



影响肌肉嫩度的因素及常用的嫩化方法

李晓波

(内蒙古乌兰察布职业学院, 生物技术系, 内蒙古 乌兰察布市 012000)

摘要: 肉的品质受多方面因素的影响, 其中最重要的一个因素就是嫩度, 它直接影响着肉的食用价值和商品价值, 反映着肉中各种蛋白质的结构特性。影响肉嫩度的因素有很多, 本文从宰前因素和宰后因素对肌肉嫩度的影响以及常见的嫩化方法作了阐述。

关键词: 肌肉; 嫩度; 嫩化方法

The Factor of Affect Muscle Tenderness and the Usual Methods of Tenderization

LI Xiaobo

(Inner Mongolia Wulanchabu Vocational College, Biotechnology Department, Inner Mongolia 012000)

Abstract: The quality of the meat is affected by many factors, one of the most important factors is the tenderness, which affect the consumption value and eating value directly. it reflects the structural properties of proteins in meat. Therefore, this article describes the impact factors of tenderness, previous-and post-mortem, and usual methods of tenderization.

Key words: muscle; tenderness; method of tenderization

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-8123(2009)05-0016-05

0 引言

随着人们生活水平的提高, 人们对肉质的要求越来越高, 而嫩度(Tenderness)则是消费者评判肉质优劣的最常用指标。嫩度是肉的主要食用品质之一, 指肉在食用时口感的老嫩, 反应了肉质地(Texture), 由肌肉中各种蛋白质的结构特性决定^[1]。肉的嫩度总结起来包括以下四方面的含义^[2]。

肉对舌或颊的柔软性。即当舌头与颊接触肉时产生的触觉反应。肉的柔软性变动很大, 从软糊糊的感觉到木质化的结实程度。

肉对牙齿压力的抵抗性。即牙齿插入肉中所需的力, 有些肉难以咬动, 而有的柔软得几乎对牙齿无抵抗性。

收稿日期: 2009-03-09

咬断肌纤维得难易程度。指牙齿切断肌纤维的能力, 首先, 要咬破肌外膜和肌束膜, 因此, 这与结缔组织的含量和性质密切相关。

嚼碎程度。用咀嚼后肉渣剩余的多少以及咀嚼后到下咽时所需的时间来衡量。

1 影响肉嫩度的因素

影响肌肉嫩度的实质主要是结缔组织的含量与性质及肌原纤维蛋白的化学结构状态。它们受一系列的因素影响而变化, 从而导致肉嫩度的变化。

1.1 宰前因素

影响肉嫩度的宰前因素很多，有动物物种、品种、年龄和性别以及肌肉部位等。这些因素之所以影响肉的嫩度是因为它们的肌纤维粗细、质地以及结缔组织质量和数量有着明显的差异，而肌纤维的粗细及结缔组织的质地是影响肉嫩度的主要内在因素。

1.1.1 物种、品种及性别

一般来说，畜禽体格越大其肌纤维越粗大，肉亦越老。在其他条件一致的情况下，一般公畜的肌肉较母畜粗糙，肉也越老。

1.1.2 年龄

动物年龄越小，肌纤维越细，结缔组织的成熟交联越少，肉也越嫩。归纳起来，年龄增加使肉嫩度下降是因为：结缔组织成熟交联增加、肌纤维变粗、胶原蛋白的溶解度下降并对酶的敏感性下降。

1.1.3 肌肉部位

不同部位的肌肉因功能不同，其肌纤维粗细、结缔组织的量和质差异很大。一般来说运动越多，负荷越大的肌肉因其有强壮致密的结缔组织支持，这些部位的肌肉要老，如腿部肌肉比腰部肌肉老，如牛的腰大肌最嫩，同一肌肉的不同部位的嫩度也不同，猪背最长肌的外侧比内侧部分要嫩。表1列出不同部位牛肉根据剪切力值和口感评定所反应出的嫩度情况。

表1 不同部位牛肉烹调后的剪切力值和嫩度

肌肉	剪切力值/kg	嫩度
半膜肌	5.4	稍老
半腱肌	5.0	稍老
股二头肌	4.1	中等
臀中肌	3.7	较嫩
腰大肌	3.2	很嫩
背最长肌	3.8	较嫩
冈上肌	4.2	中等
臂三头肌	3.9	中等
斜方肌	6.4	很老

1.1.4 营养状况

营养良好的家畜，肌肉脂肪含量高，大理石花纹丰富，同于脂肪有冲淡结缔组织的作用，也相当于降低了肌肉中结缔组织的含量，从而提高了肉的嫩度，而消瘦动物的肌间脂肪含量低，肉质老，嫩度较差^[3]。

1.2 宰后因素

1.2.1 尸僵和成熟

屠宰后的畜禽肉，发生尸僵时，肉的硬度增加，嫩度下降，这主要是由于动物死亡后，呼吸停止，肌糖原不能完全氧化生成CO₂和H₂O，而是无氧酵解后生成乳酸，在正常有氧条件下，每个葡萄糖单位可氧化生成36或38个ATP，而在无氧条件下只能生成2个ATP，因而供给肌肉的ATP急剧减少。

由于肌肉的ATP减少，肌纤维的肌质网体崩裂，其内部保存的Ca²⁺释放出来，使肌浆中Ca²⁺的浓度增高，促使粗丝中的肌球蛋白ATP酶的活化，加快了ATP的分解，因而促使Mg-ATP复合体的解离。肌球蛋白纤维粗丝和肌动蛋白纤维细丝结合成肌动球蛋白，但在这种情况下，由于ATP的不断减少，反应变为不可逆性，则引起肌纤维永久性的收缩，因而肌肉表现为僵直(Rigor)^[2]。

处于僵直期的肉，肌纤维强韧，保水性低，肉质坚硬、干燥、缺乏弹性，嫩度降低。这种肉在加热炖煮时不易转化成明胶，使肉粗糙硬固，不易咀嚼和消化；肉汤也较混浊，风味不佳，食用价值及滋味都差。因此，处于僵直期的肉不宜烹调食用。

肌肉僵直出现的早晚和持续时间的长短与动物种类、年龄、环境温度、生前状态和屠宰方法有关。不同种类动物从死后到开始僵直的速度，一般来说，鱼类最快，依次为禽类、马、猪、牛。一般动物于死后1~6h开始僵直，到10~20h达最高峰，至24~48h僵直过程结束。尸僵程度的大小受多种因素的影响，如家畜屠宰后以较快的速度冷却，在解冻时则会发生较强的解冻僵直收缩，这主要由于肉在冻结状态前，肌肉中还有大量的ATP存在，而在低温或解冻时，肌质网和线粒体失去了重新吸收被释入肌浆的Ca²⁺的能力，从而激活了肌球蛋白ATP酶，在较高水平的ATP下使发生了正常情况下明显的肌肉收缩。收缩率甚至高达50%。而在肌肉发生最大尸僵后再进行冻结，解冻后则不会发生解冻僵直收缩^[3]。

肌肉在宰后僵直达到最大程度并维持一段时间后，其僵直缓慢解除、肉的质地开始变软，此过程称为解僵。肉在僵直后即进入成熟阶段，成熟(Ageing或Conditioning)又称为熟化，这并不是通常烹调加热致熟，而是指尸僵完全的肉在冰点以上温度条件下放置一定时间，使其僵直解除、肌肉变软、系水力和风味得到很大改善的过程^[1]。熟化过的肉和没有熟化的肉嫩度大不一样，这是因

为组织蛋白酶和肌浆钙离子激活因子(Calpains)在熟化过程中降解了一些关键性蛋白质如肌钙蛋白、T、Z线肌间蛋白、交联等,这就破坏了原有肌肉结构的支持体系,使结缔组织变得松散、纤维状细胞骨架分解、Z线断裂,从而导致肉的牢固性下降,肉就变得柔嫩。肉成熟的过程也是肉嫩化的过程,嫩化在一开始较为强烈,随着时间的延长,嫩化速度减弱^[1]。

1.2.2 温度

肌肉收缩程度与温度有很大关系。一般来说,在15℃以上,与温度呈正相关,温度越高,肌肉收缩越剧烈。如果在夏季室外屠宰,没有冷却设施,其肉就会变得很老;在15℃以下,肌肉的收缩程度与温度呈负相关,也就是说,温度越低,收缩程度越大,所谓的冷收缩(Cold-shortening)就是在低温条件下形成的,经测定在2℃条件下肌肉的收缩程度与40℃一样大^[1]。

1.2.3 加热处理

加热对肌肉嫩度有双重效应,它既可以使肉变嫩,又可使其变硬,这取决于加热的温度和时间。加热可引起肌肉蛋白质的变性,从而发生凝固、凝集和短缩现象。当温度在65-75℃时,肌肉纤维的长度会收缩25%-30%,从而使肉的嫩度降低,但另一方面,肌肉中的结缔组织在60-65℃会发生缩短,而超过这一温度会逐渐转变为明胶,从而使肉的嫩度得到改善。结缔组织中的弹性蛋白对热不敏感,所以有些肉虽然经过很长时间的煮制但仍很老,这与肌肉中弹性蛋白的含量高有关^[3]。

1.2.4 pH值

肌肉pH值下降是宰后僵直收缩的直接原因。正常pH值(6~7)条件下,肌浆网保持正常的泵钙功能,维持 $10^{-1} \sim 10^{-7} \text{M}$ 的电化学梯度。当pH值降至6.0以下时,肌浆网的 Ca^{2+} 扩散速率高于回收速率,当肌浆中 Ca^{2+} 水平高于 10^{-6}M ,并有ATP可利用时,肌肉开始收缩,发生僵直收缩^[4]。

2 肉的人工嫩化

人们很早就知道可以人为地使肉嫩化,如击打、吊挂或者将肉切成小块以达到破坏其结构和结缔组织的目的。还有用醋、酒、盐及酶类物质浸泡,以嫩化肌肉。常见的肉类嫩化方法包括以下几种:

2.1 物理嫩化法

2.1.1 低温吊挂自动排酸法

肌纤维肌小节的连接状态对嫩度有很大影响,

肌节越长或断裂,则肉就越嫩。拉伸嫩化即将屠宰后胴体吊挂,借本身重力作用,根据不同的吊挂方式使相应部分肌肉肌节拉长,使肉嫩化,传统为后腿吊挂。试验表明骨盆吊挂效果较好,但肉体悬挂需在冷藏情况下应用,并且损失大、损耗多,还易受嗜冷微生物的侵扰。加之,冷库费用高,带来一定经济损失。

2.1.2 电刺激嫩化法

电刺激是采用探针或电极,利用电流对放血完全的胴体进行刺激的一种方法。对动物胴体进行电刺激有利于改善肉的嫩度,这主要是因为电刺激引起肌肉痉挛性收缩,导致肌纤维结构破坏,同时电刺激可加速家畜宰后肌肉的代谢速率,使肌肉尸僵发展加快,防止了冷收缩,并使成熟时间缩短;其次,电刺激使肉的pH值下降,激活酸性蛋白酶的活性,加速蛋白分解,破坏肌原纤维结构,使肉质变嫩。此外,电刺激能激发肌肉强烈收缩,使肌原纤维断裂,变成小片,还可促进肉质色泽的鲜明度^[5]。

电刺激对牛、羊肉改善较大,据美国对1200头牛胴体电刺激的结果表明,嫩度可提高23%,对猪肉进行电刺激嫩化效果不如牛羊肉,通常只有3%左右^[1]。胡鹏等^[15]研究了电刺激电压和电刺激时间对牛跟腱和牛肩部嫩度的影响。结果表明:用合适的电刺激参数对牛胴体进行电刺激可以达到牛肉快速成熟嫩化的目的。

2.1.3 机械嫩化法

这是最早开发的人工嫩化方法,是利用机械外力使肌动蛋白和肌球蛋白分离,从而将肌节拉长,肌膜等结缔组织也因受到外力的冲击而变得松散破碎,最终使肉变得柔软。机械嫩化法常用的方法有机械滚揉法和重组嫩化法。

2.1.3.1 机械滚揉法

机械滚揉法是通过将腌制的肉块采用机械的方法进行翻滚、使肉体表面形成黏液,从而增加肉的嫩度。王卫^[16]研究了不同方法对传统酱卤牛肉制品嫩度的影响。盐水注射后滚揉4小时,采用低温肉制品80℃的热加工温度(肉块中心温度约75℃)时得到产品的嫩度最佳;同时考察了肉块盐水注射滚揉后腌制时间对嫩度的影响,结果表明:盐水注射后滚揉时间4~8小时,24小时静腌24小时和低温肉制品80℃的热加工工艺能显著改善产品嫩度。

2.1.3.2 重组嫩化法

重组嫩化法是将嫩度低的肉用切片机切片,然后混合食盐及磷酸盐,直至肉片产生粘度为止,

抽取肌肉中的蛋白使肉片黏在一起,而达到改善嫩度的目的。这种方法结合了腌制和斩拌等工序,能进一步提高肉的嫩度,增加肉品的持水性和改善肉品的质量。赵立艳等^[6]研究了酸性焦磷酸盐(SAPP)、焦磷酸盐(TSPP)、三聚磷酸盐(STPP)对牛肉半腱肌的嫩化作用。结果表明:分别用3%的磷酸盐溶液浸渍处理后,TSPP和STPP极显著的改变了牛半腱肌的嫩度($P < 0.01$),SAPP显著的改善了牛半腱肌的嫩度($P < 0.05$)。曹效海^[11]研究了在新鲜牦牛肉中添加不同比例的持水剂(复合磷酸盐),用加热离心法测定牦牛肉的持水力值。实验表明复合磷酸盐的比例为2:2:1(三聚磷酸钠:焦磷酸钠:六偏磷酸钠),添加量为0.4%时,牦牛肉保水性能和嫩度最佳。

2.1.4 高压嫩化法

高压嫩化法(1,000~10,000大气压)具有嫩化效果明显、作用均一的优点,不仅合乎卫生条件(处理前进行真空包装),不会增加微生物污染的机会,而且高压处理可以起到杀菌作用,肉质风味也得到明显的改善。

高压嫩化的机理作用主要分为两个方面,一是机械作用,即在压力作用下,使肌肉体积收缩肌膜和肌原纤维破裂,肌动蛋白和肌球蛋白之间发生一定错位,造成肌肉结构松散而提高肉质嫩度,达到嫩化效果。另一方面是高压作用,即高压使肌肉中溶酶体破裂,释放组织蛋白酶,同时利用高压破坏肌质网,从而导致 Ca^{2+} 浓度升高,激活钙激活酶系统,通过钙激活酶降解肌纤维的结构蛋白,从而达到嫩化的目的。武军等^[12]对年龄在2~3岁,体重为500kg的西门塔尔公牛的半腱肌进行了高压嫩化处理,结果表明:高压嫩化处理对牛肉的综合指标、SF值和肌组织的结构产生了明显影响,并得到提高嫩度的最佳工艺条件,即高压300MPa、2min。

靳焯等^[13]研究了高压处理对牛肉感官特性与食用品质的影响,结果表明在室温下用250MPa的压力处理宰后热剔骨(6小时以内)真空包装的牛肉10min,0~4℃冷藏条件下贮存2~3d,可获得嫩度好、其它感官指标不明显低于低温吊挂成熟7~10d的产品。

2.1.5 声波嫩化法

此方法是90年代提出的一种与其它嫩化原理不同的全新嫩化技术。它利用炸药在水中引爆,产生声波,声波在水中传递至肉时,由于声耦作用,肉受迫振动,肉快速的压缩和收张使肌肉结构破

坏,肉得以嫩化。此过程以秒计,肉嫩化效果明显,不影响其营养和风味。由于声波嫩化具有的高效性、瞬时性及生产中低运行成本及原料的低选择性使得此项技术具有广阔的应用前景。

2.2 生物嫩化法

2.2.1 外源酶嫩化法

利用外源蛋白酶嫩化肉类常用的酶有木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶、无花果蛋白酶等植物性蛋白酶。这些酶性质稳定,分解蛋白能力强,而且可以对一般方法无法作用的弹性蛋白进行分解^[5]。外源酶嫩化法作用机理是在宰前10~30min向静脉血液注入氧化态的蛋白酶抑制剂,用量为体质量的2%~5%,由此避免动物的应激。宰后注射活性为 1.6×10^4 单位的酶剂,用量为肉重的0.2%~0.5%。宰后在还原物质作用下,使酶由氧化态转为有活性的还原态酶,对肉组织发生嫩化作用。

马美湖等^[14]通过向宰后牛的股二头肌注射木瓜蛋白酶来嫩化牛肉,并于后熟24h左右进行了可溶性胶原蛋白含量的测定,结果表明宰后注射木瓜蛋白酶可显著提高牛肉嫩度。

2.2.2 激活内源酶嫩化法

许多研究表明,嫩化是由多种酶协同作用完成的,其主要作用单位是钙激活酶系统。在自然状态下,僵直后肌肉中的ATP会减少,肌质网会自溶破裂,从而失去钙泵作用,使钙离子释放,细胞内游离钙离子的浓度升高,钙激活酶系统因而受到激活,继而启动肌原纤维蛋白降解,并引发其他蛋白酶的作用,促进肌纤维降解^[5]。

2.3 化学嫩化法

2.3.1 多聚磷酸盐嫩化法

磷酸盐是肉制品加工中常用的品质改良剂,在肉制品中可以起到增加产品保水性,改善肉的乳化能力和微观结构,抑制肉中脂肪的氧化等作用。磷酸盐具有缓冲作用,使溶液呈碱性,添加至肉中,使肉的pH值向碱性方向偏移至7.2~7.6,可以结合二价金属离子如 Zn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 肌肉中与蛋白质结合的离子失去,肌肉网状结构遭破坏,内部亲水基团外露,提高了持水性。目前常用的有焦磷酸钠、三聚磷酸钠、偏磷酸钠等。复合磷酸盐对肉制品的作用优于单一磷酸盐,当聚磷酸钠、焦磷酸钠、偏磷酸钠以2:2:1添加0.4%时,效果最佳。

2.3.2 有机酸嫩化法

在酸性溶液中浸渍,如醋酸或乳酸,是传统的嫩化及增加风味的方法。酸浸渍处理降低了肉的

机械抵抗力,包括那些结缔组织含量高的组织。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。由于外源酸的渗透缓慢,有机酸浸渍处理达到充分浸渍的时间长,嫩化过程较缓慢,而有机酸的注射则可使酸溶液较快的扩散而加快嫩化速度^[6]。

2.3.3 碱嫩化法

这是一种起源于中国烹饪业的肉类嫩化方法。用肉质量0.4%~1.2%碳酸氢钠或碳酸钠溶液对牛肉等进行注射或浸泡腌制处理,可以显著提高肉的pH值和保水能力,降低烹饪损失,改善熟肉制品的色泽,使结缔组织的热变性提高,而使肌原纤维蛋白对热变性有较大的抗性,所以肉的嫩度提高。用碳酸钠溶液对猪肉进行注射处理,由于提高了肉的pH值,还可以防止PSE肉和RSE肉的发生,并使PSS型猪的肉转变为接近正常品质的肉^[1]。

2.3.4 钙盐嫩化法

钙盐嫩化法是随着钙激活酶学说的不断成熟而于20世纪80年代后期才建立起来的一种改善肉嫩度的方法。在肉中添加外源Ca²⁺可以激活钙激活酶,从而加速肉的成熟,使肉达到正常嫩度所需要的成熟时间缩短至1d,并提高来源于不同个体或部位的肌肉嫩度的均一性。

钙盐嫩化法通常以CaCl₂为嫩化剂,使用时配置成150~250mg/kg,用量为肉质量的5%~10%,可以采取肌肉注射、浸渍腌制等方法进行处理,都可以取得良好的嫩化效果。尽管CaCl₂嫩化法对肉的嫩化效果很好,但使用时要注意CaCl₂的浓度和用量,因为浓度过高或用量过大会使肉呈现苦味和金属味,肉的色泽变得不均匀,并且在存放过程中肉色容易加深^[1]。

3 小结

肉品嫩度是肉的主要食用品质之一,是消费者评判肉质优劣的主要指标。因此,了解影响肉嫩度的因素(宰前和宰后),可以为肉制品加工企业品质改良提供理论支持。同时,肉类的嫩化方法很多,有的工艺已经成熟,并被人们广泛使用,如机械嫩化法、酶嫩化法,有的还处于研究阶段,如超高压嫩化法。在肉的加工中,应根据实际情况加以利用,使效果更佳。因此,对宰前、宰后影响肉嫩度的因素以及常用的嫩化方法加以了解,可望提高宰后肌肉的品质,对促进肉类工业的发展有一

定意义。

参考文献

- [1] 周光宏,张兰威,李洪军,马美胡.畜产食品加工学[M].中国农业大学出版社,2002.
- [2] 展跃平.肉制品加工技术[M].化学工业出版社,2006.
- [3] 刘冠勇,黄明,罗欣.影响肉嫩度因素的探讨,2000(7):26-28.
- [4] 李兰会,孙丰梅,黄娟,张志胜.宰后肉品pH值与嫩度[J].肉类工业,2006(12):28-30.
- [5] 靳焯,南庆贤,马长伟.探讨影响肉质嫩度的因素和嫩化方法[J].肉禽类加工,1999(6).
- [6] 赵立艳,彭增起.盐和有机酸对肉品嫩度的影响[J].肉类工业,2002(10):13-15.
- [7] 刘成国.电刺激对肌肉嫩度的影响及机理[J].肉类工业,1999(7):28-29.
- [8] 毛学英.肉嫩度调控手段的研究发展[J].肉类工业,2000(11):24-25.
- [9] 马汉军,张军合,徐幸莲,周光宏.高压处理对不同状态下肌肉嫩度的影响[J].食品科技,2006(6):61-65.
- [10] 熊燕子.牛肉嫩化技术的研究进展[J].肉类研究,2007(11):18-22.
- [11] 曹效海.牦牛肉在加工过程中嫩化技术的研究[J].黑龙江畜牧兽医,2006(5):92-93.
- [12] 武军,刘熙,邹尔新.宰后成熟对牛肉肌组织结构及食用品质的影响[J].中国兽医学报,2002(5):71-73.
- [13] 靳焯,南庆贤.高压处理对牛肉感官特性与食用品质的影响[J].农业工程学报,2004(5):205-208.
- [14] 马美湖,唐晓峰.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,2001(1):66-69.
- [15] 胡鹏,丁玉,蔡荣宝,罗欣.电刺激对牛背最长肌中钙激活酶活性及嫩度的影响[J].食品与发酵工业,2008(1):166-171.
- [16] 王卫.加工工艺对酱卤牛肉制品嫩度的影响研究[J].成都大学学报(自然科学版),2006(1):43-45.