



食品科学

Food Science

ISSN 1002-6630, CN 11-2206/TS

《食品科学》网络首发论文

题目：电击晕处理对肉鸽应激及宰后鸽肉品质的影响
作者：张远红，董华发，李滢，林少梅，白卫东，肖更生，陈伟波，曾晓房
网络首发日期：2022-07-18
引用格式：张远红，董华发，李滢，林少梅，白卫东，肖更生，陈伟波，曾晓房. 电击晕处理对肉鸽应激及宰后鸽肉品质的影响[J/OL]. 食品科学. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220715.1340.066.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

电击晕处理对肉鸽应激及宰后鸽肉品质的影响

张远红^{1,2,3}, 董华发⁴, 李滢¹, 林少梅¹, 白卫东^{1,2,3}, 肖更生^{1,2,3}, 陈伟波⁵, 曾晓房^{1,2,3*}

(1. 仲恺农业工程学院农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 广东 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东 广州 510225; 3. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东 广州 510225; 4. 广东温氏佳味食品有限公司, 广东 云浮 510507; 5. 梅州市金绿现代农业发展有限公司, 广东 梅州, 514500)

摘要: 为探究电击晕处理对肉鸽屠宰应激和宰后鸽肉品质的影响, 本文选取相同饲养条件下日龄为 28 d 的肉鸽, 研究了不同击晕电压 (50-90 V) 对肉鸽应激反应和宰后胴体品质的影响。试验结果表明: 随着击晕电压的增大, 肉鸽血液中肌酸激酶 (CK)、乳酸脱氢酶 (LDH)、促肾上腺皮质激素 (ATCH) 和皮质酮激素 (CORT) 水平均有一定程度的下降, 在击晕电压 60-70 V 时总体达到最低水平; 电击晕处理对宰后鸽胸肉的 pH 值影响不显著, 亮度值 (L*) 略有降低而红度值 (a*) 增大, 60-70 V 电压处理时鸽肉的滴水损失、蒸煮损失及剪切力值均保持在最低水平, 此时鸽肉的保水性和嫩度最好。因此, 60-70 V 的电压击晕处理可有效降低肉鸽的宰前应激行为, 提升宰后鸽肉的食用品质, 有利于肉鸽的福利屠宰。

关键词: 肉鸽; 电击晕; 应激; 血液指标; 鸽肉品质

Effect of electrical stunning on slaughter stress and the meat quality of pigeons

ZHANG Yuanhong^{1,2,3}, DONG Huafa⁴, LI Ying¹, LIN Shaomei¹, BAI Weidong^{1,2,3}, XIAO Gengsheng^{1,2,3}, CHEN Weibo⁵, ZENG Xiaofang^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 4. Guangdong Wen's Delicious Food Co., LTD, Yunfu 510507, China; 5. Meizhou Golden Green Modern Agriculture Development Co. LTD, Meizhou 514500, China.)

基金项目: 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室 (2021B1212040013); 鸽产业发展关键技术与集成示范 (2020B0202080002)

第一作者简介: 张远红 (1989-) (ORCID:0000-0003-1623-4701), 女, 特聘副教授, 博士, 研究方向: 农副产品精深加工, E-mail: zyh5801307075@163.com

*通讯作者简介: 曾晓房 (1979-) (ORCID:0000-0002-9512-7009), 男, 教授, 博士, 研究方向: 肉品加工和质量控制, E-mail: 59592743@qq.com

Abstract: In order to investigate the effects of shock stun treatment on slaughter stress and carcass quality of meat pigeons, meat pigeons aged 28 days under the same feeding conditions were chose and subjected to different shock voltage varied from 50-90 V, and the blood biochemical indexes and meat quality indexes of slaughtered pigeons were determined. Results showed that the levels of creatine kinase (CK), lactate dehydrogenase (LDH), adrenocorticotrophic hormone (ATCH) and corticosterone (CORT) in the blood of pigeons after slaughter decreased with the increase of stunning voltage, and reached the lowest values at stunning voltage about 60-70 V. The pH value of pigeon breast after slaughter showed no significant difference with the increasing of stunning voltage, but the brightness value (L*) slightly decreased while the redness value (A*) increased. The drip loss, cooking loss and shear force values of pigeon breast maintained at the lowest level at stunning voltage about 60-70 V, suggesting the best water retention and tenderness of pigeon breast at this voltage. In conclusion, electrical stunning treatment at 60-70 V could effectively reduce the slaughter stress and improve the meat quality of pigeons after slaughter, which benefits for the welfare slaughter of meat pigeons.

Keywords: Pigeon; electrical stunning; slaughter stress; blood index; meat quality

中图分类号: TS251.4 文献标志码: A

DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20220419-236

随着经济的高速发展,近年来我国肉鸽业发展迅速,中国各地鸽场频繁新建或者扩建,种鸽存栏量持续上升^[1]。肉鸽业在产能和技术上走上规模化、产业化、集约化的道路。近年来,消费者对动物蛋白的消费需求的升级,人们对肉鸽产品的需求量与日俱增,大幅促进我国肉鸽的规模化养殖。目前肉鸽已经成为继鸡、鸭、鹅之后的第四大家禽类型。但随着养殖规模的逐渐加大,禽类屠宰方式问题逐渐暴露,主要原因是在肉鸽运输屠宰过程中,受到宰前环境不科学、不人道的屠宰方式等因素的影响,造成动物宰前恐惧,产生应激反应,从而降低肉制品质量,导致宰后肉色灰白,松软,渗出物较多等 Pale, soft and Exudative (PSE) 和 Dark, firm and dry (DFD) 肉的出现,造成一定经济损失。因此科学应用动物宰前福利技术可大幅度减少屠宰过程对肉质的影响,福利屠宰技术迫在眉睫^[2-4]。

宰前击晕是福利屠宰的手段之一,通过击晕使禽畜昏迷,降低其恐惧感,使其在没有知觉的情况下进行刺杀放血,有效地减缓机体应激反应,降低动物宰后 PSE 肉的发生率^[5-6]。目前,常见的宰前击晕包括电击晕、机械击晕和气体击晕三种方式。电击晕是目前使用最为广泛的一种致晕方式,电击晕处理时,电流通过动物脑部造成瞬时刺激导致昏厥^[7]。调查显示,高达 92% 的畜禽屠宰企业采用电击的方式使动物致晕^[8-9]。然而,电击参数如击晕电压的高低、电流和电击时间等对致晕效果和肉的品质有一定的影响。击晕电压过低会导致动物晕厥不彻底,引起更严重的应激反应从而增加 PES 肉的发生率;而击晕电压过高易导致动物心脏骤停,毛细血管破裂,引起胴体肌肉血斑,降低胴体品质

[10-13]。因此,选择合适的击晕电压尤为重要。近年来,国内外学者对电击晕参数对禽畜肉食用品质(色泽、pH值、保水性和嫩度等)的影响进行了大量的研究[14-18]。闫祥林等[14]研究了不同击晕电压(90 V、127 V和220 V)对新疆浪羊宰后品质的影响,发现127 V处理组羊肉持水力与嫩度最优,羊应激反应最小,肉质最好。Ali等[15]的研究发现,肉鸡的最合适击晕电压为53-63 V,此时肉鸡的出血量较大,食用品质较好。闵辉辉等[16]得出随着击晕电压(60-120 V)的升高,肉鸡食用品质指标如持水力、嫩度等并不会持续升高或降低,而是会出现一个“拐点”,采用“拐点”电压击晕肉鸡,其鸡胸肉的pH值下降速率最慢,持水性最佳。

然而针对电击晕处理对肉鸽屠宰应激和食用品质的影响,目前尚未有相关系统研究和成熟方案[19]。本研究以相同饲养条件下日龄为28 d的肉鸽为研究对象,采用0 V、50 V、60 V、70 V、80 V、90 V的电压对肉鸽进行电击晕处理,通过测定宰后肉鸽血液生化指标、肌肉指标、鸽胸肌肉中IMP(肌酐5'-磷酸)与ATP(三磷酸腺苷)的比值和剪切力等指标的变化情况,探究不同击晕电压对肉鸽应激反应和宰后鸽肉品质的影响,以期获得肉鸽福利屠宰最适的击晕电压,最大程度保障肉鸽宰后食用品质。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试剂

相同饲养条件下日龄为28 d的肉鸽,由广东省广州市良田鸽业有限公司提供;血浆皮质酮激素(CORT)试剂盒、促肾上腺皮质激素(ACTH)试剂盒、肌酸激酶(CK)试剂盒、乳酸脱氢酶(LDH)试剂盒及糖原测定试剂盒等均购自南京建成生物工程研究所。

1.2 主要仪器与设备

NS800 分光测色仪:深圳三恩驰科技有限公司;Testo205 便携式 pH 计:洪纪仪器设备有限公司;UV-1780 紫外可见光分光光度计:岛津仪器有限公司;TMS-PRO 质构仪:美国 FTC 公司;SUNRISE 酶标仪:帝肯贸易有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验方案

把待宰肉鸽运输至电击晕生产线上,悬挂在电击装置中,分别调整电压为50 V、60 V、70 V、80 V、90 V,击晕后割喉放血,电压0 V作为对照组,不经处理,直接割喉放血。

1.3.2 样品制备

肉鸽经割喉刺杀放血后,用肝素钠抗凝管收集血液,缓慢摇匀,于4℃环境下5000 r/min离心5

min, 分离血浆并分装于抗冻管中, 于-80 °C液氮中保存, 用于测定血液生化指标。肉鸽宰后经过脱毛、掏膛、冰水预冷等工序之后, 完整分离鸽胸肉, 取其中约 3 g 鸽胸肉于抗冻管中, 于-80 °C液氮中保存, 用于测定糖原等指标; 剩余部分分装于封口袋中, 置于 4 °C冰箱内, 用于测定鸽肉 pH 值、肉色、保水性等指标。

1.3.3 血液指标测定

血浆皮质酮激素 (CORT) 和促肾上腺皮质激素 (ACTH) 均采用酶联免疫双抗夹心试剂盒测定, 肌酸激酶 (CK) 和乳酸脱氢酶 (LDH) 均采用相应的试剂盒测定, 严格按照试剂盒的操作步骤进行测定。

1.3.4 肌肉 pH 值测定

肌肉 pH 值测定参考 Szerman 等^[20]试验方法稍作修改, 分别在宰后 1 h 与 24 h 测定, 将便携式 pH 计的探头插入鸽胸肉 1 cm 深处, 每个样品测量三次, 取平均值。

1.3.5 肉色测定

鸽胸肉肉色测定参考徐玉婷等^[21]采用便携式分光测色仪, 将分光测色仪自带的黑板与白板分别盖扣到测定区域进行校正, 宰后鸽胸肉在 4 °C下保存, 分别保存 1 h 和宰后 24 h 后将肉样放入测定区域盖上密封盖进行肉色测定, 测定其亮度 (L*)、红度 (a*)、黄度 (b*), 每个肉样平行测量三次, 取平均值。

1.3.6 滴水损失测定

滴水损失的测定综合朱学申^[22]和徐玉婷^[23]的试验方法略作修, 把鸽胸肉置于 4 °C冰箱 24 h 后, 去除表面的脂肪与肌膜, 切成 1 cm × 1 cm × 3 cm 的长方体形状, 准确称重, 记录 M₁; 把铁丝制作成“M”型, 用铁丝穿过肉块, 悬挂在纸杯中, 防止其触碰纸杯内壁, 用封口袋密封纸杯, 置于 4 °C冰箱内, 24 h 后取出准确称取其重量, 记录 M₂。滴水损失率按下式计算:

$$\text{滴水损失率}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

式中: M₁ 为肉样初始质量, g; M₂ 为肉样悬挂后的质量, g。

1.3.7 蒸煮损失测定

蒸煮损失测定参考徐玉婷^[23]的方法稍作修改。鸽胸肉置于 4 °C冰箱内, 24 h 后去除表面的脂肪与肌膜, 切成 3 cm × 3 cm × 1 cm 的形状, 于分析天平中准确称重, 记录 N₁, 密封在封口袋中, 80 °C水浴加热至鸽胸肉中心温度为 75 °C, 流水冷却后用吸水纸把肉表面擦干, 准确称重, 记录 N₂。蒸煮损失率按下式计算:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100$$

式中： N_1 为蒸煮前肉样初始质量，g； N_2 为蒸煮后肉样质量，g。

1.3.8 鸽胸肉糖原测定

使用肌糖原测定试剂盒测定鸽胸肉的糖原含量，测定方法严格按照试剂盒说明书操作，其具体操作过程如下：用分析天平称取鸽胸肉 85 mg，加入试剂盒中的浓碱 255 μ L，于沸水浴中水解 20 min，流水冷却后加入 1.36 mL 双蒸水制备成 5%肌糖原溶液。空白管加 1.0 mL 双蒸水；对照管加 1.0 mL 葡萄糖标准溶液；测定管中加入 0.1 mL 5%肌糖原溶液和 0.9 mL 双蒸水；随后加入 2.0 mL 显色液，轻轻震荡，沸水浴 5 min，冷却后使用分光光度计于 620 nm 波长测定其吸光值（A）。

1.3.9 鸽胸肉剪切力测定

鸽胸肉剪切力的测定参照徐玉婷^[23]的试验方法略作修改。取经过蒸煮损失测定后的肉样，用自封袋密封，置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱 24 h，测定剪切力前用刀沿肌纤维走向垂直方向修整成长 \times 宽 \times 厚为 2cm \times 2cm \times 1 cm 的肉块。使用质构仪测定其剪切力，感应元为 1000 N，测试速度 1 mm/s，位移 30 mm，触发力 5.0 g，探头型号：FTC Heavy Blade Set 标准直板探头，垂直肌肉条纹进行剪切。每个样品测定 5~6 次，记录并计算平均值。

1.3.10 鸽胸肉 R 值的测定

R 值的测定参考 Skladanowska-Baryza 等^[24]的试验方法上略作修改，取 1 g 于液氮中保存的肉样，在 5 mL 的 1 mol/L 高氯酸中匀浆提取 30 s，转速为 15000 r/min，匀浆通过滤纸过滤，取 0.1 mL 滤液与 4.9 ml 的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液（pH=7.0）混合，轻轻震荡摇匀。随后分别于 250 nm 和 260 nm 波长下测定其吸光值（A）。

$$R \text{ 值} = \frac{A_{250}}{A_{260}}$$

1.3.11 数据处理

以上所有实验均重复，每个数据至少平行测定 3 次，试验数据使用 SPSS 20.0 软件分析，对试验数据进行方差分析以及 Duncan's 多重比较，以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同电压击晕对肉鸽血液应激指标的影响

血液生化指标变化是动物对外界应激程度的直接反映，包括促肾上腺皮质激素（ATCH）、皮质酮激素（CORT）、肌酸激酶（CK）和乳酸脱氢酶（LDH）。动物受到外界应激时，下丘脑-垂体前叶-肾上腺活动增强，引起机体神经内分泌系统快速应答，表现为动物血液中 ATCH 和 CORT 浓

度的上升。应激程度越大, ATCH 和 CORT 浓度越高^[25]。CK 和 LDH 作为细胞内酶存在于动物肌肉组织中, 当动物剧烈运动、肌肉损伤或疲劳时, 这些酶系才由细胞内渗透到细胞外, 使得胞外 CK 和 LDH 活力上升^[26]。由表 1 可知, 电击组的 CK 活力与对照组相比显著降低 ($P<0.05$), 击晕电压对 CK 活力影响不显著 ($P>0.05$); 当击晕电压为 50V 时, 血液中 LDH 活力与对照组差异不显著 ($P>0.05$), 击晕电压增大到 60 V 时, LDH 活力显著降低 ($P<0.05$), 电压进一步增大 LDH 活力差异不显著 ($P>0.05$); ATCH 浓度随着电压的施加也有降低的趋势, 击晕电晕为 60 V 时, ACTH 浓度最低; 随着电压的增大, CORT 浓度呈现先下降后上升的趋势, 当击晕电压超过 70 V 时, 血液指标中 CORT 又显著升高, 说明 70 V 以上的电击处理, 肉鸽的应激程度有一定的升高。以上结果表明, 60-70 V 的击晕电压处理可以显著降低肉鸽的宰前应激反应, 随着电压的进一步增大, 肉鸽应激反应有一定程度的增加。

表 1 击晕电压对肉鸽血液应激指标的影响

Table 1 Influence of stunning voltage on blood parameters of pigeon

击晕电压 (V)	CK (U/mL)	ACTH (ng/L)	CORT (ng/L)	LDH (U/L)
0	2.53±0.61 ^a	25.68±4.46 ^a	26.17±4.30 ^b	1486.78±109.51 ^a
50	2.34±0.52 ^{ab}	20.13±3.68 ^{ab}	21.75±3.64 ^c	1537.26±90.31 ^a
60	2.05±0.51 ^b	18.07±3.75 ^b	22.17±4.41 ^c	1126.92±122.60 ^b
70	2.14±0.41 ^{ab}	20.47±3.38 ^{ab}	22.91±5.32 ^c	1167.07±45.79 ^b
80	1.95±0.47 ^b	21.71±3.80 ^{ab}	32.11±5.36 ^{ab}	1131.81±82.92 ^b
90	1.97±0.61 ^b	23.10±1.53 ^a	39.77±6.80 ^a	1164.26±102.02 ^b

注: 列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

2.2 不同电压击晕对肉鸽肌肉指标的影响

2.2.1 不同电压击晕对宰后鸽胸肉 pH 值的影响

肉品 pH 值可以反映动物宰后体内肌糖原的酵解速率, 应激时动物体内肌糖原酵解为乳酸, pH 值下降^[12]。宰后动物肌肉 pH 值下降速度和程度会影响肌肉蛋白的特性进而影响肌肉品质^[27]。不同击晕电压对宰后鸽胸肉 pH 值的影响如图 1 所示。在宰后 1 h, 90 V 电压击晕处理的鸽肉 pH 值略低于其他处理组, 而其他电压处理组差异不显著 ($P>0.05$); 宰后 24 h, 击晕处理组与未处理组 pH 值差异不显著 ($P>0.05$), 60 V 和 70 V 击晕处理后的 pH 值略低于其他组, 这与赵慧等^[8]和胥蕾等^[13]研究发现电击晕处理对宰后肌肉 pH 变化不显著的结果类似, 说明电击晕处理对宰后肌肉糖酵解速率影响并不显著。肉鸽宰后 1 h 和 24 h 的 pH 值变化不显著, 稍有下降, 说明肉鸽宰后 1 h 内 pH 下降较快, 1 至

24 h 内 pH 下降速度较慢，糖原酵解主要发生在肉鸽宰后较短时间内。

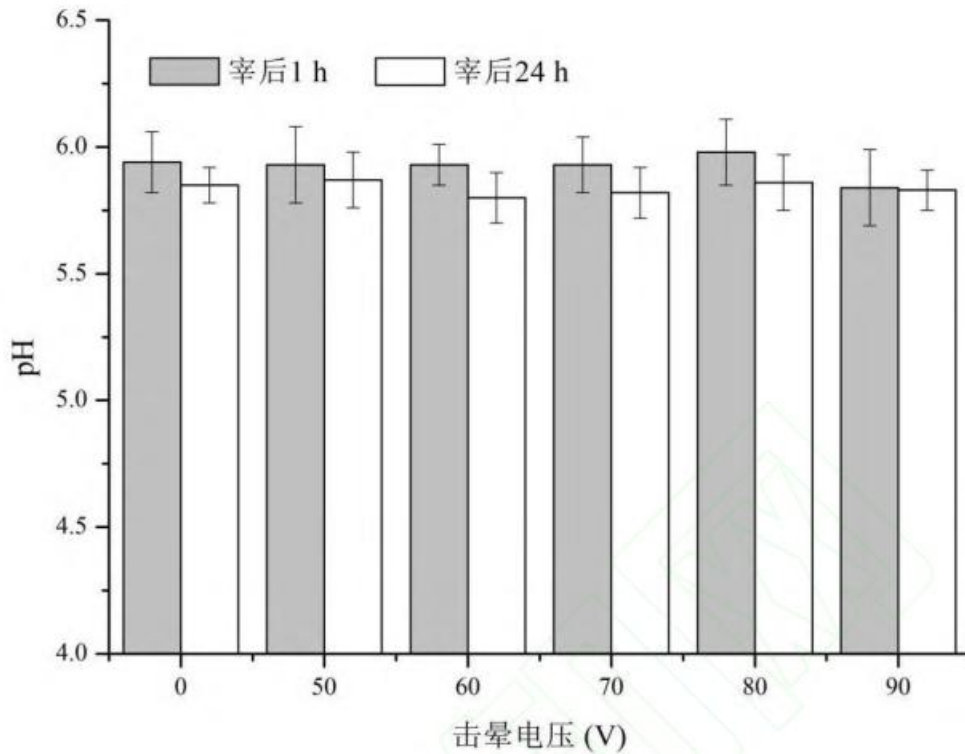


图 1 击晕电压对宰后鸽胸肉 pH 值的影响

Fig. 1 Influence of stunning voltage on the pH value of pigeon breast meat

2.2.2 不同电压击晕对宰后鸽胸肉肉色的影响

肉色是禽畜宰后肉质外观评定的重要指标，该指标直接影响着消费者的购买欲望。不同电压击晕处理对宰后鸽胸肉亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*) 的影响如表 2 所示。当击晕电压为 50 V 时，鸽胸肉的 L^*_{1h} 和 L^*_{24h} 均显著低于对照组 ($P<0.05$)；当击晕电压为 70V 时，其 a^*_{1h} 显著低于其它试验组 ($P<0.05$)；而经过电击处理的肉鸽，其 a^*_{24h} 均显著高于对照组 ($P<0.05$)，且组间差异不显著 ($P>0.05$)；电击处理试验组鸽胸肉的 b^*_{1h} 显著低于对照组 ($P<0.05$)；而当击晕电压为 60 V 时， b^*_{24h} 显著低于其它试验组 ($P<0.05$)。说明经过电击处理，鸽胸肉的 a^* 值增大， L^* 值减小，可能的原因是经过电击处理，由于肌肉的收缩，从而使得肌肉的状态相对紧密，在一定程度上提高了肌肉的系水力，而肌红蛋白是一种亲水性的蛋白，置于低温环境中，使得肌红蛋白呈现紫红色，因此亮度下降而红度上升，这与李小珍等^[28]的研究结果类似。

表 2 击晕电压对宰后鸽胸肉肉色的影响

Table 2 Influence of stunning voltage on the color of pigeon breast meat

击晕电压 (V)	L^*_{1h}	L^*_{24h}	a^*_{1h}	a^*_{24h}	b^*_{1h}	b^*_{24h}
0	34.12±1.59 ^a	35.81±2.01 ^a	13.07±1.54 ^b	12.17±1.55 ^a	13.76±1.19 ^a	14.40±1.71 ^{ab}
50	30.67±2.37 ^b	32.87±3.28 ^b	13.19±2.18 ^b	15.16±2.10 ^b	12.53±1.75 ^{ab}	15.19±2.18 ^a

60	32.86±2.98 ^{ab}	32.56±3.63 ^b	13.60±1.61 ^b	14.96±2.76 ^b	12.58±1.30 ^{ab}	13.12±2.08 ^b
70	33.73±3.03 ^a	34.93±3.02 ^a	11.46±2.51 ^c	14.46±1.22 ^b	12.53±2.33 ^{ab}	15.24±2.12 ^a
80	32.88±2.48 ^{ab}	33.60±2.71 ^{ab}	14.57±2.50 ^a	15.21±1.75 ^b	13.12±2.18 ^{ab}	14.46±2.35 ^{ab}
90	32.66±3.11 ^{ab}	33.67±3.28 ^{ab}	13.46±2.48 ^b	14.38±1.46 ^b	11.88±2.24 ^b	13.92±2.36 ^{ab}

注：列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

2.2.3 不同电压击晕对鸽胸肉保水性的影响

汁液损失是肌肉品质的重要指标，间接反映肌肉的保水性。表 3 显示击晕电压对鸽胸肉汁液损失的。当击晕电压为 50 V 时，鸽胸肉的滴水损失与对照组差异不显著 ($P>0.05$)；当电压增大到 60 V 时，鸽胸肉的滴水损失显著降低 ($P<0.05$)，进一步增大电压差异不显著 ($P>0.05$)；当击晕电压为 70 V 时，鸽胸肉的蒸煮损失显著低于其它试验组 ($P<0.05$)，而当电压达到 80 V 和 90 V 时，蒸煮损失显著增大 ($P<0.05$)，这可能是由于电流经过肌肉时，肌肉蛋白发生一定程度上的变性，而当肌肉的中心温度达到 75 °C 时，蛋白质对水的束缚力降低，从而导致蒸煮损失增大^[29]。上述结果表明经过电击处理，鸽胸肉的保水性得到改善，其中 70 V 处理组的保水性较其他电压处理组处于较好的水平。

表 3 击晕电压对鸽胸肉保水性的影响

Table 3 Influence of stunning voltage on water retention of pigeon breast meat

击晕电压 (V)	滴水损失 (%)	蒸煮损失 (%)
0	3.11±0.53 ^a	22.50±2.63 ^b
50	3.02±0.37 ^a	20.66±2.63 ^{bc}
60	2.25±0.50 ^b	23.09±2.38 ^b
70	2.57±0.29 ^b	19.94±4.15 ^c
80	2.15±0.67 ^b	26.02±3.03 ^a
90	2.38±0.82 ^b	26.88±3.80 ^a

注：列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

2.2.4 不同电压击晕对鸽胸肉 R 值和剪切力的影响

肌肉中的 R 值是 IMP (肌苷酸) 与 ATP 的比值，主要反映肌肉中 ATP 降解速率的重要指标^[30,31]。剪切力值是肌肉嫩度的反映指标，剪切力越大，肌肉嫩度越差^[32]。不同电压击晕对鸽胸肉 R 值和剪切力的影响如表 4 所示。动物应激时会加速体内 ATP 转化成 ADP，ADP 在磷酸激酶的作用下水解成 AMP 并最终脱氨形成 IMP。因此，IMP 与 ATP 的比值 (R 值) 一定程度上反映动物的应激程度。

表 4 不同电压击晕对鸽胸肉 R 值和剪切力的影响

Table 4 Influence of stunning voltage on R value and shear stress of pigeon breast meat

击晕电压 (V)	R 值	剪切力 (N)
0	1.28±0.10 ^a	107.04±30.42 ^a
50	1.19±0.09 ^b	90.28±30.82 ^{ab}
60	1.25±0.03 ^{ab28}	80.51±21.04 ^b
70	1.22±0.14 ^{ab}	86.62±18.25 ^b

80	1.25±0.03 ^{ab}	92.69±15.7 ^{ab}
90	1.26±0.03 ^{ab}	101.99±15.48 ^a

注：列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

本实验中，击晕电压为 50V 时，鸽胸肉的 R 值显著低于其它试验组 ($P < 0.05$)，其它电压处理下则无显著差异 ($P > 0.05$)，这与张舒翔等^[33]的研究结果类似。鸽胸肉的剪切力则随着击晕电压的增加先减小后增加，在电压 60 V 和 70 V 时剪切力最小，说明此时肌肉的嫩度最大。上述结果表明一定的电压击晕处理有利于降低肉鸽宰前应激程度并提高宰后鸽肉的嫩度，其中 60-70 V 的电击晕处理对鸽肉嫩度的改善效果最佳，可能的原因是在电击过程中，肌肉细胞膜因为电刺激作用而发生变性，导致细胞内的钙蛋白酶流出，加快了后熟过程中肌原纤维蛋白的降解，因此在经过蒸煮以后，肌肉的剪切力减小，从而使肌肉嫩度改善^[32,34]。

3 结论

通过以上实验可知道，随着击晕电压的增大，肉鸽血液中 CK、LDH、ACTH 和 CORT 活力均有一定程度的下降，在电压 60-70 V 时活性最低；电击晕处理对宰后鸽肉 pH 值影响不显著，L*值略有降低而 a*值显著增大；肌肉的滴水损失与蒸煮损失在 60-70 V 电击晕处理时处于较低水平，保水性显著提高，此时鸽胸肉的剪切力值最低，鸽肉嫩度最好。因此，60-70 V 击晕电压处理可有效降低肉鸽屠宰时的应激反应并提升宰后鸽肉的品质。

参考文献：

- [1] 刘旭芳, 李华. 中国肉鸽产业发展现状与前景[J]. 农业展望, 2021, 17(6): 57-60.
- [2] HOSSEINI E, SATTARI R, ARIAEENEJAD S, et al. The impact of slaughtering methods on physicochemical characterization of sheep myoglobin[J]. Journal of the Iranian Chemical Society, 2018, 16(2): 315-324. DOI:10.1007/s13738-018-1509-6.
- [3] 曲道峰, 周旭, 林湛椰, 等. 宰前应激对生猪血液生理生化指标和 PSE 肉的影响研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(7): 62-66. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201707011.
- [4] 刘泽超, 罗欣, 张一敏, 等. 宰后成熟对生鲜肉品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 202-212. DOI:11.2206.TS.20201203.0940.004.
- [5] 程莲, 郭春华, 张正帆. 屠宰前不同处理方式对羊肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(13): 198-202. DOI:CNKI:SUN:SPYK.0.2020-13-036.

- [6] EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare (AHAW), MORE S, BICOUT D, et al. Guidance on the assessment criteria for applications for new or modified stunning methods regarding animal protection at the time of killing[J]. *EFSA Journal*, 2018, 16(7): e05343. DOI:10.2903/j.efsa.2018.5343.
- [7] 黄继超, 王鹏, 徐幸莲, 张岩, 等. 肉鸡宰前击晕研究进展[J]. *食品科学*, 2013, 456(11): 344-347. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201311072.
- [8] 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.
- [9] 王晓香, 李兴艳, 张丹, 等. 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[J]. *食品科学*, 2014, 35(15): 321-325. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201415063.
- [10] 姜喃喃, 王鹏, 邢通, 等. 宰前与宰杀因素对禽肉品质的影响研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(3): 240-244. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201503046.
- [11] 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影响研究进展[J]. *肉类研究*, 2021, 35(4): 64-70. DOI:10.7506/rlj1001-8123-20210305-055.
- [12] 付晓燕, 熊光权, 吴文锦, 等. 电击晕对肉鸭屠宰品质的影响[J]. *食品科技*, 2015, 40(7): 142-145. DOI:CNKI:SUN:SSPJ.0.2015-07-033.
- [13] 胥蕾, 张海军, 王志跃. 家禽宰前致晕的进展: II致晕方法[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(4): 120-126. DOI:10.19556/j.0258-7033.2017-04-120.
- [14] 闫祥林, 任晓镭, 刘瑞, 等. 不同屠宰方式对新疆多浪羊肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(17): 73-78. DOI:CNKI:SUN:SPKX.0.2018-17-012.
- [15] 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 chickens[J]. *Archiv Fur Geflugelkunde*, 2007, 71(1): 35-40.
- [16] 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. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2010.10.035.
- [17] 王稳航, 徐倩倩, 刘婷, 等. 不同电压击晕对獭兔生理信号及宰后兔肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(1): 58-62. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.01.003.
- [18] 孟庆阳, 王继鹏, 孟少华, 等. 深度击晕对猪肉品质的影响[J]. *肉类工业*, 2016(2): 35-38. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2016.02.010.
- [19] 董华发, 徐玉婷, 曾晓房, 等. 肉鸽福利屠宰研究进展[J]. *中国家禽*, 2018, 40(17): 45-48. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2018.17.010.
- [20] SZRMAN N, RAO W L, LI X, et al. Effects of the application of dense phase carbon dioxide treatments on technological parameters,

- physicochemical and textural properties and microbiological quality of lamb sausages[J]. Food Engineering Reviews, 2015, 7(2): 241-249. DOI:10.1007/s12393-014-9092-9.
- [21] 徐玉婷, 陈慧玲, 黄建恒, 等. 鸽肉肉色测定方法研究[J]. 食品科技, 2019, 44(1): 326-329. DOI:CNKI:SUN:SSPJ.0.2019-01-059.
- [22] 朱学中. 家禽"类PSE肉"的品质特性及其改善因素研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011:24. DOI:10.7666/d.Y2039001.
- [23] 徐玉婷. 鸽肉食用品质测定方法研究[D]. 仲恺农业工程学院, 2018: 33. DOI:10.27700/d.cnki.gzcnny.2018.000089.
- [24] SKLADANOWSKA-BARYZA J, LUDWICZAK A, PRUSZYNSKA-OSZMAEK E, et al. Effect of two different stunning methods on the quality traits of rabbit meat[J]. Animals, 2020, 10(4): 700-712. DOI:10.3390/ani10040700.
- [25] ZHENG W, LIU B, HU W, et al. Effects of transport stress on pathological injury and main heat shock protein expression in the respiratory system of goats[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2021, 105(1): 1-13. DOI:10.1111/jpn.13430.
- [26] SABOW A B, ADEYEMI K D, IDRUS Z, et al. Carcase characteristics and meat quality assessments in goats subjected to slaughter without stunning and slaughter following different methods of electrical stunning[J]. Italian Journal of Animal Science, 2017, 16(3): 416-430. DOI:10.1080/1828051X.2017.1291287.
- [27] 闵辉辉, 孙京新, 徐幸莲, 等. 不同电压击昏鸡肉微观结构及理化特性研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 77-83. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.01.011.
- [28] 李小珍, 王建强, 雒林通, 等. 生猪屠宰中击昏电压对猪肉品质的影响[J]. 中国动物检疫, 2016, 33(8): 35-38. DOI:10.3969/j.issn.1005-944X.2016.08.009.
- [29] MOHAN R A B, GREY T C, Audsely A R, et al. Effect of electrical and gaseous stunning on the carcass and meat quality of broilers[J]. British Poultry Science, 1990, 31(4): 725-733. DOI:10.1080/00071669008417303.
- [30] DANSO A S, RICHARDSON R I, KHALID R. Assessment of the meat quality of lamb *M. longissimus thoracis et lumborum* and *M. triceps brachii* following three different Halal slaughter procedures[J]. Meat Science, 2017, 127: 6-12. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.12.014.
- [31] 于宙, 胡庆国, 李新林, 等. 低压高频电击晕对宰后黄羽鸡鸡肉品质影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 146-151. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020040264.
- [32] 王晓政, 王莉梅, 张园园, 等. 屠宰方式对肉羊血液生化指标、肌肉应激及食用品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022: 1-9. DOI:10.19556/j.0258-7033.20211118-01.
- [33] 张舒翔, 康大成, 张丽丽, 等. 运输时间对扬州鹅应激程度和肉品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(6): 66-72. DOI:10.3969/j.issn.2095-6002.2018.06.010.
- [34] 杨致昊, 刘畅, 窦露, 等. 苏尼特羊宰后成熟过程中 AMPK 活性、糖酵解与肉品质指标的变化分析[J]. 食品科学, 2021:1-10. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20210426-377.