

屠宰应激对宰后猪肉保水性的影响

吴小伟^{1,2}, 李侠¹, 张春晖¹, 唐春红², 魏秀丽¹, 景晓亮³

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193) (2. 重庆工商大学环境与生物工程学院, 重庆 400067)
(3. 雏鹰农牧集团股份有限公司, 新郑 451100)

摘要: 本文研究了电击晕和二氧化碳致晕对杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪的应激效应及宰后肌肉保水性的影响。结果表明: 与电击晕相比, 二氧化碳致晕使得杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪血液中的乳酸(LAC)、乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸激酶(CK)、肌酐(CRE)、皮质醇(COR)含量显著降低($P < 0.05$); 且杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪宰后 $\text{pH}_{45\text{min}}$ 值较高, 差异显著($P < 0.05$), 宰后 24 h 汁液损失率(降低 1.17% 和 0.59%)、蒸煮损失率(降低 3.09% 和 3.56%)及解冻损失率(降低 0.55% 和 0.29%)显著降低($P < 0.05$); 剪切力显著降低 0.71 kg 及 0.66 kg ($P < 0.05$)。此外, 杜长大三元杂交猪的抗应激能力较差, 其宰后肌肉保水性显著低于三门峡黑猪($P < 0.05$)。LF-NMR 研究表明, 二氧化碳致晕能够显著降低解冻后肌肉中的自由水含量(降低 32.24% 和 28.92%), 抑制了不易流动水向自由水的“态变”。因此, 在实际生产中采用二氧化碳致晕能降低生猪屠宰应激, 提高肌肉保水性。

关键词: 生猪; 电击晕; 二氧化碳致晕; 屠宰应激; 肌肉保水性

文章编号: 1673-9078(2015)9-205-211

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.034

Effect of Slaughter Stress on Post-slaughter Pork Water-holding Capacity

WU Xiao-wei^{1,2}, LI Xia¹, ZHANG Chun-hui¹, TANG Chun-hong², WEI Xiu-li¹, JING Xiao-liang³

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Beijing 100193, China) (2. Department of environment Science, Chongqing 400067, China) (3. Chu Ying Agro-pastoral Group Co. Ltd, Xinzheng 451100, China)

Abstract: The influences of electric and carbon dioxide stunning methods on ante-mortem stress and its effect on water-holding capacity of post-slaughter muscle in Duroc-Landrace-Yorkshire (with halothane genotype NN) and Sanmenxia black pigs (without halothane gene) were studied. The results showed that, compared with electric stunning, carbon dioxide stunning could significantly lower lactate (LAC), lactate dehydrogenase (LDH), creatine kinase (CK), creatinine (CRE), and cortisol (COR) content ($P < 0.05$) in the blood of both Duroc-Landrace-Yorkshire and Sanmenxia black pigs. The pH value measured at 45 min post-mortem ($\text{pH}_{45\text{min}}$) in the longissimus muscle of pigs stunned by carbon dioxide was significantly higher ($P < 0.05$) than that of pigs stunned electrically. Carbon dioxide stunning significantly reduced values of muscle drip loss rate (reduced by 1.17% and 0.59%), cooking loss rate (reduced by 3.09% and 3.56%), and thawing loss rate (reduced by 0.55% and 0.29%) at 24 h post-mortem as well as shear forces (reduced by 0.71 and 0.66 kg) in the longissimus muscle of Duroc-Landrace-Yorkshire and Sanmenxia black pigs, respectively ($P < 0.05$). The results of low-field nuclear magnetic resonance technique (LF-NMR) indicated that carbon dioxide stunning significantly reduced the free water content (reduced by 32.24% and 28.92% for Duroc-Landrace-Yorkshire and Sanmenxia black pigs, respectively), and inhibited the transformation from immobilized to free water (state change). Thus, carbon dioxide stunning reduces the stress effect of live pigs and improves muscle water-holding capacity during pig slaughter.

Key words: pig; electric stunning; carbon dioxide stunning; slaughter stresses; water-holding capacity of the muscle

肌肉保水性 (Water Holding Capacity, WHC) 是指当肌肉受到外力作用 (加压、切碎、解冻等) 时, 保持原有水分与添加水分的能力, 表现为在外力作用下从肌肉蛋白质系统释放出的液体量^[1]。肌肉保水性作为评价肉质最重要的指标之一, 不仅直接影响肉的

收稿日期: 2014-12-04

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303083)。

作者简介: 吴小伟 (1987-), 男, 硕士, 农副产品资源化利用研究

通讯作者: 张春晖 (1971-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 肉类科学研究

滋味、多汁性、营养成分、嫩度、肉色等食用品质, 而且具有重要的经济意义。

目前中国肉品企业冷却肉的汁液损失为 3.0%~5.0%, 平均比发达国家高出 1.5% 以上。以 2012 年中国猪肉产量及结构比重来计算, 按照冷却肉比重 10%, 冷却损耗 3.0%, 平均价格 14.8 元/kg 计算, 冷却损失高达 23.7 亿元^[2]。Joo 等^[3]研究表明, 屠宰应激是造成肌肉保水性差的重要原因之一。所以, 合理的屠宰方式会在一定程度上降低生猪应激反应, 对于改善肌肉保水性具有极其重要的作用。当前国外对于生

猪宰前应激研究多采用血液生化指标评价生猪应激反应, 研究重点大都集中在生猪基因型和动物福利上, 对肌肉保水性的研究较少, 且结论并不一致^[4-5]; 而国内少数学者也利用血液指标评价不同宰杀方式、运输时间和季节对生猪应激的影响效应^[2-6], 但这些研究多集中在宰前应激对宰后肉品质品质的影响, 对宰后肌肉水分迁移机制及肌肉持水性变化规律的相关研究未见报道。

本文选取氟烷基因型为 NN 的外引生猪品种(杜长大三元杂交猪)与不含氟烷基因的中国地方品种(三门峡黑猪), 对不同致晕方式(二氧化碳致晕与电击晕)生猪宰前应激效应及宰后肌肉保水性进行对比研究。通过系统分析血液生化指标和宰后肌肉的保水性等指标, 旨在阐明不同致晕方式对两种生猪品种的应激效应及肌肉中水分的“态变”机制, 以期降低生猪屠宰应激效应和提高宰后肌肉保水性提供理论支撑, 从而给屠宰企业带来良好的经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验动物与设计

试验于 2014 年 5 月在河南雏鹰集团进行。在静养圈中随机选取杜长大三元杂交猪(基因型为 NN)和地方品种三门峡黑猪各 30 头, 每个品种随机分成 2 组, 宰前静养 12 h 后分别进行电击晕(电压 100 V, 电流 1.6 A, 时间 3~4 s)和二氧化碳致晕(体积分数为 75%, 时间 60 s)。生猪经致晕后迅速采血用于测定血液生化指标。随后进行屠宰, 屠宰工艺如下:

生猪击昏→刺杀放血→去除耳标→喷淋→烫毛→打毛→二次吊挂→燎毛→刮毛→抛光→去头→雕肛去尾→开膛→摘内脏→劈半→同步检疫→去蹄→前修整→撕板油→去槽头→后修整→称质量→喷淋→预冷排酸

本试验采用一段冷却排酸 20 h, 预冷库温度 0~4 °C, 相对湿度约 90%。

1.2 主要仪器设备

7020 型全自动生化分析仪, 日本日立公司; 罗氏 E601 型电化学发光分析仪, 瑞士罗氏公司; Freco21 型冷冻离心机, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司; Testo205 型便携式 pH 计, 德国德图公司; Minolta-CR400 型便携式色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; TA-XT2i 型物性测试仪, 英国 Stable Micro System 公司; MesoMR23-060H-I 型核磁共振成像分析仪, 上海纽迈电子科技有限公司。

1.3 指标测定

1.3.1 血液生化指标测定

生猪屠宰时用 100 mL 烧杯收集血液, 用校正后的温度计测定血液温度。然后迅速用 EDTA-K₂ 型真空采血管和不抗凝真空采血管分别采血 5 mL, 4 °C、3000 r/min 的条件下冷冻离心 10 min, 分离的血浆和血清分别置于 1.5 mL 离心管中于 -20 °C 条件下冷冻保存。血浆用于测定促肾上腺素皮质激素(ACTH)和皮质醇(COR)含量。血清用于测定血糖(GLU)、乳酸(LAC)、乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸激酶(CK)、钙(Ca)、镁(Mg)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、肌酐(CRE)、白蛋白(ALB)、甘油三酯(TG)含量^[6]。

1.3.2 pH 值、温度及肉色的测定

用便携式 pH 计和温度计分别测定每头猪的左半胴体倒数第 5~6 根肋骨处背最长肌处的 pH 值和温度, 平行测定 3 次, 取平均值。取宰后 24 h 左背最长肌, 剔除可见皮下脂肪和结缔组织。在空气中暴露 10 min 后, 用便携式色差仪测定样品的亮度值(L*)、红度值(a*)、黄度值(b*)。色差计在使用前用白板进行校准, 对每一肉样平行测定 3 次。

1.3.3 保水性测定

1.3.3.1 汁液流失率:

取宰后 24 h 背最长肌, 切取 5 cm×3 cm×2 cm 的长方体肉块, 称质量(M₀, g)后用 S 型铁丝钩将肉吊挂在塑料袋中, 避免肉和塑料袋壁接触, 在 0~4 °C 冰箱中悬挂 48 h; 打开塑料袋取出肉块, 用滤纸吸干肉块表面的汁液, 称质量(M₁, g); 汁液损失率=(M₀-M₁)/M₀×100%^[7]。

1.3.3.2 蒸煮损失率:

肉块称质量(M₂, g)后将其置于聚乙烯袋中, 80 °C 水浴中加热至中心温度为 75 °C 时恒温 30 min; 室温冷却 30 min 后, 打开包装取出肉块, 用滤纸轻轻吸干肉块表面的汁液, 称质量(M₃, g); 蒸煮损失率=(M₂-M₃)/M₂×100%^[8]。

1.3.3.3 解冻汁液流失率:

准确称取肉样解冻前后的质量(M₄和 M₅, g), 解冻汁液流失率=(M₄-M₅)/M₄×100%^[9]。

1.3.4 剪切力的测定

参考刘兴余等^[10]的方法稍加修改, 将生鲜肉样沿肌纤维方向切成 4 cm×1 cm×1 cm 的长方体肉块, 采用 TA-XT2i 型质构仪测定, 测试采用 HDP/BSW 型切刀探头, 测前速度 1 mm/s, 进刀速度为 1 mm/s, 测后速度 10 mm/s, 时间间隔 5 s。

1.3.5 NMR 横向弛豫时间 (T_2) 测定

参照李春等^[11]的方法,采用核磁共振分析软件中的 CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Gill) 脉冲序列测定样品中的横向弛豫时间 T_2 。将约 36 g (5 cm×3 cm×2 cm) 肉样放入直径为 60 mm 的核磁管中,随后立即放入核磁共振仪中进行分析(3 个重复)。测量参数为:90 脉冲时间 18 μ s, 180 脉冲时间 36 μ s, 重复采样 3 次, 重复间隔时间为 4000 ms, 模拟增益为 10, 回波个数 3000。CPMG 指数衰减曲线用 MultiExp Inv Analysis 软件进行反演。其中, T_{21} 、 T_{22} 及 T_{23} 分别代表结合水、不易流动水及自由水的弛豫时间。 P_{21} 、 P_{22} 及 P_{23} 分别代表结合水、不易流动水及自由水的百分含量。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA) 统计,采用 Duncan's 检验法进行显著性分析。每项测定数据至少 3 次平行,结果均表

示为“平均值±标准差”。所有图形用 Origin 9.0 软件绘制。

2 结果与讨论

2.1 致晕方式对生猪血液指标的影响

在不同致晕方式下,杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪的血液生化指标测定结果如表 1 所示。其中肌酸激酶 (CK)、乳酸脱氢酶 (LDH)、乳酸 (LAC) 是反映机体能量代谢的重要生化指标,生猪受到的应激越大,血液中 CK、LDH 和 LAC 的含量越高^[12]。由表 1 可知,与电击晕相比(同一品种比较),二氧化碳致晕能够显著降低杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪血液中的 CK (降低了 14373.29 U/L 和 4026.18 U/L)、LDH (降低了 320.10 U/L 和 228.60 U/L) 和 LAC (降低了 55.05 mmol/L 和 62.67 mmol/L) 含量 ($P<0.05$),说明二氧化碳致晕方式对于降低生猪应激反应具有积极的作用,这与柴进等^[6]人的研究结果相一致。

表 1 致晕方式对生猪血液指标的影响

Table 1 Effect of stunning method on blood parameters

指标	杜长大三元杂交猪		三门峡黑猪	
	二氧化碳致晕	电击晕	二氧化碳致晕	电击晕
血液温度 T/ $^{\circ}$ C	37.69±0.32 ^{Aa}	38.42±0.35 ^{Aa}	38.24±0.27 ^{Aa}	38.02±0.53 ^{Aa}
血糖 GLU/(mmol/L)	8.61±1.04 ^{Aa}	7.10±0.68 ^{Aa}	7.82±1.47 ^{Aa}	6.68±0.40 ^{Aa}
肌酸激酶 CK/(U/L)	9775.76±3265.58 ^{Ab}	24149.05±3357.80 ^{Aa}	1478.84±172.04 ^{Bb}	5505.02±1787.73 ^{Ba}
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	799.65±22.10 ^{Ab}	1119.75±401.26 ^{Aa}	561.84±88.03 ^{Bb}	790.44±62.93 ^{Ba}
乳酸 LAC/(mmol/L)	96.02±24.71 ^{Ab}	151.07±7.32 ^{Aa}	89.93±10.86 ^{Ab}	152.60±5.71 ^{Aa}
白蛋白 ALB/(g/L)	41.24±1.73 ^{Ba}	41.56±1.52 ^{Ba}	44.84±1.61 ^{Aa}	45.18±2.95 ^{Aa}
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.67±0.17 ^{Aa}	0.54±0.10 ^{Ba}	0.74±0.10 ^{Aa}	0.77±0.04 ^{Aa}
钙 Ca/(mmol/L)	2.79±0.09 ^{Aa}	2.69±0.10 ^{Aa}	2.76±0.04 ^{Aa}	2.88±0.03 ^{Aa}
镁 Mg/(mmol/L)	1.31±0.18 ^{Aa}	1.17±0.16 ^{Aa}	1.33±0.07 ^{Aa}	1.11±0.10 ^{Aa}
丙氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	75.0±3.54 ^{Ab}	122.40±1.24 ^{Aa}	64.60±9.24 ^{Ba}	74.80±10.85 ^{Ba}
肌酐 CRE/ μ mol/L	1.51±0.29 ^{Ab}	1.82±0.08 ^{Aa}	0.99±0.13 ^{Bb}	1.88±0.12 ^{Aa}
皮质醇 COR/(ng/mL)	220.16±57.47 ^{Ab}	431.44±249.63 ^{Aa}	278.96±141.44 ^{Ab}	474.60±139.90 ^{Aa}
促肾上腺激素 ACTH/(pg/mL)	10.17±2.50 ^{Bb}	32.34±13.46 ^{Aa}	23.75±7.66 ^{Aa}	29.45±1.84 ^{Aa}

注:表中每行不同小写字母表示同一品种不同致晕方式间差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示同一致晕方式不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。

丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 和肌酐 (CRE) 主要存在于心脏和骨骼肌,其次是肝脏、肝脏细胞等。在应激条件下,肝脏细胞通透性增加,导致 ALT 和 CRE 升高^[2]。由表 1 可知,与电击晕相比,二氧化碳致晕能够显著降低杜长大三元杂交猪血液中 ALT (降低了 47.40 U/L) 和 CRE (降低了 0.31 μ mol/L) 含量 ($P<0.05$),但是致晕方式对三门峡黑猪血液中 ALT 含量则无显著性影响 ($P>0.05$),其原因可能是三门峡黑猪的抗应

激能力较强,电击晕条件下只能使 ALT 含量适当的增加,并未达到显著水平。

血液中的促肾上腺激素 (ACTH) 和皮质醇 (COR) 含量是衡量动物受到应激的重要指标。当生猪处于应激状态时,下丘脑分泌促肾上腺皮质激素释放激素,促进垂体分泌促肾上腺皮质激素,使肾上腺皮质激素合成和释放增加,从而造成体内皮质醇浓度升高^[2]。由表 1 可知,在电击晕条件下杜长大三元杂交猪血液

中的 ACTH 和 COR 含量显著增加 22.17 pg/mL 及 211.28 ng/mL ($P < 0.05$)。此外,对于同一品种生猪,不同致晕方式对血液温度、GLU、ALB、TG、Ca、Mg 这些生化指标均无显著影响 ($P > 0.05$)。

从表 1 可以看出,在同一致晕条件下(二氧化碳致晕和电击晕),三门峡黑猪血液中的 CK、LDH、ALT 含量分别比杜长大三元杂交猪低 8296.92 U/L 和 18644.03 U/L、237.81 U/L 和 329.31、10.40 U/L 和 47.60 U/L,差异显著 ($P < 0.05$),这说明,三门峡黑猪与杜长大三元杂交猪的血液成分存在显著差异 ($P < 0.05$)。另外,在不同致晕方式下,三门峡黑猪的血液指标变化幅度较小,所以其抗应激能力优于杜长大三元杂交

猪。

2.2 致晕方式对 pH、胴体温度及肉色的影响

Offer 等^[13]研究表明,宰后肌肉 pH 值的缓慢下降对于减少肌球蛋白变性和汁液流失非常有效。表 2 结果显示,不同致晕方式对杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪宰后 pH_{45min} 值有显著影响,且宰后二氧化碳致晕组的 pH_{45min} 值比电击晕组显著升高 0.37 和 0.35 ($P < 0.05$)。这表明,与电击晕相比,二氧化碳致晕减缓了猪胴体肌肉糖原代谢速率,从而使 pH 值缓慢下降,这对提高肌肉的保水性是有利的。

表 2 致晕方式对 pH、温度及肉色的影响

Table 2 Effect of stunning method on the pH, temperature, and color of pork meat

指标	杜长大三元杂交猪		三门峡黑猪	
	二氧化碳致晕	电击晕	二氧化碳致晕	电击晕
pH _{45min}	6.17±0.08 ^{Aa}	5.80±0.09 ^{Ab}	6.27±0.13 ^{Aa}	5.92±0.16 ^{Ab}
pH _{24h}	5.48±0.18 ^{Aa}	5.38±0.09 ^{Aa}	5.52±0.10 ^{Aa}	5.37±0.07 ^{Aa}
T _{45min} /°C	38.21±0.82 ^{Ab}	39.56±0.62 ^{Aa}	37.70±0.78 ^{Aa}	38.45±0.49 ^{Aa}
T _{24h} /°C	9.64±0.50 ^{Aa}	9.07±1.08 ^{Aa}	8.52±0.62 ^{Aa}	8.27±0.38 ^{Aa}
亮度值 L*	50.78±3.55 ^{Ab}	53.33±1.77 ^{Aa}	48.81±3.94 ^{Ab}	50.59±3.03 ^{Aa}
红度值 a*	7.79±1.75 ^{Ba}	6.92±1.31 ^{Ba}	10.52±1.31 ^{Aa}	10.29±1.88 ^{Aa}
黄度值 b*	6.24±0.94 ^{Aa}	6.43±1.31 ^{Aa}	6.87±1.48 ^{Aa}	7.28±1.04 ^{Aa}

注:表中每行不同小写字母表示同一品种不同致晕方式间差异显著 ($P < 0.05$),不同大写字母表示同一致晕方式不同品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

Stoier 等^[14]研究表明,宰后 45 min 胴体温度 (T_{45min}) 可以用来预测肌肉的保水性。由表 2 可知,与电击晕相比,二氧化碳致晕条件下的 T_{45min} 较低。这表明,二氧化碳致晕能够使生猪在屠宰过程中处于相对平静的状态,产生较少的热量。另外,从表 2 可知,不同致晕方式对宰后 pH_{24h} 值无显著影响 ($P > 0.05$)。Channon 等^[15]研究结果表明,不同致晕方式对肌肉的 pH_{24h} 值无显著性影响,这与本实验研究结果相一致。

肉色值也是一个容易受到应激影响的肉质指标。Stoier^[14]研究表明,应激导致的 pH 值变化会影响肌肉肉色。Bidner^[16]认为在背最长肌中亮度值 (L^*) 与黄度值 (b^*) 值变异的 70%,红度值 (a^*) 值变异的 28% 可以用宰后最终的 pH 值来解释。另外,肉色也是消费者判断冷却肉质量最为重要的指标,其中 L^* 值可反映肉的出水情况, a^* 值和 b^* 值可以反映肉的新鲜度。一般情况下,肉品 L^* 值越高,其表面水分折光越多,渗出水就越多; a^* 值越高说明肉的颜色越好,肉越新鲜; b^* 值越高说明肉越不新鲜^[2]。从表 2 可以看出,与电击晕相比,二氧化碳致晕能够使杜长大三元杂交

猪和三门峡黑猪背最长肌的 L^* 值显著降低了 2.55 和 1.78 ($P < 0.05$);同时使 a^* 值和 b^* 值分别增大和减小,这表明,二氧化碳致晕有利于改善肉色。此外,在同一致晕条件下(二氧化碳致晕和电击晕),三门峡黑猪背最长肌的 a^* 值比杜长大三元杂交猪高 2.73 和 3.37,差异显著 ($P < 0.05$),而 L^* 值比杜长大三元杂交猪低 1.97 和 2.74,这说明,三门峡黑猪宰后 24 h 的肉色比杜长大三元杂交猪好。

2.3 致晕方式对肌肉保水性的影响

宰后猪肉的汁液损失率和解冻损失率不仅是肉质的判定标准,也是企业生产过程中重点关注的效益损失点。汁液损失率和解冻损失率越大,表明肌肉保水性越差,汁液流失越多,且汁液流失中含有大量的可溶性蛋白,进而导致营养流失^[2]。本试验结果表明,与电击晕相比,二氧化碳致晕使杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪宰后背最长肌汁液损失率显著降低了 1.17% 和 0.59% ($P < 0.05$);解冻损失率显著降低了 0.55% 和 0.29% ($P < 0.05$)。从图 1 可以看出,在同一致晕方式下,三门峡黑猪宰后背最长肌汁液流失率和

解冻损失率显著 ($P<0.05$) 低于杜长大三元杂交猪。

蒸煮损失率也是衡量肌肉保水性的重要指标, 其值越小, 说明保水性越好^[2]。从图 3 可以看出, 与电击晕相比, 二氧化碳致晕能够显著降低蒸煮损失 ($P<0.05$), 且杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪均表现出相同的规律 (分别降低了 3.09% 和 3.56%)。结合表 1、表 2 及图 1 进行分析, 电击晕方式加速了宰后糖酵解代谢速率, 并且迅速积累了大量乳酸, 从而使肌肉中的 pH 值显著下降, 当 pH 值下降到蛋白质的等电点时, 蛋白质与水分子之间的作用力减弱, 蛋白质锁水的能力达到最低, 水分被大量释放出来, 肌肉的保水性变差^[17]。此外, 在同一致晕方式下, 不同品种生猪之间蒸煮损失率无显著性 ($P>0.05$) 差异。

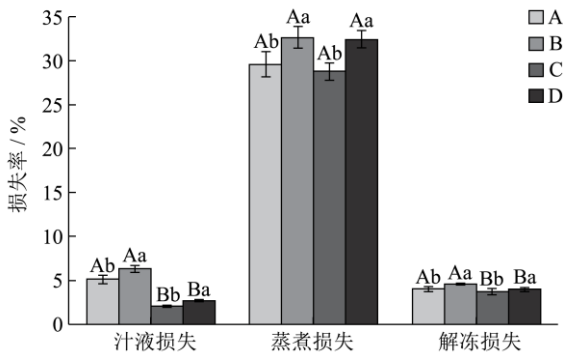


图 1 致晕方式对肌肉保水性的影响

Fig.1 Effect of stunning method on water-holding capacity

注: 不同小写字母表示同一品种不同致晕方式间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示同一致晕方式不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。A.杜长大三元杂交猪二氧化碳致晕组; B.杜长大三元杂交猪电击晕组; C.三门峡黑猪二氧化碳致晕组; D.三门峡黑猪电击晕组。

2.4 致晕方式对剪切力的影响

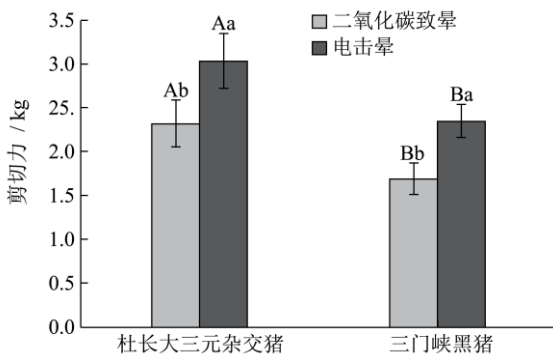


图 2 致晕方式对猪肉剪切力的影响

Fig.2 Effect of stunning method on the shear force

注: 不同小写字母表示同一品种不同致晕方式间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示同一致晕方式不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。

剪切力的大小既能反映肌肉嫩度, 又可以间接地反映肌肉的保水性^[10]。从图 2 可以看出, 不同致晕方式对杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪的剪切力均有显著性影响 ($P<0.05$)。对于同一品种而言, 与电击晕相比, 二氧化碳致晕条件下生产的肌肉剪切力小 (杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪的剪切力分别降低了 0.71 kg 及 0.66 kg), 其嫩度较大, 保水能力强。另外, 在同一致晕方式下, 三门峡黑猪宰后背最长肌的剪切力值显著 ($P<0.05$) 低于杜长大三元杂交猪, 这表明三门峡黑猪宰后肌肉的嫩度大, 肉质较好。

2.5 解冻后肌肉持水性分析

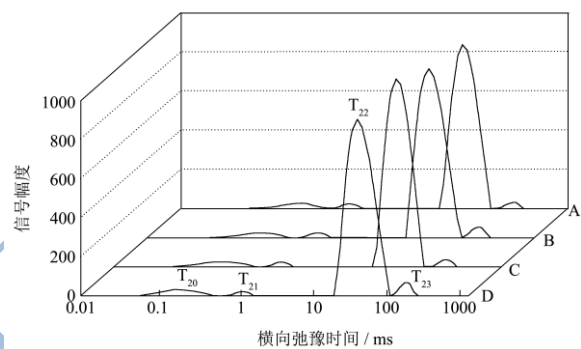


图 3 不同致晕方式处理组横向弛豫时间 T_2 变化的三维图

Fig.3 Three-dimensional plot of transverse relaxation of pork with different stunning methods

注: A.杜长大三元杂交猪二氧化碳致晕组, B.杜长大三元杂交猪电击晕组, C.三门峡黑猪二氧化碳致晕组, D.三门峡黑猪电击晕组。

为研究不同致晕方式对肌肉中水分迁移机制的影响, 本试验利用 LF-NMR 法检测肉中 T_2 分布图谱。Bertram 等^[18]检测到了肉中 3 种不同状态水, 即结合水、不易流动水及自由水。Tomberg^[19]利用 LF-NMR 法检测到了肉中 2~4 种组分, 分别是胞内水和胞外水。从本试验样品的 NMR 弛豫时间和比例的结果看来, 可以认为 T_{20} 和 T_{21} 为与蛋白质等大分子结合的结合水, T_{22} 为肌肉中存在于肌原纤维及膜之间的不易流动水, 占了肌肉中水分的绝大部分; T_{23} 为存在于细胞外间隙中能自由流动的水。结合表 3 和图 3 分析可知, 拟合后肉样的 NMR T_2 谱有 4 个峰, 其横向弛豫时间分别为 T_{20} (100 μ s ~800 μ s), T_{21} (1 ms~4 ms), T_{22} (35 ms~150 ms), T_{23} (>170 ms)。同时, 与电击晕相比 (同一品种), 二氧化碳致晕使得 P_{23} 分别降低了 32.24% 和 28.92%, 这表明电击晕能够促使肉样中的不易流动水“态变”为自由水, 从而造成肌肉的自由水含量升高, 保水性变差。此外, 在同一致晕方式下, 三门峡黑猪宰后背最长肌中自由水质量分数 (P_{23}) 显著

($P<0.05$) 低于杜长大三元杂交猪, 这说明, 三门峡黑猪宰后肌肉的保水能力优于杜长大三元杂交猪, 这与上述试验的结果相一致。

表3 肌肉中3种状态水分的百分含量

Table 3 Percentages of three states of water in longissimus muscle

指标	杜长大三元杂交猪		三门峡黑猪	
	二氧化碳致晕	电击晕	二氧化碳致晕	电击晕
$P_{21}/\%$	4.20±0.80 ^{Aa}	4.41±0.32 ^{Aa}	4.58±0.45 ^{Aa}	4.74±0.20 ^{Aa}
$P_{22}/\%$	92.48±0.67 ^{Aa}	90.69±0.80 ^{Aa}	92.84±0.50 ^{Aa}	91.62±0.20 ^{Aa}
$P_{23}/\%$	3.32±0.36 ^{Ab}	4.90±0.51 ^{Aa}	2.58±0.14 ^{Bb}	3.63±0.26 ^{Ba}
P_{23} 变化率 Change rate/%	32.24		28.92	

注: 表中每行不同小写字母表示同一品种不同致晕方式间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示同一致晕方式不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。

3 结论

综上所述, 三门峡黑猪的抗应激能力优于杜长大三元杂交猪且采用二氧化碳致晕能够显著降低两种生猪屠宰时所产生的应激反应 ($P<0.05$)。另外, 杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪在二氧化碳致晕条件下 (同一品种比较), 宰后 24 h 亮度值(L^*)和黄度值(b^*)较小, 而红度值(a^*)较大; 汁液损失率、蒸煮损失率以及解冻损失率分别显著降低 1.17%和 0.59%、3.09%和 3.56%、0.55%和 0.29%; 剪切力显著降低 0.71 kg 及 0.66 kg, 这说明二氧化碳致晕能够提高杜长大三元杂交猪和三门峡黑猪宰后肌肉保水性; 且在同一致晕方式下, 三门峡黑猪宰后肌肉的保水性显著 ($P<0.05$) 优于杜长大三元杂交猪。进一步利用低场核磁共振 (LF-NMR) 横向弛豫时间 T_2 研究致晕方式对肌肉中水分分布的影响, 结果表明, 二氧化碳致晕方式 (同一品种比较) 抑制了不易流动水向自由水的“态变”, 显著提高了肌肉的保水性。因此, 在实际生产中应该采用二氧化碳致晕来降低生猪屠宰应激, 提高肌肉保水性, 从而给企业带来良好的经济效益。

参考文献

[1] 张振江, 方海田, 刘慧燕. 冷却肉肌肉保水性及其影响因素 [J]. 肉类研究, 2008, 12: 15-19
ZHANG Zhen-jiang, FANG Hai-tian, LIU Hui-yan. Water holding capacity of chilled meat and its effect factors [J]. Meat Research, 2008, 12: 15-19

[2] 甄少波. 待宰对猪应激及冷却肉品质影响机理研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2013
ZHEN Shao-bo. Study on effects and mechanism of lairage condition on the pig stress and meat quality of chilled pork [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013

[3] Joo S T, Kauffman R G, Kim B C, et al. The relationship of

sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle [J]. Meat Science, 1999, 52(3): 291-297

[4] Lo Fiego D P, Comellini M, Ielo M C, et al. Effect of stunning voltage and scalding method on the incidence of the “red skin” defect of Parma ham [J]. Vet. Res. Commun., 2009, 33(1): 285-288

[5] Nowak B, Mueffkng TV, 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: 290-298

[6] 柴进, 彭健, 熊琪, 等. 宰前休息方式对猪福利、血液成分及肉质的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2009, 40(11): 1645-1650
CHAI Jin, PENG Jian, XIONG Qi, et al. The influence of lairage conditions for finishing pigs on mental performance, blood index and meat quality [J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2009, 40(11): 1645-1650

[7] Elzbieta Zelechowska, Wiesław Przybylski, Danuta Jaworska, et al. Technological and sensory pork quality in relation to muscle and drip loss protein profiles [J]. European Food Research Technology, 2012, 234: 883-894

[8] Xia X F, Kong B H, Liu J, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle [J]. LWT—Food Science and Technology, 2012, 46: 280-286

[9] Qi J, Li C B, Chen Y J, et al. Changes in meat quality of ovine longissimus dorsi muscle in response to repeated freeze and thaw [J]. Meat Science, 2012, 92: 619-625

[10] 刘兴余, 金邦荃, 詹巍等. 猪肉嫩度测定方法的改进 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 167-172
LIU Xing-yu, JIN Bang-quan, ZHAN Wei, et al. Improved method of measuring meat tenderness in pork [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 167-172

- [11] 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,2012,23(28): 243-249
LI Chun, ZHANG Lu-da, REN Fa-zheng, et al. Study on different chilling factors influencing water holding capacity of pork based on low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 23(28): 243-249
- [12] 龙定彪,杨飞云,肖融,等.屠宰方式对育肥猪血液生化指标及肉品质的影响研究[J].中国畜牧杂志,2014,50(11):69-72
LONG Ding-biao, YANG Fei-yun, XIAO Rong, et al. Effect of slaughter measures on biochemical indicators and meat quality of finishing pigs [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2014, 50(11): 69-72
- [13] Offer G. Modeling of the formation of pale,soft and exudative meat-effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis [J]. Meat science, 1991, 30: 157-184
- [14] Stoier S, Aaslyng M D. The effect of stress during lairage and stunning on muscle metabolism and drip loss in Danish pork [J]. Meat Science, 2001, 59(2): 127-131
- [15] 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
- [16] Bidner B, Ellis M, Brewer M, et al. Effect of ultimate pH on the quality characteristics of pork [J]. Journal of Muscle Foods, 2004, 15: 139-154
- [17] Huff-Lonergan E, Lonergan S. New frontiers in understanding drip loss in pork:recent insights on the role of postmortem muscle biochemistry [J]. Anim. Breed. Genet, 2007, 124: 19-26
- [18] Bertram H C, Purslow P, Andersen H J. Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: a low-field nuclear magnetic resonance study [J]. Agriculture and Food Chemistry, 2002, 50(4): 824-829
- [19] Tornberg E, Wahlgren M, Brondum J, et al. Pre-rigor conditions in beef under varying temperature and pH falls studied with rigometer, NMR and NIR [J]. Food Chemical, 2000, 69(4): 407-418