temperature on the Quality of Tibetan Mutton

LI Hai[1,2], WEI Xiu-li[1], ZHANG Chun-hui[1], CHEN Lin-li[2], WANG Zhen-yu[1], ZHANG De-quan[1]
(1.Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China) (2.College of Environmental and Biological Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The effects of internal temperature on Tibetan mutton quality during marination were investigated. The effects of internal temperature during marination (30 ℃~ 99 ℃) on the Warner-Bratzler shear force, cooking loss, and protein solubility of Tibetan mutton muscle from hind leg were analyzed. The changes in myofibrillar protein composition and microstructure of Tibetan mutton muscle were determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE), scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM). The results indicated that with increasing internal temperature of marination, the cooking loss gradually increased from 15.82% at 30 ℃ to 41.15% at 99 ℃ ($P < 0.05$); Warner-Bratzler shear force was gradually increased to the peak value at 70 ℃ ($P < 0.05$). When temperature reached 80 ℃, the shear force decreased initially before it gradually increased. The protein solubility showed a slow downward trend with increasing internal temperature. The results of SDS-PAGE, SEM, and TEM indicated that with the increase of internal temperature of marination, protein degradation and crosslinking occurred in the myofibrillar tissue, the space among myofibrillar bundles gradually decreased, myofibrillar bundles became denser and more compact, and myofibril diameter and sarcomere length decreased gradually. Therefore, an internal temperature of 70 ℃ is the key temperature point for the quality of marinated Tibetan mutton.

Key words: Tibetan mutton; traditional marinating; internal temperature; eating quality

酱卤肉制品是中国传统肉制品的典型代表，已有几千年历史，其具有外形美观、色泽鲜亮、风味醇厚和美味可口等特点，从北到南已有天福号酱肘子、德州扒鸡、南京盐水鸭、川味卤肉等不同卤制产品[1]。酱卤肉制品的制作方法主要是将原料肉放入煮沸的卤汤中进行水煮，属于肉制品热加工范围。热处理是影响肉制品的蒸煮损失、嫩度、蛋白结构、风味等食用品质的重要因素[2~4]。Combes[5]研究表明，热处理温度和时间对兔肉的蒸煮损失和嫩度产生了显著影响；Tornberg[2]研究表明，热处理过程会使肉中不同种类的蛋白质会发生热变性，导致细胞膜破坏、肌肉纤维收缩、肌原纤维蛋白和肌浆蛋白凝胶的形成、结缔组织收缩和溶解等变化。Kong[6]利用扫描电镜和透射电镜观察热处理对鸡肉和鲑鱼肉微观结构的影响，结果表

收稿日期：2014-12-15
基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201203009）
作者简介：李海（1988-），男，硕士，研究方向：农产品资源化利用
通讯作者：张春晖（1971-），男，博士，教授级高工，研究方向：肉品科学

明，随着煮制时间的延长，肌纤维直径和肌节长度都发生显著变化，并与肉的蒸煮损失和嫩度具有相关性。

羊肉因其胆固醇含量低、营养丰富、味美多汁、越来越受到人们的喜爱，其产量和消费量正在逐年递增。青海藏羊（以下简称藏羊）是青藏高原优势畜种之一，具有适应性强、能在恶劣的生态条件下生存并繁衍生息，体格大、体质结实，有较强的抗病力等特点。与其他品种羊肉相比，其肉质细嫩，适口性好，膻味小，香味和鲜味浓郁，特别适合制作酱卤羊肉产品[7]。但长期以来，由于受对藏羊肉特性了解匮乏、藏区高原气候条件影响和酱卤肉制品制作方法等诸多因素的限制，对于卤制条件对藏羊肉食用品质影响的研究报道较少。本文以藏羊肉为研究对象，利用热电偶检测藏羊肉卤制中心温度，分析了卤制中心温度分别为 30、40、50、60、70、80、90、99 ℃时对藏羊肉的蒸煮损失、剪切力、蛋白溶解度和微观结构的影响，旨在较为全面的阐述卤制中心温度对藏羊肉品质的影响，为在藏羊肉卤制加工过程中选择适合的工艺条件提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

试验用藏羊肉为8月龄青海欧拉羊后腿肉。羊屠宰后经0~4 ℃吊挂排酸24 h后，取整只去骨后腿肉样，并用透明聚乙烯薄膜包装后放入-70 ℃冰箱中保存。

试验所用试剂：牛血清清蛋白（BSA）：北京拜尔迪生物技术有限公司；丙烯酰胺、过硫酸铵（APS）：美国AMRESCO公司；三羟甲基氨基甲烷（Tris）：美国Angus公司；考马斯亮蓝（R-250）：美国Sigma公司；其他试剂均购于国药集团化学试剂有限公司，均为分析纯。

1.2 主要仪器

Testo 735 型热电偶（德国 Testo 公司）；TA-XT2i 质构分析仪（英国 Stable MicroSystem 公司）；高速匀浆机（德国 IKA 公司）；X-12R 高速冷冻离心机（美国 Beckman 公司）；T6 紫外分光光度计（北京普析通用有限公司）；AE-6450 电泳设备（美国 Bio-Rad 公司）；Eiko IB5 型离子溅射喷金仪（日本 Hitachi 公司）；H-7500 型扫描电镜（日本 Hitachi 公司）；Quanta200FEG 场发射环境扫描电子显微镜：国家纳米中心。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

羊肉经4 ℃解冻后去除可见脂肪及结缔组织，随后将羊肉切成4 cm×4 cm×6 cm的块状，单独分装后在室温下平衡20 min使每个样品的中心温度保持一致。随后羊肉放入100 ℃卤水中卤制，以热电偶插入肉块中心检测样品中心温度，分别在中心温度30、40、50、60、70、80、90、99 ℃时取样。取样后将样品放入自封袋中，在20 ℃冷水中冷却20 min后备用。试验以原料藏羊肉作为对照组。

1.3.2 蒸煮损失率的测定

参考 Li[8]的方法，卤制前擦干样品表面水分后称重，卤制后冷却至室温，擦干表面水分后称重，蒸煮损失率为藏羊肉卤制前后的差值。蒸煮损失率的计算公式如下：蒸煮损失率=（卤制前羊肉的质量-卤制后羊肉的质量）/卤制前羊肉的质量×100%。

1.3.3 剪切力值测定

将藏羊肉顺着纤维方向切成大小为 1 cm×1 cm×4 cm 的小条，利用 TA-XT2i Puls 型质构仪（英国 Stable Micro System 公司）进行测定。测定条件：探头型号为 HDP/BSW 探头，测前速度 1.0 mm/s，测中速度 1.0 mm/s，测后速度 10.0 mm/s，时间间隔 5 s。

1.3.4 蛋白溶解度

肌浆蛋白和总蛋白（肌浆蛋白和肌原纤维蛋白）溶解度的测定参考 Joo[9]的方法。肌浆蛋白浓度测定：1 g 样品加入 10 mL 预冷的 0.025 mol/L 的磷酸钾缓冲液（pH 7.2）后匀浆，4 ℃条件下振荡 12 h 后 1500 g 离心 20 min，上清液中蛋白浓度使用双缩脲法测定。总蛋白浓度测定：1 g 样品加入 20 mL 预冷的含有 1.1 mol/L 碘化钾的 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液（pH 7.2），4 ℃条件下振荡 12 h 后 1500 g 离心 20 min，上清液中蛋白浓度使用双缩脲法测定。肌原纤维蛋白浓度为总蛋白与肌浆蛋白浓度的差值，蛋白溶解度以百分数形式表示。

1.3.5 SDS-PAGE 电泳

参考 Xiong[10]的方法提取藏羊肉的肌原纤维蛋白，提取的肌原纤维蛋白参考 Laemmil[11]的方法用 SDS-PAGE 分析卤制中心温度对藏羊肉肌原纤维蛋白质的影响。浓缩胶浓度为 4 %，分离胶浓度为 12 %。还原电泳样品中含有 5 %的 β-巯基乙醇，电泳结束后用 0.1 %的考马斯亮蓝染色液染色，用含 10 %醋酸的脱色液进行脱色，最后用凝胶成像仪进行拍照。

1.3.6 肌原纤维微观结构观察

参考 Palka[12]的方法做扫描电镜（scanning electronmicrograph，SEM）观察肌原纤维的直径和密度。将待检测样品切成大小为 2 mm×2 mm×5 mm 的

小条并固定在 2.5%戊二醛溶液中，然后用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液（pH 7.3）冲洗，在室温（27~28 ℃）放置 2 h 后将样品用蒸馏水冲洗，随后采用不同浓度 25 %、50 %、70 %和 95 %及无水乙醇梯度脱水 2 次，每次 1 h。样品在液氮中冷冻断裂后放入超临界 CO_2 干燥仪中干燥，然后用 Eiko IB-5 型离子溅射喷金仪喷金，用 Quanta 200 FEG 场发射环境扫描电子显微镜观察并照相，加速电压 20 kV。参考 Mestre[13]的方法并作做透射电镜（transmissionelectron microscrope，TEM）观察肌原纤维超微结构。将待测样品切成大小为 4 mm×4 mm×2 mm 的小条，并立即放入 2.5 %的戊二醛固定液中进行前固定，用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液（pH 7.4）冲洗，然后在通风橱中用 1 %四氧化锇进行后固定，放置 2 h，再次用磷酸缓冲液冲洗后进行乙醇梯度脱水，再利用无水丙酮置换 3 次，每次放置 7~15 min。脱水后用包埋剂包埋后用 UC6 型超薄切片机进行超薄切片，醋酸铀-柠檬酸铅双染色，最后用 H-7500 型透射电镜观察拍照。

1.3.7 数据分析

本试验中除肌原纤维微观结构试验外，所有样品均至少设置3个重复。用SAS 9.2（statistic analysis system，SAS）对结果进行方差分析，使用最小显著差异法（LSD）进行显著性分析（P＜0.05）。使用Image-Pro Plus 6.0软件对肌节长度和肌纤维直径进行定量分析。

2 结果与分析

2.1 卤制中心温度对蒸煮损失的影响

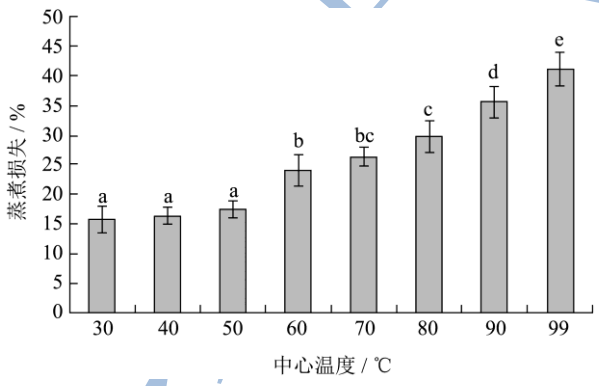


图 1 卤制中心温度对藏羊肉蒸煮损失的影响

Fig.1 Effect of internal temperature on cooking loss of marinated Tibetan mutton

注：不同字母表示该指标差异显著（P＜0.05）。

系水力是肉品品质的重要指标，对肉的多汁性和嫩度都有重要影响，蒸煮损失是表征肌肉系水力品质的指标之一[14]。成亚斌[15]研究表明卤制过程中流失的汁液中含有可溶性蛋白质，造成卤制物料中部分营养成分的流失。同时，汁液流失会降低卤制产品的出品率。

不同卤制中心温度对藏羊肉蒸煮损失的影响见图 1。随着卤制中心温度的不断上升，蒸煮损失由最初 15.82%逐渐增大到 41.15%。其中，在中心温度为 30~50 ℃之间时，蒸煮损失的变化不大（P＞0.05），维持在较低水平，随着中心温度的升高，60~99 ℃时，蒸煮损失发生显著的变化（P＜0.05）。此结果表明，羊肉的系水力随着卤制中心温度的升高而不断下降，这主要是因为在热加工过程中，系水力主要与肌原纤维蛋白热变性的程度有关[16]。在最初阶段，羊肉肌原纤维未完全变性，肌纤维产生的压力和张力较小，使水分溢出较小，随着卤制温度的不断升高，肌纤维因为完全变性而产生的压力和张力增大，使水分不断溢出，导致蒸煮损失显著升高。除此之外，有研究结果表明[17]，随着中心温度的上升，肌球蛋白和肌动蛋白的热变性会使蛋白质的结构发生改变，导致肌浆蛋白随着水一起溢出，致使蒸煮损失升高，也是蒸煮过程导致肉品营养成分的损失的重要原因。

2.2 卤制中心温度对剪切力的影响

嫩度是指肉在食用时口感的老嫩，用以反映肉的质地、评价肉以及肉制品食用物理特性的重要指标，剪切力值是反映肉的嫩度最常用的指标之一[18]。卤制中心温度对藏羊肉剪切力的影响见图 2。随着卤制中心温度的增加，剪切力以中心温度 70 ℃为分界点呈两种趋势。30~70 ℃之间，剪切力呈逐渐增大的趋势，到 70 ℃时达到最大值，随后又在 80~90 ℃之间又呈逐渐增大的趋势，此结果与 Mette 和 Wattanachant[3,19]的研究相一致。

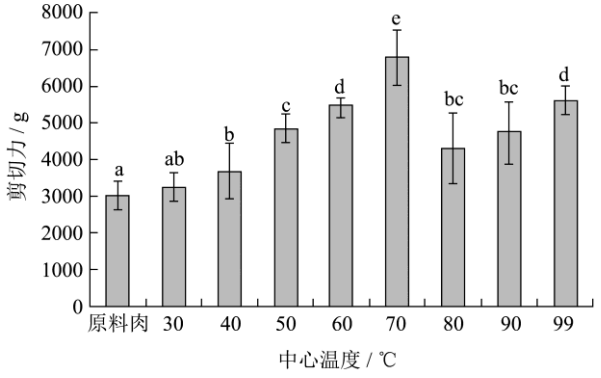


图 2 卤制中心温度对藏羊肉剪切力的影响

Fig.2 Effect of internal temperature on the shear force of marinated Tibetan mutton

注：不同字母表示该指标差异显著（P＜0.05）。

研究表明[3]肉在加热过程中，肌原纤维蛋白和结缔组织的变化是决定肉剪切力变化的两个重要影响因

素，加热时二者张力发生变化，从而共同导致剪切力的变化。在 30~70 ℃之间，剪切力的上升主要是因为肌内结缔组织变性导致肉的嫩度发生变化，而肌内结缔组织主要由胶原蛋白构成，加热时胶原蛋白发生变性收缩使嫩度增加，另一个原因可能是胶原蛋白部分变性使得原来卷曲的胶原蛋白纤维变直，使得单位面积内的胶原蛋白数量增加，从而使得张力上升，最终导致嫩度增加和剪切力上升[20]。剪切力在 80~99 ℃之间发生第二次上升，主要原因可能是因为肌原纤维蛋白的变性收缩导致，肌动蛋白和肌浆蛋白的热变性增强了肌纤维的强度，肌纤维之间的空隙变小，单位面积内纤维数量增加也可能是导致剪切力上升的原因。

2.3 卤制中心温度对蛋白溶解度的影响

蛋白溶解度是蛋白质变性的指标，蛋白溶解度的降低表明蛋白变性程度上升[21]。卤制中心温度对藏羊肉蛋白溶解度的影响见表 1。随着中心温度的上升，肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和总蛋白溶解度都呈逐渐降低的趋势。与原料肉相比，肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和总蛋白溶解度分别下降了 82.65%、78.86%和 80.27%，可见卤制过程中加热处理对蛋白溶解度的影响很大。

肉在热处理的开始阶段，肌浆蛋白溶解度显著降低（$P<0.05$），这主要是因为肌浆蛋白在 40~60 ℃时发生蛋白聚集导致溶解度降低[2]，另一方面，肌浆蛋白为水溶性蛋白，加热时肌束膜收缩和肌纤维间隙变小会导致肌浆蛋白随水一起溢出而降低溶解度。肌原纤维蛋白在 50 ℃以下时溶解度降低主要是因为肌原纤维蛋白结构在 30~32 ℃开始展开，随后在 36~40 ℃发生蛋白交联导致的，而肌球蛋白在 53~58 ℃之间的热变性和肌动蛋白在 70~80 ℃之间的热变性是导致肌原纤维蛋白的溶解度进一步降低的主要原因[2]。

表 1 卤制中心温度对藏羊肉蛋白溶解度的影响

Table 1 Effect of internal temperature on the protein solubility of marinated Tibetan mutton

	原料肉	30	40	50	60
肌浆蛋白	80.39±1.99^{a}	49.25±1.33^{b}	25.93±0.96^{c}	19.35±0.89^{d}	13.29±1.45^{e}
肌原纤维蛋白	135.32±5.23^{a}	56.17±10.25^{b}	42.92±16.9^{b}	42.15±8.94^{bc}	45.88±7.08^{bc}
总蛋白	215.71±7.21^{a}	105.42±9.01^{b}	68.85±17.64^{c}	61.51±8.39^{c}	59.17±8.45^{cd}
	70	80	90	99	
肌浆蛋白	9.38±0.21^{e}	9.34±0.56^{f}	10.08±1.71^{f}	13.95±1.45^{f}	
肌原纤维蛋白	21.7±5.39^{cd}	18.94±3.62^{cd}	26.61±8.14^{d}	28.60±13.79^{d}	
总蛋白	31.08±5.48^{de}	28.28±3.31^{e}	36.69±8.13^{e}	42.55±13.43^{e}	

注：同一行同一指标的不同字母表示差异显著（P＜0.05）。

2.4 藏羊肉 SDS-PAGE 分析

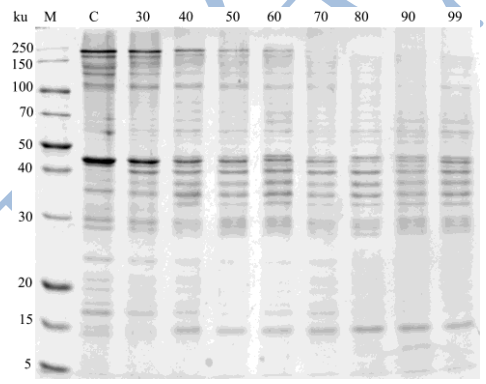


图 3 不同卤制中心温度藏羊肉肌原纤维蛋白 SDS-PAGE 图

Fig 3 SDS-PAGE pattern of marinated Tibetan mutton at different internal temperatures

注：M表示标准蛋白，C表示原料肉。

通过SDS-PAGE凝胶电泳观察不同卤制中心温度下藏羊肉肌原纤维蛋白质的变化情况，图 3 为原料肉和不同卤制中心温度下藏羊肉肌原纤维蛋白的 SDS-PAGE 电泳图。由图中可以看出，随着卤制中心温度的不断升高，蛋白质条带发生了三个显著的变化。大分子条带（220 ku），即肌球蛋白重链（myosin heavy chain，MHC）和分子量为 100 ku 的副肌球蛋白（paramyosin）条带随着卤制中心温度的升高条带逐渐变细，条带颜色逐渐变浅，说明此时蛋白质发生了降解，而伴随着蛋白降解的发生，在 50 ku~70 ku 之间出现了新的小分子条带。第二个主要显著变化发生在分子量为 43 ku 的肌动蛋白（actin）和 36 ku 的原肌球蛋白（tropomyosin）处，随着中心温度的上升，两个分子条带都发生了降解，并在稍低的位置生成了新的条带。最后一个显著变化发生在小分子条带 15 ku 处，此处随着卤制中心温度的温度而生成了一个新的条带。此研究结果与 wattanachant[3]的研究相一致，表明卤制中心温度的变化对羊肉肌原纤维蛋白的结构产生了影响。

2.5 卤制中心温度对藏羊肉微观结构的影响

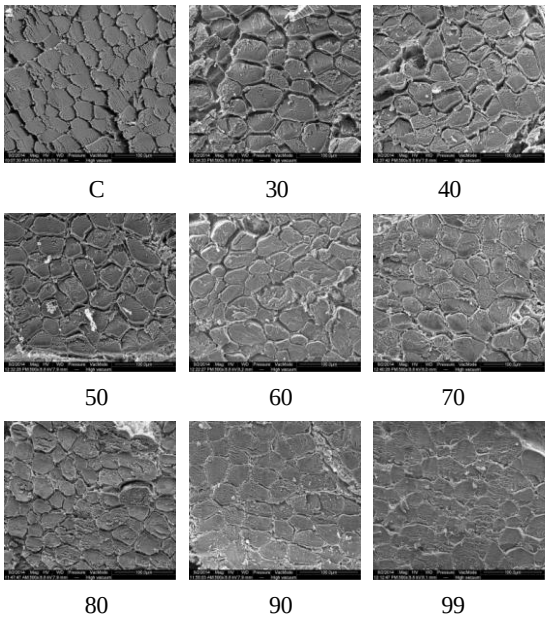


图 4 不同卤制中心温度肌原纤维束微观结构（500×）

Fig.4 Microstructure of myofibrillar bundles of marinated Tibetan mutton at different internal temperatures (500×)

羊肉肌原纤维的微观结构采用扫描电镜和透射电镜进行观察（图 4 和图 5）。由扫描电镜图中可以看出，肌原纤维横截面中，纤维束结构清晰，排列整齐。在热加工初期，纤维束之间的空隙较大，随着中心温度的升高，纤维束之间的空隙逐渐缩小，排列得更加密集，这主要是因为随着卤制中心温度的升高，纤维束之间的水分溢出、细胞膜被破坏、纤维束横向收缩、肌浆蛋白的聚集和凝胶的形成、结缔组织的收缩等原因导致的[22]，空隙的缩小和排列更加密集会导致剪切力的上升和蛋白质溶解度降低，这与前面的分析结果相一致。表 2 为肌纤维直径和肌节长度定量分析，从中可以看出，随着卤制中心温度的升高，肌纤维直径由 49.52 μm 缩小至 32.09 μm，缩小了 35.20%，而肌纤维直径的缩小会导致单位面积肌纤维数量的增加，这同样是导致剪切力上升的原因。

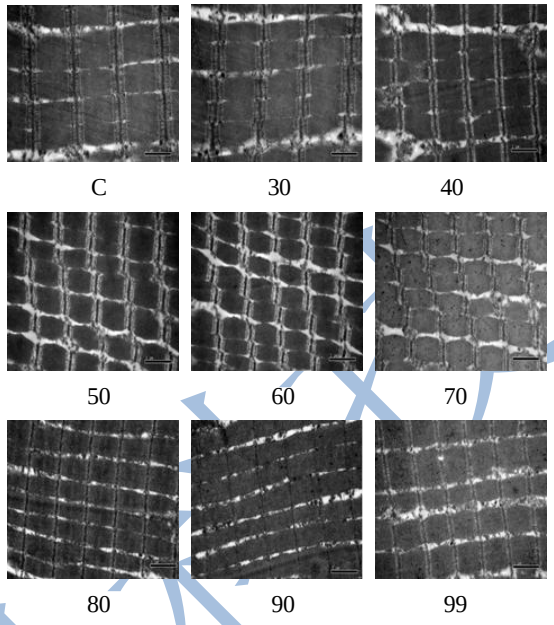


图 5 不同卤制中心温度肌原纤维束超微结构（25000×）

Fig.5 Ultrastructure of myofibrillar bundles of marinated Tibetan mutton at different internal temperatures (2500×)

图 5 为透射电镜图，从中可以看出，原料肉时肌纤维排列整齐，肌节中 I 带、A 带和 Z 线清晰明显。随着卤制中心温度的升高，在 70 ℃时肌节发生明显变化，此时 Z 线开始变的模糊，I 带逐渐缩小，此结果与 Wattanachant[3]研究鸡肉中的变化相一致，而 Li[8]研究鸭肉中的变化主要发生在 60 ℃。从定量角度分析，随着温度的升高，肌节长度由原料肉的 1.68 μm 缩小至 1.04 μm，呈明显缩小趋势。

表 2 不同卤制中心温度肌节长度和肌纤维直径变化

Table 2 Effect of different internal temperatures on myofibril diameter and sarcomere length

	原料肉	30	40	50	60
肌纤维直径/μm	49.52±2.5^{ab}	51.87±6.82^{a}	48.24±2.00^{b}	43.21±1.76^{c}	38.23±1.50^{d}
肌节长度/μm	1.68±0.02^{a}	1.41±0.01^{b}	1.38±0.10^{b}	1.35±0.05^{b}	1.22±0.08^{c}
	70	80	90	99	
肌纤维直径/μm	37.32±2.39^{de}	35.52±3.09^{de}	34.35±1.56^{ef}	32.09±2.43^{f}	
肌节长度/μm	1.22±0.03^{c}	1.16±0.01^{d}	1.14±0.01^{d}	1.04±0.04^{e}	

注：同一行同一指标的不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

3 结论

卤制品是中国传统肉制品，在卤制过程中原料肉随着卤制中心温度的升高肉的品质发生了显著变化。蒸煮损失随着温度升高呈逐渐降低的趋势，而剪切力随着温度的升高逐渐增加，在 70 ℃时达到最大值，80 ℃时剪切力减小后又逐渐增大，蛋白溶解度同样随着中心温度的升高而逐渐降低，通过扫描与透射电镜观察微观结构发现随着卤制中心温度的升高，肌纤维排列更加紧密，肌节中 Z 线和 I 带在 70 ℃时开始发生降解，肌纤维直径和肌节长度逐渐缩小。综上所述，中心温度为 70 ℃时是卤制藏羊肉过程中的关键温度

点，此阶段藏羊肉的品质发生显著变化。本研究为传统卤制加工提供了理论基础，同时为在高原气候条件下卤制藏羊肉的加工过程提供理论基础。

参考文献

[1] 张勉,唐道邦,刘忠义等.酱卤肉制品的研究进展 [J].肉类工业,2010,353(9):47-50
ZHANG Mian, TANG Dao-bang, LIU Zhong-yi, et al. Research development on meat product cooked in soy sauce [J]. Meat Industry, 2010, 353 (9): 47-50

[2] Tornberg E. Effects of heat on meat proteins e implications on structure and quality of meat products [J]. Meat Science, 2005, 70: 493-508

[3] Wattanachant S, Benjakkul S, Ledward A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of thai indigenous chicken muscle [J]. Food Chemistry, 2005, 93: 337-348

[4] Christensen M, Purslow PP, Larsen LM. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue [J]. Meat Science, 2000, 55, 301-307

[5] Combesa S, Lepetitb J, Darchea B, et al. Effect of cooking temperature and cooking time on warner-bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat [J]. Meat Science, 2003, 66: 91-96

[6] Kong Fanbin, Tang Juming, Lin Mengshi, et al. Thermal effects on chicken and salmon muscles: tenderness, cook loss, area shrinkage, collagen solubility and microstructure [J]. WT-Food Science and Technology, 2008, 41: 1210-1222

[7] 刘海珍,焦小鹿,范涛.青海藏羊肉的品质特性研究 [J].中国草食动物,2005,25(4):57-58
LIU Haizhen, JIAO Xiaolu, FAN Tao. Study on quality characteristic of tibetan mutton [J]. China Herbivores, 2005, 25(4): 57-58

[8] Li Chao, Wang Daoying, Xu Weimin, et al. Effect of final cooked temperature on tenderness, protein solubility and microstructure of duck breast muscle [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51: 266-274

[9] Joo ST, Kauffman RG, Kim BC, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle [J]. Meat Science, 1999, 52: 291-297

[10] Wu M G, Xiong Y L, Chen J. Rheology and microstructure of myofibrillar protein-plant lipid composite gels: effect of emulsion droplet size and membrane type [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(4): 318-324

[11] Laemmil UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 227: 680-685

[12] Palka K, Daun H. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine M. semitendinosus during heating [J]. Meat Science, 1999, 51: 237-243

[13] Mestre Prates J A, Garcia e Costa F J S, Ribeiro A M R, et al. Contribution of major structural changes in myofibrils to rabbit meat tenderisation during ageing. Meat Science. 2002, 61: 103-113

[14] 周光宏,李春保,徐幸莲,等.肉类食用品质评价方法研究进展.中国科技论文在线,2007,2(2): 75-82
ZHOU Guang-hong, LI Chun-bao, XU Xing-liang et al. Advances in methods for evaluating meat palatability. Science Paper Online, 2007, 2(2): 75-82

[15] 成亚斌,黄凯信,宋贤良等.不同卤制次数的盐焗鸡卤汁中的营养成分变化规律[J].食品与发酵工业，2014，40(3): 129-133
CHENG Ya-bin, HUANG Kai-xin, SONG Xian-liang. The nutrition change in the brine of water-boiled salted chicken with different marinating times [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(3): 129-133

[16] Larick DK, Turner BE. Aseptic processing of beef particulates: flavor d evelopment/stability and texture [J]. Journal of Food Science, 1992, 57, 1046-1050

[17] Bertola NC, Bevilacqua AE, Zaritzky NE. Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1994, 18, 31-46

[18] 王春青,李侠,张春晖,等.肌原纤维特性与鸡肉原料肉品质的关系[J].中国农业科学,2014,47(10):2003-2012
WANG Chun-qing, LI Xia, ZHANG Chun-hui, et al. Study on relationship between myofibril characteristics and meat quality of chicken raw meat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(10): 2003-2012

[19] Mette Christensen, Peter P. Purslow, Lone M. Larsen. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue [J]. Meat Science, 2000, 55: 301-307

[20] Lewis GJ, Purslow P. The strength and stiffness of perimysial connective tissue isolated from cooked beef muscle [J]. Meat Science, 1989, 26: 255-269

[21] Choi YM, Lee SH, Choe JH, et al. Protein solubility is related to myosin isoforms, muscle fiber types, meat quality traits,

and postmortem protein changes in porcine longissimus dorsi muscle [J]. Livestock Science, 2010, 127: 183-191

[22] Garc á-Segovia P, Andr és-Bello A, Mart ínez-Monz ó J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (M pectoralis) [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 813-821

现代食品科技