

羧甲基壳聚糖与复合盐单次漂洗对白鲢鱼糜品质的影响

陆婷婷¹, 张晓頔¹, 戴志远^{1,2,3*}, 张益奇^{1,2,3}, 卢延斌^{1,2,3}

(¹浙江工商大学海洋食品研究院 杭州 310035

²浙江省水产品加工技术研究联合重点实验室 杭州 310035

³海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心 辽宁大连 116000)

摘要 为减少鱼糜漂洗用水并保持鱼糜品质,利用氯化钾(KCl)、柠檬酸钠与羧甲基壳聚糖(CMC)对鱼糜进行单次漂洗。在单因素实验中,当漂洗液中 KCl 质量分数为 1.0%时,凝胶强度为 312.28 g·cm,白度为 75.28,达到最大值,显著改善其质构特性与持水性(80.98%)。当漂洗液中柠檬酸钠质量分数为 0.15%时,凝胶强度为 300.78 g·cm,白度为 75.34,达到最大值,显著改善其质构特性与持水性(85.55%)。当漂洗液中 CMC 质量分数为 1.2%时,凝胶强度为 348.39 g·cm,白度为 73.89,达到最大值,显著改善质构特性与持水性(85.48%),且持水性随 CMC 含量增大而递增。在此基础上进行组合漂洗 1 次,结果发现采用 1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 的漂洗方法改善效果最佳,漂洗后的鱼糜凝胶强度为 365.62 g·cm,白度为 75.31,持水性为 87.12%,鱼糜得率为 75.41%。与工业中的 3 次漂洗法相比,除了鱼糜凝胶强度下降 10.55%,其它指标都显著提升。该单次漂洗方法可有效改善鱼糜品质,减少漂洗次数,且漂洗耗水量约为工业漂洗的 1/3。

关键词 羧甲基壳聚糖; 复合盐; 漂洗; 鱼糜

文章编号 1009-7848(2024)01-0169-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.018

鲢鱼又称白鲢,肉质鲜嫩,营养丰富,品质优异,价格低廉且凝胶形成能力强,加工潜力大。鲜鱼经采肉、漂洗、精滤、脱水、擂溃等步骤制得鱼糜。漂洗是鱼糜制作过程中不可或缺的一步,它的作用是将其中的血液、色素、脂肪、无机盐以及水溶性蛋白等杂质漂洗清除^[1],同时还能将鱼肉中的肌浆蛋白和一些水溶性酶洗出来以增强凝胶强度^[2],改善鱼糜的色泽、弹性和风味。在实际工业中一般采用 5 倍原料质量的清水,对鱼肉反复漂洗 3 次,这种方法不仅会造成鱼肉的营养流失,而且浪费水资源,容易污染环境。另一方面如果漂洗次数过少或者漂洗用水量不足会使鱼肉中残留大量的水溶性蛋白,进而影响鱼糜的综合品质。鉴于此,需要建立一种新型、环保、节水的漂洗方法。

氯化钠溶液漂洗鱼糜可以增强鱼糜的流变特性与凝胶特性。根据世界卫生组织建议,每人每日食盐摄入量不超过 5 g。然而,实际生活中的大多数人的盐摄入已经是该建议量的 2 倍,高盐饮食

更易诱发多种常见疾病^[3]。氯化钾(KCl)与氯化钠(NaCl)有着相似的物化性质和生理作用,可以作为 NaCl 的替代物。用 KCl 溶液漂洗鱼肉有助于盐溶性蛋白溶出,增强其凝胶强度,减轻鱼肉的土腥味并抑制微生物生长^[4]。Agostinho 等^[5]研究发现,K⁺代替 50%的 Na⁺时,对其凝胶强度有一定的增强作用。柠檬酸钠可以抑制食品中微生物的生长,改善感官特性,延长食物的保质期^[6-7],并且还具有保水和防止肌动球蛋白变性的能力^[8]。羧甲基壳聚糖(Carboxymethyl chitosan,CMC)作为壳聚糖重要的水溶性、两性衍生物,具有优异的水溶性、无毒安全性、生物相容性和生物可降解性,在食品行业中具有巨大的应用潜力^[9-10]。CMC 不仅具有壳聚糖本身降胆固醇、降血脂、增强免疫、抗肿瘤等多种生理活性^[11],而且与未改性的壳聚糖相比,具有更好的保湿性、成膜性及凝胶增强特性^[12]。

综上,本试验以鲢鱼为原料,通过单因素实验研究只漂洗 1 次情况下,不同含量的 KCl、柠檬酸钠和 CMC 漂洗用水分别对鲢鱼鱼糜的凝胶强度、质构特性、白度、持水性的影响。在此基础上,通过综合分析比对其各种单次组合漂洗对鱼糜凝胶强度、白度、持水性、鱼糜得率与质构特性的影响,最后选出 1 种只漂洗 1 次的节水环保的复合漂洗方法。

收稿日期: 2023-01-12

基金项目: “蓝色粮仓”国家重点研发计划项目
(2019YFD0902000)

作者简介: 陆婷婷,女,硕士生

通信作者: 戴志远 E-mail: dzy@zjgsu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

未漂洗的冷冻白鲢鱼糜,鞍山安润食品有限公司;KCl、无水柠檬酸钠(98%),国药集团化学试剂有限公司;CMC(BR,水溶性),麦克林生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

分光测色仪(CQX:3111),美国 Hunter 公司;质构仪(TMS-Pro),美国 FTC 公司;冷冻离心机(HETTICH420R),德国 HETTICH 公司;恒温水浴锅(JOANLAB),宁波市群安实验仪器有限公司;电子天平(BSA124S-CW),赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 KCl 溶液漂洗鱼糜 将未漂洗的冷冻白鲢鱼糜 4℃解冻 12 h,再分别用常温去离子水(空白组),质量分数分别为 0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%的 KCl 溶液对鱼糜进行 1 次漂洗(漂洗液与鱼糜质量比为 5:1),漂洗时间为 5 min。

1.3.2 柠檬酸钠溶液漂洗鱼糜 将未漂洗的冷冻白鲢鱼糜 4℃解冻 12 h,再分别用常温去离子水(空白组),质量分数分别为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%的柠檬酸钠溶液对鱼糜进行 1 次漂洗(漂洗液与鱼糜质量比为 5:1),漂洗时间为 5 min。

1.3.3 CMC 溶液漂洗鱼糜 将未漂洗的冷冻白鲢鱼糜 4℃解冻 12 h,再分别用常温去离子水(空白组),质量分数分别为 0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%的 CMC 溶液对鱼糜进行 1 次漂洗(漂洗液与鱼糜质量比为 5:1),漂洗时间为 5 min。

1.3.4 组合漂洗鱼糜 通过单因素实验分别选取最优质量分数的 KCl 漂洗液、柠檬酸钠漂洗液、CMC 漂洗液。通过比较空白组(漂洗液为常温去离子水),对照组(参考工业生产中的鱼糜漂洗方法,用常温清水对鱼糜漂洗 3 次,每次清水与鱼糜的质量比为 5:1),最优 KCl 浓度+最优柠檬酸钠浓度,最优 KCl 浓度+最优 CMC 浓度,最优柠檬酸钠浓度+最优 CMC 浓度,最优 KCl 浓度+最优柠檬酸钠浓度+最优 CMC 浓度这 6 种漂洗情况下,考察鱼糜凝胶强度、白度、持水性、鱼糜得率与凝胶质构特性的差别。

1.3.5 鱼糜凝胶的制备 鱼糜凝胶的制备参考米红波等^[13]的方法,略作修改,将每次漂洗过后的鱼糜使用纱布脱水过滤,控制最终水分含量为 80%。经空斩(2 min)、加盐(添加鱼肉质量 2.5%的食盐)、盐斩 2 min 后,将鱼糜加入到 4 cm×4 cm×4 cm 的立方模具并且压实,用耐高温密封袋封口,在水浴锅中 40℃加热 1 h 后,再于 90℃加热 0.5 h 后成型,自来水冷却后在 4℃冷藏 24 h 得到鱼糜凝胶。

1.3.6 鱼糜凝胶强度的测定 参考 Yu 等^[14]和 Petcharat 等^[15]的方法,略作修改。将 4℃冷藏鱼糜凝胶放在室温(25℃)下平衡 30 min,将其切成 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体,采用 P5 圆柱形探头,参数设置为:测试速度:60 mm/min,触发力:0.1 N,形变量 50%。凝胶强度按公式(1)计算。

$$\text{凝胶强度}(\text{g}\cdot\text{cm})=\text{破裂力}(\text{g})\times\text{破裂位移}(\text{cm}) \quad (1)$$

1.3.7 鱼糜凝胶质构的测定 样品按照 1.3.6 的处理方法,利用质构仪程序中 TPA 进行测定。采用 P5 圆柱形探头,TPA 参数设置为:测试速度:60 mm/min,触发力:0.1 N,形变量:50%。分别记录硬度、黏结性、弹性、胶黏性、咀嚼性指标。

1.3.8 白度的测定 采用全自动色差仪测定鱼糜凝胶的 L^* (明度)、 a^* (红色/绿色)、 b^* (黄色/蓝色)值。白度按公式(2)计算^[16]。

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

1.3.9 持水性的测定 将鱼糜凝胶切成厚度 5 mm 的薄片,精确称重(M_1)后用滤纸包裹装入离心管,4℃,5 000 r/min 离心 15 min,离心后吸干表面水分,再次称重(M_2)。持水性按公式(3)计算^[17]。

$$\text{持水性}=\frac{M_2}{M_1}\times 100\% \quad (3)$$

1.3.10 鱼糜得率的测定 分别称量漂洗前和漂洗后鱼糜的总质量(干基),记为 M_1 和 M_2 。鱼糜得率按公式(4)计算。

$$\text{鱼糜得率}=\frac{M_1-M_2}{M_1}\times 100\% \quad (4)$$

1.4 数据处理

所有试验均进行 3 次平行,结果以“平均值±标准差”表示,采用 Origin 2018 软件作图,试验数

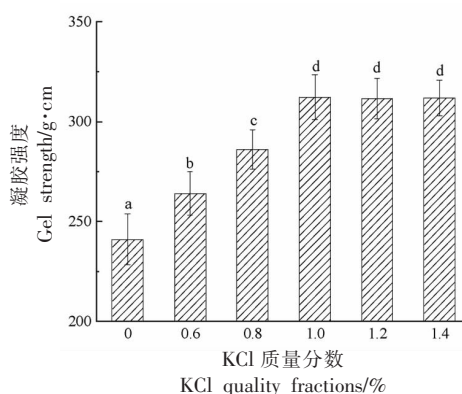
据采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析, Duncan 多重比较分析试验数据间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同质量分数 KCl 漂洗液对鱼糜凝胶特性的影响

2.1.1 不同质量分数 KCl 漂洗液对鱼糜凝胶强度的影响 凝胶强度是评价鱼糜制品的重要指标, 一般来说, 凝胶强度越高鱼糜制品品质越好。如图 1 所示, 用含有 KCl 的漂洗液漂洗鱼糜后的凝胶强度均显著高于空白组 ($P<0.05$), 且凝胶强度呈现出先增加后基本不变的趋势。当 KCl 质量分数为 1.0% 时, 凝胶强度达到最大 (312.28 g·cm), 比空白组增加了 29.29%。根据 Tahergorabi 等^[8]的研究推测, 这可能是因为 KCl 在水溶液中分解成了 K^+ 和 Cl^- , 从而增强了盐溶性蛋白的溶解性, 促进了蛋白质和水、蛋白质与蛋白质、蛋白质和其它组分的相互作用, 通过改善蛋白质的三维空间网状结构提高了鱼糜制品的凝胶特性。

2.1.2 不同质量分数 KCl 漂洗液对鱼糜凝胶质构的影响 不同质量分数的 KCl 漂洗用水对鱼糜凝胶的硬度、黏结性、弹性、胶黏性和咀嚼性的影响如表 1 所示。KCl 漂洗处理可显著提高鱼糜凝胶的硬度 ($P<0.05$), KCl 质量分数为 1.2% 时, 硬度最



注: 不同字母表示同一指标间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

图 1 KCl 质量分数对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.1 Effect of KCl quality fractions on gel strength of surimi gels

大为 2.21 N, 比空白组增加了 8.87%。KCl 漂洗液对鱼糜凝胶的黏结性与弹性影响不大, 它们的组间差异均不显著 ($P<0.05$)。Cando 等^[19]也得出了相似的结论, 他们发现随着 NaCl 盐含量的降低, 鱼糜凝胶的硬度会减小而弹性变化不大。KCl 质量分数在 1.0%~1.4% 之间时, 鱼糜凝胶的胶黏性才与空白组有显著差异, 并且当其为 1.2% 时, 胶黏性最大为 0.91 N, 比空白组增加了 12.35%。综合分析, 当漂洗水中 KCl 质量分数在 1.0%~1.4% 之间时, 可显著提高鱼糜凝胶的硬度、胶黏性与咀嚼性。

表 1 KCl 质量分数对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 1 Effect of KCl quality fractions on texture properties of surimi gels

KCl 质量分数/%	硬度/N	黏结性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
0	2.03 ± 0.15 ^a	0.40 ± 0.02 ^a	9.29 ± 0.16 ^a	0.81 ± 0.03 ^a	7.54 ± 0.54 ^a
0.6	2.11 ± 0.12 ^b	0.39 ± 0.02 ^a	9.33 ± 0.11 ^a	0.82 ± 0.02 ^a	7.64 ± 0.19 ^a
0.8	2.12 ± 0.14 ^b	0.39 ± 0.01 ^a	9.32 ± 0.18 ^a	0.83 ± 0.02 ^a	7.70 ± 0.27 ^a
1.0	2.20 ± 0.11 ^c	0.40 ± 0.02 ^a	9.39 ± 0.15 ^a	0.88 ± 0.01 ^b	8.26 ± 0.35 ^b
1.2	2.21 ± 0.17 ^c	0.41 ± 0.01 ^a	9.37 ± 0.13 ^a	0.91 ± 0.03 ^b	8.48 ± 0.31 ^b
1.4	2.20 ± 0.21 ^c	0.41 ± 0.02 ^a	9.38 ± 0.13 ^a	0.90 ± 0.04 ^b	8.46 ± 0.44 ^b

注: 同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

2.1.3 不同质量分数 KCl 漂洗液对鱼糜凝胶白度的影响 白度是鱼糜制品重要的物理特性, 一般来说, 消费者更偏爱白度更高的鱼糜制品。如图 2 所示, 用 KCl 漂洗可显著提高鲑鱼鱼糜的白度值, 且白度呈现出先增加后小幅度减小的趋势。当 KCl 质量分数为 1.0% 时, 白度值达到了最高 75.28, 相比空白组增加了 5.01%。然而当 KCl 质量分数

继续增加, 在 1.0%~1.4% 之间时, 白度值无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.1.4 不同质量分数 KCl 漂洗液对鱼糜凝胶持水性的影响 持水性反映鱼糜凝胶保持水分的能力, 也是鱼糜制品的重要参数之一。一般而言, 凝胶强度高, 水分易被束缚在凝胶中, 持水性就大。如图 3 所示, 用 KCl 漂洗可显著提高鱼糜的持水

性。当KCl质量分数为1.2%时,持水性达到了最高(81.55%),相比空白组增加了5.31%。而5组不同质量分数的KCl试验组之间的持水性差异不显著($P>0.05$),持水性均在81.12%左右。这可能是由

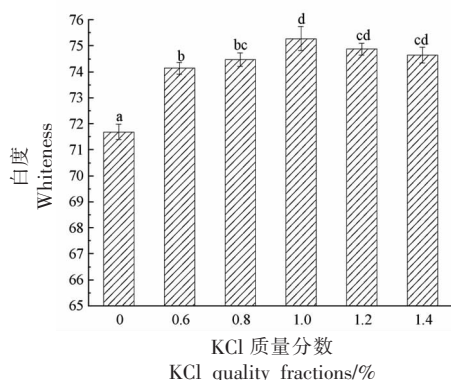


图2 KCl质量分数对鱼糜凝胶白度的影响

Fig.2 Effect of KCl quality fractions on whiteness of surimi gels

2.2 不同质量分数柠檬酸钠漂洗液对鱼糜凝胶特性的影响

2.2.1 不同质量分数柠檬酸钠漂洗液对鱼糜凝胶强度的影响

如图4所示,当柠檬酸钠质量分数为0.05%时,其凝胶强度与空白组无显著性差异($P>0.05$),除此组之外,其它质量分数的柠檬酸钠漂洗处理后,鲢鱼鱼糜的凝胶强度均显著高于空白组($P<0.05$)。且凝胶强度呈现出先增加后减小的趋势。当柠檬酸钠质量分数为0.15%时,凝胶强度达到最大为300.78 g·cm,相比空白组增长了22.50%。朱琳等^[21]研究发现漂洗草鱼鱼糜时,漂洗液用0.1%的柠檬酸钠溶液的凝胶强度大于漂洗液为0.5%的盐水,由此可知漂洗液为弱碱性时有利于鱼糜凝胶的形成。

2.2.2 不同质量分数柠檬酸钠漂洗液对鱼糜凝胶质构的影响

由表2可知,用柠檬酸钠漂洗液漂洗鲢鱼鱼糜对其质构特性影响较小,其中,对黏结性、弹性与咀嚼性基本无影响,它们的组间差异均不显著($P<0.05$)。只有当柠檬酸钠质量分数为0.15%时,它的硬度与空白组才有显著差异,这时它的硬度达到了2.22 N,相比空白组增加了8.82%。用柠檬酸钠漂洗后鱼糜凝胶的胶黏性总体呈先增加后减小的趋势。当柠檬酸钠质量分数为0.15%时,胶黏性达到最大为0.91 N,相比空白组增加了

于KCl促进蛋白质之间的交联,易于形成紧密的凝胶网状结构,更易束缚水分,增强了凝胶的持水性^[20]。

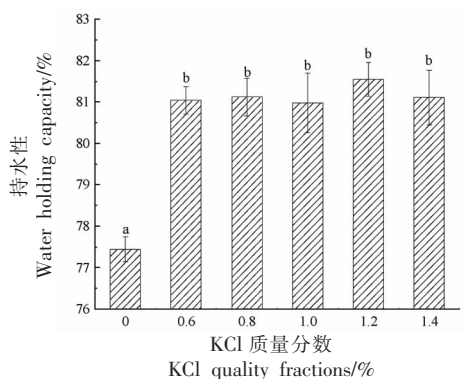


图3 KCl质量分数对鱼糜凝胶持水性的影响

Fig.3 Effect of KCl quality fractions on water holding capacity of surimi gels

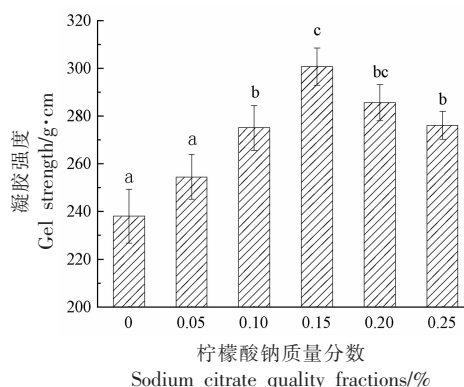


图4 柠檬酸钠质量分数对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.4 Effect of sodium citrate quality fractions on gel strength of surimi gels

9.64%。综合分析,当柠檬酸钠质量分数在0.15%时,鲢鱼鱼糜凝胶的硬度与胶黏性均达到最大值。Filomena-ambrosio等^[22]也有相似发现,在罗非鱼均质化中加入柠檬酸钠,可以提高罗非鱼糜的硬度、黏结性与咀嚼性。

2.2.3 不同质量分数柠檬酸钠漂洗液对鱼糜凝胶白度的影响

如图5所示,用柠檬酸钠溶液漂洗后鱼糜的白度均显著高于空白组($P<0.05$)。且总体白度呈先增加后减小的趋势。当柠檬酸钠质量分数为0.15%时,白度值达到最大为75.34,相比空白组增加了5.39%。除此之外其它4组之间的

表 2 柠檬酸钠质量分数对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 2 Effect of sodium citrate quality fractions on texture properties of surimi gels

柠檬酸钠质量分数/%	硬度/N	黏结性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
0	2.04 ± 0.17 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	9.30 ± 0.15 ^a	0.83 ± 0.02 ^b	7.80 ± 0.32 ^a
0.05	2.07 ± 0.11 ^a	0.39 ± 0.03 ^a	9.32 ± 0.17 ^a	0.81 ± 0.01 ^a	7.50 ± 0.25 ^a
0.10	2.08 ± 0.18 ^a	0.40 ± 0.02 ^a	9.31 ± 0.12 ^a	0.83 ± 0.02 ^b	7.75 ± 0.41 ^a
0.15	2.22 ± 0.12 ^b	0.41 ± 0.03 ^a	9.36 ± 0.15 ^a	0.91 ± 0.03 ^d	8.53 ± 0.33 ^a
0.20	2.11 ± 0.11 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	9.33 ± 0.20 ^a	0.87 ± 0.01 ^c	8.11 ± 0.45 ^a
0.25	2.09 ± 0.13 ^a	0.40 ± 0.02 ^a	9.35 ± 0.12 ^a	0.84 ± 0.02 ^b	7.80 ± 0.17 ^a

白度无显著性差异 ($P>0.05$), 均在 74.23 左右。柠檬酸钠作为一种金属螯合剂, 可以通过金属螯合作用降低金属蛋白酶的活性, 抑制氧化从而增强鱼糜的白度^[23]。

2.2.4 不同质量分数柠檬酸钠漂洗液对鱼糜凝胶持水性的影响 如图 6 所示, 用柠檬酸钠溶液漂洗后鱼糜的持水性均显著高于空白组 ($P<0.05$), 且持水性呈现出先增加后趋于稳定的趋势。当柠檬酸钠质量分数为 0.25% 时, 持水性达到最大为

85.62, 相比空白组增加了 9.06%。柠檬酸钠质量分数在 0.15%~0.25% 之间时, 持水性无显著差异, 表明用柠檬酸钠漂洗处理后, 鲢鱼鱼糜的最大持水性维持在 85% 左右。柠檬酸钠的保水机制有两种: 一是利用 Na^+ 与鱼肉中的金属离子螯合后, 产生的羧基之间的排斥作用, 使蛋白质结构疏松, 从而增加保水能力; 二是由于柠檬酸钠溶液呈碱性, 能增加 pH 值, 同时增加整体的离子强度, 更容易形成肌球蛋白溶胶, 从而提高鱼肉的保水性^[24]。

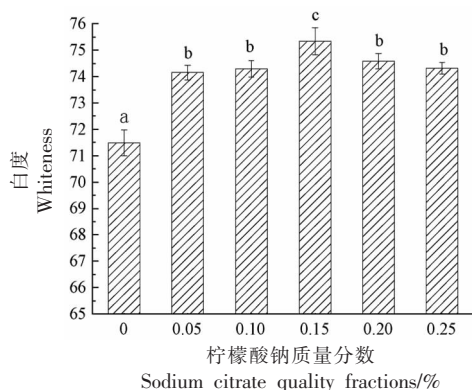


图 5 柠檬酸钠质量分数对鲢鱼鱼糜凝胶白度的影响
Fig.5 Effect of sodium citrate quality fractions on whiteness of surimi gels

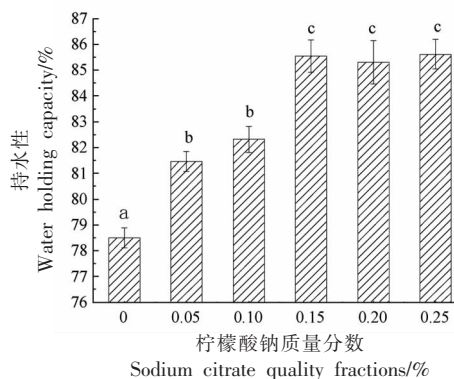


图 6 柠檬酸钠质量分数对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响
Fig.6 Effect of sodium citrate quality fractions on water holding capacity of surimi gels

2.3 不同质量分数 CMC 漂洗液对鱼糜凝胶特性的影响

2.3.1 不同质量分数 CMC 漂洗液对鱼糜凝胶强度的影响 如图 7 所示, 经 CMC 溶液漂洗后鱼糜的凝胶强度均显著高于空白组 ($P<0.05$), 且凝胶强度呈现出先增加后稳定的趋势。当 CMC 质量分数为 1.2% 时, 凝胶强度达到最大为 $348.39 \text{ g}\cdot\text{cm}$, 相比空白组增加了 43.52%; 当 CMC 质量分数在 1.2% 以上时, 凝胶强度变化相对较小, 差异不显著

($P>0.05$), 基本在 $346.53 \text{ g}\cdot\text{cm}$ 左右。这与之前报道具有相似结果, Li 等^[24]研究发现添加 1% 的水溶性壳聚糖能增加鱼糜凝胶的破断力, 高脱乙酰度的壳聚糖容易生成蛋白与壳聚糖的结合物^[25], 因此可以增强鱼糜凝胶强度。

2.3.2 不同质量分数 CMC 漂洗液对鱼糜凝胶质构的影响 由表 3 可知, CMC 溶液漂洗可显著提高鱼糜凝胶的硬度 ($P<0.05$), 并且硬度呈现先增加后稳定的趋势。CMC 质量分数为 1.2% 与 1.4%

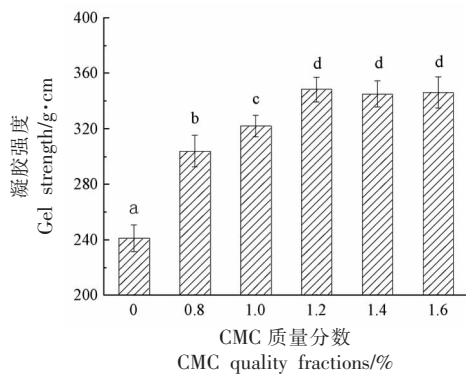


图7 CMC质量分数对鲢鱼鱼糜凝胶强度的影响

Fig.7 Effect of CMC quality fractions on gel strength of surimi gels

表3 CMC质量分数对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 3 Effect of CMC quality fractions on texture properties of surimi gels

CMC 质量分数/%	硬度/N	黏结性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
0	2.03 ± 0.14 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	9.32 ± 0.13 ^a	0.83 ± 0.02 ^a	7.78 ± 0.23 ^a
0.8	2.12 ± 0.18 ^b	0.41 ± 0.02 ^a	9.30 ± 0.14 ^a	0.87 ± 0.03 ^b	8.09 ± 0.46 ^a
1.0	2.17 ± 0.16 ^c	0.40 ± 0.03 ^a	9.35 ± 0.17 ^a	0.87 ± 0.01 ^b	8.12 ± 0.51 ^a
1.2	2.24 ± 0.15 ^c	0.43 ± 0.02 ^a	9.44 ± 0.11 ^a	0.97 ± 0.04 ^c	9.13 ± 0.37 ^b
1.4	2.24 ± 0.23 ^c	0.42 ± 0.02 ^a	9.40 ± 0.14 ^a	0.94 ± 0.02 ^c	8.82 ± 0.38 ^b
1.6	2.22 ± 0.16 ^d	0.43 ± 0.01 ^a	9.38 ± 0.13 ^a	0.95 ± 0.01 ^c	8.92 ± 0.41 ^b

2.3.3 不同质量分数 CMC 漂洗液对鱼糜凝胶白度的影响 如图 8 所示,经 CMC 溶液漂洗后鱼糜的白度均显著高于空白组 ($P<0.05$),然而随着 CMC 质量分数的增加,白度值的变化相对较小差异不显著 ($P>0.05$)。当 CMC 质量分数为 1.2% 时,白度达到最大为 73.89,相比空白组增加了 3.23%。这是因为 CMC 能够螯合金属离子并阻止催化氧

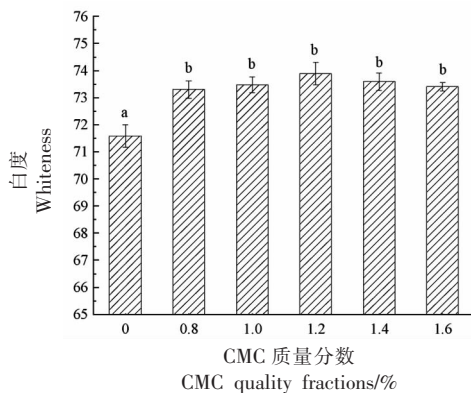


图8 CMC质量分数对鲢鱼鱼糜凝胶白度的影响

Fig.8 Effect of CMC quality fractions on whiteness of surimi gels

时硬度最大为 2.24 N, 相比空白组增加了 10.34%。CMC 漂洗处理对鱼糜凝胶的黏结性与弹性影响不大。用 CMC 漂洗处理也可显著提高鱼糜凝胶的胶黏性。CMC 质量分数为 1.2% 时胶黏性最大为 0.97 N, 相比空白组增加了 16.87%。当 CMC 质量分数在 1.2%~1.6% 之间时, 其咀嚼性与空白组有显著差异, 当 CMC 质量分数为 1.2% 时, 咀嚼性最大达到 9.13 mJ, 比空白组增加了 17.35%。综合分析, 当 CMC 质量分数在 1.2%~1.6% 之间时, 可显著提高鲢鱼鱼糜凝胶的硬度、胶黏性与咀嚼性。该结果与李玮等^[26]的研究结果相似。

化,且 CMC 中存在大量氢键利于形成透明的具有多孔结构的薄膜,有效降低了鱼糜凝胶中的氧含量,从而控制肌红蛋白的氧合和氧化以增强鱼糜凝胶的白度^[27-28]。

2.3.4 不同质量分数 CMC 漂洗液对鱼糜凝胶持水性的影响 如图 9 所示,经 CMC 溶液漂洗后鱼糜的持水性均显著高于空白组 ($P<0.05$),且随着

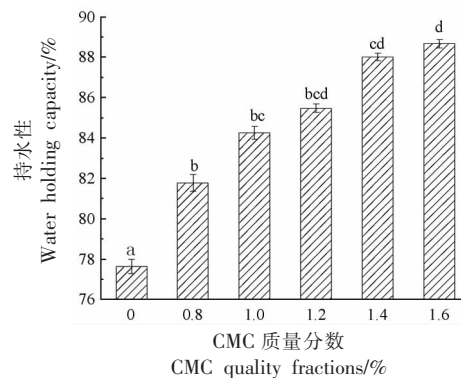


图9 CMC质量分数对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响

Fig.9 Effect of CMC quality fractions on water holding capacity of surimi gels

CMC 质量分数的增加,持水性呈现上升趋势。当 CMC 质量分数为 1.6% 时,持水性达到最大为 88.67 g·cm,相比空白组增加了 14.22%。这可能是由于 CMC 通过氢键与静电络合作用与肌原纤维蛋白络合,CMC 通过其两性结构很好地截留水分,从而增强鱼糜凝胶的持水性。

2.4 组合漂洗对鱼糜各项指标的影响

通过单因素实验综合分析可知,1.0%KCl, 0.15%柠檬酸钠,1.2%CMC 分别对白鲑鱼糜的凝胶强度、质构特性、白度、持水性皆有一定的提升。将它们进行组合再对鱼糜进行漂洗则可以进一步探究其漂洗效果,以找到适合白鲑鱼糜的最优组合漂洗方法。

表 4 组合漂洗对鱼糜凝胶特性与得率的影响

Table 4 Effect of rinsing combination on gel characteristics and yield of surimi

组别	凝胶强度/g·cm	白度	持水性/%	鱼糜得率/%	耗水量 (水:鱼糜)
空白组	238.14 ± 9.13 ^a	71.24 ± 0.52 ^a	77.53 ± 0.84 ^a	63.72 ± 1.73 ^b	5:1
对照组	408.72 ± 9.56 ^c	71.59 ± 0.38 ^a	77.21 ± 0.51 ^a	60.34 ± 2.21 ^a	15:1
1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠	314.11 ± 7.15 ^b	74.86 ± 0.65 ^b	85.43 ± 0.63 ^b	70.25 ± 1.24 ^c	5:1
1.0%KCl+1.2%CMC	342.32 ± 8.87 ^c	74.25 ± 0.52 ^b	86.29 ± 0.42 ^b	73.53 ± 2.35 ^d	5:1
0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC	337.54 ± 6.91 ^c	74.46 ± 0.60 ^b	86.89 ± 0.57 ^c	74.18 ± 1.11 ^d	5:1
1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC	365.62 ± 8.54 ^d	75.31 ± 0.31 ^c	87.12 ± 0.83 ^c	75.41 ± 1.58 ^d	5:1

由表 4 可知,1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2% CMC 组合的凝胶强度相较于除对照组外的其它 4 组显著升高 ($P<0.05$),其凝胶强度为 365.62 g·cm,相较于空白组增加了 53.53%,相较于对照组减少了 10.55%。4 个试验组的白度值相较于空白组与对照组均显著升高,其中 1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 组白度值最大,达到了 75.31,相比于对照组增加了 5.20%。1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 与 0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 两组的持水性与另外 4 组相比有显著提高,而这两组间的持水性无显著差异,由此可知在漂洗水中同时加入柠檬酸钠与 CMC 可以显著增加鱼糜的持水性。1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 复合

漂洗的持水性相较于对照组增加了 12.84%。1.0% KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC、0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 与 1.0%KCl+1.2%CMC 这三组的鱼糜得率相比其它 3 组有显著提高,但这 3 组的鱼糜得率无显著性差异,由此可知在漂洗水中加入 CMC 可以显著提高鱼糜的得率。1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 复合漂洗鱼糜得率相较于对照组增加了 24.98%。

综合分析,相比于其它单次漂洗方法,1.0% KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC 复合单次漂洗法改善鱼糜品质的效果最为优异,它可以显著提高鱼糜的凝胶强度、白度、持水性与鱼糜得率,且漂洗耗水量约为工业漂洗对照组的 1/3。

表 5 组合漂洗对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 5 Effect of rinsing combination on texture properties of surimi gels

组别	硬度/N	黏结性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
空白组	2.03 ± 0.15 ^a	0.41 ± 0.02 ^a	9.30 ± 0.14 ^a	0.83 ± 0.03 ^a	7.76 ± 0.31 ^a
对照组	2.73 ± 0.16 ^c	0.43 ± 0.02 ^a	9.85 ± 0.17 ^b	1.11 ± 0.02 ^d	9.88 ± 0.51 ^c
1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠	2.21 ± 0.12 ^{ab}	0.41 ± 0.02 ^a	9.37 ± 0.12 ^a	0.88 ± 0.02 ^b	8.26 ± 0.29 ^a
1.0%KCl+1.2%CMC	2.24 ± 0.11 ^{ab}	0.43 ± 0.02 ^a	9.44 ± 0.13 ^a	0.95 ± 0.03 ^c	9.07 ± 0.28 ^b
0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC	2.22 ± 0.15 ^{ab}	0.43 ± 0.01 ^a	9.40 ± 0.14 ^a	0.94 ± 0.02 ^c	8.93 ± 0.35 ^b
1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC	2.43 ± 0.16 ^b	0.43 ± 0.01 ^a	9.49 ± 0.15 ^a	0.98 ± 0.01 ^c	9.21 ± 0.42 ^b

由表5可知1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC组合漂洗时,相较于除对照组外的其它4组,鱼糜凝胶的硬度显著增大,相比空白组增加了19.70%。6个组别之间的黏结性均无显著变化。除对照组外的其它5个组别之间的弹性基本无显著变化。1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC、0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC与1.0%KCl+1.2%CMC这3组的胶黏性与咀嚼性相比空白组与1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠两组均有显著提高,其中1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC漂洗组的胶黏性与咀嚼性最大,胶黏性相比于空白组增加了18.07%,咀嚼性相比于空白组增加了18.69%。

综合分析可知,用1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC复合漂洗对提高鱼糜凝胶质构特性效果最显著。

3 结论

在对鱼糜进行1次漂洗(漂洗液与鱼糜质量比为5:1),漂洗时间为5 min的情况下,1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC复合漂洗可以显著增强鱼糜凝胶强度、白度、持水性、鱼糜得率、凝胶质构特性这些评价鱼糜的重要指标。并且KCl、柠檬酸钠与CMC这3种物质在漂洗鱼糜时,协同作用要好于单独1种或者其中两者的结合。

这可能是由于CMC有较强的絮凝性,并且吸附架桥在絮凝中起到了主要作用^[29],因此漂洗液中加入CMC可以显著提高鱼糜的得率。Kataoka等^[30]研究认为在鱼糜凝胶网络形成过程中,CMC中的羧基能加速鱼肉蛋白中肌球蛋白重链的聚集。漂洗液中的KCl可以使鱼糜中的盐溶性蛋白更多地溶出,从而增强鱼糜的凝胶强度。漂洗液中的柠檬酸钠因为具有较好的保水性,可以增强鱼糜凝胶的持水性。另外,KCl与柠檬酸钠能一起促进CMC在水溶液中的分散作用,使CMC与鱼糜蛋白在水中结合得更稳定,使其溶于水后能形成水凝胶,综合改善鱼糜的各个凝胶特性。

综合分析,相比于工业实践中鱼糜的3次漂洗方法,用1.0%KCl+0.15%柠檬酸钠+1.2%CMC对鱼糜进行1次复合漂洗的方法,大大减少了耗水量,缩短了鱼糜漂洗时间,同时有研究表明高黏度壳聚糖对鱼糜漂洗液中蛋白质的回收有一定积

极作用^[31],该漂洗方法更有利于漂洗液的回收处理,因此这是一种绿色环保的漂洗鲢鱼鱼糜的新方法。

参 考 文 献

- [1] 吴润锋, 赵利, 袁美兰, 等. 漂洗前后四大家鱼鱼糜品质的变化[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 132-136. WU R F, ZHAO J, YUAN M L, et al. Quality change of surimi of four major Chinese carps before and after rinsing[J]. Food Science, 2014, 35(9): 132-136.
- [2] 方兵, 汪之和, 施文正. 漂洗次数对鳊鱼鱼糜风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 11-16. FANG B, WANG Z H, SHI W Z. Effects of rinsing times on the flavor compounds of bream surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(1): 11-16.
- [3] KENDIG M D, MORRIS M J. Reviewing the effects of dietary salt on cognition: Mechanisms and future directions[J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2018, 28(1): 6-14.
- [4] 陆剑锋, 邓伟, 林琳, 等. 白鲢鱼糜低钠复合盐配方响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 143-150. LU J F, DENG W, LIN L, et al. Formula optimization of low sodium silver carp surimi by response surface methodology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 143-150.
- [5] AGOSTINHO D, LORENZO J M, GONALVES C, et al. Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna-type sausages with 50% replacement of NaCl by KCl[J]. Meat Science, 2017, 123: 50-56.
- [6] SALLAM K I. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon[J]. Food Control, 2007, 18(5): 566-575.
- [7] ZHANG L, WANG Z, SONG Y Y, et al. Quality of vacuum packaged beef as affected by aqueous ozone and sodium citrate treatment[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 1475-1489.
- [8] 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.
- [9] JIANG Z, HAN B, HUI L, et al. Preparation and anti-tumor metastasis of carboxymethyl chitosan [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 125: 53-60.
- [10] BISWAS S, AHMED T, ISLAM M M, et al. Biomedical applications carboxymethyl chitosans [J]. Handbook of Chitin and Chitosan, 2020, 3: 433-470.
- [11] NEGM B, HEFNI A, AE A, et al. Advancement on modification of chitosan biopolymer and its potential applications [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 152: 681-702.
- [12] EL-HACK M, EL-SAADONY M T, SHAFI M E, et al. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 164: 2726-2744.
- [13] 米红波, 王聪, 苏情, 等. 变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 72-80.
- MI H B, WANG C, SU Q, et al. Effect of modified starch on gel properties and protein conformation of surimi from silver carp [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(1): 72-80.
- [14] YU N N, XU Y S, JIANG Q X, et al. Molecular forces involved in heat-induced freshwater surimi gel: Effects of various bond disrupting agents on the gel properties and protein conformation changes [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 193-201.
- [15] PETCHARAT T, BENJAKUL S. Effect of gellan incorporation on gel properties of bigeye snapper surimi [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 77: 746-753.
- [16] 李睿智, 王崑, 仪淑敏, 等. 白鲢鱼鱼糜凝胶过程中水分及凝胶特性的变化 [J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 91-97.
- LI R Z, WANG W, YI S M, et al. Changes in water and gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi during gelation process [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 91-97.
- [17] 米红波, 王聪, 赵博, 等. 大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 60-64.
- MI H B, WANG C, ZHAO B, et al. Effects of soybean, flaxseed and perilla seed oils on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi gels [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 60-64.
- [18] TAHERGORABI R, BEAMER S K, MATAK K E, et al. Salt substitution in surimi seafood and its effects on instrumental quality attributes [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 48(2): 175-181.
- [19] CANDO D, HERRANZ B, JAVIER BORDERIAS A, et al. Effect of high pressure on reduced sodium chloride surimi gels [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 176-187.
- [20] REMONDETTO G E, PAQUIN P, SUBIRADE M. Cold gelation of β -lactoglobulin in the presence of iron [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(2): 586-595.
- [21] 朱琳, 金达丽, 李星, 等. 不同溶液漂洗处理对淡水鱼糜品质的影响 [J]. 食品科技, 2018, 43(1): 129-133.
- ZHU L, JIN D L, LI X, et al. Effect of rinsing by different solutions on the quality of fresh water fish surimi [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(1): 129-133.
- [22] FILOMENA-AMBROSIO A, QUINTANILLA-CARVAJAL M X, ANA-PUIG, et al. Changes of the water-holding capacity and microstructure of pangasid and tilapia surimi gels using different stabilizers and processing methods [J]. Food Science and Technology International, 2016, 22(1): 68-78.
- [23] 张英, 周长民. 柠檬酸钠的特性与应用 [J]. 辽宁化工, 2007, 36(5): 350-352.
- ZHANG Y, ZHOU C M. Preparation and application of sodium citrate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2007, 36(5): 350-352.
- [24] LI X, XIA W. Effect of chitosan on the gel properties osalt-soluble meat proteins from silver carp [J]. Carbohydrate Polymer, 2010, 82(3): 958-964.
- [25] ALISHAHI A, ADER M. Applications of chitosan in the seafood industry and aquaculture: A review [J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5(3): 817-830.
- [26] 李玮, 赵思明, 熊善柏, 等. 羧甲基壳聚糖与NaCl组合漂洗制备白鲢鱼糜工艺条件优化 [J]. 食品科学, 2015, 36(20): 26-31.
- LI W, ZHAO S M, XIONG S B, et al. Optimization of processing conditions of silver carp surimi

- prepared by combined carboxymethyl chitosan/sodium chloride rinsing[J]. Food Science, 2015, 36(20): 26–31.
- [27] CHIANG M T, YAO H T, CHEN H C. Effect of dietary chitosans with different viscosity on plasma lipids and lipid peroxidation in rats fed on a diet enriched with cholesterol[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2000, 64(5): 965–971.
- [28] ISHIHARA M, KISHIMOTO S, NAKAMURA S, et al. Polyelectrolyte complexes of natural polymers and their biomedical applications[J]. Polymers, 2019, 11(4): 1–12.
- [29] HITHERTO S, SEI-ICHI A. Chemically modified chitin and chitosan as biomaterials[J]. Prog Polym Sei, 2004, 29(9): 887–908.
- [30] KATAOKA J, ISHIZAKI S, TANAKA M. Effects of chitosan on gelling properties of low quality surimi[J]. Journal of Muscle Food, 1998, 9(3): 209–220.
- [31] 靳挺, 沈科丞, 施亚芳, 等. 高黏度壳聚糖回收鱼糜漂洗液中蛋白质的研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(11): 165–169.
- JIN T, SHEN K C, SHI Y F, et al. Research on recovery of protein from surimi rinse by high viscosity chitosan[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(11): 165–169.

Effect of Single Rinse Treatment of Carboxymethyl Chitosan and Compound Salt on the Quality of Silver Carp Surimi

Lu Tingting¹, Zhang Xiaodi¹, Dai Zhiyuan^{1,2,3*}, Zhang Yiqi^{1,2,3}, Lu Yanbin^{1,2,3}

(¹Institute of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035

²Key Laboratory of Aquatic Products Processing of Zhejiang Province, Hangzhou 310035

³Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian 116000, Liaoning)

Abstract To reduce the rinse water of surimi and maintain the quality of surimi, potassium chloride (KCl), sodium citrate and carboxymethyl chitosan (CMC) were used to rinse surimi once in this experiment. In the single factor experiment, when the KCl quality fractions in the rinse solution is 1.0%, the gel strength is 312.28 g·cm and the whiteness is 75.28, reaching the maximum value, which significantly improves its texture characteristics and water holding capacity (80.98%). When the quality fractions of sodium citrate in the rinse solution is 0.15%, the gel strength is 300.78 g·cm and whiteness is 75.34, which reaches the maximum value, which significantly improves its texture characteristics and water holding capacity (85.55%). When the CMC quality fractions in the rinse solution was 1.2%, the gel strength was 348.39 g·cm and whiteness was 73.89, which reached the maximum value, significantly improving the texture characteristics and water holding capacity (85.48%), and the water holding capacity increased with the increase of CMC content. On this basis, combined rinsing is carried out once. It was found that the rinsing method of 1.0%KCl+0.15% sodium citrate+1.2%CMC had the best improvement effect. After rinsing, the gel strength of surimi was 365.62 g·cm, the whiteness was 75.31, the water holding capacity was 87.12%, and the surimi yield was 75.41%. Compared with the three-time rinsing method in industry, except the gel strength of surimi decreased by 10.55%, other indexes were significantly improved. This single rinsing method can effectively improve the quality of surimi, reduce the rinsing times, and the water consumption of rinsing is about 1/3 of that of industrial rinsing.

Keywords carboxymethyl chitosan; compound salt; rinsing; surimi