



利用食盐替代物柠檬酸钠制作日本方头鱼盐干品的品质

王 曜^{1,2*}, 姜燕蓉², 孙涵颖², 徐如颖¹, 肖 宁³, 宋晓燕¹,
平坂勝也^{2,4}, 橘勝康², 陈舜胜⁵, 刘宝林¹, 谷山茂人^{2*}

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093;

2. 长崎大学, 大学院水产与环境科学综合研究科, 日本长崎 8528521;

3. 辽宁师范大学化学化工学院, 辽宁大连 116029;

4. 长崎大学, 海洋未来革新机构, 日本长崎 8528521;

5. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要:近年来,随着全球减盐行动的推进,人们对低盐饮食的健康需求日益增长,具备良好风味和外观的低钠盐食品已成为当前的研究热点之一。为适应消费者对健康饮食的需求,本研究利用柠檬酸钠作为食盐替代物制作盐干品,对其品质进行了调查研究。本研究以日本方头鱼为原料,用9% (W/V, 质量浓度) 食盐(对照组)和柠檬酸钠(实验组)浸渍后风干,制作了高水分半干制品,对表皮颜色和pH值,鱼肉中的Na⁺浓度、质地、鲜味特征物质IMP、新鲜度指标K值,以及烤制后的感官评价开展了品质研究。结果显示,实验组盐干品表皮红色色度值a*、彩度值C*和pH值显著高于对照组;其肌肉组织中Na⁺浓度为对照组的39%,且具有较高的持水力,较低的断裂荷重和断裂应力,断裂变形显著高于对照组;同时,IMP和K值等品质指标没有显著差异。烤制后的感官评价结果验证了以上结果,实验组的咸味评分显著低于对照组,在外观评分略高的基础上,咀嚼性、鲜味和总体可接受性等方面没有显著差异。研究表明,用柠檬酸钠代替食盐制作日本方头鱼盐干品,在保证品质的同时,可有效提升表皮色彩,降低Na⁺含量,是理想的钠盐替代物之一,可为水产品干制加工的工艺改善、口味调节、减少钠盐用量等提供新的思路。

关键词:日本方头鱼; 食盐替代物; 柠檬酸钠; 盐干品; 品质

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

2021年3月8日—14日是第15个“世界减盐周”。研究显示,中国成年人过去40年平均每天食盐(氯化钠)摄入量在10g以上,超过世界卫生组织推荐量(不超过4g)的2倍^[1],中国已然成为世界上食盐摄入量最高的国家。2017年7月,国务院办公厅印发《国民营养计划(2017—2030年)》^[2],首次提出食品工业减盐策略,计划“到2030年,实现全国人均每日食盐摄入量降

低20%的目标”,在2018年4月《中国食品工业减盐指南》讨论会上进一步明确了路径。近年来,随着新零售电商的极速扩张和崛起,食品物流得到高速发展,相比长期贮藏,人们对低盐饮食的健康需求也日益增长,倡导着“减盐、减油、减糖”的膳食行动,具备良好风味的低钠盐食品已成为当前的研究热点之一^[3]。

水产干制品根据干燥前的处理,可分为生

收稿日期: 2021-04-28 修回日期: 2021-06-19

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFD0400105-02, 2017YFD0400404); 上海市科委部分地方院校能力建设专项(19060502400)

通信作者: 王曜(照片), E-mail: ywang@usst.edu.cn; 谷山茂人, E-mail: tshiget@nagasaki-u.ac.jp



干品、煮干品、盐干品、调味干制品和中等水分制品。其中, 盐干品加工是长期贮藏和流通的重要方法之一, 具有设备简单、操作简便等优点, 适量添加食盐可以增加盐干品的持水能力, 改善嫩度和多汁性, 同时减少微生物滋生, 起到防腐作用, 对色泽、质地、滋味及风味等也起着重要的作用^[4]。然而, 过量摄入食盐会对人体健康造成危害, 不经漂洗的盐干品味道太咸, 漂淡后的盐干品又具有肉质干硬、复水性差、易油烧等缺点, 水产盐干品也正朝着低盐分、高水分的特征发展。

目前已有的减盐措施之一为开发食盐替代物低钠盐, 利用镁盐、钾盐和钙盐等替代物代替氯化钠是最为常用的方式^[5]。日本学者提出了利用氯化钾和柠檬酸盐作为食盐替代物制作水产盐干制品的方案, 制得了贮藏性和离水抑制效果较高(解冻时的汁液流失较少)的盐干品, 并且取得了专利(特许第 5769041 号)^[5]。虽然氯化钾是食盐替代物的最优选择, 但人体仍需一定的钠离子^[6]。柠檬酸盐可以从柠檬酸钠、柠檬酸钾和柠檬酸铁中选择一个或多个作为柠檬酸盐使用, 其中, 柠檬酸钠是以淀粉质或糖质原料经发酵提纯的, 具有无毒性、pH 可调节性及良好的稳定性, 作为酸度调节剂、稳定剂被列入我国《食品添加剂使用卫生标准》(GB 2760—2014)^[7]规定的食品添加剂名单, 可用于食品工业加工鱼肉制品。利用柠檬酸钠替代食盐制作盐干品, 可有效抑制表皮褪色^[8]。

日本方头鱼 (*Branchiostegus japonicus*) 为温热带中下层经济鱼类, 在底拖网渔获中常有出现, 又被称为甘鲷、方头鱼、马头鱼等^[9], 分布于东南亚海域, 肉质极其软嫩、易碎, 并且非常难保鲜, 味道相对清淡, 除了制作成为刺身外, 也常常进行干制加工。日本方头鱼体背侧呈红色, 腹侧呈淡红色, 颜色是决定其商品价值的重要因素之一, 然而在加工、贮藏和流通的过程中会逐渐褪色, 使其价值下降。有研究表明, 短尾大眼鲷 (*Priacanthus macracanthus*) 的盐干品在 5 ℃ 保存过程中, 随着保存时间的延长, 体侧线部位的红色色度值 a^* (-60~+60; 绿~红) 显著下降, 表皮色泽严重恶化^[10]。

为适应消费者对健康饮食的需求, 本研究利用柠檬酸钠作为食盐替代物, 将日本方头鱼进行盐渍后风干, 对加工过程中以及成品的品质

进行了调查研究, 以期对盐干品加工选择合适的减盐措施, 为低钠盐产品开发提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料与试剂

实验材料 实验样品为市售日本方头鱼, 渔获于日本长崎县以西底曳, 平均全长 (33.4 ± 1.2) cm, 平均体长 (27.0 ± 0.8) cm, 平均体质量 (464.4 ± 32.6) g, $n = 5$ 。

实验试剂 市售精制柠檬酸钠(二水)(食品添加剂, 符合中华人民共和国国家标准和日本食品添加剂公定书标准), 扶桑化学工业株式会社; 市售食盐, 日本公益财团法人盐事业中心; 氢氧化钾(特级), 日本 KISHIDA; 70%(W/W, 体积分数)高氯酸(特级), 磷酸(试药特级), 三乙胺(和光特级), 乙腈(HPLC 级), 日本和光纯药工业株式会社; ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx 标准品, SIGMA; 超纯水, 实验室制备。

1.2 仪器与设备

D700 型数码照相机, 尼康; CR-400 型电脑色彩色差计, 日本柯尼卡美能达; 0040-10D 型平端面型 pH 电极, 日本 HORIBA; B-722 型钠离子计, 日本 HORIBA; 80-093 型游离水分测定器(木屋式硬度计), 日本中央理研; RE-3305S 型流变仪, 日本山电; CH-6010 型试管用均质机, 德国 POLYTRON; LC-2000 Plus series 高效液相色谱(HPLC)自动分析系统, AS-2057 型自动进样器, PU-2080 型输液泵, CO-2065 型自动柱温控制系统, UV-2075 型检测器, 日本分光株式会社; Sim-pack CLD-ODS 反相分配色谱柱, 日本岛津; KS-5000 离心机, 日本 KUBOTA; RFS433PA 型蒸馏水制备机, 日本 ADVANTEC; Direct-Q 5 超纯水制备系统, MERCK MILIPORE; G560E 型 Vortex-Genie 2 涡旋振荡器, 美国 Scientific Industries 公司; CPA224S 型电子天平, 德国赛多利斯; R-S30AMV 型电冰箱, 日立。

1.3 实验方法

样品处理 新鲜渔获的实验鱼用延髓刺杀方法处死, 于碎冰中运回实验室后去鳞, 去内脏, 沿着中骨将左(a)右(b)两侧鱼肉带皮剖下, 并剔除中骨。右侧鱼肉于 9%(W/V, 质量浓度)食盐中浸渍(对照组), 左侧鱼肉于 9%(W/V,

质量浓度)柠檬酸钠中浸渍(实验组),浸渍溶液温度4℃,浸渍时间30 min。浸渍后取出鱼柳,拭干表面水分,称重(对照组c,实验组d),于室温下风干,环境温度18.5℃,环境湿度51%,至重量为风干开始时的87%,结束干燥,制成盐干品(对照组e,实验组f)。

图像采集 用数码相机分别对浸渍前、浸渍后和干燥后的样品进行图像采集,利用Adobe Photoshop CS6软件进行色差调整至与肉眼观察到的颜色基本一致。

表皮色度的测定 用色彩色差计分别测量浸渍前、浸渍后和干燥后样品体背侧表皮(图1)的明度(L^*)和色度(a^* 、 b^*),彩度(C^*)按照式(1)计算,每个样品测定3次,取平均值。



图1 表皮色度和pH的测定部位示意图

Fig. 1 Measuring part of skin color and pH

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

表皮pH值的测定 用pH计分别测量浸渍前、浸渍后和干燥后的样品体背侧表皮(图1)的pH值3次,取平均值。

肌肉组织Na⁺浓度测定 从干燥后的盐干品背部肌肉组织中切取体积约为1 cm×1 cm×1 cm的肌肉组织,用钠离子计测量Na⁺浓度3次,计算出每g样品肌肉组织中Na⁺浓度的平均值。

压榨水分含量的测定 压榨水分含量的测定参考Tabata等^[11]报道的方法,精确称取干燥后的盐干品1.00 g,用直径90 mm的滤纸(No. 3,东洋滤纸)和称量纸包裹,用游离水分测定器负重1 kg,加压1 min后,再次精确称量加压后的样品重量,用式(2)计算出压榨水分的含量。每个样品测定3次,取平均值。

$$\text{压榨水分含量}(\%) = \frac{\text{加压前样品重量}(\text{g}) - \text{加压后样品重量}(\text{g})}{\text{加压前样品重量}(\text{g})} \times 100\% \quad (2)$$

流变学参数测定 流变学参数测定参考Misima等^[12]和Arroyo等^[13]报道的方法,从干燥

后的盐干品背部垂直于体侧线方向,切取厚约15 mm的白色肌肉组织,用流变仪测定断裂载荷(N)、断裂应力(N/cm²)和断裂变形(mm)。测定时避开暗色肌和结缔组织肌隔膜,使用直径为3 mm的柱塞,平行于肌原纤维的方向戳入,戳入速度1 mm/s,间隙2 mm,最大戳入压力即为断裂载荷。每个样品测定3次,取平均值。

IMP含量的测定 根据Wang等^[14]和Ehira等^[15]的方法,精确称量背部白色肌肉组织1.0 g,用高氯酸提取ATP分解产物,提取液用氢氧化钾调整pH值至6.4,10倍稀释后过0.45 μm水相滤膜,通过HPLC自动分析系统进行定量。测定条件:进样量20 μL,流动相[0.136%磷酸,0.420%三乙胺,2.500%乙腈(V/V,体积浓度)混合物,pH值5.5]流量1.5 mL/min,柱温35℃,测定波长254 nm,测定时间13 min。根据标准样品的峰面积计算出每克肌肉组织样品中的IMP含量。

新鲜度K值 K值根据Tsuchimoto等^[16]的方法,按照式(3)进行计算。

$$K \text{ value}(\%) = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100\% \quad (3)$$

感官评价 评估小组由9人组成,年龄20~50岁,烤制后的盐干品(对照组g,实验组h)随机放在托盘后由评估小组进行评估。采用ASTM法以百分制评价方式,分别从外观、咸味、咀嚼性、鲜味和总体接受性对样品进行评价。

1.4 数据分析

数据用Microsoft Office Excel 2016软件进行处理,以平均值±SD表示,用t检验对结果进行显著性差异分析,当P<0.05时认为实验组与对照组之间存在显著性差异。

2 结果

2.1 盐干品制作过程中的表皮颜色变化

不同浸渍液处理的样品表皮的颜色变化如图2所示,浸渍后实验组(柠檬酸钠浸渍)与对照组(食盐浸渍)没有明显差异,经干燥后可以看见实验组的表皮更红。

制作过程中,样品表皮的色度结果如图3所示,对照组和实验组样品表皮的L*值(0~100:黑暗~明亮)分别为浸渍前(48.88 ± 1.77)(a)和

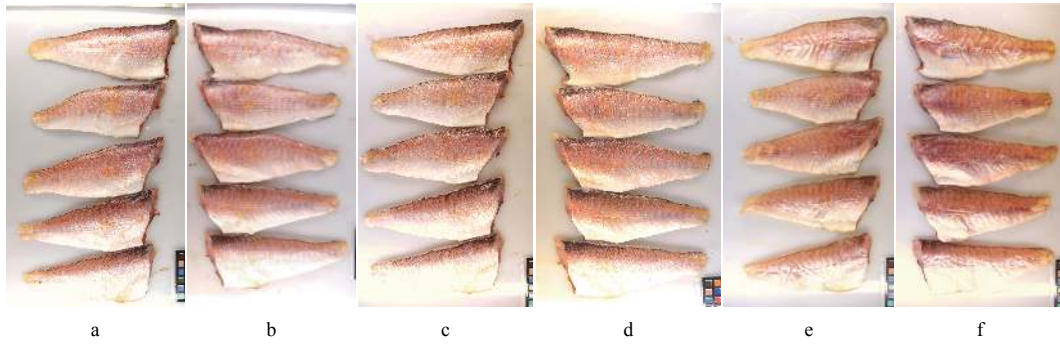


图 2 不同浸渍液处理的盐干品制作过程中肉眼观察到的表皮颜色

a、c、e 为对照组; b、d、f 为实验组; a 和 b 为浸渍前 (新鲜) 样品; c 和 d 为浸渍后样品; e 和 f 为干燥后样品。下同

Fig. 2 Skin color of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

a, c, e. control group; b, d, f. experimental group; a, b. (fresh) samples before soaking; c, d. samples after soaking; e, f. samples after drying. The same below

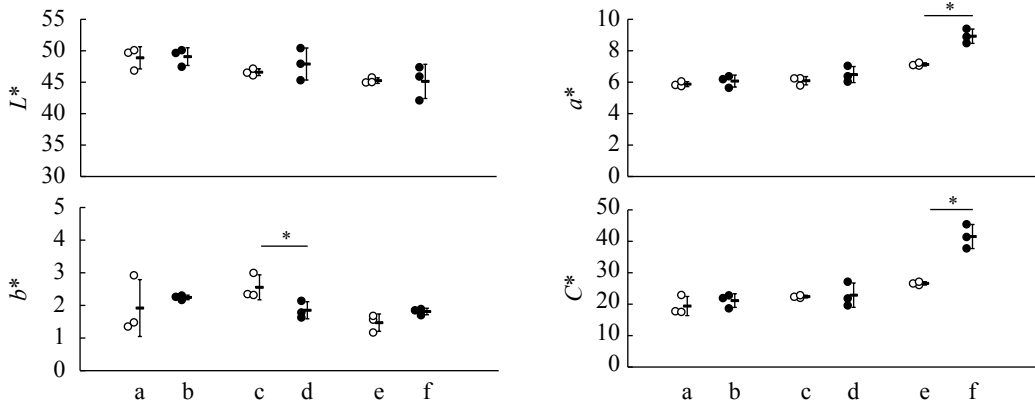


图 3 不同浸渍液处理的盐干品制作过程中表皮色度的变化

*. 实验组与对照组差异显著, $P < 0.05$, 下同

Fig. 3 Changes of skin color of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

*. significant differences between control group and experimental group, $P < 0.05$. The same below

(49.07 ± 1.41) (b), 浸渍后 (46.59 ± 0.54) (c) 和 (47.89 ± 2.55) (d), 干燥后 (45.25 ± 0.45) (e) 和 (45.13 ± 2.72) (f) (a~f 顺序下同), 两组之间无显著差异。对照组和实验组样品表皮的 a^* 值分别为浸渍前 5.88 ± 0.16 和 6.07 ± 0.38 , 浸渍后 6.10 ± 0.26 和 6.49 ± 0.51 , 两组之间没有显著差异, 干燥后 7.13 ± 0.10 和 8.93 ± 0.46 , 两组之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。对照组和实验组样品表皮的 b^* 值 (-60~+60: 蓝~黄) 分别为浸渍前 1.92 ± 0.87 和 2.24 ± 0.07 , 两组之间无显著差异, 浸渍后 2.55 ± 0.38 和 1.85 ± 0.26 , 具有显著差异 ($P < 0.05$), 干燥后 1.47 ± 0.27 和 1.81 ± 0.10 , 两组之间无显著差异。对照组和实验组样品表皮的 C^* 值分别为浸渍前 19.41 ± 3.05 和 21.14 ± 2.18 , 浸渍后 22.41 ± 0.43 和 22.86 ± 3.88 , 两组之间无显著差异, 干燥后 26.61 ± 0.53 和 41.52 ± 3.84 , 具有显著差异 ($P < 0.05$)。

浸渍后, 对照组和实验组的 L^* 、 a^* 和 C^* 值没有显著差异, 实验组的 b^* 值显著低于对照组; 干燥后, 两组的 L^* 和 b^* 值没有显著差异, 实验组的 a^* 和 C^* 值显著高于对照组, 分别比浸渍前提升了约 47% 和 96%, 色彩提升效果显著。

2.2 盐干品制作过程中的表皮 pH 值变化

制作过程中, 样品表皮的 pH 值结果如图 4 所示, 对照组和实验组样品表皮的 pH 值分别为浸渍前 7.32 ± 0.09 和 7.51 ± 0.06 ($P < 0.05$), 浸渍后 7.16 ± 0.03 和 7.54 ± 0.13 ($P < 0.01$), 干燥后 6.91 ± 0.10 和 7.29 ± 0.08 ($P < 0.01$), 两组之间差异显著, 实验组表皮 pH 值显著高于对照组。

2.3 盐干品的肌肉组织中 Na^+ 浓度差异

不同浸渍液处理干燥后的盐干品样品肌肉组

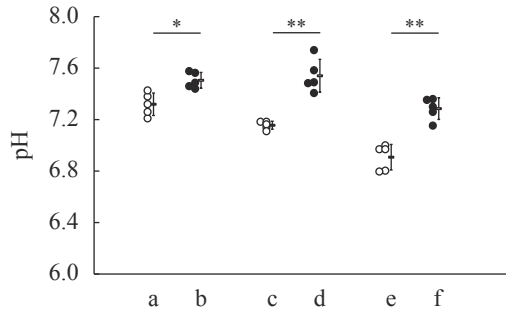


图 4 不同浸渍液处理的盐干品制作过程中表皮 pH 值的变化

** 实验组与对照组差异非常显著, $P < 0.01$, 下同

Fig. 4 Changes of skin pH value of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

** highly significant differences between control group and experimental group, $P < 0.01$. The same below

织中 Na^+ 浓度如图 5 所示, 对照组 Na^+ 浓度为 $(94.78 \pm 1.71) \text{ mg/g}$, 实验组为 $(37.22 \pm 1.34) \text{ mg/g}$, 极显著低于对照组, 仅为对照组的 39% ($P < 0.001$)。

2.4 盐干品肌肉组织的质地

压榨水分含量 干燥后样品肌肉组织的压榨水分含量结果为对照组 (e) 为 $20.78\% \pm 1.73\%$, 实验组 (f) 为 $17.64\% \pm 1.34\%$, 两组之间无显著性差异, 但实验组略低于对照组, 持水性较好。

流变学参数差异 不同浸渍液处理干燥后的盐干品样品肌肉组织流变学参数差异如图 6 所示, 对照组和实验组样品肌肉组织的断裂载荷分别为 (0.45 ± 0.05) 和 $(0.35 \pm 0.01) \text{ N}$, 断裂应力分别为 (0.65 ± 0.06) 和 $(0.50 \pm 0.01) \text{ N/cm}^2$, 断裂变形分别为 (7.77 ± 0.09) 和 $(8.41 \pm 0.13) \text{ mm}$ ($P < 0.05$), 实验组的断裂载荷和断裂应力略低于对照组, 断裂变形显著高于对照组, 肉质较软。

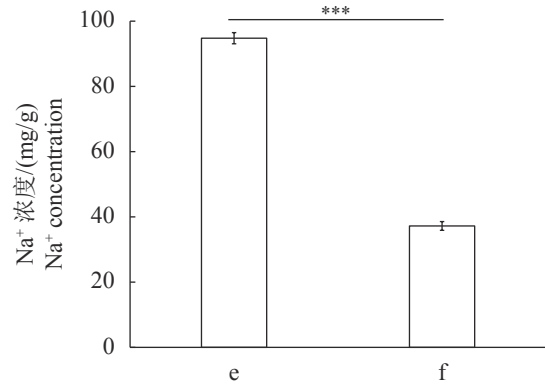


图 5 不同浸渍液制成的盐干品肌肉组织中 Na^+ 浓度

*** 实验组与对照组差异极其显著, $P < 0.001$

Fig. 5 Na^+ concentration in muscle of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

*** extremely significant differences between control group and experimental group, $P < 0.001$

2.5 肌肉组织中 IMP 含量与 K 值

干燥后样品肌肉组织中的 IMP 含量结果如图 7 所示, 对照组 (e) 为 $(8.84 \pm 1.29) \mu\text{mol/g}$ 和实验组 (f) 为 $(7.97 \pm 0.68) \mu\text{mol/g}$ 之间无显著性差异, 两组之间无显著性差异。对照组和实验组 K 值分别为 $14.24\% \pm 2.11\%$ 和 $14.80\% \pm 0.78\%$, 两组之间无显著性差异。

2.6 盐干品烤制后的感官评价

制成的盐干品烘烤后, 感官评价结果显示, 对照组和实验组样品的外观评分分别为 62.56 ± 15.48 和 76.75 ± 13.28 , 实验组评价较好; 咸味评分分别为 78.31 ± 6.74 和 35.6 ± 13.35 ($P < 0.01$), 实验组咸味显著低于对照组; 咀嚼性评分分别为 54.97 ± 14.79 和 35.74 ± 20.77 , 实验组较易咀嚼。

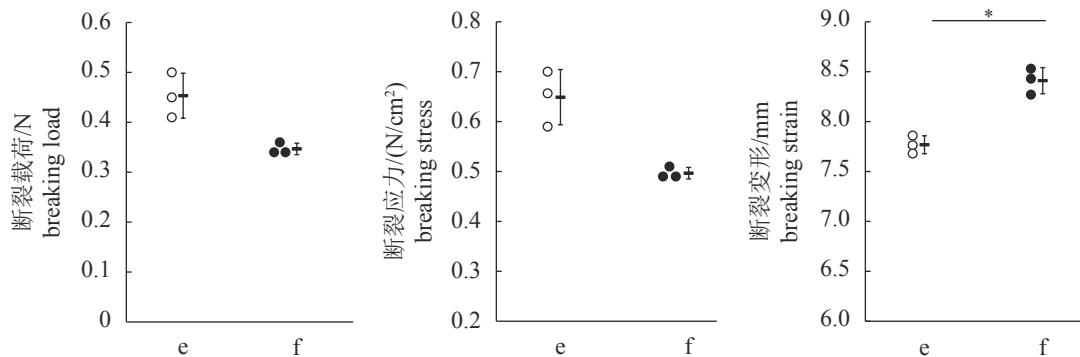


图 6 不同浸渍液制成的盐干品肌肉组织流变学参数差异

Fig. 6 Difference of rheological parameters of muscle of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

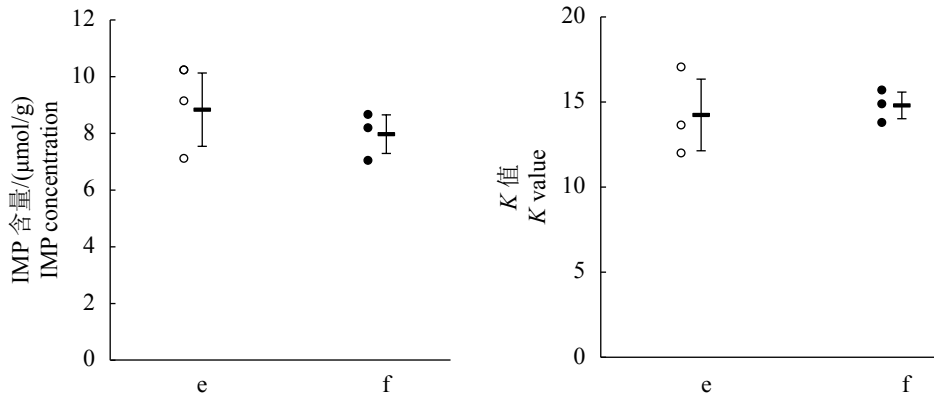


图 7 不同浸渍液制成的盐干品肌肉组织 IMP 含量与 K 值

Fig. 7 IMP concentration and K value of muscle of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions

嚼; 鲜味评分分别为 60.16 ± 17.98 和 54.23 ± 11.84 , 总体可接受性评分分别为 65.47 ± 14.95 和 53.52 ± 11.30 , 两组之间无显著性差异 (图 8)。

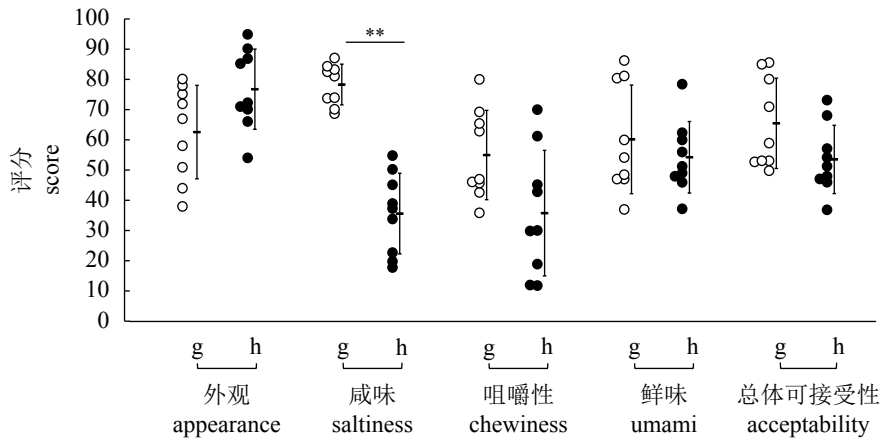


图 8 不同浸渍液制成的盐干品烤制后的感官评价

g.对照组烤制后样品(9%食盐); h.实验组烤制后样品(9%柠檬酸钠)

Fig. 8 Sensory analysis of dried salted fillet samples treated with different soaking solutions after baking

g. samples of control group after baking (9% salt); h. samples of experimental group after baking (9% sodium citrate)

3 讨论

本研究以日本方头鱼为原料, 利用柠檬酸钠代替食盐浸渍制作了盐干品, 对制作过程中鱼柳样品的表皮颜色和 pH 值, 成品鱼肉中的 Na^+ 浓度、质地、鲜味特征物质 IMP、新鲜度指标 K 值, 以及烤制后的感官评价开展了品质比较研究。

日本方头鱼的表皮色泽承担着评价其商品价值的重要任务, 表皮的红色和黄色主要来源于胡萝卜素。研究显示, 在日本方头鱼盐干品加工过程中, 表皮上的食盐含量越高, 胡萝卜素含量越少, 表皮褪色^[17]。利用饱和柠檬酸钠水

溶液对太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 进行浸渍, 能显著抑制干燥过程中亮度色度值 L^* 值的下降, 并且显示出较低的美拉德反应进程^[18-19]。本研究结果表明, 柠檬酸钠浸渍的盐干品表皮红色色度值 a^* 值、彩度值 C^* 值和 pH 值显著高于食盐浸渍组。其中, a^* 值和 C^* 值分别约是新鲜样品的 1.47 倍和 1.96 倍。由此可见, 柠檬酸钠浸渍可有效抑制褪色和酸败, 提升表皮色泽, 保证商品价值。

在对太平洋褶柔鱼和鲤 (*Cyprinus carpio*) 的肌原纤维蛋白质的盐溶解性的研究中发现, 柠檬酸钠的离子强度约是食盐的 5 倍, 具有更强的

溶解作用^[20-21]。本研究中,经 9% 柠檬酸钠浸渍干燥后的盐干品具有较低的断裂荷重和断裂应力,以及较高的断裂变形和持水力,说明肉质多汁较软,更易于咀嚼,可能是因为柠檬酸钠较强的溶解作用所致。研究显示,以质量浓度 0.75% 氯化钠溶液为参考,柠檬酸钠在氯化钾等 12 种食盐替代物中咸味强度较低,等咸度下其咸度效力仅为 0.29,但整体口感排序靠前,仅次于硫酸钠,且风味雷达图更接近于氯化钠^[6]。本研究中使用的浸渍液为 9% 柠檬酸钠溶液,其 Na⁺物质的量浓度为 9% 食盐溶液的 67.5%,在干燥后的盐干品肌肉组织中,Na⁺浓度仅为食盐浸渍的 39%,可以看出,柠檬酸钠在盐渍过程中渗透总量较低,减钠效果显著。同时,质地、鲜味和新鲜度等品质指标方面没有显著差异。烤制后的感官评价结果验证了以上结果,柠檬酸钠浸渍干燥后的盐干品咸味评价显著降低,在外观评分略高的基础上,口感、味觉和总体可接受性等方面并没有显著差异。

于慧等^[22]对秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 盐干品进行理化研究的结果显示,在 20% 食盐浸渍后,随干燥时间延长,样品中水分含量降低,伴随断裂荷重和肌肉组织硬度逐渐增加。等^[20]发现与食盐、琥珀酸钠和葡糖酸钠相比,具有螯合作用的柠檬酸钠以最低的物质浓度 (0.1 mol/L) 抑制了肌球蛋白分解。而部分红色食用鱼表皮中存在的环磷酸酶类酶的结构中含有铁离子,螯合剂的添加可能会阻碍其活性^[23],达到抑制表皮褪色的效果。食盐的添加具有促进自溶的作用^[24],而即使在添加食盐的情况下,柠檬酸钠仍然可以起到抑制肌球蛋白的自溶、冷冻变性等多重作用,其变性抑制作用可以与谷氨酸钠相匹敌^[25],因此,有关柠檬酸钠浸渍制作的盐干品在贮藏期间的品质变化、柠檬酸钠的螯合作用对品质改善的贡献机理、混合盐替代物的最佳复配比例以及加工过程中蛋白质组学的研究还需进一步分析。

综上所述,用柠檬酸钠代替食盐制作方头鱼等红色食用鱼的盐干品,在保证持水力、质地、新鲜度等品质的同时可有效提升表皮色彩、降低 Na⁺摄入,是理想的钠盐替代物之一,可为水产品干制加工的工艺改善、口味调节、减少钠盐用量等提供新的思路。

<https://www.china-fishery.cn>

参考文献 (References):

- [1] Tan M, He F J, Wang C Q, *et al.* Twenty-four-hour urinary sodium and potassium excretion in China: a systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of the American Heart Association*, 2019, 8(14): e012923.
- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发国民营养计划 (2017—2030 年) 的通知: 国办发 (2017) 60 号 [A/OL]. (2007-07-13)[2021-04-26]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/13/content_5210134.htm.
General Office of the State Council of the People's Republic of China. Notice of the general office of the State Council on printing and distributing the national nutrition plan (2017-2030): GBF[2017] No. 60[A/OL]. (2007-07-13)[2021-04-26]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/13/content_5210134.htm (in Chinese).
- [3] 张杰, 赵志峰, 郝罗, 等. 减盐策略及低钠盐研究进展[J]. *中国调味品*, 2021, 46(3): 179-184.
Zhang J, Zhao Z F, Hao L, *et al.* Research progress of salt reduction measures and low-sodium salt[J]. *China Condiment*, 2021, 46(3): 179-184(in Chinese).
- [4] 甄宗圆, 陈旭, 万双菊, 等. 肉制品低钠盐工艺研究进展[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 100-106.
Zhen Z Y, Chen X, Wan S J, *et al.* Progress in the development and production of low-sodium meat products[J]. *Meat Research*, 2020, 34(4): 100-106(in Chinese).
- [5] 一崎繪理香, 桑原浩一, 岡本昭. 塩干品の製造方法および塩干品: 日本, 5769041[P/OL]. 2015-08-26[2021-04-26]. <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-2011-205955/822794AE847BC11AC2C3E6F9B6A1F60FC32A4681D142A59AEB324464081E6406/11/ja>.
Ichisaki E, Kuwahara K, Okamoto A. Method for producing dried salted products: Japan, No. 5769041[P/OL]. 2015-08-26[2021-04-26]. <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-2011-205955/822794AE847BC11AC2C3E6F9B6A1F60FC32A4681D142A59AEB324464081E6406/11/ja> (in Japanese).
- [6] 葛宝宝. 食盐替代物的风味评估及复配研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2017.
Ge B B. Formulation and sensory analysis of salt substitutes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017 (in Chinese).
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 2760—2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
The National Health and Family Planning Committee of China. GB 2760—2014 National Food Safety Standard

- for Uses of Food Additives[S]. Beijing: China Standard Press, 2015.
- [8] 松本欣弘, 久保久美子, 桑原浩一, 等. 平成 26 年度事業報告 2. 主要魚種の価値を高める加工技術の開発 [R/OL]. 長崎県総合水産試験場事業報告, 2015: 74-75. [2021-04-26]. <https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2018/11/1543210429.pdf>.
- Matsumoto Y, Kubo K, Kuwahara K, *et al.* 2015 research report 2. Development of processing technology to increase the value of main fish species [R/OL]. Research Report of Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. 2015:74-75.[2021-04-26]. <https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2018/11/1543210429.pdf> (in Japanese).
- [9] 夏连军, 施兆鸿, 王建钢, 等. 日本方头鱼的生物学及增养殖现状[J]. *渔业现代化*, 2005(4): 25-26.
- Xia L J, Shi Z H, Wang J G, *et al.* Biology and current status of culture of red tilefish[J]. *Fishery Modernization*, 2005(4): 25-26(in Chinese).
- [10] 野中健, 清原満. 「色もの」塩干品の加工について [R/OL]. 長崎県総合水産試験場事業報告, 2004: 13-29. [2021-04-26] <https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2018/11/1542692006.pdf>.
- Nonaka T, Kiyohara M. The processing of "Iromono" [R/OL]. Research Report of Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. 2004: 13-29. [2021-04-26] <https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2018/11/1542692006.pdf> (in Japanese).
- [11] Tabata Y, Kanazu R. Determinations of breaking stress by curd meter of "kamaboko" on market[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1975, 41(2): 233-241.
- [12] Misima T, Fujii J, Tachibana K, *et al.* Influence of contracture on breaking strength in carp muscle[J]. *Fisheries Science*, 1995, 61(2): 209-213.
- [13] Arroyo Mora D, Hamada Y, Okamoto A, *et al.* Characteristics of burnt meat in cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. *Fisheries Science*, 2007, 73(3): 651-659.
- [14] Wang Y, Miyazaki R, Saitou S, *et al.* The effect of ice crystals formations on the flesh quality of frozen horse mackerel (*Trachurus japonicus*)[J]. *Journal of Texture Studies*, 2018, 49(5): 485-491.
- [15] Ehira S, Uchiyama H, Uda F, *et al.* A rapid method for determination of the acid-soluble nucleotides in fish muscle by concave gradient elution[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1970, 36(5): 491-496.
- [16] Tsuchimoto M, Misima T, Utsugi T, *et al.* Method of quantitative analysis of ATP related compounds on the rough sea-method of high-performance liquid chromatography using reversed-phase column[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1985, 51(8): 1363-1369.
- [17] Kiyohara M, Yamaguchi A. Studies on the method of preventing the discoloration of salted and dried red tilefish[J]. *Bulletin of Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries*, 2001(27): 27-32.
- [18] Yamashita S, Kaido T, Kasukawa M, *et al.* Prevention of the browning of dried Japanese common squid *Todarodes pacificus* by immersion in sodium citrate solution before drying[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2019, 85(6): 591-598.
- [19] Geng J T, Kaido T, Kasukawa M, *et al.* Mechanism study of high browning degree of mantle muscle meat from Japanese common squid *Todarodes pacificus* during air-drying[J]. *Food Chemistry*, 2015, 176: 158-166.
- [20] Kuwahara K, Osako K, Okamoto A, *et al.* Solubilization of myofibrils and inhibition of autolysis of squid mantle muscle by sodium citrate[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(6): C358-C362.
- [21] Kuwahara K, Konno K. Suppression of thermal denaturation of myosin and salt-induced denaturation of actin by sodium citrate in carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 997-1002.
- [22] 于慧, 佐藤实, 王锡昌. 秋刀鱼盐干过程中理化特性的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(10): 75-80.
- Yu H, Sato M, Wang X C. Changes in physico-chemical properties during salting of *Cololabis saira*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(10): 75-80(in Chinese).
- [23] Chan H W S. Soya-bean lipoxigenase: An iron-containing dioxygenase[J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Enzymology*, 1973, 327(1): 32-35.
- [24] Konno K, Fukazawa C. Autolysis of squid mantle muscle protein as affected by storage conditions and inhibitors[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(6): 1198-1202.
- [25] Kuwahara K. Development of technology for the production of high quality thermal gel from squid meat by applying multifunctionality of sodium citrate[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2011, 77(5): 779-782.

Quality of dried salted red tilefish (*Branchiostegus japonicas*) using sodium citrate as a salt substitute

WANG Yao^{1,2*}, JIANG Yanrong², SUN Hanying², XU Ruying¹, XIAO Ning³, SONG Xiaoyan¹,
HIRASAKA Katsuya^{2,4}, TACHIBANA Katsuyasu², CHEN Shunsheng⁵,
LIU Baolin¹, TANIYAMA Shigeto^{2*}

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering,

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University, Nagasaki 8528521, Japan;

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

4. Organization for Marine Science and Technology, Nagasaki University, Nagasaki 8528521, Japan;

5. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: With the promotion of global salt reduction, people's health needs for low salt diet are increasing in recent years. Low sodium salt food with good flavor and appearance has become one of the research hotspots. In order to adapt to the needs of consumers for healthy diet, the present research made dried salted products using sodium citrate as a salt substitute and investigated the quality of the products. The dried salted products were made from red tilefish by air drying after soaking with 9% (*W/V*) salt (control group) and sodium citrate (experimental group). The quality of the products was indicated by the color and the pH of skin, Na⁺ concentration, texture, flavor characteristic substance IMP, and freshness index *K* value of meat, and sensory analysis after baking. In the experimental group, *a**, *C** and pH of the skin of dried salted fillet samples were significantly higher than those of the control group; the Na⁺ concentration in meat was 39% of that of the control group, which had higher water holding capacity, lower breaking load and breaking stress, and its breaking deformation was significantly higher than that of the control group; at the same time, there was no significant difference in IMP concentration as umami indexes and *K* value as fresh index. The sensory analysis results of the experimental group showed significantly lower saltiness score than the control group. On the basis of slightly higher appearance score, there was no significant difference in chewing, umami and overall acceptability. Using sodium citrate instead of salt to make dried salted products of red filefish fillets can effectively improve the skin color and reduce Na⁺ concentration while ensuring the quality parameters. Sodium citrate may be one of the ideal sodium salt substitutes, which can provide new ideas for improving the process, adjusting the taste, and reducing the amount of sodium salt of dried salted aquatic products.

Key words: red filefish (*Branchiostegus japonicas*); salt substitute; sodium citrate; dried salted products; quality

Corresponding authors: WANG Yao. E-mail: ywang@usst.edu.cn;

TANIYAMA Shigeto. E-mail: tshigeto@nagasaki-u.ac.jp

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2017YFD0400105-02, 2017YFD0400404); Capacity Building Project of Local Colleges of Shanghai Science and Technology Commission (19060502400)