

# 肌原纤维断裂指数及其与肉质嫩度的关系

郑海波 (江南大学食品学院 江苏无锡 214122)

**摘要:** 肉质嫩度是禽肉食用品质的一个重要感官特征,也是肉品质量的主要决定因素。本文介绍了通过肌原纤维断裂指数(MFI)来评价肉质嫩度的测定方法及影响因素,概述了MFI与肉质嫩度的相关性及其影响肌原纤维断裂的因素。

**关键词:** 肌肉;肌原纤维;嫩度;评价;MFI

**Abstract:** Meat tenderness has been identified as one of the most important palatability attribute of meat and, thus, the primary determinant of meat quality. In this paper, the meat tenderness evaluated by using the method of measurement of myofibril fragmentation and its influence factors were introduced, the correlations between myofibril fragmentation index (MFI) and meat tenderness were summarized, and the factors that influence the myofibril fragmentation were reviewed in brief.

**Keywords:** Muscle; Myofibril; Tenderness; Evaluation; MFI

随着人们生活水平的提高,人们对食品的食用品质的要求也越来越高。嫩度是禽肉食用品质的一个重要感官特征<sup>[1]</sup>,也是其食用质量与商业价值的重要指标,肉质鲜嫩的禽肉很受消费者欢迎,具有较高的经济效益<sup>[2]</sup>。

目前肉质嫩度的评价方法大致可分为主观(感官)评价和客观(仪器)测定两大类<sup>[3]</sup>。主观评价(sensory evaluation)是用于唤起(evoke)、测量(measure)、分析(analyze)和解释(interpret)通过视觉(sight)、嗅觉(smell)、味觉(taste)和听觉(hearing)而感知到的食品及其他物质的特征或者性质的一种科学方法(美国食品科学技术专家学会感官评价分会,1995)。肉质嫩度的主观评价也就是通过人品

尝肌肉来判定肌肉老嫩<sup>[3]</sup>。由于人作为仪器具有不稳定性且人容易受到干扰<sup>[1,4]</sup>,于是人们便发展了客观评价技术。客观(仪器)测定是通过仪器测定食品的感官特征参数。如今,人们通过借助现代仪器从物理、生化和组织结构三个方面形成了多种肉质嫩度的客观评价方法并得到广泛的应用<sup>[5,6]</sup>。物理方法通常用剪切、压缩的办法,通过模拟人的咀嚼动作直接测量肌肉的韧性力度,常用方法的有剪切法(如沃-布剪切法,W-BSF)、压缩法(如质构剖面分析方法,TPA)等。生化法是利用组织的某些化学特性间接评定肌肉的嫩度,主要从化学成分和组织化学特性两个方面进行比较,其中测定胶原蛋白含量及其性质是评定肌肉嫩度的有效方法<sup>[7]</sup>,另外测定肌原纤维的生化特性也是评定肌肉嫩度的一个重要手段<sup>[8]</sup>。肌肉组织学评定肉品的嫩度,主要测定肌纤维密度直径及肌束内肌纤维的根数等指标<sup>[9]</sup>。

自上世纪六十年代以来,人们发现肌肉的嫩度与肌原纤维的断裂有关<sup>[10,11]</sup>,提出了利用肌原纤维断裂指数(myofibril fragmentation index, MFI)来考察肉质的嫩度<sup>[12,13]</sup>。本文就肌原纤维断裂指数(MFI)及其与肉质嫩度关系作简要综述。

## 1 肌原纤维断裂指数的测定

### 1.1 肌原纤维断裂指数测定的原理

肌肉组织在组织学上分为三类:骨骼肌、平滑肌和心肌。人们食用的主要是骨骼肌,本文中“肌肉”也仅指骨骼肌。肌肉的基本构造单位是肌纤维即肌细胞,而肌纤维的主要成分是肌原纤维且肌原纤维占肌纤维固形成分的60~70%。肌原纤维的构造单位是肌节,它包括一个完整的A带和二个体



在肌原纤维的悬浊液用玻璃棒蘸取少许,放在载玻片上,然后在料液的上面盖上盖玻片,显微镜观察。采用相差显微镜时,首先将标本放到载物台上,一定倍数的相差物镜与相应的环状光阑相对应,然后取下一侧目镜,换上合轴调节望远镜,调整环状光阑的物象与相板上的共轭面圆环完全重叠吻合,然后取下合轴调节望远镜,换回目镜,即可观察<sup>[22]</sup>。为了便于分析,一般显微镜上还要配有摄像装置以及安装有图像分析软件的计算机。

## 2 肌原纤维断裂指数测定的影响因素

### 2.1 均质机类型

不同均质机类型或均质头对样品施加的作用力大小不同,产生的均质效果也有一定差异,因而在一定程度上影响肌原纤维的断裂。

采用 Ystral 均质机(Ystral homogenizer),其 MFI 值的波动要大于 Omni 搅拌器(Omni-mixer),另外,杆式(shaft)均质头比剪切式(blade type)均质头更能反映肉的成熟<sup>[21]</sup>。

### 2.2 均质的速度

在均质过程中,均质速度是一个重要因素。均质速度越高,肌肉组织所受到的剪切力就越大,肌原纤维断裂的程度就会越深。均质速度的提高,不仅会使 MFI 值升高同时波动减小,而且样品状态之间的差异也会减小。

霍普金斯(Hopkins,D.L.)等研究了不同速度条件下(5000、10000、15000rpm/min)对牛的背最长肌的均质效果,结果表明随着速度的提高,肌原纤维的断裂程度加深,MFI 值随之升高且平行样品的 MFI 波动减小,当速度上升到一定程度后 MFI 增加缓慢<sup>[21]</sup>。

维塞斯(Weiseth,E.)等对羊的背最长肌的研究发现,当均质速度达到 20000rpm/min 时,新鲜样品和冷冻样品的 MFI 值无显著差异<sup>[23]</sup>,这与霍普金斯(Hopkins,D.L.)等的研究结果基本一致<sup>[18]</sup>。

### 2.3 均质的时间

在均质过程中,均质时间同均质速度一样也是一个重要因素。均质时间越长,肌原纤维片断越小,MFI 值越大,但时间超过一定限度时,MFI 值并不会明显增加。

当均质速度超过 11000rpm/min 时,样品均质 30 秒一次所得到的 MFI 值要显著小于均质 30s 两次<sup>[21]</sup>。一般来说,在均质初期约 60s 内,MFI 上升较快,

而超过 60s 后,MFI 上升缓慢<sup>[11,13]</sup>。

## 2.4 其它条件

在肌原纤维断裂指数测定的测定过程中,由于还没有一套操作标准,不同学者采用的方法或条件往往不同,如均质时的缓冲液的配方及其使用量、离心及过滤次数、过滤网网孔的尺寸等。这些条件对最终结果的影响还未见有学者专门研究。

## 3 肌原纤维断裂指数与肉质嫩度

### 3.1 肌原纤维断裂指数与肉质嫩度的相关性

MFI 与肉质嫩度具有较高的相关性。库勒尔(Culler,R.D.)等研究了 MFI 与牛最长肌的一些化学、物理和感官特征的关系,研究发现 MFI 能反映的牛腰肉 50% 以上嫩度变化,优于胶原蛋白溶解度和肌节长度,感官评价的相关系数为 0.75,与沃一布剪切力的相关系数为 -0.72<sup>[20]</sup>。帕里什(Parrish,F.C.)等对四种成熟度的牛最长肌嫩度的研究中发现,MFI 能反映嫩度变化的 50%,与感官评价的相关系数为 0.76,与沃一布剪切力的相关系数为 -0.72<sup>[24]</sup>,这与库勒尔(Culler,R.D.)等研究的结果一致。但西尔瓦(Silva,J.A.)等对牛肉研究中发现 MFI 反映嫩度变化的比例要小于 50%,宰后 1 天的比例为 45%,随时间延长这一值会更低<sup>[25]</sup>。目前有研究表明,以感官评价为基准,MFI 的相关系数低于剪切力与感官评价的相关系数。剪切力与感官评价的相关系数在 0.85 以上,而 MFI 与感官评价的相关系数在 0.75 左右<sup>[20,24]</sup>。

在禽肉后熟过程中,MFI 能够较好地反应嫩化的趋势。穆罕默德(Mohammad,A.I.)等在研究牛肉后熟过程中的嫩度与 MFI 相关度较高<sup>[26]</sup>,MFI 与嫩度变化见图 3-4 所示。在前 3 天内变化较快,而后趋于平缓<sup>[13,26]</sup>。

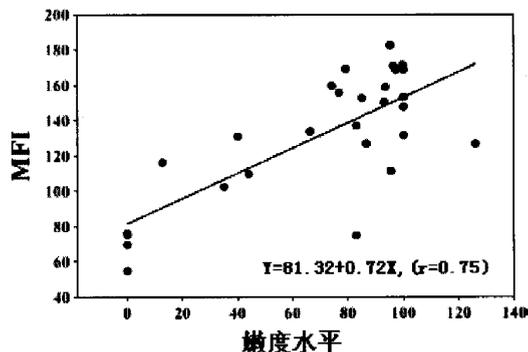


图3 不同牛肉嫩度水平与 MFI 的关系<sup>[26]</sup>

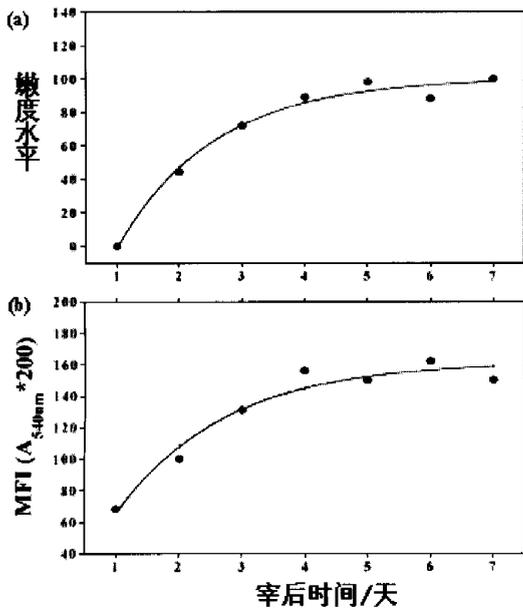


图4 嫩度和MFI随宰后时间的变化<sup>[26]</sup>

### 3.2 促使肌纤维断裂的因素

促使肌原纤维断裂的原因，首先是死后僵直肌原纤维产生收缩的张力，使Z线发生断裂，张力的作用越大，断裂的程度越高。此外，断裂成小片主要是由Ca<sup>2+</sup>作用引起的。死后肌质网功能破坏，Ca<sup>2+</sup>从网内释放，使肌浆中的Ca<sup>2+</sup>浓度增高，高浓度的Ca<sup>2+</sup>激活相关酶系，使Z线蛋白变得脆弱，给予物理力的冲击和牵引即发生断裂<sup>[14]</sup>。

肉的嫩化是一个复杂的生化反应过程，涉及到钙激活蛋白酶（Calpain）体系对一系列肌原纤维中起连接作用蛋白的分解<sup>[26]</sup>。钙激活蛋白酶（EC 3.4.22.17）在动物体内普遍存在的有8种（calpains 1, 2, 5, 7, 10, 12, 14 和 15），以及一种组织特异酶（calpain3）。钙激活蛋白酶主要受钙离子，磷脂和钙激活酶抑制蛋白和它们的抑制物所调控。动物宰后，随着ATP的消耗，肌质网小泡体内积蓄的钙离子被释放，激活了钙激活蛋白酶，从而作用于许多肌原纤维蛋白，包括如连接蛋白（Titin）、伴肌动蛋白（Nebulin）、细丝蛋白（Filamin）、肌间蛋白（Desmin）、肌钙蛋白（Troponin-C）。连接蛋白被降解，细丝蛋白和Z线的连接被削弱，肌原纤维和肌膜的连接被破坏，从而使得肌原纤维易于断裂，肌肉变嫩，而不仅仅主要是Z线的断裂<sup>[27]</sup>。

### 4 结束语

MFI最早是指“myofibril fragmentation

index”，并为广大学者所接受<sup>[12,20,28]</sup>，国内学者丁玉庭将其翻译为“肌原纤维易碎度指标”<sup>[29]</sup>，但霍普金斯（Hopkins, D.L.）等将MFI称为“myofibrillar fragmentation index”<sup>[18,21]</sup>，参照丁玉庭的翻译可译为“肌纤维易碎度指标”。其差别在于“myofibril”和“myofibrillar”即“肌纤维”和“肌原纤维”的不同，从实验原理上看，宏观上是肌纤维反生断裂，微观上是肌原纤维的Z线发生断裂，所以两者并没有根本的不同，但由于将MFI称为“myofibrillar fragmentation index”并未为学者们所认同，所以笔者建议仍采用“myofibril fragmentation index”。另外，1977年麦克布艾德（Macbride, M.A.）等提出了“myofibril fragmentation tenderness”<sup>[30]</sup>，参照丁玉庭的翻译可分别译为“肌原纤维易碎度嫩度”，笔者建议将其翻译为“肌原纤维断裂嫩度”，相应地“myofibril fragmentation index”翻译为“肌原纤维断裂指数”。

肌原纤维断裂指数(MFI)初步形成于19世纪60年代，在70年代才正式建立，而“肌原纤维断裂嫩度(myofibril fragmentation tenderness, MFT)”直到1977年才由麦克布艾德（Macbride, M.A.）等提出<sup>[30]</sup>，相比其它嫩度测定技术而言，该方法建立的时间相对较晚，在有些方面还有待进一步研究和完善。由于该技术对材料没有严格要求，技术相对比较简单，且能提供微观方面的证据，相信这一技术将会成为肉质嫩度评价的又一客观评价手段。

### 参考文献

- [1] Goodson, K.J., Morgan, W.W., Reagan, J.O., et al. Beef Customer Satisfaction: Factors affecting consumer evaluations of clod steaks [J], American Society of Animal Science, 2002, 80: 401-408.
- [2] Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Meade, M.K., et al. Consumer impressions of Tender Select beef [J], American Society of Animal Science, 2001, 7: 2605-2614.
- [3] 孔晓玲, 蒋德云, 韦山等. 关于肌肉嫩度评价方法的比较研究[J], 农业工程学报, 2003, 19: 216-219.
- [4] 马永强, 韩春然, 刘静波. 食品感官检验[M], 北京: 化学工业出版社, 2005, 1-5.
- [5] Henckel, P., Oksbjerg, N., Erlandsen, E., et al. Histo- and biochemical characteristics of the Longissimus Dorsi muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality [J], Meat Science, 1997, 47: 311-321. (下转第42页)

需挥发油组的抑菌效果最为明显,这主要是因为石香薷挥发油有较强的光谱抗菌作用,其抗菌有效成分为百里香酚、香荆芥酚等。研究发现,石香薷挥发油对大肠杆菌、表皮葡萄球菌、乙型链球菌、痢疾杆菌、白喉杆菌、肺炎杆菌、变形杆菌、炭疽杆菌、绿脓杆菌等均有显著抗菌作用<sup>[8,9]</sup>。正是由于这种抑菌作用的存在,使得经石香薷挥发油处理后的肉样在保存12d时其细菌总数还低于106,为各处理组最佳。

3.3 挥发性盐基氮(TVB-N)值是评价肉品质的重要指标,从结果来看以石香薷挥发油组最佳,15d时仍然小于20mg/g,符合国家二级鲜肉标准。值得注意的是挥发性盐基氮的变化与肉样的蛋白质含量变化以及pH值的变化紧密相关,TVB-N值升高,pH值升高,蛋白质含量就下降,且三者的趋势完全一致,即pH值,TVB-N值升高越快,蛋白质含量下降就越快。这个现象说明了肉样中的蛋白质经降解后大部分以氨及胺类等碱性含氮物质的形式释放了。石香薷挥发油能够有效抑制TVB-N值和pH值的升高,对保持肉样品质起到了重要的作用。

从以上的分析中发现,石香薷挥发油具有很好的防腐保鲜作用,其保鲜效果比Nisin、山梨酸钾、茶多酚都要突出。从主要的生化指标来看,对照组在7d时肉样已明显变质,而石香薷挥发油组

(上接第16页)

- [6] Casas,C,Martinez,O,Guillen,M.D,etal.Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) at three points along the fillet,determined by different methods[J],Food Control,2006,17:511~515.
- [7] 曾勇庆,孙玉民,张万福等.莱菔猪肌肉组织学特性与肉质关系的研究[J],畜牧兽医学报,1998,29(6):486~492.
- [8] Ryu,Y.C,Kim,B.C.The relationship between muscle fiber characteristics,postmortem metabolic rate,and meat quality of pig longissimus dorsi muscle[J],Meat Science,2005,71:351~357.
- [9] 林树茂,吾豪华,舒希凡等.泰和乌骨鸡、余干黑鸡及其培育品种常规肉质、组织学特性和化学成分分析[J],江西畜牧兽医杂志,2001,2:6~8.
- [10] Takahashi,K,Fukazawa,T,Yasui,T,etal.Formation of myofibrillar fragments and reversible contraction of sarcomeres in chicken pectoral muscle[J],Journal of food science,1967,

能将肉样的保质期延长至15d。总的说来,石香薷挥发油作为一种天然防腐剂具有用天然、无毒且防腐抗菌效果明显等特点,具有很好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 江苏新医学院.中药大辞典(下册)[M].上海:上海科学技术出版社,1977:609~610.
- [2] 郑尚珍,郑敏燕,戴荣等.超临界CO<sub>2</sub>萃取法研究石香薷精油化学成分[J].西北师范大学学报(自然科学版),2001,37(2):49~52.
- [3] 王修德,孙华斌,王新斋,等.天然空气清新剂及其效果观察[J].中国公共卫生,1995,11(11):494~496.
- [4] 肖崇厚.中药化学[M].上海:上海科学技术出版社,1997:496~498.
- [5] 中华人民共和国标准.食品卫生检验方法微生物学部分.北京:中国标准出版社,1995,161~169.
- [6] 马美湖,葛长荣,王进等.冷切肉生产保鲜技术的研究[J].食品科学,2003,24(4):75~77.
- [7] 中华人民共和国标准.食品卫生检验方法理化检验部分.北京:中国标准出版社,1996,100~101.
- [8] 龚慕辛.香薷的药理研究概况[J].北京中医,1997(6):46~48.
- [9] 张亚红,刘红宇,朱卫丰.江香薷的研究进展[J].中药材,2002,25(2):146~147.
- [10] 32:409~412.
- [11] Davey,C.L,Gilbert,K.V.Studies in meat tenderness.7.Changes in the fine structure of meat during aging[J],Journal of food science,1969,34:69~74.
- [12] M·ller,A.J,Vestergaard,T,Wismér-pedersen,J.Myofibril fragmentation in bovine longissimus dorsi as an index of tenderness[J],Journal of food science,1973,38:824~825.
- [13] Olson,D.G,Parrish,F.C,Stromer,M.H.Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscle during postmortem storage[J],Journal of food science,1976,41:1036~1041.
- [14] 孔保华,马丽珍,孟祥晨等.肉的形态结构及理化特征,肉品科学与技术[M],北京:轻工业出版社,2003,49~56.
- [15] Tornberg,E,Olsson,A,Persson,K.K.Larsson,Friberg,S.E.Food Emulsions[M],New York & Basel:Marcel DekkerInc,1990,247.