

## 腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质和烤制品品质的影响

黄莉, 胡颜寓, 任中阳, 石林凡, 翁武银\*  
(集美大学海洋食品与生物工程学院 福建厦门 361021)

**摘要** 为探究腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质和烤制品品质的影响, 将大黄鱼鱼肉置于由 1%谷氨酰胺转氨酶、10%食盐和 15%山梨糖醇组成的溶液中腌制, 测定鱼肉的保水效果、质构、热稳定性和蛋白组织结构, 评价烤制鱼肉的品质。结果表明, 当腌制时间从 2 h 增至 8 h 时, 鱼肉硬度从 948.76 g 降至 352.67 g, 蒸煮损失率从 11.20%增至 18.52%。随着腌制时间的延长, 鱼肉硬度增加而蒸煮损失率降低。扫描电镜显示, 腌制 2~8 h 的鱼肉呈现疏松的纤维结构, 延长腌制时间会增加鱼肉结构的致密性。经过烤制, 腌制 2~24 h 的鱼肉纤维结构间隙较大, 硬度无显著变化, 而腌制 48 h 的鱼肉微观结构致密, 硬度显著增加。伴随腌制时间的延长, 鱼肉烤制后的咸味、鲜味、涩味和丰富性逐渐增加, 苦味逐渐降低; 氮氧化合物、甲基类、硫化物、有机硫化物、醇和醛酮类相关的挥发性气味显著增加。结论: 改变腌制时间可以调控大黄鱼鱼肉的理化性质和烤制品品质, 这为利用大黄鱼研发预制菜肴提供了理论参考。

**关键词** 腌制时间; 质构; 微观结构; 烤制鱼肉; 风味分析

**文章编号** 1009-7848(2024)01-0209-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.022

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国重要的海洋经济养殖鱼类, 其色泽金黄诱人, 肉质细嫩鲜美, 而且含有丰富的蛋白质、维生素、二十碳五烯酸 (Eicosapentaenoic acid, EPA) 和二十二碳六烯酸 (Docosahexaenoic acid, DHA), 深受国内外消费者的青睐<sup>[1]</sup>。然而, 大黄鱼主要在福建省养殖, 2020 年福建宁德的大黄鱼年产量达到 20.45 万 t, 占全国年产量的 80.52%<sup>[2]</sup>。有必要将大黄鱼制备成加工产品推向国内外市场, 以缓解养殖大黄鱼产地集中带来的产能过剩问题, 推动福建大黄鱼产业的可持续发展。

目前, 大黄鱼主要以食盐腌制加工以及冰鲜和冷冻贮藏为主<sup>[3]</sup>。腌制不仅能改变鱼肉风味, 还能延长产品的保质期<sup>[4]</sup>。腌制时间是影响腌制鱼肉品质的重要因素。腌制时间过短, 腌料的渗透和扩散无法达到平衡, 产品难以入味<sup>[5]</sup>。腌制时间过长, 易造成蛋白质和脂肪的过度氧化, 从而对鱼肉的色泽、质地和风味等品质产生负面影响<sup>[6]</sup>。Jiang 等<sup>[7]</sup>研究了腌制时间对金枪鱼肉微观结构和理化

性质的影响, 结果发现延长腌制时间导致鱼肉的蛋白质损失和变性增加, 细胞外间隙增大, 持水力下降, 质地变得松软。腌制鱼肉也是预制菜肴的一种, 通常采用煎、蒸、烤等烹饪方式进行熟制加工以获得良好的风味和口感。腌制时间也会影响最终产品的质地和风味<sup>[8]</sup>。Uran 等<sup>[9]</sup>研究了不同烹调方式对凤尾鱼营养和品质特性的影响, 结果表明焙烤是凤尾鱼的最佳熟制方法, 在 180 °C 条件下烤制 20 min 后, 鱼肉的营养物质保留完整, 质地坚硬, 品质良好。张艳等<sup>[10]</sup>将切片的草鱼置于含 8% 食盐的腌制液中腌制 20 min 后烤制, 结果发现烤鱼中的主要挥发性气味成分为 3-甲基丁醛、苯乙醛、丁醛和 6-甲基-5-庚烯二酮等醛酮类物质。然而, 关于腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质和烤制品品质的影响未见研究报道。

前期研究表明, 在腌制液中加入 1% 谷氨酰胺转氨酶 (Transglutaminase, TGase) 可以提高腌制大黄鱼鱼肉的水分含量和质构等品质特性, 同时提高腌制鱼肉烤制后的硬度等质构特性, 然而高浓度的 TGase 会促进鱼肉表面蛋白质快速交联并影响 TGase 的作用效果<sup>[11]</sup>。本研究将鱼肉置于由 1% TGase、10% 食盐和 15% 山梨糖醇组成的腌制液中腌制, 考察腌制时间对大黄鱼理化性质的影响。同时, 将腌制后的鱼肉置 180 °C 条件下烤制 20 min, 研究腌制时间对烤制鱼肉风味特征的

收稿日期: 2023-01-21

基金项目: “十四五”国家重点研发计划重点专项(2021YFD2100202); 福建省种业创新与产业化工程项目(2021FJSCZY01)

第一作者: 黄莉, 女, 硕士生

通信作者: 翁武银 E-mail: wwymail@jmu.edu.cn

影响。研究结果将为腌制大黄鱼的加工工艺改良和利用大黄鱼研发预制调理食品提供理论参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;试剂

新鲜大黄鱼购于福建省宁德市三方水田水产有限公司,平均体长(31.36±1.97)cm,平均质量(357.42±9.44)g。大黄鱼捕捞上岸后放入装有碎冰的聚乙烯泡沫箱内,24 h内运回实验室处理。

TGase (100 U/g), 南宁庞博生物工程有限公司;食盐,中盐上海市盐业有限公司;山梨糖醇,山东绿健生物技术有限公司;三聚磷酸钠、焦磷酸钠,河南千志商贸有限公司;均为食品级。其它化学试剂均为分析纯级。

### 1.2 仪器与amp;设备

LBI-175-N 生化培养箱,上海龙跃仪器设备有限公司;TA-XT Plus 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;Q2000 差示量热扫描仪,美国 TA 仪器有限公司;Nicolet iS50 傅里叶变换红外光谱仪,美国赛默飞世尔科技公司;Phenom Pro 扫描电子显微镜,荷兰 Phenom-World 公司;SK-SO35 多功能蒸汽焗炉,日本山崎(国际)有限公司;TS-5000Z 电子舌系统,日本 Insent 公司;PEN3.5 电子鼻,德国 Airsense 公司。

### 1.3 方法

1.3.1 样品制备 大黄鱼经去鳞、去头、去内脏后,将腹腔内部用清水冲洗干净,沿着腹部剖开获得两片鱼肉。将获得的大黄鱼肉片以 1:3(m/V)的比例置于由 1%TGase、10%食盐和 15%山梨糖醇组成的腌制液中,在 10 ℃条件下腌制一定时间(2,4,8,24,48 h)。将腌制后的鱼肉取出沥干 5 min,供后续试验使用。将腌制的大黄鱼置于 180 ℃烤箱中烤制 20 min 后,置于室温(25 ℃)下冷却 20 min,对烤鱼鱼肉的质构、滋味和气味进行测定。

1.3.2 水分含量测定 采用直接干燥法测定鱼肉的水分含量,将样品在 105 ℃烘箱中干燥达到恒重后,计算干燥后腌制鱼肉样品的失重。

1.3.3 持水性(Water holding capacity,WHC)测定 准确称取 2 g 左右的块状腌制鱼肉样品( $M_1$ ),用 3 层滤纸包裹后放入 50 mL 离心管中,样

品在 4 ℃下以 3 000×g 离心 15 min,称取离心后样品的质量( $M_2$ ),并通过公式(1)计算鱼肉的持水性:

$$\text{持水性}(\%) = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

式中, $M_1$ 、 $M_2$ ——腌鱼样品离心前、后的质量(g)。

1.3.4 蒸煮损失率测定 准确称取 3 g 左右的块状鱼肉样品( $M_3$ ),放入装有 50 mL 95 ℃蒸馏水的烧杯中,并在 95 ℃恒温水浴锅中蒸煮 10 min。将蒸煮后的样品装入自封袋中,并置于碎冰上迅速冷却至室温,用滤纸擦干鱼块表面的水分后称重( $M_4$ )。蒸煮损失率按照式(2)计算:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{M_3 - M_4}{M_3} \times 100 \quad (2)$$

式中, $M_3$ 、 $M_4$ ——腌鱼样品蒸煮前、后的质量(g)。

### 1.3.5 全质构(Texture profile analysis,TPA)测定

取腌制大黄鱼背部肌肉切成 20 mm × 20 mm × 15 mm 的块状样本。在室温下,使用装有 P/36R 探头的质构仪,以 1.0 mm/s 的测试速度,5 g 的触发力,5 s 的压缩间隔和 30%的压缩率,对样品鱼肉进行 2 次压缩。从力-形变曲线计算得到质构参数,包括硬度、咀嚼性、弹性和内聚性。

1.3.6 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis,SDS-PAGE)测定 将鱼肉溶解在 8 mol/L 尿素、2%SDS、2%β-巯基乙醇和 20 mmol/L Tris-HCl(pH 8.8)的混合溶液中,溶解的蛋白与电泳缓冲液混合配制成电泳样品。利用 4%浓缩胶和 8%分离胶,在 8~12 mA 的电流下进行 SDS-PAGE 试验。使用 0.25 g/L 考马斯亮蓝 R-250 对聚丙烯酰胺凝胶进行染色,然后用 30%甲醇和 10%乙酸脱色至背景透明,并用凝胶成像仪拍照。

1.3.7 差示扫描量热仪(Differential scanning calorimeter,DSC)测定 采用 DSC 测定腌制大黄鱼鱼肉样品的热力学性能。准确称取 5 mg 鱼肉样品后,放入铝坩埚中并密封,以密封的空铝坩埚作为参比盘。参考课题组前期研究<sup>[1]</sup>,样品以 5 ℃/min 的升温速率从 5 ℃加热到 95 ℃,获得鱼肉的热变性温度及焓值。

1.3.8 傅里叶变换红外(Fourier transform infrared, FTIR)光谱测定 根据 Huang 等<sup>[11]</sup>所描述的方法,采用 ATR-FTIR 光谱仪采集样品的红外光谱。腌制后的鱼肉样品切碎并冷冻干燥,然后将样品转移到仪器上测量。采集所有样品在 4 000~400  $\text{cm}^{-1}$  波长范围内的红外光谱,分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描次数为 32。

1.3.9 扫描电子显微镜(Scanning electron microscope, SEM)观察 根据 Fang 等<sup>[12]</sup>的方法,采用 SEM 测定腌制大黄鱼鱼肉的微观结构。将鱼肉切成 4.0 mm × 4.0 mm × 2.5 mm 的片状样本,用含有 2.5%戊二醛的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH 7.2) 在 4 °C 下固定 24 h。固定后的样品用 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH 7.2) 漂洗,去除残余的戊二醛和腌制鱼肉中的盐、山梨糖醇等物质。然后用 30%~100%的乙醇溶液梯度洗脱,逐渐去除样品中的水分。脱水的样品经过冷冻干燥、固定、喷金处理后,采用 SEM 观察。

1.3.10 电子舌测定 根据 Zhang 等<sup>[13]</sup>的研究方法,采用电子舌检测大黄鱼样品的苦味、苦味回味、涩味、涩味回味、酸味、鲜味、咸味和丰富性等滋味变化。将 50 g 绞碎的鱼肉样品与 200 mL 蒸馏水混合斩拌 1 min,并在室温下搅拌浸提 30 min,过滤后取上清液利用电子舌进行测定。

1.3.11 电子鼻测定 参考 Zhang 等<sup>[13]</sup>的方法,使用电子鼻测定大黄鱼的挥发性气味。将 4 g 绞碎的鱼肉样品放入 20 mL 密封的顶空瓶中,在室温下平衡 1 h 后上机测定。测定过程中载气为洁净的空气,内部流速 400 mL/min,传感器清洗时间

200 s,传感器归零时间 10 s,连接样品时间 5 s,样品采样时间间隔 1 s,采集持续 150 s,选定 111~120 s 数值进行分析。

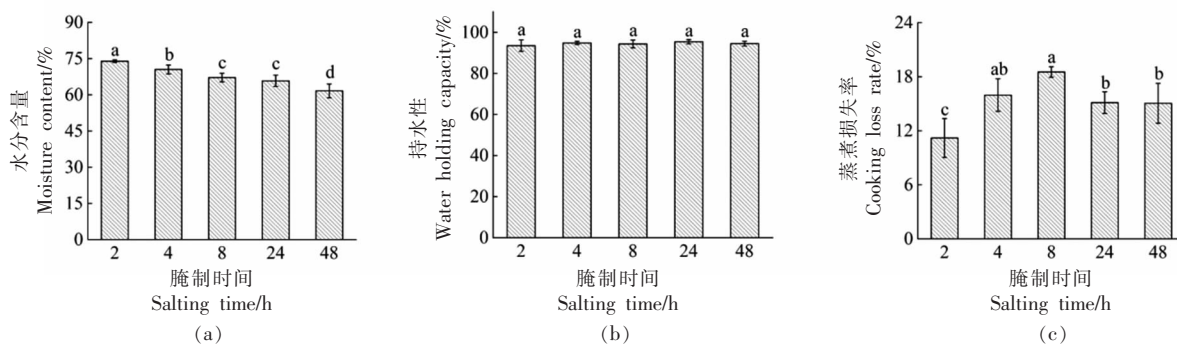
#### 1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对所得数据进行 ANOVA 方差分析和 Duncan 多范围检验,组间差异的显著性水平设定为  $P < 0.05$ ,并用 Origin 9.1 软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质的影响

2.1.1 水分含量、持水性和蒸煮损失 腌制时间对大黄鱼水分含量的影响如图 1a 所示。当腌制时间从 2 h 延长至 48 h,腌制大黄鱼鱼肉的水分含量从 73.96% 逐渐下降到 61.64%。这与腌制大西洋鲑鱼的结果类似,主要是因为腌制液的浓度和渗透压的差异导致肌肉中的水分扩散出来<sup>[14]</sup>。然而,腌制时间对大黄鱼鱼肉的持水性无显著影响,各处理组鱼肉持水性的平均值为 94.53%(图 1b)。鱼肉的持水性是指鱼肉在外力作用下保持水分的能力,可以反映蛋白质与水的结合能力<sup>[15]</sup>。图 1b 的结果表明延长腌制时间不会影响大黄鱼鱼肉中蛋白质与水的相互作用。Lauritzsen 等<sup>[16]</sup>在研究腌制时间对不同冷冻状态鳕鱼的物理和品质特性的影响时也发现了类似的现象。当腌制时间从 2 h 延长到 8 h 时,腌制大黄鱼鱼肉的蒸煮损失率从 11.20% 逐渐增加至 18.52%(图 1c)。然而,当进一步延长腌制时间,腌制大黄鱼鱼肉的蒸煮损失率却出现降低的趋势。这可能是因为短时间腌制会



注:误差线表示标准差,不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 1 腌制时间对大黄鱼鱼肉水分含量(a)、持水性(b)和蒸煮损失(c)的影响

Fig.1 Effect of salting time on moisture content (a), water holding capacity (b) and cooking loss (c) of *L. crocea* meat



引起鱼肉肌原纤维蛋白吸水膨润导致组织中细胞外空洞增大,因此蒸煮后鱼肉中的水分更容易流失;而长时间腌制后的鱼肉会脱水收缩成致密的结构,从而降低蒸煮损失<sup>[7]</sup>。

2.1.2 鱼肉质构 腌制时间对大黄鱼鱼肉质构的影响如表1所示。随着腌制时间从2 h增加到8 h,腌制大黄鱼鱼肉的硬度从948.76 g逐渐下降至352.67 g。这可能是因为盐溶液腌制过程中,鱼肉肌原纤维蛋白吸水膨润,从而导致肌肉结构变得疏松<sup>[5]</sup>。另一方面,大黄鱼死后鱼体中内源性组织蛋白酶的降解作用会使鱼肉结缔组织遭到破坏,也会导致鱼肉硬度下降<sup>[17]</sup>。然而,随着腌制时间进一步延长,腌制大黄鱼鱼肉的硬度逐渐增加(表1)。Marchetti等<sup>[18]</sup>在研究腌制工艺对鳕鱼鱼片

品质影响时,也报道了类似的现象。这可能是因为长时间腌制引起鱼肉大量脱水,使蛋白质变性和聚集<sup>[18]</sup>,导致鱼肉收缩变硬。伴随腌制时间的延长,鱼肉咀嚼性也出现先下降后上升的趋势(表1)。然而,鱼肉的弹性在腌制时间超过8 h后才随腌制时间的延长出现降低。有研究表明,当弹性凝胶网络包裹大量的水和脂肪时,可以提高鱼肉的弹性<sup>[19]</sup>。因此,在本研究中鱼肉弹性降低可能是因为长时间腌制后鱼肉中水分大量流失、纤维结构收缩所导致。腌制8~48 h后鱼肉的肉聚性显著高于腌制2~4 h后鱼肉的肉聚性。Marchetti等<sup>[18]</sup>在研究腌制时间对鳕鱼品质的影响时,也发现长时间腌制会使鳕鱼鱼肉的肉聚性显著增加。

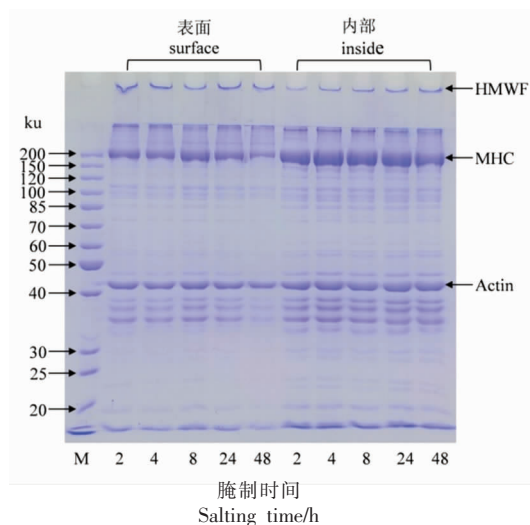
表1 腌制时间对大黄鱼鱼肉 TPA 参数的影响

Table 1 Effects of salting time on TPA parameters of *L. crocea* meat

腌制时间/h	硬度/g	咀嚼性	弹性	肉聚性
2	948.76 ± 173.27 <sup>a</sup>	458.71 ± 100.14 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.55 ± 0.02 <sup>b</sup>
4	685.33 ± 101.60 <sup>b</sup>	303.65 ± 16.54 <sup>b</sup>	0.82 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.55 ± 0.02 <sup>b</sup>
8	352.67 ± 73.79 <sup>c</sup>	182.09 ± 18.86 <sup>c</sup>	0.87 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.01 <sup>a</sup>
24	415.59 ± 72.04 <sup>c</sup>	171.02 ± 32.02 <sup>c</sup>	0.70 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.03 <sup>a</sup>
48	700.12 ± 82.01 <sup>b</sup>	285.51 ± 23.49 <sup>b</sup>	0.66 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>

注:数据以“平均值±标准差”表示,同一列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

2.1.3 SDS-PAGE 为了研究腌制时间对大黄鱼鱼肉中蛋白交联情况的影响,使用 SDS-PAGE 分别测定了大黄鱼表面和内部鱼肉的蛋白质图谱,如图2所示。伴随腌制时间从2 h延长至8 h,鱼肉表面样品中未进入浓缩胶的高分子聚合物(High-molecular-weight fraction, HMWF)蛋白条带强度逐渐降低,而肌球蛋白重链(Myosin heavy chain, MHC)和100~120 ku之间的蛋白条带强度逐渐增加。这可能是因为腌制过程中鱼肉内源酶诱导了蛋白质的分解<sup>[20]</sup>。然而,当进一步延长腌制时间, HMWF 蛋白条带强度逐渐增加, MHC、肌动蛋白以及位于100~120 ku和30~40 ku之间的蛋白条带的强度均显著降低,因为腌制液中的TGase促进了蛋白质的交联。先前的研究结果也表明,在含有1%TGase的腌制液中腌制48 h后,大黄鱼鱼肉表面的MHC会发生交联形成HMWF<sup>[11]</sup>。



注:M:标准蛋白;HMWF:高分子聚合物;MHC:肌球蛋白重链;Actin:肌动蛋白。

图2 腌制时间对大黄鱼鱼肉蛋白组成的影响  
Fig.2 Effects of salting time on protein fractions of *L. crocea* meat

另一方面,在相同腌制时间下,与鱼肉表面样品中可溶性蛋白含量和分子质量分布相比,鱼肉内部样品的蛋白条带颜色较深,表明单位体积中鱼肉内部可溶性蛋白的含量比表面高。这是因为腌制液的渗透作用导致鱼肉表面的蛋白质伴随鱼体汁液发生了流失<sup>[21]</sup>。在内部样品中,只有腌制48 h后鱼肉的MHC蛋白条带强度降低,而HMWF蛋白条带强度增加,主要是因为腌制过程中TGase的渗透和催化作用需要一定的时间。

**2.1.4 DSC 分析** 用DSC测定腌制大黄鱼鱼肉的热变性温度及其相变焓,结果如图3所示。经过2 h腌制后,大黄鱼鱼肉在37.06,50.11,73.47℃处出现3个吸热峰(图3),分别对应肌球蛋白、肌浆蛋白和肌动蛋白的热变性温度<sup>[20]</sup>。如图3所示,当腌制时间为2~24 h时,腌制鱼肉中肌球蛋白、肌浆蛋白和肌动蛋白的热变性温度和相变焓均无显著性差异。然而,当腌制时间达到48 h时,鱼肉样品中肌球蛋白的热变性温度和峰面积减小。这可能是因为长时间腌制使鱼肉肌球蛋白发生变性,

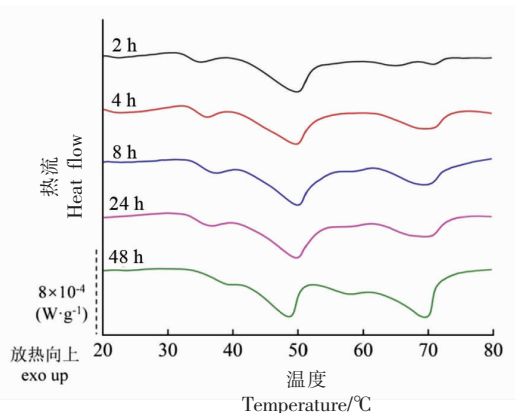


图3 腌制时间对大黄鱼鱼肉热变性温度的影响  
Fig.3 Effect of salting time on thermal transition temperature of *L. crocea* meat

**2.1.6 微观结构分析** 利用SEM观察不同腌制时间下腌制大黄鱼鱼肉的微观结构(图5)。腌制2 h后的大黄鱼鱼肉样品具有规则、成束的纤维结构,并且纤维之间的间隙较小。当腌制时间延长至8 h时,鱼肉呈现疏松、有序的纤维结构,纤维之间的间隙逐渐增大。通常,腌制鱼肉的微观结构越紧凑,纤维间隙越小,鱼肉的硬度越高<sup>[26]</sup>。在本研究中,伴随腌制时间从2 h延长至8 h时,大黄鱼鱼肉的微观结构变得疏松(图5),导致鱼肉的硬度

导致热稳定性降低<sup>[22]</sup>。同时,腌制48 h后,鱼肉中肌浆蛋白和肌动蛋白的热变性温度降低,而焓值明显增加(图3)。这可能是腌制过程中肌浆蛋白、肌动蛋白的减少和肌球蛋白的部分变性<sup>[23]</sup>,以及蛋白间形成交联所导致<sup>[24]</sup>。

**2.1.5 FTIR 分析** 腌制大黄鱼鱼肉的红外光谱如图4所示,其主要特征吸收峰为酰胺A(3 277~3 280  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺B(2 921~2 924  $\text{cm}^{-1}$ , 2 851~2 852  $\text{cm}^{-1}$ , 1 741~1 742  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺I(1 644  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺II(1 532~1 533  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺III(1 392~1 393  $\text{cm}^{-1}$ 和1 236~1 237  $\text{cm}^{-1}$ )和1 080~1 082  $\text{cm}^{-1}$ ,这与Hernández-Martínez等<sup>[25]</sup>研究报道的大西洋蓝鳍金枪鱼、白鳍金枪鱼和大西洋鲱鱼鱼肉的红外光谱特征吸收峰的位置相似。然而,腌制时间对大黄鱼鱼肉的红外光谱特征吸收峰没有显著的影响(图4),这表明腌制过程中食盐、山梨糖醇和TGase等组分的渗透不会影响鱼肉中蛋白结构和官能团。

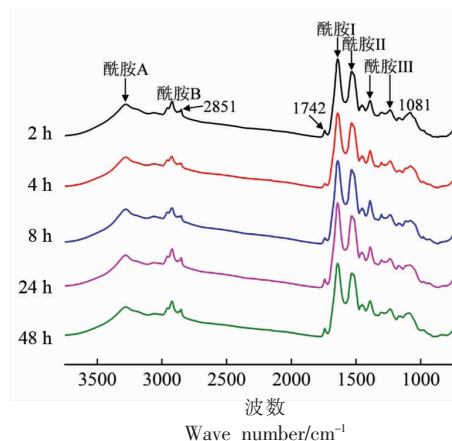


图4 腌制大黄鱼鱼肉的红外光谱  
Fig.4 FTIR spectrum of salted *L. crocea* meat

显著降低(表1)。Jiang等<sup>[7]</sup>也观察到了类似的现象,其发现冻融金枪鱼肉在腌制8 h后细胞外空间扩大,并呈现松散和糊状的质地,造成鱼肉硬度显著降低。然而,当腌制时间进一步增加至24~48 h时,鱼肉呈现紧凑、致密的微观结构(图5),这可能是长时间的腌制导致肌原纤维发生剧烈收缩<sup>[19]</sup>。与本研究的结果相似,Chen等<sup>[27]</sup>研究发现俄罗斯鲟鱼在4℃下用10%盐溶液腌制12 d后,鱼肉大量脱水并收缩形成致密的网络结构。

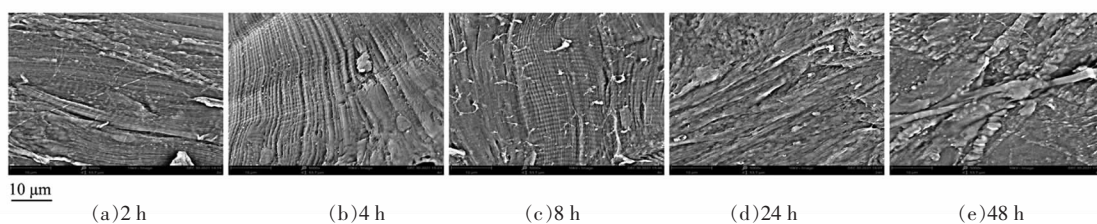


图5 腌制大黄鱼鱼肉的 SEM 图片(放大 5 000×)

Fig.5 SEM images of salted *L. crocea* meat (5 000× magnifications)

## 2.2 腌制时间对烤制大黄鱼鱼肉组织结构和风味的影响

**2.2.1 烤制鱼肉质构** 质构是加工食品行业用来评估产品质量和消费者可接受性的关键品质特性,其中硬度、咀嚼性、弹性和内聚性是评价肉类食品质地品质的重要参数<sup>[28]</sup>。腌制的大黄鱼鱼肉经过 180 °C 烘烤后其质构特性如表 2 所示。腌制 2~24 h 的大黄鱼经过烤制后,其鱼肉硬度没有显著差异。然而,在腌制 2~24 h 期间,未烤制的腌制大黄鱼鱼肉硬度呈先减小后增加的变化趋势(表 1),这是因为腌制鱼肉的肌原纤维蛋白经烤制后会发生收缩变性<sup>[29]</sup>,从而降低了腌制时间对鱼肉硬度的影响。然而,当腌制时间延长至 48 h 时,腌制大黄鱼经过烤制后的硬度显著增加至 727.38 g,这是因为随着腌制时间的延长,TGase 渗透进入鱼肉内部,促进大黄鱼的蛋白质交联(图 2),从而

影响烤鱼的质构特性。

另一方面,不同腌制时间制备的大黄鱼在烤制后的咀嚼性变化趋势与其硬度的变化趋势类似。这是由于咀嚼性代表食物咀嚼成吞咽状态时所需要的能量,与其硬度相关<sup>[30]</sup>。然而,改变腌制时间对腌制鱼肉烤制后的弹性没用显著影响。值得注意的是,腌制 2~8 h 后的大黄鱼经过烤制后的内聚性无显著性差异,而腌制时间延长至 24~48 h 时,其内聚性显著下降。有研究表明,弹性是指食品在压缩变形以后恢复到原状的能力,内聚性代表食物在破碎前的可变形程度<sup>[30]</sup>。通常,鱼肉肌原纤维越粗,组织结构越紧凑,则其所需要的咀嚼力越大,然而鱼肉的硬度和弹性主要受肌肉持水性、微观结构的破坏程度影响<sup>[31]</sup>。本研究结果表明,长时间腌制的大黄鱼鱼肉经过烤制容易发生破碎,鱼肉的硬度、咀嚼性和脆性增加。

表 2 腌制时间对烤制大黄鱼鱼肉 TPA 参数的影响

Table 2 Effects of salting time on TPA parameters of salted *L. crocea* meat after roasting

腌制时间/h	硬度/g	咀嚼性	弹性	内聚性
2	436.58 ± 81.64 <sup>b</sup>	132.18 ± 30.63 <sup>b</sup>	0.64 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.05 <sup>a</sup>
4	424.66 ± 69.79 <sup>b</sup>	136.29 ± 30.74 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>a</sup>
8	512.37 ± 81.76 <sup>b</sup>	162.50 ± 32.29 <sup>ab</sup>	0.69 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>a</sup>
24	513.76 ± 87.64 <sup>b</sup>	162.74 ± 32.89 <sup>ab</sup>	0.63 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.07 <sup>b</sup>
48	727.38 ± 94.76 <sup>a</sup>	190.74 ± 40.89 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.06 <sup>b</sup>

**2.2.2 烤制鱼肉的微观结构** 腌制时间对腌制大黄鱼鱼肉烤制后的微观结构影响如图 6 所示。腌制 2 h 的大黄鱼经过烤制后,可以观察到鱼肉肌原纤维聚集形成不规则的凸起,纤维间间隙较大。同样地,Sun 等<sup>[32]</sup>研究发现,鲮鱼在 200 °C 下烤制 20 min 后,鱼肉样品呈现凹凸不平的微观结构,并有孔隙存在。与未烤制的样品相比较,烤制鱼肉样

品的微观结构出现了明显的破损,蛋白质纤维断裂形成沟壑(图 5,图 6),这是由于加热过程中蛋白质变性所导致<sup>[32]</sup>。同时,烤制过程引起的水分损失及肌外膜和肌内膜的破裂,也会导致鱼肉肌原纤维收缩和断裂<sup>[33]</sup>。另一方面,腌制 4~24 h 的大黄鱼经过烤制后,其鱼肉的微观结构与腌制 2 h 后烤制的鱼肉样品微观结构没有明显差异(图 6),



而腌制 48 h 的大黄鱼鱼肉经过烤制后,样品呈现致密、褶皱的微观结构,肌原纤维之间的间隙缩小,这表明短时间腌制不会影响烤制鱼肉的微观

结构。值得注意的是,腌制 48 h 后制备的烤鱼样品蛋白网络结构最为紧凑,这也进一步说明了硬度和咀嚼性显著升高的原因(图 6,表 2)。

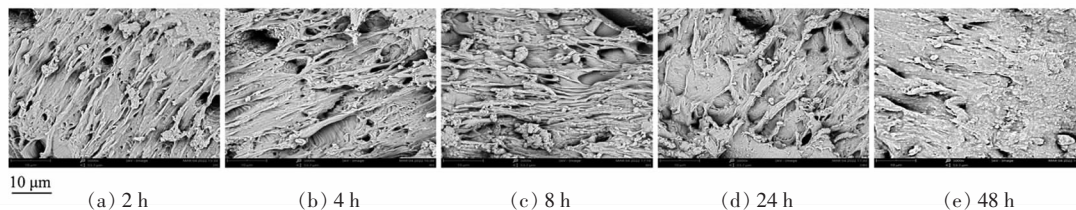


图 6 烤制大黄鱼鱼肉的 SEM 图片(放大 5 000×)

Fig.6 SEM images of roasted *L. crocea* meat (5 000× magnifications)

2.2.3 烤制鱼肉的滋味 电子舌系统是一种模仿人类味觉感受器的分析检测仪器,可以对食品滋味进行定性识别和定量测定<sup>[33]</sup>。利用电子舌系统对烤制大黄鱼鱼肉的滋味进行分析,结果如表 3 所示。伴随腌制时间的延长,烤制的大黄鱼鱼肉咸味、鲜味、涩味和丰富性均逐渐增加。这主要是腌制过程中无机离子渗透,核苷酸降解,蛋白质分解成小分子肽和氨基酸等因素引起<sup>[34]</sup>。有研究报道干腌猪肉产品的咸味、涩味、鲜味和丰富性随着含盐量的增加而逐渐增加<sup>[35]</sup>。另一方面,食盐可以通过减少疏水相互作用来抑制蛋白质水解物的苦味<sup>[36]</sup>,这也可能导致烤制大黄鱼鱼肉的苦味随着腌制时间的延长而逐渐降低(表 3)。

主成分分析(Principal component analysis, PCA)是一种多元统计分析方法,通过降维的方式将全部样本数据转换成少数几个不相关的综合指标,并在几个维度中用图形表示几个主要成分,以概括属性与样品之间的总体关系<sup>[37]</sup>。本文对检测到的电子舌数据进行 PCA 分析,结果如图 7 所示。第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)分别占总方差的 83.1%和 16.4%,累计方差贡献率高达

99.5%,表明这 2 个 PC 包含了烤制大黄鱼样品滋味的大部分信息,可以充分反映腌制时间对大黄鱼鱼肉整体滋味轮廓的影响。而且,PC1 贡献率远大于 PC2,表明样品在横坐标轴上的间距越大,其滋味的差异越大<sup>[37]</sup>。随着腌制时间从 2 h 增加至 48 h,鱼肉样品的滋味分布在 PC1 上的间距逐渐增加,这表明样品之间的滋味差异显著。同时,结合电子舌数据来看,对 2 h 腌制鱼肉滋味贡献最大的是苦味,而 48 h 腌制鱼肉烤制后的主要滋味

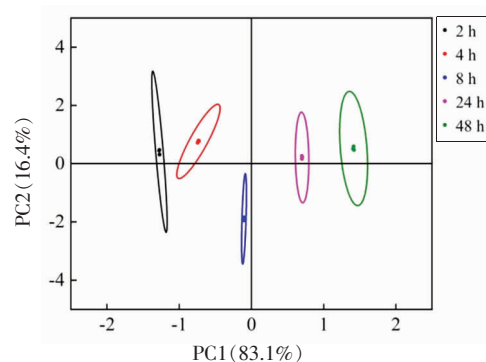


图 7 烤制大黄鱼鱼肉滋味的 PCA 图

Fig.7 PCA model for taste of salted *L. crocea* meat after roasting

表 3 腌制时间对烤制大黄鱼鱼肉滋味的影响

Table 3 Effects of salting time on taste of salted *L. crocea* meat after roasting

腌制时间/h	咸味	鲜味	涩味	丰富性	苦味	苦味回味
2	5.93 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>c</sup>	1.67 ± 0.00 <sup>c</sup>	—	7.29 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.00 <sup>a</sup>
4	6.39 ± 0.14 <sup>d</sup>	0.58 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>c</sup>	6.83 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.27 ± 0.12 <sup>a</sup>
8	6.73 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.77 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.64 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	6.49 ± 0.12 <sup>c</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>a</sup>
24	7.22 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.03 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.44 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.94 ± 0.20 <sup>d</sup>	0.24 ± 0.21 <sup>a</sup>
48	7.62 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.09 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.17 <sup>a</sup>	5.43 ± 0.26 <sup>c</sup>	0.25 ± 0.08 <sup>a</sup>

特征是咸味、鲜味、涩味和丰富性。另一方面,不同腌制时间的大黄鱼鱼肉经过烤制后其滋味区域没有重叠,表明采用电子舌检测结合 PCA 分析可以区分腌制时间对烤制大黄鱼鱼肉滋味的影响。

**2.2.4 烤制鱼肉的挥发性气味** 电子鼻可以通过模仿人类的嗅觉系统,识别和检测食品中的挥发性气味<sup>[13]</sup>。利用电子鼻对烤制大黄鱼鱼肉挥发性气味进行分析(图 8),结果发现在腌制 2 h 制备的鱼肉样品中,W5S、W1S、W1W、W2S、W2W 和 W3S 传感器探头的响应值明显高于其它传感器,表明与氮氧化合物、甲基类、硫化物、醇和醛酮类、有机硫化物和长链烷烃类物质有关的挥发性气味是本研究制备的大黄鱼鱼肉主要气味来源。这与蔡路均等<sup>[38]</sup>报道的腌制沙丁鱼片在烤制后的挥发性气味结果类似。在腌制过程中,微生物、内源酶和食盐等作用均会影响腌制鱼肉产品中挥发性气味物质的形成<sup>[39]</sup>。同时,鱼肉在烤制过程中产生的美拉德反应、脂质降解和氧化反应等,也会对产品中含硫、氮和氧的杂环化合物,含羰基的挥发性化合物,醇类、酮醛类和长链烷烃类挥发性物质产生影响<sup>[13]</sup>。另一方面,腌制 8~48 h 后烤制大黄鱼鱼肉中由 W5S、W1S、W1W、W2S 和 W2W 传感器检测到的挥发性气味均显著高于腌制 2~4 h,而由 W3S 和 W1C 传感器检测到的挥发性气味显著低于腌制 2~4 h(图 8a)。结果表明,氮氧化合物、甲基类、硫化物、醇和醛酮类、有机硫化物有关的挥发性气味是腌制大黄鱼烤制后的主要特征性气味,并且

表 4 电子鼻传感器构成及其性能

Table 4 Composition of sensors in electronic nose and their performances

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	主要对硫化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

腌制时间越长越有利于这些气味的形成和累积。利用 PCA 方法分析了腌制时间对烤制大黄鱼鱼肉挥发性气味的影响,结果如图 8b 所示。由图可知,腌制 2 h 和 4 h 制备的烤制大黄鱼鱼肉挥发性气味区域呈现部分重叠。在 PC1 方向上,腌制 8, 24, 48 h 制备的烤制大黄鱼鱼肉气味区域无明显差异,然而与腌制 2~4 h 的样品距离较远。这些结果表明,腌制时间对烤制大黄鱼的特征性气味的影响虽较小,但可以利用电子鼻进行区分。

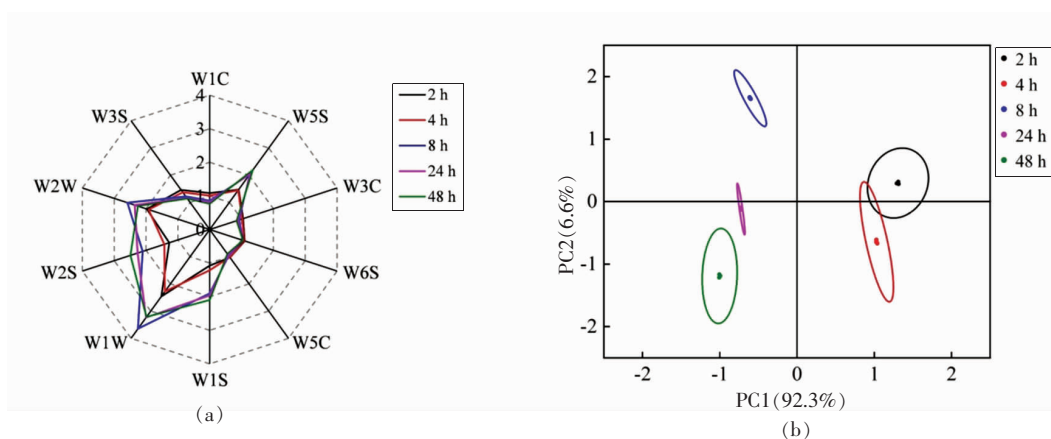


图 8 烤制大黄鱼鱼肉挥发性气味的雷达图(a)和 PCA 图(b)

Fig.8 Radar graph (a) and PCA model (b) for volatile odor of salted *L. crocea* meat after roasting



### 3 结论

腌制时间对大黄鱼鱼肉的理化性质和烤制品品质具有显著影响。伴随腌制时间的延长,大黄鱼鱼肉的水分含量逐渐降低。短时间腌制会使鱼肉的蒸煮损失率增加,硬度下降,肌肉呈疏松、有序纤维结构。然而,长时间腌制会使鱼肉的蒸煮损失率降低,硬度增加,蛋白质发生交联,肌肉呈现紧凑、致密的微观结构。腌制48 h制备的大黄鱼鱼肉经过烤制后微观结构致密,鱼肉的硬度显著增加。腌制时间越长烤制鱼肉的鲜味增强、苦味降低,主要特征性气味显著增加,这些差异能够被电子舌和电子鼻区分出来。综上所述,改变腌制时间可以调控腌制大黄鱼鱼肉的理化性质和烤制风味。

### 参 考 文 献

- [1] LI X P, LIU C K, WANG J X, et al. Effect of hydroxyl radicals on biochemical and functional characteristics of myofibrillar protein from large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44(1): e13084.
- [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[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 26.  
Fisheries and Fisheries Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 26.
- [3] 陶文斌, 吴燕燕, 李来好. 养殖大黄鱼保鲜、加工技术现状[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 339-343.  
TAO W B, WU Y Y, LI L H. Status of processing and preservation technology of breeding *Pseudosciaena crocea*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(11): 339-343.
- [4] HONG H, LUO Y K, ZHOU Z Y, et al. Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 102-107.
- [5] WU H, WANG Y X, JIANG Q Q, et al. Changes in physicochemical properties and myofibrillar protein properties in grass carp salted by brining and injection[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(11): 5674-5687.
- [6] MARIUTTI L R B, BRAGAGNOLO N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review [J]. Food Research International, 2017, 94: 90-100.
- [7] JIANG Q Q, NAKAZAWA N, HU Y Q, et al. Microstructural modification and its effect on the quality attributes of frozen-thawed bigeye tuna (*Thunnus obesus*) meat during salting[J]. LWT, 2019, 100: 213-219.
- [8] 胡晓飞, 林洪, 隋建新, 等. 食盐浓度对即热型多宝鱼食用品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 261-269.  
HU X F, LIN H, SUI J X, et al. Effect of different salt concentration on edible quality of ready-to-heat turbot[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(7): 261-269.
- [9] URAN H, GOKOGLU N. Effects of cooking methods and temperatures on nutritional and quality characteristics of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51: 722-728.
- [10] 张艳, 聂青玉, 王圣开, 等. 不同工艺即食烤鱼挥发性风味物质差异分析[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(6): 107-113.  
ZHANG Y, NIE Q Y, WANG S K, et al. Difference analysis of volatile flavor compounds in instant roasted fishes with different processing technologies [J]. Storage and Process, 2021, 21(6): 107-113.
- [11] HUANG L, SHI L F, REN Z Y, et al. Effect of transglutaminase concentration in curing solution on the physicochemical properties of salted large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100277.
- [12] FANG Q, SHI L F, REN Z Y, et al. Effects of emulsified lard and TGase on gel properties of threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi [J]. LWT, 2021, 146: 111513.
- [13] ZHANG J H, CAO J, PEI Z S, et al. Volatile flavour components and the mechanisms underlying their production in golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets subjected to different drying methods: A comparative study using an electronic nose, an electronic tongue and SDE-GC-MS [J]. Food Research International, 2019, 123: 217-225.
- [14] CHAN S S, FEYISSA A H, JESSEN F, et al.

- Modelling water and salt diffusion of cold-smoked Atlantic salmon initially immersed in refrigerated seawater versus on ice[J]. *Journal of Food Engineering*, 2022, 312: 110747.
- [15] JIANG Q Q, JIA R, NAKAZAWA N, et al. Changes in protein properties and tissue histology of tuna meat as affected by salting and subsequent freezing[J]. *Food Chemistry*, 2019, 271: 550-560.
- [16] LAURITZSEN K, AKSE L, JOHANSEN A, et al. Physical and quality attributes of salted cod (*Gadus morhua* L.) as affected by the state of rigor and freezing prior to salting[J]. *Food Research International*, 2004, 37(7): 677-688.
- [17] LAN W Q, LIU L, ZHANG N N, et al. Effects of  $\epsilon$ -polylysine and rosemary extract on the quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) stored on ice at  $4\pm 1$  °C[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 44(10): e13418.
- [18] MARCHETTI M D, GOMEZ P L, YEANNES M I, et al. Effect of salting procedures on quality of hake (*Merluccius hubbsi*) fillets[J]. *Heliyon*, 2021, 7(8): e07703.
- [19] SHEN S K, CHEN Y W, DONG X P, et al. The effect of different salt concentration and time combinations in physicochemical properties and microstructure of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) fillets under vacuum impregnation[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(12): e14967.
- [20] THORARINSDOTTIR K A, ARASON S, SIGURD-ISLADOTTIR S, et al. Effects of different pre-salting methods on protein aggregation during heavy salting of cod fillets[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(1): 7-14.
- [21] GAO R C, YUAN L, SU L, et al. Study on the change of muscle proteins during the half-dried salt-cured silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) processing[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2015, 24(1): 31-41.
- [22] SANCHES M A R, SILVA P M O C, BARRETTO T L, et al. Technological and diffusion properties in the wet salting of beef assisted by ultrasound[J]. *LWT*, 2021, 149: 112036.
- [23] THORARINSDOTTIR K A, ARASON S, GEIRSDOTTIR M, et al. Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry[J]. *Food Chemistry*, 2002, 77(3): 377-385.
- [24] WANG Y M, LIU A J, YE R, et al. Transglutaminase-induced crosslinking of gelatin-calcium carbonate composite films[J]. *Food Chemistry*, 2015, 166: 414-422.
- [25] HERNÁNDEZ - MARTÍNEZ M, GALLARDO - VELÁZQUEZ T, OSORIO-REVILLA G, et al. Application of MIR-FTIR spectroscopy and chemometrics to the rapid prediction of fish fillet quality[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2014, 12(4): 369-377.
- [26] YALÇIN M Y, ŞEKER M. Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freeze dried turkey meat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 68: 153-159.
- [27] CHEN Y W, CAI W Q, SHI Y G, et al. Effects of different salt concentrations and vacuum packaging on the shelf-stability of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) stored at 4 °C[J]. *Food Control*, 2020, 109: 106865.
- [28] CHEN L, OPARA U L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods-A review[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 119(3): 497-507.
- [29] WARNER R, HA M, SIKES A, et al. Cooking and novel postmortem treatments to improve meat texture[M]//*New Aspects of Meat Quality*. Woodhead Publishing, 2017: 387-423.
- [30] SÁEZ M I, VIZCAÍNO A, GALAFAT A, et al. Assessment of long-term effects of the macroalgae *Ulva ohnoi* included in diets on Senegalese sole (*Solea senegalensis*) fillet quality[J]. *Algal Research*, 2020, 47: 101885.
- [31] 姜晶丹, 杨明远, 许长华, 等. 湿腌时盐质量浓度对草鱼肌肉组织结构和品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(8): 40-45.
- JIANG J D, YANG M Y, XU C H, et al. Effects of salt concentration on texture, microstructure and quality of wet cured grass carp muscle[J]. *Food Science*, 2021, 42(8): 40-45.
- [32] SUN S, WANG S Q, LIN R, et al. Effect of different cooking methods on proton dynamics and physicochemical attributes in spanish mackerel assessed by low-field NMR[J]. *Foods*, 2020, 9(3):

- 364.
- [33] CAI L Y, WAN J L, LI X X, et al. Effects of different thawing methods on physicochemical properties and structure of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Journal of Food Science, 2020, 85 (3): 582–591.
- [34] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview [J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157–171.
- [35] TIAN X, LI Z J, CHAO Y Z, et al. Evaluation by electronic tongue and headspace-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content [J]. Food Research International, 2020, 137: 109456.
- [36] XU Q B, HONG H, YU W L, et al. Sodium chloride suppresses the bitterness of protein hydrolysates by decreasing hydrophobic interactions [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(1): 86–91.
- [37] 赵洪雷, 冯媛, 徐永霞, 等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化 [J]. 食品科学, 2021, 42 (20): 145–151.
- ZHAO H L, FENG Y, XU Y X, et al. Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming [J]. Food Science, 2021, 42 (20): 145–151.
- [38] 蔡路响, 马帅, 程焯茹, 等. 不同烤制时间对沙丁鱼片风味及品质的影响 [J]. 水产学报, 2016, 40 (5): 785–798.
- CAI L Y, MA S, CHENG X R, et al. Effects of different roasting time periods on character and flavor in sardine slices [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 785–798.
- [39] 吴涵, 施文正, 王逸鑫, 等. 腌制对鱼肉风味物质及理化性质影响研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 285–291, 297.
- WU H, SHI W Z, WANG Y X, et al. Effect of salting on the flavor and physicochemical properties of fish meat [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 285–291, 297.

### Effect of Salting Time on Physicochemical Properties and Roasting Quality of Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*)

Huang Li, Hu Yanyu, Ren Zhongyang, Shi Linfan, Weng Wuyin\*

(College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian)

**Abstract** In order to investigate the effect of salting time on physicochemical properties and roasting quality of *Larimichthys crocea*, the fish meat was salted in curing solution containing 1% transglutaminase, 10% salt and 15% sorbitol. The water-maintaining ability, texture, thermal stability and tissue structure of the salted fish meat, as well as the quality of the salted fish meat after roasting were evaluated. When the salting time increased from 2 h to 8 h, the hardness of salted fish meat decreased from 948.76 g to 352.67 g, while the cooking loss rate increased from 11.20% to 18.52%. The hardness increased and the cooking loss rate decreased when the salting time was further increased. As shown in scanning electron microscopy image, the fish salted for 2–8 h presented a loose fibrous structure, while the density of meat structure increased with further increase of salting time. After being roasted, the fish salted for 2–24 h showed a large interspace in fibrous structure with no significant change in hardness, while both dense microstructure and high hardness were found in the fish salted for 48 h. With the increase of salting time, the saltiness, umami, astringency and richness of the roasted fish gradually increased, while the bitterness gradually decreased; the volatile odors related to the nitrogen oxides, broad-methane, sulfides, sulfur organic compounds, alcohols, aldehydes, and ketones were significantly increased. The results obtained in this study suggested that the physicochemical properties and roasting quality of salted *L. crocea* can be regulated by the salting time, which will provide theoretical guidance for the development of pre-prepared dishes using *L. crocea*.

**Keywords** salting time; texture; microstructure; roasted fish; flavor analysis