



加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块品质的影响

崔璐璐¹, 陈季旺^{1,2*}, 莫加利¹, 廖鄂^{1,2}, 彭利娟^{1,2}, 夏文水^{1,3*}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023;

2. 农产品加工与转化湖北省重点实验室(武汉轻工大学), 湖北 武汉 430023;

3. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为从蛋白质角度探究加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块品质的影响, 将鲜活草鱼去鳞、头、尾、内脏后切块腌制, 再在 200 °C 下烤制 15 min, 分别测定不同加盐量 (5%、6%、7%)、腌制时间 (2、4、6 h) 下腌制草鱼块的食盐含量、失重率和肌原纤维蛋白的理化性质 (二级结构、表面疏水性、总巯基和二硫键含量), 以及烧烤草鱼块的色度、嫩度、水分、灰分和蛋白质含量, 并对腌制烧烤草鱼块进行感官评价。结果显示, 随着加盐量的增加或腌制时间的延长, 腌制草鱼块的食盐和二硫键含量及表面疏水性逐渐增加, 总巯基含量逐渐降低, 肌原纤维蛋白的二级结构从稳定 (α -螺旋和 β -折叠) 向不稳定 (β -转角和无规则卷曲) 转化。与对照 (未腌制) 相比, 腌制烧烤草鱼块的 L^* 值、 a^* 值、剪切力、水分和蛋白质含量均显著降低, 灰分含量显著增加, 且加盐量越多, 腌制时间越长, 烧烤草鱼块的水分含量越低, 灰分含量越高, 感官评分呈先增加后降低的趋势。研究表明, 加盐量和腌制时间影响了肌原纤维蛋白结构的稳定性, 促进了蛋白质的变性, 导致烧烤草鱼块品质的变化。当加盐量为 6%、腌制时间 4 h 时, 烧烤草鱼块的水分和蛋白质含量较高, 灰分含量较低, 色泽、嫩度较好, 感官评分较高。

关键词: 草鱼; 干腌; 烧烤; 理化性质; 品质

中图分类号: TS 254.4; S 986

文献标志码: A

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 是我国淡水养殖的四大家鱼之一, 蛋白质和多不饱和脂肪酸含量较高, 同时富含矿物质, 能为人体提供大量的必需脂肪酸和动物蛋白^[1]。近几年, 我国草鱼产量呈现逐年增长的趋势。2020 年, 我国大宗淡水水产养殖总产量 1 963.6 万 t, 其中草鱼 557.11 万 t, 占比为 28.37%, 但草鱼的加工率和产品附加值低, 深加工产品的种类少, 多以鲜鱼直销为主, 影响了渔业经济的发展^[2]。

淡水鱼烧烤制品是指将经过宰杀清洗、腌制

的淡水鱼置于高温下, 烤制至可食用的一类风味食品, 具有烹调便捷、肉质鲜嫩、风味独特、口感佳等优点, 深受广大青年消费者的喜爱。但淡水鱼烧烤制品存在品质不稳定、安全性差等问题, 亟需对淡水鱼烧烤制品进行系统研究。草鱼烧烤制品的加工工艺主要包括两个阶段: 一是腌制阶段, 二是烤制成熟阶段。其中腌制是草鱼烧烤制品加工过程的基本工序, 不仅能提高保藏特性, 还能赋予产品咸香的风味。因此, 明确加盐量和腌制时间对草鱼烧烤制品品质的影响规律, 对优

收稿日期: 2021-06-30 修回日期: 2022-01-08

资助项目: 国家现代农业产业技术体系专项 (CARS-45-1)

第一作者: 崔璐璐 (照片), 从事水产品加工及贮藏工程研究, E-mail: 846732478@qq.com

通信作者: 陈季旺, 从事水产品加工及贮藏工程研究, E-mail: jiwangchen1970@126.com;

夏文水, 从事水产品加工及贮藏工程研究, E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn



化腌制加工工艺参数, 改善草鱼烧烤制品的品质具有重要的意义。

有关腌制工艺对鱼肉的品质特性影响的研究有较多报道。章银良等^[3]研究了海鳗盐渍过程中的渗透脱水规律。结果显示, 在不同的食盐浓度下进行盐渍时, 伴随着水分的渗出和食盐的渗入, 鱼体组织收缩, 结构变得紧密, 肉质变硬。许艳顺等^[4]采用低盐腌制结合冷藏或冻藏保鲜草鱼片, 探讨低盐腌制对冷藏或冻藏草鱼片品质的影响。结果显示, 腌制能够有效延缓草鱼片质构的劣化, 减少汁液流失, 提高持水力, 且腌制鱼片的 a^* 值明显高于未腌制鱼片, 而 L^* 值、 b^* 值略低于未腌制鱼片。郭雅^[5]采用干腌、湿腌、混合腌制 3 种传统腌制方式腌制鳊鱼 (*Parabramis pekinensis*), 研究腌制方式对风干鳊鱼加工过程中理化指标及成品感官评分的影响。结果显示, 采用干腌法腌制的风干鳊鱼在腌制速率和产品风味方面优于湿腌和混合腌制。

然而, 通过探究加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块腌制过程中蛋白质理化性质的影响, 进而分析加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块品质的影响鲜见报道。因此, 本研究通过分析不同加盐量 (5%、6%、7%) 及不同腌制时间 (2、4、6 h) 下腌制草鱼块的食盐含量、失重率、肌原纤维蛋白的理化性质 [二级结构、表面疏水性指数 (H_0)、总巯基和二硫键含量], 以及烧烤草鱼块的色度、嫩度、水分、灰分和蛋白质含量的变化规律, 结合感官评价, 探讨加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块品质的影响, 以为烧烤草鱼块的规模化加工提供科学指导和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活草鱼 (体重约 1.5 kg) 购于湖北允泰坊食品有限公司; 金龙鱼大豆油购于益海嘉里 (武汉) 粮油工业有限公司; 食盐购于湖北盐业集团有限公司; 绿茶购于武汉市云雾茶叶有限公司; 牛血清标准蛋白质购于德国 Biofrox 公司; 5, 5'-二硫代双 (2-硝基苯甲酸, DTNB)、1-苯胺基-8 奈基磺酸盐 (ANS)、三羟甲基氨基甲烷 (TRIS) 均购于源叶生物化学试剂有限公司; 其他化学试剂均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

CR-10 色差计, 柯尼卡美能达 (中国) 投资有

限公司; C-LM3B 数显式肌肉嫩度仪, 北京龙德泰达生物技术有限公司; WHJ7200 分光光度计, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; DW-60W388 超低温冰箱, 海尔生物医疗股份有限公司; FD-1-50 真空冷冻干燥机, 北京博医康实验仪器有限公司; NEXUS670 傅里叶红外光谱仪, 尼高力仪器公司; F-4600 型荧光光谱仪, 日本 Hitachi 公司。

1.3 实验方法

烧烤草鱼块的制备 鲜活草鱼→预处理→切块→脱腥→腌制→脱盐→穿串→干燥→冷却→烤制→成品。

草鱼块的制作。选用鲜活的草鱼, 去鳞、头、尾、鳍、内脏等, 用流水清洗干净, 从腹部沿中轴骨剖片, 剖片后刮掉腹腔内的黑膜, 剔除鱼刺 (注意不要破坏鱼块的完整性), 用流水逐片清洗干净, 纵向切成大小厚薄基本一致 (7 cm×2 cm×1.5 cm) 的草鱼块, 每块 17~21 g。实验过程中操作人员严格遵守实验动物相关伦理规范。

脱腥、腌制。用沸水泡绿茶, 茶叶与水的比例为 1:50 (重量比), 冷却至室温 (25 °C), 滤掉茶叶。将草鱼块浸泡在茶汤中并于 4 °C 的冰箱中脱腥 30 min, 鱼块与茶汤比为 1:2 (重量比), 草鱼块脱腥后放置于不锈钢架上, 沥干表面水分, 转移至洁净干燥的不锈钢盆中, 缓慢撒入食盐, 边撒边翻转鱼体, 涂抹均匀, 保鲜膜密封, 置于冰箱的冷藏室 (4 °C) 进行腌制。腌制条件: ①确定腌制时间 4 h, 加盐量分别为 5%、6%、7%; ②确定加盐量为 6%, 腌制时间分别为 2、4、6 h, 均以未腌制的草鱼块为对照。

脱盐、穿串、干燥。草鱼块腌制完成后, 放入盛有自来水的的天锈钢盆中脱盐, 鱼块与清水为 1:4 (重量比), 重复淘洗 2 次, 每次 1 min。脱盐后的草鱼块用竹签沿鱼块长边穿起, 每串 1 块鱼块, 置于 40 °C 的热风干燥箱中干燥 2 h (鱼块间同方向、等间距), 取出自然冷却至室温 (25 °C)。

烤制、成品。选取 12 串草鱼块, 两面刷大豆油, 置于预热的电烤炉 (200 °C) 烤网上烤制 (鱼块同方向、等间距), 烤制 15 min, 每隔 8 min 翻动 1 次。烤制前将烤网刷油, 避免草鱼块黏连烤网, 烤制完成后, 将鱼块置于铺有纱布的不锈钢托盘中, 自然冷却至室温 (25 °C), 备用。

食盐含量的测定 参照 GB 5009.44—2016

《食品中氯化物的测定》^[6]中的佛尔哈德法。

失重率的测定 用滤纸将腌制前后草鱼块表面的水分吸干, 记录质量, 计算失重率。

$$W(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W 为失重率(%); m_1 为腌制前的草鱼块重量(g); m_2 为腌制后的草鱼块重量(g)。

肌原纤维蛋白的提取 参照 Ren 等^[7]的方法, 并稍作修改。将腌制草鱼块用绞肉机绞碎, 准确称取 4 g, 加入 5 倍质量的 0.05 mol/L KCl-20 mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 7.0), 15 000 r/min 匀浆 10 s; 随后在 4 °C、10 000 r/min 离心 10 min, 弃去上清液 (水溶性蛋白质, 如肌浆蛋白质), 重复洗涤沉淀 2 次。沉淀加入 4 倍质量的 0.6 mol/L KCl-20 mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 7.0), 15 000 r/min 匀浆 5 s。4 °C 静置 30 min 以充分溶解肌原纤维蛋白, 4 °C、10 000 r/min 离心 20 min, 离心后的上清液即为肌原纤维蛋白溶液。采用双缩脲法测定肌原纤维蛋白的浓度, 以牛血清白蛋白 (BSA) 作为标准蛋白质。

总巯基和二硫键的测定 总巯基含量测定。参考 Yongsawatdigul 等^[8]的方法, 并稍作修改。将肌原纤维蛋白溶液用 0.6 mol/L KCl 溶液稀释到 4 mg/mL, 取 1 mL 加入 4 mL 50 mmol/L x 磷酸盐缓冲液 (PBS, 含 0.6 mol/L KCl、10 mmol/L EDTA、8 mol/L 尿素, pH 7.0)。取 4 mL 混合溶液, 加入 0.4 mL 含 0.1% 的 DTNB 的 Tris-HCl 缓冲液 (0.2 mol/L, pH 8.0), 40 °C 水浴 25 min。以 0.6 mol/L KCl 溶液作为空白, 412 nm 处测定吸光值。计算腌制草鱼块的巯基含量。

$$\text{总巯基含量}(\text{mol}/10^5\text{g}) = \frac{A \times D}{13\ 600 \times C} \quad (2)$$

式中, A 为吸光度; C 为分子吸光系数, 13 600 L/(mol·cm); D 为稀释倍数 5; 测得的巯基含量以 mol/10⁵ g 蛋白质计。

二硫键含量。参考 Balange 等^[9]的方法, 用 2-硝基-5-硫代磺基苯甲酸酯 (NTSB) 试剂法测定。将肌原纤维蛋白溶液用 0.6 mol/L KCl 稀释至 0.5 mg/mL, 取 0.5 mL 加入 3.0 mL 新鲜配制的 NTSB 检测溶液 (pH 9.5), 充分混匀后避光放置 25 min, 以 0.6 mol/L KCl 溶液作为空白样品, 412 nm 处测定吸光值, 二硫键含量以 mol/10⁵ g 蛋白质计。根据式 (3) 计算腌制草鱼块的二硫键含量。

$$\text{二硫键含量}(\text{mol}/10^5\text{g}) = \frac{A \times D}{13\ 600 \times C} \quad (3)$$

NTSB 检测溶液的配制。100 mg DTNB 溶于 10 mL 1 mol/L 的亚硫酸钠中, 调节 pH 值至 7.5, 置于 38 °C 下通入氧气, 溶剂由亮红色变成黄色。使用新鲜配制的 2 mol/L 的硫氰酸胍、50 mmol/L 甘氨酸、100 mmol/L 亚硫酸钠、3 mmol/L EDTA, 按体积比 1 : 100 稀释, pH 值调至 9.5, 常温 (25 °C) 下可放置 2 周。

表面疏水性的测定 参考 Riebroya 等^[10]的方法, 稍作修改。将肌原纤维蛋白溶液用 0.6 mol/L KCl-10 mmol/L PBS 分别稀释成 0.01、0.05、0.10、0.20、0.50 mg/mL 系列蛋白质浓度的溶液。取 4 mL 稀释的蛋白质溶液加入 20 μL 8 mmol/L 的 ANS 和 0.1 mol/L PBS (10 mmol/L pH 7.0), 振荡混匀后避光放置 15 min 进行测试, 以 KCl 缓冲液为空白。参数设置: 激发波长和发射波长分别为 374 和 485 nm, 采用 5 nm 作为荧光激发和发射波长的狭缝宽度。

蛋白质二级结构的测定 参考 Chen 等^[11]的方法, 稍作修改。先将腌制后的草鱼块冷冻干燥 72 h, 用高速粉碎机粉碎成粉末, 取适量 (5 mg) 至研钵中, 并按照 1 : 100 (质量比) 的比例加入 KBr, 充分混匀并研磨后压片测定, 用空气作为空白进行测定并扣除背景, 400~4 000 cm⁻¹ 光谱范围扫描 32 次, 分辨率 4 cm⁻¹, 采用 Peakfit 软件对酰胺 I 带吸收峰 (1 600~1 700 cm⁻¹) 进行拟合 ($r^2 > 0.99$)。

水分含量的测定参照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》^[12]。蛋白质含量的测定参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》^[13]中的燃烧法。灰分含量的测定参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》^[14]。色度的测定参考 Watanachant 等^[15]的方法, 稍作修改。剪切力的测定参照 NY/T 1180—2006《肉嫩度的测定 剪切力测定法》^[16]。感官评价参考徐言等^[17]的方法, 稍作修改。由 11 名专业的食品研究人员组成感官评价小组, 对烧烤草鱼块的 5 个指标 (色泽、外观、咸度、气味、口感) 进行感官评价。

1.4 数据分析

采用 Orign 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理和分析, 实验重复 3 次, 结果以平均值±标准差表示。数据采用 ANOVA 进行 Dunken 氏差异分析, 以 $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

2 结果

2.1 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块食盐含量和失重率的影响

腌制时间为 4 h 时, 随着加盐量的增加, 腌制草鱼块的食盐含量和失重率 (统一用绝对值表示) 均显著增加 ($P<0.05$), 分别从 1.54% 增加至 2.21%, 从 0.52% 增加至 3.35%。腌制时间为 6 h 时, 随着加盐量的增加, 腌制草鱼块的食盐含量显著增加 ($P<0.05$), 从 1.72% 增加至 1.96%, 失重率从 0.76% 增加到 1.05% 后逐渐稳定 (表 1)。

表 1 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块的食盐含量、失重率的影响

Tab. 1 Effects of salt amount added and salting time on salt content and weight loss rate of salted *C. idella* fillets

加盐量/% salt amount added	腌制时间/h salting time	食盐含量/% salt content	失重率/% weight loss rate
5	4	1.54±0.00 ^a	-0.52±0.00 ^a
6	4	1.86±0.00 ^b	-1.05±0.01 ^b
7	4	2.21±0.00 ^a	-3.35±0.04 ^b
2	6	1.72±0.05 ^c	-0.76±0.00 ^a
4	6	1.86±0.00 ^b	-1.05±0.00 ^a
6	6	1.96±0.05 ^a	-1.06±0.01 ^a

注: 在同一列数据中, 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。
Notes: Mean values listed in the same column with different letters indicate statistically significant differences ($P<0.05$), the same below.

2.2 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块肌原纤维蛋白总巯基、二硫键含量及 H_0 的影响

与对照相比, 腌制烧烤草鱼块的二硫键含量和 H_0 显著增加 ($P<0.05$), 总巯基含量显著减少 ($P<0.05$)。随着加盐量的增加或腌制时间的延长, 腌制草鱼块中的总巯基含量呈现显著降低的趋势

($P<0.05$), 而二硫键含量和 H_0 呈显著升高的趋势 ($P<0.05$) (表 2)。这说明草鱼块经过腌制处理, 鱼肉中的离子强度增加, 破坏了鱼肉蛋白质的静电平衡, 掩盖在肌原纤维蛋白分子内的活性巯基暴露, 进而发生巯基氧化^[18-20]。同时, 肌原纤维蛋白发生聚集反应, 形成的聚合体会覆盖一些巯基, 使游离巯基减少, 导致总巯基含量下降、二硫键含量上升^[5, 20]。

2.3 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块肌原纤维蛋白二级结构的影响

酰胺 I 带 ($1\ 700\sim 1\ 600\text{ cm}^{-1}$) 是对蛋白质结构变化高度敏锐的一个谱带, 常用于二级结构的分析, 振动频率取决于 C=O 和 H-N 之间的氢键性质, 酰胺 I 带的波数在 $1\ 615\sim 1\ 637\text{ cm}^{-1}$ 为 β -折叠, $1\ 638\sim 1\ 645\text{ cm}^{-1}$ 为无规则卷曲, $1\ 645\sim 1\ 660\text{ cm}^{-1}$ 为 α -螺旋, $1\ 660\sim 1\ 695\text{ cm}^{-1}$ 为 β -转角^[21]。

与对照相比, 腌制草鱼块的 β -折叠、 β -转角和无规则卷曲相对含量较高, α -螺旋的相对含量较低 (表 3)。随着加盐量的增加或腌制时间的延长, α -螺旋相对含量呈下降的趋势, β -折叠相对含量先降低后增加, 但 α -螺旋与 β -折叠相对含量之和呈现显著下降的趋势; β -转角相对含量呈上升趋势, 无规则卷曲的相对含量呈下降的趋势, 但 β -转角和无规则卷曲含量之和呈现上升的趋势。这说明随着食盐的渗入, 草鱼块中的水分子和盐离子结合, 引起蛋白质周围的水分子重排, 通过疏水作用使蛋白质分子之间的相互作用加强, 破坏了维持 α -螺旋结构稳定的氢键, 使蛋白质的稳定结构遭到破坏或向其他构象转化, 且食盐含量越高, 影响程度越严重^[22]。进一步验证了总巯基含量、二硫键含量及 H_0 的变化规律。这与曹锦轩等^[23]

表 2 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块肌原纤维蛋白总巯基、二硫键含量及 H_0 的影响

Tab. 2 Effects of salt amount added and salting time on total sulfhydryl group and disulfide bond contents and H_0 of myofibrillar protein from salted *C. idella* fillets

加盐量/% salt amount added	腌制时间/h salting time	总巯基含量/ (mol/10 ⁵ g) total-SH content	二硫键含量/ (mol/10 ⁵ g) disulfide bond	H_0
0	0	5.85±0.34 ^a	0.59±0.07 ^d	366.94±0.33 ^d
5	4	4.85±0.13 ^b	0.91±0.08 ^c	513.86±14.91 ^c
6	4	3.37±0.02 ^c	1.15±0.08 ^b	626.87±1.95 ^b
7	4	2.44±0.28 ^d	1.58±0.00 ^a	679.69±5.10 ^a
2	6	5.02±0.06 ^b	1.01±0.00 ^{bc}	588.99±14.10 ^c
4	6	3.37±0.02 ^c	1.15±0.08 ^b	626.87±1.95 ^b
6	6	2.87±0.01 ^d	1.32±0.04 ^a	697.64±7.76 ^a

表 3 加盐量和腌制时间对腌制草鱼块肌原纤维蛋白二级结构的影响

Tab. 3 Effects of salt amount added and salting time on the secondary structure of myofibrillar protein from salted *C. idella* fillets

加盐量/% salt amount added	腌制时间/h salting time	α -螺旋 α -helix	β -折叠 β -sheet	β -转角 β -bend	无规则卷曲 random coil
0	0	27.03±0.10 ^a	27.06±0.11 ^d	35.84±0.13 ^c	10.06±0.13 ^d
5	4	21.83±0.07 ^b	33.6±0.15 ^a	28.59±0.12 ^d	15.97±0.12 ^a
6	4	10.91±0.10 ^c	28.43±0.06 ^c	46.39±0.17 ^b	14.27±0.08 ^b
7	4	6.16±0.07 ^d	31.18±0.07 ^b	50.36±0.10 ^a	12.3±0.09 ^c
2	6	13.9±0.1 ^b	27.45±0.30 ^c	43.59±0.14 ^c	15.06±0.27 ^a
4	6	10.91±0.06 ^c	28.43±0.10 ^b	46.39±0.42 ^b	14.27±0.08 ^b
6	6	5.27±0.13 ^d	31.08±0.16 ^a	49.46±0.10 ^a	14.19±0.08 ^b

解析肌原纤维蛋白在腊肉加工过程中二级结构的变化和 H_0 的升高规律一致。

2.4 加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块水分、灰分和蛋白质含量的影响

与对照相比, 腌制烧烤草鱼块的水分和蛋白质含量显著降低 ($P<0.05$), 灰分含量显著增加 ($P<0.05$)。随着加盐量的增加或腌制时间的延长, 腌制烧烤草鱼块中的水分含量呈现先增加后降低的趋势 ($P<0.05$), 灰分含量呈现升高的趋势 ($P<0.05$), 而蛋白质含量无显著变化 ($P>0.05$) (表 4)。水分和蛋白质含量的变化与加盐量和腌制时间对腌制草鱼块肌原纤维蛋白表面疏水性及二级结构的影响一致。同时, 加热处理使蛋白质变性或形成聚集物, 蛋白质分子持水能力下降, 导致更多的水分流失; 而灰分含量升高主要与食盐的渗入有关。

2.5 加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块剪切力、色度和感官评分的影响

与对照相比, 腌制烧烤草鱼块的 L^* 值、 a^* 值和剪切力显著降低 ($P<0.05$), 感官评分显著增高, 而 b^* 值无显著差异 ($P>0.05$)。加盐量的增加或腌

制时间的延长对 L^* 值、 b^* 值均无显著影响 ($P>0.05$), a^* 值随着加盐量的增加而显著减少 ($P<0.05$), 剪切力随着加盐量的增加而显著升高 ($P<0.05$), 随着腌制时间的延长, a^* 值和剪切力的变化趋势与之相反 ($P<0.05$); 随着加盐量的增加或腌制时间的延长, 烧烤草鱼块的感官评分先增加后降低 (表 5)。

3 讨论

在草鱼块腌制过程中, 食盐产生的渗透压使鱼块组织渗出水分, 形成食盐溶液, 渗透到内部, 导致草鱼块的食盐含量升高, 且加盐量越多, 产生的渗透压差越大, 食盐渗透的速率越快^[24]。腌制时间越长, 鱼块中渗入的食盐含量越高。食盐的渗透作用使鱼块组织外部盐分含量高, 内部较低, 鱼体通过不断的失水平衡内外渗透压, 造成蛋白质的持水能力下降, 鱼肉水分含量减少, 失重率逐渐增加^[25]。同时, 渗透作用发生的鱼块表面失水现象, 使得鱼块表面对光的反射降低, 导致 L^* 值降低, 而鱼肉中色素的溶出和外部腌制液的渗入, 导致 a^* 值降低^[26]。但是在加盐量一定时, 随着腌制时间的延长, 水分的不断渗出导致草鱼

表 4 加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块水分、灰分和蛋白质含量的影响

Tab. 4 Effects of salt amount added and salting time on moisture, ash, and protein contents of roasted *C. idella* fillets

加盐量/% salt amount added	腌制时间/h salting time	水分含量 moisture content	蛋白质含量(干基) protein content (dw)	灰分含量(干基) ash content (dw)
0	0	69.09±0.29 ^a	87.42±1.44 ^a	14.00±0.02 ^d
5	4	63.71±0.46 ^b	71.58±2.85 ^b	18.11±0.13 ^b
6	4	64.09±0.04 ^b	71.02±1.32 ^b	18.91±0.02 ^c
7	4	61.90±0.35 ^c	69.35±0.22 ^b	20.81±0.01 ^a
6	2	63.66±0.14 ^b	71.27±0.92 ^b	16.94±0.10 ^c
6	4	64.09±0.04 ^b	71.02±1.32 ^b	18.91±0.02 ^b
6	6	61.21±0.71 ^c	71.42±0.60 ^b	20.00±0.07 ^a

表 5 加盐量和腌制时间对烧烤草鱼块剪切力、色度和感官评分的影响

Tab. 5 Effects of salt amount added and salting time on shear force, color, and sensory score of roasted *C. idella* fillets

加盐量/% salt amount added	腌制时间/h salting time	L^*	a^*	b^*	剪切力 shear force	感官评分 sensory score
0	0	65.15±3.06 ^a	8.13±1.61 ^a	17.00±1.78 ^a	42.79±5.59 ^a	26.40±0.55 ^c
5	4	56.78±2.24 ^b	5.38±1.04 ^{ab}	17.76±1.01 ^a	24.13±4.72 ^c	36.60±2.07 ^b
6	4	56.17±2.49 ^b	5.73±0.40 ^{ab}	17.57±0.78 ^a	29.55±5.43 ^{bc}	39.60±1.14 ^a
7	4	57.74±3.78 ^b	4.4±1.80 ^c	18.08±0.95 ^a	32.15±5.52 ^b	35.80±1.30 ^b
6	2	57.08±3.71 ^b	5.27±1.74 ^c	18.87±1.87 ^a	31.85±4.32 ^c	33.00±0.71 ^b
6	4	56.17±2.49 ^b	5.73±0.40 ^{bc}	17.57±0.78 ^a	29.55±5.43 ^{bc}	39.60±1.14 ^a
6	6	52.73±4.63 ^b	7.37±2.26 ^{ab}	17.87±2.23 ^a	29.39±2.39 ^{bc}	31.60±1.14 ^b

块表面食盐的饱和度逐渐降低, 食盐的渗透能力减弱, 食盐渗入质量与水分渗出质量达到平衡, 且食盐具有良好的保水性, 因此失重率先增加后逐渐稳定^[5]。此外, 食盐也会使肌动球蛋白分解为肌动蛋白和肌球蛋白, 促进了蛋白质的溶解, 提高了鱼肉的嫩度, 导致剪切力的降低^[27-28]。这与臧大存等^[29]对不同质量浓度盐溶液腌制并加热处理鸭肉的研究结果类似。

加盐量增加或腌制时间延长, 更多的食盐渗入鱼肉, 离子强度增大, 鱼肉蛋白质的稳定性降低、变性程度加重, 折叠态的肌原纤维蛋白分子开始伸展, 位于蛋白质分子内部的疏水基团和活性巯基暴露增多, 导致巯基氧化的程度更高, 二硫键含量逐渐升高, 总巯基含量逐渐下降^[30-31]。章银良等^[32]在对海鳗腌制过程中品质变化的研究也得到了类似的结论。同时, 肌原纤维蛋白分子伸展也使非极性的氨基酸残基暴露在蛋白质分子的表面, 导致蛋白质 H_0 增加, 蛋白质-水之间的结合作用力减弱, 引起水分流失。Mutilangi 等^[33]推测 H_0 的增加是蛋白质发生变性或降解引起了内部疏水基团的暴露, 使肌原纤维蛋白含量下降, 导致较低的保水能力和较弱的胶凝作用, 进而造成水分含量的降低。

烧烤草鱼块的剪切力随着加盐量的增加而逐渐升高, 可能由于食盐渗入与高温烤制的双重影响会加速草鱼块脱水, 水分含量降低, 导致肌肉组织质地更加紧实有弹性。同时, 由于烤制时高温导致肌原纤维蛋白分子变性展开, 分子之间进一步聚集, 使烧烤草鱼块肉质变硬, 剪切力呈现上升趋势, 而随着腌制时间的延长, 鱼肉蛋白质周围的水分不断流失, 导致蛋白质组织收缩, 烧烤草鱼块的剪切力下降^[18]。

过低的加盐量或过短的腌制时间, 渗入到鱼

肉中的食盐含量较低, 肌原纤维蛋白的变性程度较轻, 蛋白质的稳定性和持水力变化不明显, 使腌制草鱼块的失重率较低, 烧烤草鱼块的水分和蛋白质含量较高, 但灰分含量较低, 且加盐量过少, 腌制时间过短无法有效抑制微生物增殖, 菌体产生的次生代谢产物可导致异味形成, 导致口感较差, 感官评分较低^[24]。过高的加盐量或过长的腌制时间, 渗入到腌制草鱼块中的食盐含量较高, 肌原纤维蛋白的变性程度加重, 蛋白质的稳定性和持水力下降, 使腌制草鱼块的失重率较高, 烧烤草鱼块的水分和蛋白质含量较低, 灰分含量较高, 且加盐量过多, 腌制时间过长, 食盐含量过高致使盐溶性蛋白含量损失较多, 鱼肉组织致密性降低, 口感降低, 导致感官评分降低^[25]。

综上所述, 适量的食盐添加量和腌制时间可以抑制微生物的快速增殖, 使鱼肉脂质的氧化控制在合理水平, 有利于烧烤草鱼块的特征香气成分的形成。在加盐量 4%, 腌制时间 6 h 时, 草鱼块失重率较低, 色泽较好, 剪切力值适中, 感官评分较高。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 王璐, 杨方, 高沛, 等. 加工工艺对淡水鱼脯品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 127-131.
Wang L, Yang F, Gao P, et al. Effect of processing technology on quality of freshwater-fish surimi product[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(8): 127-131 (in Chinese).
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.

- Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Fisheries Society. China fishery statistical yearbook 2021[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [3] 章银良, 夏文水. 海鳗盐渍过程中的渗透脱水规律研究[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(11): 93-98.
Zhang Y L, Xia W S. Study of osmotic dehydration of pike eel muscle in salting process[J]. *Food Research and Development*, 2006, 27(11): 93-98 (in Chinese).
- [4] 许艳顺, 葛黎红, 王丹, 等. 腌制对低温保鲜草鱼片品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 311-314, 328.
Xu Y S, Ge L H, Wang D, *et al.* Effect of salting on quality of grass carp fillets during cold storage and frozen storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(24): 311-314, 328 (in Chinese).
- [5] 郭雅. 不同腌制工艺对风干鳊鱼品质影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
Guo Y. Effects of different curing technology on quality of air-drying *Parabramis pekinensis*[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2016 (in Chinese).
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.44—2016 食品安全国家标准 食品中氯化物的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-2.
National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.44—2016 National food safety standard, determination of chloride in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-2 (in Chinese).
- [7] Ren L N, Xu Y S, Jiang Q X, *et al.* Investigation on structural changes of myofibrillar proteins from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during frozen storage[J]. *Food Science and Technology Research*, 2013, 19(6): 1051-1059.
- [8] Yongsawatdigul J, Park J W. Gelation of threadfin bream surimi as affected by thermal denaturation, transglutaminase and proteinase(s) activities[J]. *Developments in Food Science*, 2004, 42: 343-356.
- [9] Balange A, Benjakul S. Enhancement of gel strength of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi using oxidised phenolic compounds[J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(1): 61-70.
- [10] Riebroya S, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Acid-induced gelation of natural actomyosin from Atlantic cod (*Gadus morhua*) and burbot (*Lota lota*)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(1): 26-39.
- [11] Chen X, Chen C G, Zhou Y Z, *et al.* Effects of high pressure processing on the thermal gelling properties of chicken breast myosin containing κ -carrageenan[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 40: 262-272.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-2.
National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.3-2016 National food safety standard, determination of moisture content in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-2 (in Chinese).
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-2.
National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. GB 5009.5-2016 National food safety standard, determination of protein in Food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-2 (in Chinese).
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-2.
National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.4-2016 National food safety standard, determination of ash in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-2 (in Chinese).
- [15] Wattanachant S, Benjakul S, Ledward D A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle[J]. *Food Chemistry*, 2005, 93(2): 337-348.
- [16] 中华人民共和国农业部. NY/T 1180—2006 肉嫩度的测定 剪切力测定法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1-2.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the PRC. NY/T 1180-2006 Determination of meat tenderness shear force method[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 1-2 (in Chinese).
- [17] 徐言, 陈季旺, 莫加利, 等. 烤制温度和时间对烧烤草鱼块品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 45(13): 36-43.
Xu Y, Chen J W, Mo J L, *et al.* Effect of roasting temperature and time on the quality attributes of roasted grass carp fillets[J]. *Food Science*, 2022, 45(13): 36-43

- (in Chinese).
- [18] 贾艳华, 杨宪时, 许钟, 等. 水分含量对软烤扇贝质构和色泽的影响[J]. *食品与机械*, 2010, 26(3): 47-50.
Jia Y H, Yang X S, Xu Z, *et al.* Effect of moisture content on the texture and chroma of lightly baked scallop[J]. *Food & Machinery*, 2010, 26(3): 47-50 (in Chinese).
- [19] Li C Q, Xiong Y L, Chen J. Oxidation-induced unfolding facilitates myosin cross-linking in myofibrillar protein by microbial transglutaminase[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(32): 8020-8027.
- [20] Benjakul S, Visessanguan W, Thongkaew C, *et al.* Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. *Food Research International*, 2003, 36(8): 787-795.
- [21] Buttkus H. Accelerated denaturation of myosin in frozen solution[J]. *Journal of Food Science*, 1970, 35(5): 558-562.
- [22] Badii F, Howell N K. Effect of antioxidants, citrate, and cryoprotectants on protein denaturation and texture of frozen cod (*Gadus morhua*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(7): 2053-2061.
- [23] 曹锦轩, 张玉林, 韩敏义, 等. 腊肉加工过程中肌原纤维蛋白结构的变化[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3871-3877.
Cao J X, Zhang Y L, Han M Y, *et al.* Changes of the construction of myofibrillar proteins in Chinese traditional bacon during processing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(18): 3871-3877 (in Chinese).
- [24] 顾赛麒, 郑皓铭, 戴王力, 等. 不同食盐添加量对腌制草鱼品质和风味的影响[J]. *浙江工业大学学报*, 2020, 48(4): 455-465.
Gu S Q, Zheng H M, Dai W L, *et al.* Effects of salt content on the quality and flavor of salted grass carp[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2020, 48(4): 455-465 (in Chinese).
- [25] 邢云霞, 马敏杰, 巴吐尔·阿不力克木. 食盐添加量对草鱼腌制效果的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(10): 26-31.
Xing Y X, Ma M J, Batuer A. Effect of salt addition on the quality of marinated grass carp[J]. *Meat Research*, 2018, 32(10): 26-31 (in Chinese).
- [26] Marriott N G, Graham P P, Boling J W, *et al.* Vacuum tumbling of dry-cured hams[J]. *Journal of Animal Science*, 1984, 58(6): 1376-1381.
- [27] 黄瀚. 不同腌制方式对兔肉及其产品加工过程品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2016.
Huang H. Effect of different curing on the quality of rabbit meat and processing of rabbit steak[D]. Chongqing: Southwest University, 2016 (in Chinese).
- [28] Bell J W, Farkas B E, Hale S A, *et al.* Effect of thermal treatment on moisture transport during steam cooking of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*)[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(2): 307-313.
- [29] 臧大存, 周光宏, 徐幸莲, 等. 鸭肉在加热和盐腌过程中嫩度和超微结构变化[J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30(4): 130-134.
Zang D C, Zhou G H, Xu X L, *et al.* Changes of ultrastructure and tenderness of duck meat under curing and cooking treatment[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, 30(4): 130-134 (in Chinese).
- [30] He X H, Liu H Z, Liu L, *et al.* Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36: 123-129.
- [31] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Comparative study on acid-induced gelation of myosin from Atlantic cod (*Gardus morhua*) and burbot (*Lota lota*)[J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(1): 42-53.
- [32] 章银良, 蔡亚玲, 庞丹洋. 腌制对鹅肉肌动球蛋白二级结构的影响[J]. *食品工业*, 2018, 39(1): 3-7.
Zhang Y L, Cai Y L, Pang D Y. Effects of salting on actomyosin secondary structure of goose muscle[J]. *The Food Industry*, 2018, 39(1): 3-7 (in Chinese).
- [33] Mutilangi W A M, Panyam D, Kilara A. Functional properties of hydrolysates from proteolysis of heat-denatured whey protein isolate[J]. *Journal of Food Science*, 1996, 61(2): 270-275.

Effect of salt-aided control on quality attributes of roasted grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets

CUI Lulu¹, CHEN Jiwang^{1,2*}, MO Jiali¹, LIAO E^{1,2}, PENG Lijuan^{1,2}, XIA Wenshui^{1,3*}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Hubei Key Laboratory for Processing and Transformation of Agricultural Products,

Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023 China;

3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To investigate the effect of salt amount and salting time on the quality attributes of roasted fillets from *Ctenopharyngodon idella*, the scales, head, tail, and internal organs of fresh *C. idella* were removed and cut into fillets, then salted respectively using a dry salting method [salt amount (5%, 6%, 7%) for 4 h, or salting time (2, 4, 6 h) with 6% of salt] and roasted at 200 °C for 15 min. The salt content, weight loss rate, and physicochemical properties of myofibrillar protein [secondary structure, surface hydrophobicity index (H_0), and total sulfhydryl and disulfide bond contents] of the salted fillets from *C. idella*, as well as the shear force, color, sensory score, and moisture, ash, and protein contents of roasted fillets from *C. idella* were evaluated. The results showed that as salt amount increased and salting time prolonged, the contents of salt and disulfide bond and H_0 of the salted fillets from *C. idella* gradually increased, the total sulfhydryl content underwent an opposite trend. α -helix and β -sheet of myofibrillar protein were turned into β -turn and random coil. Compared to the control (unsalted), the L^* and a^* values, shear force, and moisture and protein contents of the roasted fillets from *C. idella* with salting dropped sharply, while the ash content significantly increased. Furthermore, as the salt amount increased or salting time prolonged, the moisture content increased and ash content decreased, while the sensory score firstly increased, followed by decreasing. These results suggested that salt amount added and salting time significantly affected the secondary structure of the myofibrillar protein from salted *C. idella* fillets, and enhanced their denaturation, leading to the changes in quality attributes of the roasted fillets from *C. idella*. Compared to other salting conditions, the roasted fillets from *C. idella* had higher moisture and protein contents and lower ash content, as well as the better color and tenderness and the higher sensory score when fillets were salted for 4 h at 6% of salt.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; dry salting; roasted; physicochemical properties; quality attributes

Corresponding authors: CHEN Jiwang. E-mail: jiwangchen1970@126.com;

XIA Wenshui. E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-45-1)