

猪肉品质评定指标及影响因素的研究进展

袁艳枝^{1,2}, 邓文², 金瑶瑶^{1,2}, 李文嘉², 李绍钰^{2*}

(1. 河南农业大学 牧医工程学院, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院 畜牧兽医研究所, 郑州 450002)

中图分类号: S872; S828

文献标识码: A

文章编号: 1004-7034(2020)01-0031-06

摘要: 目前,我国猪肉消费需求进入“量稳质升”阶段,生产优质猪肉成为了畜牧业生产的新目标。文章综述了猪肉品质主要感官评定指标:肉色、pH值、嫩度、系水力、风味等的形成原因和机制,以及影响猪肉品质的遗传、营养、应激等因素,以期为更好地生产高品质猪肉提供理论支持。

关键词: 猪肉; 猪肉品质; 评定指标; 感官指标; 影响因素

猪肉几乎包含了人体所需的碳水化合物、蛋白质、脂肪、各种无机盐和维生素等重要营养素,是人们获取营养的重要来源^[1]。近年来,由于养殖者为提高经济效益,对猪的生长速度、瘦肉率、饲料转化率等的过度追求,导致猪肉出现肉色浅淡、味道淡薄、口感一般、风味缺乏等问题。现阶段,如何满足消费者对优质高端猪肉的需求成为畜牧工作者的工作重点。我国地方猪种猪肉具有肉质鲜嫩、色泽鲜艳、适口性好、持水力高、风味好等优点,近年来逐渐占领了高端猪肉市场,且非常受消费者喜爱。目前,利用地方猪种肉质优点通过遗传育种手段已使猪肉品质得到很大改善,但营养、环境和屠宰应激等因素对猪肉品质也有较大影响。因此,系统地了解猪肉品质主要评定指标的形成原因、作用机制及其影响因素,对生产优质风味猪肉有着重要意义。

1 猪肉品质感官评定指标的形成原因和机制

1.1 肉色

肉色主要由肌红蛋白和残留的少量血红蛋白决定的。肉中肌红蛋白含量及其3种色素形态(肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白)之间的相对比例发生变化导致呈现出的肉色不同。二价的肌红蛋白氧化生成三价的高铁肌红蛋白是造成肉色劣变的原因,肌红蛋白的氧化活性直接影响肉色稳定性。猪肉呈色机理见表1。李蒙等^[2]研究结果表明,肉色稳定性与肌浆蛋白整体磷酸化水平呈负相关。磷酸化会降低肌红蛋白二级结构的稳定性,加快肌红蛋白的自动氧化速率,进而加快高铁肌红蛋白的积累。有研究探究了90 ku热休克蛋白(HSP90)水平与肉色的关系,发现其对肉的亮度(L^*)和黄色(b^*)产生影响^[3]。影响线粒体结构和功能的因素也会影响肉色,它主要通过影响氧气消耗和还原高铁肌红蛋白来影响肉色及其稳定性^[4]。

表1 猪肉呈色机理

色素形态	形成方式	铁离子状态	猪肉颜色
肌红蛋白	高铁肌红蛋白还原/氧合肌红蛋白脱氧	Fe ²⁺	紫红色
氧合肌红蛋白	肌红蛋白氧合	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	鲜红色(较好)
高铁肌红蛋白	肌红蛋白或氧合肌红蛋白氧化	Fe ³⁺	暗红色

1.2 pH值

T. L. Scheffler等^[5]研究结果表明,宰后代谢水平与pH值下降程度影响猪肉品质特性的发展。猪

被屠宰后呼吸停止,机体不再供氧,但其肌肉组织仍然损耗ATP,有氧呼吸能力迅速减弱而无氧呼吸则相对增强,肌肉内糖酵解过程中产生的乳酸不断积累,致使肌肉pH值不断下降,直至达到“极限pH值”,进而对肉品质量如嫩度、系水力、色泽等产生影响。正常猪肉pH_{45 min}值范围一般为6.1~6.4,当pH_{45 min}值大于或小于正常临界值都会对猪肉品质有不利影响。研究结果表明,HSP90水平随猪肉的pH值而变化,两者呈正相关^[3]。在应激或宰后糖酵解过程中,利用的主要是糖原前体,糖酵解系统(如肌糖原、糖

收稿日期: 2019-03-06; 修回日期: 2019-04-08

基金项目: 河南省科学院 2018 年重大科技突破专项 (18ZP05001)

作者简介: 袁艳枝(1993—),女,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学,1316488622@qq.com.

* 通信作者: 李绍钰(1965—),男,研究员,博士,研究方向为动物营养与畜禽生产过程控制,lsy9617@aliyun.com.



酵解酶、糖酵解潜力、糖酵解速率)是影响宰后肉质变化的主要因素,它们的变化影响着pH值下降速度或极限pH值^[6]。A. D. Westphalen等^[7]研究结果表明,蛋白质变性和凝胶形成依赖于pH值,而猪肌原纤维蛋白的变性使得肌肉的框架结构发生改变,从而影响猪肉的剪切力、韧性等其他肉质指标。

1.3 嫩度

肉的嫩度是指肉是否容易被嚼碎及在被嚼碎时所需的咀嚼力度,以及肉入口后在咀嚼过程中人的感受。肉的嫩度取决于肌肉结构及相关蛋白质的变化程度。肌纤维是构成骨骼肌的基本单位,肌纤维的粗细、类型决定着肉的嫩度^[8]。肌内脂肪含量与嫩度呈正比,因为富集于肌束之间的肌内脂肪缓冲了肌束间的紧密度,进而对嫩度造成影响^[9]。钙蛋白酶系统在调节肌肉嫩度方面起着重要作用,且与宰后肌肉嫩化机制有关。钙蛋白酶活性与钙蛋白酶抑制蛋白含量的比值可反映肉的嫩度,在分子水平上调控钙蛋白酶表达量可改善猪肉肉质^[10]。肌肉中肌纤维的数量和粗细、肌内脂肪的含量、蛋白分解酶的形态及结缔组织的含量和组成等因素共同决定肉的嫩度。

1.4 系水力

肌肉组织保持水分的能力称为系水力。系水力对猪肉煮制前的外观、煮制过程中的汁液损失和咀嚼时的口感、多汁性等肉质特性都有一定影响,正常肌肉组织中水含量平均为75%左右。系水力高,肉表现为多汁、鲜嫩、表面干爽;系水力低,则肉表面水分渗出。优质肉多汁性比劣质肉更好,水分流失会带走肌肉中的血红素,进而对肉色造成影响^[11]。此外,水分损失的同时也会造成可溶性蛋白和可溶性风味物质的损失。肌肉系水力也是提高经济效益的一项重要指标,因为它可以增加肌肉的重量。A. D. Westphalen等^[12]研究结果表明,肌肉类型比pH值对系水力的影响程度更大。肌肉收缩、肌肉静电荷含量变化、肌细胞蛋白降解和遗传因素等都会影响肌肉系水力^[13]。肌肉收缩会使肌肉中贮存水分的空间减少,其压力可以将剩余水分挤出;蛋白质变性会改变肌肉蛋白质所带的净电荷量,进而影响对水分的束缚能力;氟烷基基因会导致糖原快速酵解使pH值迅速下降,造成水分的大量流失;酸肉基因可使肌糖原含量增加,使猪肉极限pH值低于正常水平,水分大量流失。

1.5 风味

猪肉风味是由挥发性和非挥发性化合物相互作用形成的。猪肉风味的综合印象主要由滋味和香味构成。滋味是由非挥发性呈味物质如游离氨基酸、核苷酸、小肽、无机盐、核糖等形成,这些物质被味蕾感受后,经神经传到大脑,从而呈现出酸、甜、苦、咸、鲜等味道^[14]。肌苷酸是决定肌肉鲜味特性的主要物质^[15],肽类和游离氨基酸在猪肉成熟过程中有增加

滋味的作用^[16]。肉香味是挥发性呈味物质的特征,它是由于热引发香味前体(水溶性化合物和脂溶性化合物)反应而产生的,其形成途径主要包括有美拉德反应、脂质降解和硫胺素降解。氨基酸和糖类可通过美拉德反应和Strecker降解使熟肉产生特定的味道和香味^[17]。目前已鉴定出的挥发性物质主要包括有特征性含硫化合物、杂环化合物、醛、酮、醇、酸、脂和碳氢化合物,但只有少数真正有助于整体香味的气味活性。

肌内脂肪含量会使猪肉整体风味发生明显变化,且肌内脂肪对猪肉风味的作用远大于皮下脂肪^[18]。脂肪酸和氨基酸是肉类风味的重要前体。赵小琪等^[19]发现脂肪酸合成关键基因的mRNA相对表达量存在品种差异,这种差异可能是肌内脂肪含量不同的主要原因之一。一般来说,地方猪肉中总游离氨基酸、谷氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、精氨酸和肌苷酸等鲜味物质的含量高于瘦肉型猪肉^[20]。黑猪肉中含有较高的单不饱和脂肪酸和较低的多不饱和脂肪酸,被认为风味较好且广受人们欢迎^[21]。

2 影响猪肉品质的因素

2.1 遗传因素

猪肉质量具有高度遗传性,遗传因素主要包括品种、基因、性别和年龄等。

2.1.1 品种 品种对猪肉品质有着决定性影响且不同的猪品种、品系及杂交品种对猪肉品质的影响差异显著。大量研究表明,地方品种猪的肉质远优于外来品种,主要表现为肌内脂肪含量更高、肌纤维直径更细、肉嫩且多汁,含有较高的单不饱和脂肪酸和鲜味氨基酸,肉的风味更好。杨杰等^[22]研究表明,莱芜猪的肉色、大理石纹、pH值、水分含量及滴水损失均优于杜长大三元杂交猪。顾庆南等^[23]通过对圩猪与杜长大三元杂交猪生长性能及肉品质的比较研究发现,圩猪肉肌内脂肪、肌苷酸、必需氨基酸以及饱和脂肪酸含量均显著高于杜长大三元杂交猪,而其肌肉滴水损失、硬度、肌纤维直径和多不饱和脂肪酸的含量则显著低于杜长大三元杂交猪。宋倩倩等^[24]研究表明,金华猪的单不饱和脂肪酸含量、pH值、系水力、肉色和大理石纹评分都显著高于大约克猪,嫩度和失水率都显著低于大约克猪,多不饱和脂肪酸含量极显著低于大约克猪,其肉质风味较好。

杂交可以改善猪肉品质。李新建等^[25]研究表明,豫南黑猪与苏太猪杂交后,剪切力及与猪肉风味有关的脂肪酸和氨基酸组成均有所改善;与巴克夏杂交后,必需脂肪酸亚麻酸含量显著升高。苑洪霞等^[26]研究表明,白洗猪与杜洛克杂交F1代的肉色、大理石纹仍保持在较好水平,不饱和脂肪酸、肌内脂肪含量均有所上调,但鲜味氨基酸总量、肌肉嫩度、保水能力等有所下降。利用我国地方品种猪的肉质优点、引进猪生长速度快的特点,通过杂交繁育所生

产的后代猪种与国外引进猪相比肉质得到很大改善,但杂交猪肉品质还达不到地方品种猪肉品质水平。因此,为提高杂交猪肉品质还应在其他影响肉质的因素方面多做研究,以此来改善肉质,使其与地方猪肉品质相媲美。

2.1.2 基因 氟烷敏感(Hal)基因、酸肉基因、一磷酸腺苷激活蛋白激酶 $\gamma 3$ 亚基(PRKAG3)基因是已被确认为影响肉质性状的主效基因^[27]。Hal基因又被称为猪应激综合征基因,该基因的隐性纯合子会使猪产生应激性,降低猪肉品质。应激猪的碱基替换使受体蛋白的结构和功能发生改变, Ca^{2+} 大量释放导致电解质代谢发生紊乱,引起肌肉持续收缩,激活并加速糖酵解过程,导致pH值快速下降,使水分大量流失,易产生白肌肉(PSE肉)。RN基因的不利等位基因RN⁻可使肌糖原含量增加,产生较多乳酸,使猪肉极限pH值低于正常水平。PRKAG3基因的多态性与酸肉发生有关,已确定是影响猪肉肉色、系水力、pH值等肉质性状的主效基因,且存在多个突变位点^[28]。

影响肉质性状的候选基因主要包括肌细胞生成素(MyoG)基因、脂肪酸结合蛋白(FABP)基因、肌决定因子(MyoD)基因家族、钙调蛋白激酶(CaMK)基因、钙激活中性蛋白酶(CaPN)基因、钙蛋白酶抑制蛋白(CAST)基因、过氧化氢酶体激活增殖受体(PPAR)基因以及与肌内脂肪有关的数量性状位点(QTL)基因等。肌纤维的数量和直径影响猪肉嫩度,MyoD基因家族是决定肌纤维数量的遗传基础;肌内脂肪含量影响着猪肉口感和风味,心脏脂肪酸结合蛋白(H-FABP)基因和脂肪组织脂肪酸结合蛋白(A-FABP)基因是影响肌内脂肪含量的候选基因。基因型及基因表达状况对猪肉品质的影响是目前肉质改良领域的研究热点,其不但能更好地了解影响肉质性状的分子机制,还有利于发现有利基因型并用于分子育种中。

2.1.3 性别和年龄 动物年龄影响肉色、香味、多汁性和整体适口性,对猪肉嫩度的影响尤为明显。年龄越小,肌纤维越细,结缔组织的成熟交联就越少,肉较嫩;随着年龄增加,结缔组织的成熟交联增加,肌纤维变粗致使嫩度下降。年龄与嫩度的关系,不仅反映了肌肉组织和结缔组织随年龄的变化,还反映了动物体积和肥度随年龄增加而增加。

性别对猪肉品质特性有明显影响,公猪比母猪或阉割猪的肉质粗糙。张远等^[29]研究表明,去势公猪脂肪含量高,剪切力、蒸煮损失、宰后pH_{24h}值相对高于母猪肉,嫩度较差。在三个含有不同比例的杜洛克血统组中,公猪肉的肉质性状劣于母猪,主要表现为公猪肉的嫩度显著低于母猪,肉色较深^[30]。公猪肉中沉积的较多雄烯酮和粪臭素产生的公猪膻味,导致公猪肉的异味评分相对高于母猪肉。雌性动物肉中通常含有更多的肌内脂肪^[16],而雄性动物肉中

通常含有更多的多不饱和脂肪酸^[31],它们都会影响猪肉风味相关化合物的生成,进而影响猪肉品质。谢宝财^[32]研究结果表明,去势公猪的背最长肌肉中, $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸含量、必需脂肪酸亚麻酸含量、必需氨基酸比例显著高于母猪,而鲜味氨基酸比例显著低于母猪。

2.2 营养因素

营养因素在肉质控制研究上起着举足轻重的作用。营养成分和水平直接影响肉品质的构成,如脂肪酸、氨基酸等。影响猪肉品质的营养因素包括:能量和蛋白质、氨基酸、脂肪、维生素和矿物质等。

2.2.1 能量和蛋白质 日粮蛋白质通过影响动物自身蛋白质的沉积进而影响猪肉品质。日粮中蛋白质供应量过高,会使肌内脂肪含量降低,进而影响猪肉风味和嫩度;低蛋白日粮能够提高猪肉的肌内脂肪含量,改善嫩度,但蛋白质降低过多会增加脂肪沉积,降低瘦肉率^[33]。日粮能量水平与肌内脂肪直接相关,高能量日粮有利于脂肪沉积、提高脂肪酶活性。日粮能量水平过高会造成蛋白质沉积受阻,导致未被利用的能量以脂肪的形式沉积于体内,降低瘦肉率;日粮能量水平过低会使猪的生产性能降低。陈德志等^[34]研究表明,日粮蛋白质水平极显著影响肌内脂肪含量、蒸煮损失和肌肉粗蛋白质含量,进而对猪肉嫩度、系水力等产生影响;日粮能量水平极显著影响肌肉粗蛋白质含量和蒸煮损失,显著影响肌肉总色素和肌纤维密度,进而对肉色、嫩度、系水力等肉质指标产生影响。张曦等^[35]研究表明,不同日粮组成和能量水平对乌金猪不同生长阶段肌肉系水力、大理石纹、剪切力等肉质指标均有明显影响,体重在30 kg、60 kg和100 kg时最优肉质适宜的日粮能量水平分别为13.10 MJ/kg、13.08 MJ/kg和13.11 MJ/kg。边连全等^[36]研究表明,杜长大三元杂交猪肌内脂肪含量与猪H-FABP基因表达量呈显著正相关,高能量水平日粮(13.85 MJ/kg)促进H-FABP基因的表达,且可以显著提高猪的肌内脂肪含量,进而改善肉质。

2.2.2 氨基酸 日粮中添加的氨基酸种类和水平会对猪肉品质产生影响。天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丝氨酸等鲜味氨基酸的含量直接影响猪肉风味。赖氨酸、苏氨酸、色氨酸、肌氨酸等会对肌肉组织的理化特性和肉质产生影响,进而改变猪肉品质^[37]。T. L. Whipple^[38]发现,在猪日粮中补充赖氨酸对猪的肌肉纤维类型无影响,但能使猪肉的某些肌纤维直径和肌肉体积增加,使背最长肌面积增加,也会使肌肉的多汁性和嫩度降低。李新建等^[39]考察在高纤维低蛋白日粮中添加不同水平赖氨酸对育肥期豫南黑猪生长性能、血清生化指标及肉质性状的影响,结果表明在日粮中添加0.9%赖氨酸时,猪肉的肉质、瘦肉率、肌肉蛋白含量均得到显著提高。



2.2.3 脂肪 日粮脂肪通过影响猪肉脂肪含量和脂肪酸形成来影响猪肉品质。猪肉的脂肪酸组成在很大程度上受饲料脂肪酸种类的影响。不饱和脂肪酸是肉香味的重要前体物质,饲喂不饱和脂肪酸可增加胴体不饱和脂肪酸的含量。N. D. Cameron 等^[40] 研究结果表明,猪肉的多汁性、嫩度、风味品质与单不饱和脂肪酸呈正相关,与多不饱和脂肪酸呈负相关,这是受多不饱和脂肪酸更脆弱的氧化能力的影响。日粮中适宜的脂肪水平可以使猪的体脂变软,进而改善猪肉嫩度。日粮中不饱和脂肪酸的添加比例过高会对猪肉品质产生不利影响,主要是因为随着多不饱和脂肪酸含量的升高,猪胴体脂肪变软、脂肪氧化酸败程度增加,产生异味,使猪肉品质下降。调控日粮脂肪酸组成,可适当提高不饱和脂肪酸含量和控制猪肉肥度。

2.2.4 维生素 脂质氧化会使肉质(系水力、质地、香味、肉色)变差,脂质氧化速度和程度取决于动物机体的抗氧化能力。维生素 E、维生素 C 都具有抗氧化功能,能抑制脂类氧化。维生素 E 还能有效抑制鲜猪肉中高铁血红蛋白的形成,增强氧合血红蛋白的稳定性,进而改善肉色。蒋德旗等^[41] 研究结果表明,饲料中添加维生素 E 能提高猪肉宰后 pH_{24h} 值和系水力、增强嫩度、显著改善肉色,提高猪肉品质。维生素 C 也可缓解猪宰前应激,减少 PSE 肉。日粮中添加维生素 D₃ 对猪肉嫩度没有影响,但可改善肉色、提高肌肉系水力。饲料中添加 B 族维生素有助于提高瘦肉型猪的蛋白质沉积率和饲料转化率。

2.2.5 矿物质 矿物质改善猪肉品质的效果与矿物质的种类、添加时间、添加剂量等均有很大的关系。目前对肉质产生影响的矿物质种类主要有铁、硒、铬、钙、铜等。铁是血红蛋白和肌红蛋白的必要组成成分,主要在改善猪肉肉色方面起作用;硒是谷胱甘肽过氧化物酶的重要组成成分,可通过提高猪肉抗氧化能力来降低猪肉的滴水损失;铬参与糖类、脂肪、蛋白质的代谢,能提高猪肉的嫩度,还可以提高机体的抗应激能力,宰前在猪的日粮中适量补充铬可降低糖原的消耗,减轻应激的刺激,降低 pH 值下降程度,防止 PSE 肉的产生^[42];钙是肌肉收缩和肌原纤维降解酶的激活剂,对猪肉嫩度有很大影响;铜主要影响猪肉的不饱和脂肪酸含量,可改善肉色和风味。

2.3 应激因素

宰前应激对猪肉品质有着重要影响。屠宰前所处的环境恶劣、屠宰刺激、运输刺激等都会对猪只造成应激,使肉质劣化,容易在屠宰以后出现 PSE 肉或黑干肉(DFD 肉)。

机体发生应激反应时,分解代谢增强,耗氧、产热量比平时多,体温升高,糖酵解过程产生大量乳酸,使肌肉 pH 值在宰后迅速下降,肌肉组织持水力下降,这样就形成了 PSE 肉。而饥饿和长时间低强度的应激原刺激又可导致 DFD 肉的产生。应激持续时间

长,将会使肌糖原枯竭,无乳酸生成,猪肉的 pH 值始终维持在 6 以上,鲜红色的氧合肌红蛋白变成了紫红色肌红蛋白,肉呈暗红色。冯跃进等^[43] 研究结果表明,热应激会降低肉色、pH 值、系水力,增加猪肉剪切力、降低嫩度,还会使猪肉产生异味,降低猪肉的食用价值。R. Martinez-Rodriguez 等^[44] 研究结果表明,夏季运输的生猪宰后 PSE 肉发生率(6.5%)远大于冬季(3.4%)。田寒友等^[45] 研究结果表明,运输 6 h 以上的三元猪与 3 h 相比,宰后 pH_{45min} 值显著降低,肉品质下降。携带有应激敏感基因的猪只更易受宰前应激原的刺激从而导致肉质变劣。HSP70 mRNA 可作为应激反应的分子生物标志,其转录水平有望成为猪运输应激的判定指标之一^[46]。

2.4 其他

大量研究结果表明,减小宰前应激、改善动物福利对改善猪肉品质有着重大意义。延长待宰时间能使猪只对外界环境刺激产生的应激得到缓解,待宰时间对猪肉品质有着很大影响。J. F. Young 等^[47] 研究结果表明,生猪经 1 h 待宰,猪肉的保水性得到很大改善,能显著提高肉品质量。屠宰方式和屠宰季节也会对猪肉品质产生影响。CO₂ 窒息法可以减少猪的应激,降低 PSE 肉的产生,减少肌肉出现淤血和血斑现象,提高宰后肉品质^[48]。吴小伟等^[49] 研究结果表明,春、秋季宰杀的猪肉色泽、保水性及嫩度较好,且三门峡黑猪的抗应激能力优于杜长大三元杂交猪,PSE 肉的发生率较低。环境条件、屠宰方式、屠宰季节、待宰时间、运输时间等宰前应激均会影响猪肉品质,使得 PSE 肉的发生概率显著提高,生产中应对这些方面加以调控,尽量减少应激并选择抗应激能力强的猪品种。

3 小结

为了生产高质量的肉品,必须要了解导致猪肉品质变化的因素,而明确猪肉品质的形成机制和影响因素是调控和改良肉品质的基础。因此,可通过以下措施改善猪肉品质。1) 利用地方品种猪肉质优点,充分发挥杂交优势,同时筛选优势等位基因开展分子选育,对基因进行定向改造或剔除不利基因或将地方品种猪的肉质优良基因导入到商品猪中。目前,对猪肉风味相关基因的研究还不够充分,需要进行更加深入的探索。2) 通过营养调控手段直接有效地改善猪肉组成成分,如提高猪肉单不饱和脂肪酸含量、增加风味物质前体和抗氧化物质,改善猪肉肉质和风味。3) 减少动物应激,注重动物福利,避免劣质肉的产生。单一手段调控猪肉品质的效果可能有限,研究者应将遗传、营养、抗应激等手段联合应用来改善猪肉品质。

参考文献:

- [1] 程志斌,葛长荣,李德发.浅谈猪肉的营养价值[J].肉类工业,2005(5):34-40.
- [2] 李蒙,李铮,李欣,等.磷酸化水平对肌红蛋白稳定性的影响[J].



- 中国农业科学 2017, 50(22):4382-4388.
- [3] ZHANG M H, WANG D Y, GENG Z M, et al. The level of heat shock protein 90 in pig longissimus dorsi muscle and its relationship with meat pH and quality[J]. Food Chem, 2014, 165: 337-341.
- [4] 吴爽, 罗欣, 毛衍伟, 等. 线粒体对肉色及其稳定性影响的研究进展[J]. 食品科学 2018(15):247-253.
- [5] SCHEFFLER T L, KASTEN S C, ENGLAND E M, et al. Contribution of the phosphagen system to postmortem muscle metabolism in AMP-activated protein gamma 3 R200Q pig Longissimus muscle[J]. Meat Sci, 2014, 96(2):876-883.
- [6] 程天赋, 俞龙浩. 宰后糖酵解对肉质影响的研究进展[J]. 食品研究与开发 2017, 38(15):219-224.
- [7] WESTPHALEN A D, BRIGGS J L, LONERGAN S M. Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation[J]. Meat Sci 2005, 70(2):293-299.
- [8] 任列娇, 赵素梅, 胡洪, 等. 肌纤维类型及其对猪肉品质影响的研究进展[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2010, 25(1):124-131.
- [9] WARNER R D, GREENWOOD P L, PETHICK D W, et al. Genetic and environmental effects on meat quality[J]. Meat Sci, 2010, 86(1):171-183.
- [10] 张瑜, 王昕陟. 钙蛋白酶系统对猪肉嫩度影响的研究进展[J]. 中国畜牧兽医 2013, 40(10):161-164.
- [11] LUCIANO G, MONAHAN F J, VASTA V, et al. Dietary tannins improve lamb meat colour stability[J]. Meat Sci, 2009, 81(7):120-125.
- [12] WESTPHALEN A D, BRIGGS J L, LONERGAN S M. Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation[J]. Meat Sci, 2006, 72(4):697-703.
- [13] 张玉伟, 罗海玲, 贾慧娜, 等. 肌肉系水力的影响因素及其可能机制[J]. 动物营养学报 2012, 24(8):1389-1396.
- [14] 顾媛. 荣昌猪肉理化特性及膻味物质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [15] 吕东坡, 朱仁俊. 肌苷酸的研究现状及展望[J]. 肉类研究, 2007(11):12-15.
- [16] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review[J]. Meat Sci, 2015, 110: 278-284.
- [17] LEE C W, LEE J R, KIM M K, et al. Quality improvement of pork loin by dry aging[J]. Korean J Food Sci Anim Resour, 2016, 36(3):369-376.
- [18] 黄业传, 贺稚非, 李洪军, 等. 皮下脂肪和肌内脂肪对猪肉风味的作用[J]. 中国农业科学 2011, 44(10):2118-2130.
- [19] 赵小琪, 谢宇潇, 潘洪彬, 等. 不同品种猪肌内脂肪合成代谢相关基因表达水平的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医 2018(19):6-10.
- [20] 杨俊杰. 三种中国地方猪肉与瘦肉型猪肉的风味品质比较和鉴别研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [21] ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. Food Chem 2017, 226: 51-60.
- [22] 杨杰, 周季生, 刘先先, 等. 莱芜猪与杜长大三元杂交猪肉品质性状种质资源比较研究[J]. 畜牧兽医学报, 2014, 25(11):1752-1759.
- [23] 顾庆南, 司熊元, 张莉, 等. 圩猪与杜长大三元杂交猪生长性能与肉品质的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(6):9-15.
- [24] 宋倩倩, 张金枝, 刘健, 等. 不同品种猪肉品质性状和脂肪酸含量的研究[J]. 家畜生态学报 2018, 39(2):24-28.
- [25] 李新建, 乔瑞敏, 李孝法, 等. 豫南黑猪及其杂交后代肉质性状及营养成分特性研究[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(3):20-26.
- [26] 苑洪霞, 王鑫, 孙振梅, 等. 白洗猪与杜洛克猪杂交 F1 代猪肉品质特性研究[J]. 中国畜牧兽医 2017, 44(3):761-766.
- [27] 宋志芳, 解幼志, 荆荷岩, 等. 影响猪肉品质性状相关基因的研究进展[J]. 中国猪业 2017, 12(7):48-50.
- [28] 杨海霞, 张燕, 李剑虹. 一磷酸腺苷激活蛋白激酶影响肉质性状的研究进展[J]. 养殖技术顾问, 2010(7):122-124.
- [29] 张远, 赵改名, 黄现青, 等. 性别对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学 2014, 35(7):48-52.
- [30] CHANNON H A, KERR M G, WALKER P J. Effect of Duroc content sex and ageing period on meat and eating quality attributes of pork loin[J]. Meat Sci 2004, 66(4):881-888.
- [31] NEETHLING J, HOFFMAN L C, MULLER M. Factors influencing the flavour of game meat: a review[J]. Meat Sci, 2016, 113:139-153.
- [32] 谢宝财. 性别对关中黑猪生长性能、胴体性状及肉品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [33] 宋志芳, 芦春莲, 曹洪战. 日粮蛋白质水平对猪肉品质影响的研究进展[J]. 饲料博览 2016(7):18-19, 26.
- [34] 陈德志, 余冰, 陈代文. 日粮能量蛋白质水平对荣昌烤乳猪品系生长性能和肉质性状的影响[J]. 动物营养学报 2009, 21(5):634-639.
- [35] 张曦, 赵素梅, 葛长荣, 等. 日粮组成和能量水平对乌金猪肉品质的影响[J]. 动物营养学报 2008, 20(4):377-387.
- [36] 边连全, 许云贺, 苏玉虹, 等. 能量水平对猪 H-FABP 基因表达量及肉质的影响[J]. 食品科学 2010, 31(11):153-156.
- [37] 张娜娜, 曹洪战, 芦春莲. 氨基酸对猪肉品质影响的研究进展[J]. 现代畜牧兽医 2015(12):24-27.
- [38] WHIPPLE T L. The role of arthroscopy in the treatment of wrist injuries in the athlete[J]. Clin Sports Med, 1992, 11(1):227-238.
- [39] 李新建, 常纪亮, 韩雪蕾, 等. 日粮赖氨酸水平对豫南黑猪生长性能、血清生化指标及肉质性状的影响[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(2):150-156.
- [40] CAMERON N D, ENSERB M, NUTEB G R, et al. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat[J]. Meat Sci 2000, 55(2):187-195.
- [41] 蒋德旗, 卢恩科, 农石蓉. 维生素 E 添加对猪肉品质影响的分析[J]. 饲料研究 2014(23):28-33.
- [42] 王丽娟, 梅生堂. 饲料营养对猪肉品质的影响[J]. 中国饲料, 2002(2):27-29.
- [43] 冯跃进, 顾宪红. 热应激对猪肉品质的影响及其机制的研究进展[J]. 中国畜牧兽医 2013, 40(2):96-99.
- [44] MARTINEZ-RODRIGUEZ R, ROLDAN-SANTIAGO P, FLORE-SPEINADO S, et al. Deterioration of pork quality due to the effects of acute ante mortem stress: an overview[J]. Asian J Anim Vet Advan, 2011, 6(12):1170-1184.
- [45] 田寒友, 邹昊, 刘飞, 等. 运输时间和温度对生猪应激和猪肉品质的影响[J]. 农业工程学报 2015, 31(16):284-288.
- [46] 欧秀琼. 宰前应激对猪肉品质的影响及其遗传生理机制[J]. 上海农业学报 2018, 34(6):69-73.
- [47] YOUNG J F, BERTRAM H C, OKSBJERG N. Rest before slaughter ameliorates pre-slaughter stress-induced increased drip loss but not stress-induced increase in the toughness of pork[J]. Meat Sci, 2009, 83(4):634-641.
- [48] HAMBRECHT E. Effect of processing plant on pork quality[J]. Meat Sci 2003, 64(2):125-131.
- [49] 吴小伟, 李侠, 张春晖, 等. 屠宰季节对不同品种生猪宰前应激及宰后肉品质的影响[J]. 肉类研究 2017(9):51-57.

(下转第40页)



- liferation and enhancement of IFN- γ , IL-6 and IL-10 expressions in chicken [J]. *Vaccine*, 2017, 35(5) : 767.
- [16] YU Y, MA X, GONG R, et al. Recent advances in CD8⁺ regulatory T cell research [J]. *Onco Lett*, 2018, 15(6) : 8187-8194.
- [17] BERNDT A, PIEPER J, METHNER U. Circulating gamma delta T cells in response to *Salmonella enterica* serovar Enteritidis exposure in chickens [J]. *Infect Immun*, 2006, 74(7) : 3967.
- [18] JAWALE C V, LEE J H. Characterization of adaptive immune responses induced by a new genetically inactivated *Salmonella* Enteritidis vaccine [J]. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 2014, 37(3) : 159-167.
- [19] PENHA FILHO R A C, DIAZ S J A, MEDINA T D S, et al. Evaluation of protective immune response against fowl typhoid in chickens vaccinated with the attenuated strain *Salmonella Gallinarum* Δ cobS Δ cbiA [J]. *Res Vet Sci*, 2016, 107: 220-227.
- [20] HAJAM I A, KIM J H, LEE J H. Incorporation of membrane-anchored flagellin into *Salmonella*, Gallinarum bacterial ghosts induces early immune responses and protection against fowl typhoid in young layer chickens [J]. *Vet Immunol Immunopathol*, 2018, 199: 61-69.
- [21] 韩文瑜, 雷连成. 高级动物免疫学 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [22] ATTANAVANICH K, KEARNEY J F. Marginal zone, but not follicular B cells, are potent activators of naive CD4 T cells [J]. *J Immunol*, 2004, 172(2) : 803-811.
- [23] BARR T A, BROWN S, MASTROENI P, et al. TLR and B cell receptor signals to B cells differentially program primary and memory Th1 responses to *Salmonella enterica* [J]. *J Immunol*, 2010, 185(5) : 2783-2789.
- [24] CIAVARRA R P, BURGESS D H. Antigen-presenting B cells: Efficient uptake and presentation by activated B cells for induction of cytotoxic T lymphocytes against vesicular stomatitis virus [J]. *Cell Immunol*, 1988, 114(1) : 27-40.
- [25] NANTON M R, WAY S S, SHLOMCHIK M J, et al. Cutting edge: B cells are essential for protective immunity against *Salmonella* independent of antibody secretion [J]. *J Immunol*, 2012, 189(12) : 5503-5507.
- [26] KOGUT M H, TELLEZ G, HARGIS B M, et al. The effect of 5-fluorouracil treatment of chicks: a cell depletion model for the study of avian polymorphonuclear leukocytes and natural host defenses [J]. *Poult Sci*, 1993, 72(10) : 1873-1880.
- [27] WIGLEY P, HULME S D, POWERS C, et al. Infection of the reproductive tract and eggs with *Salmonella enterica* serovar pullorum in the chicken is associated with suppression of cellular immunity at sexual maturity [J]. *Infect Immun*, 2005, 73(5) : 2986-2990.
- [28] DESMIDT M, DUCATELLE R, MAST J, et al. Role of the humoral immune system in *Salmonella enteritidis* phage type four infection in chickens. [J]. *Vet Immunol Immunopathol*, 1998, 63(4) : 355.
- [29] KOGUT M H, ROTHWELL L, KAISER P. Differential regulation of cytokine gene expression by avian heterophils during receptor-mediated phagocytosis of opsonized and nonopsonized *Salmonella enteritidis* [J]. *J Interferon Cytokine Res*, 2003, 23(6) : 319-327.

Advances in research of immune response to *Salmonella* in poultry

TANG Juan^{1 2 3 4}, KANG Xilong^{1 2 3 4}, HU Maozhi^{1 2 3 4}, JIAO Xinan^{1 2 3 4}, PAN Zhiming^{1 2 3 4*}

(1.Jiangsu Provincial Key Laboratory of Zoonosis, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2.Jiangsu Co-Innovation Center for Prevention and Control of Important Animal Infectious Diseases and Zoonoses, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 3.Key Laboratory of Prevention and Control of Biological Hazard Factors (Animal Origin) for Agrifood Safety and Quality in the Ministry of Agriculture and Rural Agriculture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 4.Joint Laboratory of International Cooperation in Agriculture and Agricultural Products Safety, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: *Salmonella* is an important zoonotic pathogen. Eating poultry products contaminated with *Salmonella* is an important cause of human infection with *Salmonella*. The consumption of poultry products contaminated with *Salmonella* is the main cause of human infection with *Salmonella*. Studying the immune response mechanism of poultry against *Salmonella* infection is important for controlling the spread of *Salmonella* in poultry and food chains. In the early stage of infection, the innate immune system is used to resist *Salmonella* infection in the body. However, its complete clearance in vivo depends on the adaptive immune response, in which CD₄⁺, CD₈⁺, $\gamma\delta$ T and B lymphocytes play an important role. This review summarizes the innate immunity and adaptive immunity of poultry against *Salmonella* infection, especially the role of T and B lymphocytes in order to provide new ideas for the prevention and control of salmonellosis in poultry.

Keywords: *Salmonella*; poultry; pathogenesis; innate immune response; adaptive immune response

(020)

(上接第 35 页)

Research progress on evaluation indices and influencing factors of pork quality

YUAN Yanzhi^{1 2}, DENG Wen², JIN Yaoyao^{1 2}, LI Wenjia², LI Shaoyu^{2*}

(1. Collage of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: At present, the consumption demand of pork in China has entered the stage of "stable quantity and rising quality", and the production of high-quality pork has become a new goal. This paper summarized the main sensory evaluation indices of pork quality: the causes and mechanisms of meat color, pH, tenderness, water-holding capacity, flavor, etc., as well as genetic, nutritional, stress and other factors affecting pork quality. Provide theoretical support for better breeding of high-quality pork.

Keywords: pork; park quality; evaluation index; sensory indicators; influencing factors

(020)