

宰后肌肉蛋白质变化与嫩度的关系

崔薇, 邱燕, 陈韬

(云南农业大学 食品科学技术学院, 云南 昆明 650201)

摘要: 肉的嫩度受很多因素影响, 但目前对其机理的认识仍非常有限。本文综述了近年来国内外学者对肉嫩度的研究, 主要分析了宰后蛋白质变化对肉嫩度的影响, 以期对肉嫩度的提高和品质的改善提供参考。

关键词: 嫩度; 成熟; 骨架蛋白质; 降解

Relationship Between Meat Quality and Protein Transformation

CUI Wei, QIU Yan, CHEN Tao

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201)

Abstract: The tenderness of chilled meat is affected by many factors, but the mechanism is still poorly understood. This paper summarized the domestic and foreign researches in recent years on the meat tenderness and analyzed the relationship between meat tenderness and protein degradation, with a view to provide the reference to the study of meat tenderness and quality.

Key words: tenderness; ageing; skeleton protein; degradation

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-8123(2009)04-0007-03

0 前言

肉的质量指标主要包括滋味、质地、多汁性和气味等, 其中以代表质地品质的嫩度最为重要。随着我国肉品工业的迅速发展和人们生活水平的不断提高, 人们对肉品质的要求越来越高。因此, 嫩度作为肉品质的重要指标之一, 引起了人们的重视, 肉的嫩化理论一直是肉品学科中研究的热点, 提高肉的嫩度在实际生产中具有重要作用。影响肉嫩度的因素很多, 包括: 肌节的长度、结缔组织的含量、肌肉结构蛋白的水解敏感性、畜禽体的年龄、糖酵解的速度、pH 值、可溶性胶原蛋白等。国内外报道了很多关于影响嫩度的因素及提高嫩度的方法, 本文在此基础上, 以肉的组织结构和分子结构为基础, 分析了宰后蛋白质变化对肉嫩度的

影响。

1 肉的嫩度

肌肉嫩度是骨骼肌组织机械强度的总和, 是宰后肌肉成熟、结构弱化的结果。宰后肌肉转变成食肉的过程中, 其嫩度有一个变化的过程。僵直阶段, 肌肉中的主要蛋白质达到等电点, 肌动蛋白和肌球蛋白的广泛结合, 肌纤维收缩, 相应地肌肉的质地最硬, 口感最差。随着肌肉进入成熟期, pH 值偏离蛋白质的等电点, 构成肌原纤维的肌动蛋白发生解离, 包围在每个肌原纤维周围的肌质网状结构崩溃, 肌纤维结构完整性丧失, 可溶性的肌浆蛋白大部分被分解, 所以肌肉蛋白质的保水性提高, 肉品变得柔软多汁, 适口性增加, 嫩度提高。

可见肌原纤维中的肌球蛋白、肌动蛋白及肌动球蛋白均可影响肉嫩度。此外, pH 值、离子强度和某些外源性酶类(如胰蛋白酶、木瓜蛋白酶)也可影响肌球蛋白的裂解,从而改变肉的嫩度。

2 肌肉中的蛋白质

作为骨骼肌的基本构成单位,肌纤维特性在某种程度上决定了肌肉的品质。肌纤维是多核细胞,富含肌浆,横径约 10-100 μm ,长约数毫米到几厘米不等,其中包括平行排列的肌原纤维,每条肌原纤维由许多平行的肌球蛋白粗丝和肌动蛋白细丝构成。肌原纤维由 20% 的蛋白质和 80% 的水组成,并且占有瘦肉中约 80% 的细胞空间^[1]。肌肉中大量的水分与蛋白质的极性基团结合,形成水合离子而储留在蛋白质的空间结构中,这是肌肉持水性的原因,也影响着肌肉的硬度与嫩度。

肌纤维骨架结构,可分为肌节外、肌节内和亚肌膜细胞骨架。肌节外细胞骨架由直径为 8-10nm 的中等纤维蛋白组成,粗肌丝直径为 15nm,细肌丝为 6nm,中等纤维蛋白由此而得名。结蛋白(desmin)是中等纤维蛋白的主要组成蛋白。肌肉的肌节内细胞骨架主要由肌联蛋白(titin)和伴肌动蛋白(nebulin)组成,亚肌膜细胞骨架包括膜蛋白和与膜相关的蛋白(如 vinculin, spectrin, dystrophin, ankyrin 等)。骨骼肌细胞中 Z 盘连接相邻肌节,并传递单个肌节中粗细肌丝交互作用产生的张力,具有很强的结构稳定性。宰后成熟过程中,Z 盘逐渐弱化,原来由数十个肌节相连而成的肌原纤维在成熟中断裂成为 1-4 个肌节相连的小片,使剪切力大为减小,这是肌肉嫩度增加的重要原因。由此可见,通过以上变化过程肉获得了良好的持水力和嫩度。

3 宰后蛋白质变化对嫩度的影响

3.1 蛋白质空间结构的变化

肌肉的嫩化能力取决于肌肉蛋白质分子之间的相互作用。肌肉蛋白质的溶胀性、解离程度和持水能力等直接影响肌肉的嫩度。宰后成熟过程中,随着 pH 值的下降,肉的水化作用降低,肽键之间静电结合和氢键结合增强,蛋白质的网状结构紧张,从而降低了嫩度^[2]。pH 值达到 5 左右时,接近蛋白质等电点,肉的水化作用降低到最低程度,此时肉的嫩度最差。高于或低于等电点时,由于蛋白质的实效电荷增加而增大了肽键之间的排斥力,

蛋白质结构松弛,肉的水合作用增强,肉质较嫩。

3.2 蛋白质的降解对嫩度的影响

普遍认为宰后冷藏过程中,肉品成熟嫩化的主要原因是肌原纤维蛋白质的变化和网状结构的消失^[3]。这些变化包括如下蛋白质的降解:(1)肌原纤维中高分子量蛋白质 titin, nebulin 等;(2)连接肌原纤维和 Z 线,肌原纤维和细胞膜骨架的中等纤维蛋白 desmin 等;(3)一些组成细胞膜骨架的蛋白质如 vinculin 以及肌钙蛋白 Troponin。

3.2.1 肌联蛋白和伴肌动蛋白的降解

肌联蛋白(Titin)是横纹肌中的弹性蛋白,与粗肌丝相互作用,维持肌节的张力。其分子量很大(3000kDa),是细丝中的弹性纤维,其 N 末端将粗肌丝固定在 Z 盘上,骨骼肌的弹性就产生于肌联蛋白。肌联蛋白有两种交互作用使 α - 辅肌动蛋白缔合到 Z 盘内,一种是通过一个结合位点与最外面的一对 α - 辅肌动蛋白交互作用,另一种是 Z 盘中心内的肌联蛋白在 α - 肌联蛋白的 C 末端区域与多个 α - 肌动蛋白分子作用。交互作用形成了肌联蛋白、肌动蛋白和 α - 肌动蛋白的复合体,复合体控制肌联蛋白在 Z 盘中可能的作用方式。每一条肌动蛋白纤丝与邻肌节四条的肌动蛋白纤丝交叉,形成锯齿型的矩阵结构。肌肉成熟过程中 α - 肌联蛋白在距离 Z 盘 0.34 μm 的高弹性 I 带区域被降解为 β - 肌联蛋白(T2)和 1200kDa 的亚基片断。随着肌肉的成熟, α - 肌联蛋白继续降解为各种更小的多肽。各种动物宰后肌肉中的 α - 肌联蛋白都发生降解,但降解速率各不同,牛肉 10d 消失,鸡肉 1d 消失^[4]。随着 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。研究者认为肌联蛋白调节肌肉的弹性,它被破坏后,肌肉的张力下降。肌联蛋白的降解弱化了肌原纤维的强度,提高了肌肉嫩度。

伴肌动蛋白(Nebulin)是分子量比较大(800kDa)的丝状蛋白,位于肌原纤维的 I 带,跨越 Z 盘和肌动蛋白细丝,是骨骼肌中的基质蛋白。其多肽链从 I 带延伸至 A 带,起着连接肌动蛋白、肌球蛋白和 Z 盘的作用。在成熟过程中,Nebulin 极易受蛋白水解酶的作用而发生降解,产生分子量为 200、180、40、33 和 23kDa 的五种亚基片断。肉成熟后伴肌动蛋白消失,但在各种动物肉中的滞留时间和降解速率各不同^[5]。

肌联蛋白(Titin)和伴肌动蛋白(Nebulin)分别以 N、C 末端和 Z 盘结合,它们形成三维网络将粗细

肌丝牢固结合到Z盘上,是肌原纤维完整性的重要贡献者^[6]。因此,肌联蛋白和半肌动蛋白的降解,可以使肌原纤维I带和Z盘结合变弱或断裂,从而促进肌原纤维小片化指数(MFI)的增加,有助于提高肉的嫩度。大量研究表明,在肉的成熟过程中,肌原纤维的两个结构成分肌联蛋白、伴肌动蛋白发生了变化,titin分裂、nebulin片段化是肉成熟嫩化的重要因素。Huff-Lonergan等^[7]电泳试验显示,未降解的titin(T_1)是嫩度较低肉样的主要条带,而由其降解生成的 α -肌联蛋白(T_2)则是嫩度较高肉样的主要条带。 T_2 缺乏和Z盘相连的N末端,从而丧失了和Z盘的连接功能,使肉质嫩化。并且随着时间的延长, T_1 数量减少 T_2 数量增加, T_1 转化成 T_2 的速率越快,肉的嫩化程度越高。Koochmariaie等^[8]报道在成熟7d后臀部肌肉中,几乎不能发现nebulin,但是同时发现肌肉嫩化程度并不高,所以他认为nebulin可能对肉的成熟作用不大,但也可能是由于nebulin的不完全降解产物仍起着固定作用,只有进一步的水解才会起到成熟嫩化作用。

3.2.2 中等纤维蛋白的降解

Costameres起着连接肌原纤维和肌膜的作用,它由desmin, filamin, synemin, dystrophin, talin和vinculin等蛋白质组成。在骨骼肌肌细胞中位于肌膜附近的肌原纤维在每一I带水平上都有Costameres结构。其中结蛋白(desmin),分子量为53kDa,是肌细胞中的主要蛋白质,它聚合成直径10nm的中等纤维,围绕Z盘分布并延伸到Z盘内部,是肌原纤维间Z线与Z线间的一种细胞骨架蛋白。它连接每条肌原纤维并将其与细胞膜联结,起着固定肌原纤维的作用,在骨骼肌的收缩舒张中保持肌原纤维结构完整性。Desmin的降解在成熟过程中对肉的嫩化有很大贡献,4℃环境中结蛋白迅速降解,使肌原纤维间的横桥交联断裂,导致肌原纤维的有序结构被破坏,从而有利于肉的嫩化^[9]。

3.2.3 肌钙蛋白的降解

肌钙蛋白由钙结合亚基(TnC)、抑制亚基(TnI)和原肌球蛋白结合亚基(TnT)组成。其中原肌球蛋白结合亚基(TnT)起连接作用,宰后肌肉成熟过程中,原肌球蛋白结合亚基(TnT)消失,同时出现28-32kDa的多肽,这一多肽的量与肉品嫩度相关性很强。可见TnT的降解,弱化了细丝结构,有利于肉嫩度的提高^[10]。

4 总 结

综上所述,影响猪肉嫩度的因素很多,但归结到肌肉的生理和生化上,主要是宰后蛋白的降解引起的肌原纤维骨架结构的变化,所以深入研究影响蛋白降解的各种因素是理解肉品成熟机制的关键。相信随着分子生物学技术等相关技术的发展及其在肉类研究方面的应用,宰后肌肉嫩化的机理将日益明朗,从而为肉品嫩度的提高和品质的改善提供参考。

参考文献

- [1] Lawrie R A. Meat Science. 5th ed. New York: Pergamon Press, 1991.
- [2] 郭明星. 肉的嫩度和烹饪致嫩[J]. 中国烹饪研究, 1998, 3: 50-55.
- [3] Koochmariaie, M., S.C. Seideman, J.E. Schollmeyer, T. R. Dutson, and J.D. Crouse. 1987. Effect of postmortem storage of Ca^{2+} -dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. [J]. Meat Sci. 19: 187.
- [4] Wick M. et al. The Relationship of the Sarcomeric Architecture to Meat Tenderness [J]. J. Bio. Chem, 1999, (279): 1567 ~ 1582.
- [5] Rayment .I. The Structural Basis of Myosin ATPase Activity [J]. J. Bio. Chem, 1996, (271): 15850 ~ 15853.
- [6] Fritz, J.D., M.L. Greaser. 1991. Changes in titin and nebulin in postmortem bovine muscle revealed by gel electrophoresis, Western blotting and immunofluorescence microscopy. [J]. J. Food Sci. 56: 607.
- [7] Huff-Lonergan, E., Parrish, F.C. Effects of postmortem aging time, animal age and sex on degradation of titin and nebulin in bovine longissimus muscle [J]. J. Anim. Sci., 1995, 73: 1064 - 1073.
- [8] Koochmariaie, M., 1992. The role of Ca^{2+} -dependent proteases (calpains) in post-mortem proteolysis and meat tenderness. [J]. Biochimie 74, 239 - 245.
- [9] Koochmariaie, M., G. Whipple, D.H. Kretchmar, J.D. Crouse and H.J. Mersmann. 1991. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses [J]. J. Anim. Sci. 69: 617.
- [10] Uytterhaegen, L., E. Claeys, and D. Demeyer. 1994. Effects of exogenous protease effectors on beef tenderness development and myofibrillar degradation and solubility. [J]. J. Anim. Sci. 72: 1209.