

宰前、屠宰及加工过程对冷鲜猪肉保水性影响研究进展

李晓敏¹, 黎琪¹, 孙玉丽², 檀馨悦¹, 王晴¹, 张忠鑫², 张晓琳^{1,2,*}

(1.中粮营养健康研究院有限公司, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209;

2.中粮营养健康研究院有限公司, 北京市畜产品质量安全源头控制工程技术研究中心, 北京 102209)

摘要: 冷鲜猪肉的保水性作为影响产品品质的重要因素, 对企业经济效益具有重要意义。影响冷鲜猪肉保水性的因素很多, 本文主要从生猪饲料营养、宰前管理、屠宰和冷却工艺等环节进行分析, 综述国内外学者的研究成果, 从而为冷鲜猪肉保水性的增加、生产工艺优化、关键点有效控制及安全、优质猪肉产品的生产提供理论依据。

关键词: 冷鲜猪肉; 保水性; 饲料营养; 宰前管理; 屠宰工艺

A Review of Recent Progress in Understanding the Effects of Pre-Slaughter Handling, Slaughter and Processing on Water-Holding Capacity of Chilled Pork

LI Xiaomin¹, LI Qi¹, SUN Yuli², TAN Xinyue¹, WANG Qing¹, ZHANG Zhongxin², ZHANG Xiaolin^{1,2,*}

(1.Beijing Key Laboratory of Nutrition and Health and Food Safety, COFCO Nutrition and Health Research Institute Co. Ltd., Beijing 102209, China; 2.Beijing Engineering Research Center of Livestock Products Quality and Safety Source Control, COFCO Nutrition and Health Research Institute Co. Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: As an important factor affecting the product quality, the water-holding capacity of chilled pork is of great economic significance to the enterprises. There are many factors known to affect the water-holding capacity of chilled pork. This paper summarizes the factors in pig feed nutrition, pre-slaughter management, slaughter and post-slaughter chilling reported to affect the water-holding capacity of pork in order to provide a theoretical basis for improving the water-holding capacity of chilled pork, optimizing the pork production process, controlling the critical points and manufacturing quality pork products.

Keywords: chilled pork; water-holding capacity; feed nutrition; pre-slaughter management; slaughter process

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210305-055

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 04-0064-07

引文格式:

李晓敏, 黎琪, 孙玉丽, 等. 宰前、屠宰及加工过程对冷鲜猪肉保水性的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(4): 64-70.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210305-055. <http://www.rlyj.net.cn>

LI Xiaomin, LI Qi, SUN Yuli, et al. A review of recent progress in understanding the effects of pre-slaughter handling, slaughter and processing on water-holding capacity of chilled pork[J]. Meat Research, 2021, 35(4): 64-70. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210305-055. <http://www.rlyj.net.cn>

随着市场消费升级和消费者认知加深, 冷鲜肉因其高安全性、高营养价值、高感官品质和明确的保质期标识被更多人所接受, 销量也逐步扩大, 占肉类生产总量的30%以上^[1]。通常冷鲜肉的食用品质和卫生品质是决定消费者

是否购买的关键因素, 食用品质包括营养、色泽、香气、滋味、嫩度、多汁性和咀嚼性等, 易受生猪品种、肌间脂肪分布、pH值和保水性等诸多因素影响, 其中保水性不仅对食用品质影响较大, 更具有显著的经济意义^[2]。

收稿日期: 2021-03-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0500600)

第一作者简介: 李晓敏 (1987—) (ORCID: 0000-0002-9583-1776), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为食品微生物开发利用及肉制品研发。E-mail: lixiaomin1@cofco.com

*通信作者简介: 张晓琳 (1975—) (ORCID: 0000-0001-8916-9440), 女, 研究员, 博士, 研究方向为微生物发酵与副产物综合利用。E-mail: zhangxiaolin1@cofco.com



保水性又称保水力、系水力或持水力,是指当肌肉受到外力作用(如加压、切碎、磨绞、加热、冷冻、解冻、贮运或加工等)时,保持原有水分与添加水分的能力。保水性差表现为在外力作用下从肌肉蛋白质系统释放出的液体较多。保水性的传统测定方法包括压力法、离心法、毛细管法、滴水损失法、膨胀法、水浴法和腌制法等,滴水损失法是国际上猪肉保水性常用的测定方法^[3],目前已有基于传统方法开发标准化检测仪器的研究^[4]。据报道,冷鲜猪肉正常肌肉组织水分含量为70%~75%,保水性下降会导致其汁液损失率约为3%,PSE(pale, soft, exudative)肉(又称“白肌肉”或“水煮肉”)汁液损失率高达10%^[5]。冷鲜猪肉的保水性本质上与肌肉蛋白变性程度有关^[6],而蛋白变性程度与生猪宰后肌肉pH值和温度异常有关^[7],所以控制肌肉的pH值和温度在允许范围内可保持或提高冷鲜猪肉保水性。本文从生猪宰前(如饲养和运输)、屠宰及加工过程方面总结冷鲜猪肉保水性的影响因素,以期对工业生产安全、优质的冷鲜肉产品提供理论依据。

1 饲料营养对冷鲜肉保水性的影响

随着多元杂交瘦肉型猪的推广应用,养殖场为追求较高的饲料报酬,多采用封闭式饲养,饲喂高蛋白、高能量的全价饲料。虽然采用该方式有利于促进生猪的生长、提高瘦肉率 and 经济效益,但高瘦肉率和高屠宰率的猪对应激反应强烈,极易产生PSE肉,导致肌肉保水性下降^[8],影响猪肉品质。因此,通过饲料营养预防和应激因子控制来改善猪肉保水性成为研究者日益关注的重点。

1.1 饲料中蛋白质对冷鲜肉保水性的影响

低蛋白或高纤维日粮有助于提高肌肉的保水性。丁小玲等^[9]在母猪妊娠期饲喂低蛋白日粮可显著改善后代育肥期的肉品质,增加后代背最长肌宰后45 min pH值,降低滴水损失。邓蓉^[10]、田宗祥^[11]等分别采用野生金荞麦代替10%~14%的全价日粮和添加3%去籽辣椒粕饲喂生猪均可显著降低猪肉的滴水损失。Gatta等^[12]在育肥猪日粮中用豌豆代替20%大豆,猪肉保水性无显著变化,而尹佳等^[13]同样在育肥猪基础日粮中添加30%豌豆纤维,结果表明,宰后24 h猪背最长肌的pH值显著提高,滴水损失也相应降低,这可能与基础日粮中营养物质比例和纤维含量相关。但也有研究表明,日粮中异亮氨酸含量高时,肌肉持水性有增高的趋势^[14]。

1.2 饲料中维生素对冷鲜肉保水性的影响

VC和VE是非常高效的抗氧化剂,前者可有效减缓屠宰后肌肉pH值下降,抵抗活性氧自由基,保护生物膜免遭氧化物损伤,后者能降低多不饱和脂肪酸氧化程度,提高肌肉持水性,防止肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白,

降低糖酵解速率^[15]。Apple^[16]在日粮中添加100、200、400 mg/kg VE使猪肉滴水损失分别降低10.1%、30.5%和25.9%,日粮中维生素缺乏会降低猪肉的持水力,将日粮中的维生素添加量提高1.5~2.5倍能有效降低滴水损失。在日粮中添加600 IU/kg VE、68 IU/kg VC和500 IU/kg VA等复合营养元素也能减轻屠宰应激,防止产生PSE肉^[15,17]。因此,日粮中添加适量维生素能有效减轻屠宰前应激反应,降低滴水损失,提高肌肉保水性。

1.3 饲料中矿物质对冷鲜肉保水性的影响

镁是体内参与广泛代谢活动和酶作用途径的一种必需辅助因子,可以通过拮抗钙降低神经肌肉的兴奋性。有研究指出,镁可降低宰前应激反应,在长距离转运后明显增加猪的安静程度。Apple^[16]给猪补充1~2、3~4、5~7 d镁可以分别降低23.1%、13.7%和15.9%滴水损失。同样,饲料中补充延胡索酸镁或天冬氨酸镁可降低肌肉滴水损失,提高肉品质^[18]。

铬可以调节体内胰岛素分泌,减少肌糖原的分解,降低血糖浓度,从而缓解糖酵解,减少乳酸的产生,继而减少PSE肉的产生^[15]。生猪日粮中补充0.3 mg/kg吡啶羧酸铬、1.0%天冬氨酸酶及其组合均可显著降低背最长肌和股二头肌pH值和滴水损失,PSE肉产生率分别降低75.1%、49.8%和75.1%,且吡啶羧酸铬和天冬氨酸酶在改善肉质指标方面具有一定的加性效应^[19]。

硒主要通过影响谷胱甘肽过氧化物酶合成影响猪肉色泽和抗氧化性能,防止肌红蛋白和氧合肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白,还能清除过氧化自由基,保护细胞膜的正常功能,提高肌肉保水性^[15]。研究表明,在猪日粮中添加纳米硒、酵母硒或亚硒酸钠等不同来源的硒,均可显著降低肌肉的滴水损失,此外,0.4 mg/kg酵母硒、VE和亚硒酸钠组合也可降低肌纤维蛋白水解或氧化,提高肉的保水性^[20-21]。

1.4 饲料中其他物质对冷鲜肉保水性的影响

李蛟龙^[22]在育肥猪的日粮中分别添加0.8%一水肌酸和0.1%胍基乙酸,均可显著提高宰后45 min背最长肌pH值,降低滴水损失和蒸煮损失,Liu Yang等^[23]也得到类似结论。谢华^[24]指出,猪饲喂甜菜碱后,肉的初始pH值升高,滴水损失降低。James等^[25]研究发现,左旋肉碱与盐酸莱克多巴胺联合使用时能降低背最长肌的滴水损失。卢秀花等^[26]发现,在宰前60 min给生猪饮用碳酸水能使蒸煮损失最小。李林枫等^[27]在体质量60 kg育肥猪日粮中添加200 mg/kg乳化剂(主要成分为溶血卵磷脂和蔗糖酯),可使猪肌肉滴水损失显著降低。

饲料作为生猪生长所需营养的主要来源,各物质的种类和比例对生猪的生长和肉的品质具有重要影响。以上研究表明,通过调整营养素的种类和比例可以实现对猪肉保水性的改善,因此,在生产实践中,应该合理配

制日粮，正确使用饲料添加剂，从而生产出高品质的猪肉产品。

2 宰前管理对冷鲜肉保水性的影响

宰前管理包括生猪运输、宰前禁食、驱赶、装卸和静养等方面，在这过程中生猪经历禁食、高温、寒冷、拥挤、混群、颠簸、疲劳及惊吓等应激后，机体会产生一系列代谢异常反应^[28]，造成体质量下降、呼吸急促、体内营养物质消耗、水分流失和肉pH值变化，甚至产生PSE肉，影响猪肉品质，降低保水性能^[29]。因此，在实际生产中，选择合理的运输时间、运输方式、静养时间和禁食时间等，甚至企业在布局建设阶段需要提前安排好各个环节，对减少宰前管理的应激反应、改善宰后猪肉品质非常重要。

2.1 宰前运输对冷鲜肉保水性的影响

运输距离、运输时间、装载密度、装载方式和运输季节（温度）等是影响应激强度的重要因素，应激强度越大，猪肉保水性越差，品质降低越显著^[30]，这是因为运输过程加速生猪体内三磷酸腺苷（adenosinetriphosphate, ATP）的耗竭，导致机体处于低能量状态，进而导致AMP活化蛋白激酶（AMP-activated protein kinase, AMPK）激活，加快糖酵解，致使PSE肉发生率升高^[31]，影响肌肉保水性。田寒友等^[32]以三元猪为研究对象，结果表明，运输6 h以上通脊肉的pH值显著低于运输3 h，蒸煮损失和滴水损失更高，也更易产生PSE肉。谢华^[24]、Pérez^[33]等却发现，随着运输时间延长，生猪体质量损失逐渐增加，而保水性和肉品质却呈现相反的趋势，原因可能是生猪适应了长时间运输的环境，应激反应降低导致保水性有所恢复。此外，运输过程中除控制运输时间外，也需采取合适的装载密度和装载方式^[34]。有研究显示，在通风良好、密度为2.5头/m²、温度15℃以下的条件下运输，对猪肉品质影响较小^[35]。Matthews等^[36]研究表明，与常规操作相比，控制装载密度可将蒸煮损失减少2%，保持轻柔的装载方式可将滴水损失减少1.3%，蒸煮损失减少0.9%，总损失减少8.5%。Milligan等^[37]同样证明合理的装载密度和良好的装载方式能显著减轻生猪应激反应。

运输季节对于保水性的影响主要体现为温度，温度是与应激强度相关性最高的因素之一，猪是恒温动物，皮下脂肪较厚，汗腺不发达，当其受到冷热刺激时易导致机体代谢紊乱，应激反应增强^[38]。检索发现，高温刺激对猪肉影响相关研究较多，仅2 h的热应激就会对肌肉蛋白产生显著影响，损害肌肉结构、功能、生长和产品质量^[39]，同时，热刺激还会影响生猪的采食量^[40]和血液生化指标，主要表现为部分酶类、激素类、血糖和乳酸

含量升高，总蛋白含量降低，无机盐离子变化无规律。但也有研究表明，当猪受到高温刺激后血浆皮质醇含量呈现先升高后降低的趋势^[41-42]，这可能是由于应激时间和强度不同导致。此外，夏季高温下运输的生猪宰后PSE肉发生率（6.5%）约为冬季（3.4%）的2倍。徐新萍^[43]、Wang Renhuan^[44]等也得出类似的结论，因此热应激会使生猪宰后PSE肉的发生率升高，进而保水性降低。热应激影响猪肉品质的机理为：猪在热应激的条件下，ATP大量消耗，从而与钙、镁离子结合量减少，使肌肉组织系水力下降，肉表面渗出水分增多，肌肉丧失弹性，从而表现为僵直，肌肉中不饱和脂肪酸含量的增加使肌肉容易氧化变质而出现异味，因而影响其风味和适口性^[35]。高温环境对待宰生猪血液生化指标的影响如表1所示。

表1 高温环境对待宰生猪血液生化指标的影响
Table 1 Effects of high temperature environment on blood biochemical indexes in pigs to be slaughtered

指标	变化趋势	原理	参考文献
葡萄糖浓度	升高	肾上腺素含量升高，肝糖原分解	[45]
乳酸浓度	无显著变化		[43,45]
总蛋白含量	降低	机体免疫抑制，皮质醇分泌增多，加强蛋白质分解	[46]
白蛋白含量	降低		
球蛋白含量	降低		
尿素氮含量	无显著变化		[46-47]
肌酐含量	升高	导致肾脏损伤	[43]
天冬氨酸氨基转移酶活性	升高	导致肝脏损伤，细胞膜通透性增加	[43,48]
丙氨酸氨基转移酶活性	升高		[48]
碱性磷酸酶活性	先升高后降低	分解ATP引起碱性磷酸酶变化	[47-48]
超氧化物歧化酶活性	先升高后降低	自由基和脂质过氧化物含量引起超氧化物歧化酶变化	[47-48]
肌酸激酶活性	升高	肌肉能量供应不足，导致肌肉细胞中肌酸激酶溢出	[32,47]
乳酸脱氢酶活性	先升高后降低	肌肉细胞损伤引起乳酸脱氢酶变化	[32,45,47]
总胆固醇含量	降低	消耗脂肪，且醋酸盐水平降低导致总胆固醇合成较少	[46-47]
甘油三酯含量	先降低后升高	胰岛素分泌情况引起甘油三酯变化	[46,49]
促肾上腺皮质激素含量	升高	丘脑-垂体前叶-肾上腺轴导致激素大量释放，引起促肾上腺皮质激素含量升高	[45]
皮质醇含量	先升高后降低	丘脑-垂体前叶-肾上腺轴的激活与适应引起皮质醇变化	[32,42,45]
钾含量	降低	高温下流失	[43,48]
钠含量	升高	高温下无机盐流失，降低血液渗透压，促使醛固酮分泌增加，排钾保钠	[43]
钙含量	降低	酸碱平衡紊乱	[48]
磷含量	无显著变化		
镁含量	无显著变化		[48]
氯含量	无显著变化		
热应激蛋白70表达量	升高	热应激导致机体防御产生	[48]

2.2 宰前静养对冷鲜肉保水性的影响

宰前静养有利于缓解生猪应激，提高猪肉品质^[50]。Young等^[51]研究发现，生猪经1 h静养能显著改善猪肉保水性，提高品质。闵成军等^[52]的研究结果表明，随着静养时间的延长，滴水损失逐渐减少，宰后45 min pH值逐



渐升高,说明屠宰前适当时间的静养有利于提高肌肉pH值,提高肌肉的保水性。Perre等^[53]以比利时猪为研究对象,对比静养时间对于PSE肉发生率的影响发现,夏季静养2~4 h、冬季静养2 h可显著降低PSE肉发生率。虽然延长静养时间可以降低PSE肉的比例,但静养时间过长不仅会导致DFD (dark, firm, dry) 肉(又叫“黑干肉”)的发生率上升,也会降低肌肉保水性,加重胴体损失,降低经济效益^[54]。赵慧等^[55]研究发现,静养12 h的生猪宰后45 min背最长肌pH值显著低于静养3 h和6 h,背最长肌的汁液损失显著高于另外2组,可能由于静养时间过长,生猪出现互相打斗、抓伤等现象,进而发生应激反应,使肌肉保水性变差,肌肉质量损失增大。然而,确定最适静养时间有一定难度,有研究显示静养时间与运输距离之间存在交互作用,朱良齐等^[56]发现,夏季运输距离小于100 km或150~500 km、静养时间应小于3 h,但运输距离100~150 km时,适宜的静养时间应为6~8 h,该研究结果与Perre等^[34]一致。

2.3 宰前禁食对冷鲜肉保水性的影响

宰前禁食可以消耗生猪体内能量储备,降低肌肉中的糖原含量,提高宰后猪肉的pH值及降低PSE肉发生率,从而达到提高猪肉保水性的目的^[57]。Sterten等^[58]发现,野猪宰前禁食24 h,肌肉早期pH值下降较快,极限pH值较高,因此建议宰前禁食24 h以内来提高保水性。但长时间禁食会导致肌糖原含量过低,宰后乳酸不足,导致DFD肉的产生。Guardia等^[59]研究表明,禁食时间小于18 h会增加PSE肉的发生率,禁食时间大于22 h则会增加DFD肉的发生率。结合猪肉品质、安全性和屠宰厂日常运作,有学者建议禁食9~12 h较为适宜^[60]。

3 屠宰工艺对冷鲜肉保水性的影响

生猪屠宰包括击晕、放血、烫毛、开膛、摘内脏、劈半、冷却和排酸熟化等,其中击晕、放血和烫毛等环节是影响猪肉保水性的关键因素。黄强力^[61]、邹华锋^[62]等研究表明,与不致晕屠宰相比,致晕后屠宰肌肉pH值较高,滴水损失较低。对比目前常见的电击晕和CO₂致晕,吴小伟等^[63]研究发现,CO₂致晕组猪宰后45 min肌肉pH值较高,蒸煮损失、宰后24 h汁液损失及解冻损失较低,疑似PSE肉和PSE肉的发生率分别降低8.30%和4.47%,与其他学者研究结果一致^[64-66]。但对于氟烷基敏感的猪,CO₂致晕比电击晕生猪产生的应激更大^[67]。

电击晕需要根据生猪体质量等采购指标选择合适的电压、电流和电击时间等参数,同时结合相应的放血方式才能达到最好的工艺效果。张文红等^[68]研究发现,高电压击晕猪只均不同程度产生了PSE肉,而较低电压击晕猪只PSE肉的发生率较低。采取700 V电压自动电麻

1.7 s, 20~30 s后进行卧躺式刺杀放血(可减少肌肉收缩和能耗),与220 V手工电麻10 s、吊挂刺杀放血工艺相比,可使PSE肉发生率从38%降至5%^[69]。陈赞谋等^[70]研究表明,电击晕结合水平放血和CO₂致晕结合悬挂放血对于猪肉的保水性和品质保持均是较好的工艺组合。此外,需控制电击晕后15 s内开始放血,CO₂致晕后60 s内开始放血,放血时间持续6~10 min以保证放血完全,减少乳酸积累和PSE肉的产生^[71]。

烫毛对猪肉保水性的影响主要表现为高温容易导致肌肉蛋白变性,进而引发PSE肉的产生,因此烫毛水(蒸汽)温一般为60~64℃,夏、秋季节温度比冬、春季节低1~2℃,烫毛时间控制在3~5 min为宜^[15]。Barton-Gade^[72]的研究表明,当宰后45 min肌内温度高于38.5℃时,PSE肉发生率达66.84%,低于38.5℃时,PSE肉发生率为15.79%。此外,应尽量缩短生猪屠宰时间,宰后胴体尽快进入冷却间,降低中心温度,同时屠宰工艺中要控制胴体的冲洗次数和分割时间,冲洗次数越多,分割时间越长,肌肉可压出水和游离水增多,滴水损失增加,表面水分蒸发加剧,进一步降低肌肉系水力^[73]。

屠宰过程对于猪肉品质的影响因素有多种,因此,在屠宰环节要选择合适的致晕方式和致晕参数,烫毛过程在保证褪毛效果的前提下,尽量降低烫毛温度和时间,应引进先进的工艺设备和技术,实现工艺和设备的合理配置,保证生产秩序有条不紊,减少输送线的暂停次数,同时采取及时有效的降温方式,对各环节的关键点进行控制,从而最大程度改善屠宰后猪肉品质。

4 宰后冷却对冷鲜肉保水性的影响

生猪宰后由于糖酵解反应释放能量,肉的中心温度可达40~42℃,因此需要将胴体在宰后2 h内温度降至30~32℃,24 h内降至2~7℃^[74],以减缓乳酸积累和pH值下降,减少PSE肉的发生率和汁液流失率。工厂常用的冷却系统包括传统冷却系统、强制空气冷却系统、中速到快速的风冷系统及喷雾冷却系统等,冷却工艺可分为一段式冷却、两段快速冷却和三段急速冷却等,冷却方法和工艺不同,对保水性影响也不同。

冯志华^[75]对比不同冷却方式对猪肉品质的影响,结果显示,与常规冷却组相比,快速冷却组汁液流失率和蒸煮损失率分别减少43.32%和22.42%,且快速冷却1 h后再转入0~4℃冷却至24 h可明显提升猪肉的保水性。孙京新等^[76]发现,经过两段快速冷却工艺的500头猪胴体,PSE猪肉发生率由常规冷却工艺的18.6%降至12.0%,并且通过预冷间喷雾加湿方式控制相对湿度为90%~95%,不仅可以加速胴体降温,也可降低胴体干耗。徐春仲等^[77]也指出,两段快速冷却的冷鲜肉温度下降较快,肉质损

耗低,并且两段快速冷却可以显著提高成熟过程中背最长肌的不易流动水含量,降低自由水含量,提高保水性^[78]。李春等^[79]对比常规相对湿度(80%)下常规冷却和两段快速冷却胴体质量损失,结果显示,与2℃常规冷却24 h相比,第1阶段-25℃冷却1.5 h+第2阶段2℃冷却22.5 h的冷却损耗降低0.3%,95%相对湿度下两段式冷却与常规相对湿度(80%)两段式冷却相比,冷却损耗降低0.5%。张向前等^[80]提出,4~12 h不等的喷淋冷却能使猪胴体的蒸发损失从1.16%下降到0.69%,并均显著低于普通冷却处理的猪胴体。但也有学者指出,通过喷淋式冷却快速降温,由于湿度相对较高,容易滋生微生物,肉质普遍较差,肉制品安全性难以控制^[15]。因此,需要严格控制喷淋时间、温度和水量,以保证肉品品质。然而,也有一些研究结果表明,快速冷却对提高猪肉持水力没有显著作用^[81]。不同研究之间的差异可能与冷却系统的设置、冷却时间、肌肉部位及持水力测定方法等因素有关。

不同冷却方式之间的区别在很大程度上体现在降温速率不同,降温速率在一定范围内越快,对于肌肉保水性越有利,但过快的降温速率也可能引起肌肉的冷收缩,冷收缩对肌肉的持水性具有负作用,尤其是当肌肉中糖原含量高时,冷收缩强度会增大,为防止猪肉发生冷收缩,猪肉温度需要在宰后4 h内降到20℃以下,但在5 h内不能低于10℃^[67]。此外,肌肉保水性还会受到贮藏温度波动的影响,随着冷藏时间延长和冷藏温度波动,自由水含量升高,束缚水含量下降^[82]。

对于生产而言,宰后胴体要尽早进入快速冷却程序,冷却间内胴体之间保持一定间距,以保证散热效果,同时,屠宰净区、加工区、发货区和冷藏车尽量保持全程低温环境,减少环境温度波动,避免温度变化对冷鲜猪肉保水性和品质的影响。

5 结 语

冷鲜猪肉的保水性能显著影响其口感、风味和色泽等感官品质以及营养成分和加工性能,保水性差不仅会给企业造成巨大的经济损失,还会对品牌造成严重影响。冷鲜猪肉的保水性受生猪品种、饲养管理、个体差异、宰前管理和屠宰加工工艺等综合因素影响,任一环节都有可能造成肌肉汁液流失率增加。针对养殖厂,应选择优良品种的生猪(如应激反应小),优化饲料配方(如强化营养配比和添加抗应激因子),改善养殖条件;针对屠宰工厂,应加强生猪运输管理,缩短运输时间,改进运输条件,强化静养管理,优化屠宰方式和冷却工艺,保证产品低温运输,并减少运输过程的温度波动,有效提高冷鲜猪肉的保水性,保证肉品品质。

目前我国生猪屠宰行业有了飞跃发展,机械化程度和设备自动化水平显著提高,胴体加工线中,开肛、开胸(掏膛去内脏外)、去头、去蹄、去尾和劈半已经采用机械手代替人工操作,屠宰加工线工人总数减少近一半。即便如此,该行业仍然属于劳动密集型产业,屠宰机械的全自动化和智能化急需发展。对于我国规模化屠宰企业,也存在采购商品猪品类多元、饲养方式和周期各异等问题,因此,建立生猪养殖、屠宰和加工全产业链能使企业具有核心竞争力,在种猪选育、饲养管理、运输和屠宰加工环节更容易实现标准化,也更利于肉品品质的提升。

参考文献:

- [1] 洗理权,董小英,唐胜球,等.冷鲜肉保水性的研究进展[J].广东畜牧兽医科技,2014,39(1):4-6. DOI:10.3969/j.issn.1005-8567.2014.01.002.
- [2] 夏文水.肉制品加工原理与技术[M].北京:化学工业出版社,2003:12-17.
- [3] 刘敬顺,包杰,刘晓红,等.猪肉质量评估技术(一)[J].今日养猪业,2004(4):41-44.
- [4] BARBERA S. WHC trend, an up-to-date method to measure water holding capacity in meat[J]. Meat Science, 2019, 152: 134-140. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.02.022.
- [5] 路文敏,张建国,刘萍,等.滴水损失与汁液流失关系的研究[J].肉类工业,2010(7):29-31. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2010.07.011.
- [6] 潘伟春,黄雯琪,韩剑众. PSE猪肉蛋白溶解度的研究[J].中国食品学报,2016,16(12):59-65. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.12.009.
- [7] ZHANG Muhan, WANG Daoying, XU Xinglian, et al. Comparative proteomic analysis of proteins associated with water holding capacity in goose muscles[J]. Food Research International, 2019, 116: 354-361. DOI:10.1016/j.foodres.2018.08.048.
- [8] 陈阳楼,甘泉樊,成艳.冷鲜猪肉产品出水问题的初探[J].肉类工业,2010(9):18-21.
- [9] 丁小玲,李吕木,殷宗俊.浅谈营养水平对圩猪生长性能和肌肉品质的影响[J].猪业科学,2017,34(4):45-46. DOI:10.3969/j.issn.1673-5358.2017.04.015.
- [10] 邓蓉,向清华,王安娜,等.野生金荞麦的营养成分及其饲喂对猪肉品质的影响[J].贵州农业科学,2012,40(1):114-116.
- [11] 田宗祥,张玲清,关红民,等.饲料用去籽辣椒粕对育肥猪胴体品质及风味的影响[J].国外畜牧学(猪与禽),2012,32(2):63-64. DOI:10.3969/j.issn.1001-0769.2012.02.035.
- [12] GATTA D, RUSSO C, GIULIOTTI L, et al. Influence of partial replacement of soya bean meal by faba beans or peas in heavy pigs diet on meat quality, residual anti-nutritional factors and phytoestrogen content[J]. Archives of Animal Nutrition, 2013, 67(3): 235-247. DOI:10.1080/1745039X.2013.801137.
- [13] 尹佳,毛湘冰,余冰,等.饲料纤维源对育肥猪生长性能、胴体组成和肉品质的影响[J].动物营养学报,2012,24(8):1421-1428. DOI:10.3969/j.issn.1006-267X.2012.08.005.
- [14] XU Doudou, WANG Yubo, JIAO Ning, et al. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs[J]. Meat Science, 2020, 163: 1-9. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108074.
- [15] 张晓军,汪雨龙,杨锋. PSE猪肉综合控制技术研究[J].肉类工业,2016(1):51-55. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2016.01.016.



- [16] APPLE J K. Effects of nutritional modifications on the water-holding capacity of fresh pork: a review[J]. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2007, 124(1): 43-58. DOI:10.1111/j.1439-0388.2007.00686.x.
- [17] 蒋德旗, 卢恩科, 农石蓉, 等. 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. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2014.23.008.
- [18] 中国农业大学, 四川农业大学, 广东省农业科学院动物科学研究所, 等. 猪营养需要量: GB/T 39235—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020: 2-3.
- [19] 徐大节, 赵凤荣, 马爱平, 等. 吡啶羧酸铬和天冬氨酸镁对猪肉品质的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(6): 217-220.
- [20] 边连全, 王瑞年, 张勇刚, 等. 日粮中添加不同硒源对生长肥育猪肉品质的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2010, 41(6): 690-694. DOI:10.3969/j.issn.1000-1700.2010.06.011.
- [21] CALVO L, TOLDRÁ F, ARISTOY M C, et al. Effect of dietary organic selenium on muscle proteolytic activity and water-holding capacity in pork[J]. *Meat Science*, 2016, 121(1): 1-11. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.05.006.
- [22] 李蛟龙. 一水肌酸和胍基乙酸对育肥猪肉质的影响及其作用机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 56-59.
- [23] LIU Yang, LI Jiaolong, ZHANG Lin, et al. Effects of dietary supplementation of guanidinoacetic acid and combination of guanidinoacetic acid and betaine on muscle energy metabolism, meat quality in finishing pigs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 205: 82-89.
- [24] 谢华. 冷却猪肉汁液流失及控制技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 12-15.
- [25] JAMES B W, TOKACH M D, GOODBAND R D, et al. Interactive effects of dietary ractopamine HCl and L-carnitine on finishing pigs: I. Growth performance[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(7): 3265-3271. DOI:10.2527/jas.2011-4286.
- [26] 卢秀花, 严昌国, 崔福顺, 等. 宰前碳酸水处理对猪肉品质的影响[J]. *食品科技*, 2012, 37(3): 155-158.
- [27] 李林枫, 赵颖, 周岩民. 乳化剂对育肥猪肌肉品质和抗氧化性能的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2013(4): 56-58.
- [28] 郭守立, 候良忠, 郭晓峰, 等. 猪宰后不同部位白肌肉与正常肉品质变化、能量代谢的差异[J]. *肉类研究*, 2016, 30(6): 19-24. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.06.005.
- [29] FAZIO E, FERLAZZO A. Evaluation of stress during transport[J]. *Veterinary Research Communications*, 2003, 27(Suppl 1): 519-524. DOI:10.1023/B:VERC.0000014211.87613.d9.
- [30] 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, 31(9): 51-57. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709009.
- [31] JOHNSON J S. Heat stress: impact on livestock well-being and productivity and mitigation strategies to alleviate the negative effects[J]. *Animal Production Science*, 2018, 58(8): 1404-1413. DOI:10.1071/AN17725.
- [32] 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. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.038.
- [33] PÉREZ 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. DOI:10.1016/S0309-1740(01)00216-9.
- [34] PERRE V V, PERMENTIER L, BIE S D, et al. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork[J]. *Meat Science*, 2010, 86(4): 931-937. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.07.019.
- [35] 王方园. 环境应激对猪肉品质的影响及改善策略[J]. *今日养猪业*, 2019(3): 78-79.
- [36] MATTHEWS J O, SOUTHERN L L, BIDNER T D, et al. Effects of betaine, pen space, and slaughter handling method on growth performance, carcass traits, and pork quality of finishing barrows[J]. *Journal of Animal Science*, 2001, 79(4): 967-974. DOI:10.1046/j.1439-0396.2001.00307.x.
- [37] MILLIGAN S D, RAMSEY C B, MILLER M F, et al. Resting of pigs and hot-fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality[J]. *Journal of Animal Science*, 1998, 76(1): 74-86. DOI:10.1051/gse:19980106.
- [38] GONZALEZ-RIVAS P A, CHAUHAN S S, HA M, et al. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: a review[J]. *Meat Science*, 2020, 162: 1-42. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.108025.
- [39] CRUZEN S M, BAUMGARD L H, GABLER N K, et al. Temporal proteomic response to acute heat stress in the porcine muscle sarcoplasm[J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(9): 3961-3971. DOI:10.2527/jas2017.1375.
- [40] QU H, AJUWON K M. Adipose tissue-specific responses reveal an important role of lipogenesis during heat stress adaptation in pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(3): 975-989. DOI:10.1093/jas/sky022.
- [41] 张小东, 宋伟, 张根军, 等. 温热环境对生长猪血清SOD和CK活性的影响[J]. *山东畜牧兽医*, 2004(4): 3-5. DOI:10.3969/j.issn.1007-1733.2004.04.002.
- [42] 刘胜军, 卢庆萍, 张宏福, 等. 高温高湿环境对生长猪生长性能血浆皮质醇浓度和免疫功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(5): 1214-1219. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2010.05.014.
- [43] 徐新萍, 曲道峰, 韩剑众. 宰前处置方式和季节对生猪血液生化特性及肉质的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(9): 48-51. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2010.05.014.
- [44] WANG Renhuan, LIANG Rongrong, LIN Hai, et al. Effect of acute heat stress and slaughter processing on poultry meat quality and postmortem carbohydrate metabolism[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(3): 738-746. DOI:10.3382/ps/pew329.
- [45] 甄少波, 刘奕忍, 郭慧媛, 等. 运输季节对生猪应激及猪肉品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 333-338. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.01.044.
- [46] 刘圈炜, 卢庆萍, 张宏福, 等. 持续高温对生长猪血清生化指标及肌肉营养物质含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(5): 1207-1213. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2010.05.013.
- [47] 巨向红, 雍艳红, 何健嫦, 等. 热应激对巴马香猪免疫和生化指标的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2009, 45(13): 51-54.
- [48] 张小东. 温热环境对生长猪生理生化指标的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004: 26-45.
- [49] CHRISTON R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1988, 66(12): 3112-3123. DOI:10.2527/jas1988.66123112x.
- [50] 钟辉, 彭首策, 刘震, 等. 生猪宰前静养对屠宰率和肉品质的影响[J]. *养猪*, 2017(4): 75-78. DOI:10.13257/j.cnki.21-1104/s.2017.04.026.
- [51] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.07.019.
- [52] 闵成军, 朱志盈, 黄强力, 等. 生猪屠宰前动物福利措施对猪肉品质的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2014(7): 213-215.
- [53] PERRE V 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.05.023.

- [54] 王继鹏, 岳新叶, 王家国. 生猪宰前静养与猪肉质量[J]. 肉类工业, 2007(4): 7-9. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2007.04.003.
- [55] 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. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.04.034.
- [56] 朱良齐, 周光宏, 车海栋, 等. 季节、运输距离和待宰时间对PSE猪肉发生率的影响[J]. 肉类工业, 2015(10): 35-38. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2015.10.016.
- [57] WATANABE G, MOTOYAMA M, NAKAJIMA I, et al. Relationship between water-holding capacity and intramuscular fat content in Japanese commercial pork loin[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2018, 31(6): 914-918. DOI:10.5713/ajas.17.0640.
- [58] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.08.019.
- [59] GUARDIA M D, ESTANY J, BALASCH 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2003.11.020.
- [60] 孙龙辉, 马陶钧, 顾菲, 等. 浅谈宰前管理对猪肉品质的影响[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(9): 28.
- [61] 黄强力, 闵成军, 魏星华, 等. 不同致晕方式宰后猪肉品质的差异分析[J]. 肉类工业, 2013(3): 19-20. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2013.03.006.
- [62] 邹华锋, 文美英, 魏星华, 等. 生猪宰前不同静养时间和屠宰方式对背长肌肌肉pH值和滴水损失的影响[J]. 肉类工业, 2013(5): 19-21. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2013.05.007.
- [63] 吴小伟, 李侠, 张春晖, 等. 屠宰应激对宰后猪肉保水性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 205-211. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.034.
- [64] GREGORY N G. Recent concerns about stunning and slaughter[J]. Meat Science, 2005, 70(3): 481-491. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.06.026.
- [65] CHANNON H A, PAYNE A M, WARNER R D. 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 CO₂[J]. Meat Science, 2003, 65(4): 1325-1333. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00053-6.
- [66] 张俊杰, 黄娟. 生猪屠宰致晕工艺优化[J]. 肉类工业, 2017(8): 50-52. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.08.012.
- [67] 夏双梅, 孟振北, 耿鑫. 屠宰工艺对冷却肉滴水损失的影响[J]. 肉类工业, 2007(8): 2-3. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2007.08.003.
- [68] 张文红, 彭增起, 吉艳峰, 等. 不同电击昏方式对猪肉品质的影响[J]. 肉类工业, 2006(5): 19-21. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2006.05.012.
- [69] 孙锡斌. 动物性食品卫生学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 99-112.
- [70] 陈赞谋, 李加琪, 张艾君, 等. 不同屠宰方式对猪肉品质的影响[J]. 家畜生态学报, 2008, 39(3): 41-43. DOI:10.3969/j.issn.1673-1182.2008.03.010.
- [71] 黄千福. 关于宰前及屠宰过程中影响猪肉品质的因素分析[J]. 肉类工业, 2013(10): 36-38. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2013.10.012.
- [72] BARTON-GADE P A. Some experience on measuring the meat quality of pig carcasses[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, 1978, 28(21): 61-70. DOI:10.1080/09064702.1978.11884470.
- [73] 王伟锋. 保持屠宰环节冷鲜肉系水力的技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 19-22.
- [74] 丹麦皇冠子公司SFK Systems A/S, 思夫科屠宰设备(上海)有限公司. 宰前处理和冷却方式对猪肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2010, 24(10): 37-41.
- [75] 冯志华. 冷却方式对猪肉品质的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2015, 34(2): 41-42.
- [76] 孙京新, 汤晓艳, 周光宏, 等. 宰后冷却工艺对冷却猪肉肉质、质量分类的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 203-208. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2006.08.043.
- [77] 徐春仲, 李志方, 王正云, 等. 二段冷却与一段冷却对冷却肉损耗的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2007(10): 55-57.
- [78] 刘念. 快速冷却对猪肉持水力的影响及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 56-57.
- [79] 李春, 张录达, 任发政, 等. 利用低场核磁共振研究冷却条件对猪肉保水性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 243-249. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2012.23.032.
- [80] 张向前, 徐幸莲, 周光宏, 等. 季节和雾化喷淋冷却对猪半胴体干耗及品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(3): 124-128. DOI:10.7685/j.issn.1000-2030.2007.03.024.
- [81] JONES S D M, JEREMIAH L E, ROBERTSON W M. The effects of spray and blast-chilling on carcass shrinkage and pork muscle quality[J]. Meat Science, 1993, 34(3): 351-362. DOI:10.1016/0309-1740(93)90083-T.
- [82] 魏里朋, 何承云, 康壮丽, 等. 温度波动对冷却猪肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(16): 218-222. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.037.