

张舒翔,刘 瑞,康大成,等. 静养时间对扬州鹅应激后肉品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):183-187.

doi:10. 15889/j. issn. 1002-1302. 2019. 19. 044

静养时间对扬州鹅应激后肉品质的影响

张舒翔,刘 瑞,康大成,张丽丽,周光宏,张万刚

(南京农业大学食品科技学院/江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心/肉品加工与质量控制教育部重点实验室,江苏南京 210095)

摘要:为研究宰前静养时间对扬州鹅应激后肉品质的影响,将 30 羽扬州鹅随机分为 5 组,每组 6 羽,运输 2 h 后静养,时间分组设置为 0、3、6、9、12 h,其中 0 h 为对照组。结果显示,与对照组相比,静养 6~9 h 鹅肉的 L^* 值显著降低 ($P<0.05$),静养后 a^* 值显著增大 ($P<0.05$), b^* 值显著降低 ($P<0.05$),静养 9~12 h 时, pH 值显著增大 ($P<0.05$),静养 9 h 时贮藏损失、蒸煮损失和剪切力显著降低 ($P<0.05$);静养 3、9、12 h 时血液中促肾上腺皮质激素和皮质酮水平显著下降 ($P<0.05$),静养后血糖含量显著降低 ($P<0.05$),静养 6、12 h 时乳酸含量显著降低 ($P<0.05$),12 h 时肌酸激酶和乳酸脱氢酶后酶活显著下降 ($P<0.05$);能量代谢方面,静养 6~12 h 时肌肉中乳酸含量下降明显 ($P<0.05$),静养 6~9 h 时丙酮酸激酶和己糖激酶活性显著下降 ($P<0.05$),静养 9~12 h 时 ATP 含量显著上升 ($P<0.05$),静养 9 h 时 ADP 和 AMP 含量显著上升 ($P<0.05$),静养 12 h 时 IMP 含量显著降低 ($P<0.05$)。综上所述,9 h 宰前静养处理可有效缓解应激,改善肉品质。

关键词:扬州鹅;静养时间;应激;能量代谢;肉品质

中图分类号: S835.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)19-0183-05

我国是传统养鹅大国,鹅肉产量已达世界总产量的 90% 以上。扬州鹅是我国利用国内鹅种资源培育的第一个新品种,具有肉质鲜美、加工成品率高和适口性好等特点。相比于其他禽肉,鹅肉含有丰富的维生素和多种不饱和脂肪酸,肉品质更加优良^[1]。

研究表明,由运输造成的肉鸡死亡率在 0.5%~3.0%^[2],胴体损伤率甚至高达 25%,造成经济损失较大。目前,国内外关于动物宰前管理的研究已较为成熟,但多局限于猪、牛、羊、鸡等,关于鹅的宰前管理研究鲜有报道。相比其他家畜,鹅体型较小,可能更易受运输应激影响,造成肉品质下降。因此如何缓解运输应激,使鹅肉品质得到最大限度的保持以降低经济损失,已成为企业急需解决的生产难题。

动物应激后,分泌大量激素类物质进入体液和血液,此时立即屠宰易致激素类物质滞留体内,造成宰后无氧酵解反应加剧^[3],积累大量乳酸,从而导致宰后肌肉颜色苍白、质地松软、汁液流失严重^[4]。而宰前静养可缓解应激,降低激素类物质在机体内的含量^[5],降解机体内产生的乳酸,减弱糖酵解反应,从而减少宰后肌肉中乳酸的生成量,有利于肉的成熟,改善肌肉品质^[6]。影响宰前静养的因素有很多,包括时间、温度、湿度等,其中静养时间的长短被认为是主要影响因素^[7-8]。因此,本研究以扬州鹅为研究对象,从糖酵解途径角度出发,通过控制静养时间来探究其对机体应激后肉品质的影响,寻求最佳静养时间,从而为企业制定扬州鹅宰前静养及

管理方案提供数据支撑和理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选用 78 日龄扬州鹅 30 羽。促肾上腺皮质激素(adrenocorticotrophic hormone, ACTH)、皮质酮激素(corticosterone, CORT)试剂盒,购自赫澎(上海)生物科技有限公司;葡萄糖(glucose, GLU)、乳酸(lactic acid, LD)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)、丙酮酸激酶(pyruvate kinase, PK)和己糖激酶(hexokinase, HK)试剂盒,购自南京建成生物工程有限公司;碘乙酸钠(Sodium iodoacetate),购自南京巨优科学器材有限公司;5'-三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)钠盐标准品(纯度 99%)、5'-二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP)钠盐标准品、5'-一磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP)钠盐标准品和肌苷酸(inosine, inosine monophosphate, IMP),购自 Sigma 公司;0.22 μm 过滤器,购自 Millipore 公司。

1.2 仪器与设备

肝素钠一次性真空采血管,购于江苏宇力医疗器械有限公司;C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪,东北农业大学工程学院;M2e 多功能酶标仪,购于德国 MD 公司;FE20 台式 pH 计,购于瑞士 Mettler Toledo 公司;CR-400 便携式色差仪,购于日本 Konica Minolta 公司;BertinPrecellys Evolution 生物样品均质器,购于法国 Bertin Technologies 公司;Waters 2695 型 HPLC 仪,购于美国 Waters 公司;Agilent1100 色谱仪,购于安捷伦科技有限公司。

1.3 试验方案

30 羽扬州鹅随机分为 5 个处理组,运输时间为 2 h,静养时间分别为 0、3、6、9、12 h,其中 0 h 为对照组,每个处理组 6 羽鹅。

收稿日期:2018-06-19

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1007]。

作者简介:张舒翔(1993—),男,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事肉品质量安全控制研究。E-mail:2016808115@njau.edu.cn。

通信作者:张万刚,博士,教授,主要从事肉品质量安全控制研究。

E-mail:wangang.zhang@njau.edu.cn。

试验时间:2017 年 5 月 9—10 日,试验地点:江苏省扬州市高邮市送桥镇五里桥天歌鹅业发展有限公司。

运输条件:用尼龙绳将鹅脚掌紧缚在一起,随机摆放在运输车(3.95 m×1.8 m×1.64 m)中,密度为 0.24 m²/羽;运输车采用小型有蓬货车,平均车速 45 km/h。运输前 12 h 禁食,不禁水,运输全程禁食禁水。

静养条件:货车到达屠宰场后,对照组立即宰杀取样,其余处理组安置在通风良好、温度 18 ℃、湿度 78% 的鹅舍进行宰前静养,3 羽/m² 鹅,鹅脚掌不再紧缚,禁食不禁水。

宰杀流程:电击晕(10 V、800 Hz,倒挂头部浸水击晕)→颈动脉取血→放血→胴体热烫(60~62 ℃)退毛→剥离胸肌肉。

1.4 样品制备

1.4.1 血液样品 鹅电击晕后,用采血针从颈动脉收集 10 mL 血液于肝素钠抗凝管中,立即颠倒 180°,混匀 5~8 次,在 3 500 r/min 离心 5 min,取上清液分装于 2 mL 试管,并-80 ℃ 保存待测^[9]。

1.4.2 肌肉样品 第 1 次热烫褪毛后,在 15 min 内完整剥离左右 2 块胸大肌,其右侧胸肌用于测定宰后 15 min 的肌肉 pH 值、肉色,然后真空包装于 4 ℃ 保存 24 h 后,测定肌肉保水性和嫩度,左侧胸肌于-80 ℃ 保存,用于测定能量代谢。

1.5 血液指标测定

ACTH 和 CORT 含量用酶联免疫双抗夹心试剂盒测定;GLU、LD 含量与 LDH、CK 活力用试剂盒测定。所有操作均依据试剂盒说明书进行。

1.6 肌肉指标测定

1.6.1 肉色(L^* 、 a^* 、 b^*) 将样品放置平整,用手术刀横切出平整切面,于空气中暴露 10 min。选取肉色较为均匀的平整切面,用校准后的色差仪测定胸肉色泽,记录亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 。每个样品选取等距离的 3 个点进行测定,以其平均值作为肉色的测定结果^[10]。

1.6.2 肌肉 pH 值 称取 1 g 样品,加入 9 mL 预冷匀浆缓冲液(5 mmol/L 碘乙酸钠,150 mmol/L 氯化钾,pH 值为 7),8 000 r/min 匀浆 2×15 s,间隔 5 s,将已校准的 pH 计插入匀浆液测定 pH 值^[11]。

1.6.3 贮藏损失 将右侧胸肌边缘部分切去,剔除表面可见的筋膜、脂肪等组织并修整至形状规则(10 cm×5 cm×1.5 cm)质量约 90 g 的肉样,称质量(m_1),真空包装后,4 ℃ 储藏 24 h 后取出样品,用吸水纸擦去样品表面渗出的水分,重新称质量(m_2)。贮藏损失(purge loss)=(m_1-m_2)/ m_1 ×100%。

1.6.4 蒸煮损失 将测定贮藏损失后的肉样重新修整至形状规则(8 cm×4 cm×1.5 cm),质量约 80 g 的待测样品,准确称质量后(m_1)密封在自封袋中,置于 75 ℃ 水浴中,当中心温度达到 72 ℃ 时取出肉块,流水冷却至室温,取出用吸水纸擦干,称质量(m_2)^[12]。蒸煮损失(cooking loss)=(m_1-m_2)/ m_1 ×100%。

1.6.5 剪切力 将测定蒸煮损失后的样品表面修整,沿平行于肌纤维方向切取 4 cm×1 cm×1 cm 肉样 4~5 块,使用肌肉嫩度仪测定肉样的剪切力值,上机试样时,刀口与肌纤维走向垂直^[13]。

1.6.6 肌肉中 LD 含量、HK 和 PK 活力 肌肉中 LD 含量及 HK 和 PK 活力均采用试剂盒测定,所有操作依据试剂盒说明书进行。

1.6.7 肌肉中 ATP、ADP、AMP 和 IMP 含量 宰后肌肉中 ATP、ADP、AMP 和 IMP 的含量采用高效液相法(HPLC)测定。取 1 g 样品,加入 5 mL 预冷的 7% 高氯酸,8 000 r/min 匀浆 30 s,4 ℃ 下 15 000 r/min 离心 10 min。上清液用 KOH 调节 pH 值为 6.8,4 ℃ 下 15 000 r/min 离心 10 min,定容至 20 mL,0.22 μm 滤膜过滤。检测波长 254 nm,流动相为 86.5% 磷酸缓冲液(2.5 mmol/L 四丁基硫酸氢铵,0.04 mol/L 磷酸二氢钾,0.06 mol/L 磷酸氢二钾,pH 值 7.0)和 13.5% 甲醇,流速 1 mL/min,进样 10 μL。结果最后用外标法,通过保留时间和峰面积对核苷酸进行定性和定量分析。

1.7 统计分析

所有数据均采用 SAS 9.2 进行方差分析,采用最小显著性差异法(LSD)进行显著性($P<0.05$)分析,结果以“均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 静养时间对扬州鹅肌肉品质的影响

由表 1 可知,随静养时间的延长, L^* 值和 b^* 值均呈先减小后增大的趋势,静养 6 h 和 9 h 后, L^* 值显著低于对照组($P<0.05$),静养 12 h 后, L^* 值显著高于其余处理组($P<0.05$);静养 6 h 后, b^* 值显著低于其余处理组($P<0.05$)且 b^* 值所有静养处理组均显著低于对照组($P<0.05$);静养处理后,各处理组间 a^* 值无明显差异($P>0.05$),但均显著高于对照组($P<0.05$);静养 9 h 和 12 h 后,pH 值显著高于对照组($P<0.05$)。总体来说,6~9 h 静养后,肉色改善明显。

由表 2 可知,贮藏损失和蒸煮损失均随静养时间延长呈先升高后降低再升高的趋势,静养 6 h 后,贮藏损失和蒸煮损失均显著高于对照组($P<0.05$),静养 9 h 后,贮藏损失和蒸

表 1 静养时间对扬州鹅肉色和 pH 值的影响

静养时间 (h)	L^*	a^*	b^*	pH 值
0	41.34±1.43b	18.91±0.50b	4.10±0.32a	5.79±0.03c
3	41.15±0.95b	19.58±0.58a	3.59±0.29b	5.72±0.01d
6	38.39±1.15c	19.66±0.45a	2.67±0.26c	5.71±0.02d
9	39.37±0.46c	19.54±0.36a	3.57±0.40b	6.01±0.03a
12	43.10±0.96a	19.92±0.67a	3.80±0.25b	5.93±0.02b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

表 2 静养时间对扬州鹅肌肉保水性和嫩度的影响

静养时间 (h)	贮藏损失 (%)	蒸煮损失 (%)	剪切力 (N)
0	3.13 ± 0.23c	20.01 ± 1.43b	45.95 ± 2.36c
3	3.85 ± 0.37b	21.10 ± 0.61b	48.79 ± 2.67b
6	4.52 ± 0.33a	24.49 ± 0.85a	55.41 ± 4.48a
9	2.45 ± 0.30d	17.12 ± 1.07c	42.75 ± 1.52d
12	4.23 ± 0.56ab	20.76 ± 0.45b	48.58 ± 2.17b

煮损失均显著低于其余处理组 ($P < 0.05$) ;静养 9 h 后,剪切力值显著低于其余处理组 ($P < 0.05$) ,但 3 h、6 h 和 12 h 处理组的剪切力值均显著高于对照组 ($P < 0.05$) 。综上,静养 9 h

后,肌肉保水性和嫩度恢复到较好水平。

2.2 静养时间对扬州鹅血液指标的影响

由表 3 可知,随着静养时间的延长,ACTH 和 CORT 含量均呈先降低后增加再减小的趋势,静养 3 h、9 h 和 12 h 时,ACTH 和 CORT 含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$) ,说明静养 9 ~ 12 h 后,机体应激水平下降;Glu 含量随静养时间的延长呈先降低后升高的趋势,静养 6 h、9 h 后,Glu 含量显著低于其余处理组 ($P < 0.05$) ;静养 6 h 和 12 h 后,血液中 LD 含量显著低于其余处理组 ($P < 0.05$) ;静养 12 h 后,血液中 CK 活性显著低于其余处理组 ($P < 0.05$) ;LDH 活性在静养 9 h 后显著高于其余处理组 ($P < 0.05$) ,静养 12 h 后显著低于对照组 ($P < 0.05$) 。

表 3 静养时间对扬州鹅血液指标的影响

静养时间 (h)	促肾上腺皮质激素 ACTH (ng/mL)	皮质酮 CORT (ng/mL)	血糖 Glu (mmol/L)	乳酸 LD (mmol/L)	肌酸激酶 CK (U/mL)	乳酸脱氢酶 LDH (U/mL)
0	157.29 ± 4.24a	342.89 ± 35.65a	12.33 ± 0.25a	13.17 ± 0.62a	2.26 ± 0.23a	274.94 ± 94.45b
3	120.57 ± 7.12b	289.71 ± 6.33b	11.71 ± 0.04b	14.35 ± 0.93a	2.00 ± 0.32a	251.90 ± 12.16bc
6	143.16 ± 19.58a	364.89 ± 34.73a	9.11 ± 0.18d	9.86 ± 1.53b	2.01 ± 0.09a	262.57 ± 9.82bc
9	113.23 ± 2.78bc	239.82 ± 16.02c	9.69 ± 0.41d	13.75 ± 1.04a	2.27 ± 0.23a	393.45 ± 73.15a
12	98.39 ± 10.94c	165.95 ± 16.36d	10.70 ± 0.48c	10.70 ± 0.75b	1.24 ± 0.24b	177.41 ± 66.90c

2.3 静养时间对扬州鹅宰后能量代谢的影响

由表 4 可知,随静养时间的延长,肌肉中 LD 含量呈下降的趋势,静养 9 h 和 12 h 后,肌肉中 LD 含量显著低于其余处

理组 ($P < 0.05$) ;PK 和 HK 活性随静养时间的延长呈先下降后上升的趋势,静养 6 h 和 9 h 后,PK 和 HK 活性低于其余处理组。

表 4 静养时间对扬州鹅宰后肌肉中 LD 含量和 PK、HK 活性的影响

静养时间 (h)	乳酸 LD (mmol/g prot)	丙酮酸激酶 PK (U/g prot)	己糖激酶 HK (U/g prot)
0	0.252 ± 0.005a	39.08 ± 4.41a	205.98 ± 10.95a
3	0.255 ± 0.010a	34.17 ± 7.34a	196.86 ± 9.65ab
6	0.238 ± 0.004b	25.31 ± 1.75b	181.56 ± 9.18bc
9	0.209 ± 0.005c	21.19 ± 2.56b	174.03 ± 14.71c
12	0.221 ± 0.008c	34.70 ± 5.14a	203.28 ± 5.30a

由表 5 可知,随静养时间的延长,肌肉中 ATP、ADP、AMP 和 IMP 含量均呈先升高后降低的趋势,静养 9 h 和 12 h 时,肌肉中 ATP 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$) ,静养 9 h 时,ADP 和 AMP 含量显著高于其余处理组 ($P < 0.05$) ;静养 12 h 后,IMP 含量显著低于对照组 ($P < 0.05$) 。

3 讨论

3.1 静养时间对扬州鹅肌肉品质的影响

肉色可直观反映肉品质,是影响消费者认可肉类产品的

决定性因素之一。动物应激后,机体内产生大量的自由基和 LD,破坏了细胞膜的结构和功能,肌肉表面汁液渗出^[4],反射自然光增加,导致 L^* 值增大, b^* 值增大, a^* 值减小^[14-15]。随着静养时间的延长,机体应激得到缓解,糖酵解反应降低,肌肉中 LD 含量减少,细胞膜的功能结构得到一定程度的修复,肌肉系水力有所恢复,汁液渗出较少。此时,机体内有氧呼吸占主导,血液中氧含量增加,肌红蛋白增多。本研究发现 6 ~ 9 h 静养后肉色得到明显改善,这与柴晓峰等^[16] 和 Smiecińska 等^[17] 的发现相似。但静养 12 h 后 L^* 值显著提高,其可能原

表 5 静养时间对扬州鹅宰后肌肉中 ATP、ADP、AMP 和 IMP 含量的影响

静养时间 (h)	5'-三磷酸腺苷 ATP (μmol/g)	5'-二磷酸腺苷 ADP (μmol/g)	5'-一磷酸腺苷 AMP (μmol/g)	肌苷酸 IMP (μmol/g)
0	3.05 ± 0.14c	4.60 ± 0.40b	3.96 ± 0.59b	63.51 ± 3.08b
3	3.37 ± 0.13bc	4.47 ± 0.20b	4.83 ± 0.68b	61.22 ± 1.87bc
6	3.31 ± 0.09bc	4.68 ± 0.32b	4.12 ± 0.18b	76.57 ± 1.79a
9	3.89 ± 0.36a	5.97 ± 0.45a	9.00 ± 0.76a	64.07 ± 1.96b
12	3.57 ± 0.24ab	4.14 ± 0.42b	4.59 ± 1.10b	58.77 ± 3.39c

因是过长时间的禁食导致机体内能量消耗殆尽,不足以支持细胞正常的生理代谢,细胞液逸出,肌肉表面湿润, L^* 值增大。pH 值是肉品质评价的重要指标,可以反映动物宰后肌肉糖酵解的速率。动物糖酵解途径的最终产物是 LD,当氧气不足时,LD 会被运送到肌肉纤维外^[18],令 pH 值降低。邹华峰等研究发现,宰前 12 h 的静养提高了屠宰后 24 h 肌肉的 pH 值^[19]。本研究同样发现长时间静养后,肌肉的 pH 值有显著提高。pH 值的快速下降会导致肌肉蛋白的变性,肌浆蛋白中糖原磷酸化酶和肌酸激酶变性后会沉积到肌原纤维蛋白上,同时较低的 pH 值也可能会抑制 calpain 的活性,影响关键骨架蛋白的降解,最终导致肌肉保水性下降。保水性是衡量肉品质的重要指标之一,它对肌肉的色泽、组织状态等有显著影响^[20]。贮藏损失和蒸煮损失可以用来评价肌肉的保水性。本研究发现长时间静养后,贮藏损失和蒸煮损失明显下降,肌肉保水性提高,这与 Ekiz 等的研究结果^[21]一致。但静养 12 h 后,贮藏损失和蒸煮损失又升高,其可能原因是长时间的禁食,导致机体虚弱,糖原含量减少,糖酵解水平下降,细胞内 ATP 供能不足,肌肉保水性下降,这一点与朱志盈等的发现^[22]相似。也有研究认为,生猪的静养时间应大于 12 h,从而减少肌肉的滴水损失,提高猪肉的系水力^[23],这可能是由于动物种类的不同,对应激的耐受性不一样造成的。嫩度是评价肉品质的重要指标之一,剪切力值可以直接反映肌肉的嫩度。动物应激后,肌细胞内能量被大量消耗,肌动球蛋白因能量缺乏无法分离成肌动蛋白和肌球蛋白,导致肌肉收缩,剪切力变大,嫩度变差^[24-25]。静养处理可缓解机体应激,使宰后能量代谢趋于平稳,肌肉得以舒张,提高了肌肉嫩度,使肉品质得到改善。但过长时间的禁食静养,易导致机体虚弱,糖酵解水平低,能量供应不足,肌肉进一步收缩,导致剪切力增大,嫩度下降,本研究结果也证实了这一点。

3.2 静养时间对扬州鹅血液应激指标的影响

动物受运输应激的影响,下丘脑-垂体-肾上腺(HPA)轴功能增强,血液中 ACTH 分泌增多,促使肾上腺迅速合成 CORT,因此,ACTH 和 CORT 含量可反映动物的应激水平^[26-29]。王晓明等研究发现,随着休息时间的延长,ACTH 和 CORT 含量呈现下降趋势^[30]。在猪^[31]和羊^[32]的研究中也同样发现静养处理可降低动物的应激水平。但本研究发现,静养 6 h 时,ACTH 和 CORT 含量显著高于其余静养处理组,与对照组无明显差异,其可能原因是长时间的禁食,使机体产生一定程度的应激反应,分泌更多的 ACTH 和 CORT 来促进糖酵解反应,从而维持正常的生理代谢,这一点在鸡的禁食研究中也得到证实^[33]。宰后缺氧条件下,机体主要通过糖酵解途径,将糖原分解为 LD 来提供能量,而 CORT 可促进糖酵解反应^[34]。Zhen 等研究发现静养处理可以延缓猪体内糖原的降解^[35]。本研究同样发现静养处理后,血液中 Glu 显著降低。但静养 9 h 时,血液中 LD 含量反而升高,可能是由于静养 6 h 时,ACTH 和 CORT 含量的升高加剧糖酵解反应造成的,这与鲁耀彬等的发现^[36]类似。CK 和 LDH 是反应糖酵解水平的关键指标。动物应激时,产生大量 LD 使肌肉受损,肌细胞膜被破坏,细胞膜通透性增加,导致肌肉中 CK 和 LDH 逸出并进入血液,因此,CK 和 LDH 活性的变化可以反映肌肉的损伤程度。本研究中静养 9 h 后,LDH 活性反而升高,其可

能原因是因为此时血液中 LD 含量的升高进一步激活了 LDH,因此,LDH 活性反而增大,这一点与 Pérez 等的研究结果^[37]类似。静养 12 h 后,CK 和 LDH 活性显著低于其余处理组,其可能原因是长时间的禁食导致机体内糖原含量减少,糖酵解反应较慢,同时细胞膜在静养过程中有所修复,CK 和 LDH 活性降低,这与 Warriss 等的研究结果^[31]类似。因此,我们发现长时间静养处理后,CK 和 LDH 活性降低,说明肌细胞开始自我恢复,肌肉损伤得到修复,肉品质在一定程度上得到改善。

3.3 静养时间对扬州鹅宰后能量代谢的影响

动物无氧糖酵解反应的最终产物是 LD^[38]。在有氧条件下,LD 会在 LDH 的作用下转变成丙酮酸,进入三羧酸循环,重新参与代谢。PK 是糖酵解途径中的关键限速酶^[39],对糖酵解速率的影响比较大。有氧呼吸占主导后,大量丙酮酸直接进入三羧酸循环,导致丙酮酸含量减少,PK 活性降低,糖酵解反应减缓。HK 是糖酵解途径中第一个关键限速酶,Glu 浓度的升高,可激活 HK,使 HK 活性增强^[40-42],因此,HK 活性与 Glu 浓度呈正相关。这些都与本研究中长期静养后,血液中 Glu 含量低,肌肉中 LD 含量少,PK 和 HK 活性低的发现相印证。无氧或缺氧条件下,动物体内的无氧代谢主要有 2 种方式:糖酵解和磷酸肌酸。ATP 是细胞中普遍应用的能量载体,可为肌肉收缩提供能量,对宰后肌肉的能量代谢有重要的影响^[43-44]。鲁耀彬等研究发现 6 h 静养处理后的鸭肉中 ATP 含量处于最高水平,IMP 含量水平最低,PK 和 HK 活性维持在较低水平^[36]。本研究也发现 9 h 静养后,ATP、ADP 和 AMP 含量显著提高,机体能量供应较为充足,有利于肉的成熟,增加肌肉的系水力,减少汁液流失。但过长时间的禁食也造成了机体虚弱,ATP、ADP、AMP 和 IMP 含量呈下降趋势,肌细胞能量不足,使肌肉进一步收缩,嫩度下降。

4 结论

综上所述,静养 9~12 h 后,机体内血液应激指标和能量代谢指标均恢复至较好水平。但静养 12 h 后,因过长时间的禁食造成机体虚弱,使其肉品质下降,明显不如 9 h 静养处理组,因此宰前对扬州鹅进行 9 h 静养处理,易使机体应激得到最大程度缓解,肉品质得到明显改善。

参考文献:

- [1] 赖毓妍. 扬州鹅体脂特性的研究[D]. 扬州:扬州大学,2007:8.
- [2] 王泽仁. 高温季节商品肉鸡运办应激原因及防治措施[J]. 当代畜禽养殖业,2014(9):11-11.
- [3] 齐晓巍. 浅谈肉的“冷却排酸”过程[J]. 食品研究与开发,2003,24(1):8-9.
- [4] El R R, Babilé R, Fernandez X. Effect of ultimate pH on the physicochemical and biochemical characteristics of turkey breast muscle showing normal rate of postmortem pH fall[J]. Poultry Science,2004,83(10):1750-1757.
- [5] Warriss P D, Brown S N, Edwards J E, et al. Time in lairage needed by pigs to recover from the stress of transport[J]. Veterinary Record, 1992,131(9):194-196.
- [6] Liste G, Miranda - De La Lama G C, Campo M M, et al. Effect of lairage on lamb welfare and meat quality[J]. Animal Production

- Science,2011,51(10):952-958.
- [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.
- [8]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.
- [9]张林,岳洪源,张海军,等.不同强度的运输应激对肉仔鸡血液应激指标和肌肉品质的影响[J].动物营养学报,2009,21(3):288-293.
- [10]Xing T,Xu X L,Jiang N N,et al. Effect of transportation and pre-slaughter water shower spray with resting on AMP-activated protein kinase, glycolysis and meat quality of broilers during summer[J]. Animal Science Journal,2016,87(2):299-307.
- [11]Mcgeehin B,Sheridan J J,Butler F. Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter[J]. Meat Science,2001,58(1):79-84.
- [12]李新,吴文锦,汪兰,等.宰前静养时间对鸭肉物理特性的影响[J].湖北农业科学,2013,52(21):5264-5267.
- [13]Froning G W,Uijitenboogaart T G. Effect of Post-Mortem electrical stimulation on color, texture, pH, and cooking losses of hot and cold deboned chicken broiler breast meat[J]. Poultry Science,1988,67(11):1536-1544.
- [14]姚军虎. 应激引起 PSE 肉的机理及其营养控制[J]. 中国畜牧兽医,1994(6):28-30.
- [15]余小领,李学斌,陈会.猪肉色泽和保水性的相关性研究[J].食品科学,2009,30(23):44-46.
- [16]柴晓峰. 静养时间对肉牛运输应激消除作用的影响研究[D]. 保定:河北农业大学,2015:28-28.
- [17]Śmiecińska K, Denaburski J, Sobotka W. Slaughter value, meat quality, creatine kinase activity and cortisol levels in the blood serum of growing-finishing pigs slaughtered immediately after transport and after a rest period[J]. Polish Journal of Veterinary Sciences, 2011,14(1):47-54.
- [18]Tranulis M A, Dregni O, Christophersen B, et al. A glucokinase-like-enzyme in the liver of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part B Biochemistry & Molecular Biology,1996,114(1):35-39.
- [19]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.
- [20]Koochmaria M, Whipple G, Kretchmar D H, et al. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses [J]. Journal of Animal Science,1991,69(2):617-624.
- [21]Ekiz B, Ekiz E E, Kocak O, et al. Effect of pre-slaughter management regarding transportation and time in lairage on certain stress parameters, carcass and meat quality characteristics in Kivirciklambs[J]. Meat Science,2012,90(4):967-976.
- [22]朱志盈,闵成军,夏春厚,等.生猪宰前静养损耗与猪肉品质研究[J].肉类研究,2008(12):20-23.
- [23]刘国庆,张黎利,陈鸿书,等.生猪宰前静养时间与屠宰工艺对肉质的影响[J].肉类工业,2015(6):41-45.
- [24]赵改名,王艳玲,田玮.影响牛肉嫩度的因素及其机制[J].中国畜牧兽医,2000,27(2):35-40.
- [25]王晓华,曹恺,甘泉,等.肉品的嫩化机制、方法及其影响因素[J].中国农学通报,2008,24(9):94-98.
- [26]Knowles T G, Brown S N, Warriss P D, et al. Effects on sheep of transport by road for up to 24 hours[J]. Veterinary Record,1995,136(17):431-438.
- [27]Pettiford S G, Ferguson D M, Lea J M, et al. Effect of loading practices and 6-hour road transport on the physiological responses of yearling cattle [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture,2008,48(6/7):1028-1033.
- [28]Fisher A D, Colditz I G, Lee C, et al. The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems [J]. Journal of Veterinary Behavior - Clinical Applications and Research,2009,4(4):157-162.
- [29]李留安,杜改梅,金天明.运输应激对动物机体功能影响的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2010(17):40-41.
- [30]王晓明,王鹏,李伟明,等.夏季运输和休息时间对肉鸡应激及肌肉品质的影响[J].食品科学,2014,35(3):55-60.
- [31]Warriss P D, Brown S N, Edwards J E, et al. Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs[J]. Animal Science,2010,66(1):255-261.
- [32]Liu H W, Zhong R Z, Zhou D W, et al. Effects of lairage time after road transport on some blood indicators of welfare and meat quality traits in sheep [J]. Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition,2012,96(6):1127-1135.
- [33]王思丹. 禁食对宰后早期鸡肉能量代谢的影响机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2013:7-7.
- [34]Owens C M, Sams A R. The influence of transportation on turkey meat quality[J]. Poultry Science,2000,79(8):1204-1207.
- [35]Zhen S B, Liu Y R, Li X M, et al. Effects of lairage time on welfare indicators, energy metabolism and meat quality of pigs in Beijing [J]. Meat Science,2013,93(2):287-291.
- [36]鲁耀彬,吴文锦,李新,等.不同宰前静养时间对樱桃谷肉鸭能量代谢影响的研究[J].中国家禽,2014,36(23):37-43.
- [37]Perez M P, Palacio J, Santolaria M P, et al. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs[J]. Veterinary Research,2002,33(3):239-250.
- [38]King L M, Opie L H. Glucose and glycogen utilisation in myocardial ischemia - changes in metabolism and Consequences for the myocyte [J]. Molecular & Cellular Biochemistry,1998,180(1/2):3-26.
- [39]Shen Q W, Du M. Effects of dietary alpha-lipoic acid on glycolysis of postmortem muscle[J]. Meat Science,2005,71(2):306-311.
- [40]Kashiwaya Y, Sato K, Tsuchiya N, et al. Control of glucose utilization in working perfused rat heart[J]. Journal of Biological Chemistry, 1994,269(41):25502-25514.
- [41]Manchester J, Kong X, Nerbonne J, et al. Glucose transport and phosphorylation in single cardiac myocytes: rate-limiting steps in glucose metabolism[J]. American Journal of Physiology,1994,266(1):326-333.
- [42]王广宇,刘波,谢骏,等.鱼类糖代谢几种关键酶的研究进展[J].上海海洋大学学报,2008,17(3):377-383.
- [43]Bekhit A E, Farouk M M, Cassidy L, et al. Effects of rigor temperature and electrical stimulation on venison quality[J]. Meat Science,2007,75(4):564-574.
- [44]Ledward A. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles [J]. Meat Science,1985,15(3):149-171.