

肉品的嫩化机制、方法及其影响因素

王晓华¹, 曹 恺¹, 甘 泉¹, 谷大海², 黄启超²

(¹江苏雨润食品产业集团有限公司生鲜技术部, 南京 210041; ²云南农业大学食品科技学院, 昆明 650201)

摘 要:肉品嫩度是肉的主要食用品质之一,它是消费者评判肉质优劣的最常用指标。由肌肉转变为可食性肉,到最后的嫩化成熟是一个复杂过程。宰后肉类的后期成熟和嫩化处理,是改善肉品嫩度的关键环节。该文主要阐述了影响肉嫩度的因素(宰前和宰后因素)、嫩化方法以及嫩化机制(如:电刺激、盐类、酶法、有机酸、超声波、高压和吊挂拉伸等),为肉制品加工企业品质改良提供理论支持。

关键词:嫩化机制;嫩化方法;肌肉

中图分类号: TS251.1 **文献标识码:** A

The Impact Factors, Methods and Mechanism of the Tenderization in Animal Skeletal Muscle

Wang Xiaohua¹, Cao Kai¹, Gan Quan¹, Gu Dahai², Huang Qichao²

(¹Meat Research and Technology Department of Jiangsu Yurun Food Industry Co.Ltd., Nanjing 210041;

²Faculty of Food Science and Technology, YAU, Kunming 650201)

Abstracts: The tenderness is main palatability of meat and index used to judge the meat quality. It is complex process that the muscle change to meat. It is key link to improve the quality of meat (especially tenderness) what the tender treatment and late maturity of postmortem animal skeletal muscle. This paper describes the impact factors of tenderization (previous-and post-mortem) and the Mechanism of tenderization (organic acids, electrical stimulation, salts, enzyme, ultrasonic, high pressure and stretch) in postmortem animal skeletal muscle.

Key words: mechanism of tenderization, impact factors, tenderness

肉品嫩度是肉的主要食用品质之一,它是消费者评判肉质优劣的最常用指标。由肌肉转变为可食性肉,到最后的嫩化成熟是一个复杂过程^[1]。随着国内外畜牧业的快速发展,消费者不仅关注肉和肉制品的生产数量,而且对其食用品质提出了更高的要求。肉品嫩度是指肉在食用时口感的老嫩,反映了肉的质地,其反映了肉中各种蛋白质的结构特性,肌肉中脂肪的分布状态及肌纤维中脂肪的数量等^[2]。过去 60 年国内外的肉品科学工作者为提高、改善和保持肉品的嫩度做了大量的科学工作,对肉品嫩化机理和嫩化方法进行了广泛而深入的研究。

1 影响肉品嫩度的宰前因素

1.1 畜种、年龄和性别

一般来说畜禽体型越大其肌肉纤维越粗大,肉亦越老。动物年龄越小,肌纤维越细,肉也越嫩^[3]。随动物年龄的增加,肉品的嫩度降低,这是由于胶原蛋白结构发生变化,不可降解的交联越来越多,胶原纤维间的联结强度更大,机械稳定性增强,肌内膜和肌束膜的结构变得更有规则、更粗,所以更能耐受湿热烹调。在其他条件一致的情况下,一般公畜的肌肉较母畜粗糙,肉质也较老^[3]。

1.2 肌肉部位

同种动物的不同部位肉嫩度有很大差异,如牛肉

基金项目: 云南省科技攻关项目(2004NG04)——云南肉羊肉牛产业化关键技术与集成示范。

第一作者简介: 王晓华,男,1981 年出生,硕士,研究方向:畜产品安全与质量控制。通信地址:236001 安徽省阜阳市阜胡路 16 号安徽福润肉类加工有限公司技术研发中心, E-mail: wxh090048@126.com。

通讯作者: 黄启超,男,1979 年出生,实验师,主要从事畜产品的研究与开发。通信地址:650201 云南省昆明市北郊黑龙潭云南农业大学食品科技学院。E-mail: huangqichao7978@126.com

收稿日期: 2008-05-04, **修回日期:** 2008-06-18。

腰部比臀部、跟腱部肉要嫩得多,这是不同部位肉块的结缔组织含量不同造成的差异。活体肌肉的功能不同,肌肉中结缔组织含量不同。前后腿在运动过程中承受大部分力量,所以结缔组织含量相当多,而腰肋部提供支撑功能,因此,结缔组织含量低。不同部位肉嫩度变异的另一个原因是胴体冷却时每块肌肉承受的拉伸力的大小。由于胴体自身重量引起的拉伸可防止肌肉收缩,从而产生较嫩的肌肉。腰肋部肌肉比腿部肌肉受到的拉伸力大,所以腰肋部肌肉块比腿臀部肉嫩。这是腰部肌肉为最大嫩度肉块的主要原因^[4]。

1.3 基因型

许多研究者提出控制屠宰牛群的基因型会完全解决牛肉生产中的嫩度问题。基因型确实对动物肉的嫩度差异起作用,但分析结果是环境因素对嫩度也有相当的作用。同一品种牛的基因型只控制肉品30%的嫩度变异,即30%的嫩度是由遗传决定的,70%是由环境因素引起的。品种间的嫩度变异程度与品种内的变异程度相等,或略低于后者。所有品种的牛肉46%嫩度水平是由基因型决定的,54%是由环境因素决定的^[5]。

2 影响肉品嫩度的宰后因素

2.1 pH 值

pHu(极限pH值)和pH-温度下降速率对肉品嫩度有重要影响,宰前应激、动物品种、品种内的基因变异以及电刺激都是pHu、pH-温度下降速率的决定因素^[6]。

宰杀时动物体内糖原含量低,宰后转变的乳酸产物低,pH值下降的程度小,肉的pHu高。大量实验证明高pH值产品(pH>6.2)嫩化迅速,并且嫩度比正常pH值(5.6~5.8)的肉嫩度高^[7]。温度下降速率一般时,pH值下降速率慢或中等的肉块嫩度高,并且不发生冷收缩。Marsh等人(1981)指出当温度下降不太快时(如僵直前温度<15℃),宰后早期pH值高的牛肉嫩度高。体外实验证明,低pH值使 μ -calpain稳定性降低,自溶发展更快,最终使其失活^[8]。Wahlgren et al(1997)指出中等pH-温度下降(pH值5.6,10 h p.m)比快速pH下降(pH值5.6,1 h p.m)在3d后获得较高嫩度的肉^[9]。Tornberg等人(2000)用不同电刺激获得不同pH值下降速率的肉,发现pH值快速下降组肉的剪切力值在第1天已明显低于其他组,并且在整个成熟期内剪切力最高^[10]。

2.2 胶原蛋白

胶原蛋白是构成肌原纤维的主要成分,它的性质与肉的嫩度有密切的关系。研究表明,胶原蛋白对嫩度的影响实际上是取决于胶原蛋白分子间的交联水平与

程度^[11]。Hill(1966)将牛按年龄分成幼、中、老年组,测其胶原蛋白的含量发现幼年和老年组牛肉的胶原蛋白总含量高,中年组胶原变化很大,说明总胶原蛋白不随年龄有规律的变化;随着年龄的增长,肉的硬度增加,并不是由于胶原蛋白的含量增加引起的,而是因为胶原蛋白之间的非还原性架桥结构增多,从而造成胶原蛋白更加稳定,难以消化和水解,导致肌肉嫩度下降^[12]。造成嫩度上的差异是因为结缔组织的质量而不是数量,质量主要是指其中成熟交联的多少,成熟交联愈多,肌肉组织愈牢固,肉也就愈老。

2.3 内源酶—依钙蛋白酶

Caplain酶的含量和活性是影响肉嫩度的一个重要因素。大量研究证明是 μ -Calpain而不是m-Calpain参与了肉的嫩化,这可能是由于活体细胞内的 Ca^{2+} 浓度太低(≤ 100 mM)而不足以激活m-calpain。Koochmarai M等报道, μ -Calpain活性的初始水平决定了肌肉在后熟期间嫩化的效果^[13]。

构成肌原纤维和肌原纤维膜之间连接纤维的蛋白主要有vinculin、dystrophin、vimentin、clatherin和ankyrin等。它们起着将肌原纤维产生的作用力传递给肌纤维外部基质的作用。离体实验发现这些蛋白都是 μ -Calpain的良好底物。肌纤维的内部结构完整性主要有一些骨架蛋白来维持,目前研究较多的有titin、nebulin、desmin、filamin、synemin等^[14]。

3 肉品的嫩化机理

3.1 蛋白降解理论

肌原纤维结构蛋白和相关蛋白的降解是肉品成熟嫩化的主要原因^[9],这些蛋白包括肌原纤维间连接蛋白(结蛋白,Z盘区中等纤维蛋白),肌原纤维内连接蛋白(肌联蛋白;伴肌动蛋白;肌钙蛋白T),将肌原纤维连接到肌膜的蛋白(联结蛋白;肌营养不良蛋白),联接肌细胞到基板的蛋白,这些蛋白维持肌原纤维的完整性^[6]。大量试验证明,不同品种肉的嫩化在组织形态上是相似的,都是Z线上I带的分解或断裂,但肌原纤维种类不同断裂开始的时间有差异,白肌纤维比红肌纤维断裂得早。许多研究解释了肉的嫩化原因,提出了Z线消失、肌球蛋白复合体分离、肌联蛋白破坏、胶原蛋白变性等假定。

3.1.1 Z盘弱化 脊椎动物骨骼肌细胞Z盘连接相邻的肌节,保持肌节结构强壮有力,传导粗细肌丝交互作用产生的张力。随着宰后成熟,Z盘弱化,匀质使肌原纤维破碎到只剩下114个肌节^[7]。体外试验证明肌细胞内 Ca^{2+} 浓度为0.1mM时,Z盘弱化程度最高^[15]。Takahashi认为 α -辅肌动蛋白素是Z丝的主要成分。不定

形基质与相邻的 Z 丝粘合, 当其被 0.1 mM 的 Ca^{2+} 溶解掉时, Z 丝弱化, 并且很容易在碱性条件下断裂, 或被匀质断裂开。这些物质的主要成分是脂肪, 包括磷脂、三酰甘油、胆固醇和自由脂肪酸。Ahn 指出牛肉、猪肉和鸡肉在 4℃ 成熟过程中, Z 盘的弱化程度与磷脂的释放量完全正相关。成熟过程中 Ca^{2+} 浓度、pH 和温度对 Z 盘弱化与磷脂释放的相关程度有影响。由于 Ca^{2+} 与磷脂和脂肪酸结合, 弱化了 Z 盘内的联接, 导致 Z 盘结构弱化。

3.1.2 僵直联结的弱化 僵直收缩的解除, 肌节长度的恢复说明肌动蛋白和肌球蛋白联结的弱化^[8]。肌节收缩程度与肌肉嫩度相关。Takahashii (1985) 发现营养不良肌球蛋白, 它调节肌动蛋白-肌球蛋白的结合反应。虽然营养不良肌球蛋白独自位于肌节的 A 带和 I 带的汇合区域, 成熟过程中 0.1 mM 的 Ca^{2+} 可使它从原来位置转移到细丝上。纯化的营养不良肌球蛋白结合到 β -肌动蛋白上, 抑制肌动球蛋白和肌原纤维中 Mg-ATP 酶的活性, 使僵直收缩肌束的张力释放, 肌节恢复原来的松弛状态。所以营养不良肌球蛋白与肌球蛋白竞争肌动蛋白的结合位点, 并加速肌动球蛋白的分离, 营养不良肌球蛋白的迁移使僵直联结弱化, 导致僵直收缩肌节的恢复^[9]。

3.1.3 肌联蛋白的分裂 肌联蛋白横跨 Z 盘和 M 线, 使肌原纤维粗丝保持在肌节中间, 以维持肌纤维结构的可伸缩性。肌肉成熟过程中在高弹性的 I 带区域, 肌联蛋白纤维断裂, 肉的弹性丧失。随着肉的成熟, α -肌联蛋白逐渐减少, 首先降解为 β -肌联蛋白和 1200 kDa 的亚基片断, 这些产物没有被继续降解, 而后 α -肌联蛋白分解出更小的多肽。降解产物缺乏与 Z 盘相连的 N 末端, 使肌纤维的纵向结构弱化。各种肉的 α -肌联蛋白宰后都发生降解, 随 α -肌联蛋白降解, 肌肉弹性逐渐降低, 直至所有 α -肌联蛋白被降解, 肉的弹性完全丧失。体外试验证明 Ca^{2+} 浓度影响 α -肌联蛋白的降解速率。 Ca^{2+} 浓度在 10 μM 以上时, α -肌联蛋白开始降解, 但 0.1 mM 时降解速率最大^[10]。

3.1.4 伴肌动蛋白纤维片断化 伴肌动蛋白从 Z 盘延伸到细丝的游离端并和细丝紧密结合, 其 C 末端与 Z 盘联结, 对细丝结构的稳定性起一定作用。Root 发现伴肌动蛋白在肌肉收缩时具调节功能^[11], 可见它的降解会促使肌动蛋白细丝结构弱化, 影响肌动球蛋白的僵直联结。动物肉成熟后伴肌动蛋白消失, 但各种动物的滞留时间和降解速率有所不同。伴肌动蛋白降解为分子量 200, 180, 40, 33 和 23 kDa 的五个亚基片断。伴肌动蛋白也是 Ca^{2+} 结合蛋白, Ca^{2+} 可与 200, 40, 23 kDa

的亚基片断结合。以上 Z 盘弱化, 僵直联结弱化, 肌联蛋白分裂, 伴肌动蛋白片断化都是成熟肉嫩化的重要特征, 肌原纤维脆性增加, 匀质使之破坏, 形成片断化的肌原纤维。

3.2 钙蛋白酶嫩化理论

钙蛋白酶体系是降解蛋白导致肉品嫩化的最关键酶^[18], 它是由钙依赖性半胱氨酸蛋白酶的同工酶和它们的抑制剂钙蛋白酶抑制蛋白组成。钙蛋白酶有两个最典型的同工酶: μ -钙蛋白酶和 m -钙蛋白酶^[19,20]。钙蛋白酶先转化成 78 kDa 再变成 76 kDa 的自溶形式时才具有活性, 分离后 30 kDa 小亚基迅速降解为 17 kDa 失去酶活性, 而这一变化是钙蛋白酶发挥水解特性的前提。自溶降低了满足钙蛋白酶最大活性的 Ca^{2+} 需要量, 继续自溶最终使钙蛋白酶失活。 μ -钙蛋白酶和 m -钙蛋白酶都能水解肌原纤维, 但在宰后成熟的过程中 m -钙蛋白酶的活性几乎不变, μ -钙蛋白酶是降解蛋白引起肉嫩化的主要酶。宰后肉的 pH 下降到 6.1 以前, μ -钙蛋白酶没有活性, 肌肉保持僵硬状态, 胴体温度 0~4℃ 之间对其活性都没有影响。这是因为肌质 Ca^{2+} 浓度为 10~7M, 不能激活 μ -钙蛋白酶。pH 降到 6.1 以下后, 肌质 Ca^{2+} 升至 10~4M, μ -钙蛋白酶被激活, 降解蛋白引起嫩化。嫩化速率与 μ -钙蛋白酶浓度成正比, μ -钙蛋白酶发挥活性即引起自溶, 因而 μ -钙蛋白酶浓度降低, 降低了嫩化速率。

4 肉品的嫩化方法

近年来, 肉类科技工作者利用物理、化学和生物学的方法对肉品嫩化进行了不断的研究, 主要有电刺激法、盐法嫩化、有机酸嫩化、超高压嫩化、酶法嫩化、机械拉伸嫩化法等。

4.1 电刺激法

电刺激采用探针或电极, 利用电流对放血完全的胴体进行刺激的一种方法。这一作用会加速胴体的僵直进程, 加快宰后肌肉中 pH 的下降, 使肌肉的颜色和嫩度得到改善。

电刺激促进嫩化的机理, 可从以下三个方面来阐释: (1) 电刺激可加快尸僵过程, 减少了冷收缩。这是由于电刺激加快了肌肉中 ATP 的降解, 加快了糖元的分解速度, 使胴体 pH 值迅速下降到 6.2 以下, 这时再对牛羊进行冷加工, 就可防止冷收缩, 提高肉的嫩度; (2) 电刺激激发强烈的收缩, 肌动蛋白细丝过度插入而引起 Z 线断裂, 肌原纤维间的结构松弛, 这样也可容纳更多的水分, 从而使肉的嫩度增加; (3) 电刺激使肉的 pH 值下降, 促使溶酶体中水解酶的释放, 使肌肉中的结构化组分降解; 还会促进酸性蛋白酶的活性, 蛋白酶分解

能力增强,使嫩度增加^[21]。

4.2 盐法嫩化

对肉起嫩化作用的盐类主要有氯化钙、多聚磷酸盐、氯化钠等。盐的嫩化机制可能涉及到以下几方面:(1)提高肉的保水性;(2)降低胶原蛋白热稳定性;(3)离子强度对蛋白质-蛋白质、蛋白质-水之间相互作用的影响;(4)加速了蛋白水解酶(主要是钙激活酶)的激活。钙盐嫩化法通过外加钙盐使肉中钙离子浓度升高,激活肉中的钙激活酶,并降低钙激活酶抑制剂(calpastain)的活性,使 α -肌动蛋白从Z线消失,引起纤维的部分降解,并且伴随肌球蛋白、肌球蛋白等的水解^[22]。Koochmarai et al (1990)等研究认为,CaCl₂的作用机理可能是Ca²⁺增加钙激活蛋白酶的活性,并使肌纤维结构蛋白变得不稳定^[23]。邱加生(1991)用0.02 M Ca(H₂PO₄)₂和0.025 M CaHPO₄处理牛肉比对照组嫩度提高20%~40%。Koochmarai 等人,Morgan 和 Weeler 等研究表明,无论是将CaCl₂注入胴体还是放血后直接向肌肉注射,都可以激活钙蛋白酶,改善肉的嫩度^[23,7],钙盐的致嫩作用与内源蛋白酶有关,钙激活酶的活化必须依赖一定浓度的钙离子。

4.3 有机酸嫩化

用于肉类嫩化的有机酸主要有醋酸、柠檬酸和乳酸,采用的嫩化方法有浸渍法和注射法。有机酸的嫩化作用可能与三个机制的综合作用有关^[24]。(1)肌原纤维通过主轴膨胀而使承载物质稀释;(2)肌束膜中结缔组织的变弱;(3)酶的适宜pH在低pH值时蛋白酶(主要是组织蛋白酶)加速了嫩化作用;(4)酸处理降低了肉的机械抵抗力,包括那些结缔组织含量高的组织。

4.4 超高压和超声波嫩化法

超高压加工技术和超声波技术在嫩化肉中的应用始于上世纪90年代。大量研究显示,高压有利于提高肉的嫩度。其嫩化机理还不清楚。有学者称高压处理使分子之间距离增大和极性区域暴露,使肉保水性提高,嫩度提高。也有学者认为高压处理激活calpains,提高嫩化。试验表明^[25],3000以上大气压的压力,可起到杀菌、抑菌的效果,不破坏食品的特色及营养成分并使肉质得到嫩化。高压促进肉的嫩化,主要通过以下几个方面起作用^[26,27]:(1)在机械的作用下肌球蛋白和肌动蛋白相互间的作用削弱,肌纤维受到破坏(2)细胞膜中结缔组织由于酸度的增加而软化,在环境温度(20℃)下,增加压力可以导致pH值上升;(3)溶酶体破裂导致蛋白酶发挥作用使蛋白质(特别是连接蛋白和骨架蛋白)降解。

超声波嫩化肉目前研究较少。现普遍认为其空化

效应、热效应和机械作用是超声技术应用的三大理论依据。超声波发生器所发出的高频震荡讯号,通过换能器转换成高频机械震荡而传播到介质中,使液体流动而产生数以万计的微小气泡,这些气泡在超声波纵向传播成的负压区形成、生长,而在正压区迅速闭合,在这种被称之为“空化”效应的过程中气泡闭合可形成超过1000个气压的瞬间高压,连续不断产生的高压就像一连串小“爆炸”不断的冲击物件,产生机械破坏作用,肉在这种巨大压力冲击下,肌纤维断裂,溶酶体破裂^[28]。

4.5 酶法嫩化

嫩化肉类的常用外源蛋白酶有木瓜、菠萝、无花果等植物蛋白酶,枯草蛋白酶、米曲蛋白酶、根霉蛋白酶及黑曲蛋白酶等微生物蛋白酶,其中最常用的是木瓜蛋白酶。酶法嫩化时,通常采用5%~10%的酶溶液,在肉畜屠宰前30min内进行注射。嫩化效果与酶的种类、处理时间和处理方式有关。马美湖等(2001)利用浸泡的方法用papain畜力牛肉,剪切力显著降低。木瓜蛋白酶主要水解胶原蛋白来提高肉的嫩度,而chuggehec等利用试管进行实验,蛋白酶对肌原纤维和胶原都有活性,各部分蛋白质的水解程度取决于酶的种类,papain对肌原纤维蛋白的活性强于胶原蛋白的活性,这可能是因为papain在动物组织中难以扩散,导致其对肌原纤维蛋白的作用不能成分发挥所致^[29]。

4.6 机械拉伸嫩化法

拉伸嫩化即将屠宰后的胴体吊挂起来,利用其本身重力的作用,根据不同吊挂方式使相应部位的肌节拉长,使肉得到嫩化。传统的吊挂方式为后腿吊挂,可使背最长肌、半腱肌和半膜肌的肌节拉长,腰大肌的肌节缩短。肉体悬挂需在冷藏条件下进行,将胴体后腿朝上,挂在10℃以下的低温库中进行自动排酸,自然完成宰后肉的僵直、解僵和成熟过程。这种方法是目前高档牛肉生产的主要方法。但也存在一些问题,这一过程需要时间长,耗能大;肉的失重多、干耗高和易氧化;而且还易受嗜冷微生物的侵扰,再加上冷库费用高,会带来一定的经济损失^[30]。

5 结束语

嫩度是家畜动物肌肉最主要的食用品质之一,宰后肉的自身成熟和外部处理,是改善肉食用品质的关键因素。影响宰后肉嫩度的因素有温度、pH值、胶原蛋白的溶解性和交联程度、钙激活酶的活性等。针对这些因素进行外源处理嫩化方法可以分为三种:物理嫩化法(电刺激、吊挂等)、化学嫩化法(盐类、有机酸等)和生物嫩化法(外源酶、激素法等)。他们在肉中的作用机

理各不相同。有的工艺已经成熟并广为使用,有的还处于研究阶段。生产时单独使用这些技术,或综合使用,但就实际生产中综合使用这些技术所得的致嫩效果并不等于单独使用这些技术取得效果的总和。弄清宰后影响肉嫩度的因素和嫩化机理,可望提高冷却肉的品质,为精深加工提供优质的原料肉,促进肉类加工业的发展。

参考文献

- [1] 周光宏.畜产品加工学(M),北京:中国农业出版社,2002.
- [2] 马美湖,唐晓峰.可溶性胶原蛋白含量,MFI,CAF与牛肉嫩化的关系[J].肉类研究,2001,(2):16-20.
- [3] Wheeler T. L., et al. Relationship of beef longissimus tenderness classes to tenderness of gluteus medius semimembranosus and biceps femoris [J]. J Anim Sci, 2000,(78): 2856-2861.
- [4] Sorheim O.M., et al. Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of longissimus dorsi [J]. Meat Sci., 2001,(57): 79-85.
- [5] The biological basis of meat tenderness and potential genetic approaches for its control and prediction [EB/OL].http://meats.mare.usda.gov. 1995.
- [6] 李兰会.超声波处理对羊肉嫩化效果的研究[学位论文].保定:河北农业大学,2004:24-47.
- [7] Lonergan, Elisabeth, Mitsuhashi. Proteolysis of specific muscle structural proteins by u-calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. Journal of Animal Science, 1996,74:993-1008.
- [8] 黄明,罗欣.内源蛋白酶在肉嫩化中的作用[J].肉类研究.1999,2: 9-14.
- [9] Marsh B. B., Lochner J. V., Takahashi G. et al. Effects of early post-mortem pH and temperature on beef tenderness. Meat Science, 1981,5: 479-483.
- [10] Tornberg E., Wahlgren M., Brøndum J. et al. Pre-rigor conditions in beef under varying temperature- and pH-falls studied with rigometer, NMR and NIR. Food Chemistry, 2000,69 :407-418.
- [11] A. Watanabe, Daly C. C., Devine C. E. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. Meat Science, 1996,42: 67-78.
- [12] Smith S.H., West Lafayette. Relationship between pyridinoline concentration and thermal stability of bovine intramuscular collagen. J. Anim. Sci., 1991,69(5):1989-1993.
- [13] Hill F. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various age. J. Food Sci, 1966,31:16.
- [14] Morgan J.B., Miller R. K., Mendez F.M., et al. Using calcium chloride injection to improve tenderness of beef from mature cows. Journal of Animal Science, 1991,69:4469-4476.
- [15] Kouji Takahashi. Calcium-induced weakening of skeletal muscle Z-disks in postmortem skeletal muscle. J. Biochem, 1982,101:767.
- [16] Lee S., Stevenson-Barry J. M., Kauffman R. G. et al. Effect of ion fluid injection on beef tenderness in association with calpain activity. Meat Science, 2000,56:301-310.
- [17] Whipple G., Koohmaraie M. Calcium chloride marination effects on beef steak tenderness and calpain proteolytic activity. Meat Science, 1993,33:265-275.
- [18] Wick M., Marriott N. G., The relationship of the sarcomeric architecture to meat tenderness. Agricultural Food Chemistry, 1999,3:515-533.
- [19] Hopkins, D. L., Thompson, J.M.. The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin [J]. Meat Sci., 2001,57:1-12.
- [20] Hwang I. H., Thompson J. M. The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. Meat Science, 2001,58: 135-144.
- [21] Maria, G., et al. Calpain and cathepsin activities, and protein extract ability during ageing of longissimus porcine muscle from normal and PSE meat [J]. Food Chem., 1998,63:385-390.
- [22] 许梓荣,等.钙蛋白酶系统的结构"活性调节及其在骨骼肌生长中的作用[J].中国畜牧杂志, 2002: 244-245.
- [23] 孔保华,刁新平.动物宰后钙激活酶系统的作用机制[J].肉类研究, 2002,(2):14-16.
- [24] Dransfield, E., Modelling post-mortem tenderness-III: role of calpain I in conditioning [J]. Meat Sci., 1992,31:85-94.
- [25] 朱茵,罗欣.加速肉体成熟的技术[J].肉类研究,2000,(4):32-35.
- [26] 刘熙,等.高压处理技术在牛肉嫩化中的应用研究[J].肉类工业. 2001(增刊):88-91.
- [27] 刘鹭,等.肉类嫩化方法及技术研究进展[J].肉类工业,2001,(11): 40-41.
- [28] Han-Jun Ma, Ledward D. A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. Meat Science, 2004,68: 347-355.
- [29] Lyng J G. The influence of high intensity ultrasound baths of aspects of beef tenderness. J. of Muscle Foods, 1997, 8: 237-249.
- [30] 马美湖,等.氯化钙和木瓜蛋白酶对牛肉嫩化效果的研究[J].湖南农业大学学报,2002,(27):63-66.