

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2014.11.004

影响畜禽肉质的主要因素及其作用机制^①

宋代军¹, 王子苑¹, 杨游¹, 姚焰础²

1. 西南大学 动物科技学院, 重庆 400715; 2. 重庆市畜牧科学院 动物营养研究所, 重庆 402460

摘要:随着生活水平的提高,人们对肉类的要求已经逐渐从数量向质量转变,因此肉类品质越来越受到关注.影响肉质的因素很多,主要归纳为遗传和环境两方面,其中基因和饲养管理分别是影响肉质的的重要因素.因此,本文就肉质的评定指标、肉质的影响因素以及这些因素对肉质的调控作用机制进行探讨,为今后肉质的研究提供参考依据.

关键词:肉质;评定指标;营养素;基因;饲养管理

中图分类号: S821.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2014)11-0026-08

肉质是一个内涵丰富的性状,很难用一个单一的指标进行测量.早在 20 世纪 80 年代,Jul 等^[1]就将肉质定义为消费者对肉类的满意程度.如今随着人们生活水平的提高,对肉类品质的要求也越来越高,肉质的定义也随即发生改变,但其本质都是一样的.肉质是指鲜肉或是加工肉的外观、适口性及营养价值等有关性状的综合,可以通过物理和化学性质的测量对肉质进行评定,如 pH 值、肉色、嫩度、肌肉脂肪(intramuscular fat, IMF)含量、大理石纹、系水力(water-holding capacity, WHC)和风味等.

1 肉质的评定指标

1.1 pH 值

pH 值是评定肌肉酸碱度最直接的指标,由于畜禽机体在屠宰后处于缺氧状态,肌肉的糖酵解途径则将肌糖原转变为乳酸积累在肌肉中,最终导致肉类的 pH 值下降. pH 值的下降是导致肉质发生改变的主要原因.猪在宰后的 30 min 到 1 h 时间内, pH 值的下降速度是决定汁液渗出度的重要因素^[2]. Molette 等^[3]研究发现,快速糖酵解组肉质的滴水损失和烹煮损失均较正常糖酵解组高. pH>5.9 的肉通常被称为 DFD (dark, firm, dry)肉(暗红、坚硬、干燥),其特点是系水力高并且货架期短.此外,肌肉中乳酸含量的快速上升会导致蛋白质变性,从而使肉的理化特性发生改变.若变性的蛋白质数量较多,则有可能导致 PSE (pale, soft, exudation)肉(苍白、松软、有渗出物)的产生. PSE 肉不仅在猪上存在,近年来发现禽肉,如火鸡肉和鸡肉也会出现类似现象^[4-5].

1.2 肉色

肉色作为肉质评定的指标之一,不仅决定了消费者对新鲜肉类的选择,同时决定了消费者对肉制品的最终评价以及可接受程度.肉色的化学基础是肌红蛋白、血红蛋白和细胞色素 C 三种物质,其中肌红蛋白的化学特征是决定肉色的关键^[6].肉色的评定方式主要是肉色评分和色度仪测量,通常测量的指标是 L*

① 收稿日期: 2014-03-31

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2011C033); 重庆市科委攻关项目(CSTS2011AC1146); 重庆市基础与前沿研究计划项目(CSTS2013JCYJA80039).

作者简介: 宋代军(1966-),男,四川阆中人,博士,副教授,主要从事畜禽营养和饲料价值评定研究.

通信作者: 姚焰础,副研究员.

(亮度)、 a^* (红度)和 b^* (黄度). Fletcher 等^[7]研究发现, L^* 高于正常范围的肉样, 其 pH 值、乳化能力以及 WHC 均较低.

1.3 嫩 度

嫩度是消费者评判肉质优劣最常用的指标, 由肌肉中各种蛋白质的结构特性决定. 肉样的嫩度可通过肉的颜色和纹理进行判断, 也可用嫩度仪对切割肌纤维阻力的大小进行测量来评定肉的嫩度, 故嫩度也可用“剪切力(shear force, SF)”表示. 单位横断面积上的 SF 越小, 肉的嫩度越大, 口感较佳. 在一定范围内, 脂肪水平的升高会使肉的嫩度提高, 这可能是由于 IMF 改变了肌原纤维和结缔组织之间原有的交叉状态, 使肌肉纤维易分离, 在咀嚼过程中易断裂, 从而肉质嫩度得到改善.

1.4 IMF 与大理石纹

IMF 主要存在于肌内纤维的肌外膜、肌束膜以及肌内膜上, IMF 的含量与肉的嫩度、多汁性以及风味呈正相关, 同时与大理石纹的形成也存在一定的相关性. 大理石纹是肉用家畜骨骼肌发育到一定的生理成熟阶段, 由肌肉纤维之间脂肪沉积和肌肉纤维深层次脂肪沉积所构成^[8]. 根据胴体切面观察眼肌中大理石纹的程度是一种传统的大理石纹等级评定方法, 主观评价方法难免会受到人为因素的干扰, 产生误差. 因此, 现如今通常采用计算机视觉、人工神经网络和图像处理技术对大理石纹进行自动分级.

1.5 WHC 与滴水损失

WHC 是指肉类受到外力(如压力、切碎、加热、冷冻、融化等)时, 保持其原有水分的能力, 这里所说的水分是肌肉内不易流动的水, 约占总水的 80%. 当肌肉蛋白质的静电荷为零, 即肌肉的 pH 值下降到与蛋白质等电点($\text{pH}=5.1\sim 5.5$)接近时, 此时的系水力最低. 通常将 WHC 的大小用滴水损失表示, WHC 高的肉样, 其滴水损失小. 具有高滴水损失的肉样, 不仅其嫩度会降低, 风味变差, 甚至有异味出现.

1.6 风 味

风味是肉制品重要的品质特性, 包括肉的滋味和香味. 肉的滋味主要来源于游离氨基酸、小肽、肌苷酸、核糖等风味前体物; 肉的香味来源于风味前体物在加热条件下产生的挥发性物质, 如杂环类、酚类和含硫化合物是产生香味的重要物质.

肉制品风味的评定方式主要有两种: 仪器分析和感官评定. 感官评定通常由专家品尝后确定, 存在主观个体差异, 故研究上常用仪器分析对肉制品风味进行评定, 如气相色谱、紫外光谱、红外光谱、核磁共振和质谱等. 其中, 气相色谱-质谱联用(GC/MS)技术在食品挥发性风味物质的研究中起着非常重要的作用^[9].

2 影响肉质的因素

2.1 动 物

2.1.1 品 种

品种是影响肉质最主要的内在因素. 单胃动物方面, 对于国外猪种来说, 大白猪的背最长肌中 IIB 型纤维含量较伯克郡猪高, 故其在宰后的糖酵解力也高, pH 值下降速度快, 最终导致肉质相对较差^[10]. Kang 等^[11]研究发现, 伯克郡猪的大排肉 I 型纤维和 IMF 含量高, 肉质较其他品种优. 韩国本地黑猪的肉样肌球蛋白重链 I 型含量、IMF 含量、WHC 以及 a^* 均显著高于长白猪, 滴水损失显著较低, 并且对活组织切片进行蛋白质组分析, 结果显示调节性肌球蛋白轻链 2、肌球蛋白轻链亚型 ν/sb 、脂肪酸结合蛋白以及白蛋白的表达水平较高^[12]. 与国外猪种相比, 中国地方猪种肉质的感观评分比长白猪和杜洛克高. 如荣昌猪的肉质及烹饪口感比欧洲杂种猪好^[13]. 眉山猪在宰后其肉中含有高比例的慢纤维^[14]. 不同品种兔的肉质存在一定的差异. 与新西兰白兔相比, 加利福尼亚兔背最长肌剪切值最低, 嫩度最好^[15]. 弗兰德里斯兔的熟肉率、水分和蛋白质含量均高于新西兰白兔, 但脂肪含量低于后者^[16]. 李石友等^[17]研究发现, 地方鸡肌苷酸含量均比肉鸡和肉杂鸡高, 从客观上说明了地方鸡鲜味优于其他鸡种的原因所在.

反刍动物方面, Vieira 等^[18]研究发现, 与胴体质量较低的阿斯图里亚斯牛相比, 利木赞牛具有较高的屠宰率和体型评分, 瑞士褐牛的 IMF 含量最高, 并且瑞士褐牛肉质多汁性优于另外两个品种的肉牛. 与西

门塔尔牛、夏洛莱牛相比, 安格斯牛以脂肪沉积早、速度快、大理石纹好等优点而名列优质肉牛之首^[19]. 对于羊肉的研究发现, 虽然山羊肉的嫩度和多汁性均较绵羊肉差, 但其具有独特的香味和滋味^[20]. Campo 等^[21] 研究结果表明, pH 值和 WHC 等肉质特征在不同品种的哺乳羔羊之间差异不显著, 而肉色、烹饪损失、嫩度和多汁性差异显著. 这与席其乐木格^[22] 的研究结果相似, 即品种差异对羊肉的色泽、pH 值、胆固醇含量、脂肪氧化值无显著影响, 但对食用品质的 SF、熟肉率、失水率、蛋白质含量的影响极显著.

2.1.2 年 龄

年龄是公认的影响肉质的主要因素之一. 幼龄动物机体缺乏糖原, 随着动物年龄的增长, 动物机体内含有较多糖原的红纤维比例也会增加, 因此幼龄动物肉产品的 pH 值较年龄大的动物高. 由于年龄增长而引起的肉质指标的改变有可能与组织学变化有关, 如肌肉结构和组成, 尤其是结缔组织的结构变化^[23]. Kadim 等^[24] 研究发现, 幼龄组肉样的肌原纤维更容易断成碎片, 同时高 pH 值增加蛋白质分解活性, 导致肌原纤维断裂指数在幼龄组较高. 肉样的脂肪含量与年龄有关, 这可能是由于脂肪是一种晚熟的机体组织, 年龄越大脂肪含量越高, 并且矿物质含量也随年龄的增加而有上升的趋势. 值得注意的是, 虽然年龄大的动物肉产品脂肪含量高, 但其嫩度依然低于幼龄动物, 并且由于肌红蛋白会随着年龄的增加而增加, 故肉色较暗, 肉质的总体评分较幼龄动物低.

2.1.3 肌纤维的类型

脊椎动物的骨骼肌主要由肌纤维组成, 由于肌纤维占肌肉体积的 75%~90%, 故肌纤维的类型和组成比例是决定肌肉品质的一个主要因素. 当肌肉中 IIB 型纤维含量多时, 肌红蛋白和线粒体的数量均小于 I 型和 IIA 型纤维, 故 IIB 型纤维主要进行糖酵解, 使糖原在宰后快速代谢. 与含 I 型纤维多的肉样相比, 含 IIB 型纤维多的肉样乳酸盐含量高, pH 值下降快, 滴水损失高, 因此肉类品质也较差. Choi 等^[25] 研究发现, 由高比例 I 型纤维和低比例 IIB 型纤维组成的肌肉, 在宰后其糖酵解能力和乳酸盐含量都较低. Gil 等^[26] 认为, I 型纤维含量与 IMF 和 a^* 呈正相关. 在猪上的研究发现, 含有较多 IIB 型纤维的肌肉在宰后容易变成 PSE 肉和 RSE(red, soft, exudative)肉(红色、松软、有渗出物).

2.1.4 基 因

(1) 氟烷基基因

氟烷基基因是常染色体上的一个隐性应激基因, 故又称为猪应激综合症基因. 携带隐性纯合子氟烷基基因的猪容易产生应激综合症(PSS), 以恶性高热症为其典型特征. Knudson 等^[27] 研究证明, 氟烷基基因使位于第 6 号染色体上的钙释放通道基因(CRC)或兰尼定受体基因(RYR1)cDNA 上的第 1 843 个碱基由胞嘧啶突变成胸腺嘧啶, 造成第 615 个氨基酸由精氨酸置换成了半胱氨酸. 当猪受到应激时 Ca^{2+} 大量非正常释放, 引起肌肉持续收缩, 从而产生应激综合症, 研究发现应激综合症是产生 PSE 肉和 DFD 肉的直接原因. 值得注意的是, 氟烷基基因对肉质的影响具有双效型: 一方面, 隐性纯合子和杂合子(nn 型和 Nn 型)的氟烷基基因可以提高猪的胴体瘦肉率, 其中 Nn 型猪有良好的生长性能和胴体品质; Leach 等^[28] 研究发现, Nn 型猪的肉料比和屠宰率较理想. 另一方面, 氟烷基基因的产生是影响 WHC、肉色和嫩度的主要因素. 携带氟烷基基因的猪无论是纯合或杂合, 几乎所有的肉质特性都是最差的, 如高滴水损失、嫩度低、风味差甚至有异味^[29].

(2) PRKAG3 基因

对 PRKAG3 基因的研究是从酸肉基因(RN)开始的, Milan 等^[30] 采用比较定位法分离出了 RN 基因的主基因 PRKAG3, 并且发现 PRKAG3 基因第 200 个密码子由精氨酸突变为谷氨酰胺, 降低了一磷酸腺苷活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK)活性, 导致骨骼肌中糖原含量升高, 从而使猪肉最终 pH 值(pH_u)降低, 这是引起酸肉效应的根本原因. Hamilton 等^[31] 也报道, 汉普夏猪 PRKAG 基因的 200 G 等位基因(RN⁻)对糖原含量、生糖潜力以及相关肉质特性有显著影响.

(3) FoxO1 基因

叉头转录因子家族(Fox)由一类巨大并且多样的转录因子组成, FoxO 是 Fox 家族中最多元化的亚群, 对于哺乳动物来说, FoxO 有 4 个基因: FoxO1, FoxO3, FoxO4 和 FoxO6. 其中 FoxO1 有促进脂肪细

胞分化的功能,对脂肪细胞、肝细胞及胰岛 β 细胞中胰岛素作用的发挥起重要作用^[32]. 运用组织学分析方法发现,小鼠骨骼肌中 FoxO1 基因表达的升高可导致 I 型和 II 型肌纤维的大小下降,并且 I 型肌纤维数量下降显著,这说明 FoxO1 基因对骨骼肌数量和 I 型肌纤维基因表达都有负调节作用,从而导致骨骼肌功能的减退.

(4) 肌分化因子基因家族(Myod)

MyoD 由 4 个结构和功能相关的基因组成: MyoD1, MyoG, MYF5 和 MYF6. MyoD 基因可通过多种途径激活肌肉基因的转录,使许多种类型细胞(如成纤维细胞、脂肪细胞等)转化为成肌细胞,并促进成肌细胞的分化. 由于这些基因对机体生长和肌肉发育发挥重要作用,因此被认为是肉质特性的候选基因. 研究发现, MYOD1 和 MYF5 基因参与成肌细胞的增殖,并且直接影响快收缩氧化型纤维和快收缩低氧化型纤维的比例,从而影响肌肉的代谢性质^[33].

2.2 营养水平

在众多影响肉质的因素中,营养水平起着重要作用,饲料中能量、蛋白质、氨基酸以及脂肪酸的含量不仅影响胴体品质和生产性能,同时还是调控肉质的一个重要因素.

2.2.1 能 量

目前关于日粮能量水平对肉类品质影响的研究结果不一致,有些研究发现高能量水平日粮具有提高屠宰率、瘦肉率、眼肌面积的趋势,但也有一些研究表明,日粮能量浓度的升高,能够增加 IMF 含量、胴体脂肪沉积和背膘厚,从而降低 SF,提高肉品的嫩度^[34].

总的说来,日粮能量水平的高低主要对瘦肉率、SF 和脂肪沉积有显著影响,这其中的机制可能有以下 3 点: ①能量浓度对 PRKAG3 基因的表达有影响. 李梦云等^[35]研究发现,低营养水平可使 PRKAG3 基因的表达量增加,而 PRKAG3 编码 AMPK γ 3 亚基,因而 AMPK 的活性增加. AMPK 是调控脂类代谢的重要物质,活化的 AMPK 通过抑制脂肪生成中重要酶乙酰 CoA 羧化酶(ACC)的活性来阻止脂肪生成,进而提高胴体瘦肉率. ②日粮能量水平的升高可能提高了 PPAR γ 基因在脂肪组织中的表达,PPAR γ 是配体激活转录因子,可促进脂肪形成,从而调节机体的脂肪沉积. 但也有研究表明,饲喂仓鼠高脂肪高蔗糖饲料后体脂肪增加,但 PPAR γ 的表达没有变化^[36]. ③日粮高能量水平可以提高心脏型脂肪酸结合蛋白(H-FABP)基因在组织中的表达, H-FABP 基因的主要功能是转运脂肪酸,促进细胞摄取脂肪酸,故其表达量的升高,有利于肌内脂肪的合成.

日粮能量水平的高低对 pH_{45 min}、pH_{24 h}、肉色、还原糖含量、滴水损失没有显著影响,但对烹饪损失和 SF 有明显作用. 其原因是能量浓度升高改变了肌纤维状态、结缔组织的组成和含量以及肌肉中蛋白酶的结 构,提高了肉质的嫩度,同时 IMF 含量的升高也是 SF 下降的主要原因.

2.2.2 蛋 白 质

畜禽日粮的营养水平主要影响脂肪含量和成分,在日粮蛋白质和赖氨酸含量不足的情况下,会导致肌肉脂肪水平的升高. Lebre^[37] 研究报道,若生长猪和育肥猪的日粮中能量足够但缺乏蛋白质或赖氨酸,宰后肉样的 IMF 含量升高且鲜嫩多汁. Wood 等^[38] 研究也发现饲喂低蛋白日粮的猪,特别是大白猪肉质较嫩,更多汁,但风味有所下降.

低蛋白日粮对脂质代谢的调控作用主要是增加 IMF 含量,对皮下脂肪组织含量的增加作用甚微. 而对于某些肉质特性,如 pH_u 值、肉色和滴水损失通常不受蛋白能量比的影响^[37]. 这其中的机制可能是低蛋白日粮通过提高 ACC 基因的表达量和脂肪酸合成酶(FAS)的活性,从而增加脂肪酸从头合成,促进脂肪在组织中的沉积^[39].

2.2.3 氨 基 酸

亮氨酸可通过调节骨骼肌细胞内与蛋白质合成相关的信号通路的活性,对机体蛋白质代谢进行调控,主要是促进骨骼肌蛋白质的合成. 其机制是亮氨酸通过调节哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)依赖信号通路活化哺乳动物雷帕霉素靶蛋白复合物 1(mTORC1), mTORC1 的活化促使其下游与起始有关的真核翻译起始因子 4E 结合蛋白 1(4E-BP1)和与翻译有关的核糖体蛋白 S6 激酶(P70S6K)两个效应物

磷酸化, 从而促进 mRNA 翻译的起始并且提高与编码蛋白质合成相关的 mRNA 的翻译^[40]. 同时, 亮氨酸也可以通过促进瘦素的释放调节机体内蛋白质的代谢. 毛湘冰等^[41] 研究结果表明, 饲喂添加 3% L-亮氨酸试验饲料的大鼠与添加 2.04% L-丙氨酸对照饲料的大鼠相比, 试验组大鼠的腓肠肌蛋白质合成显著高于对照组大鼠, 并且试验组大鼠血浆中瘦素浓度显著高于对照组. 桑丹等^[42] 给绵羊分别饲喂添加 0, 0.5, 1.0 和 1.5 g/d 的含有瘤胃保护性亮氨酸饲料, 结果表明瘤胃保护性亮氨酸对绵羊骨骼肌蛋白质合成率及合成量的影响显著.

色氨酸对机体蛋白质代谢的调控机制与亮氨酸类似, 不同的是其作用的内分泌激素为皮质醇、胰岛素以及类胰岛素生长因子(IGF-I)等. Koopmans 等^[43] 在断奶仔猪基础饲料中添加 L-Trp 5 g/kg, 结果表明唾液中皮质醇浓度有下降的趋势. 丁玉华等^[44] 研究发现, 饲喂断奶仔猪低水平色氨酸日粮后, 其 IGF-I 水平显著低于高水平色氨酸日粮组, 并且肝脏和背最长肌中 IGF-1 及肝脏中肝脏生长激素受体(GHR)的 mRNA 水平随着日粮色氨酸水平的提高而增加, 这说明色氨酸是通过调控肝脏与肝外 IGF-I 及肝脏 GHR mRNA 的表达从而影响机体内 IGF-I 的浓度. 目前, 有关色氨酸调节 mTOR 信号传导机制的研究较少. 魏宗友^[45] 研究发现, 饲料中添加 Trp 的鹅肉其色氨酰 tRNA 合成酶(TTS)、胸肌组织 mTOR、核糖体 S6 蛋白激酶 1(S6K1)、20S 蛋白酶体(20S)以及肌肉环状指基因(MuRF1)的 mRNA 表达水平显著提高. 这说明色氨酸可通过上调蛋白质合成相关基因 mRNA 的表达水平, 从而促进肌肉组织蛋白的沉积, 但具体的作用机制有待进一步的研究.

2.2.4 脂肪酸

在畜禽饲料中添加脂肪酸主要影响肉质的香味、保存限期以及硬度. Wood 等^[46] 认为, 在烹饪过程中富含脂肪酸的肉类, 其脂肪氧化产生的挥发性物质和美拉德反应的产物数量较普通肉类多, 而这些物质是香味和滋味的前体物. Janz 等^[47] 报道, 在畜禽饲料中添加油性树脂以及从中提取的芳香精油, 可以通过它们的抗菌和抗氧化功能提高猪肉、牛肉以及禽肉的贮藏时间. Botsoglou 等^[48] 也报道, 在饲料中添加牛至油可提高生肉、烹饪胸脯肉以及大腿肉的抗氧化活性. 含共轭亚油酸(CLA)的饲料可改善猪肉营养以及猪肉品质, 并且降低 IMF 的含量, 即背膘厚. 这是由于 CLA 抑制了皮下脂肪组织中一部分前脂肪细胞的增殖, 降低了脂肪细胞的大小, 但对机体结构无不利影响. 亚油酸(ALA)对肉质的作用主要在于抑制 AMPK 的活性, 而 AMPK 是能量代谢调节的关键因子, 对糖酵解有重要的调控作用, 最终导致肉质的 pH 值下降缓慢. 同时 ALA 也可以作用于下丘脑, 使下丘脑中 AMPK 的活性降低, 并且增加 AMPK 在骨骼肌中的活性, 从而通过降低采食量和增加能量消耗达到减重的目的, 提高瘦肉率或屠宰率.

2.3 饲养管理

2.3.1 饲养方式

吕进宏^[49] 研究了同种营养水平条件下, 不同饲养方式对北京油鸡的生长性能和肉质的影响, 结果表明散养组鸡肉中牛磺酸含量极显著高于笼养组; 影响肉类滋味的两种主要氨基酸: 天门冬氨酸和谷氨酸的含量, 散养组也显著高于笼养组. 韩剑众等^[50] 研究不同饲养方式对广西黄羽肉鸡肉质的影响时同样发现, 与笼养相比, 放养肉鸡的肌肉肌苷酸、硫胺素含量显著升高, 并且放养肉鸡的肌纤维直径和肌肉脂肪含量显著大于笼养肉鸡. 范景胜等^[51] 采用放牧、放牧+补饲、舍饲 3 种饲养方式饲喂肉羊, 发现舍饲条件下羊羔羊肉肉质优良, 胆固醇质量分数低, 且富含人体所必须的各种氨基酸和脂肪酸. 林立亚^[52] 研究 4 种饲养方式即全乳、全乳加精料、代乳以及精料对初生荷斯坦公犊生长情况和肉质的影响, 结果表明全乳组、全乳加精料组和代乳组肉色较精料组浅, 肉质更鲜嫩多汁.

2.3.2 宰前应激

应激是指动物受到体内、外非特异性的胁迫因子刺激时, 引起的生理性紧张状态的反应, 并由此而引起各种机能和代谢的改变^[53]. 宰前应激属于应激的一种, 包括宰前禁食、运动应激、电刺激、运输以及受惊吓等. Zimmerman 等^[54] 认为, 尽管应激可以改变动物血液中某些生理指标的量和浓度, 但是应激的持续或强度并不能改变动物宰后肉类的品质. Daly 等^[55] 研究表明, 宰前禁食对宰后胴体特征、肌糖原浓度、pH_u 值以及 pH 值下降速度没有影响. Perez 等^[56] 研究发现, 短时间运输(15 min)应激对动物造成的影响比

长时间运输(3 h)应激的影响大,并且 2 个处理组之间除 pH₂₄ 值差异显著外,其余肉质特征无差异。

3 小 结

肉质的优劣直接影响消费者对肉类的选择,从而影响养殖业的经济效益。怎样在分子层面上对肉质进行调控已经成为目前关注的热点,同时通过营养调控使肉质达到人们预期的要求也是动物营养学研究的重点。今后亟待解决的问题主要是统一肉质的评定标准,对于营养和环境因素在分子层面上影响肉质的机理研究需进一步深化,为今后在实际生产中改善肉质提供更多可能。

参考文献:

- [1] JUL M, ZEUTHEN P. Quality of Pig Meat for Fresh Consumption [M] //Progress in Food and Nutrition Science. Oxford: Pergamon Press, 1981.
- [2] WARRIS P D, BROWN S N. The Relationships Between Initial pH, Reflectance and Exudation in Pig Muscle [J]. Meat Science, 1987, 20(1): 65—74.
- [3] MOLETTE C, REMIGNON H, BABILE R. Modification of Glycolyzing Enzymes Lowers Meat Quality of Turkey [J]. Poultry Science, 2005, 84(1): 119—127.
- [4] WOELFEL R L, OWENS C M, HIRSCHLER E M, et al. The Characterization and Incidence of Pale, Soft and Exudative Broiler Meat in a Commercial Processing Plant [J]. Poultry Science, 2002, 81(4): 579—584.
- [5] BARBUT S. Estimating the Magnitude of the PSE Problem in Poultry [J]. Journal of Muscle Foods, 1998, 9(1): 35—49.
- [6] 陈代文, 张克英, 胡祖禹. 猪肉品质特征的形成原理 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(1): 1—7.
- [7] FLETCHER D L, QIAO M, SMITH D P, et al. The Effect of Broiler Breast Meat Color on pH, Moisture, Water-Holding Capacity, and Emulsification Capacity [J]. Poultry Science, 2001, 80(5): 676—680.
- [8] 贾 君. 优质牛肉组织结构及其仿生研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [9] 夏杨毅. 荣昌烤乳猪加工过程品质特性变化研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [10] RYU Y C, CHOI Y M, LEE S H, et al. Comparing the Histochemical Characteristics and Meat Quality Traits of Different Pig Breeds [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 363—369.
- [11] KANG Y K, CHOI Y M, LEE S H, et al. Effects of Myosin Heavy Chain Isoforms on Meat Quality, Fatty Acid Composition, and Sensory Evaluation in Berkshire Pigs [J]. Meat Science, 2011, 89(4): 384—389.
- [12] PARK B Y, KIM N K, LEE C S, et al. Effect of Fiber Type on Postmortem Proteolysis in Longissimus Muscle of Landrace and Korean Native Black Pigs [J]. Meat Science, 2007, 77(4): 482—491.
- [13] ZHANG Q S, XIAO G S. History, Current Situation and Developmental Measures for Rongchang Pigs [J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2004, 23(1), 24—25.
- [14] LEFAUCHEUR L, MILAN D, ECOLAN P, et al. Myosin Heavy Chain Composition of Different Skeletal Muscles in Large White and Meishan Pigs [J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(7): 1931—1941.
- [15] 吴信生, 王金玉, 林大光, 等. 四种肉兔及杂交兔屠宰性能和肉品质的研究 [J]. 中国养兔杂志, 2001, 6: 20—24.
- [16] LUKEFAHR S, HOHENBOKEN W D, CHEEKE P R, et al. Carcass and Meat Characteristics of Flemish Giant and New Zealand White Pure Breed and Terminal Cross Rabbits [J]. Journal of Animal Science, 1982, 54(6): 1169—1174.
- [17] 李石友, 徐 英, 李琦华, 等. 品种与日粮营养水平对鸡肉肌苷酸含量的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2007, 34(10): 133—135.
- [18] VIEIRA C, CERDENO A, SERRANO E, et al. Breed and Ageing Extent on Carcass and Meat Quality of Beef from Adult Steers (Oxen) [J]. Livestock Science, 2007, 107(1): 62—69.
- [19] 高福和. 不同育肥期对西门塔尔改良牛屠宰与肉质性状的影响 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [20] CASEY N H, SIMELA L. Goat Meat Quality [J]. Small Ruminant Research, 2005, 60(1): 153—166.
- [21] CAMPO M M, SIERRA I, MARIA G A, et al. Breed Effect on Carcase and Meat Quality of Suckling Lambs [J]. Meat Science, 1997, 46(4): 357—365.
- [22] 席其乐木格. 苏尼特羊宰后肌肉品质及其变化规律的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.

- [23] ASGHAR A, PEARSON A M. Influence of Ante-and Post-Mortem Treatments Upon Muscle Composition and Meat Quality [J]. *Advances in Food Research*, 1980, 26(8): 53—61.
- [24] KADIM I T, MAHGOUB O, AL-MARZOOQI W, et al. Effects of Age on Composition and Quality of Muscle Longissimus Thoracis of the Omani Arabian Camel (*Camelus Dromedaries*) [J]. *Meat Science*, 2006, 73(4): 619—625.
- [25] CHOI Y M, NAM K W, CHOE J H, et al. Growth, Carcass, Fiber Type, and Meat Quality Characteristics in Large White Pigs with Different Live Weights [J]. *Livestock Science*, 2013, 155(1): 123—129.
- [26] GIL M, OLIVER M A, GISPERT M, et al. The Relationship Between Pig Genetics, Myosin Heavy Chain I, Biochemical Traits and Quality of *M. Longissimus Thoracis* [J]. *Meat Science*, 2003, 65(3): 1063—1070.
- [27] KNUDSON C M, MICKELSON J R, LOUIS C F, et al. Distinct Immunopeptide Maps of the Sarcoplasmic Reticulum Ca^{2+} Release Channel in Malignant Hyperthermia [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1990, 265(5): 2421—2424.
- [28] LEACH L M, ELLIS M, SUTTON D S, et al. The Growth Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Halothane Carrier and Negative Pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74(5): 934—943.
- [29] OTTO G, ROEHE R, LOOFT H, et al. Associations of DNA Markers with Meat Quality Traits in Pigs with Emphasis on Drip Loss [J]. *Meat Science*, 2007, 75(2): 185—195.
- [30] MILAN D, JEON J T, LOOFT C, et al. A Mutation in PRKAG3 Associated with Excess Glycogen Content in Pig Skeletal Muscle [J]. *Science*, 2000, 288(5469): 1248—1251.
- [31] HAMILTON D N, ELLIS M, MILLER K D, et al. The Effect of the Halothane and Rendement Napole Genes on Carcass and Meat Quality Characteristics of Pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(11): 2862—2867.
- [32] FARMER S R. The Forkhead Transcription Factor Foxo1: a Possible Link Between Obesity and Insulin Resistance [J]. *Molecular Cell*, 2003, 11(1): 6—8.
- [33] KLOSOWSKA D, KURYL J, ELMINOWSKA-WENDA G, et al. A Relationship Between the PCR-RFLP Polymorphism in Porcine MYOG, MYOD1 and MYF5 Genes and Microstructural Characteristics of *m. Longissimus lumborum* in Pietrain x (Polish Large White x Polish Landrace) Crosses [J]. *Czech Journal of Animal Science*, 2004, 49(1): 99—107.
- [34] 宋杰. 日粮不同能量水平对绵羊羊肉品质及不同组织中 H-FABP 基因表达的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [35] 李梦云, 余冰, 陈代文, 等. 营养水平对 PRKAG3 基因表达量及对肉质影响的研究 [J]. *畜牧兽医学报*, 2008, 39(8): 1056—1061.
- [36] ARRATE L, CHURRUCA I, SIMON E, et al. Effects of High-Fat High-Sucrose Feeding, Energy Restriction, and Trans-10, Cis-20 Conjugated Linoleic Acid on Visfatin and Apelin in Hamsters [J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(6): 627—635.
- [37] LEBRET B. Effects of Feeding and Rearing Systems on Growth, Carcass Composition and Meat Quality in Pigs [J]. *Animal*, 2008, 2(10): 1548—1558.
- [38] WOOD J D, NUTE G R, RICHARDSON R I, et al. Effects of Breed, Diet and Muscle on Fat Deposition and Eating Quality in Pigs [J]. *Meat Science*, 2004, 67(4): 651—667.
- [39] DORAN O, MOULE S K, TEYE G A, et al. A Reduced Protein Diet Induces Stearoyl-CoA Desaturase Protein Expression in Pig Muscle But Not in Subcutaneous Adipose Tissue: Relationship with Intramuscular Lipid Formations [J]. *British Journal of Nutrition*, 2006, 95(3): 609—617.
- [40] 毛湘冰, 黄志清, 陈小玲, 等. 亮氨酸调节哺乳动物骨骼肌蛋白质合成的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 709—714.
- [41] 毛湘冰, 曾祥芳, 蔡传江, 等. 日粮中添加亮氨酸对生长大鼠血浆瘦素水平和骨骼肌蛋白质代谢的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2011, 47(15): 26—29.
- [42] 桑丹, 孙海洲, 赵存发, 等. 亮氨酸对绵羊机体蛋白质合成的影响 [J]. *动物营养学报*, 2010, 22(4): 951—955.
- [43] KOOPMANS S J, GUZIK A C, KOGUT J, et al. Effects of Supplemental L-Tryptophan on Serotonin, Cortisol, Intestinal Integrity, and Behavior in Weanling Piglets [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(4): 963—971.
- [44] 丁玉华, 李德发, 朴香淑, 等. 日粮色氨酸对仔猪类胰岛素生长因子-I 和生长激素受体基因表达的调控 [C]. 杭州: 中国畜牧兽医学学会 2003 年学术年会论文集, 2003: 251—252.
- [45] 魏宗友. 色氨酸对鹅组织蛋白质代谢调控机制的影响 [D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [46] RICHARDSON R I, NUTE G R, FISHER A V, et al. Effects of Fatty Acids on Meat Quality: a Review [J]. *Meat Sci-*

- ence, 2004, 66(1): 21—32.
- [47] JANZ J A M, MOREL P C H, WILKINSON B H P, et al. Preliminary Investigation of the Effects of Low-Level Dietary Inclusion of Fragrant Essential Oil and Oleoresins on Pig Performance and Pork Quality [J]. Meat Science, 2007, 75(2): 350—355.
- [48] BOTSOGLOU N A, CHRISTAKI E, FLETOURIS D J, et al. The Effect of Dietary Oregano Essential Oil on Lipid Oxidation in Raw and Cooked Chicken During Refrigerated Storage [J]. Meat Science, 2002, 62(2): 259—265.
- [49] 吕进宏. 不同饲养方式和营养水平对北京油鸡生长性能和肉质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [50] 韩剑众, 桑雨周, 周天琼. 饲养方式和饲喂水平对鸡肉肌苷酸含量及肉质的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2003, 9: 10—11.
- [51] 范景胜, 熊朝瑞, 俄木曲者, 等. 简阳大耳羊产肉性能及肉品质分析 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(7): 1—5.
- [52] 林立亚. 饲养方式对奶牛公犍生长、肉质及血液生化指标的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [53] 柴 进. 宰前应激对猪肉质的影响及其机制研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [54] ZIMERMAN M, DOMINGO E, GRIGIONI G, et al. The Effect of Pre-Slaughter Stressors on Physiological Indicators and Meat Quality Traits on Merino Lambs [J]. Small Ruminant Research, 2013, 111(S1—3): 6—9.
- [55] DALY B L, GARDNER G E, FERGUSON D M, et al. The Effect of Time Off Feed Prior to Slaughter on Muscle Glycogen Metabolism and Rate of pH Decline in Three Different Muscles of Stimulated and Non-Stimulated Sheep Carcasses [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2006, 57(11): 1229—1235.
- [56] PEREZ M P, PALACIO J, SANTOLARIA M P, et al. Effect of Transport Time on Welfare and Meat Quality in Pigs [J]. Meat Science, 2002, 61(4): 425—433.

The Influencing Factors for Meat Quality of Domestic Animals and Birds and Their Mechanism

SONG Dai-jun¹, WANG Zi-yuan¹, YANG You¹, YAO Yan-chu²

1. School of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Animal Nutrition Institute of Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 402460, China

Abstract: With the improvement of living standards, consumers' requirements for meat quality have gradually shifted from quantity to quality, so that evaluation of meat quality has attracted more and more attention. There are many factors influencing meat quality, which are mainly categorized into two aspects: heredity and environment, or gene and feeding management. This paper presents a review of the evaluation indexes, the influencing factors and nutritional regulation of meat quality, so as to provide reference for the future study on meat quality.

Key words: meat quality; evaluation index; nutrient; gene; feeding management

责任编辑 夏 娟

