

不同漂洗方式的白鲢鱼糜品质比较

张顺治¹, 郑文栋¹, 安玥琦^{1,2}, 尹涛^{1,2}, 刘茹^{1,2}, 刘友明^{1,2}, 熊善柏^{1,2}, 尤娟^{1,2*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070) (2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北武汉 430070)

摘要: 为解决鱼糜漂洗用水量较大这一问题, 该实验以白鲢为原料, 减少一次漂洗, 以清水+清水为对照, 比较壳聚糖溶液+清水, 壳聚糖溶液+盐水, 壳聚糖溶液+臭氧水和清水+臭氧水 4 种漂洗方式对鱼糜质构、风味等品质的影响。结果显示, 壳聚糖溶液+清水或清水+臭氧水漂洗, 鱼糜得率分别为 21.78%和 21.26%, 均高于对照组的鱼糜得率 19.21%; 在 4 种漂洗方式中, 壳聚糖溶液+臭氧水漂洗组的鱼糜白度最高, 清水+臭氧水组的凝胶强度最大; 电子鼻雷达图显示壳聚糖溶液+清水, 壳聚糖溶液+臭氧水和壳聚糖溶液+盐水组的 T70/2 (芳香族化合物) 响应值较低, 而对照组和清水+臭氧水组的 T70/2 (芳香族化合物) 响应值较高。综上所述, 4 种漂洗方式中清水+臭氧水漂洗可以有效地改善鱼糜品质和风味; 同时, 两次漂洗与传统的三次漂洗相比, 减少了漂洗次数, 可节约用水约 1/3。

关键词: 白鲢; 漂洗; 鱼糜; 品质; 风味

文章编号: 1673-9078(2022)06-160-168

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.1009

Quality of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi Rinsed Using Different Methods

ZHANG Shunzhi¹, ZHENG Wendong¹, AN Yueqi^{1,2}, YIN Tao^{1,2}, LIU Ru^{1,2}, LIU Youming^{1,2},
XIONG Shanbai^{1,2}, YOU Juan^{1,2*}

(1.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2.Engineering Research Center of Green development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China)

Abstract: To reduce water consumption from rinsing surimi, the effects of four different rinsing methods on the quality (e.g., texture and flavor) of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi were investigated. The four rinsing methods, which were all designed to reduce the number of rinses by one time, were chitosan solution + tap water, chitosan solution + salt water, chitosan solution + ozone water, and tap water + ozone water. A control group of tap water + tap water was also included. Consequently, rinsing with chitosan solution + tap water and tap water + ozone water resulted in surimi yields of 21.78% and 21.26%, respectively, which were higher than that of the control group (19.21%). Among the four proposed methods tested, rinsing with chitosan solution + ozone water gave the whitest surimi, whereas rinsing with tap water + ozone water led to the highest surimi gel strength. According to the radar plots from the electronic nose analysis, the surimi samples rinsed with chitosan solution + tap water, chitosan solution + ozone water, and chitosan solution + salt water had much lower T70/2 (aromatic compounds) response values than the samples rinsed with tap water + tap water (control group) and tap water + ozone water. In summary, among the four methods studied, rinsing with tap water + ozone water could effectively improve the quality and flavor of surimi. Additionally, only two rinses

引文格式:

张顺治,郑文栋,安玥琦,等.不同漂洗方式的白鲢鱼糜品质比较[J].现代食品科技,2022,38(6):160-168,+279

ZHANG Shunzhi, ZHENG Wendong, AN Yueqi, et al. Quality of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi rinsed using different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 160-168, +279

收稿日期: 2021-09-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项 (CARS-45-28); 华中农业大学自主科技创新基金 (2662020SCP006)

作者简介: 张顺治 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏, E-mail: zhangshunzhi@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 尤娟 (1985-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工及贮藏, E-mail: juanyou@mail.hzau.edu.cn

were needed, which would reduce water consumption by approximately $\frac{1}{3}$ compared with rinsing three times (the traditional approach).

Key words: silver carp; rinsing; surimi; quality; flavor

鱼糜制品作为我国传统水产加工产品,有近两千年生产历史,因其具有高蛋白、低脂肪、口感独特、食用方便等特点而深受消费者喜爱。近年来中国的鱼糜制品生产发展迅速,年产量从2005年的 4.46×10^5 t 迅速增加到2020年的 1.27×10^6 t^[1]。漂洗是鱼糜加工过程中重要的工序,可以将鱼肌肉组中部分脂肪和水溶性组成溶出而除去,进而增大肌原纤维蛋白的浓度,获得富有弹性、白度高、无腥味的鱼糜制品^[2]。然而传统漂洗鱼糜耗水量较大,使用三次清水漂洗生产1 t 鱼糜用水25~40 t^[3]。在全球水资源逐渐缺乏和环保政策日益严格的当今社会,降低鱼糜生产耗水量,开展鱼糜节水漂洗的研究势在必行。

国内外研究人员针对漂洗工艺如漂洗液种类、漂洗温度、漂洗次数等对不同原料鱼凝胶特性、风味等的影响进行了大量研究^[4-8]。随着人们对水资源的重视,鱼糜生产的研究也聚焦到了如何节约用水。李艳青等^[9]比较了漂洗与未漂洗鱼糜的冻藏稳定性,得出未漂洗鱼糜在冻藏过程中,蛋白质功能特性下降得较快。程莉莉^[10]研究了不同抗氧化剂对不漂洗鱼肉的冻藏稳定性,得出抗氧化剂会降低不漂洗鱼糜凝胶强度,最好添加部分淀粉来改善其凝胶强度。向晨曦等^[11]以未漂洗鲟鱼糜为研究对象,得出添加3%葡萄糖酸内酯可改善未漂洗鲟鱼糜凝胶特性。这些研究仍存在凝胶强度改善效果和贮藏稳定性不够理想或者添加外源物对安全性评价不足等问题。也有学者采用减少漂洗用水量结合物理方法的漂洗工艺。李玮^[12]以羧甲基壳聚糖、O₃为漂洗剂,并以超声波辅助漂洗,与传统方法相比,该工艺可节水约33%,但工艺程度较为复杂,实现工业化生产较为困难。因此,如何减少漂洗用水量的漂洗方式仍需要进一步系统研究。

臭氧具有强氧化性,臭氧处理后草鱼片的保质期可增加1.5~5 d,灭菌率高达90%^[13,14]。实验室前期的研究得到一定浓度的臭氧氧化肌球蛋白,促进其结构伸展有利于凝胶的形成^[15,16],同时谢三都等^[17]、郝淑贤等^[18]、Okpala等^[19]得出臭氧处理鱼丸、罗非鱼片及三文鱼可破坏血红素的卟啉结构^[20],使鱼丸和鱼片的白度明显增加。另外,壳聚糖作为多糖聚合物,在一定条件下具有吸附蛋白质的功能^[21,22]。靳挺等^[23]研究表明壳聚糖能够增加鱼糜漂洗液中蛋白质的回收率。在减少漂洗用水量时,可能存在不能将影响鱼糜凝胶的酶或鱼糜色泽的血红素洗脱等问题。为利用臭氧的氧化作用和壳聚糖的吸附聚集作用解决减少漂洗用水

量引起的问题,研究臭氧水和壳聚糖漂洗技术是淡水鱼鱼糜减少用水量漂洗的一个有待系统研究的关键技术。

因此,本实验以白鲢为原料,通过不同漂洗方式对鱼糜品质和风味的比较,并分析漂洗方式对白鲢鱼糜得率、白度、持水性、凝胶强度等品质的影响,为鱼糜生产时减少用水量提供方法和途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鲢(2000~3000 g/条)购于华中农业大学农贸市场,活鱼存放于有足够水和氧气的塑料盒中半小时内运送至国家大宗淡水鱼加工技术研发中心(武汉)。

NaCl、CH₃COOH、NaOH、Na₂CO₃、CuSO₄·5H₂O、NaKC₄H₄O₆·4H₂O,国药集团化学试剂有限公司;羧甲基壳聚糖,上海晶纯生化科技股份有限公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HZ250 型采肉机,厦门英博机械有限公司;GCQJ-1-3 电解式高浓度臭氧气机,武汉威蒙环保科技有限公司;K600(3205)食品调理机,德国博朗电器有限公司;TRE-MSS7KH 灌肠机,意大利 Tre Spade 公司;722N 型分光光度计,上海舜宇恒平精密科学仪器有限公司;TA-XTPlus 质构仪,英国 Stable Micro Surrey 公司;FOX-4000 型电子鼻,ASTREE II 型电子舌,法国 Alpha M.O.S 公司;CR-400 色差仪,日本柯尼卡-美能达公司;木屋式硬度计,日本东京株式会社木屋制作所。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼糜漂洗

参照 Ding 等^[24]的方法略作修改。以两次清水漂洗为对照,壳聚糖溶液和清水,壳聚糖溶液和盐水,壳聚糖溶液和臭氧水及清水和臭氧水漂洗鱼糜。清水+臭氧水组首先用鱼肉2倍质量的清水漂洗10 min,静置5 min,然后用1800 r/min 离心5 min 后再用鱼肉2倍质量的臭氧水漂洗10 min,静置5 min,离心(1800 r/min, 5 min)得到鱼糜,其他4组同理。其中臭氧水和盐水的浓度分别为8 mg/L 和0.25%,壳聚糖溶液浓度1% (1 g 壳聚糖溶于100 mL 1%的乙酸溶液)。

1.3.2 鱼糜得率的测定

测定鱼糜的水分含量,通过离心或补水控制水分含量为76%,分别称量鱼的质量和鱼糜的质量,分别记为 m_1 和 m_2 ,则鱼糜得率(%)如(1)式所示。

$$\text{鱼糜得率}/\%=(m_2/m_1)\times 100\% \quad (1)$$

1.3.3 鱼糜凝胶的制备

参照Ding等^[24]的方法略作修改。将含水量76%的鱼糜添加2.5%的NaCl,混合后用食品调理机在15℃以下斩拌3min,转入直径2cm的肠衣封口,进行两段加热(40℃加热60min,90℃加热30min),然后流水冷却鱼肠30min。

1.3.4 鱼糜、鱼糜凝胶色泽的测定

参照Debusca等^[25]的方法,利用色差计测定样品的色泽。首先用标准白板进行校准,在室温下每个样品随机测定3个不同位置的色泽作为平行。 L^* 为亮度值; a^* 为红绿值; b^* 为黄蓝值,白度值 W 由公式(2)计算得出。

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

1.3.5 鱼糜凝胶持水性的测定

参照贾丹等^[26]的方法,将鱼肠切为5mm的圆片称重(W_1),用三折叠法滤纸包裹,然后用硬度计施加5kg的力保持2min,去掉滤纸,再将样品称重(W_2),WHC(持水性)按(3)式计算。

$$\text{WHC}/\%=(W_2/W_1)\times 100 \quad (3)$$

1.3.6 凝胶强度的测定

参照贾丹^[27]的方法,将鱼肠切为20mm的小圆柱体置于室温下平衡10min,用TA-XTPlus质构分析仪的穿刺模式测定凝胶强度。计算公式:

$$\text{凝胶强度}(\text{g}\cdot\text{cm})=\text{破断力}\times\text{凹陷深度} \quad (4)$$

1.3.7 漂洗水的透光率测定

参考许永安等^[28]的方法测定漂洗水的透光率。

1.3.8 漂洗水的水溶性蛋白质含量测定

参照Saito^[29]的方法,略有改动,取鱼糜漂洗水200mL,离心(10000r/min,20min,4℃),收集上清液,将沉淀分散于4倍体积的冰水中,重复上述操作,收集两次离心后的上清液即为水溶性蛋白,用福林酚法测定水溶性蛋白的含量。

1.3.9 漂洗水的pH测定

pH测定参考GB5009.237-2016《食品安全国家标准食品pH值的测定》^[30]。

1.3.10 漂洗水中可溶性固形物含量的测定

漂洗水中可溶性固形物含量的测定参考ISO2173-2003^[31]。

1.3.11 电子鼻分析

参照陈东清等^[32]的方法进行电子鼻分析。样品制备:称取鱼糜凝胶2.0g于10mL样品瓶中,旋盖密封待用。参数设置:产生时间120s;顶空产生温度50℃;振荡速度500r/min。总获取时间120s;获取间隔时间1s;获取延滞时间300s。注射体积1.5mL;注射速度1.5mL/s;进样针温度60℃。载气为合成干燥空气,流速150mL/min。

1.3.12 电子舌分析

参照Qiu等^[33]的方法进行电子舌分析。取15.0g样品,加入100mL去离子水匀浆,静置30min;10000r/min离心10min,取上清液过滤;收集滤液待测。电子舌参数:传感器每秒采集一个数据,采集时间共120s,选取每根传感器第120s的响应值进行分析(此时传感器信号已趋于稳定)。

1.4 数据统计与分析

每组实验无特殊说明均做3个平行。采用Excel2016软件处理,进行方差分析,结果表示采取平均值±标准差的形式。应用Origin9.0软件和SAS8.0统计分析软件作图及进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同漂洗方式对鱼糜得率的影响

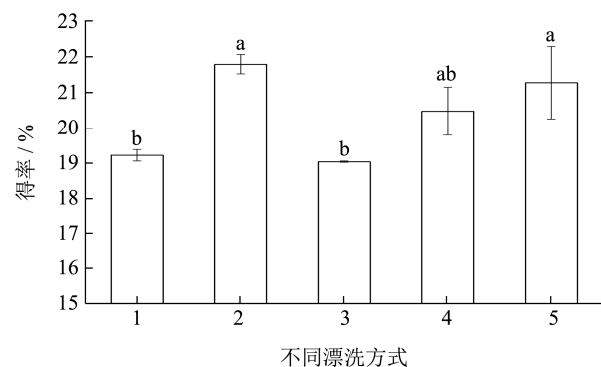


图1 不同漂洗方式对鱼糜得率的影响

Fig.1 The effect of different rinsing methods on the yield of surimi

注:图中:1.清水+清水;2.壳聚糖溶液+清水;3.壳聚糖溶液+盐水;4.壳聚糖溶液+臭氧水;5.清水+臭氧水;不同的字母表示有显著性差异($p<0.05$)。

经过漂洗后白鲢鱼糜得率在20%左右,与Shi等^[34]研究的草鱼鱼糜得率25%左右对比相对较低,可能是由于鱼的品种不同,且实验所用白鲢个体大,肉中脂肪含量或水分含量相对较多(图1)。与对照组相比,壳聚糖溶液+清水,壳聚糖溶液+臭氧水和清水+臭氧水组的得率明显增加($p<0.05$),且各组间没有显著

性差异 ($p>0.05$)。可能是因为壳聚糖溶液呈酸性,在酸性溶液中经质子化后壳聚糖会形成带正电荷的分子,通过离子键、氢键或与某些活性基团反应使蛋白质沉降^[35-37],使鱼糜漂洗后蛋白质存留于鱼糜中,得率增加;另外,一定浓度臭氧漂洗可将蛋白氧化,可能形成氧化聚集物而沉淀,从而使鱼糜得率提高。然而壳聚糖漂洗后再用低盐水溶液漂洗的鱼糜得率与对照组没有显著性差别 ($p>0.05$),可能是壳聚糖絮凝的蛋白量与低盐溶液溶解的蛋白量相当。

2.2 不同漂洗方式对鱼糜漂洗水特性的影响

采用壳聚糖溶液漂洗的鱼糜漂洗水 pH 均为 6.3 左右,经二次漂洗后,鱼糜漂洗水 pH 升高到 6.6 左右

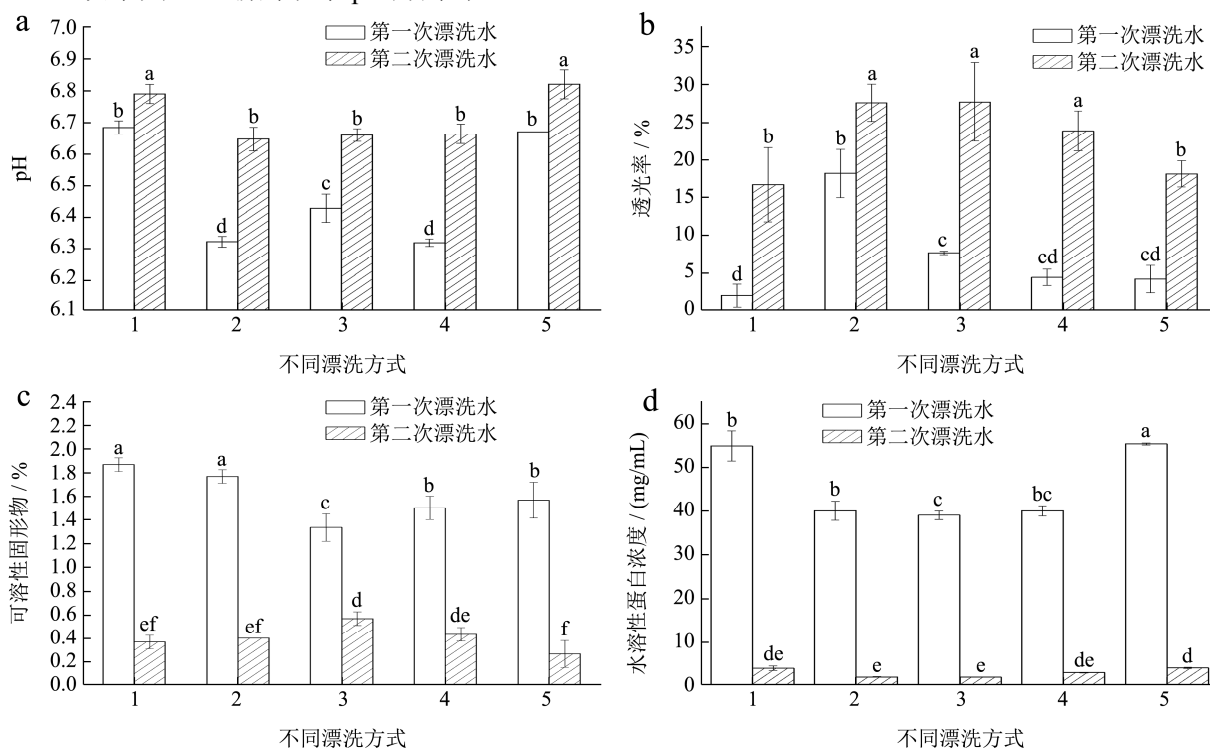


图 2 不同漂洗方式对鱼糜漂洗水特性的影响

Fig.2 The effect of different rinsing methods on the characteristics of surimi rinsing water

注: 图 a: pH; 图 b: 透光率; 图 c: 可溶性固形物; 图 d: 水溶性蛋白含量。图中: 1.清水+清水; 2.壳聚糖溶液+清水; 3.壳聚糖溶液+盐水; 4.壳聚糖溶液+臭氧水; 5.清水+臭氧水; 不同的字母表示有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.3 不同漂洗方式对鱼糜凝胶持水性和凝胶性能的影响

对照组和清水+臭氧水组的持水性没有显著性差异 ($p>0.05$),壳聚糖+清水组的持水性较弱,可能是由于壳聚糖溶液偏低的 pH 值影响了漂洗水的 pH (图 2a),陈艳等^[38]的研究表明漂洗水的 pH 一般在 7.0 左右最利于凝胶的形成,所以本研究中偏低的漂洗水 pH 影响了鱼糜凝胶的持水性 (图 3a)。清水+臭氧水漂洗

(图 2)。pH 和壳聚糖添加量对透光率的影响显著^[28],经过壳聚糖漂洗的漂洗水的透光率均高于其他组,说明壳聚糖絮凝水中的蛋白效果明显,第二次漂洗水的透光率高于第一次漂洗水,说明第一次漂洗出更多的固形物。可溶性固形物的结果与透光率的结果相一致,经过壳聚糖漂洗的鱼糜漂洗水中的可溶性固形物相对小于对照组和清水+臭氧水组,而清水+臭氧水组的可溶性固形物略小于对照组,可能是由于臭氧氧化导致部分蛋白聚集^[15]。在第二次漂洗水中壳聚糖+盐水组可溶性固形物含量较高,可能是由于低盐作用溶出了部分蛋白。漂洗水的水溶性蛋白结果与可溶性固形物、透光率结果有相同的变化趋势。

的鱼糜凝胶的破断力相对较大,表明臭氧氧化作用增大了鱼糜凝胶的硬度 (图 3b)。壳聚糖溶液的酸性同时影响了壳聚糖+清水组、壳聚糖+盐水组、壳聚糖+臭氧水组的凹陷深度,其值均小于对照组。在壳聚糖漂洗的 3 组中,壳聚糖+盐水组的凹陷深度较高,可能是由于盐水漂洗易于盐溶性蛋白的溶出,可以形成较有序的网络结构。此外,清水+臭氧水组的凹陷深度小于对照组,说明其形成网络结构的有序性和弹性较弱。由凝胶强度结果显示清水+臭氧水组的凝胶强度与对照组没有显著性差异,且在剩下 4 组中最高,

与阮秋凤等^[39]臭氧漂洗鱼糜的凝胶强度变化趋势一致,可能是由于臭氧诱导的轻度氧化并没有强烈改变肌球蛋白结构,而是促进了肌球蛋白部分伸展,以促进鱼糜的胶凝^[16]。壳聚糖+盐水组的凝胶强度仅次于

对照组和清水+臭氧水组,而壳聚糖+清水组和壳聚糖+臭氧水组的凝胶强度较低,可能是由于壳聚糖的絮凝、臭氧氧化及酸的共同作用使蛋白絮凝或氧化聚集,不容易再形成较有序和致密的鱼糜凝胶。

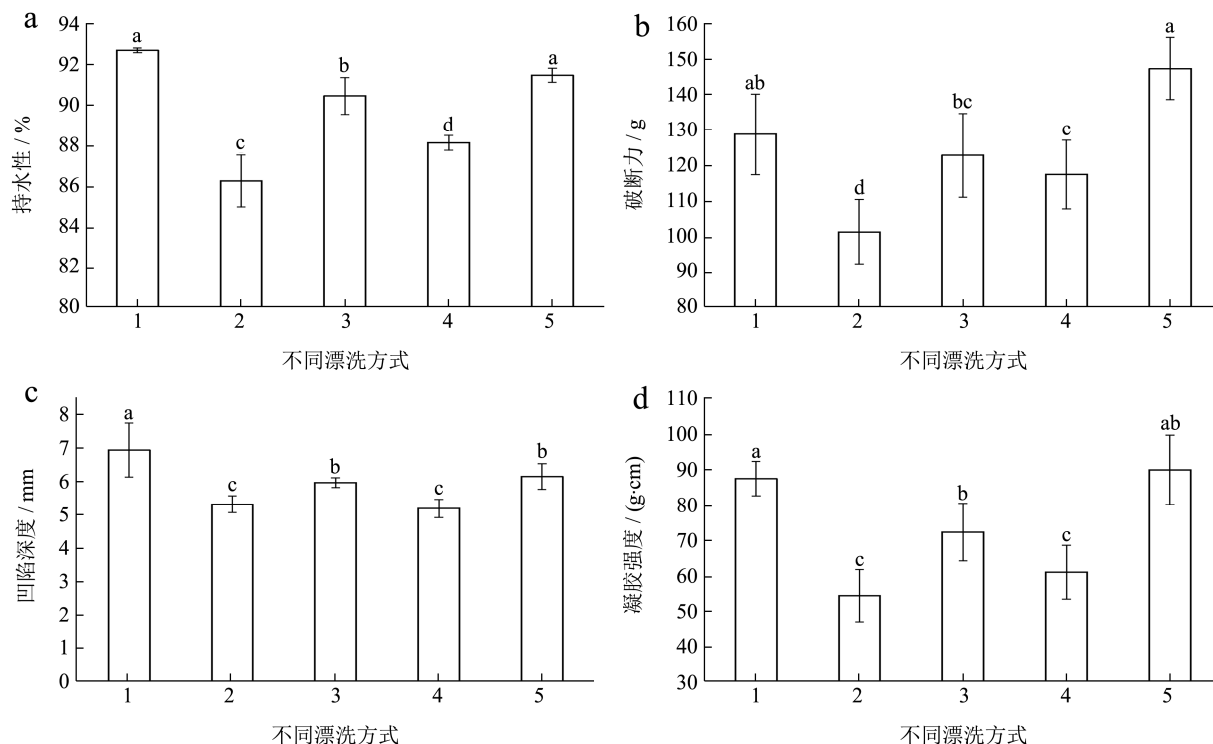


图3 不同漂洗方式对鱼糜凝胶持水性和凝胶性能的影响

Fig.3 The effect of different rinsing methods on the water holding capacity and gel properties of surimi gel

注: 图 a: 持水性; 图 b: 破断力; 图 c: 凹陷深度; 图 d: 凝胶强度; 图中: 1.清水+清水; 2.壳聚糖溶液+清水; 3.壳聚糖溶液+盐水; 4.壳聚糖溶液+臭氧水; 5.清水+臭氧水; 不同的字母表示有显著性差异 ($p < 0.05$)。

表1 不同漂洗方式对鱼糜及鱼糜凝胶色度的影响

Table 1 The effect of different rinsing methods on color of surimi and surimi gel

不同漂洗方式	清水+清水	壳聚糖+清水	壳聚糖+盐水	壳聚糖+臭氧水	清水+臭氧水	
鱼糜	L*	55.52±1.09 ^{Bc}	60.37±1.58 ^{Ba}	58.81±1.32 ^{Bb}	60.56±1.49 ^{Ba}	55.98±1.16 ^{Bc}
	a*	-0.51±0.05 ^{Aab}	-0.80±0.09 ^{Ac}	-0.85±0.13 ^{Abc}	-0.83±0.13 ^{Ac}	-0.45±0.26 ^{Aa}
	b*	0.43±0.12 ^{Bc}	1.81±0.12 ^{Bb}	2.73±0.36 ^{Ba}	2.39±0.18 ^{Ba}	0.66±0.15 ^{Bc}
	W	55.51±1.09 ^{Bc}	60.32±1.57 ^{Ba}	58.71±1.30 ^{Bb}	60.47±1.45 ^{Ba}	55.97±1.16 ^{Bc}
鱼糜凝胶	L*	77.73±0.87 ^{Aab}	77.07±0.53 ^{Ab}	75.14±0.41 ^{Ac}	78.22±1.32 ^{Aa}	75.17±0.74 ^{Ac}
	a*	-2.18±0.07 ^{Bd}	-2.12±0.06 ^{Bc}	-1.90±0.05 ^{Ba}	-1.97±0.04 ^{Bb}	-2.46±0.05 ^{Be}
	b*	4.55±0.21 ^{Ac}	4.34±0.20 ^{Ad}	5.64±0.13 ^{Aa}	5.29±0.16 ^{Ab}	3.44±0.18 ^{Ae}
	W	77.16±0.78 ^{Aab}	76.56±0.53 ^{Ab}	74.43±0.41 ^{Ac}	77.50±1.12 ^{Aa}	74.81±0.68 ^{Ac}

注: 同列中不同大写字母表示有显著性差异 ($p < 0.05$), 同行中不同小写字母表示有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.4 不同漂洗方式对鱼糜及其制品色度的影响

鱼糜及鱼糜凝胶的色度测定结果如表1所示,壳聚糖漂洗组的鱼糜白度较高,张茜^[40]在研究壳聚糖对淡水鱼糜凝胶特性时也得到了相似的趋势。臭氧水漂洗组的鱼糜白度也较对照组的高,可能是因为臭氧的强氧化作用氧化了鱼肉中的色素,且臭氧与水反应产

生的活性氧自由基能够破坏肌红蛋白和血红蛋白的卟啉结构^[41],改变其色泽。臭氧水漂洗后鱼糜白度增加 ($p < 0.05$),说明臭氧漂洗有助于改善鱼糜色泽^[42],这与颜明月^[43]、刘慈坤^[44]臭氧处理后罗非鱼片和草鱼鱼糜白度增加的研究结果一致。而对于鱼糜凝胶,各组的白度值显著高于鱼糜的白度,且各组间壳聚糖+臭氧水组的白度依然较高,对照组的鱼糜凝胶白度次

之。说明在鱼糜制备为鱼糜凝胶的过程中，加热使蛋白变性或聚集，影响了其色泽，且在不同酸性下蛋白变性有区别，色泽改变有差异。

2.5 不同漂洗方式对鱼糜凝胶风味的影响

2.5.1 电子鼻分析

P、T 这 2 种类型的传感器对不同漂洗方式制备的鱼糜凝胶总挥发性成分具有较高的响应值，除了 T40/2、T30/1、P40/2 这 3 个传感器不能有效区分不同漂洗方式制备的鱼糜凝胶挥发性成分的区别外，其他均能有效区分；其中壳聚糖溶液+清水，壳聚糖溶液+臭氧水和壳聚糖溶液+盐水组 TA/2（有机化合物）响应值最高，而对照组和清水+臭氧水组的 TA/2（有机化合物）响应值较低，这是因为壳聚糖本身作为有机化合物，使用壳聚糖溶液漂洗鱼糜明显会使鱼糜凝胶中挥发性有机化合物含量升高（图 4）。T30/1（极性化合物）、T70/2（芳香族化合物）和 T40/2（氧化性气体）响应值反映了鱼糜凝胶的哈喇味^[39]，T30/1（极性化合物）和 T40/2（氧化性气体）响应值很低，而对照组和清水+臭氧水组的 T70/2（芳香族化合物）响应值较高，壳聚糖溶液+清水、壳聚糖溶液+臭氧水和壳聚糖溶液+盐水组 T70/2（芳香族化合物）响应值较低，可能是因为壳聚糖能够吸附鱼糜凝胶中的挥发性芳香族化合物^[45]。

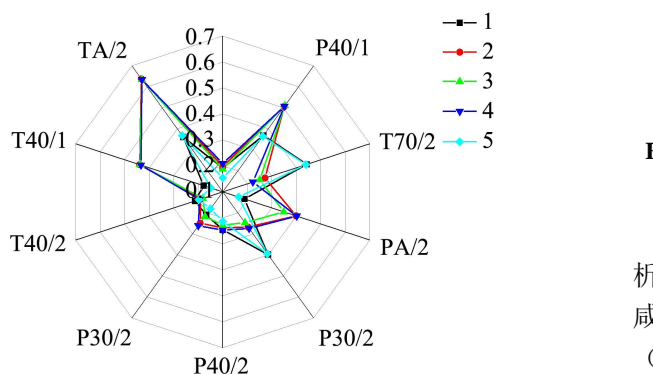


图 4 不同漂洗方式对鱼糜凝胶电子鼻响应值的影响

Fig.4 The effect of different rinsing methods on the electronic nose response value of surimi gel

注：图中：1.清水+清水；2.壳聚糖溶液+清水；3.壳聚糖溶液+盐水；4.壳聚糖溶液+臭氧水；5.清水+臭氧水。下同。

第一主成分区和第二主成分区贡献率之和为 93%，大于 90%，可以代表鱼糜凝胶挥发性成分的整体信息（图 5）。添加壳聚糖的试验组与对照组和清水+臭氧水组距离较远，主要沿第一主成分轴正方向分布，说明添加壳聚糖的试验组与对照组和清水+臭氧水组挥发性成分有较大差异。由图 4 中不同样品区域分布情况可知，壳聚糖溶液+盐水组，壳聚糖溶液+

清水组和壳聚糖溶液+臭氧水组挥发性气味特征轮廓较为接近。同一样品的分布集中，表明实验重复性较好；不同样本之间没有重叠，表明各组之间存在较大差异^[46]。

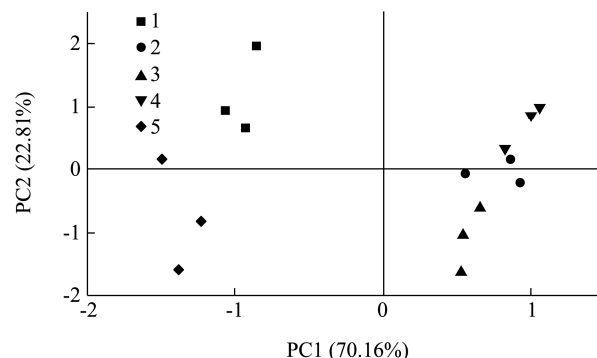


图 5 基于电子鼻响应值不同漂洗方式鱼糜凝胶 PCA 的分析

Fig.5 Analysis of PCA with different rinsing methods based on electronic nose response value of surimi gel

2.5.2 电子舌分析

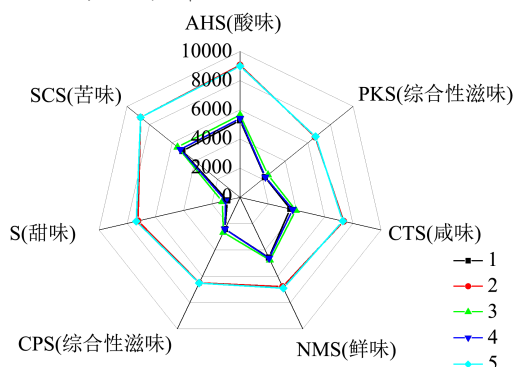


图 6 不同漂洗方式对鱼糜凝胶电子舌响应值的影响

Fig.6 The effect of different rinsing methods on the electronic tongue response value of surimi gel

电子舌是一种对样品进行模拟识别和定量定性分析的检测技术。电子舌系统可以检测到酸味（AHS）、咸味（CTS）、鲜味（NMS）、甜味（ANS）、苦味（SCS）^[47]，通用探头的综合性滋味（PKS、CPS）。经过壳聚糖溶液+清水和清水+臭氧水漂洗制备的鱼糜凝胶电子舌雷达图轮廓相似，说明经过壳聚糖溶液+清水和清水+臭氧水漂洗制备的鱼糜凝胶间主体滋味特征区别不大，同时经过壳聚糖溶液+臭氧水，壳聚糖溶液+盐水和对照组制备的鱼糜凝胶电子舌雷达图轮廓相似，也说明了经过壳聚糖溶液+臭氧水，壳聚糖溶液+盐水和对照组制备的鱼糜凝胶间主体滋味特征区别不大，但前后五组的响应值之间存在显著性差异（ $p < 0.05$ ）（图 6），说明影响滋味的物质含量有所不同。

第一主成分区贡献率为 99.96%，第二主成分区贡献率为 0.03%，二者之和为 99.99%，大于 90%，符合

PCA 分析要求(图7)。不同漂洗方式制备的鱼糜凝胶滋味特征大部分分布在不同区域,壳聚糖溶液+清水和壳聚糖溶液+臭氧水组有相互重叠,并且壳聚糖溶液+臭氧水组与壳聚糖溶液+盐水,壳聚糖溶液+清水组距离较近,说明添加壳聚糖溶液的试验组与对照组和清水+臭氧水组电子舌响应信号值同样有较大差异。

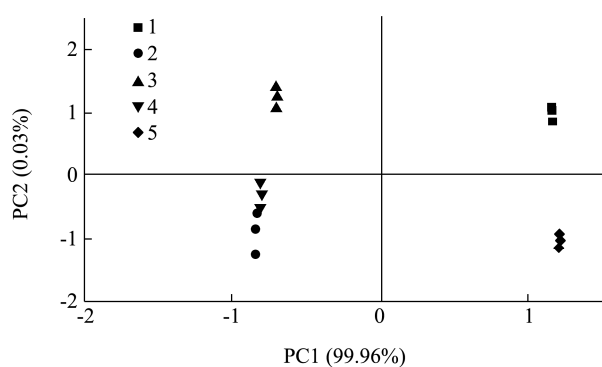


图7 基于电子舌响应值不同漂洗方式鱼糜凝胶 PCA 的分析

Fig.7 Analysis of PCA with different rinsing methods based on electronic tongue response value of surimi gel

3 结论

本实验以两次清水漂洗为对照,采用四种处理方式两次漂洗鱼糜,与传统的三次漂洗相比,减少了漂洗次数和单次漂洗水的用量,从而降低生产过程中的最终用水量,大约可节约用水 33%;与对照组相比,壳聚糖溶液+清水组和清水+臭氧水组鱼糜得率均相对较高。清水+臭氧水组的凝胶强度较高,壳聚糖溶液+臭氧水组的鱼糜及鱼糜凝胶的白度值较高,清水+臭氧水组的鱼糜及鱼糜凝胶的白度值与对照组没有显著性差异,且清水+臭氧水组鱼糜凝胶风味较好。综合来看,清水+臭氧水漂洗可以有效地改善鱼糜的品质和风味,但鱼糜品质和风味在贮藏期间的变化还有待深入研究。

参考文献

- [1] 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
Fisheries and Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook-2021 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021
- [2] Zhang T, Xue Y, Li Z J, et al. Effects of ozone-induced oxidation on the physicochemical properties of myofibrillar proteins recovered from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) [J]. Food Bioprocess Technol, 2015, 8: 181-190
- [3] Park J W. Surimi and Surimi Seafood [M]. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013: 100-102
- [4] 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 Lin, JIN Dali, LI Xing, 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
- [5] 张问,杨文鹤,陈霞霞,等.不同盐溶液漂洗对带鱼鱼糜凝胶强度及其挥发性风味的影响[J].现代食品科技,2016,32(5): 219-226,218
ZHANG Wen, YANG Wenge, CHEN Xiaxia, et al. Effects of washing treatments with different salt solutions on the gel strength and flavor of hairtail surimi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 219-226, 218
- [6] 袁凯,张龙,谷东陈,等.基于漂洗工艺探究白鲢鱼糜加工过程中蛋白质氧化规律[J].食品与发酵工业,2017,43(12):30-36
YUAN Kai, ZHANG Long, GU Dongchen, et al. Protein oxidation in minced silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during washing process [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(12): 30-36
- [7] 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):11-16,21
FANG Bing, WANG Zhihe, SHI Wenzheng, et al. Effect of rinsing times on the flavor compounds of bream surimi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(1): 11-16, 21
- [8] 李艳青,孔保华,夏秀芳,等.漂洗和冻藏对鲤鱼肌原纤维蛋白理化特性的影响[J].中国食品学报,2016,16(6):161-166
LI Yanqing, KONG Baohua, XIA Xiufang, et al. Effect of rinsing and frozen storage on physical chemical properties of common carp's myofibrillar proteins [J]. Chinese Journal of Food Science, 2016, 16(6): 161-166
- [9] 李艳青,孔保华,夏秀芳,等.不同漂洗处理后冻藏对鲤鱼蛋白功能特性的影响[J].现代食品科技,2014,30(9):166-172
LI Yanqing, KONG Baohua, XIA Xiufang, et al. Effect of frozen storage after different washing methods on functional properties of myofibrillar proteins in cyprinus carpio [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(9): 166-172
- [10] 程莉莉.不漂洗鱼肉冻藏稳定性及其应用研究[D].武汉:华中农业大学,2016
CHENG Lili. Study on the stability of unwashed fish mince during frozen storage and its application [D]. Wuhan:

- Huazhong Agricultural University, 2016
- [11] 向晨曦,徐新星,刘康,等.葡萄糖酸内酯酸化处理对未漂洗鲟鱼糜凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2021,22:99-104
XIANG Chenxi, XU Xinxing, LIU Kang, et al. The effect of gluconolactone acidification treatment on the gel properties of unrinsed sturgeon surimi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 22: 99-104
- [12] 李玮.超声波辅助羧甲基壳聚糖与臭氧漂洗改善鲢鱼糜品质及机制的研究[D].武汉:华中农业大学,2015
LI Wei. Study on the effects and mechanism of silver carp surimi rinsing with CBC/Ozone/Ultrasonic sound treatment [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015
- [13] 顾卫瑞.草鱼片的臭氧处理及贮藏特性研究[D].武汉:华中农业大学,2009
GU Weirui. Study on grass carp slices treated with ozone and its storage characteristics [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009
- [14] 赵永强.罗非鱼片臭氧减菌化处理中自由基的产生及其对产品品质与安全性的影响[D].青岛:中国海洋大学,2013
ZHAO Yongqiang. Free radical producing in ozone sterilization pretreatment of Nile tilapia fillets and its effects on product quality and safety [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013
- [15] 尤娟,郑文栋,王敏君,等.臭氧氧化对鲢肌球蛋白热聚集的影响[J].华中农业大学学报,2019,38(6):1-8
YOU Juan, ZHENG Wendong, WANG Minjun, et al. Effect of ozone oxidation on thermal aggregation of myosin from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6): 1-8
- [16] Jiang W X, He Y F, Xiong S B, et al. Effect of mild ozone oxidation on structural changes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) myosin [J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(2): 370-378
- [17] 谢三都,郑宝东.臭氧在鱼糜制品加工中的应用[J].福建轻纺, 2008,11:38-40
XIE Sandu, ZHENG Baodong. The application of ozone in the processing of surimi products [J]. The Light & Textile Industries of Fujian, 2008, 11: 38-40
- [18] 郝淑贤,何俊燕,李来好,等.臭氧水对罗非鱼片色泽影响分析[J].食品科学,2013,34(13):50-53
HAO Shuxian, HE Junyan, LI Laihao, et al. Effect of ozone water on color of tilapia fillets [J]. Food Science, 2013, 34(13): 50-53
- [19] Okpala C O R. Investigation of quality attributes of ice-stored Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by sequential minimal ozone treatment [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 57(2): 538-547
- [20] Jiang S T, Ho M L, Jiang S H, et al. Color and quality of mackerel surimi as affected by alkaline washing and ozonation [J]. Journal of Food Science, 1998, 63(4): 652-655
- [21] 蒋明,娄金生,谢水波,等.壳聚糖絮凝剂处理水源水中有机物的试验研究[J].水处理技术,2005,31(5):15-18
JIANG Ming, LOU Jinsheng, XIE Shuibao, et al. Removal of organics in water with chitosan flocculant [J]. Technology of Water Treatment, 2005, 31(5): 15-18
- [22] 高礼.壳聚糖应用于水处理的化学基础[J].水科学与工程学报,2008,S2:9-13
GAO Li. Chemical mechanism of chitosan for wastewater treatment [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2008, S2: 9-13
- [23] 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 Ting, SHEN Kecheng, SHI Yafang, 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
- [24] Ding Y Q, Liu Y M, Yang H, et al. Effects of CaCl₂ on chemical interactions and gel properties of surimi gels from two species of carps [J]. European Food Research and Technology, 2011, 233(4): 569
- [25] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 70-76
- [26] 贾丹,刘茹,刘明菲,等.转谷氨酰胺酶对鲮鱼糜热诱导胶凝特性的影响[J].食品科学,2013,34(9):37-41
JIA Dan, LIU Ru, LIU Mingfei, et al. Effect of transglutaminase on heat-induced gel properties of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) surimi [J]. Food Science, 2013, 34(9): 37-41
- [27] 贾丹.青鱼肌肉蛋白质及其凝胶特性的研究[D].武汉:华中农业大学,2016
JIA Dan. Study on protein and gelation properties of surimi from black carp [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016
- [28] 许永安,吴靖娜,苏捷,等.壳聚糖絮凝法回收鱼糜漂洗水中水溶性蛋白质的工艺研究[J].南方水产科学,2011,7(3):1-7
XU Yongan, WU Jingna, SU Jie, et al. Technology of recovering soluble protein from surimi washings by chitosan flocculating method [J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(3): 1-7

- [29] Saito T. Effect of thermal treatment on extraction of proteins from meats [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1983, 49(10): 1569-1597
- [30] GB 5009.237-2016, 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定 [S]
GB 5009.237-2016, National food safety standard determination of food pH value [S]
- [31] ISO 2173-2003, 水果和蔬菜制品. 可溶性固形物含量的测定. 折射法[S]. 日内瓦: 国际标准化组织, 2003
ISO 2173-2003, Fruit and vegetable products-determination of soluble solids content - Refractometric method [S]. Geneva: ISO, 2003
- [32] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015
CHEN Dongqing. Study on the processing technology of prepared grass carp fillets and changes of quality during storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015
- [33] Qiu S S, Wang J, Gao L P. Qualification and quantisation of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 60(1): 115-123
- [34] Shi L, Yin T, Huang Q L, et al. Effects of filleting methods on composition, gelling properties and aroma profile of grass carp surimi [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2021, 10: 308-315
- [35] Situ W B, Xiang T, Liang Y. Chitosan-based particles for protection of proteins during storage and oral administration [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 117: 308-314
- [36] 谢嘉忆, 令狐文生. 壳聚糖絮凝剂的特性及其应用研究进展 [J]. *广州化工*, 2013, 41(15): 45-46, 89
XIE Jiayi, LINGHU Wensheng. The characteristics of chitosan flocculant and its application research progress [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2013, 41(15): 45-46, 89
- [37] 刘婷婷, 姚佳, 张飞俊, 等. 响应面优化海藻酸钠回收马铃薯淀粉生产废水中蛋白质的工艺 [J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 75-81
LIU Tingting, YAO Jia, ZHANG Feijun, et al. Application of response surface methodology to optimize extraction of protein from potato starch wastewater by sodium alginate [J]. *Food Science*, 2013, 34(18): 75-81
- [38] 陈艳, 丁玉庭, 邹礼根, 等. 鱼糜凝胶过程的影响因素分析 [J]. *食品研究与开发*, 2003, 24(3): 12-15
CHEN Yan, DING Yuting, ZOU Ligen, et al. Analysis of influencing factors of surimi gel process [J]. *Food Research and Development*, 2003, 24(3): 12-15
- [39] 阮秋凤, 蒋文馨, 熊善柏, 等. 臭氧漂洗工艺对鲢鱼糜品质的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(6): 67-73
RUAN Qiufeng, JIANG Wenxin, XIONG Shanbai, et al. Effect of ozone rinsing process on quality of silver carp surimi [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(6): 67-73
- [40] 张茜. 壳聚糖对淡水鱼糜凝胶特性的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2009
ZHANG Qian. Effects of chitosan on the gelling properties of fresh water fish surimi [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009
- [41] Chen H H. Decoloration and gel-forming ability of horse mackerel mince by air-flotation washing [J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(8): 2970-2975
- [42] 李文协, 李学鹏, 刘慈坤, 等. 臭氧水漂洗对鲮鱼鱼糜品质及肌原纤维蛋白氧化的影响 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(16): 7-5
LI Wenxie, LI Xuepeng, LIU Cikun, et al. Effects of ozone water rinsing on the qualities and oxidation of surimi myofibrillar proteins of Spanish mackerel surimi [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(16): 7-15
- [43] 颜明月. 臭氧水处理对罗非鱼片蛋白质和脂质氧化及品质的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2015
YAN Mingyue. Effects of ozone water treatment on protein oxidation and lipid oxidation and quality of tilapia fillets [D]. Nanning: Guangxi University, 2015
- [44] 刘慈坤. 臭氧介导的肌原纤维蛋白质氧化对草鱼鱼糜凝胶持水性的影响机制研究 [D]. 锦州: 渤海大学, 2019
LIU Cikun. Effects of ozone induced myofibrillar protein oxidation on the water-holding capacity in grass carp surimi gel [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019
- [45] 黄浦, 施文健, 潘旻旻, 等. 交联壳聚糖微球的制备及其对水中芳香族羧基化合物的吸附性能研究 [J]. *轻工学报*, 2018, 33(6): 8-18
HUANG Pu, SHI Wenjian, PAN Minmin, et al. Research on preparation of crosslinked chitosan microspheres and its adsorption properties for aromatic carboxyl compounds in water [J]. *Journal of Zhengzhou University of Light Industry*, 2018, 33(6): 8-18

(下转第 279 页)