

冷冻期间猪肌内脂肪氧化及肌纤维蛋白凝胶性能的差异分析

尉立刚, 孙文艳, 范三红, 李倩, 杨钰昆, 郭彩霞

(山西大学生命科学学院, 山西太原 030006)

摘要: 该试验以猪肉为研究对象, 在-18 °C冷冻一定周期(0、1、4、8、12周)后, 对其肌内脂肪氧化程度和肌原纤维蛋白的凝胶性能(溶解度、凝胶保水性、凝胶白度及强度)进行测定。结果表明: 随冷冻时间的延长(12周), 猪肌内脂肪的TBARS值由0.07 mg/kg 蛋白升至0.22 mg/kg 蛋白; 与新鲜原料猪肉相比, 经12周冻藏后, 肌原纤维蛋白的溶解度由56.08%下降至35.92%, 白度59.71降至26.53, 凝胶保水性由46.67%下降为33.57%, 凝胶强度由0.25降低至0.14。此外, 将猪肉的冷冻时间与上述各指标间进行相关性分析和线性判别分析后发现: 冷冻期间猪肌内脂肪的氧化将会导致肌原纤维蛋白凝胶性能的下降, 并且猪肌原纤维蛋白溶解度的下降可能是导致其凝胶保水性、凝胶白度和凝胶强度下降的主要原因。因此, 冷冻期间控制猪肌内脂肪的氧化将对肌原纤维蛋白凝胶性能的下降具有一定的改善作用。

关键词: 冷冻时间; 猪肉; 脂肪氧化; 肌原纤维蛋白; 凝胶性能

文章编号: 1673-9078(2022)02-104-109

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0594

Analysis of Differences in Lipid Oxidation and Gel Properties of Porcine Myofibrillar Protein during Frozen Storage Period

YU Ligang, SUN Wenyan, FAN Sanhong, LI Qian, YANG Yukun, GUO Caixia

(School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In this study, lipid oxidation and the gel properties (solubility, gel retention, gel whiteness, and strength) of myofibrillar protein were investigated during frozen storage of raw pork at -18 °C (0, 1, 4, 8, 12 weeks). The results indicated that TBARS value increased from 0.07 mg/kg protein to 0.22 mg/kg protein after 12 weeks of frozen storage. Compared with fresh raw pork, solubility, gel whiteness, gel retention and strength of myofibrillar protein decreased from 56.08% to 35.92%, 59.71 to 26.53, 46.67% to 33.57%, 0.25 to 0.14, respectively. Additionally, a correlation analysis and linear discriminant analysis between frozen time and the above indicators indicated that lipid oxidation would lead to a decrease in the gel properties of myofibrillar protein, and the decrease in solubility of porcine myofibrillar protein might be the main reason for the decrease of gel retention, gel whiteness and gel strength. Therefore, the decrease of gel properties of myofibrillar protein could be improved by controlling lipid oxidation during frozen storage of raw pork.

Key words: frozen time; pork; lipid oxidation; myofibrillar protein; gel properties

引文格式:

尉立刚,孙文艳,范三红,等.冷冻期间猪肌内脂肪氧化及肌纤维蛋白凝胶性能的差异分析[J].现代食品科技,2022,38(2):104-109

YU Ligang, SUN Wenyan, FAN Sanhong, et al. Analysis of differences in lipid oxidation and gel properties of porcine myofibrillar protein during frozen storage period [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 104-109

猪肉, 作为我国肉类消费的主体, 是人们日常饮食中重要的组成部分。统计显示: 2018年我国猪肉的消费量高达6.90亿头^[1], 占肉类总产量的63.45%。冷冻储藏, 作为一种经济便捷的保存方法, 在肉类产业

收稿日期: 2021-06-07

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31801670)

作者简介: 尉立刚(1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与组分变化, E-mail: yuligang@sxu.edu.cn

中广泛应用^[2]。但是, 原料肉在低温冻藏过程中, 其蛋白质和脂肪将会发生一定程度的氧化, 导致其品质下降^[3]。

目前, 关于原料肉在冻藏过程中理化性质的改变已引起国内外相关学者的关注。李倩等人^[3]研究了低温冻藏时间对原料猪肉中肌原纤维蛋白氧化程度的影响, 结果表明: 随冻藏时间的延长, 猪肉中肌原纤维蛋白的羰基含量显著增加, 而内源性色氨酸荧光、总

疏基和表面疏水性显著下降 ($p < 0.05$)。赵钜阳等^[4]调查了冷冻储存时间对生猪肉品质的影响, 结果发现: 随冻藏时间的增加, 生猪肉中可溶性蛋白质和弹性显著降低, 而 POV、TBARS 以及游离氨基酸的含量呈现升高趋势。此外, 随冻藏时间延长, 生猪肉中的风味物质差异显著。因此, 生猪肉的品质随着冻藏时间的延长而显著下降, 尤其是冻藏 120 d 后, 其品质下降明显。Brewer 等^[5]调查了冻藏时间对真空包装的猪肉中脂肪氧化的影响后发现: 猪肉中脂肪氧化程度随冻藏时间的延长而显著增加。以上研究多集中在原料肉冻藏过程中蛋白质氧化、可溶性蛋白质、游离氨基酸以及原料肉脂肪氧化等方面, 而很少涉及到冷冻时间对猪肌内脂肪及肌原纤维蛋白凝胶性能影响的相关报道。

试验拟以新鲜猪肉为研究对象, -18 °C 下分别冻藏 0、1、4、8、12 周后, 探究冷冻时间对猪肌内脂肪和肌原纤维蛋白溶解度、保水性、凝胶白度及强度的影响, 以期对猪肉冷冻过程中肌内脂肪及肌原纤维蛋白凝胶性能的改变提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

将屠宰后 24 h 的猪脊肉 (大白猪, 180 日龄, pH=5.8, 亮度值: 42.7, 红度值: 3.7, 黄度值: 7.3) 置于冰盒中保藏; 乙二醇双(2-氨基乙基醚)四乙酸 (EGTA), 上海罗恩试剂有限公司; 1,4-哌嗪二乙磺酸 (PIPES, 纯度 98%), 北京索莱宝科技有限公司; 硫代巴比妥酸 (TBA, 分析纯), 天津市光复精细化工研究所; 氯仿、甲醇、正己烷、盐酸、氢氧化钾, 分析纯, 天津市凯通化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

Starter2100 型 pH 计, 上海奥豪斯仪器有限公司; QT-1 型涡旋振荡器, 上海琪特分析仪器有限公司; NS800 型分光测色仪, 深圳市三恩时科技有限公司; DZ-400/2SK 型真空包装机, 上海青葩食品包装机械有限公司; GC-2010 型气相色谱仪, 日本岛津公司; Agilent1100 型液相色谱仪, 安捷伦科技(中国)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 猪脊肉的冻藏

将上述置于冰盒的猪外脊肉运抵实验室, 随后剔除脂肪组织, 垂直于肌纤维纹路的方向将猪脊肉分割

成 100 g 左右的肉块, 封装后在 -18 °C 分别冻藏 0、1、4、8 和 12 周, 以备肌原纤维蛋白的提取及以下理化指标的测定。

1.2.2 肌原纤维蛋白的提取

依据 Yu 等^[6]的方法, 对肌原纤维蛋白进行提取。将上述冻藏的猪肉在 4 °C 下解冻, 切割成条状, 按 1:4 (g/mL) 的比例加磷酸盐缓冲液 (10 mmol/L 磷酸钠, 0.1 mol/L 氯化钠, 2 mmol/L 氯化镁, 1 mmol/L EGTA, pH=7.0), 置于均质机均质 60 s, 随后, 在 3340 r/min 离心 15 min, 弃上清液, 重复上述操作三次。按 1:4 (g/mL) 的比例加入 0.1 mol/L 的 NaCl 溶液, 搅拌, 用 0.1 mol/L 的 HCl 调 pH 至 6.25, 用四层纱布过滤, 离心弃上清液, 得肌原纤维蛋白。以 BSA 为标准品, 双缩脲法测定肌原纤维蛋白浓度。

1.2.3 肌原纤维蛋白中残余脂肪氧化值的测定

肌原纤维蛋白中残余脂肪的氧化程度参照 Yu 等^[7]的方法进行测定。称 2.0 g 左右的肌原纤维蛋白于 50 mL 烧杯中, 随后加入 3 mL 1% 的 TBA 溶液 (0.075 mol/L 的 NaOH 为溶剂) 和 17 mL 2.5% 的 TCA 溶液 (0.036 mol/L 的 HCl 为溶剂), 混匀后移至比色管, 加热煮沸 0.5 h, 冷却至室温。随后, 取 10 mL 上清液于 25 mL 比色管中, 加入 10 mL 氯仿, 涡旋仪振荡混匀, 在 4500 r/min 下离心 15 min。取 6 mL 上清液, 加入 3 mL 石油醚, 涡旋仪振荡混匀, 在上述相同转速下离心, 取下层液在 532 nm 处测定吸光度。同时以 2 mL 的 PIPES 溶液 (15 mmol/L) 代替样品作试验空白。肌原纤维蛋白中残余脂肪的 TBARS 按公式 (1) 计算。

$$\text{TBARS}(\text{mg} / \text{kg protein}) = \frac{A_1 - A_2}{m} \times 9.48 \quad (1)$$

式中:

A_1 ——样品的吸光度;

A_2 ——空白的吸光度;

m ——肌原纤维蛋白的质量, g。

1.2.4 肌原纤维蛋白溶解度的测定

依据曹云刚等^[8]的研究方法对肌原纤维蛋白的溶解度进行测定。用 15 mmol/L 的 PIPES 缓冲液 (含 0.6 mol/L NaCl, pH=6.25) 将提取出的肌原纤维蛋白稀释为 2 mg/mL, 搅拌 60 min (4 °C), 4500 r/min 离心 0.5 h。吸取 1 mL 上清液, 加入 4 mL 碱性酒石酸铜溶液, 37 °C 水浴中反应 0.5 h, 540 nm 比色, 同时以蒸馏水做空白。蛋白溶解度按公式 (2) 计算。

$$\text{蛋白溶解度}/\% = \frac{C_1}{C_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

C_1 ——上清液中肌原纤维蛋白浓度, mg/mL;

C_2 ——肌原纤维蛋白浓度, mg/mL。

1.2.5 肌原纤维蛋白凝胶的制备

凝胶的制备方法参照曹云刚等人^[8]的描述。首先, 将肌原纤维蛋白用 15 mmol/L 的 PIPES 缓冲液稀释至 30 mg/mL, 随后分别称取稀释过的肌原纤维蛋白约 5.0 g 于 10 mL 烧杯(测定肌原纤维蛋白的保水性)中, 约 30 g 于 50 mL 烧杯(测定肌原纤维蛋白的白度及凝胶强度)中, 保鲜膜密封烧杯, 在程序升温水浴锅中以 10 °C/min 的升温速率从 25 °C 加热至 75 °C, 保持 20 min, 随后冰浴中冷却 0.5 h, 以备保水性、白度和凝胶强度的测定。

1.2.6 肌原纤维蛋白凝胶保水性的测定

参照贾娜等^[9]的方法对凝胶保水性进行测定。具体如下: 将上述制备的凝胶(约 5.0 g)放入 50 mL 离心管(m_1), 离心 10 min (3000 r/min, 4 °C), 随后将离心管倒置于滤纸上 20 min, 称重(m_3)。凝胶保水性按公式(3)计算。

$$\text{凝胶保水性} / \% = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

m_1 ——离心前肌原纤维蛋白凝胶样品的质量, g;

m_2 ——离心管的质量, g;

m_3 ——经吸水后凝胶和离心管的质量, g。

1.2.7 肌原纤维蛋白凝胶白度的测定

参照夏秀芳等人^[10]的方法对凝胶白度进行测定。将上述制备的肌原纤维蛋白凝胶置于室温下平衡 30 min。采用 3nh 分光测色仪对样品的白度进行测定, 记录 L^* 、 a^* 和 b^* 值。凝胶白度按公式(4)计算。

$$\text{凝胶白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

式中:

L^* ——亮度值;

a^* ——红度值(正、负值分别表示偏红、偏绿);

b^* ——黄度值(正、负值分别表示偏黄、偏蓝)。

1.2.8 肌原纤维蛋白凝胶强度的测定

参照曹云刚等人^[8]的方法对肌原纤维蛋白的凝胶强度进行测定。将上述制备的肌原纤维蛋白凝胶在 25 °C 下平衡 30 min, 用滤纸吸去样品表面水分, 用 TMS-PRO 质构仪对蛋白凝胶强度进行测定。仪器的参数为: 圆柱塑胶探头(TMS 25.4 mm), 测试速度: 30 mm/min, 起始力: 0.050 N; 穿刺距离: 4 mm; 回升距离: 50 mm。探头刺破凝胶所需压力即为肌原纤维蛋白的凝胶强度。

1.2.9 数据分析

试验均设为三次重复(不同日期), 结果用均值 ± 标准偏差的形式表示。试验数据用 Statistix 9.0 软件进行方差分析和显著性分析(LSD法), 文章中的图均用 Origin 8.5 进行绘制, 试验结果中的不同字母代表差异显著($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 冷冻时间对肌原纤维蛋白中残余脂肪氧化的影响

如图 1 所示, 在原料猪肉冻藏 0~12 周的时间中, 肌原纤维蛋白中残余脂肪的 TBARS 值呈现上升趋势。在冻藏 1 周时, 与新鲜的猪肉相比, 肌原纤维蛋白中残余脂肪的 TBARS 值未见显著变化($p > 0.05$), 其 TBARS 值为 0.07 mg/kg 蛋白。冻藏 4 周时, 脂肪的 TBARS 值为 0.17 mg/kg 蛋白。随冻藏时间的持续增加(12 周), TBARS 值增至 0.22 mg/kg 蛋白($p < 0.05$)。因此, 随原料肉冻藏时间延长, 肌内脂肪的氧化程度不断加剧。赵钜阳等^[4]认为生猪肉 TBARS 升高主要是由于冻藏期间肉中水分缓慢升华, 使得水分原来的空间更易被氧气所占据, 导致原料肉氧化, TBARS 升高。Igene 等^[11]对冻藏的鸡胸肉中丙二醛的浓度进行测定, 结果发现鸡肉在冻藏后期, 丙二醛的浓度显著升高, 因此, 冻藏期间丙二醛浓度增大很可能是导致本研究中 TBARS 值升高的原因, 这与 Vivien 等^[12]的研究结果基本一致。

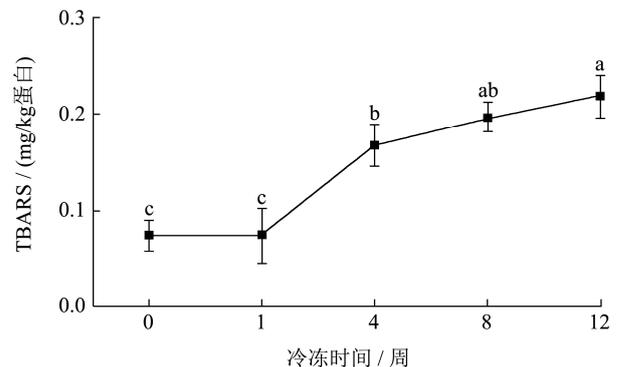


图 1 冷冻时间对肌原纤维蛋白中残余脂肪氧化的影响

Fig.1 Effects of frozen time on residual lipid oxidation in myofibrillar protein

2.2 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶保水性的影响

如图 2 所示, 随冻藏时间的延长, 肌原纤维蛋白凝胶的保水性显著下降($p < 0.05$)。与新鲜原料肉相比

(46.67%)，经 4 周冻藏之后，其凝胶保水性降至 36.60% ($p<0.05$)。随冷冻时间的持续增加 (12 周)，肌原纤维蛋白的凝胶保水性降至 33.57% ($p<0.05$)。原料肉在冷冻的过程中，肌原纤维蛋白不可避免地将会发生氧化^[3]。贾娜等^[9]研究显示：氧化后的肌原纤维蛋白，其三维立体网络结构遭到破坏，导致肌原纤维蛋白束水力和凝胶网格结构的致密型有所降低，保水性下降。因此，冻藏过程中肌原纤维蛋白的氧化可能是导致其凝胶保水性降低的原因之一。

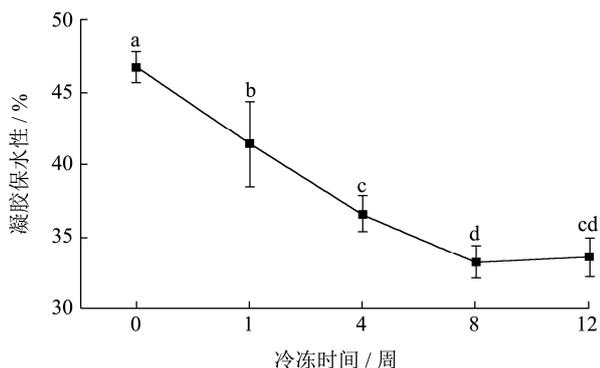


图 2 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶保水性的影响

Fig.2 Effects of frozen time on gel retention of myofibrillar protein

2.3 冷冻时间对肌原纤维蛋白溶解度的影响

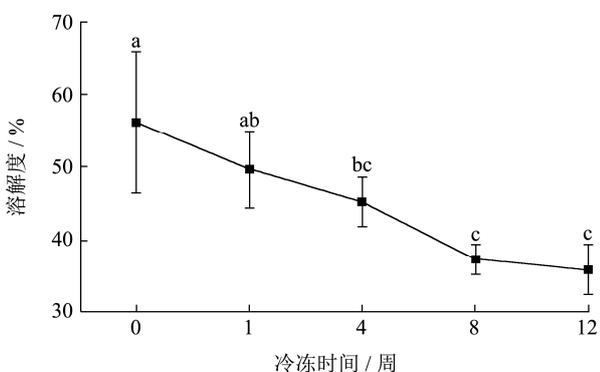


图 3 冷冻时间对肌原纤维蛋白溶解度的影响

Fig.3 Effects of frozen time on solubility of myofibrillar protein

如图 3 所示，随冻藏时间的延长，原料肉中肌原纤维蛋白的溶解度呈显著下降趋势 (由 56.08% 下降到 35.92%)。与新鲜肉中的肌原纤维蛋白相比，经 1 周冻藏之后，肌原纤维蛋白的溶解度有所下降，但不显著 ($p>0.05$)，且冻藏 1 周时的肌原纤维蛋白的溶解度是 49.68%。随冻藏时间增加 (8 周)，肌原纤维蛋白的溶解度降至 37.20% ($p<0.05$)。Sompongse 等^[13]对冻藏期间肌原纤维蛋白的稳定性进行研究，结果提示冻藏过程中肌原纤维蛋白中的巯基会氧化成二硫键，导致肌原纤维蛋白的重链发生一定程度的聚合，致使溶解度下降。此外，溶解度下降的另一个原因可能是

在冻藏过程中肌原纤维蛋白发生氧化^[3]，导致原先隐藏的疏水基团发生暴露，进而诱导了疏水相互作用的发生，使得原料肉中肌原纤维蛋白的溶解度下降^[8]。

2.4 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶强度的影响

如图 4 所示，随着冻藏时间的延长，肌原纤维蛋白的凝胶强度整体呈下降趋势。与新鲜原料肉相比较，经 8 周冻藏后，肌原纤维蛋白的凝胶强度由 0.25 降低至 0.14 ($p<0.05$)。原料肉在低温冻藏过程中，脂肪和肌原纤维蛋白将会发生氧化，导致肌原纤维蛋白的构象发生变化，使得肌原纤维蛋白分子间的作用力和氢键作用被削弱，导致热诱导后所生成的凝胶网状结构不致密，保水性下降，从而致使肌原纤维蛋白凝胶强度下降^[14]。此外，冻藏过程中氧化所导致的肌原纤维蛋白溶解度下降，促使参与成胶的蛋白量减少，可能也是导致肌原纤维蛋白凝胶强度下降的原因^[15]。

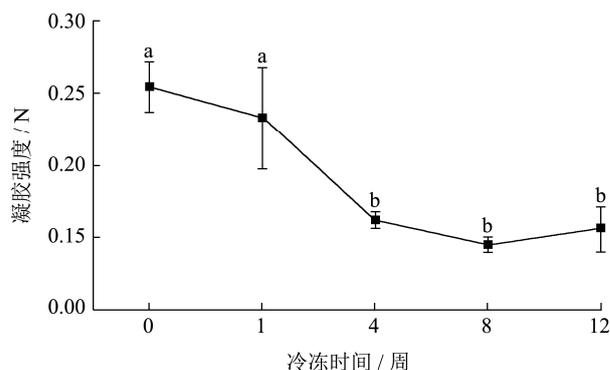


图 4 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶强度的影响

Fig.4 Effects of frozen time on gel strength of myofibrillar protein

2.5 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶白度的影响

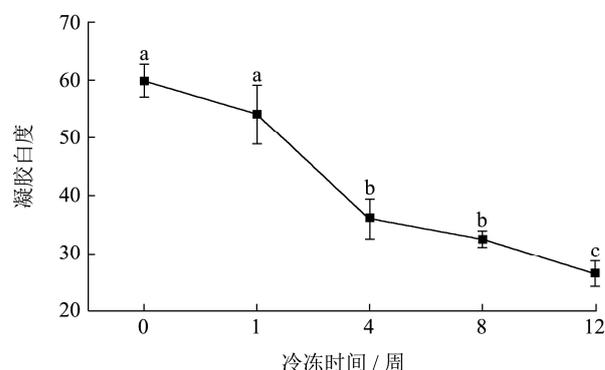


图 5 冷冻时间对肌原纤维蛋白凝胶白度的影响

Fig.5 Effects of frozen time on gel whiteness of myofibrillar protein

从图 5 中得知，随冻藏时间延长，肌原纤维蛋白的凝胶白度值整体呈下降趋势。与新鲜原料肉相比，经 12 周冻藏后，肌原纤维蛋白的白度值由 59.71 降至

26.53 ($p<0.05$)。Xia 等^[16]研究显示脂肪氧化将会导致过氧化自由基含量的增加,从而诱发蛋白质氧化,形成的氧化产物与氨基酸侧链发生非酶促反应,导致肌原纤维蛋白的白度值下降。因此,冻藏期间肌内脂肪以及肌原纤维蛋白的氧化将会导致凝胶白度的下降。此外,脂肪氧化所引起的肌原纤维蛋白与色素蛋白发生交联也可能是凝胶白度下降的原因之一^[17]。

2.6 相关性分析

由表 1 可知,冻藏时间与 TBARS 呈极显著正相关 ($p<0.01$),与溶解度、凝胶保水性、凝胶白度以及

凝胶强度呈极显著负相关 ($p<0.01$),由此推断冻藏时间对 TBARS、溶解度、凝胶保水性、凝胶白度及强度有较大影响。TBARS 与溶解度、凝胶保水性、凝胶白度及凝胶强度呈极显著负相关 ($p<0.01$);溶解度与凝胶保水性和凝胶白度呈极显著正相关 ($p<0.01$),与凝胶强度呈显著正相关 ($p<0.05$);凝胶保水性与凝胶白度和强度呈极显著正相关 ($p<0.01$);凝胶白度与凝胶强度呈极显著正相关 ($p<0.01$)。这个结果进一步表明:冻藏时间对原料肉肌内脂肪和肌原纤维蛋白的凝胶性能影响较大。

表 1 猪肉中理化性质的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of physical and chemical properties in pork

指标	冻藏时间	TBARS	溶解度	保水性	白度	凝胶强度
冻藏时间	1.00	0.90**	-0.82**	-0.85**	-0.91**	-0.79**
TBARS		1.00	-0.80**	-0.89**	-0.92**	-0.83**
溶解度			1.00	0.80**	0.77**	0.63*
保水性				1.00	0.94**	0.85**
白度					1.00	0.90**
凝胶强度						1.00

注: *表示差异显著, $p<0.05$; **表示差异极显著, $p<0.01$ 。

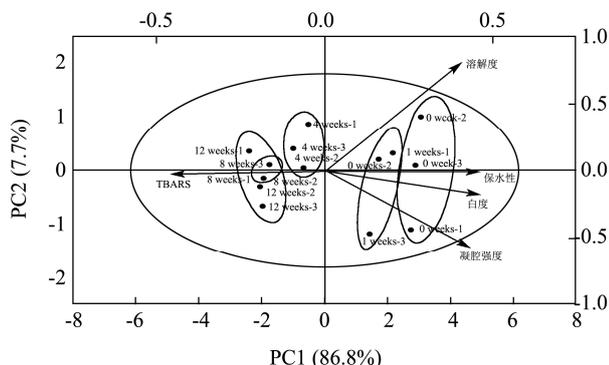


图 6 冷冻时间对猪肌内脂肪及凝胶性能影响的 LDA 分析

Fig.6 LDA analysis of frozen storage time on lipid and gel properties of myofibrillar protein

冻藏时间对猪肌内脂肪和肌原纤维蛋白的凝胶性能影响也可用各指标之间的 LDA 分析来评估。通常,从原点开始,通过与测量指标之间形成向量,两个向量之间的相关性可通过它们之间夹角的余弦值来确定^[18]。如图 6 所示,在 TBARS 与溶解度、凝胶保水性、凝胶白度以及凝胶强度之间都为钝角矢量角,这表明这些指标之间呈现负相关,说明随肌内脂肪氧化程度的加剧,肌原纤维蛋白的溶解度、凝胶保水性、凝胶白度以及凝胶强度都显著下降。凝胶保水性、溶解度、凝胶白度以及凝胶强度之间呈锐角矢量角,这个结果表明这些指标之间呈现正相关。因此,肌原纤维蛋白溶解度的下降可能也是导致凝胶保水性、凝胶白度和

凝胶强度下降的原因。

3 结论

试验主要研究了冷冻时间对猪肌内脂肪氧化及肌原纤维蛋白凝胶性能的影响。结果表明:随冻藏时间的增加,肌内脂肪氧化程度增加,肌原纤维蛋白的溶解度、凝胶保水性、凝胶白度以及凝胶强度均呈下降趋势。这些指标之间的相关性及 LDA 分析结果表明:冻藏所导致的肌内脂肪氧化可能是肌原纤维蛋白溶解度、保水性、凝胶白度及凝胶强度下降的原因之一。因此,在原料肉低温冻藏过程中,控制肌内脂肪氧化对保证原料肉的品质尤为重要。

参考文献

[1] Bai Z, Jin S, Wu Y, et al. China's pig relocation in balance [J]. Nature Sustainability, 2019, 2(10): 888

[2] Danowska-Oziewicz M, Kurp L. Physicochemical properties, lipid oxidation and sensory attributes of pork patties with lupin protein concentrate stored in vacuum, modified atmosphere and frozen state [J]. Meat Science, 2017, 131: 158-165

[3] 李倩,尉立刚,杨钰昆,等.冻藏时间对猪肉中肌原纤维蛋白氧化程度的影响[J].食品与机械,2020,36(1):157-160,165

LI Qian, YU Ligang, YANG Yukun, et al. Effect of frozen

- storage time on the oxidation degree of porcine myofibrillar protein [J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 157-160, 165
- [4] 赵钜阳,徐帆.冻藏时间对生、熟猪肉品质的影响[J].食品与生物技术学报,2020,39(10):98-103
ZHAO Juyang, XU Fan. Effect of frozen storage time on raw and cooked pork quality [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(10): 98-103
- [5] Brewer M S, Ikins W, Harbers C. TBA values, sensory characteristics, and volatiles in ground pork during long-term frozen storage: effects of packaging [J]. Journal of Food Science, 1992, 57(3): 558-563
- [6] Ligang Yu, Meng Chai, Maomao Zeng, et al. Effect of lipid oxidation on the formation of N^ε-carboxymethyl-lysine and N^ε-carboxyethyl-lysine in Chinese-style sausage during storage [J]. Food Chemistry, 2018, 269: 466-472
- [7] Ligang Yu, Qian Li, Yong Li, et al. Impact of frozen storage duration of raw pork on the formation of advanced glycation end-products in meatballs [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 146: 111481
- [8] 曹文刚,马文慧,艾娜丝,等.氧化强度对肌原纤维蛋白结构及凝胶性能的影响[J].食品科学,2019,40(20):21-27
CAO Yungang, MA Wenhui, AI Nasi, et al. Effects of different oxidation intensities on the structure and gel properties of myofibrillar protein [J]. Food Science, 2019, 40(20): 21-27
- [9] 贾娜,金伯阳,刘丹,等.儿茶素对肌原纤维蛋白氧化、结构及凝胶特性的影响[J].肉类研究,2020,34(4):13-19
JIA Na, JIN Boyang, LIU Dan, et al. Effect of catechin on the oxidation, structure and gel properties of myofibrillar protein [J]. Meat Research, 2020, 34(4): 13-19
- [10] 夏秀芳,李芳菲,田佳艺,等.低温冻藏对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2019,19(1):163-170
XIA Xiufang, LI Fangfei, TIAN Jiayi, et al. Effect of the low temperature freezing storage on gel property of myofibrillar protein [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 163-170
- [11] Igene J O, Pearson A M, Merkel R A, et al. Effect of frozen storage time, cooking and holding temperature upon extractable lipids and TBA values of beef and chicken [J]. Journal of Animal Science, 1979, 49(3): 701-707
- [12] Vivien T, Ina-Karina K, Madeleine P, et al. Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere [J]. Meat Science, 2021, 174: 108419
- [13] Sompongse W, Itoh Y, Obatake A. Effect of cryoprotectants and a reducing reagent on the stability of actomyosin during ice storage [J]. Fisheries Science, 1996, 62(1): 73-79
- [14] 刘艺杰,薛长湖,李兆杰.鳙鱼鱼糜在冻藏过程中理化性质变化的研究[J].食品工业科技,2006,27(6):70-72
LIU Yijie, XUE Changhu, LI Zhaojie. Physicochemical changes in bighead carp (*aristichthys nobilis*) surimi during frozen storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(6): 70-72
- [15] 李银,李侠,张春晖,等.羟自由基导致肉类肌原纤维蛋白氧化和凝胶性降低[J].农业工程学报,2013,29(12):286-292
LI Yin, LI Xia, ZHANG Chunhui, et al. Oxidation and decrease of gelling properties for meat myofibrillar protein induced by hydroxyl radical [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(12): 286-292
- [16] Xiufang Xia, Baohua Kong, Youling Xiong, et al. Decreased gelling and emulsifying properties of myofibrillar protein from repeatedly frozen-thawed porcine longissimus muscle are due to protein denaturation and susceptibility to aggregation [J]. Meat Science, 2010, 85(3): 481-486
- [17] 廖李,邓敏,丁安子,等.辐照剂量对泡椒凤爪肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].现代农业装备,2019,40(6):75-80
LIAO Li, DENG Min, DING Anzi, et al. Effects of different irradiation dose on the gel properties of myofibrillar protein of chicken feet with pickled peppers [J]. Modern Agricultural Equipment, 2019, 40(6): 75-80
- [18] Rakshit S, Ganapathy K N, Gomashe S S, et al. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data [J]. Euphytica, 2012, 185: 465-479