

加热过程中肉嫩度变化的研究

李超¹, 徐为民², 王道营², 高峰^{1,*}, 周光宏¹

(1.南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095; 2.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 肉在加热处理过程中嫩度发生了显著的变化。肉的剪切力值总体上呈现出先升后降的趋势, 在 0~100℃ 剪切力值不断上升, 随着温度继续升高剪切力值开始下降, 同时蒸煮损失随温度的升高而不断增加。导致这些变化的原因是加热过程中肉蛋白的热变性, 其中肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白的热变性是影响肉嫩度变化的主要因素。
关键词: 肉; 加热; 嫩度; 结缔组织; 肌原纤维蛋白

Heat Induced Change of Meat Tenderness

LI Chao¹, XU Wei-min², WANG Dao-ying², GAO Feng^{1,*}, ZHOU Guang-hong¹

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Meat tenderness would change significantly in thermal process. Generally, with increase of heating temperature, the shear force value increases in the range of 0 to 100 °C then decreases at higher temperature, but cooking loss increases gradually with increase of temperature. These changes are caused by heat induced denaturation of meat protein. Myofibrillar protein and connective tissue as two main component of meat protein, their denaturation in thermal process is major factors affecting meat tenderness.

Key words: meat; cooking; tenderness; connective tissue; myofibrillar protein

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)11-0262-04

热处理是一种常见的肉制品熟化和杀菌方法, 肉在加热过程中发生了大量的物理和生化反应, 诸多品质也随之变化显著, 其中嫩度的变化尤为重要, 因为嫩度通常被认为是评定肉制品品质的主要指标^[1-2], 并且在很大程度上决定着消费者的购买趋向^[3]。肉嫩度的客观评定是借助于仪器来衡量切断力、穿透力、咬力、剁碎力、压缩力、弹力和拉力等指标, 而最通用的是切断力, 又称剪切力^[4]。剪切力值越小, 肉越嫩。由于蛋白质是组成肉的主要结构, 含量占新鲜肌肉的 20%, 蛋白质在加热过程中的变性、水解以及凝胶化等多方面因素, 均影响肉的嫩度变化。Davey 等^[3]曾将加热定义为把肉加热到足以使蛋白质变性的温度。大多研究认为, 肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白是影响加热中肉质变化的主要因素^[5-8], 但目前二者在不同温度条件下的具体变化和作用仍存在争议。

1 加热过程中肉剪切力的变化

肉在加热过程中随着温度的不断升高, 剪切力值总体上呈现出先升后降的趋势^[4], 而且剪切力值开始下降的温度, 因肉的种类和部位的不同而异。臧大存等^[9]研究发现, 鸭肉加热到 60℃, 剪切力值即开始下降。Palka 等^[6]发现牛肉半膜肌在加热到 121℃ 时才开始变嫩。大多肉类在 0~100℃ 之间剪切力值总体上不断上升, 并且上升过程分阶段进行^[7,10-11], 但具体的上升过程仍有异议。

根据 Bailey 等^[11]的研究, 肉在加热过程中肉质变硬, 剪切力分三个阶段上升: 第一阶段在 40~50℃, 是由肌原纤维蛋白变性导致的; 第二阶段在 60~70℃ 由胶原蛋白收缩导致; 第三阶段在 70~90℃, 由于肌球蛋白收缩和脱水所致。

但更多研究倾向于剪切力值在 0~100℃ 分两个阶段上升。Christensen 等^[10]研究了加热对牛肉半膜肌的影响, 发现变化过程分为两个阶段: 第一阶段在 40~50℃, 由肌内结缔组织收缩导致; 在 50~60℃ 之间由于胶原蛋白的收缩和变性剪切力值下降, 接着在 60℃ 以上, 由

收稿日期: 2008-09-11

作者简介: 李超(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与畜产品品质。E-mail: 2007105037@njau.edu.cn

* 通讯作者: 高峰(1970-), 男, 教授, 博士, 研究方向为动物营养生理调控、生物活性饲料。

E-mail: gaofeng0629@sina.com

于肌原纤维蛋白的变性剪切力开始第二阶段的上升。Wattanachant 等^[7]比较了泰国土鸡和肉鸡的质地、微观结构、肉色、蛋白质溶解性在不同加热温度下的变化, 研究表明, 剪切力值变化分两个阶段: 第一阶段在 50~80℃, 剪切力值显著上升; 第二阶段在 80~100℃, 剪切力值的变化不明显。此结果与 Christensen 等^[10]的研究结论总体一致, 但二者在第一阶段的温度上差异显著。

另外, 臧大存等^[9]研究发现鸭肉在加热过程中剪切力值不断升高, 到 60℃达到峰值, 随着温度的继续升高剪切力值开始不断下降。臧大存等^[9]结论中鸭肉剪切力值在 60℃之前的上升与 Christensen 等^[10]报道的第一阶段的上升较为相似, 但在 60℃之后的不断下降与 Christensen 等^[10]和 Wattanachant 等^[7]的研究结果均不相同。该差异可能是由于研究的肉来自不同动物种类, 但鸡肉与鸭肉同属禽类, 差异却仍然如此显著, 其中深层次的原因有待于从肉的内在结构和组分进行深入探讨。

2 肉的结构和蛋白的热变性

动物肉蛋白主要分为三部分: 肌原纤维蛋白、肌浆蛋白、结缔组织蛋白。其中肌原纤维蛋白约占总蛋白含量的 50%~55%^[12], 是食用价值最高的部分, 也是决定肉品质最重要的部分。结缔组织由于其组织较为坚韧, 对肉的嫩度也起着举足轻重的作用^[13]。因此, 肉加热过程中, 肌原纤维蛋白和结缔组织的变化成为决定肉剪切力变化的最重要的两个因素^[5-8], 加热时二者张力发生变化, 从而共同导致剪切力发生变化, 有学者通过单独研究单根肌纤维或结缔组织的张力变化, 发现张力越大, 肉的剪切力值也越大^[10-14]。

肌原纤维蛋白可分为三部分: 肌球蛋白、肌动蛋白和其他起支持调控作用的蛋白。肌球蛋白占总计纤维蛋白的 45%, 肌动蛋白占 25%。在结构上, 肌纤维有大量的肌原纤维构成, 肌原纤维又由大量的粗肌丝和细肌丝构成, 粗肌丝由肌球蛋白构成, 细肌丝有肌动蛋白、原肌球蛋白, 肌钙蛋白构成。肌内结缔组织分为三个部分: 肌内膜、肌束膜和肌外膜。肌外膜包围整个肌肉; 肌纤维细胞外面包绕着肌内膜; 成束的肌纤维又被肌束膜包绕^[15], 结缔组织成分主要有胶原蛋白和弹性蛋白构成。胶原蛋白由胶原蛋白原构成, 胶原蛋白原是有 3 个 α -链形成的三链螺旋体。肌动蛋白、肌球蛋白、胶原蛋白是典型的纤维状蛋白, 这些蛋白质高级构象主要通过大量的氢键维持^[4]。

肉在加热过程中, 构成肉的各种蛋白质受热变性, 维系蛋白质分子机构的共价键和非共价键断裂, 使得蛋白质分子失去原来的结构。在 30~32℃肌原纤维蛋白开始失去高级结构并溶解, 随着温度上升到 36~40℃时形

成蛋白-蛋白聚合物, 接着在 45~50℃凝胶化。在 50~60℃胶原蛋白开始变性, 导致胶原纤维收缩, 随着温度的升高胶原蛋白克服分子间力的束缚, 逐渐溶解并最终凝胶化^[12]。这些蛋白质的热变性是导致肉在加热过程中剪切力变化的重要原因。

3 肌内结缔组织在加热过程中的变化及其对肉嫩度的影响

结缔组织中胶原蛋白有多种类型, 其中肌肉中胶原蛋白主要是 I 型和 III 型^[16]。加热时胶原蛋白变性收缩, 变性温度在 60~70℃之间, 但在不同动物上有所差异。Kanjorski 等^[17]通过分离鸡结缔组织发现, 胶原蛋白变性温度为 65.3℃。Akta 等^[18]在牛肉上的研究表明, 胶原蛋白变性温度为 69.2℃。加热时胶原蛋白的空间结构被破坏, 形成胶原蛋白的三股螺旋肽链之间的氢键断裂, 接着胶原蛋白的交联结构被破坏^[19]。胶原蛋白在加热条件下的变性水解影响肉的嫩度变化, 大量研究曾报道结缔组织与肉嫩度的关系, 但二者的确定关系始终没有建立^[20]。Davey 等^[3]报道, 结缔组织变性可导致肉在 65~80℃变硬。Kopp 等^[21]报道, 肌内结缔组织在 65℃以上快速加热时会剧烈收缩。因此有人认为胶原蛋白在 65℃以上收缩导致肌纤维之间空隙减小, 从而导致肉变硬。但也有研究表明, 肌内结缔组织主要在 40~60℃以前使肉质变硬。Lewis 等^[14]通过分离加热牛肉的肌束膜研究表明, 肌束膜结缔组织的张力在 50℃以下不断升高, 但在 50~90℃不断下降。Christensen 等^[10]测定分离结缔组织的张力发现, 结缔组织张力在 50℃以下不断上升, 之后不断下降, 这表明结缔组织变性导致了肉在 60℃以下变硬。臧大存等^[9]研究表明, 鸭肉剪切力值在加热过程中不断上升到 60℃时开始下降, 可推断结缔组织在 60℃以后没有使肉质变硬。以上结论说明, 目前结缔组织变性对肉嫩度的影响仍存在较大分歧。

胶原蛋白的变性温度是通过差示热量扫描法(DSC)测量得到的, 变性温度 65℃是扫描曲线的峰值 T_p 值, 其含义是胶原蛋白变性时的平均温度。因此, 65℃是胶原蛋白变性的中间温度, 也就是说胶原蛋白在 65℃以前就开始变性, 到 65℃时所有的胶原蛋白还没有完全变性。Palka 等^[22]用扫描电子显微镜观察牛肉半膜肌发现, 结缔组织在 50℃时没有变化, 在 60℃时可见肌束膜和肌内膜颗粒化, 70℃时颗粒化现象增加, 说明从 60℃到 70℃时, 越来越多的胶原蛋白变性。Lewis 等^[14]认为, 在 50℃之下张力不断上升是由于单位横截面积内胶原蛋白含量升高, 是由于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, 最终导致剪切力值上升和肉变硬; 在 50℃以上, 胶原蛋白纤维变性收缩, 空间结

构进一步被破坏,溶解度增加,从而使胶原蛋白纤维承受能力下降,张力下降,这一温度范围结缔组织对肉质变硬的影响不大。随着胶原蛋白的变性收缩数量的增加肉质不断变硬,但是在50℃以后仍然存在没有变性收缩的胶原蛋白,随着温度升高这些胶原蛋白陆续变性收缩直到所有的胶原蛋白完全变性,使得结缔组织完全失去张力。因此,可以认为如果不考虑肌原纤维蛋白的影响,胶原蛋白变性收缩引起的肉质变硬在50℃以上仍然会继续。加热时结缔组织引起的肉质变硬,不应该局限在65℃之前或者之后,但这些推论仍然需要更多的研究来验证。

4 肌原纤维蛋白加热过程中的变化及其对肉嫩度的影响

肉在加热过程中肌原纤维蛋白的变性收缩影响肉的嫩度^[13]。肌球蛋白是热稳定性最差的蛋白,一般在40~60℃之间变性^[23];肌动蛋白是热稳定性最高的蛋白,开始变性温度为71℃,到83℃时完全变性^[24];这种变性会导致肉的剪切力值上升^[25]。

Davey等^[3]认为,肌原纤维蛋白的变性收缩主要在60℃以下对肉质的变硬起作用。但根据Bouton等^[26]的研究,肉在60℃以下的变硬是由结缔组织变化引起的,而在65~80℃的变硬是由肌原纤维蛋白变性引起的。前者的结论可能与肌球蛋白在60℃以下变性有关,而后的结论可能与肌动蛋白在70℃以上变性有关。但加热时肌原纤维蛋白导致的肉质变硬应该与肌球蛋白和肌动蛋白都有关系,而不是仅仅局限于其中一种,但它们具体如何共同影响肉质还有待进一步研究。

为了更深入直观的研究加热时肌原纤维对肉质的影响,有学者研究了单根肌纤维在加热时的张力变化。早在1956年,Wang等^[27]研究了单根肌纤维在加热时的变化发现,加热后肌纤维的伸展性增加,并推测肌纤维的变化影响肉的嫩度。Christensen等^[10]报道,牛肉半膜肌肌纤维张力在60℃以下变化很小,在60~80℃变化迅速。Mutungi等^[28]报道,猪肉背最长肌和髂肋肌的单根肌纤维的张力在50℃以下变化很慢,到80℃时变化极快。以上结论表明,肌原纤维蛋白主要在60℃使肉的剪切力值上升,使肉质变硬。但臧大存等^[9]研究鸭肉发现,在60℃以上剪切力值不断下降。出现这种差异可能是由于单根肌纤维的外面还包有一层肌内膜,加热时肌内膜也同时发生变化,但这种变化产生的影响仍有不同意见。Wattanachant等^[7]报道,鸡肉加热到60℃肌纤维直径即明显降低,这可能是胶原蛋白变性收缩压迫肌纤维引起的;60℃以上肌纤维直径开始变大,可能是由于胶原蛋白失去螺旋结构解除了对肌纤维的束缚。但Christensen等^[10]报道牛肉半膜肌肌纤维在加热时肌纤维

直径没有发生明显变化。以上结论说明,目前肌原纤维蛋白变性对肉嫩度的影响仍存在较大分歧。

5 结 语

加热处理显著影响肉的嫩度。加热使肉质先变硬,达到足够的温度后变嫩,这种影响主要受肉中的肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白的影响,但对于这些影响的具体机制及其最终的作用效果还存在争议,这可能与肉的种类有很大关系,尤其是鸭肉与牛肉、猪肉、鸡肉的差别最显著,因此有必要对来源不同动物种类的肉分别研究。

肉的加热处理除了熟化作用外,更重要的是杀灭腐败微生物,从而延长肉的保质期。通常肉内部温度达到65~75℃时大多数微生物可被杀死,在121℃高温下肉中的微生物几乎全部被杀死,即使存在极少数微生物也不致引起肉的腐败变质^[4]。但温度升高的同时,蒸煮损失也在不断增加^[6-8,29],增加了生产成本,过高的温度还会导致肉制品口感和营养品质的下降。深入探索肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白在加热条件下的变化机制及其对肉质变化的具体影响过程,能够更科学解释肉制品在加热过程中质地的变化,为更合理的运用加热方法以及加热时肉质调控的研究提供理论依据。

参考文献:

- [1] BOLEMAN S J, BOLEMAN S L, MILLER R K, et al. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness[J]. *Journal of Animal Science*, 1997, 75: 1521-1524.
- [2] KOOHMARAIE M, KENT M P, SHACKELFORD S D, et al. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship[J]. *Meat Science*, 2002, 62: 345-352.
- [3] DAVEY C L, GILBERT K V. Temperature-dependant toughness in beef [J]. *Journal of Science Food and Agriculture*, 1974, 25: 931.
- [4] 周光宏. 肉品学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 241-243.
- [5] CALIFANO A N, BERTOLA N C, BEVILACQUA A E, et al. Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef[J]. *Journal of Food Engineering*, 1997, 34: 41-54.
- [6] 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.
- [7] WATTANACHANT S, BENJAKUL S, LEDWARD D A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle[J]. *Food Chemistry*, 2005, 93: 337-348.
- [8] GARCLA-SEGOVIA P, ANDRES-BELLO A, MARTINEZ-MONZO 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.
- [9] 臧大存, 周光宏, 徐幸莲, 等. 加热过程中鸭肉嫩度及超微结构的变化[J]. *江苏农业学报*, 2007(5): 475-480
- [10] CHRISTENSEN M, PURSLOW P P, LARSEN L M. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibers and perimysial connective tissue[J]. *Meat Science*, 2000, 55: 301-307.
- [11] BAILEY A J, LIGHT N D. Connective tissue in meat and meat products

- [M]. London: Elsevier Applied Science, 1989: 155-157.
- [12] TORNBERG E. Effects of heat on meat proteins-implications on structure and quality of meat products[J]. Meat Science, 2005, 70: 493-508.
- [13] BRUNTON N P, LYG J G, ZHANG L, et al. The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef biceps femoris muscle during cooking from 5 to 85°C[J]. Meat Science, 2006, 72: 236-244.
- [14] LEWIE G J, PURSLOW P P. The strength and stiffness of perimysial connective tissue isolated from cooked beef muscle[J]. Meat Science, 1989, 26: 255-269.
- [15] TORNBERG E. Biophysical aspects of meat tenderness[J]. Meat Science, 1996, 43: 175-191.
- [16] BURSON D E, HUNT M C. Heat-induced changes in the proportion of types I and III collagen in bovine longissimus dorsi[J]. Meat Science, 1986, 17: 153-160.
- [17] KIJOWSKI J M, MAST M G. Thermal properties of proteins in chicken broiler tissues[J]. Journal of Food Science, 1988, 53(2): 363-366.
- [18] AKTAS N, KAYA M. Influence of weak organic acids and salts on the denaturation characteristics of intramuscular connective tissue: A differential scanning calorimetry study[J]. Meat Science, 2001, 58(4): 413-419.
- [19] ROCHDI A, FOUCAT L, RENOU J P. NMR and DSC studies during thermal denaturation of collagen[J]. Food Chemistry, 2000, 69: 295-299.
- [20] LEPTIT J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness[J]. Meat Science, 2007, 76: 147-159.
- [21] KOPP J, BONNET M. Stress-strain and isometric tension measurements in collagen [M]. New York: Van Nostrand, 1987: 163-185.
- [22] PALKA K. Changes in intramuscular connective tissue and collagen solubility of bovine m. semitendinosus during retorting[J]. Meat Science, 1999, 53: 189-194.
- [23] BENDALL J R, RESTALL D J. The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef *M. Psoas* and *M. Sternomandibularis* muscles at varying heating rates and temperatures [J]. Meat Science, 1983, 8 (2): 93-117.
- [24] BARBUT S, FINDLAY J C. Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle[J]. Journal of Food Science, 1991, 56: 180-182.
- [25] SIMS T J, BAILEY A J. Structural aspects of cooked meat[M]. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1992: 106-127.
- [26] BOUTON P E, HARRIS P V. The effects of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat[J]. Journal of Food Science, 1972, 37: 140-144.
- [27] WANG H, DOTY D M, BEARD F J et al. Extensibility of single beef muscle fibers[J]. Journal of Animal Science, 1956, 15: 97-108.
- [28] MUTUNGI G, PURSLOW P, WARKUP C. Structural and mechanical changes in raw and cooked single porcine muscle fibres extended to fracture[J]. Meat Science, 1995, 40: 217-234.
- [29] COMBES S, LEPETIT J, DARCHE B, et al. Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat[J]. Meat Science, 2004, 66: 91-96.