击晕方式和在轨时间对生猪应激及肉质的影响

吴小伟[1]，张春晖[2]，李侠[2]，景晓亮[3]，唐春红[1]，王春青[2]
（1. 重庆工商大学环境与生物工程学院，重庆 400067）（2. 中国农业科学院农产品加工研究所，农业部农产品加工重点实验室，北京 100193）（3. 雏鹰农牧集团股份有限公司，河南新郑 451100）

摘要：本文研究了电击晕、CO_2致晕和不同在轨时间（32、38、44 min）对杜大长三元杂交猪血液应激指标、预冷损耗以及猪肉品质的影响。结果显示：与电击晕相比，CO_2致晕使生猪血液中乳酸含量、皮质醇含量、肌酸激酶含量和乳酸脱氢酶含量分别显著（$p<0.05$）降低了 85.50 mg/dL、161.62 ng/mL、2828.36 U/L、192.71 U/L，断骨率降低了 2.82 %。在 CO_2 致晕条件下，在轨时间由 32 min 延长至 44 min 时，腔体温度（喷淋后）和预冷损耗分别降低了 1.72 ℃和 0.28%，且预冷损耗达到最小（0.89%）。另外，在所有处理中，采用 CO_2 致晕且在轨时间为 44 min 的工艺条件时，红度值 a*最大（7.55）且嫩度较高，滴水损失（3.22%）、蒸煮损失（29.90%）、疑似 PSE 肉发生率（19.13%）及 PSE 肉发生率（9.10%）均为最低，从而改善了猪肉品质。因此，在实际生产中采用 CO2 致晕并适度延长在轨时间，可以减小应激反应、降低预冷损耗、改善猪肉品质。

关键词：电击晕；CO_2 致晕；在轨时间；生猪应激；预冷损耗；肉质
文章篇号：1673-9078(2014)7-165-170

Effects of Stunning Method and Carcass Orbit Time on Stress and the Meat Quality of Pigs

WU Xiao-wei[1], ZHANG Chun-hui[2], LI Xia[2], JING Xiao-liang[3], TANG Chun-hong[1], WANG Chun-qing[2]
(1.Department of environment Science, Chongqing 400067, China) (2.Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, CAAS/Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China) (3.ChuYing Agro-pastoral Group Co., Ltd, Xinzheng 451100, China)

Abstract: Influences of electrical stunning, CO_2 stunning and different durations in orbit (32, 38 and 44 min) on blood stress indicators, pre-cooling loss and pork quality of Dudachang crossbred pig were studied in the paper. The results showed that lactic acid content, cortisol content, creatine kinase content and lactate dehydrogenase content in CO_2 stunning pig blood were lowered significantly by 85.50 mg/dL, 161.62 ng/mL, 2828.36 U/L and 192.71 U/L ($p<0.05$), respectively, compared with that by electrical stunning. The bone breakage rate was lowered by 2.82%. Body chamber temperature (after being sprayed) and pre-cooling loss were reduced by 1.72 ℃ and 0.28 %, respectively when duration in orbit was prolonged from 32 min to 44 min under CO_2 stunning condition, and the pre-cooling losses reached the minimum level (0.89%). In addition, the redness value a* was the maximum (7.55), with higher tenderness, while drip loss (3.22%), cooking loss (29.90%), suspected incidence of PSE meat (19.13%) and the incidence of PSE meat (9.10%) were the lowest in all treatments, when CO_2 stunning was adopted under the orbit duration process conditions for 44 min. Therefore, CO_2 stunning with proper orbit duration prolongation in practical production could reduce stress reaction, lower pre-cooling loss and improve pork quality.

Key words: electric stunning; carbon dioxide stunning; carcass orbit time; stresses; pre-cooling loss; meat quality

致晕（stun to kill）是人道主义屠宰的必要环节，其主要目的是减轻屠宰过程中给动物带来的痛苦、减少死前挣扎所造成的胴体损伤、提高屠宰效率等。目前主要的致晕方式有电击晕和 CO_2 致晕。不同的致晕方式会使生猪产生不同程度的应激反应，是决定宰后猪肉品质的关键因素。国外大量研究表明，与电击晕相比，CO_2 致晕对生猪产生的应激较小，能够减少 PSE（pale、soft、exudative）肉发生率与断骨率，有利于提高猪肉品质，改善动物福利[1~3]。Fernandez 等[4]研究表明，气体致晕能减少鸭和鹅胴体的骨折率和肌肉淤血点，而且肌肉纤维结构的完整性更好，嫩度更高。在我国，由于生产成本等问题，大多数的屠宰场均采

收稿日期：2014-02-24
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，研究方向：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，研究方向：肉类科学研究

用电击晕方式，而对 CO_2 致晕的应用和研究较少。对于不同击晕方式，在同一体系下成批量的比较研究更少[5]。

预冷损耗是热胴体在冷却过程中因冷热交换而形成的，热胴体通过蒸发自身的水分来释放热量，其水分蒸发是必然和不可逆转的。生猪宰后预冷期间若条件控制不当预冷损耗可高达 3%以上，给企业造成了较高的经济损失，是屠宰企业目前面临的难题。预冷损耗虽然不可避免，但仍可通过一定的工艺条件加以控制。国内外研究表明，预冷损耗是多个因素相互作用的结果[6]。目前，降低预冷损耗的研究大都集中在二段冷却、喷雾加湿、液氮浸泡等方面，而关于不同在轨时间对胴体预冷损耗和猪肉品质的影响未见报道。因此，本文比较了电击晕和 CO_2 致晕方式对生猪宰前应激及在轨时间对宰后腔体内部温度、预冷损耗、肉质指标的影响，旨在降低预冷损耗和改善猪肉品质，以期为屠宰行业带来更多的经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验动物与设计

试验猪均来自雏鹰集团尉氏屠宰场。选取体重约为 100 kg，且年龄相近的杜长大三元杂交猪（杜洛克×长白猪×大约克夏）60 头，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 CO_2 致晕（体积分数为 75%，时间 1 min）。生猪经致晕后迅速采血用于测定血液应激指标。随后将不同致晕方式处理后的屠体分为 3 组，进行在轨时间试验。分别测定在轨时间为 32、38、44 min 条件下的腔体温度、预冷损耗及 pH、肉色、滴水损失等肉质指标。

1.2 主要仪器与试剂

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；CR22GII 型冷冻离心机，日本日立公司；TA-XT2i 型物性测试仪，英国 Stable Micro System 公司；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；HT-8863 型红外测温仪，广州市宏诚集业电子科技有限公司。

葡萄糖、肌酸激酶、乳酸脱氢酶、乳酸检测试剂盒均购自北京世纪沃德生物科技有限公司；Randox 血清复合校准品和质控品购自英国朗道公司。

1.3 试验方法

1.3.1 血液指标测定

参考柴进等[7]的方法，生猪屠宰放血时用 100 mL 烧杯收集血液，用红外测温仪测定血液温度（T）。然后迅速用 EDTA-K_2 型真空采血管和不抗凝真空采血管分别采血 5 mL，静置 30 min 后在 4 ℃、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 ℃条件下冷冻保存。促肾上腺素皮质激素（adrenocorticotrophic hormone，ACTH）和皮质醇（cortisol，COR）含量用罗氏 E601 型电化学发光分析仪测定（利用血浆）。血糖（glucose，GLU）、乳酸（lactate，LAC）、乳酸脱氢酶（lactic dehydrogenase，LDH）及肌酸激酶（creatine kinase，CK）含量用日立 7020 型全自动生化分析仪检测（利用血清）。

1.3.2 腔体内部温度测定

1.3.2.1 屠宰流程

动物击昏→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→称重→喷淋

1.3.2.2 生猪开膛后，用红外测温仪测定腔体内部温度，平行测定 5 次，测定结果取平均值。

1.3.3 预冷损耗测定

入预冷库前称量每头猪胴体重量（W_0），经过一段冷却（-18~-20 ℃）90 min 和二段冷却排酸（0~4 ℃）20 h，出预冷库时再次称量胴体重量（W_1）。

预冷损耗=胴体入库前重（W_0）-胴体出库净重（W_1）/胴体入库前重（W_0）×100%

1.3.4 肉品质指标测定

1.3.4.1 pH 值和温度的测定

用便携式 pH 计和温度计分别测定每头猪的左半胴体背最长肌处的 pH 值和温度。

1.3.4.2 色差测定

取宰后 24 h 左背最长肌，修整去除可见的皮下脂肪和结缔组织。用便携式色差仪测定样品的亮度值 L*、红度值 a*及黄度值 b*。色差计在使用前用白板进行校正，每一样品平行测定 3 次。

1.3.4.3 滴水损失测定

取宰后 24 h 左背最长肌，切取 5 cm×3 cm×2 cm 的长方体肉块，称重（W_2）后用铁丝吊挂在塑料袋中，避免肉和塑料袋壁接触，在 0~4 ℃预冷库中悬挂 48 h；打开塑料袋取出肉块，用滤纸吸干肉块表面的汁液，称重（W_3）。

滴水损失=(W_2-W_3)/W_2×100%。

1.3.4.4 蒸煮损失率

肉块称重（W_4）后真空包装，80 ℃水浴中加热

至中心温度为 75 ℃时恒温 20 min；室温冷却后，打开包装取出肉块，用滤纸吸干肉块表面的汁液，称质量（W_5）；蒸煮损失率=(W_4-W_5)/ W_4×100%。

1.3.4.5 剪切力的测定

将生鲜肉样沿肌纤维方向切取 4 cm×1 cm×1 cm 的长方体肉块，采用 TA-XT2i 型质构仪进行测定，每一样品平行测定 3 次，结果取平均值。

1.3.4.6 肌肉质构测定

将蒸煮后的肉样沿着垂直肌纤维的方向切成大小为 1.5 cm×1.5 cm×0.5 cm 的肉块并用 TA-XT2i 质构仪进行测定。以“二次压缩”模式进行质地剖面分析，每个处理的样品平行测定 5 次，结果取 5 次测定平均值。测定的四种质构特性参数分别为硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性。探头型号：P35；测前速率：2.00 mm/s；测试速率 2.00 mm/s；测后速率：10.00 mm/s；压缩变形率 40%；探头两次测定时间间隔：5.00 s；触发类型：自动。

1.3.5 劣质肉的判定

参考张文红等[8]的方法，疑似 PSE 肉的判定：仅从感官上判定(苍白，松软，渗水)；PSE 肉的判定：L*>50，pH_{24h}<5.6，滴水损失 $_{48h}$>5%；DFD 肉的判定：L* <42，pH_{24h}>6.0，滴水损失 $_{48h}$<5%；断骨率：胴体劈半后，观察腰椎骨和荐椎骨有无断裂和溅血。

1.3.6 数据分析

采用 SAS 9.2 进行方差分析，采用多重比较法进行显著性分析。所有试验数据结果均表示为“平均值±标准差”。采用 Origin 7.0 进行图形绘制。

2 结果与讨论

2.1 不同致晕方式对生猪血液应激指标的影响

血液应激指标测定结果如表 1 所示。电击晕和 CO_2 致晕对血液温度、血糖含量、促肾上腺皮质激素含量无显著影响（$p>0.05$），但是彼此间存在一定的差异。电击晕后生猪血液中的乳酸、皮质醇、乳酸脱氢酶及肌酸激酶含量比 CO_2 致晕后各指标的含量分别升高了 85.50 mg/dL、161.62 ng/mL、2828.36 U/L、192.71 U/L，差异显著（$p<0.05$），这表明电击晕方式使生猪处于癫痫状态的过程中，促使体内糖原代谢加快，迅速积累大量的乳酸。Nwe 等[9]认为动物受到应激刺激的大小主要表现在血浆皮质醇水平上，应激越大，皮质醇含量越高，这表明电击晕较 CO_2 致晕对生猪造成的应激大。在正常情况下，乳酸脱氢酶含量和肌酸激酶受细胞膜约束不易逃逸，只有当生猪受到应激刺激时心肌和骨骼肌组织遭到破坏，细胞膜通透性发生改变或细胞崩解时血清酶才会大量进入血液[10]。因此表 1 的结果说明电击晕使得骨骼肌等组织在宰杀过程中遭受较大的损伤。

表 1 不同致晕方式对生猪血液应激指标的影响

Table 1 Effect of stunning way on blood stress parameters

指标	电击晕	CO_2 致晕
血液温度 T/℃	38.60±0.35^a	38.20±0.18^a
血糖 GLU/(mmol/L)	8.06±0.89^a	9.40±0.92^a
乳酸 LAC/(mg/dL)	167.70±8.40^a	82.18±9.86^b
皮质醇 COR/(ng/mL)	285.50±65.4^a	123.88±11.37^b
促肾上腺皮质素 ACTH/(pg/mL)	40.63±9.18^a	44.09±4.53^a
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	1046.87±97.93^a	854.16±79.56^b
肌酸激酶 CK/(U/L)	9318.60±934.72^a	6490.24±842.82^b

注：表中每行不同字母表示数据间有显著性差异（$p<0.05$），字母相同表示差异不显著($p>0.05$)。

2.2 不同在轨时间对宰后腔体温度的影响

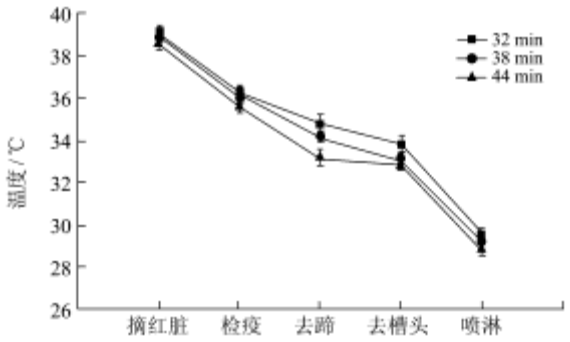


图 1 不同在轨时间条件对腔体内部温度的影响（电击晕）

Fig.1 Effect of orbit time on the temperature of cavity (electrical stunning)

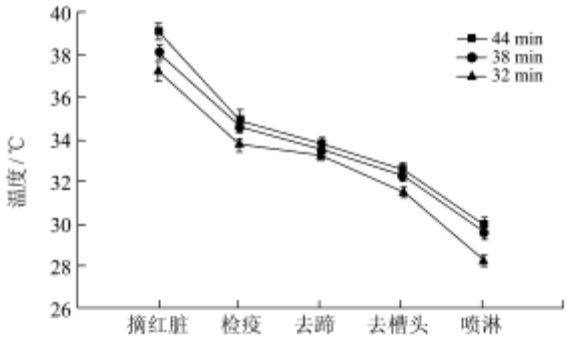


图 2 不同在轨时间对腔体内部温度的影响（CO_2致晕）

Fig.2 Effect of orbit time on the temperature of cavity (CO_2 stunning)

国外研究表明[11]，宰后 45 min 胴体温度处在较低

的水平对于提高保水性具有积极的作用。本试验测定了生猪宰后不同在轨时间（32~44 min）条件下腔体内部温度。由图 1 和图 2 可知，在同一种致晕条件下，不同在轨时间对生猪宰后腔体内部温度有显著影响（p＜0.05），延长在轨时间，腔体内部温度显著下降。当在轨时间由 32 min 延长至 44 min 时，电击晕和 CO_2 致晕方式下腔体温度（在喷淋后测定）分别降低了 0.74 ℃及 1.72 ℃。这表明在轨时间为 44 min 时，可能会对降低胴体预冷损耗起到积极的作用，这与图 3 的结果相吻合。

2.3 不同在轨时间对预冷损耗的影响

预冷损耗是由于胴体在冷却过程中肉体表面的蒸汽压与空气中水蒸汽压差而造成的。当胴体表面水汽压力大于空气水蒸汽压力时，胴体表面水分蒸发，造成预冷损失，从而影响企业经济效益。国外学者主要通过二段冷却、喷雾加湿、液氮浸泡等方法降低预冷损耗，并且取得了较好的效果[6]。本试验研究了在电击晕和 CO_2 致晕条件下，在轨时间对预冷损耗的影响。从图 3 可以看出，在同一击晕方式下，不同在轨时间对生猪宰后预冷损耗有显著影响（$p<0.05$），随着在轨时间的延长，预冷损耗逐渐降低。在轨时间为 44 min 时，电击晕和 CO_2 致晕的预冷损耗分别为 1.61%和 0.89%，差异显著（$p<0.05$），这说明采用 CO_2 致晕方式并延长在轨时间能够显著降低预冷损耗。原因可能是 CO_2 致晕对生猪应激较小，且随着在轨时间的延长，胴体表面和预冷库之间的温度差变小，减缓了肌肉收缩，有利于提高肌肉保水性，从而降低了胴体预冷损耗。

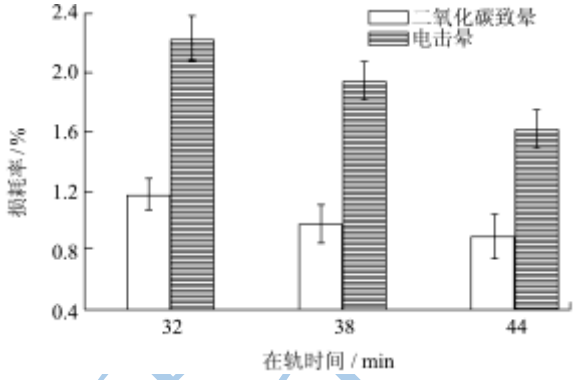


图 3 不同在轨时间对预冷损耗的影响

Fig.3 Effect of orbit time on the pre-cooling loss

2.4 不同致晕方式与在轨时间对宰后猪肉品质的影响

表 2 不同致晕方式及在轨时间对宰后猪肉品质的影响

Table 2 Effect of stunning ways and orbit time on pork quality

指标	电击晕			CO_2 致晕		
	32 min	38 min	44 min	32 min	38 min	44 min
pH_{1h}	5.98±0.14^a	5.90±0.15^a	5.86±0.11^a	6.49±0.11^a	6.30±0.13^a	6.31±0.14^a
pH_{24h}	5.33±0.07^a	5.42±0.08^a	5.43±0.05^a	5.60±0.15^a	5.54±0.09^a	5.58±0.12^a
T_1/℃	39.78±0.43^a	39.63±0.68^a	39.49±0.29^a	37.50±0.71^a	38.6±0.76^a	37.67±0.79^a
T_{24h}/℃	7.97±0.22^a	7.75±0.31^a	7.93±0.21^a	4.74±0.32^b	5.77±0.34^a	5.61±0.27^a
亮度值 L*	53.82±2.42^a	49.79±2.10^a	49.66±1.77^a	48.60±2.56^a	47.76±3.31^a	47.43±2.46^a
红度值 a*	5.79±0.84^b	5.84±0.70^b	6.35±0.67^a	4.61±0.57^b	5.55±0.66^b	7.55±0.58^a
黄度值 b*	5.15±0.85^a	4.60±0.56^a	5.42±0.42^a	4.54±0.32^a	5.24±0.72^a	5.04±0.69^a
滴水损失/%	4.78±0.47^a	4.97±0.40^a	4.60±0.25^a	3.86±0.51^a	3.82±0.26^a	3.22±0.26^b
蒸煮损失/%	39.79±0.98^a	32.44±1.52^b	32.27±0.95^b	36.70±1.10^a	33.30±0.72^b	29.90±1.57^c
硬度/kg	7.81±0.41^a	8.63±0.63^a	6.16±0.78^b	6.29±0.49^a	5.95±0.15^a	6.64±0.67^a
弹性	0.70±0.07^a	0.77±0.03^a	0.71±0.06^a	0.73±0.02^a	0.75±0.05^a	0.74±0.03^a
粘聚性	0.55±0.02^a	0.62±0.01^a	0.55±0.03^a	0.61±0.02^a	0.59±0.03^a	0.60±0.02^a
咀嚼性/kg	3.02±0.37^b	4.12±0.39^a	2.43±0.49^b	2.81±0.20^a	2.54±0.16^a	2.94±0.31^a
剪切力/kg	2.91±0.25^a	2.93±0.17^a	2.09±0.22^b	3.14±0.14^a	3.06±0.17^a	2.62±0.14^b

注：表中每行不同字母表示数据间有显著性差异（p＜0.05），字母相同表示差异不显著(p＞0.05)，同一致晕方式不同在轨时间进行显著性分析，pH_1和T_1分别指胴体在进入预冷库前的pH值和温度。

不同致晕方式和在轨时间对猪肉肉质的影响结果如表 2 所示。宰后肌肉 pH 值的下降速率和胴体温度对于肌肉保水性具有至关重要的作用。在同一致晕方式条件下，不同在轨时间对 pH_1、pH_{24h} 及 T_1、T_{24h} 无显著性影响（$p>0.05$）。不同致晕方式相比，电击晕的 pH_1 和 pH_{24h} 低于 CO_2 致晕，而 T_1 和 T_{24h} 值高于 CO_2

致晕。这表明电击晕加速了宰后胴体肌肉糖原代谢，导致 pH 值快速下降和胴体温度升高。

色泽是肌肉生物学、生物化学及生理学的表观特征，是肉类感官品质的重要指标。L*值反映肉样的亮度，亮度越大，肉色越白，有产生 PSE 肉的可能性；a*代表肉样的红度值，该值越高说明肉色越红润，肉样品质越好；b*值代表肉样黄度值，黄度值越大，肉样越不新鲜。由表 2 结果可知，两种致晕条件下，在轨时间对猪肉亮度值 L*及黄度值 b*影响均较小，而对红度值 a*影响较大。对于红肉而言，红度值 a*是表征肉样色泽的最重要指标，在电击晕和 CO_2 致晕条件下，猪肉红度值 a*均随在轨时间延长（由 32 min 延长至 44 min）分别增大了 0.56 和 2.94，说明采用 CO_2 致晕且在轨时间为 44 min 时能显著改善肉样色泽。

滴水损失和蒸煮损失是反映肉质保水性的重要指标。表 2 结果说明，在两种击晕方式处理下，随着在轨时间的延长，肉样滴水损失和蒸煮损失均呈下降趋势。在所有处理中，CO_2 致晕且在轨时间为 44 min 时，肉样滴水损失及蒸煮损失分别为 3.22%和 29.90%，均为最小值。因此，采用 CO_2 致晕结合适当的在轨时间能显著的改善猪肉的保水性。

国外学者通过TPA来评价不同品种猪肉蒸煮后的质构特性[12]。由表2结果可知，电击晕和CO_2致晕在不同在轨时间条件下的弹性及黏聚性均无显著性差异（$p>0.05$）。咀嚼性是硬度、弹性及黏聚性的综合体现，反映了猪肉从可咀嚼状态到可吞咽状态所需的能量，在一定范围内，其值越大说明肉样口感方面对应的“咬感”就越好[13]。结果显示电击晕条件下在轨时间为38 min和CO_2致晕条件下在轨时间为44 min时肉样咀嚼性较好。

肉的嫩度是消费者关注的重要品质指标之一，肌肉剪切力的大小可以反映肉的嫩度，二者呈现负相关关系[5]。从表 2 可以看出，电击晕方式下在轨时间为 44 min 的肉样剪切力显著低于在轨时间为 32 min 和 38 min 的剪切力（$p<0.05$）；CO_2 致晕方式下在轨时间为 44 min 的剪切力显著低于在轨时间为 32 min 和 38 min 的剪切力（$p<0.05$）。由此说明，电击晕且在轨时间为 44 min 和 CO_2 致晕且在轨时间为 44 min 处理的肉样肉质较嫩。

2.5 不同致晕方式及在轨时间对劣质肉发生率及断骨率的影响

劣质肉发生率和断骨率测定结果如表 3 所示。在 CO_2 致晕和电击晕条件下，随着在轨时间的延长，疑似 PSE 肉发生率和 PSE 发生率均逐渐降低，这说明延长在轨时间能够降低劣质肉的发生率。当在轨时间为 44 min 时，CO_2 致晕比电击晕条件下的疑似 PSE 肉发生率和 PSE 发生率降低了 8.30%及 4.47%，同时 CO_2 致晕条件下的断骨率比电击晕低 2.82%。其原因可能是电击晕对生猪产生的应激较大，容易使其发生抽搐，导致尾骨断裂，同时宰后糖酵解和肌肉痉挛所产生的强直热，使肌纤维发生收缩，肌浆蛋白凝固，肌肉保水性降低，游离水从肌细胞中渗出，从而使肌肉色泽变白（pale），质地松软（soft），切面多汁（exudative），导致 PSE 肉发生率增大。而 CO_2 致晕无外力刺激，因而减少了应激反应，显著地降低了断骨率和 PSE 肉发生率，改善了猪肉肉质。另外，CO_2 致晕方式和电击昏方式均没有产生 DFD 肉。Burton-Gade 等 [14]认为击晕方式对 DFD 肉的发生率影响甚微，与本研究结果一致。

表 3 劣质肉发生率及断骨率

Table 3 The incidence of inferior meat and bone fractures

指标/%	电击晕			CO_2 致晕		
	32 min	38 min	44 min	32 min	38 min	44 min
疑似 PSE 肉发生率	37.27±1.16^a	28.27±1.92^b	27.43±2.05^b	24.87±1.88^a	18.83±1.54^b	19.13±3.65^b
PSE 肉发生率	19.60±2.23^a	16.97±1.16^b	13.57±0.96^c	11.07±1.52^a	11.83±1.17^a	9.10±1.37^b
DFD 肉发生率	0	0	0	0	0	0
断骨率	2.82±0.22^a	2.82±0.22^a	2.82±0.22^a	0	0	0

注：表中每行不同字母表示数据间有显著性差异（p＜0.05），字母相同表示差异不显著（p＞0.05），同一致晕方式不同在轨时间进行显著性分析。

3 结论

综上所述，从血液指标和断骨率的结果来看，与电击晕相比，CO_2致晕后生猪血液中乳酸含量、皮质醇含量、肌酸激酶含量和乳酸脱氢酶含量分别降低了 85.50 mg/dL、161.62 ng/mL、2828.36 U/L、192.71 U/L，同时断骨率降低2.82%，由此可以得出CO_2致晕对生猪应激反应较小。进一步研究表明，采用CO_2致晕且在轨

时间为44 min时，预冷损耗最小（0.89%），同时红度值a*最大（7.55）且嫩度较高，滴水损失（3.22%）、蒸煮损失（29.90%）疑似PSE肉发生率（19.13%）及PSE肉发生率（9.10%）均为最低，所以在该条件下生产的猪肉品质较好。这既能满足消费者的需求，又能减少预冷损耗，从而在一定程度上可以提高了生猪屠宰企业的经济效益。

参考文献

[1] N G Gregory. Recent concerns about stunning and slaughter [J]. Meat Science, 2005, 70(3): 481-491

[2] Becerra Herrera M, Alonso Spilsbury M, Lemus Flores C, et al. CO_2 stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning [J]. Meat Science, 2009, 81: 233-237

[3] Ferguson D M, Warner R D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? [J]. Meat Science, 2008, 80(1): 12-19

[4] Fernandez X, Lahirigoyen E, Auvergne A, et al. The effects of stunning methods on product qualities in force-fed ducks and geese [J]. Carcass downgrading and meat quality, 2010, 4: 128-138

[5] 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,2013,4(29):272-277
ZHAO Hui, ZHEN Shao-bo, REN Fa-zheng, et al. Effects of lairage time and stunning on stress and the meat quality of pigs [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 4(29): 272-277

[6] 王伟锋,岳新叶.屠体预冷损耗控制概述[J].肉类研究, 2007, 4:33-34
WANG Wei-feng, YUE Xin-ye. The overview of carcass pre-cooling loss control [J]. Meat Research, 2007, 4: 33-34

[7] 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

[8] 张文红,彭增起,吉艳峰等.不同电击晕方式对猪肉品质的影响[J].肉类工业,2006,5:19-21
ZHANG Wen-hong, PENG Zeng-qi, JI Yan-feng, et al. Effect of different electrical stunning methods on pork quality [J]. Meat Industry, 2006, 5: 19-21

[9] Nwe T M, Hori E, Manda M, et al. Significance of catecholamines and cortisol levels in blood during transportation stress in goats [J]. Small Ruminant Research, 1996, 20(2): 129-135

[10] Markku H. Influence of porcine stress on blood composition and early postmortem meat quality in pigs of different halothane genotypes [J]. Meat Science, 1988, 24(1): 21-29

[11] 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

[12] Supaluk Sorapukdee, Chananya Kongtasorn, Soottawat Benjakul, et al. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion [J]. Food Chemistry, 2013, 138: 1892-1901

[13] Martinez O, Salmeron J, Guillen M D, et al. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings [J]. Food Control, 2004, 15(6): 457-461

[14] Barton-Gade,P. Effect of stunning on pork quality and welfare: Danish experience [J]. Proceedings of the Allen D. Leman Swine Conference, 1993, 20: 173-178