

宰前热应激对肉鸡胸肉 pH、氧化和嫩度、肉色及其关系的影响

潘晓建¹, 文利², 彭增起^{1*}, 蒋进², 韩瑞阁², 王磊²

(1. 南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 江苏 南京 210095; 2. 南京农业大学 食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘要:研究了宰前热应激对肉鸡胸肉 pH、氧化和嫩度、肉色的影响, 探讨了肌肉 pH、氧化与嫩度、肉色的联系。结果表明, 与对照组相比, 2h 以上热应激组的 pH_{24h} 呈现显著性下降 ($P < 0.05$); 随着热应激时间的延长, 各处理组鸡胸肉 GSH - Px 活力较对照组的普遍升高, 胸肉肌浆中 GSH 总体呈现下降趋势; 3h 和 5h 处理组极显著提高胸肉 MDA 含量 ($P < 0.01$), 2h、3h 和 5h 处理组胸肉肌浆和肌原纤维蛋白羰基含量极显著高于对照组 ($P < 0.01$); 热应激导致肉鸡胸肉剪切力值增大, 肌原纤维小片化指数变低, 使肉鸡胸肉 L^{*} 值升高, 并显著降低肉鸡胸肉 a^{*} 值 ($P < 0.01$)。结合相关性分析, 结果表明热应激导致的肉鸡胸肉 pH 值下降和肌肉氧化程度的增加对肌原纤维蛋白的降解和胸肉肉色有较大影响。

关键词: 氧化; 嫩度; 肉色; 胸肉; 热应激; 肉鸡

中图分类号: S858.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 8581 (2007) 05 - 0091 - 05

Effect of Heat Stress on pH, Oxidative Status, Tenderness and Color in Broiler Breast Meat

PAN Xiao - jian¹, WEN Li², PENG Zeng - qi^{1*}, JIANG Jin², HAN Rui - ge², WANG Lei²

(1. Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Food Scientific Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The present study was conducted to determine the effects of heat stress on pH, oxidation, tenderness and color in breast meat of broilers. The relationships among pH, oxidation and tenderness, color were assessed. The results showed that, in comparison with the control group, the pH of meat decreased significantly in above 2h treatment groups ($P < 0.05$), the activities of GSH - Px increased, the content of GSH showed a decreasing tendency. Heat stress significantly enhanced the content of MDA in 3h and 5h treatments ($P < 0.01$), significantly increased the levels of sarcoplasmic and myofibrillar protein carbonyl groups in 2h, 3h and 5h treatments, high shear force and low myofibrillar protein fragment indexes were found in heat stress treatments. L^{*} value of breast meat was higher than that in the control group, but a^{*} value was lower ($P < 0.01$). These results indicated that low pH and more oxidation of breast meat resulted from heat stress effected the degradation of the myofibrillar protein and the color of the breast meat.

Key words: Oxidation; Tenderness; Meat color; Heat stress; Breast muscle; Broiler

在肉食品消费中, 肉色是决定顾客是否购买的主要因素, 在食用过程中, 嫩度又是消费者重要的感官评定指标^[1]。在畜禽宰后肌肉向食用肉转变的过程中, 肌肉肉色和嫩度会随着组织物理化学的变化和周围环境的影响而改变。在温热环境中热应激现象时有发生, 肉鸡宰前处于急性或短期热环境中可产生类 PSE 肉^[2], 季节性热应激亦显著加速宰后肌肉组织的代谢和生化变化, 增强肉色亮度 (L^{*}) 值, 提高火鸡 PSE 肉的发生率^[3]。急性热应激还能够使肉鸡诱发过高热肌病, 增加肌肉胞浆内肌酸激酶的活力, 破坏肌肉细胞膜的完整性, 并增加其渗透性和降低肉色评分^[4~6]。应激可刺激机体大量活性氧的产生, 引发脂质过氧化、蛋白质和 DNA 的氧化损伤^[7], 热应激能够破坏机体氧化和抗氧化系统的平衡^[8], 导致肉鸡肌肉线粒体活性氧水平的提高^[9]。目前关于热应激对肉鸡肌肉的氧化损伤及其与嫩度、肉色的关系研究少有报道。本文研究了宰前高温环境诱导的热应激对 AA 肉鸡胸肉 pH 变化、氧化损伤及其与肌原纤维

蛋白降解、肌肉剪切力值和肉色的关系, 旨在为肉鸡生产者提供一定的理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验动物 200 只 1 日龄 AA 肉鸡随机分成 5 笼, 按照 NRC 营养标准饲养于温控小气候室内, 所有试验鸡供给充足饮水, 饲养温度为 25℃。常规进行鸡新城疫和鸡传染性法氏囊病疫苗免疫。饲养至 30d, 从各处理组随机挑出 4 只, 共 20 只, 作为对照组 (0h 组)。余下肉鸡将温度由 25℃ 升高到 (40 ± 1)℃ 进行热应激处理, 热应激分别持续 1、2、3、5 和 10h。处理结束时同对照组随机取出 20 只, 颈动脉放血宰杀, 宰杀的鸡暴露在 25℃ 环境中, 分离胸大肌待测。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 肌肉 pH 值 胸肉处理: 将宰后剥取的胸大肌分别用透气性聚乙烯自封口袋装好, 迅速放入冷藏柜中, 保持 4℃ 至宰后 24h。

pH 值测定: 取宰后 30min 和 24h 的胸肉各 1g, 液氮

收稿日期: 2007 - 03 - 01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2004CB117505)。

作者简介: 潘晓建 (1981 -), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事肉品加工与质量控制研究。* 通讯作者: 彭增起。

冻存。参考 Jeacocke 方法^[10]有所修改: 10mL 碘乙酸钠溶液 (5mmol/L 碘乙酸钠, 150mmol/L KCl, pH7. 0) 中高速冰浴匀浆 18s, pH 计测定。

1. 2. 2 肌肉谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH - Px) 和谷胱甘肽 (GSH) 取宰后 24h 的胸肉 1g, 测定采用比色法, 试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1. 2. 3 脂肪氧化和蛋白质氧化 脂肪氧化评定参考 Botsoglou, N. A 等^[11]的方法, 测定肌肉中脂肪氧化产物丙二醛 (MDA), 含量以 mg/kg 表示。

蛋白质氧化以蛋白羰基值表示, 参考 Agne's Martinaud 等^[12]的方法, 采用二硝基苯肼 (DNPH) 比色法, 370nm 处测定吸光值, 结果以每毫克蛋白中羰基含量表示 (单位: nmol/mg), 蛋白脔吸收系数: 21L / (mmol · cm)。

蛋白羰基含量 = (A / C) × 稀释倍数, 式中 A 为吸光值, C 为吸光系数。

1. 2. 4 剪切力值 (WSBF 值) 和肌原纤维小片化指数 (MFI) 剪切力值测定是取宰后 24h 的同样规格的胸肌肉片样, 密封在自封口袋中, 70 °C 水浴到肉样中心温度 70 °C, 取出冷却到室温后, 沿肌纤维方向取 0. 5cm × 1. 0cm × 2. 5cm 规格熟肉样, 用沃布式剪切力仪测定, 每个肉样 3 个重复。

肌原纤维小片化指数 (MFI) 测定参考 Culler 等^[13]的方法并稍作调整。剪取 2g 部位一致的胸肉样品, 放入匀浆器中, 加 20mL 预冷 (2 °C) 的 MFI 缓冲液 (100 mmol/L 的 KCl, 11. 2mmol/L 的 K₂HPO₄, 8. 8mmol/L 的 KH₂PO₄, 1mmol/L EGTA, 1mmol/L MgCl₂, 1mmol/L NaNO₃), 9500r/min 匀浆 3 次, 每次 10s (中间间隔 30s), 匀浆后用 50mL 离心管冷冻离心 (1000g, 15min, 2 °C), 弃去上清液, 将沉淀用 20mL 预冷后的 MFI 缓冲液悬浮, 再离心 (1000g

15min, 2 °C), 弃去上清, 用 10mL 预冷后的 MFI 缓冲液将沉淀充分悬浮, 将悬浮液用 150 目滤布过滤除去结缔组织, 再用 10mL MFI 缓冲液洗离心管, 并进行过滤, 将过滤后的悬浮液用双缩脲法测蛋白浓度, 然后用 MFI 缓冲液调整悬浮液蛋白浓度为 0. 5mg/mL, 在 540nm 处测吸光度, 将所得结果乘以 200 后便得到 MFI 值。

1. 2. 5 肉色 取宰后 24h 的胸肌, 根据 CIELAB 表色系统, 用便携式色度仪 (Minolta - CR200, 日本) 测定亮度 (L^{*})、红度 (a^{*})、黄度 (b^{*}), 光源 D65, 测量直径 8mm。测定前切除表面结缔组织膜, 在空气中暴露 10 min。

1. 3 统计分析 用统计分析软件 SPSS 11. 5 对测定指标进行方差分析、多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2. 1 pH 值和氧化的变化 从表 1 可以看出, 受试鸡热应激时间由 1h 到 5h, 胸肌宰后 30min 的 pH 值 (pH_{30min}) 和 24h 的 pH 值 (pH_{24h}) 呈下降趋势, 热应激组较对照组初始 pH 值差异均极显著 (P < 0. 01)。热应激 2h 以上的处理组, pH_{24h} 较对照组呈显著性下降 (P < 0. 05), 5h 处理组最低, 较对照组下降了 4. 55%。热应激 10h 时 pH_{24h} 又有所回升, 但较对照组下降了 2. 70%。随着热应激时间的延长, 各处理组鸡胸肉 GSH - Px 活力较对照组的普遍升高, 热应激持续 5h 时, GSH - Px 活力达到最高, 为对照组的 1. 35 倍, 但热应激到 10h, 其酶活较 5h 处理组显著降低 (P < 0. 05)。受试鸡胸肉肌浆中 GSH 总体呈现下降趋势, 热应激持续至 3h 和 5h 时, 胸肉肌浆中 GSH 含量表现出略微的波动, 分别为对照组的 72. 51% 和 76. 86% (P < 0. 01)。当热应激持续 10h 后, 胸肉肌浆中 GSH 含量又高于 5h 处理组的 (P < 0. 05), 但仍然低于对照组 (P < 0. 01)。

表 1 热应激对胸肌 pH 值、GSH - Px、GSH 和氧化的影响

| 指标 | 热应激时间 | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 0h | 1h | 2h | 3h | 5h | 10h |
| pH _{30min} | 6. 17 ± 0. 08 ^{Dd} | 6. 07 ± 0. 06 ^{Cb} | 6. 03 ± 0. 06 ^{Bbc} | 6. 00 ± 0. 06 ^{Bb} | 5. 92 ± 0. 05 ^{Aa} | 6. 04 ± 0. 07 ^{Bbc} |
| pH _{24h} | 5. 93 ± 0. 15 ^c | 5. 89 ± 0. 09 ^c | 5. 74 ± 0. 09 ^{ab} | 5. 72 ± 0. 06 ^{ab} | 5. 66 ± 0. 08 ^a | 5. 77 ± 0. 12 ^b |
| GSH - Px (U / mg) | 4. 90 ± 0. 65 ^{Aa} | 5. 07 ± 0. 60 ^{Aa} | 5. 22 ± 0. 58 ^{Aa} | 6. 38 ± 0. 57 ^{Bbc} | 6. 60 ± 0. 42 ^{Bc} | 6. 00 ± 0. 56 ^{Bb} |
| GSH (mg / g) | 61. 40 ± 2. 83 ^{Dd} | 57. 75 ± 2. 60 ^{CDd} | 52. 72 ± 2. 76 ^{BCc} | 44. 52 ± 4. 94 ^{Aa} | 47. 19 ± 5. 55 ^{ABa} | 50. 76 ± 4. 34 ^{Bbc} |
| MDA (mg / kg) | 0. 09 ± 0. 01 ^{Aa} | 0. 11 ± 0. 02 ^{Aab} | 0. 14 ± 0. 02 ^{Ab} | 0. 48 ± 0. 08 ^{Cd} | 0. 44 ± 0. 06 ^{Cd} | 0. 36 ± 0. 05 ^{Bc} |
| 肌浆蛋白羰基 (nmol / mg) | 5. 93 ± 1. 13 ^{Aa} | 6. 56 ± 0. 75 ^{ABa} | 7. 68 ± 1. 07 ^{BCb} | 8. 81 ± 1. 09 ^{Cb} | 8. 67 ± 1. 59 ^{Cb} | 7. 98 ± 1. 31 ^{BCb} |
| 肌原纤维蛋白羰基 (nmol / mg) | 3. 84 ± 0. 70 ^{Aa} | 4. 74 ± 0. 90 ^{ABb} | 5. 35 ± 0. 96 ^{Bb} | 5. 51 ± 1. 16 ^{Bb} | 5. 23 ± 1. 07 ^{Bb} | 4. 57 ± 0. 90 ^{ABa} |

注: 同行小写字母不同者差异显著 (P < 0. 05), 大写字母不同者差异极显著 (P < 0. 01)。

与对照组相比, 热应激处理组胸肉组织脂肪氧化产物丙二醛 (MDA) 和蛋白质氧化产物羰基量不同程度地增加, 其中 3h 和 5h 处理组的肉鸡胸肉脂肪氧化程度极显著提高 (P < 0. 01), 分别为对照组的 5. 33 和 4. 89 倍。热应激 10h 处理组胸肉脂肪氧化程度虽较 3h 和 5h 的稍有下降, 但仍然极显著高于对照组。2、3、5 和 10h 处理组胸肉肌浆蛋白羰基含量分别较对照组增加 0. 30、0. 49、0. 46 和 0. 35 倍 (P < 0. 01), 这些处理之间差异不显著 (P >

0. 05)。2、3 和 5h 处理组胸肉肌原纤维蛋白羰基含量较对照组极显著增加 (P < 0. 01), 但是 10h 处理组的胸肉肌原纤维蛋白氧化程度与对照组的差异不显著 (P > 0. 05)。

2. 2 剪切力、肌原纤维小片化和肉色 由表 2 可见, 热应激组肉鸡胸肉剪切力值不同程度上高于对照组, 其中热应激 10h 处理组最高, 为对照组的 1. 45 倍。对照组与热应激组相比有较高的肌原纤维小片化指数 (P < 0. 01), 热应激 10h 处理组肌原纤维小片化指数最低。

表 2 热应激对胸肌剪切力、肌原纤维小片化指数和肉色的影响

| 指标 | 热应激时间 | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | 0h | 1h | 2h | 3h | 5h | 10h |
| WBSF值 (kg/cm ²) | 2.41 ±0.36 ^{Aa} | 2.96 ±0.35 ^{ABabc} | 3.31 ±0.49 ^{ABbc} | 2.77 ±0.57 ^{ABab} | 3.14 ±0.47 ^{ABbc} | 3.50 ±0.46 ^{Bc} |
| MFI | 125.58 ±16.87 ^{Cd} | 82.3 ±5.80 ^{ABbc} | 73.49 ±1.78 ^{Aab} | 90.40 ±7.99 ^{Bc} | 82.36 ±5.26 ^{ABbc} | 72.15 ±8.76 ^{Aa} |
| L [*] | 51.03 ±2.96 ^{Aa} | 51.77 ±1.95 ^{ABab} | 53.30 ±1.92 ^{ABCbc} | 53.95 ±1.44 ^{BCcd} | 55.47 ±2.53 ^{Cd} | 52.30 ±1.97 ^{ABabc} |
| a [*] | 3.34 ±0.53 ^{Dc} | 2.53 ±0.45 ^{Cb} | 2.41 ±0.26 ^{BCb} | 2.21 ±0.23 ^{ABCab} | 1.96 ±0.19 ^{Aa} | 2.07 ±0.16 ^{ABa} |
| b [*] | 7.82 ±1.13 ^a | 8.26 ±0.93 ^{ab} | 7.87 ±1.21 ^{ab} | 8.81 ±1.10 ^{ab} | 8.98 ±1.28 ^b | 7.95 ±1.21 ^{ab} |

注:同行小写字母不同者差异显著 (P<0.05),大写字母不同者差异极显著 (P<0.01)。

根据 CIELAB 表色系统,利用色度仪对肉色进行了评价。结果表明,热应激处理组极显著降低肉鸡胸肉的红色 a^{*} 值 (P<0.01),随着热应激时间的延长,L^{*} 值呈升高趋势,3h和 5h热应激处理组分别较对照组胸肉 L^{*} 值高 5.72%和 8.70% (P<0.01),但 10h处理组胸肉 L^{*} 值较对照组稍高 (P<0.05),热应激组胸肉 b^{*} 值较对照组有所升高,5h热应激组有较大程度增加 (P<0.05),为对照组的 1.15 倍。

从表 3 可见,宰后肌肉 pH_{30min}、pH_{24h}与肌原纤维小片

化指数呈极显著正相关 (P<0.01),与肉色 a^{*} 值呈极显著正相关 (P<0.01);脂肪氧化程度与肉色 L^{*} 值呈极显著正相关 (P<0.01),与肉色 a^{*} 值呈极显著负相关 (P<0.01);肌浆蛋白氧化程度与肌原纤维小片化指数呈极显著负相关 (P<0.01),与肉色 a^{*} 值呈极显著负相关 (P<0.01);肌原纤维蛋白氧化程度与肌原纤维小片化指数呈显著负相关 (P<0.05),与肉色 a^{*} 值呈显著负相关 (P<0.05)。

表 3 胸肉 pH值、脂肪和蛋白质氧化与嫩度、肉色间的相关系数

| 指标 | MFI | WBSF | L [*] | a [*] | b [*] |
|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| pH _{30min} | 0.424 ^{**} | -0.303 [*] | -0.424 ^{**} | 0.692 ^{**} | -0.375 ^{**} |
| pH _{24h} | 0.455 ^{**} | -0.207 | -0.330 [*] | 0.600 ^{**} | -0.288 [*] |
| MDA (mg/kg) | -0.261 [*] | 0.123 | 0.421 ^{**} | -0.595 ^{**} | 0.278 [*] |
| 肌浆蛋白羰基值 (nmol/mg) | -0.419 ^{**} | 0.145 | 0.196 | -0.543 ^{**} | 0.060 |
| 肌原蛋白羰基值 (nmol/mg) | -0.266 [*] | 0.067 | 0.096 | -0.299 [*] | 0.068 |
| GSH (mg/g) | 0.357 ^{**} | -0.130 | -0.319 [*] | 0.560 ^{**} | -0.243 |

注: **表示 P<0.01, *表示 P<0.05。

3 讨论

宰后肌肉 pH值的变化主要由能量代谢决定。当畜禽宰杀后,组织间循环系统和氧供应停止,肌肉组织由有氧代谢转为厌氧酵解,加速了乳酸的形成。本试验结果表明,宰前环境高温明显降低宰后肉鸡胸肉的 pH_{30min}和 pH_{24h},这与 Sandercock等 (2001)^[6]的研究结果一致。受试鸡热应激时间由 1h到 5h,胸肌 pH_{30min}和 pH_{24h}逐渐下降,可能是由于应激能够增加肾上腺素、肾上腺酮、皮质醇的释放量^[14],促进肝糖元、肌糖原和体内局部脂肪分解,改变肉鸡机体组织的酸碱平衡^[5,15],随着宰后肌肉氧耗竭、糖酵解速率加大,产生大量乳酸,而使肌肉组织 pH值在宰后迅速下降。但 10h热应激处理组的胸肉 pH值又有所升高,可能是长时间热应激使肉鸡产生一定的应激耐受性,较早地消耗了肌肉糖原,降低了肌肉代谢中乳酸含量。

热应激可刺激肌肉产生大量的活性氧,扰乱氧化和抗氧化平衡^[9,16]。组织中的抗氧化酶和内源性抗氧化物在抗氧化防御体系中能够阻止一定量活性氧的产生,对细胞起着保护作用。本试验发现热应激使肉鸡胸肉肌浆中谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH - Px)活力升高,还原型谷胱甘肽 (GSH)含量减少,表明热应激在一定程度上提高了肉鸡胸肉的氧化防御能力,该结果与 Ö ALTAN 等

(2003)^[17]的研究结果具有一致性。另外从本试验研究还看到,虽然热应激提高了肉鸡胸肉氧化防御能力,但在不同程度上增加了肉鸡胸肉脂肪氧化产物丙二醛和蛋白质氧化产物羰基化合物的产生,其中热应激 3h处理组的脂肪和蛋白质氧化程度最高。结合本试验结果分析,推测热应激促使肉鸡肌肉产生大量的活性氧攻击肌肉组织中不饱和脂,引发脂质氧化产物的大量生成;同时,活性氧和脂质过氧化自由基选择性攻击氨基酸残基的一侧肽链并导致一些氨基酸残基转变为羰基化合物,导致蛋白质的氧化损伤加剧。

动物被屠宰后,肌细胞内能量产生剧减,肌动蛋白和肌球蛋白形成结合的肌动球蛋白因缺乏能量而不再分开,导致肌肉收缩,嫩度变差。为了改善嫩度,通常使胴体在低温 (0~4℃)冷却间经历成熟阶段。在成熟过程中,肌原纤维蛋白降解,小片化指数增加,肌肉剪切力值下降^[18]。本试验中成熟 24h的肉鸡胸肉剪切力值分析表明,热应激处理组的肉鸡胸肉剪切力值较对照组高,而肌原纤维小片化指数极显著低于对照组。可能原因之一在于热应激导致宰后肌肉 pH值的迅速下降,pH值的下降能够降低肌浆钙离子激活因子 (Calpains)的活力,削弱其对肌肉骨架蛋白的降解,使肌原纤维小片化指数减少,肌肉硬度增加^[19];相关性分析表明,宰后肉鸡胸肉

pH_{30min}和 pH_{24h}与肌原纤维小片化指数呈极显著正相关,说明较高 pH值的胸肉肌原纤维小片化指数较大,这与 Silva(1999)^[18]研究的结果具有一致性。可见,热应激导致肉鸡胸肉脂肪和蛋白质氧化加剧,氧化能够使肌肉蛋白在分子内或分子间形成二硫键交联,减弱蛋白质功能性^[20]。从本试验结果分析,胸肉脂肪氧化和肌原纤维蛋白氧化程度与肌原纤维小片化指数呈显著负相关,而肌浆蛋白氧化程度与肌原纤维小片化指数呈极显著负相关,说明肌浆蛋白氧化可导致肌原纤维小片化指数变小,究其原因在于肌浆钙离子激活因子(Capains)具有含硫氢基团的半胱氨酸残基作为活性中心,容易遭受氧化而损失部分酶活,进而削弱了肌原纤维蛋白水解^[21]。本试验还发现,热应激组肉鸡胸肉剪切力值不同程度上高于对照组,但剪切力值只与 pH_{30min}呈显著负相关,而与 pH_{24h}、脂肪氧化和蛋白质氧化程度相关性较低,可能是由于宰后肌肉收缩程度与加热煮制对肌肉剪切力值影响较大。

肌红蛋白是决定肉色的主要蛋白质,肌肉 pH值和氧化还原状态与肉色特征及其稳定性密切相关。本研究表明,宰前环境高温应激一定程度上降低了鸡胸肉的亮度(L*)值、红度(a*)值和增加了黄度(b*)值,并且 L*、a*、b*与 pH_{30min}、pH_{24h}相关性较强,相关系数分别为 -0.424、0.692、-0.375和 -0.330、0.600、-0.288。而 Fletcher等^[22]也认为 pH_{24h}与肉鸡胸肉 L*、a*、b*具有较强的相关性,相关系数分别为 -0.771、0.352、-0.221。pH值对肉色 L*、a*、b*值的影响在于当肌肉 pH值高出肌肉蛋白等电点时,肌肉束缚水的能力增强,同时增加肌肉表面对光线的吸收,表现上肉色变深;高的极限 pH值可改变肌红蛋白的吸收特征,使肉的表面变得暗红^[23]。从本试验看,宰前热应激对肌肉造成了较大的氧化损伤,脂肪氧化的次级产物如 -醛和 -醛可通过对肌红蛋白的共价修饰降低氧合肌红蛋白氧化还原状态的稳定性^[24],相关性分析表明脂肪氧化程度和肉鸡胸肉 L*、a*分别呈极显著正相关和极显著负相关。而肌浆蛋白氧化程度同肉鸡胸肉 a*值呈极显著负相关,这可能由于肌浆蛋白氧化导致肌红蛋白结构发生变化,使其结合氧气的的能力减弱,进而有较低的红度值(a*)^[25]。本试验还发现,肌浆中还原型谷胱甘肽的含量与肉鸡胸肉 L*值呈显著的负相关,与 a*值呈极显著正相关,可见还原型谷胱甘肽对肌肉肉色也有影响,而 Tang等(2003)^[26]也曾研究认为谷胱甘肽对牛骨骼肌肌红蛋白的稳定性具有促进作用。综合上述分析可见,宰前环境高温所导致的肌肉 pH值的降低和氧化损伤对肉鸡胸肉的肉色具有一定的影响,但是肌肉颜色的变化是比较复杂的,其受多方面因素影响,关于宰前热应激对肉色的影响机理仍需深入研究。

4 结论

宰前环境高温促使宰后肉鸡胸肉 pH值下降,加剧

了肌肉脂肪氧化和蛋白质氧化损伤,使肌肉肌原纤维小片化指数变小、剪切力值变大,并提高了肌肉肉色 L*值,降低了 a*值。热应激导致的鸡胸肉 pH值的下降和肌肉的氧化程度对肌肉肌原纤维蛋白的降解和肉色有较大的影响。

参考文献:

- [1] Koolmarie M., Babiker A. S., Schroeder, et al Acceleration of postmortem tenderization in ovine carcasses through activation of Ca - dependant proteases[J]. Journal of Food Science, 1988, 53: 1638 ~ 1641.
- [2] Northcutt J. K., E. A. Foegeding, F. W. Edens Water holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat [J]. Poultry Sci, 1994, 73: 308 ~ 316
- [3] McKee S. R., A. R. Sams The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat[J]. Poultry Sci, 1997, 76: 1616 ~ 1620.
- [4] Mitchell M. A., D. A. Sandercock Creatine kinase isoenzyme profiles in the plasma of the domestic fowl (*Gallus domesticus*) [J]. Res. Vet. Sci, 1995, 59: 30 ~ 34.
- [5] Mitchell M. A., D. A. Sandercock Possible mechanisms of heat stress induced myopathy in the domestic fowl[J]. J. Physiol. Biochem., 1997, 53 (1): 75.
- [6] D. A. Sandercock, R. R. Hunter, G. R. Nute, et al Acute heat stress - induced alterations in blood acid - base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: implications for meat quality[J]. Poultry Sci, 2001, 80: 418 ~ 425.
- [7] DrÖge W. Free radicals in the physiological control of cell function[J]. Physiol. Rev., 2002, 82: 47 ~ 95.
- [8] Lin H., Du R., Zhang, Z. Y. The peroxidation in tissues of heat - stress broilers[J]. Asian - Australas. J. Anim. Sci, 2000, 13: 1373 ~ 1376.
- [9] A. Mujahid, K. Sato, Y. Akiba, et al Acute heat stress stimulates mitochondrial superoxide production in broiler skeletal muscle, possibly via downregulation of uncoupling protein content[J]. Poultry Sci, 2006, 85 (7): 1259 ~ 1265.
- [10] Jeacocke, R. E. Continuous measurement of the pH of beef muscle in intact beef carcasses[J]. J. Food Technol, 1977, 12: 375 ~ 386.
- [11] Botsoglou N. A., Fletouris D. J., Papageorgiou G. E., et al Rapid, sensitive and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42: 1931 ~ 1937.
- [12] Agne's Martinaud, Yves Mercier, Penka Marinova, et al Comparison of oxidative processes on myofibrillar proteins from beef during maturation and by different model oxidation systems[J]. J. Agric. Food Chem., 1997, 45: 2481 ~ 2487.
- [13] Culler R. D., F. C. Parrish Jr., G. C. Smith, et al Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and

- sensory characteristics of bovine longissimus muscle[J]. J. Food Sci., 1978, 43: 1177.
- [14] Brown S N., Warriss P. D., Nute G R., et al Meat quality in pigs subjected to minimal preslaughter stress[J]. Meat Sci., 1998, 49: 257 ~ 265.
- [15] McKee S R., Sam's A. R. Rigor mortis development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics [J]. Poultry Sci., 1998, 77: 169 ~ 174.
- [16] LI ZUO, FIEVOS L. CHR ISTOFI, et al Intra- and extracellular measurement of reactive oxygen species produced during heat stress in diaphragm muscle[J]. Am. J. Physiol. Cell Physiol., 2000, 279: 1058 ~ 1066.
- [17] Ö ALTAN, A. PABUCCUOGLU, A. ALTAN, et al Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers[J]. British Poultry Science, 2003, 44 (4): 545 ~ 550.
- [18] J. A. Silva, L. Patarata, C. Martins Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing [J]. Meat Science, 1999, 52: 453 ~ 459.
- [19] G I VEERAMUTHU, A. R. SAMS Postmortem pH, myofibrillar fragmentation, and calpain activity in pectoralis from electrically stimulated and muscle tensioned broiler carcasses [J]. Poultry Science, 1999, 78: 272 ~ 276.
- [20] Martinaud A., Mercier Y., Marinova P., et al Comparison of oxidative processes on myofibrillar proteins from beef during maturation and by different model oxidation systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 2481 ~ 2487.
- [21] Elisabeth Huff - Lonergan, Steven M. Lonergan Mechanisms of water - holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Sci., 2005, 71: 194 ~ 204.
- [22] D. L. Fletcher, M. Qiao, D. P. Smith The relationship of raw broiler breast meat color and pH to cooked meat color and pH [J]. Poultry Science, 2000, 79: 784 ~ 788.
- [23] R. A. LAWRIE LAWRIE'S MEAT SCIENCE [M]. 1998 212 ~ 217.
- [24] Faustman C., Liebler D. C., McClure T. D., et al Alpha, beta - unsaturated aldehydes accelerate oxymyoglobin oxidation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47 (8): 3140 ~ 3144.
- [25] L. J. Rowe, K. R. Maddock, S. M. Lonergan, et al Influence of early postmortem protein oxidation on beef quality[J]. J. Anim. Sci., 2004, 82: 785 ~ 793.
- [26] Tang J., Faustman C., Lee S., et al Effect of glutathione on oxymyoglobin oxidation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51 (6): 1691 ~ 1695.

(上接第 80 页)

3 小结与讨论

3.1 关于双季稻的产量结构与高产栽培途径 在本试验条件下,双季早稻金优 463 每公顷产量 7500kg 的穗粒结构:每公顷穗数 330 ~ 345 万,每穗粒数 120 ~ 125 粒,结实率 74% ~ 77%,千粒重 27 ~ 27.5g,茎蘖成穗率 70% ~ 75%以上;双季晚稻协优 46 每公顷产量 7500kg 的穗粒结构:每公顷穗数 315 ~ 330 万,每穗粒数 122 ~ 127 粒,结实率 75%,千粒重 28 ~ 28.5g,茎蘖成穗率 65% ~ 70%以上。通径分析结果表明,产量构成因素对早稻产量的直接贡献率大小依次为每穗总粒数 > 结实率 > 有效穗 > 千粒重;对晚稻产量的直接贡献率大小依次为结实率 > 每穗粒数 > 千粒重 > 有效穗。可见,要获得早稻高产,首先要增加每穗粒数,其次是提高结实率和有效穗数,在此基础上,注意千粒重的适当提高。而要获得双季晚稻高产,必须在保证有效穗数的基础上,首先要重视提高结实率,其次是提高每穗粒数和千粒重。

3.2 关于双季稻的氮肥运筹与氮素利用状况 以往双季稻生育期较短,施肥上都采用“一轰头”和前后期施肥比例为 8:2 的方法。在本试验条件下,双季杂交早稻(金优 463)、晚稻(协优 46)的每公顷理论总施氮量按照斯坦福公式计算,实际设计每公顷总施氮量 200.7kg,进行基蘖肥与穗肥比例试验,结果表明:当基蘖肥与穗肥比例为

7:3 时,产量最高(7500 ~ 7800kg/hm²),早稻和晚稻植株的总吸氮量均为纯氮 157.5 ~ 165kg/hm²,比理论吸氮量 141.75kg 增加了 15kg 以上。其原因是基础地力增加了稻谷 750kg/hm² 以上,吸氮量因而增加了 15kg/hm² 左右。每千克稻谷吸氮量为 0.0205 ~ 0.021kg,理论每千克稻谷吸氮量籼稻一般在 0.018kg 以内,可能是后期结实率偏低,部分氮素滞留在茎叶中的原故。

致谢: 本试验在凌启鸿教授和苏祖芳教授指导下进行,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等.水稻高产高效技术及理论[M].北京:中国农业出版社,2005.6.
- [2] 凌启鸿.作物群体质量[M].上海:上海科学技术出版社,2000.11.
- [3] 石庆华,潘晓华,钟旭华,等.杂交早稻吸氮特性与产量形成的研究[J].江西农业大学学报,1989,11(1):18 ~ 24.
- [4] 石庆华,潘晓华,钟旭华,等.威优 64 晚季稻种植的吸氮规律与施氮技术[J].杂交水稻,1989,(3).
- [5] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等.水稻精确施肥技术[J].中国农业科学,2006,1.
- [6] 姚宏,张伟梅,吕周林.不同施氮量对“中浙优 1 号”产量及性状的影响[J].江西农业学报,2006,18(3):23 ~ 25.