

浙东大白鹅宰后肌肉成熟过程中品质变化的研究

刘涛¹, 潘道东^{1,2}, 张小涛¹, 孙杨赢¹, 曹锦轩¹

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211) (2. 南京师范大学金陵女子学院, 江苏南京 210097)

摘要: 研究了鹅宰后肌肉成熟过程中理化指标的变化, 为改善鹅肉的品质奠定基础。选取 90 d 的浙东大白鹅, 宰后取肉样作 0 d 样品, 其余肉样在 4 °C 分别成熟 4 h、12 h、1 d、4 d、7 d 后取样快速冷冻。采用 H₂O₂ 和 N-乙酰半胱氨酸 (N-acetylcysteine, NAC) 分别对肉样浸泡 1 d、4 d、7 d, 分析肌原纤维小片化指数 (Myofibrillar Fragmentation Index, MFI) 的变化情况和肌间线蛋白 (desmin) 的降解变化情况。结果表明, 在 H₂O₂ 处理组中, 胸肉中 MFI 含量在 12 h~1 d 内升高了 80.70 (P<0.01), 1 d~7 d 内下降了 83.63 (P<0.01)。在 NAC 处理组中, MFI 在 4 h~12 h 内降低了 27.76 (P<0.01), 12 h~1 d 内升高了 98.00 (P<0.01), 1 d~4 d 内下降了 87.60 (P<0.01), 4 d~7 d 内升高了 33.46 (P<0.01)。0~4 d 内, 55 kD 的 desmin 出现了 50 kD 左右的降解片段, 在 7 d 时 50 kD 左右的降解片段被氧化为更小的片段。通过控制成熟时间可获得理想的鹅肉品质, 在 12~96 h 内, 宰后肌肉成熟过程中鹅肉品质最佳。

关键词: 浙东大白鹅; 丙二醛; 肌原纤维; 宰后成熟

文章编号: 1673-9078(2014)5-125-130

The Quality of Zhedong Goose Meat during Postmortem Aging

LIU Tao¹, PAN Dao-dong^{1,2}, ZHANG Xiao-tao¹, SUN Yang-ying¹, CAO Jin-xuan¹

(1. Food Science Department of Marine Science College, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

(2. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The physicochemical index of postmortem aging of Zhedong Goose was investigated, which was established the foundation for improving the goose meat quality. 90 days geese were involved in the research. Meat samples were taken after 0 h, 4 h, 12 h, 1 d, 4 d and 7 d at 4 °C, then frozen immediately. Soaking the samples for 1 d, 4 d and 7 d by using H₂O₂ and N-acetylcysteine (NAC), respectively. Then the change of myofibrillar fragmentation index (MFI) and the degradation of desmin were analyzed. The results showed that the MFI of breast meat increased 80.70 from 12 h to 1 d (P<0.01) and decreased 83.63 from 1 d to 7 d (P<0.01) under H₂O₂ treatment. However, under NAC treatment, the MFI value decreased 27.76 from 4 h to 12 h (P<0.01), increased 98.00 from 12 h to 1 d (P<0.01), decreased 87.60 at 1~4 d (P<0.01), and increased 33.36 at 4~7 d (P<0.01). During 0~4 d, 50 kD degradation fragments was observed in desmin (55 kD), which were degraded to more smaller segments at 7 d. The best quality of goose meat could be got within 12~96 h during the maturing process.

Key words: Zhedong goose; malondialdehyde; myofibril; postmortem aging

机体内细胞凋亡信号活性氧 (Reactive oxygen species, ROS) 诱导自由基作用于脂质发生过氧化反应, 产生丙二醛 (Malondialdehyde, MDA), MDA 的含量低, 膜受损程度越小, 相反, 膜受损程度越大。它的存在会毒害细胞膜系统、损伤蛋白质和 DNA, MDA 的含量也间接反应出 ROS 含量的多少, MDA 可使细胞核内的基因组和凋亡相关基因 Bax 活化, 使线粒体内凋亡因子释放而进一步激活细胞凋亡酶 (caspases) [1-3]。Caspases 在肉成熟嫩化中是重要的内源蛋白酶之一, 它的酶原分子量都在 30~50 kD 之

收稿日期: 2014-01-16

基金项目: 国家农业科技成果转化基金 (2013GB2C200191); 国家水禽产业技术体系基金 (CARS-43-17); 宁波市科技局创新基金 (2013C910017)

作者简介: 刘涛 (1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工

通讯作者: 潘道东, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 畜产品加工研究

间, 包括 3 个区域的结构: 原域、大亚单位 (约 20 kD) 和小亚单位 (约 10 kD) [4]。酶原本身的活性很低, 一旦被激活, 其原域以及大、小亚单位之间的连结被切除, 大小亚单位之间相互作用形成一个异二聚体, 其中包含一个活性位点, 两个异二聚体形成一个四聚体, 成为 caspases 的活化形式 [5], caspases 的作用使得连接 Z 盘与 I 带、A 带的蛋白发生降解, Z 盘弱化, 肌原纤维降解成数个肌节组成的串联体或者小片断形式 [6]。整个反应过程最终将导致肌原纤维结构的削弱和细胞功能的丧失 [7]。肌原纤维小片化指数和肌原纤维蛋白的降解是反应其结构完整性的重要指标, 对宰后鹅肉成熟中肌肉成熟机理的研究是有意义的。有报道称肌原纤维蛋白的降解与肉的嫩度和保水性呈正相关 [8]。研究表明, 肉类嫩化是一个多酶作用过程, 并且 H₂O₂ 与 NAC 一起对肉类嫩化发挥作用。屠宰后, H₂O₂

和 NAC 可以加速肌原纤维蛋白的降解, NAC 对 β -肌动蛋白的降解有显著影响。在 H_2O_2 诱导细胞凋亡的过程中, 不同的细胞已被证明有不同程度的敏感性。在人的两种肿瘤细胞株中发现, NAC 增强了缺氧诱导的细胞凋亡的过程。

目前, 有关宰后肉品成熟机理研究方面主要集中在猪肉和牛肉等, 在宰后鹅肉成熟机理研究方面比较少。本研究通过对 MFI、MDA 含量、caspase-3、caspase-9 酶活性、肌间线蛋白降解等指标的测定, 来研究鹅宰后肌肉成熟过程中品质的变化, 探讨鹅肉成熟的生理生化机制, 为分析和改善鹅肉的品质奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

浙东大白鹅, 宁波市镇海江南家禽育种有限公司; Ac-DEVD-pNA (25263-5), ANASPEC 公司; Ac-LEHD-pNA (25278-5), ANASPEC 公司; DAB substrate Kit (D0426), Sigma 公司; Goat Anti-Rabbit IgG-HRP (L3012), SAB 公司; Rabbit Anti-desmin (D8281), Sigma 公司; PVDF 转印膜, Millipore 公司。

1.2 仪器与设备

JY-SCZ2+型垂直电泳系统, 北京君意东方电泳设备有限公司; VE-186 转移电泳槽, 上海天能科技有限公司; ST-360 酶标仪, 上海科华实验系统有限公司; H-2050R 高速冷冻离心机, 湘仪离心机有限公司; XHFD 型高速分散器, 宁波新芝生物科技股份有限公司; FWS 智能型恒温恒湿培养箱, 宁波江南仪器厂; FE20 pH 计, 梅特勒。

1.3 方法

1.3.1 样品制备方法

以日龄为 90 d 左右的浙东大白鹅胸肉和腿肉为试验材料, 鹅宰杀后, 取少许肉样作为 0 d 样品, 其余肉样在 4 °C 分别成熟 4 h、12 h、1 d、4 d、7 d 后取样快速冷冻用于各项指标分析, 采用 10 mmol/L 的 H_2O_2 和 NAC 分别对肉样浸泡 1、4、7 d, 分析与嫩度高度相关的肌原纤维小片化指数的变化情况, 并且通过 Western blotting 分析 desmin 的降解变化情况。

1.3.2 肌原纤维小片化指数 (MFI) 的测定

参考 Culler^[9] 的方法并稍作调整。取 0.5 g 肉样, 加 30 mL 预冷的 MFI 缓冲液 (100 mmol/L KCl, 7

mmol/L K_2HPO_4 , 18 mmol/L KH_2PO_4 , 1 mmol/L $MgCl_2$, 1 mmol/L EDTA-2Na) 高速匀浆 3 次, 每次 20 s, 间隔 1 min; 匀浆后冷冻离心 (1000 g, 15 min, 4 °C), 弃上清, 将沉淀用 30 mL 预冷后的 MFI 缓冲液悬浮, 再离心 (1000 g, 15 min, 4 °C), 弃上清, 用 15 mL 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, 滤液即 MFI 液。采用双缩脲法测该滤液蛋白浓度, 然后用 MFI 缓冲液调整悬浮液蛋白浓度为 0.5 mg/mL, 在 540 nm 测吸光度, 将所得结果乘 200 后便得到 MFI 值。

1.3.3 丙二醛 (MDA) 含量的测定

取不同肉样各 0.5 g, 在 4.5 mL, 0.86% 冰冷的生理盐水中剪碎, 10000 r/min 在冰上研磨成 10% 的组织匀浆, 时间 10 s, 间歇 5 s, 连续 3 次, 测定试剂盒由南京建成生物研究所提供。

1.3.4 caspase-3、caspase-9 酶活性的测定^[10]

取 500 mg 冷冻样, 在 2 mL 裂解缓冲液 (pH 7.5, 100 mM Hepes 缓冲液、20% 甘油、0.5 mM EDTA、5 mM DTT、0.2% SDS) 中剪碎, 玻璃匀浆器匀浆, 冰浴裂解 30 min, 然后 12000 r/min 离心 20 min, 吸取上清, 采用双缩脲法测定蛋白浓度。反应液由 30 μ L 裂解物上清液, 240 μ L 反应缓冲液 (pH 7.5, 100 mM Hepes 缓冲液、20% 甘油、0.5 mM EDTA、5 mM DTT) 和 30 μ L 的反应底物构成。caspase-3、caspase-9 的底物分别是 Ac-DEVD-pNA, Ac-LEHD-pNA。将反应液在 96 孔酶标仪中 37 °C 预热 10 min 后加入底物, 反应 1 h 后, 迅速插入冰中, 以终止反应。然后在 405 nm 读取吸光度值。

1.3.5 肌原纤维蛋白的提取^[11]

取肉样 2 g 在 7.5 倍体积的 PRB 提取液 (100 mM KCl, 2 mM $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 2 mM EDTA-2Na, 1 mM DTT, 2 mM $Na_4P_2O_7 \cdot H_2O$, 10 mM Maleate, pH 6.8) 中剪碎后 15000 r/min 冷冻匀浆 30 s, 以 1000 g 转速下冷冻离心 10 min。取沉淀在 7.5 倍体积的提取液 (100 mM KCl, 2 mM $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 2 mM EDTA-2Na, 1 mM DTT, 10 mM Maleate, pH 6.8) 中 2800 r/min, 匀浆 6 s, 以 1000 g 转速下离心 10 min, 重复上述步骤 3 次。取沉淀加入 7.5 倍体积的 15 mM Tris (pH 8.0) 缓冲液, 2800 r/min 匀浆 6 s, 以 1000 g 转速下离心 10 min, 重复上述步骤 2 次。取悬浮液采用双缩脲法来测定并调整蛋白浓度, 按 1:1 的比例和 2 \times 样品缓冲液 (0.5 M Tris, pH 6.8, 2% SDS, β -巯基乙醇 1 mL, 50% 甘油, 溴酚蓝 4 mg, 双蒸水 6 mL) 混合, 90 °C 煮 5 min, 分装储存在 -40 °C 用于 desmin 免疫印迹分析。

1.3.6 Western Blotting^[12]

Desmin 的电泳分离胶浓度为 10% (丙烯酰胺: 甲叉双丙烯酰胺=37.5:1[m/m], 2 M Tris-HCl pH 8.8, 10% SDS[m/V], 98% TEMED, 10% APS[m/V]), 浓缩胶浓度 5% (丙烯酰胺: 甲叉双丙烯酰胺=37.5:1[m/m], 1 M Tris-HCl, pH 6.8, 10% SDS[m/V], 98% TEMED, 10% APS[m/V])。SDS-PAGE 电泳结束后, 采用湿转法将胶立即转移到 0.45 μm 的 PVDF 膜上, 200 mA 恒流转移 1 h, 转印后的膜用 5% 脱脂奶粉的 TBST 溶液封闭一小时。随后将膜至于含 5% 脱脂奶粉 TBST 以 1:500 稀释的一抗中 4 °C 孵育过夜, 用 TBST 冲洗膜 3 次, 每次 10 min。通过用 TBST 洗膜去除多余的抗体, 将膜至于 5% 脱脂奶粉 TBST 以 1:1000 稀释的抗兔 IgG-HRP 酶标二抗中室温下孵育一小时, TBST 洗膜 3 次, 每次 10 min, 最后用 DAB 试剂进行显色处理。

1.3.7 剪切力的测定

用嫩度仪法^[13-14]测定剪切力。取新鲜肉样, 沿肌纤维方向修成宽约 1 cm, 厚度约 2.5 cm 的长条肉样 (无筋键、脂肪、肌膜), 在 0~4 °C 条件下分别冷藏 1、4、7 d。取出后升温 15 min, 将温度计插入肉样的中心部位, 平整的放入塑料袋中, 在 80 °C 水浴锅内加热至肉中心温度 75 °C。取出冷却至室温, 用直径 1 cm 的取样器取样, 测定每个肉柱的剪切力 (kg·f)。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件统计数据。用 SPSS16.0 统计分析软件进行数据方差分析、多重比较和相关性分析。用 IPP6.0 软件分析蛋白质的光密度值。

2 结果与讨论

2.1 不同成熟时期肌原纤维小片化指数(MFI)的变化

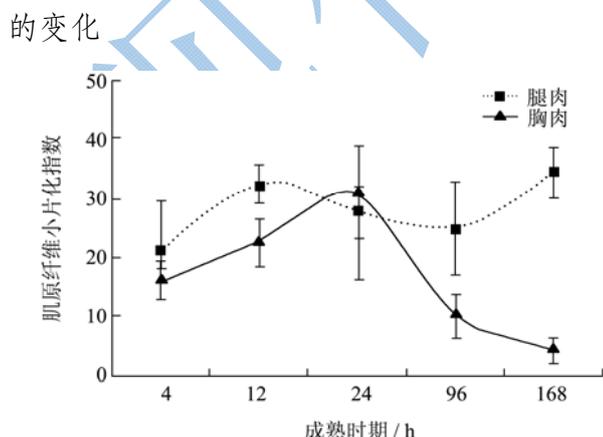


图1 肌肉不同成熟时期肌原纤维小片化指数 (MFI) (n=3)

Fig.1 MFI value in different aging time of muscle

由图 1 可知, 胸肉中 MFI 含量在 4~24 h 内升高

了 15.13 (P<0.01), 24~168 h 内降低了 26.66 (P<0.01), 而腿肉的 MFI 含量在整个成熟过程中变化不显著 (P>0.05)。

鹅肉成熟是肉的质地不断改善的过程, 在成熟过程中由于细胞凋亡酶及其他因素的作用, 肌原纤维的结构遭到破坏, 原本完整的肌原纤维断裂成含不同数目肌节的多肽类小片, 表现为 MFI 增加。MFI 的降低则表明多肽类物质降解成氨基酸片段。试验证明, 宰后成熟可显著影响肌原纤维小片化程度, 从而显著影响肉的嫩度, 可以作为间接预测肉的嫩度的因子^[15]。

2.2 不同成熟时期肌肉丙二醛 (MDA) 含量的变化

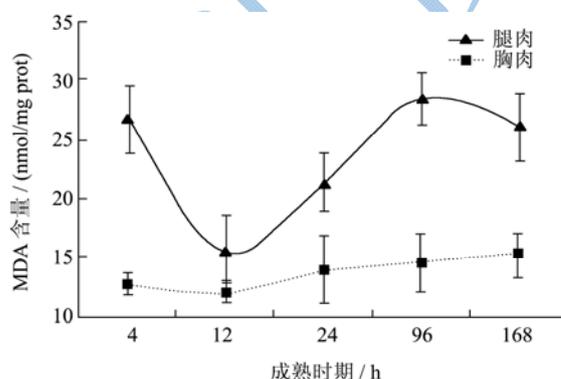


图2 肌肉不同成熟时期丙二醛 (MDA) 含量 (n=3)

Fig.2 MDA value in different aging time of muscle

由图 2 可知, 胸肉中 MDA 的含量在整个成熟过程中变化不显著 (P>0.05)。腿肉中 MDI 的含量在 4~12 h 内降低了 11.20 nmol/mg prot (P<0.01), 12~24 h 内升高了 5.88 nmol/mg prot (P<0.01), 24~96 h 内升高了 7.15 nmol/mg prot (P<0.01), 但是在 96~168 h 内变化不显著 (P>0.05)。

鹅胸肉和腿肉中的 MDA 都在 12 h 时候含量最低, 而 MDA 含量的变化间接反映了 ROS 含量的变化, 说明鹅宰后前期是 ROS 储备的阶段, 并没有受到 ROS 的作用, MDA 在消耗, 此后一段时间内 MDA 含量显著增加, 即 ROS 自由基引发脂质过氧化作用从而形成 MDA。

2.3 不同成熟时期 caspase-3、caspase-9 活性的变化

通过比色法测定 p 硝基苯胺 (p-nitroaniline, pNA) 含量, 它来自于 Ac-DEVD-pNA 与 caspase-3、Ac-LEHD-pNA 与 caspase-9 的反应产物, 因为游离的 pNA 显黄色, 在 405 nm 下有吸收峰。

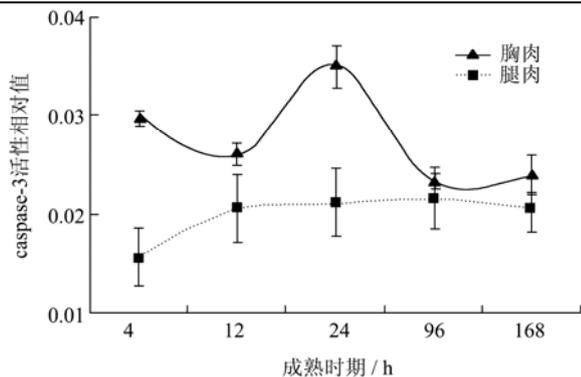


图3 不同成熟时期 caspase-3 酶活性 (n=3)

Fig.3 Caspase-3 activity in different storage time

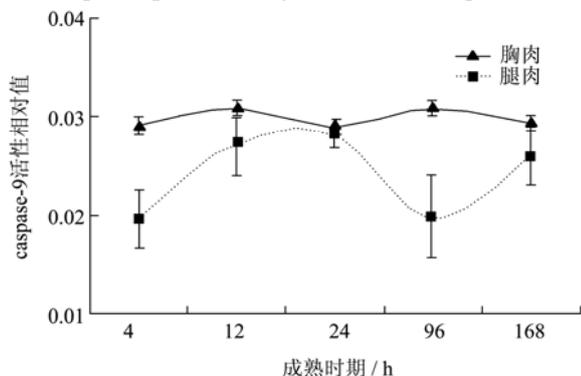


图4 不同成熟时期 caspase-9 酶活性 (n=3)

Fig.4 Caspase-9 activity in different storage time

由图3、4分析可知,在胸肉中,当鹅宰后4~12 h内, caspase-3 的酶活性降低了 14.50% ($P < 0.05$), 12~24 h内升高了 25.57% ($P < 0.01$), 24~96 h内降低了 51.07% ($P < 0.01$), 96~168 h内酶活升高不显著 ($P > 0.05$)。caspase-9 含量较低, 整个过程中酶活性呈不显著变化 ($P > 0.05$)。caspase-3 和 caspase-9 两种酶之间呈负相关, 但关系不显著 ($P > 0.05$)。当鹅宰后成熟过程中, caspase-3 酶活性在 24 h 时最高, 而 caspase-9 酶活性在 24 h 时活性相对较低。此趋势说明 caspase-3 酶原能被 caspase-9 所激活, 活化 caspase-3 反过来又能激活 caspase-9 酶原。

由图3知 caspase-3 变化幅度较大, 所以肉嫩度的变化主要是由 caspase-3 作用导致。在腿肉中, caspase-3 和 caspase-9 的活性在整个变化不显著 ($P > 0.05$)。两种酶均在 24 h 时达到最高, 随后相互作用而导致肉嫩度的增加。并且它们之间呈线性相关, 但关系不显著 ($P > 0.05$)。胸肉的两酶均高于腿肉, 所以胸肉的嫩度一般比腿肉的好。

2.4 不同处理方式下肌原纤维小片化指数

(MFI) 的变化

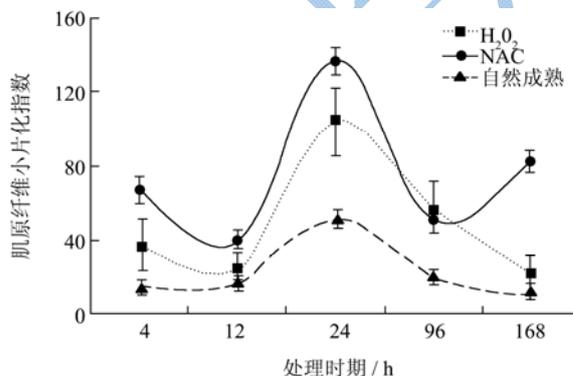


图5 肌肉不同处理方式下肌原纤维小片化指数 (MFI) (n=3)

Fig.5 MFI value by different treatments of muscle

以胸肉为例, 由图5和表1分析可知, 在 H₂O₂ 处理组中, 4~12 h 内 MFI 变化不显著 ($P > 0.05$), 12~24 h 内, 其含量升高了 80.70 ($P < 0.01$), 24~168 h 内下降了 83.63 ($P < 0.01$)。在 NAC 处理组中, 4~12 h 内 MFI 降低了 27.76 ($P < 0.01$), 12~24 h 内, 其含量升高了 98.00 ($P < 0.01$), 24~96 h 内下降了 87.60 ($P < 0.01$), 96~168 h 内升高了 33.46 ($P < 0.01$)。经过 H₂O₂ 和 NAC 处理不同时期后, 可以发现 MFI 的含量均高于自然成熟组, 其中 NAC 处理组的显著高于自然成熟组 ($P < 0.05$)。并且可以看到, MFI 的含量均在 24 h 时达到最高, 而后随着贮藏时间的延长而下降。

表1 差异显著性分析

Table 1 Differences significant analysis

MFI	4 h	12 h	24 h	96 h	168 h
自然成熟	13.5±0.89	16.83±4.15	51±5.49	19.8±3.73	9.9±1.99
H ₂ O ₂	37.13±14.08*	24.43±11.37	105.13±17.86**	56.77±13.81**	21.5±9.82
NAC	66.73±7.62**	38.97±6.17*	136.97±8.56**	49.37±5.15**	82.83±5.87**

注: 每个值代表了平均值±标准差(n=3); *: $P < 0.05$ 与自然成熟组相比; **: $P < 0.01$ 与自然成熟组相比。

2.5 不同处理条件下 desmin 降解的变化分析

肌间线蛋白(desmin)分子量约为 55 kD, 位于 Z 盘周围, 连结邻近的细丝, 排列成高精确的构造。在肉成熟过程中, 肌间蛋白发生降解, 从而使 Z 盘弱化,

最终导致其降解^[16]。由图 6、7 的蛋白质免疫印迹分析可知, 在 0 d、1 d、4 d 时, 随着成熟天数的增加, 55 kD 的 desmin 逐渐出现了 50 kD 左右的降解片段, 并在 7 d 时 50 kD 左右的降解片段被氧化为更小的片段。和对照组相比, H₂O₂ 处理组在 1 d 时条带显著深

于对照组 ($P < 0.05$), 而随后由于其氧化作用, 50 kD 左右的降解片段被氧化为更小的片段。NAC 处理组在 1 d 时, 50 kD 左右的降解片段已经被氧化。所以两者均加速了肌间线蛋白的降解, 且 NAC 的作用比 H_2O_2 明显。

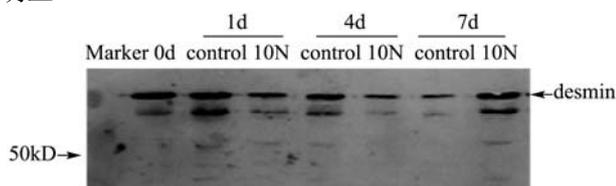


图 6 免疫印迹图谱

Fig.6 Western blot

注: 从左到右分别是: marker, 成熟 0 d, 1 d, NAC(1 d), 4 d, NAC(4 d), 7 d, NAC(7 d)样品, 上样量每孔道为 80 μ g, 蛋白浓度 10 mg/mL。

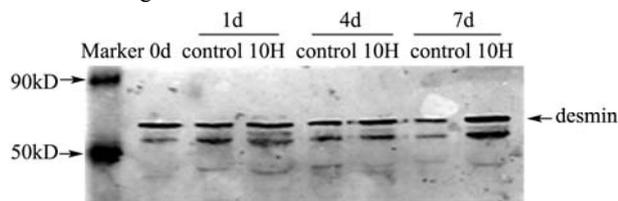


图 7 免疫印迹图谱

Fig.7 Western blot

注: 从左到右分别是: marker, 成熟 0 d, 1 d, H_2O_2 (1 d), 4 d, H_2O_2 (4 d), 7 d, H_2O_2 (7 d)样品, 上样量每孔道为 80 μ g, 蛋白浓度 10 mg/mL。

2.6 宰后成熟过程中剪切力的变化

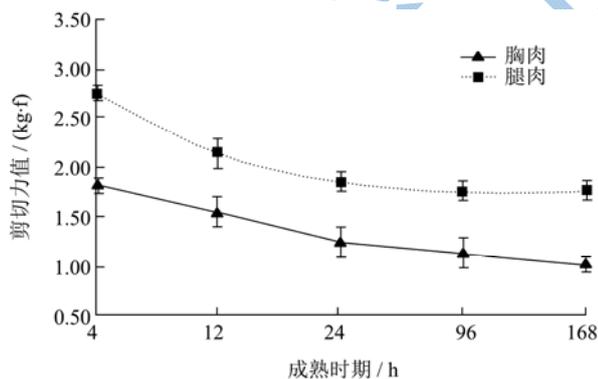


图 8 肌肉不同成熟时期剪切力值 (n=3)

Fig.8 The shear force value in different aging time of muscle

鹅肉成熟是肉的质地不断改善的过程。试验证明, 宰后成熟可显著影响肉的嫩度, 改善肉的质地。正常肉平均剪切力值愈高肉越老, 剪切力值愈低肉愈嫩。由图 8 可知, 随着成熟时间的延长, 胸肉和腿肉的剪切力值均下降。在成熟 24 h 时, 剪切力值极显著变化 ($P < 0.01$), 之后剪切力变化不显著 ($P > 0.05$)。在 12~96 h 之间, MFI 含量最高, MDA 含量最低、caspase-3

酶活性最高、caspase-9 酶活性最低、剪切力值逐渐下降, 但在 24 h 后变化不显著。综合各项指标分析, 在 12~96 h 内鹅肉品质最佳, 时间过短或过长均不好。

3 结论

通过对 MFI 含量、MDA 含量、caspase-3、caspase-9 酶活性、desmin 降解、剪切力值等指标的测定, 分析其在一定时间内的变化趋势, 间接反映肌肉蛋白质的降解程度, 为研究宰后肌肉成熟过程中品质的变化做依据。从试验结果知, 鹅的胸肉和腿肉的成熟过程存在很大差异, 宰后成熟过程中鹅肉的品质均发生一定的变化, 在 12~96 h 内, 各项指标均达到最值, 时间过短或过长指标变化不稳定。通过控制较短的成熟时间可获得理想的鹅肉品质, 在 12~96 h 内, 宰后肌肉成熟过程中鹅肉品质最佳。

参考文献

- [1] Zhou Y, et al. The protection of selenium on ROS mediated-apoptosis by mitochondria dysfunction in cadmium-induced LLC-PK1 cells [J]. Toxicology in Vitro, 2009, (23): 288-294
- [2] 杨月春, 王士勇, 李钟淑, 等. 延边黄牛核移植胚胎的活性氧含量的测定[J]. 西南农业学报, 2010, 23(1): 210-213
- [3] YANG Yue-chun, WANG Shi-yong, LI Zhong-shu, et al. Determination of Intracellular Reactive Oxygen Species Level of Somatic Cell Nuclear Transfer Embryos in Yanbian Cattle [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(1): 210-213
- [4] 施广璞, 杜洪震, 刘子文, 等. H_2O_2 致 WB-F344 细胞内活性氧的产生及机理[J]. 生物物理学报, 2002, 18(4): 462-465
- [5] SHI Guang-pu, DU Hong-zhen, LIU Zi-wen. Effects of hydrogen peroxide on producing intracellular ROS of WB-344 rat liver epithelial cell [J]. Acta Biophysica Sinica, 2002, 18(4): 462-465
- [6] 袁长青, 丁振华. Caspase 的结构与功能[J]. 医学分子生物学杂志, 2002, 24(3), 146-151
- [7] YUAN Chang-qing, DING Zhen-hua. Structure and function of caspase [J]. Journal of Medical Molecular Biology, 2002, 24(3), 146-151
- [8] 王筱冰, 张小翠, 夏妙红, 等. Caspase 的活化机制[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(3), 53-55
- [9] WANG Xiao-bin, ZHANG Xiao-cui, XIA Miao-hong, et al. Mechanisms of caspase activation [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(3), 53-55
- [10] Huang M, Huang F, et al. The effect of active caspase-3 on degradation of chicken myofibrillar proteins and structure of

- myofibrils [J]. Food Chemistry, 2011, 128: 22-27
- [7] 马书燕,李吉跃,彭祚登.人工老化过程中柔枝松种子丙二醛(MDA)含量变化研究[J].种子,2011,30(7):1-3
MA Shu-yan, LI Ji-yue, Peng Zuo-deng. Study on the variation of MDA content in the seeds of pinus flexilis james during artificial aging course [J]. Seed, 2011, 30(7): 1-3
- [8] Jaisser F, Horisberger J D, Rossier B C. The β subunit modulates potassium activation of the Na-K pump [J]. Annals of The New York Academy Of Science, 1992, 671(1): 113-119
- [9] Culler R D, Parrish F C, Smith G C, et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle [J]. Journal of Food Science, 1978, 43: 1177-1180
- [10] Du J, Wang X N, Miereles C. Activation of caspase- 3 is an initial step triggering accelerated muscle proteolysis in catabolic conditions [J]. The Journal of Clinical Investigation, 2004, 113(1): 115-123
- [11] Etlinger J D, Zak R, Fischman D A. Compositional studies of myofibrils from rabbit striated muscle [J]. Journal of Cell Biology, 1976, 68(1): 123-141
- [12] Huang M, Huang F. The effect of active caspase-3 on degradation of chicken myofibrillar proteins and structure of myofibrils [J]. Food Chemistry, 2011, 128(1): 22-27
- [13] 李同树,刘凤民,尹逊河,等.鸡肉嫩度评定方法及其指标间的相关分析[J].畜牧兽医学,2004,35(2):171-177
LI Tong-shu, LIU Feng-min, YIN Xun-he, et al. The evaluation methods of chicken meat tenderness and their relationship [J]. Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica, 2004, 35(2): 171- 177
- [14] 唐修君,高玉时,陈宽维,等.太湖鹅产肉性能及肌肉品质测定[J].中国畜牧兽医,2009,36(3):209-211
TANG Xiu-jun, GAO Yu-shi, CHEN Kuan-wei, et al. Studies on the capability of meat production and meat quality of Taihu goose [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2009, 36(3): 209-211
- [15] 吴菊清,李春保,周光宏,等.宰后成熟过程中冷却牛肉、猪肉色泽和嫩度的变化[J].食品科学,2008,29(10):136-139
WU Ju-qing, LI Chun-bao, ZHOU Guang-hong, et al. Changes of meat color and tenderness of chilled beef and pork during postmortem aging [J]. Food Science, 2008, 29(10): 136-139
- [16] Taylor R G, Geesink G H, Thompson V F, et al. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization [J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(5): 1351-1367

欢迎订阅 EI 收录期刊、中文核心期刊

《现代食品科技》

邮发代号：46-349 刊号：ISSN 1673-9078/CN 44-1620

每期定价 15 元，全年 12 期仅 180 元。欢迎食品及相关行业的机构和科学工作者到各地邮局订阅，并踊跃投稿或建立广告宣传和产学研合作关系。

地址：广州五山华南理工大学轻工与食品学院麟鸿楼 508，邮编：510640

电话：020-87113352

E-mail: xdspkj@126.com

投稿系统: www.xdspkj.cn