

## 不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性及蛋白质氧化的影响

张 桓, 许志诚, 张兆丽, 还传明, 高东辉, 苏 畅, 孟祥忍

### Effect of Different Pickling Methods on the Water Retention and Protein Oxidation of Salted Goose Raw Material

ZHANG Huan, XU Zhicheng, ZHANG Zhaoli, HUAN Chuanming, GAO Donghui, SU Chang, and MENG Xiangren

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050121>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 不同加热方法对盐水鹅食用品质的影响

Effects of Different Heating Methods on Edible Quality of Salted Goose

食品工业科技. 2019, 40(11): 63-69,78 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.012>

#### 蛋白质氧化对乌鳢在冻藏过程中保水性的影响

Effects of water holding capacity of snakehead induced by protein oxidation during frozen storage

食品工业科技. 2017(23): 29-34 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.23.007>

#### 蛋白质氧化对核桃蛋白质结构的影响

Effect of oxidative modification of protein on structure of walnut protein

食品工业科技. 2018, 39(12): 32-38 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.12.007>

#### 冻融对冷藏藏羊肉保水性及蛋白氧化和溶解特性的影响

Effects of Repeated Freezing-thawing on Water Holding Capacity, Protein Oxidation and Dissolution Characteristics of Tibetan Mutton during Chilled Storage

食品工业科技. 2021, 42(19): 21-28 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120148>

#### 微波解冻对秘鲁鲉鱼肌肉品质与蛋白质氧化程度的影响

Effect of microwave thawing on the muscle quality and protein oxidation in *Dosidicus gigas*

食品工业科技. 2018, 39(5): 30-35,40 <https://doi.org/>

#### 速冻方式对冷冻贮藏中大口黑鲈鱼肉蛋白质特性的影响

Effects of Different Quick-freezing Methods on Protein Properties of Largemouth Bass (*Lateolabrax japonicus*)

食品工业科技. 2021, 42(20): 309-319 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020051>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张桓, 许志诚, 张兆丽, 等. 不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性及蛋白质氧化的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 87–92. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050121

ZHANG Huan, XU Zhicheng, ZHANG Zhaoli, et al. Effects of Different Pickling Methods on the Water Retention and Protein Oxidation of Salted Goose Raw Material[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(4): 87–92. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050121

· 研究与探讨 ·

# 不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性及蛋白质氧化的影响

张 桓<sup>1</sup>, 许志诚<sup>1,2</sup>, 张兆丽<sup>1,2</sup>, 还传明<sup>1</sup>, 高东辉<sup>1</sup>, 苏 畅<sup>1</sup>, 孟祥忍<sup>1,2,\*</sup>

(1.扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127;

2.中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏扬州 225127)

**摘 要:**为探究不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性及蛋白结构的影响, 分别采用常规腌制法、真空滚揉腌制、超声波腌制、超声联合滚揉腌制、加盐滚揉腌制 5 种方式鹅进行腌制处理, 腌制时间均为 2 h。分别测定腌制后鹅肉的烹煮损失、离心损失、微观结构以及鹅肉肌原纤维蛋白的羰基、表面疏水性、总巯基、十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳分析。结果表明: 超声联合滚揉腌制的鹅肉保水性最佳, 肌纤维破坏最大, 明显改善鹅肉嫩度。超声联合滚揉腌制鹅肉肌原纤维蛋白表面疏水性 (5.17  $\mu\text{g}$ ) 与羰基含量 (0.92 nmol/mg) 低于真空滚揉、加盐滚揉、超声波腌制处理组, 同时其总巯基含量最高 (87.9 nmol/mg), 反映其蛋白氧化程度低。十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳显示超声联合滚揉腌制的蛋白条带在 43 kDa 处条带出现明显的扩散现象, 在 26~43 kDa 处条带颜色最深表明蛋白发生降解。综上超声联合滚揉腌制是最优腌制方式。

**关键词:**腌制方式, 盐水鹅, 保水性, 蛋白质氧化

中图分类号: TS251.5<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)04-0087-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050121

本文网刊:



## Effects of Different Pickling Methods on the Water Retention and Protein Oxidation of Salted Goose Raw Material

ZHANG Huan<sup>1</sup>, XU Zhicheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhaoli<sup>1,2</sup>, HUAN Chuanming<sup>1</sup>, GAO Donghui<sup>1</sup>, SU Chang<sup>1</sup>, MENG Xiangren<sup>1,2,\*</sup>

(1.School of Tourism Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2.Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage Technology Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, China)

**Abstract:** This study aimed to investigate the impact of different pickling methods on the water retention and protein structure of salted goose raw material. Five pickling methods, namely conventional curing, vacuum tumbling curing, ultrasound curing, ultrasound combined with tumbling curing, and salt and tumbling curing, were employed, with a curing duration of 2 hours. The cured goose meat samples were analyzed for cooking loss, centrifugal loss, microstructure, as well as the carbonyl content, surface hydrophobicity, total sulfhydryl content, and sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) of the myofibrillar proteins. The results indicated that the ultrasound combined with tumbling curing method exhibited superior water-holding capacity, resulting in significant enhancement of the tenderness of goose meat. Additionally, this curing method caused the most notable damage to the microstructure of muscle fibers. The myofibrillar proteins in the ultrasound combined with tumbling cured goose meat exhibited lower surface hydrophobicity (5.17  $\mu\text{g}$ ) and carbonyl content (0.92 nmol/mg) compared to the vacuum tumbling, salt and tumbling, and ultrasound curing

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32102134)。

作者简介: 张桓 (2002-), 男, 本科, 研究方向: 肉制品加工, E-mail: zhanghuan053@126.com。

\* 通信作者: 孟祥忍 (1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 动物性食品加工技术, E-mail: xrmeng@yzu.edu.cn。

groups. Conversely, the total sulfhydryl content was highest (87.9 nmol/mg), indicating lower protein oxidation levels. SDS-PAGE analysis revealed prominent diffusion of protein bands at the 43 kDa position and denser bands between 26 and 43 kDa for the ultrasound combined with tumbling cured samples, indicating protein degradation. In conclusion, ultrasound combined with tumbling curing represents the optimum curing method.

**Key words:** pickling method; salted goose; water retention; protein oxidation

盐水鹅是扬州传统腌制美食。腌制是制作盐水鹅的重要环节,也是调理肉制品加工中常用的一种加工技术。通过腌制处理可以改善肉制品风味、色泽和品质,提高腌制效率和货架期<sup>[1]</sup>。传统的腌制方式是在外界环境下直接进行常规静置腌制,缺少促进食盐渗透的有效手段<sup>[2]</sup>,存在腌制时间长、出品质量不稳定、营养及风味物质流失、腌制过程中会受到微生物污染的问题,缺乏高效产业化生产预制品的能力。

超声波、滚揉腌制加工可以提高腌制效率、肉类品质和降低微生物污染,目前被广泛运用于工业化食品腌制生产中。超声波加工过程中利用功率超声波在介质中传播时的空化效应瞬间产生高温和压力加快物质的转移等,从而提高腌制效率,对于肉制品肌肉分子结构和品质产生一定影响<sup>[3]</sup>。真空滚揉加工是将抽真空加工与滚揉加工相结合,肉制品在真空条件下的滚揉机滚筒中碰撞的机械作用力,使肉制品肌肉组织发生改变,细胞膜渗透性增强,从而加快腌制速率,提高肉制品品质。Li等<sup>[4]</sup>实验证明超声和滚揉有协同效果;李鹏等<sup>[5]</sup>认为超声波辅助变压滚揉加快蛋白降解提高鸭肉的保水性,改善鸭肉品质。

目前,肉制品腌制处理鲜有对超声联合滚揉腌制以及对不同腌制方式对肉制品肌原纤维蛋白氧化影响的探究,本文通过对盐水鹅生坯不同的腌制方式进行腌制处理,测定其保水性的能力、微观结构和蛋白氧化(羰基、表面疏水性、SDS-PAGE、总巯基)的影响,分析适宜腌制方式,为盐水鹅生坯腌制方式的优化和工业化生产提供理论依据和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

冷冻濮阳鹅 雄性日龄 90 d,体重 4±0.5 kg,濮阳市华信食品有限公司;盐、青红花椒、香叶、桂皮、八角、陈皮、白芷、茴香、丁香、草果、鸡精、肉豆蔻粉、大蒜粉、鸡汁、料酒、生姜、葱 扬州麦德龙超市;鹅骨提取物(食品添加剂) 青岛海润隆食品添加剂有限公司;D-抗坏血酸钠(食品添加剂) 江西省德兴市百勤昇VC钠有限公司;氯化钠、三氯乙酸、溴酚蓝、盐酸胍、乙酸乙酯、多聚甲醛、盐酸、氢氧化钠、β-巯基乙醇、尿素、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、三羟甲基氨基甲烷(Tris、乙二醇双(2-氨基乙醚)四乙酸(EGTA) 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

RC-1000LG 五频超声波卤煮锅 河北仁川科技有限公司;HKS-30VT 真空滚揉机 无锡哈克逊工贸有限公司;PR224ZH/E 电子分析天平 奥豪斯

仪器(常州)有限公司;BIO-RAD 型伯乐电泳仪 北京赛百奥科技有限公司;HH-4A 数显恒温水浴锅 江苏金坛市环宇科学仪器厂;VORTEX 1 型涡旋混匀仪 艾卡(广州)仪器设备有限公司;TGL-16M 高速冷冻离心机 湖南湘仪离心机有限公司;P1 紫外分光光度计 上海美普达仪器有限公司;BCD-346 型海尔冰箱 青岛海尔有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 工艺流程:冷冻鹅→解冻、预处理→浸泡血水 1 h→腌制 2 h(5 种腌制方法)→真空包装→巴氏杀菌→指标检测。

将 5 只冷冻鹅于 4 ℃ 条件下解冻 8 h 并完成去除内脏和清洗的预处理,预处理好的光鹅在 4 ℃ 的水中浸泡 1 h 去除血水,浸泡完成的光鹅分别进行 5 种腌制处理,腌制完成后进行真空包装(真空时间 15 s,真空度-0.1 MPa)并进行巴氏消毒(65 ℃ 的水浴 30 min)。

腌制液的配方(以水质量为百分比),食盐 9.5%,桂皮、八角和茴香各 0.06%,青红花椒 0.41%,陈皮 0.03%,白芷、鹅骨提取物各 0.08%、丁香 0.008%、草果 0.04%、鸡精 0.5%、肉豆蔻 0.016%、大蒜粉 0.1%、鸡汁 0.25%、料酒 2%、葱、姜各 0.1%<sup>[6]</sup>。腌制液浸没样品即可。

腌制方式参照孟祥忍等<sup>[7]</sup>的方法修改。试验设置以下处理组:常规处理组(常规),浸没在腌制液中静置 2 h;真空滚揉处理组(G),滚揉处理 0.5 h、真空度为 0.08 MPa、15 r/min,腌制液中静置 1.5 h;加盐滚揉处理组(G+NaCl)。在滚揉腌制的基础上加食盐、香叶、桂皮,调料总量不变;超声联合真空滚揉处理组(G+C),滚揉处理 0.5 h、真空度为 0.8 MPa、15 r/min,超声处理 1.5 h、90 kHz;超声辅助处理组(C),超声处理 2 h、90 kHz。

1.2.2 烹煮损失测定 将腌制好的鹅肉样品称取质量为  $M_1$  并密封在蒸煮袋中,放入 80 ℃ 条件下的水浴锅中加热 20 min,直到肉块中心温度达到 75 ℃,将熟肉块冷却至室温,用滤纸吸干表面水分,准确称重并记为  $M_2$ ,使用蒸煮损失计算公式(1):

$$\text{蒸煮损失(\%)} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.3 离心损失率测定 将腌制后的鹅肉样表面水分吸干,取肉样中心部位,取 1 g 的鹅肉样品用滤纸包裹,放置于内有脱脂棉的 50 mL 离心管中,并用脱脂棉配平。在离心机中用转速 3000 r/min,在 4 ℃

下离心时间 10 min。称量离心前记为  $M_3$  离心后记为  $M_4$ , 计算按公式(2)进行:

$$\text{离心损失}(\%) = \frac{(M_3 - M_4)}{M_3} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.4 微观结构观察 参照孟祥忍等<sup>[7]</sup>的方法修改, 将处理过的鹅胸肉样品切成 5 mm×5 mm×3 mm 的颗粒, 用 4% 的多聚甲醛固定 12 h 后制作石蜡切片。采用 200 倍光学显微镜观察样本切片结构并拍照。

1.2.5 肌原纤维蛋白的提取 肌原纤维蛋白的提取参照高子武等<sup>[8]</sup>的方法, 并稍作修改。取不同腌制方式处理过的鹅肉 8 g 剪碎后加入 4 倍体积的磷酸盐缓冲液(pH7.0, 其中含 0.1 mol/L NaCl, 10 mmol/L  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 10 mmol/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 10 mmol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 2 mmol/L  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1 mmol/L 乙二醇双(2-氨基乙醚)四乙酸(EGTA))混合均匀, 在 15000 r/min 30 s 冰浴条件下均质 2 次, 期间暂停 5 s, 挑出残留筋膜后, 离心(4 ℃, 2000×g)10 min 后弃上清液, 重复上述操作 3 次; 取沉淀再用 4 倍体积 0.1 mol/L NaCl 混匀, 重复上述冰浴均质和离心操作步骤 2 次, 弃去上清液所得沉淀即为肌原纤维蛋白。

1.2.6 表面疏水性测定 根据孟嘉珺等<sup>[9]</sup>的方法稍加修改。将 1 mL 浓度为 5 mg/mL 肌原纤维蛋白溶液加入 200  $\mu\text{L}$  1 mg/mL 溴酚蓝溶液, 空白对照组 1 mL 磷酸盐缓冲液加入 200  $\mu\text{L}$  1 mg/mL 溴酚蓝溶液, 涡旋振荡混匀 10 min 后离心(4 ℃, 5000×g, 10 min), 取上清液稀释 10 倍后在 595 nm 处测定吸光值, 表面疏水性计算如公式(3)所示:

$$\text{表面疏水性}(\mu\text{g}) = \frac{200 \times (A_{\text{空白}} - A_{\text{样品}})}{A_{\text{空白}}} \quad \text{式 (3)}$$

式中:  $A_{\text{空白}}$  为空白样品的吸光度值;  $A_{\text{样品}}$  为样品的吸光度值。

1.2.7 总巯基含量测定 参照 Yongsawatdigul 等<sup>[10]</sup>方法适当修改。取 1 mL 浓度为 2 mg/mL 肌原纤维蛋白溶液, 加入 9 mL 的磷酸盐缓冲液混匀, 取出 4 mL 混合液中加入 0.4 mL 0.1% 的 5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)DTNB 溶液, 振荡摇匀后在 40 ℃ 条件下水浴反应 25 min, 并在 412 nm 波长下测定吸光值。总巯基含量按式(4)计算得到。

$$\text{总巯基含量}(\text{nmol/mg}) = \frac{A_{412} \times D \times 10^6}{e \times c} \quad \text{式 (4)}$$

式中:  $A_{412}$  为 420 nm 下的吸光值;  $e$  为分子吸光系数, 13600 L/mol·cm;  $D$  为水浴前稀释倍数;  $c$  为蛋白浓度, mg/mL。

1.2.8 蛋白质羰基含量测定 参考 Fu 等<sup>[11]</sup>方法适当修改。取 1 mL 浓度为 5 mg/mL 肌原纤维蛋白溶液, 加入 1 mL 10% 的三氯乙酸(TCA), 振荡摇匀后 4 ℃ 离心(4 ℃, 10000×g, 5 min), 弃上清液, 在沉淀中加入 1 mL 2,4-二硝基苯肼(DNPH)(2 mol/L 盐酸, 0.2% DNPH), 室温下反应 1 h, 以 2 mol/L HCl

溶液为空白对照组, 然后加入 0.5 mL 20% 的三氯乙酸(TCA)溶液, 振荡摇匀后离心(4 ℃, 10000×g, 5 min), 弃上清液, 蛋白质沉淀用乙醇-乙酸乙酯溶液(体积比 1:1)洗涤沉淀 3 次。在蛋白质沉淀中加入 1 mL 6 mol/L 盐酸胍溶液, 振荡摇匀, 在 37 ℃ 条件下水浴 30 min 后离心(4 ℃, 10000×g, 5 min), 保留上清液在 370 nm 处测定吸光度。羰基含量按式(5)计算得到。

$$\text{羰基含量}(\text{nmol/mg}) = \frac{A \times n}{\epsilon \times \rho} \times 10^6 \quad \text{式 (5)}$$

式中:  $A$  为样品在 370 nm 波长处的吸光度;  $n$  为稀释倍数;  $\epsilon$  为摩尔吸光系数 22000/(L/(mol·cm));  $\rho$  为蛋白质质量浓度(mg/mL)。

1.2.9 SDS-PAGE 聚丙烯酰胺凝胶电泳 参考陈春梅等<sup>[12]</sup>方法适当修改, 将提取的肌原纤维蛋白配制成 4 mg/mL 的蛋白液与 buffer 缓冲液混匀, 在 100 ℃ 条件下水浴 10 min。冷却至室温, 上样前离心(4 ℃, 3000×g, 30 s), 取上清液。采用 5% 浓缩胶、12% 分离胶。蛋白质预染 Marker 作为蛋白质电泳分子量标准, 在浓缩胶时 80 V 恒压, 在分离胶 110 V 恒压, 直至结束。取出胶片浸泡在考马斯亮蓝染色溶液中染色再脱色处理。

### 1.3 数据处理

本次试验进行三次重复实验, 测量各实验的数据并计算出平均值和标准偏差, 并使用 Graph Pad Prism 8 软件绘制相关图表。使用 SPSS 24.0 软件进行差异显著性分析, 采用邓肯氏对不同处理组间的差异进行统计学分析, 确定显著性检验标准  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性的影响

鹅肉的保水性与其嫩度和品质等密切相关<sup>[13]</sup>, 由图 1 可知, 常规腌制、真空滚揉腌制、超声波腌制、加盐真空滚揉腌制和超声波联合滚揉腌制 5 组鹅肉之间的离心损失和蒸煮损失都存在显著差异

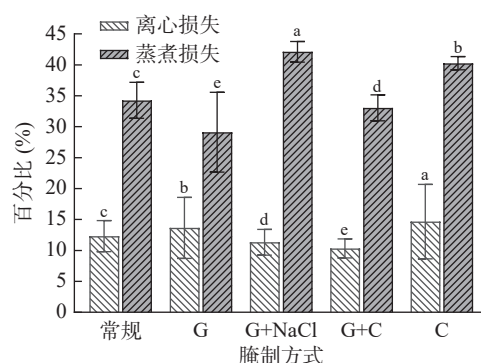


图 1 不同腌制方式对盐水鹅生坯保水性的影响

Fig.1 Effects of different pickling methods on water retention of salted goose raw material

注: 不同小写字母表示同一腌制处理组内显著差异( $P < 0.05$ ); 图 3~图 5 同。

( $P<0.05$ )。与常规腌制相比,滚揉腌制和超声联合滚揉腌制显著降低了鹅肉的蒸煮损失( $P<0.05$ ),且超声联合滚揉腌制以后,鹅肉蒸煮损失略高于滚揉腌制,可能是因为鹅肉受超声波与滚揉的联合机械力作用,鹅肉肌肉结构和肌纤维细胞中蛋白质的破坏较滚揉腌制的更严重,从而蒸煮损失增大<sup>[14]</sup>。与常规腌制相比,加盐滚揉腌制和超声联合滚揉腌制显著降低了鹅肉的离心损失,超声联合滚揉腌制离心损失最低,可能是因为滚揉中加入 NaCl,增加鹅肉盐溶性蛋白析出,导致鹅肉保水能力减弱。超声和滚揉腌制技术促进鹅肉肌肉组织间隙增大,提高了鹅肉保水性。这与佟荟全等<sup>[15]</sup>、Zou 等<sup>[16]</sup>的研究结果相似,因而推测超声波联合滚揉腌制一定程度上可以增强鹅肉的保水性。

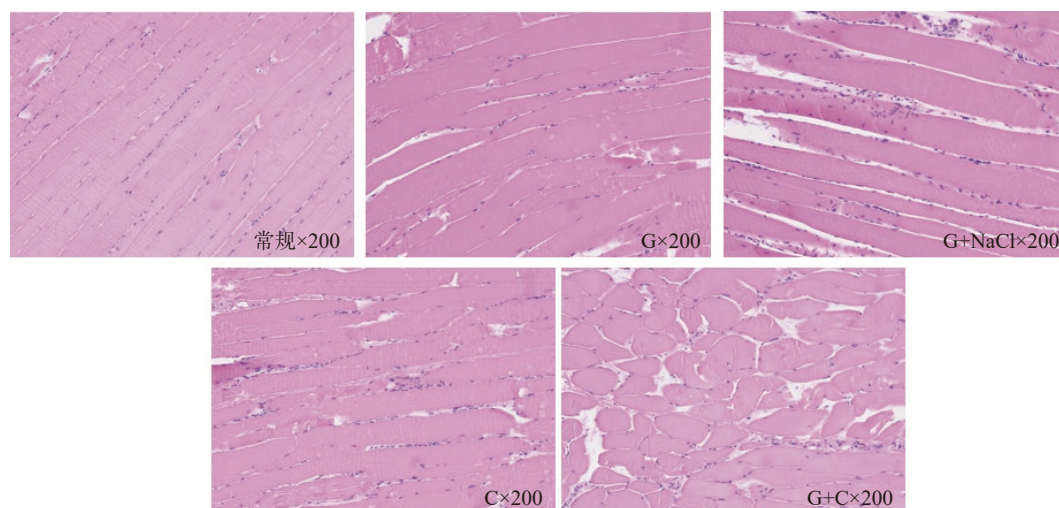


图2 不同腌制方式对盐水鹅生坯微观结构的影响

Fig.2 Effect of different pickling methods on the microstructure of salted goose green body

### 2.3 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白表面疏水性的影响

表面疏水性是肉类肌原纤维蛋白的重要性质,能够反映其氧化程度和结构稳定性,其值越小,说明肌原纤维蛋白保水能力强,蛋白氧化程度低,蛋白结构稳定性好,如图3可知,运用不同腌制方式处理对鹅肉肌原纤维蛋白表面疏水性差异显著( $P<0.05$ ),其

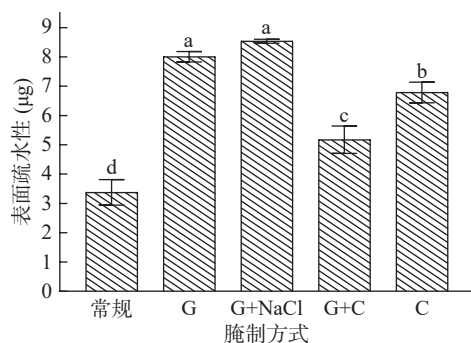


图3 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白表面疏水性的影响

Fig.3 Effect of different pickling methods on the surface hydrophobicity of goose myofibrillar protein

### 2.2 不同腌制方式对盐水鹅生坯微观结构的影响

肌纤维间隙决定肌纤维结构松散程度,直观反映肌肉嫩度<sup>[17]</sup>。如图2所示,常规腌制的肌肉纤维间隙紧密,肌纤维完整,经过其他腌制方式的鹅肉肌肉纤维间隙增大,出现一定程度的部分裂解,宏观表现为嫩度的改善,加盐滚揉腌制与超声联合滚揉腌制的肌肉纤维出现较大间隙,是由于滚揉和超声的机械作用,使得存在于间隙中盐溶性蛋白不断吸水膨胀,迫使间隙增大<sup>[18]</sup>。超声联合滚揉腌制的肌肉纤维结构破坏程度最大,肌纤维间隙增大。这可能是由于NaCl的生化效应及滚揉与超声的机械力共同作用,使得肌纤维裂解和间隙增大,呈现不规则状态<sup>[15]</sup>。Li 等<sup>[4]</sup>研究表明一定程度的肌肉纤维破裂和肌纤维间距增大能显著改善肉类嫩度。

他腌制方法均明显高于常规腌制,这是由于滚揉和超声的腌制方式破坏了肌肉的组织结构,蛋白质三级结构展开,使得肌原纤维蛋白疏水基团暴露,导致蛋白质表面疏水性增大<sup>[19]</sup>。这与吴倩蓉等<sup>[20]</sup>研究相一致。在腌制处理组中,超声联合滚揉腌制的肌原纤维蛋白表面疏水性显著低于其他腌制方式( $P<0.05$ ),可能由于超声联合滚揉腌制的空化效应和机械力作用加速蛋白内部分子交联形成聚合物,导致蛋白质的酶解降低,减少疏水基团暴露,肌原纤维蛋白表面疏水性下降。

### 2.4 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白总巯基的影响

总巯基是暴露于蛋白质表面的活性巯基和存在于分子内部的巯基,总巯基含量是表征蛋白氧化程度的关键指标之一<sup>[8]</sup>,在腌制加工过程中,总巯基容易氧化形成二硫键<sup>[21]</sup>,这种氧化反映可以促进蛋白质分子间的交叉、联结和聚合<sup>[22]</sup>。由图4可知,超声腌制和超声联合滚揉腌制分别与常规腌制无差异( $P>0.05$ ),但加盐滚揉腌制总巯基含量显著性高于真空滚揉腌制( $P<0.05$ ),可能是在滚揉过程中添加 NaCl

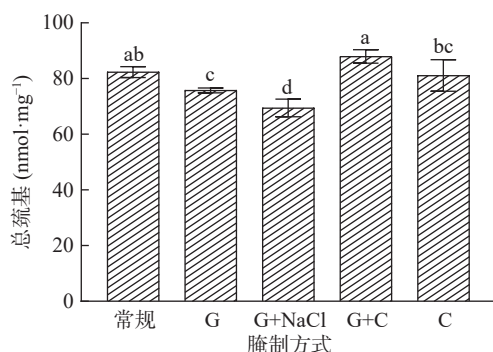


图 4 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白总巯基的影响

Fig.4 Effect of different pickling methods on the total sulfhydryl group of goose myofibrillar protein

促进肌原纤维的崩解<sup>[23]</sup>,影响蛋白结构伸展,更多巯基氧化成为二硫键<sup>[22]</sup>。此外,超声联合滚揉腌制的鹅肉肌原纤维蛋白总巯基含量最高,可能是滚揉腌制破坏肌肉组织,部分的盐溶性蛋白析出,在超声的作用下结合了鹅肉中的结合水,形成保护膜从而抑制巯基基团被氧化,降低肌原纤维蛋白氧化程度<sup>[24]</sup>。

## 2.5 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白羰基的影响

肌原纤维蛋白羰基的含量是衡量蛋白质氧化程度的关键指标之一,羰基含量的高低可以反映蛋白质分子的氧化程度和稳定性<sup>[25]</sup>。由图 5 可知,常规腌制与其他处理组有显著性差异( $P<0.05$ ),说明经过滚揉、超声腌制处理后羰基含量增多,蛋白氧化程度增大。加盐滚揉腌制的肌原纤维蛋白羰基含量最多,可能是因为滚揉腌制一定程度上改变了肌原纤维蛋白的空间构象,盐溶液加速脂质的氧化进程<sup>[7]</sup>,脂质氧化产物与肌原纤维蛋白结合形成羰基,导致羰基含量增多<sup>[26-27]</sup>。

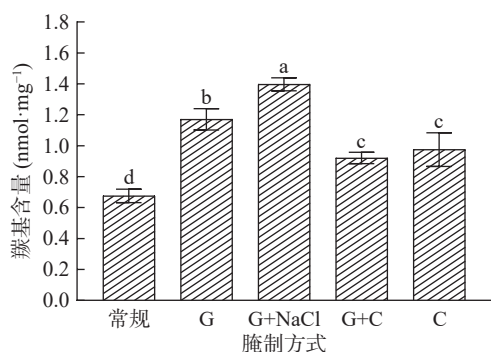


图 5 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白羰基的影响

Fig.5 Effect of different pickling methods on carbonyl of goose myofibrillar protein

## 2.6 不同腌制方式对鹅肉肌原纤维蛋白 SDS-PAGE 的影响

肌原纤维蛋白主要由肌动蛋白、肌球蛋白组成<sup>[28]</sup>,由图 6 所示,鹅肉纤维蛋白分子量主要集中在 43 kDa 肌球蛋白(Actin)与在 180 kDa 肌球蛋白辅助蛋白(肌球蛋白重链)的蛋白条带最明显。鹅肉的肌原纤维蛋白与 Marker 谱图对比发现,其他腌制处

理组的肌原纤维蛋白在 72~180 kDa 处条带模糊弱化,超声联合滚揉腌制的蛋白条带在 43 kDa 处条带出现明显的扩散现象,在 26~43 kDa 处条带颜色最深,表明滚揉或超声腌制处理一定程度上加速鹅肉蛋白降解,生成小分子片段,可能是鹅肉肌细胞中的一些内源性蛋白酶在滚揉及超声波等外力的影响下释放,从而使肌原纤维蛋白的溶出及降解<sup>[8]</sup>。

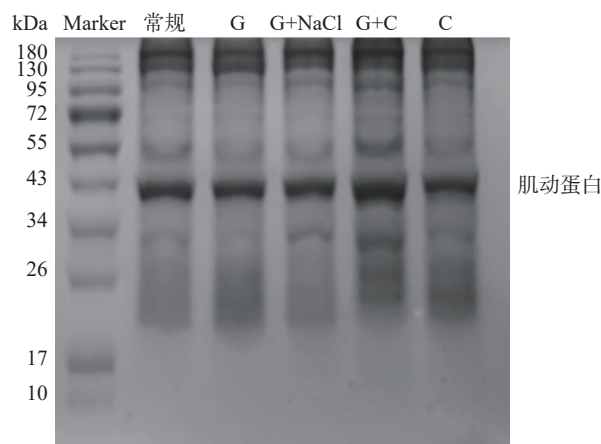


图 6 不同腌制方式处理鹅肉肌原纤维蛋白 SDS-PAGE 图谱

Fig.6 SDS-PAGE map of goose myofibrillar protein treated by different pickling methods

## 3 结论

通过对扬州盐水鹅生坯鹅肉保水性和其肌原纤维蛋白相关指标变化的测定结果综合分析可知,5 个不同腌制处理组各项指标具有显著影响。超声联合滚揉腌制对鹅肉保水性有明显的改善,超声联合滚揉腌制鹅肉肌原纤维蛋白表面疏水性和羰基含量低于真空滚揉、加盐滚揉、超声腌制处理组,其总巯基含量最高,反映其蛋白氧化程度低。加盐滚揉腌制鹅肉肌原纤维蛋白的总巯基含量最低,羰基含量最高,表明蛋白氧化程度高。超声联合滚揉腌制的蛋白条带在 43 kDa 处条带出现明显的扩散现象,在 26~43 kDa 处条带颜色最深表明蛋白发生降解。综上所述超声联合滚揉腌制是最佳腌制方法,能够增强盐水鹅生坯的保水性,同时也能有效降低蛋白质氧化的程度,一定程度上加速蛋白质降解从而改善鹅肉的嫩度,与微观结果一致。为盐水鹅生坯腌制方式的优化和工业化生产提供理论依据和数据支撑。因此,后期工作将集中完善超声联合滚揉腌制工艺参数,探索盐水鹅生坯工业化。

## 参考文献

- [1] 康大成. 超声波辅助腌制对牛肉品质的影响及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017. [KANG Dacheng. Effects of ultrasonic assisted curing on beef quality and its mechanism[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.]
- [2] 唐雪燕, 任丽影, 王丽莎, 等. 不同腌制方式对猪肉品质的影响[J]. 食品研发, 2016, 37(23): 114-119. [TANG Xueyan, REN Liying, WANG Lisa, et al. The effect of different pickling methods on the quality of pork[J]. Food Research and Development, 2016, 37(23): 114-119.]

- [3] LI Ke, FU Lei, ZHAO Yingying, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve emulsifying properties of chicken myofibrillar protein and enhance the rheological properties and stability of the emulsion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 98(C): 105275.
- [4] LI Yan, FENG Ting, SUN Jingxin, et al. Physicochemical and microstructural attributes of marinated chicken breast influenced by breathing ultrasonic tumbling[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 64(C): 105022.
- [5] 李鹏, 孙京新, 冯婷, 等. 不同滚揉腌制对鸭肉蛋白及水分分布的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(10): 157-164. [LI Peng, SUN Jingxin, FENG Ting, et al. The effect of different rolling and pickling methods on the protein and water distribution of duck meat[J]. *Journal of China Foods Limited*, 2019, 19(10): 157-164.]
- [6] 吴鹏, 孟祥忍, 许志诚, 等. 一种盐水鹅生坯的制作方法: 中国, 114403370A[P]. 2022-04-29. [WU Peng, MENG Xiangren, XU Zhicheng, et al. A method for making salted goose raw material: China, 114403370A[P]. 2022-04-29.]
- [7] 孟祥忍, 刘宗振, 吴鹏, 等. 不同腌制方式对扬州盐水鹅预制产品品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(9): 104-110. [MENG Xiangren, LIU Zongzhen, WU Peng, et al. Effects of different pickling methods on the quality of yangzhou salted geese pre-products[J]. *Food Industry Technology*, 2023, 44(9): 104-110.]
- [8] 高子武, 吴丹璇, 王恒鹏, 等. 腌制方式对牛肉肌原纤维蛋白特性及水分分布的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(24): 179-186. [GAO Ziwu, WU Danxuan, WANG Hengpeng, et al. The effect of pickling methods on the characteristics and water distribution of beef myofibrillar protein[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(24): 179-186.]
- [9] 孟嘉璐, 许树荣, 邓莎, 等. 食盐腌制对鸡肉品质、肌原纤维蛋白结构和功能特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(24): 45-53. [MENG Jiajun, XU Shurong, DENG Sha, et al. The effect of salt pickling on the quality, myofibrillar protein structure, and functional characteristics of chicken[J]. *Food Industry Technology*, 2022, 43(24): 45-53.]
- [10] YONGSAWATDIGUL J, PARK J W. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin[J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(3): 409-416.
- [11] FU Qingquan, LIU Rui, WANG Haiou, et al. Effects of oxidation *in vitro* on structures and functions of myofibrillar protein from beef muscles[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(20): 5866-5873.
- [12] 陈春梅, 周惠健, 沈银涵, 等. 煮制时间对鹅肉蛋白结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(4): 6-11. [CHEN Chunmei, ZHOU Huijian, SHEN Yinhan, et al. The effect of cooking time on the protein structure of goose meat[J]. *Food Industry Technology*, 2021, 42(4): 6-11.]
- [13] 黄荣秋, 臧明伍, 李海花, 等. 超声波技术在肉品加工中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(20): 431-439. [HUANG Rongqiu, ZANG Mingwu, LI Haihua, et al. Research progress on the application of ultrasonic technology in meat processing[J]. *Food Industry Technology*, 2023, 44(20): 431-439.]
- [14] KANG Dacheng, GAO Xueqin, GE Qingfeng, et al. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification[J]. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 2017, 38: 317-325.
- [15] 佟荟全, 杨丽芳, 肖志超, 等. 超声联合滚揉腌制对鸡胸肉品质的影响研究[J]. *核农学报*, 2022, 36(4): 777-787. [TONG Huiquan, YANG Lifang, XIAO Zhichao, et al. Study on the effect of ultrasound combined with rolling and pickling on the quality of chicken breast meat[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2022, 36(4): 777-787.]
- [16] ZOU Ye, SHI Haibo, XU Pingping, et al. Combined effect of ultrasound and sodium bicarbonate marination on chicken breast tenderness and its molecular mechanism[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 59(C): 104735.
- [17] 高子武, 王恒鹏, 陈胜姝, 等. 不同宰后时间下调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质比较[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(11): 263-272, 312. [GAO Ziwu, WANG Hengpeng, CHEN Shengshu, et al. Comparison of quality characteristics and volatile flavor substances of conditioned pork slices at different postmortem times[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(11): 263-272, 312.]
- [18] 汤春辉. 滚揉腌制对调理鸭胸肉制品品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012. [TANG Chunhui. Effect of rolling and curing on the quality of conditioned duck breast meat products[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.]
- [19] 吕远奇. 丙二醛氧化应激对猪肉肌原纤维蛋白乳化和凝胶特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. [LÜ Yuanqi. Effect of Malondialdehyde oxidative stress on emulsification and gel properties of pork myofibrillar protein[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.]
- [20] 吴倩蓉, 朱宁, 陈松, 等. 加工工艺对酱牛肉中蛋白质降解及风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 76-84. [WU Qianrong, ZHU Ning, CHEN Song, et al. Effects of processing technology on protein degradation and flavor substances in soy sauce beef[J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 76-84.]
- [21] 冯钰敏, 梁诗惠, 邓华荣, 等. 不同解冻方式对鸭腿肉品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 336-345. [FENG Yumin, LIANG Shihui, DENG Huarong, et al. The effect of different thawing methods on the quality characteristics of duck leg meat[J]. *Food Industry Technology*, 2023, 44(3): 336-345.]
- [22] 陈星. 不同腌制方式对鸭肉蛋白质和脂肪的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020. [CHEN Xing. Effects of different curing methods on protein and fat of duck meat[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020.]
- [23] 左伟勇, 王建, 臧大存, 等. 鸭肉在盐腌过程中嫩度和超微结构变化的研究[J]. *现代食品科技*, 2007(9): 35-38. [ZUO Wei-yong, WANG Jian, ZANG Dacun, et al. Research on the changes in tenderness and ultrastructure of duck meat during salting[J]. *Modern Food Technology*, 2007(9): 35-38.]
- [24] 胡鹏, 汝医, 王维婷, 等. 滚揉对成熟过程中羊肉肌原纤维蛋白降解及氧化程度的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(24): 53-56. [HU Peng, RU Yi, WANG Weiting, et al. The effect of rolling and kneading on the degradation and oxidation degree of myofibrillar protein in lamb during maturation[J]. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018(24): 53-56.]
- [25] PARK D, XIONG Y L, ALDERTON A L, et al. Biochemical changes in myofibrillar protein isolates exposed to three oxidizing systems[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(12): 4445-4451.
- [26] KANG D C, ZOU Y H, CHENG Y P, et al. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing[J]. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 2016, 33.
- [27] 王安然. 超声处理对牛肉品质的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018. [WANG Anran. Study on the effect and mechanism of ultrasonic treatment on beef quality[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018.]
- [28] 陈丽艳, 潘道东, 曹锦轩, 等. 超声波处理对鹅肉蛋白结构及品质的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(12): 2363-2372. [CHEN Liyan, PAN Daodong, CAO Jinxuan, et al. The effect of ultrasonic treatment on the structure and quality of goose protein[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2018, 32(12): 2363-2372.]