

# 宰前运输、休息、禁食和致晕方式对鲜肉品质影响的研究进展

王晓香<sup>1</sup>, 李兴艳<sup>1</sup>, 张 丹<sup>1</sup>, 张斌斌<sup>1</sup>, 尚永彪<sup>1,2,3,\*</sup>

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.农业部农产品贮藏保鲜质量安全评估实验室(重庆), 重庆 400716;  
3.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

**摘 要:** 屠宰前畜禽在经历装卸、运输与休息、入栏、禁食以及宰前致晕等过程中, 要面临许多应激原的刺激, 如饥饿、颠簸、拥挤等客观因素, 以及由此导致的惊恐、紧张等心理因素。宰前处理程序带来的应激大部分对肉质的形成是不利的, 但是运输前的禁食、供水以及宰前休息等可能对肉质有一定的改善作用。电击晕、CO<sub>2</sub>致晕, 二者都是机械化屠宰经常采用的工序, 国内对于CO<sub>2</sub>致晕的应用与研究均较少。本文综述了近年来国内外有关宰前运输、休息、禁食及致晕方式对鲜肉品质影响的最新研究成果, 旨在为优质肉的生产及相关科学研究提供参考。

**关键词:** 运输; 休息; 禁食; 致晕; 肉品质

Progress in Effect of Pre-slaughter Transportation, Lairage, Fasting and Stunning Methods on Meat Quality

WANG Xiao-xiang<sup>1</sup>, LI Xing-yan<sup>1</sup>, ZHANG Dan<sup>1</sup>, ZHANG Bin-bin<sup>1</sup>, SHANG Yong-biao<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** When livestock and poultry undergo loading and unloading, transportation and recovery, lairage, fasting and stunning procedures before slaughter, the animals will face many stressors, such as hunger, bumpy, crowded and other objective factors, as well as panic, stress and other psychological factors. Most of the stress factors come from the pre-slaughter process is detrimental to meat quality, but fasting before transportation and pre-slaughter resting may have some beneficial effects on meat quality. Both electrical stunning and CO<sub>2</sub> stunning are often used in mechanized slaughter process, but CO<sub>2</sub> stunning is less researched and applied in China. This paper summarizes the latest achievements in understanding the effects of pre-slaughter transportation, lairage, fasting and stunning ways on meat quality with the aim of providing a reference for producing high-quality meat and related research.

**Key words:** transportation; lairage; fasting; stunning; meat quality

中图分类号: TS251.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 15-0321-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201415063

肉品质是人们对食用肉类的感官特征、理化指标、营养价值、卫生安全性等多种质量性状的综合评价<sup>[1]</sup>。Anderson<sup>[2]</sup>认为, 肉品质从整体上应包括食用品质、营养品质、技术品质、卫生品质以及人类善待动物的人文品质等5种质量特性。通常讲的肉品质, 主要特指肉的食用品质、技术品质和卫生品质。

影响鲜肉品质的因素主要有养殖生产环节的诸多因素及宰前管理、屠宰操作过程等。劣质肉存在货架期短、口感差等问题, 使企业利润大打折扣, 因此如何从

根源上减少劣质肉的发生, 从源头着手提高肉品质, 已成为国内外肉类生产企业关注的焦点。对于致晕方式国内外均有研究, 但是评价指标尚未形成统一的标准, 赵慧等<sup>[3]</sup>选择血液和猪肉品质评价生猪应激反应, 研究了致晕方式对生猪应激及猪肉品质的影响。我国屠宰行业所用的致晕方式有器械击晕、电击晕和CO<sub>2</sub>致晕, 其中CO<sub>2</sub>致晕在我国的应用与研究较少。

鲜肉品质的优劣不仅直接影响肉类屠宰企业产品的销售量和销售价格, 还会影响到产品的贮藏和运输性

收稿日期: 2013-12-13

基金项目: 西南大学与石柱县政府县校合作项目 (40801113)

作者简介: 王晓香 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: wangxiaoxiang518@foxmail.com

\*通信作者: 尚永彪 (1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工。E-mail: shangyb64@sina.com

能、影响精深加工企业产品的品质及出品率等技术与经济效益指标。宰前处理是生产中改良肉品质的重要途径。本文主要从宰前运输、宰前禁食、宰前管理及致晕方式等多种因素的角度综述其对肉品质的影响,旨在为生产出安全、优质的肉产品提供理论依据。

## 1 宰前运输对肉品质的影响

畜禽在送往屠宰厂的过程中容易产生应激刺激反应,即在运输途中的禁食/限饲、环境(混群、密度、温度、湿度)变化、颠簸、心理压力等应激原的综合作用下,动物机体产生的本能的适应性和防御性反应。该条件下动物往往表现为呼吸急促、心跳加速、恐惧不安及体内营养消耗等,从而导致其体内水分流失、体重下降、糖原损失、肉的极限pH值过高,进而影响肉的品质(颜色、pH值、嫩度等)<sup>[4]</sup>。

文献[5]表明运输距离、运输时间、装载密度、装载方式等是影响运输应激强度的重要因素。Vosmerova等<sup>[6]</sup>研究了运输距离对肉鸡生化指标的影响,发现肉鸡血浆皮质醇在短距离(45 km)运输后显著升高,之后随运输距离的增加(180 km)降至运输前的水平,研究结果表明,在环境温度相同的情况下,因肉鸡在长时间的运输过程中产生了适应性,长距离运输产生的运输应激强度没有短距离运输强。Voslářová等<sup>[7]</sup>对捷克的肉鸡、蛋鸡、火鸡等家禽因运输引起的平均死亡率的统计表明:家禽的死亡率均随运输距离的延长而显著增加。Yu Jimian等<sup>[8]</sup>研究了不同运输时间(1、2、4 h)对二花脸猪背最长肌肉品质及热应激蛋白表达的影响,发现经运输后,猪血浆中肌酸激酶(creatine kinase, CK)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)的活性均升高,而热应激蛋白减少;2 h的运输引起猪背最长肌肉的pH值降低,滴水损失和亮度值显著增大,易产生PSE肉(肉色灰白、肉质松软、有渗出物),研究结果表明,从猪背最长肌肉品质的整体可接受角度看,1 h和4 h运输后的猪肉的品质优于2 h运输的猪。另外肉品质的劣变可能与CK和LDH活性增加导致热应激蛋白表达能力的下降有关。Lambertini等<sup>[9]</sup>研究了运输时间对兔肉胴体和肉用品质的影响,认为经长时间运输后兔子活体的质量显著下降,胴体的pH值也会降低,同时还会产生黑色、低酸肉。

Miranda-de la Lama等<sup>[10]</sup>研究了两种运输系统对羊肉品质的影响,结果发现直接运输会增加羔羊的紧张感,从而引起肉中皮质醇、乳酸、葡萄糖、宰后24 h pH值的增加及肉色变暗,嫩度下降;研究结果表明在该实验条件下,选用中途停留运输才能保证羊肉的胴体品质。Lambertini等<sup>[9]</sup>研究了装载密度对兔肉胴体和肉用品质的影响,发现装

载密度对pH值等因素影响不显著。Mazzone等<sup>[11]</sup>研究了有序装载和无序装载对兔肉品质的影响,发现这两种装载方法对胴体特征和肉的品质没有负面影响。Zimerman等<sup>[12]</sup>研究了应激反应对羔羊肉的某些生理参数变化的影响,发现宰前禁食24 h使得羊肉中尿素和皮质醇浓度增加,而步行30 min对这两种代谢产物浓度的变化没有影响,恐惧应激(狗叫5 min)会增加皮质醇浓度,研究认为在该实验条件下,即使这些应激会引起血液成分的改变,但应激强度/持续时间对羊肉的品质(pH值、颜色、持水能力和嫩度)没有影响。

宰前运输应激会影响动物的胴体质量,进而造成养殖者、运输商和屠宰场的经济损失,因此在运输前,为确保胴体的屠宰品质,缓解运输应激预防措施的实施是很重要的。Tang Renyong等<sup>[13]</sup>研究了补充天冬氨酸镁和短途运输对猪宰后肉用品质和钙蛋白酶1和钙蛋白酶抑制蛋白的影响,表明运输应激能够增加宰后肉的颜色和pH值,但会使肉的嫩度降低;添加天冬氨酸镁能够提高肉的剪切值、肌肉钙蛋白酶1的水平及加深肉的颜色,并且有改善运输应激引起肉嫩度降低的趋势,这可能是补充的镁促进了细胞DNA和蛋白质的合成,肌肉钙蛋白酶抑制蛋白的mRNA水平显著提高的结果。Wei等<sup>[14]</sup>研究发现猪在运输前21 d饲喂姜黄素(8 mg/kg),姜黄素通过调节血清皮质醇浓度、海马NO产生及脑源性神经营养因子的表达,缓解运输应激对猪产生的不良反应。

综上所述,运输在动物宰前是不可避免的,由此引起的应激反应是影响宰后胴体品质的重要因素。在实际生产中,如何选择合适的运输时间和运输方式对于改善肉品质尤为重要。在美国,根据法律规定,牛的运输时间不应该超过28 h<sup>[15]</sup>,但是据了解此规定并没有实施。

## 2 宰前休息对肉品质的影响

如前所述,在从养殖场到屠宰场这一段时间里,畜禽要经历驱赶、混群、上车、途中颠簸、下车等一系列过程,在此期间畜禽会产生大量的应激反应,这些应激对于动物的情绪以及新陈代谢都有很大的影响。过分疲劳及受热应激的畜禽在屠宰时易造成放血不净,而且宰后肉的品质(颜色、质构、保水性等)和保存性均不良<sup>[16]</sup>。

在待宰前给予畜禽充分的休息,并且在休息时保持安静,有利于恢复畜禽在前期的运输中引起的疲劳和紧张,恢复肌糖原储备,便于宰后肉的pH值降低以迅速达到僵直,抑制微生物的繁殖,延长肉的保质期<sup>[5]</sup>。休息期间的恢复速度可能受到几个因素的影响,如休息时间、牲畜栏条件、混群、食物和水的供给<sup>[17-19]</sup>。

Ferreira等<sup>[20]</sup>研究了休息时间对雄性牛胴体质量的影响,发现休息时间对牛胴体的L\*值没有显著影响,休息

前12 h内红色度( $a^*$ )值没有显著变化,12 h时 $a^*$ 值增加到最大,之后随休息时间的延长 $a^*$ 值逐渐下降。研究结果表明在该实验条件下,从肉品色泽的角度来看,雄性牛必须经过12 h的宰前休息,才能保证牛胴体的屠宰品质。Ekiz等<sup>[21]</sup>通过对羊肉的嫩度、 $L^*$ 值和持水能力的测定,认为土耳其羔羊运输75 min后静养12 h,其羊肉品质虽然不及未经运输的羊,但比直接屠宰或静养30 min后屠宰的羊肉的品质有极显著的提高。Young等<sup>[22]</sup>研究发现母猪在宰前跑步30 min,立即屠宰,使得宰后肌肉的温度升高,磷酸肌酸、ATP和糖原的含量减少,进而导致胴体pH值的提前下降和滴水损失的增加,研究结果得出运动后仅休息1 h足以使这些影响恢复正常。张岩等<sup>[23]</sup>研究认为肉鸡的体型较小,缓解应激的时间较短,静养的时间一般不超过2 h,否则易造成鸡体因长时间禁食而导致的体重下降、鸡体虚弱甚至死亡。van de Perre等<sup>[24]</sup>研究静养时间对比比利时猪PSE肉发生率的影响,发现夏天(4—9月)待宰2~4 h、冬天(当年11月一次年3月)待宰2 h以下可降低PSE肉的发生率。另外,畜禽紧张的休息状态或因禁食禁水造成的脱水能增加额外应激,这些应激可能会引起血液成分的变化,如肌酸激酶的血药浓度、乳酸脱氢酶、血糖、皮质醇和红细胞压积<sup>[25]</sup>。

综上所述,宰前让动物充分休息,并保持安静,能使畜禽生理机能得到恢复、消除应激反应。休息时间的长短可能受到许多因素的影响,例如休息前的运输条件、随之而来的禁食及应激敏感性等。在实际生产中,要综合考虑这些因素,确定恰当的休息时间。

### 3 宰前禁食对肉品质的影响

宰前禁食,是指畜禽宰前的一定时间内停止饲喂饲料,但通常需要充足供水。禁食包括被动和主动两种情况,即在装卸、运输过程中不可避免的断料断水及屠宰前畜禽休息期人为控制的禁食供水。宰前禁食切断了动物外源能量的供应,引起体内能量储备的消耗,这可降低动物肌肉中的糖原含量,提高宰后肌肉的极限pH值,从而提高持水性<sup>[5]</sup>。同时禁食降低了运输时排泄物及屠宰时破肠造成的胴体污染,有利于维护食品安全。另外,禁食期间供应的充足饮水,可以降低血液浓度,避免放血不良,提高放血合格率,从而提高肉的贮藏性。但也有研究者对宰前禁食达到的效果持有不同的观点,这是因为动物经过长时间运输(超过10 h或更长)后再禁食会导致屠宰率下降,进而影响养殖者的经济效益,但对肉的品质没有显著的影响<sup>[26]</sup>。

禁食效果的好坏往往和禁食时间的长短有很大关系。Wang Sidang等<sup>[27]</sup>研究了宰前禁食对鸡胸肉能量代谢

和嫩化酶活性的影响,发现禁食能够加速宰前和刚宰后肌肉中肌糖原、ATP和ADP的消耗,显著提高肌肉的极限pH值,延缓钙蛋白酶1和钙蛋白酶2的活性,加速溶酶体等酶类的释放,同时禁食24 h后胸肌的血浆皮质醇浓度和微观结构发生很大改变,研究结果表明,在该实验条件下,鸡宰前禁食时间少于12 h是可以接受的。也有研究表明,宰前禁食8 h能够提高鸡肉宰后早期的持水力和嫩度<sup>[28]</sup>。Sterten等<sup>[29-30]</sup>研究了宰前禁食时间对宰后野猪背最长肌的pH值和能量代谢的影响,发现宰前禁食能够控制肌糖原值,进而影响宰后糖原降解和pH值下降速度,野猪宰前禁食4 h,背最长肌糖原降解速度减缓,pH值下降缓慢,极限pH值较低,而禁食24 h,糖原降解迅速,宰后早期pH值下降快,极限pH值较高,研究结果表明,如果期望宰后猪背最长肌的极限pH值较高,建议宰前禁食24 h。Faucitano等<sup>[31]</sup>认为宰前禁食一定时间有助于减少屠宰时畜禽胃中残留的食物量,降低屠宰时由于突发的肠道破裂,食糜和粪便外溢对胴体造成污染的可能性。

动物宰前长时间禁食,会使宰前肌糖原含量过低,宰后乳酸产生量不足,导致最终pH值升高,使得肉品熟化需要的酶活性不足,无法分解肌肉蛋白质,从而产生DFD肉。Guàrdia等<sup>[32]</sup>研究表明,禁食时间低于18 h会增加猪PSE肉的发生率,而较长的禁食时间(>22 h)会使肌糖原耗尽而增加DFD肉的发生率。Martín-Pélaez等<sup>[33]</sup>研究结果表明,随着禁食时间(0~15 h)的延长,猪肠道中的肠杆菌数和粪便中的沙门氏菌有增加的趋势。断食待宰可以有效地缓解肉牛在运输过程中产生的紧张情绪与应激反应,但断食时间过长,因为饥饿会增加斗争<sup>[34]</sup>,会降低屠宰率<sup>[35]</sup>和减少肉牛体内肌糖的含量<sup>[36]</sup>。考虑到这些因素,有学者提倡在禁食期间饲喂/饮用糖(水),以保证胴体重,并克服饥饿和疲劳的负面影响。

综合上述,宰前禁食可以提高动物宰后胴体的安全程度及改善肉质,因此宰前适当禁食在卫生上和经济上是必要的。

### 4 致晕方式对肉品质的影响

致晕是指通过物理或化学的方法使动物无痛苦或在痛苦较低的状态下失去知觉(昏迷或死亡),并保证在屠宰流程的后续操作中不再苏醒的过程。如果家畜屠宰时不进行击晕,其神经就会受到恐怖、愤怒和痛苦等刺激,容易引起内脏的收缩,血液剧烈集流于肌肉内,致使放血不完全,降低肉的品质。致晕方式可分3类:器械击晕、电击晕(俗称“麻电”,电流经过畜体,麻痹中枢神经而晕倒)<sup>[37]</sup>、CO<sub>2</sub>致晕。CO<sub>2</sub>致晕的原理是CO<sub>2</sub>气体有麻醉和同时刺激呼吸的作用,畜体对CO<sub>2</sub>浓度增

高产生呼吸加速的反应。因致晕装置中CO<sub>2</sub>浓度可高达90%，CO<sub>2</sub>的吸入量不断增加并聚集在血液中，血液中高浓度的CO<sub>2</sub>影响到大脑的功能并产生酸中毒，从而使牲畜丧失知觉。

致晕虽然减轻了屠宰过程带给动物的疼痛感，但是该过程会促使动物癫痫反应的发生，即剧烈的甩头、蹬脚以及家禽拍打翅膀等反应。这些生理活动将造成胴体损伤，表现为骨折、断骨处的血斑、肌肉淤血等。另外，不恰当的致晕方式对肉色、持水力、嫩度等造成不良影响。这些缺陷严重影响宰后胴体分级、分割和肉制品加工。因此，为克服致晕对鲜肉造成的不利影响，选择合适的致晕方式和致晕参数显得尤为重要。

电压、电流强度、致晕时间、频率等电击晕参数对肉品质有显著影响，选择合适的参数可以减轻电击晕对胴体缺陷和降级的影响，提高放血率，进而改善肉品质。闵辉辉等<sup>[38]</sup>研究不同击昏电压对鸡肉食用品质的影响，发现随着电压的升高（60、80、90、100、120 V），鸡肉的pH值、保水性、嫩度并不是单纯的升高或降低，而是有一个拐点，研究结果表明，在该实验条件下，此拐点为100 V，且在该点处，鸡胸肉的pH值下降速度最慢，保水性最好，嫩度较差，但仍在消费者可接受的范围内。Ali等<sup>[39]</sup>研究认为低压交流电（0~23 V）或高压交流电（103~193 V）都将导致肉鸡放血率降低，胴体损伤严重，评级较低，而中等电压53~63 V具有最高的放血率和最少的胴体缺陷。Young等<sup>[40]</sup>研究电击晕时间对肉鸡食用品质的影响，发现在致晕有效的条件下减少致晕时间能增加胸肌的嫩度。有研究表明高频率（500、1 400、1 500 Hz）能显著减少肉鸡和火鸡胴体外部缺陷，同时提高放血率、降低肉鸡胸肌的剪切值（400、1 000 Hz与160 Hz相比）及腿肌的蒸煮损失（1 000 Hz与160、400 Hz相比）<sup>[41-42]</sup>。

CO<sub>2</sub>致晕使动物在安静状态下不知不觉的进入昏迷，因此肌糖原消耗少，极限pH值较低，肌肉处于松弛状态，避免了内出血，从而改善肉质。Bórnez等<sup>[43]</sup>对比了不同的CO<sub>2</sub>体积分数（80%和90%）和保持时间（60 s和90 s）对曼彻格羔羊肉嫩度和滴水损失的影响，发现80% CO<sub>2</sub>致晕的羊肉的持水能力最低，滴水损失较高，研究结果表明，从宰后羊肉的嫩度和滴水损失来看，在相同的保持时间下，采用高浓度CO<sub>2</sub>致晕，才能保证羔羊胴体的屠宰品质。有研究表明，猪肉pH 5.6~5.8之间，才能达到良好的加工品质，生产中，90% CO<sub>2</sub>致晕的猪pH值更接近这一范围<sup>[44]</sup>。

致晕方法不同对动物产生的应激程度也不同。赵慧等<sup>[3]</sup>研究致晕方式对生猪应激及猪肉品质的影响，发现CO<sub>2</sub>致晕（80%，120 s）使得生猪血液中乳酸、肌酸激酶、皮质醇和乳酸脱氢酶含量显著低于电击晕（80 V，

2.6 A，3 s），研究结果表明，采用CO<sub>2</sub>致晕的生猪应激反应较小，猪肉品质（剪切力和肉色）指标较好，汁液损失率和蒸煮损失率均较小，且保水性较高。对生猪的研究表明，与电击晕（50 Hz，2.0 A，4 s）相比，高浓度CO<sub>2</sub>致晕（90%，103 s）使猪躯体更加松弛，屠宰后肌肉pH值下降速度较慢，显著降低PSE肉的发生率，并且胴体出血点少，等级相对较高，同时降低了猪肉的滴水损失<sup>[45-46]</sup>。但Fernandez等<sup>[47]</sup>的研究结果表明，与电击晕（50 Hz，0.13 A，4 s）相比，CO<sub>2</sub>致晕（90%，120 s）会增加鹅翅膀骨骼的损伤率，使肉色更淡，并造成鹅的肥肝因瘀血剔除的比例增加。

总之，为找到最有效的电击晕参数，使得电击晕能在高效致晕的同时改善肉的品质，仍需要更多的数据支持。气体击晕虽能有效的减少动物胴体损伤，逐渐为人们所重视，但由于气体击晕费用较高，且在国内研究尚不成熟，目前在屠宰行业中未得到广泛应用。

## 5 结 语

宰前管理及致晕方式等宰前环节作为控制动物胴体品质的重要环节，已越来越受到生产者和科研工作者的关注。随着国外相关研究的不断深入，宰前运输、休息等环节的规范化研究成果正被我国生产企业所接受。总体来看，目前国内在畜禽宰前管理相关环节的操作和指标控制上缺乏相应规范，大多数企业、尤其是中小屠宰企业对宰前运输、宰前休息、宰前禁食及致晕方式等宰前环节还缺乏科学的了解、对其控制意义的认识还不足，大多数企业根据自身情况进行经验式生产，标准化程度低，并对动物福利认知较少。另外，国内对CO<sub>2</sub>致晕研究较少，对其应用没有正确的指导，加之企业对宰前电击现象没有给予足够的重视，胴体损伤仍然严重。因此在生产实践中制定出科学、规范、合理的宰前管理方法和工艺措施并将其广泛推广以及对CO<sub>2</sub>致晕参数的优化将会成为今后的研究重点。

## 参考文献：

- [1] HOFMANN K. What is quality? Definitions, measurement and evaluation of meat quality[J]. Meat Focus International, 1994, 3: 73-82.
- [2] ANDERSON H J. What is pork quality?[M]//WENK C, FERNANDEZ A, DUPUIS M. Quality of meat and fat in pigs as affected by genetics and nutrition. Zürich Switzerland: EAAP Publication, 2000, 100: 15-26.
- [3] 赵慧, 甄少波, 任发政, 等. 待宰时间和致晕方式对生猪应激及猪肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 272-277.
- [4] FAZIO E, FERLAZZO A. Evaluation of stress during transport[J]. Veterinary Research Communications, 2003, 27(1): 519-524.
- [5] 尹靖东. 动物肌肉生物学与肉品科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 379-394.
- [6] VOSMEROVA P, CHLOUPEK J, BEDANOVA I, et al. Changes in selected bio-chemical indices related to transport of broilers to slaughterhouse under different ambient temperatures[J]. Poultry

- Science, 2010, 89(12): 2719-2725.
- [7] VOŠLÁŘOVÁ E, JANÁČKOVÁ B, RUBEŠOVÁ L, et al. Mortality rates in poultry species and categories during transport for slaughter[J]. Acta Veterinaria Brno, 2007, 76(8): 101-108.
- [8] YU Jimian, TANG Shu, BAO Endong, et al. The effect of transportation on the expression of heat shock proteins and meat quality of *M. longissimus dorsi* in pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 474-478.
- [9] LAMBERTINI L, VIGNOLA G, BDIANI A, et al. The effect of journey time and stocking density during transport on carcass and meat quality in rabbits[J]. Meat Science, 2006, 72(4): 641-646.
- [10] MIRANDA-de la LAMA G C, SALAZAR-SOTELO M I, PÉREZ-LINARES C, et al. Effects of two transport systems on lamb welfare and meat quality[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 554-561.
- [11] MAZZONE G, VIGNOLA G, GIAMMARCO M, et al. Effects of loading methods on rabbit welfare and meat quality[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 33-39.
- [12] ZIMEMAN M, DOMINGO E, GRIGIONI G, et al. The effect of pre-slaughter stressors on physiological indicators and meat quality traits on Merino lambs[J]. Meat Science, 2013, 111 (1/3): 6-9.
- [13] TANG Renyong, YU Bing, ZHANG Keying, et al. Effects of supplemental magnesium aspartate and short-duration transportation on postmortem meat quality and gene expression of  $\mu$ -calpain and calpastatin of finishing pigs[J]. Elivestock Science, 2009, 121(1): 50-55.
- [14] WEI S, XU H, DONG Xia, et al. Curcumin attenuates the effects of transport stress on serum cortisol concentration, hippocampal NO production, and BDNF expression in the pig[J]. Domestic Animal Endocrinology, 2010, 39(4): 231-239.
- [15] SCHWARTZKOPF-GENSWEIN K S, FAUCITANO L, DADGAR S, et al. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: a review[J]. Meat Science, 2012, 92(3): 227-243.
- [16] 许洋, 黄明, 周光宏. 宰前管理对猪肉品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 348-351.
- [17] WEEKS C A. A review of welfare in cattle, sheep and pig lairage, with emphasis on stocking rates, ventilation and noise[J]. Animal Welfare, 2008, 17(3): 275-284.
- [18] MANTECA X. Physiology and disease[M]//APPLEBY M C, CUSSEN V A, GARCÉS L, et al. Long distance transport and welfare of farm animals. London: CABI Publishing, 2008: 69-76.
- [19] GODDARD P J. The management of sheep[M]//DWYER C. The welfare of sheep. London: Springer, 2008: 291-323.
- [20] FERREIRA G B, ANDRADE C L, COSTA F, et al. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses[J]. Meat Science, 2006, 74(3): 459-466.
- [21] EKIZ B, EKIZ E E, KOKAK O, et al. Effect of pre-slaughter management regarding transportation and time in lairage on certain stress parameters, carcass and meat quality characteristics in Kivircik lambs[J]. Meat Science, 2012, 90(4): 967-976.
- [22] 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 Science, 2009, 83(4): 634-641.
- [23] 张岩, 徐幸莲, 王鹏. 肉鸡宰前管理研究进展[J]. 中国家禽, 2012, 34(13): 48-51.
- [24] van de PERRE V, CEUSTERMANS A, LEYTEN J, et al. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham: effects of season and lairage time[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 391-397.
- [25] KNOWLES T G, WARRISS P D. Stress physiology of animals during transport[M]//GRANDIN T. Livestock handling and transport. London: CABI Publishing, 2007: 312-328.
- [26] BECKER B A, MAYES H F, HAHN G L, et al. Effect of fasting and transportation on various physiological parameters and meat quality of slaughter hogs[J]. Animal Science, 1989, 67(2): 334-341.
- [27] WANG Sidang, LI Chunbao, XU Xinglian, et al. Effect of fasting on energy metabolism and tenderizing enzymes in chicken breast muscle early postmortem[J]. Meat Science, 2013, 93(4): 865-872.
- [28] 贾小翠, 李春保, 徐幸莲, 等. 禁食时间对宰后早期鸡肉持水力和嫩度的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 1-6.
- [29] STERTEN H, FRØYSTEIN T, OKSBJERG N, et al. Effects of fasting prior to slaughter on technological and sensory properties of the loin muscle (*M. longissimus dorsi*) of pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 351-357.
- [30] STERTEN H, OKSBJERG N, FRØYSTEIN T, et al. Effects of fasting prior to slaughter on pH development and energy metabolism post-mortem in *M. longissimus dorsi* of pigs[J]. Meat Science, 2010, 84(1): 93-100.
- [31] FAUCITANO L, SAUCIER L, CORREA A, et al. Effect of feed texture, meal frequency and pre-slaughter fasting on carcass and meat quality, and urinary cortisol in pigs[J]. Meat Science, 2006, 74(4): 697-703.
- [32] GUÁRDIA M D, ESTANY J, BALASH S, et al. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs[J]. Meat Science, 2004, 67(3): 471-478.
- [33] MARTÍN-PÉLÁEZ A S, MARTÍN-ORUE S M, PEREZ J F, et al. Increasing feed withdrawal and lairage times prior to slaughter decreases the gastrointestinal tract weight but favors the growth of cecal enterobacteriaceae in pigs[J]. Livest Science, 2008, 119(1/3): 70-76.
- [34] MURRAY A, ROBERTSON W, NATTRESS F, et al. Effect of pre-slaughter overnight feed withdrawal on pig carcass and muscle quality[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2001, 81(1): 89-97.
- [35] WARRISS P D. Ante-mortem factors which influence carcass shrinkage and meat quality[C]//Proceedings of International Congress of Meat Science and Technology. Ottawa, Canada: Agriculture Canada, 1993, 39: 51-65.
- [36] SALMI B, TREFAN L, BUNGER L, et al. Bayesian meta-analysis of the effect of fasting, transport and lairage times on four attributes of pork meat quality[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 584-598.
- [37] 钟波, 石英辉, 杨太东, 等. 不同致晕方法对猪肉、肺脏品质的影响比较[J]. 国外畜牧学: 猪与禽, 2012, 32(6): 55-56.
- [38] 闵辉辉, 周光宏, 徐幸莲, 等. 不同电压击昏对鸡肉食用品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(10): 180-185.
- [39] ALI A S A, LAWSON M A, TAUSON A H, et al. Influence of electrical stunning voltages on bleed out and carcass quality in slaughtered broiler chicken[J]. Arch Geflugelkd, 2007, 71(1): 35-40.
- [40] YOUNG L L, BUHR R J. Effect of stunning duration on quality characteristics of early deboned chicken fillets[J]. Poultry Science, 1997, 76(7): 1052-1055.
- [41] WILKINS L J, WOTTON S B. Effect of frequently of the stunning current waveform on carcass and meat quality of turkeys processed in a commercial plant in the UK[J]. Poultry Science, 2002, 43(2): 1823-1830.
- [42] XU L, ZHANG H Y, YUE S G, et al. Effect of electrical stunning current and frequency on meat quality, plasma parameters, and glycolytic potential in broilers[J]. Poultry Science, 2011, 90(8): 1823-1830.
- [43] BÓRNEZ R, LINARES M B, VERGARA H. Systems stunning with CO<sub>2</sub> gas on Manchego light lambs: physiologic responses and stunning effectiveness[J]. Meat Science, 2009, 82(1): 133-138.
- [44] NOWAK B, MUEFFLING T V, HARTUNG J. Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: impact on animal welfare and meat quality[J]. Meat Science, 2007, 75(2): 290-298.
- [45] GREGORY N G. Recent concerns about stunning and slaughter: a review[J]. Meat Science, 2005, 70(3): 481-491.
- [46] HEATHER A, CHANNON, ANN M. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO<sub>2</sub>[J]. Meat Science, 2003, 65(4): 1325-1333.
- [47] FERNANDEZ X, LAHIRIGOYEN E, BOUILLIER-OUODOT Z, et al. The effects of stunning methods on product qualities in force-fed ducks and geese[J]. Animal, 2010, 4(1): 139-146.