

碱性盐对冷冻鱼糜保水性的影响

李莎莎^{1,2}, 安玥琦^{1,2}, 丁玉琴^{1,2}, 赵思明^{1,2}, 熊善柏^{1,2,*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 2. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 以白鲢鱼糜为研究对象, 研究添加柠檬酸钠、乳酸钠对冷冻鱼糜保水品质的影响。结果表明, 添加柠檬酸钠、乳酸钠及两者的混合物可有效提高冷冻鱼糜的保水特性, 且添加柠檬酸钠与乳酸钠的混合物优于单独添加柠檬酸钠或乳酸钠。经正交试验优化, 在鱼糜中添加0.25%乳酸钠和0.50%柠檬酸钠时, 冷冻鱼糜的解冻损失率最低, 其离心损失率、煮制损失率与添加0.50%的复合磷酸盐的冷冻鱼糜无显著差异($P>0.05$), 按一定比例混合的柠檬酸钠与乳酸钠可替代复合磷酸盐保水剂。

关键词: 冷冻鱼糜; 柠檬酸钠; 乳酸钠; 无磷保水剂

Effects of Alkaline Salts on Water-Holding Capacity of Frozen Surimi

LI Sha-sha^{1,2}, AN Yue-qi^{1,2}, DING Yu-qin^{1,2}, ZHAO Si-ming^{1,2}, XIONG Shan-bai^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. National Research and Development Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, Wuhan 430070, China)

Abstract: The individual and combined effects of sodium citrate and sodium lactate on the water-holding capacity (WHC) of frozen silver carp surimi were studied. The individual addition of sodium citrate and sodium lactate and their combination was effective in improving the WHC of frozen surimi, especially their combined use. The results of optimization by orthogonal array design indicated that the addition of 0.25% sodium lactate and 0.50% sodium citrate resulted in minimum thaw loss in frozen surimi and that no significant differences in centrifugation loss and cooking loss were found compared with the addition of 0.50% compound phosphate ($P > 0.05$). The combined use of sodium citrate and sodium lactate in a given proportion may be an alternative to compound phosphate.

Key words: frozen fish surimi; sodium citrate; sodium lactate; non-phosphorous water-holding agent

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)21-0068-05

鱼糜是我国水产品深加工的主要制品类型之一, 具有低热量、低脂肪、低胆固醇、高蛋白等特点而深受消费者的喜爱。2010年我国鱼糜及其制品的总量已达到96.2万t^[1]。鱼糜在加工过程中水分易流失^[2], 直接影响鱼糜制品的出品率、凝胶特性及风味。因此生产中常将保水性作为衡量鱼糜品质的指标之一。

磷酸盐是水产品中广泛使用的保水剂之一, 具有使用效果好, 成本低、适用于工业化生产等特点^[3-5], 但添加量过大会导致产品风味恶化, 组织结构粗糙, 且在人体内易形成磷酸钙, 降低人体对钙的吸收^[6-7]。目前我国有部分厂家为提高产品保水性, 过度添加多聚磷酸盐, 导致水产品中多聚磷酸盐超标, 严重影响了水产品的出口。

国内外对无磷保水剂的研究已有较多报道^[8-12], 分别研究了碱性氨基酸、大豆分离蛋白、变性淀粉、亲水胶体、海藻糖以及NaHCO₃等对水产品 and 肉类保水性的影

响。但目前未见关于冷冻鱼糜无磷保水剂的研究。乳酸钠和柠檬酸钠是一种安全的添加剂, 被广泛用在食品中作为水分保持剂^[13-14]。本实验拟研究柠檬酸钠、乳酸钠及其混合物对冷冻鱼糜保水性的影响, 以开发替代复合磷酸盐的无磷保水剂。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白鲢(*Hypophthalmichthys titrix*)购于华中农业大学菜市场, 每尾质量1200g左右。

柠檬酸钠 武汉大学生产技术实业公司; 乳酸钠、六偏磷酸钠、NaCl 国药集团化学试剂有限公司; 焦磷酸钠 上海科贸精细化学品公司; 三聚磷酸钠 天津市标准科技有限公司。

收稿日期: 2012-04-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46-23)

作者简介: 李莎莎(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: lishasha_ok1@126.com

*通信作者: 熊善柏(1963—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为水产品加工与保鲜。E-mail: xiongsb@mail.hzau.edu.cn

1.2 仪器与设备

BL-220H电子天平 日本岛津公司; BS210Z电子分析天平 德国赛多利斯公司; TA-XT Plus质构仪 美国Surrey公司; UltrascanXE色度测定仪 美国Hunter Lab公司; LTD硬度计 日本Kiya Seiakush公司; TDL-5A台式离心机 上海菲恰尔分析仪器有限公司; HH-6数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; K600(3205)食品调理机 德国博朗电器公司; AR2000ex流变仪 美国TA Instruments Lat公司。

1.3 方法

1.3.1 冷冻鱼糜的制备流程

新鲜白鲢→去鳞、头、内脏→清洗→采肉→漂洗→脱水→斩拌→定量包装→冻结(−80℃)→冻藏(−20℃)→检测

↑

保水剂配制

1.3.2 解冻损失率的测定

将鱼糜置100目纱网上在4℃条件下解冻4h, 用滤纸轻轻拭去样品表面的液体后准确称质量, 按式(1)计算解冻损失率。

$$\text{解冻损失率}/\% = \frac{\text{样品原质量} - \text{解冻后样品质量}}{\text{样品原质量}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 离心损失率的测定

取冻藏后的样品, 于100目筛网上在4℃条件下解冻4h, 将解冻后的样品放入底部垫有滤纸的离心管, 4℃、4000r/min离心20min, 记录离心前后样品的质量, 按式(2)计算离心损失率。

$$\text{离心损失率}/\% = \frac{\text{样品原质量} - \text{离心后样品质量}}{\text{样品原质量}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.4 pH值的测定

称取10.00g绞碎均匀的样品与锥形瓶中, 加入100mL高纯水, 搅拌5min, 静置30min后过滤, 取滤液测定其pH值。

1.3.5 煮制失水率

采用刘茹^[15]的方法制备鱼糜凝胶, 并测定鱼糜煮制损失率。

1.3.6 凝胶失水率的测定

将鱼糜凝胶切成厚5mm的圆片并称质量(m_1), 用滤纸

包裹后用硬度计加压5kg/cm², 并保持1min, 去掉滤纸, 再将样品称质量(m_2), 做5个平行样。凝胶的持水性能可用失水率表示, 失水率按式(3)计算。

$$\text{失水率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

1.3.7 凝胶强度和白度的测定

采用刘茹^[15]的方法测定鱼糜凝胶强度和白度。

1.3.8 动态流变学性质的测定

取2~3g解冻后的鱼糜, 加盐斩拌后, 进行动态流变性质的测定。采用AR2000ex型动态流变仪, 选用直径40mm平板, 调节平板和样品台之间的距离为1mm, 加热过程中用3-甲基硅油密封以防止水分的蒸发。升温扫描范围: 10~90℃; 升温速率: 1℃/min; 频率: 1Hz; 应力: 10Pa。

1.3.9 感官评价方法

将鱼糜凝胶切成5mm薄片, 由经过前期培训的5人组成评定小组, 对样品进行感官评定, 感官评价标准见表1。感官评分采用加权法计算, 各指标加权系数为: 色泽0.2、气味0.2、滋味0.1、口感0.3、组织状态0.2^[16]。

1.4 数据处理

质构数据平行测定6次, 其他数据平行测定3次。采用SAS8.1软件和Excel 2003软件进行数据处理及统计分析^[17]。

2 结果与分析

2.1 乳酸钠添加量对冷冻鱼糜保水效果的影响

由表2可知, 添加乳酸钠可提高冷冻鱼糜的保水性和凝胶强度, 改善鱼糜凝胶的感官品质, 但会使鱼糜pH值升高, 白度下降。在实验范围内, 随着乳酸钠添加量的增大, 冷冻鱼糜的解冻损失率、离心损失率和白度逐渐降低, 当乳酸钠添加量为0.25%时, 冷冻鱼糜的煮制失水率降到最低, 继续增大乳酸钠添加量则升高。通过综合考虑, 乳酸钠较优的添加量为0.20%~0.30%。

2.2 柠檬酸钠添加量对冷冻鱼糜保水效果的影响

由表3可知, 柠檬酸钠的添加可提高冷冻鱼糜的保水性能, 显著提高鱼糜凝胶强度, 这与张崑等^[18]研究结果一致。在实验范围内, 随柠檬酸钠添加量的增大, 冷冻鱼糜的离心损失率、煮制损失率、凝胶失水率降低, 感

表1 感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of cooked fish surimi

色泽	气味	滋味	口感	组织状态	评分
白色	具有鱼肉特有的浓郁香味	具有鱼肉鲜味, 余味浓郁	咀嚼性好, 细腻有弹性	断面密实, 无大气孔	5
白色略带黄色	具有鱼肉香味	具有鱼肉鲜味, 可口, 味足	细腻感稍差、弹性较好	断面密实, 无大气孔但有少量的小气孔	4
较黄	鱼肉味淡, 稍带腥味	鱼肉鲜味寡淡	口感粗糙, 弹性一般	断面基本密实, 无大气孔, 有少量小气孔	3
灰黄色	有腥味	无鱼肉鲜味	质地较松散, 弹性较差	断面松软, 有不均匀小气孔	2
灰暗色	鱼腥味重, 有异味	有异常滋味	质地松散, 无弹性	断面呈浆状, 松软无密实感	1

表 2 乳酸钠添加量对冷冻鱼糜品质的影响($\bar{x} \pm s$, $n=3$)
Table 2 Effect of sodium lactate dosage on the quality of frozen surimi($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

乳酸钠添加量/%	解冻损失率/%	离心损失率/%	煮制损失率/%	凝胶失水率/%	凝胶强度/(g·mm)	白度	pH	感官评价
0.00	8.77±0.05 ^a	10.50±0.12 ^a	1.70±0.01 ^a	3.79±0.10 ^b	3933.80±255.04 ^d	70.83±0.05 ^a	6.87±0.02 ^d	3.30±0.97 ^b
0.10	4.14±0.05 ^b	10.26±0.02 ^b	1.25±0.08 ^b	4.00±0.10 ^a	5442.99±421.26 ^c	69.62±0.03 ^b	6.96±0.01 ^c	4.18±0.35 ^a
0.15	4.03±0.01 ^c	10.21±0.09 ^b	1.08±0.03 ^c	3.79±0.09 ^b	5507.31±291.28 ^c	68.85±0.02 ^c	6.98±0.01 ^c	4.10±0.49 ^a
0.20	3.94±0.09 ^c	9.78±0.12 ^c	1.05±0.05 ^c	3.77±0.03 ^b	5721.52±291.42 ^c	68.81±0.05 ^{cd}	7.00±0.01 ^b	4.06±0.68 ^a
0.25	3.80±0.04 ^d	9.24±0.07 ^d	0.96±0.05 ^d	3.72±0.10 ^b	6318.31±385.88 ^b	68.77±0.04 ^d	7.02±0.01 ^{ab}	4.04±0.66 ^a
0.30	3.64±0.06 ^e	8.91±0.09 ^e	1.01±0.03 ^{cd}	3.68±0.10 ^b	6906.24±434.44 ^a	67.75±0.04 ^e	7.04±0.01 ^a	4.06±0.68 ^a

注：同列肩标字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)。下同。

表 3 柠檬酸钠添加量对冷冻鱼糜品质的影响($\bar{x} \pm s$, $n=3$)
Table 3 Effect of sodium citrate dosage on the quality of frozen surimi($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

柠檬酸钠添加量/%	解冻损失率/%	离心损失率/%	煮制损失率/%	凝胶失水率/%	凝胶强度/(g·mm)	白度	pH	感官评价
0.00	8.77±0.05 ^a	10.26±0.02 ^a	1.71±0.02 ^a	3.79±0.10 ^a	3933.80±255.04 ^c	70.83±0.05 ^a	6.87±0.02 ^e	3.30±0.97 ^b
0.10	3.75±0.06 ^b	8.36±0.08 ^b	1.38±0.06 ^b	3.73±0.05 ^{ab}	5376.43±165.93 ^a	69.76±0.04 ^e	7.14±0.01 ^d	3.86±0.67 ^{ab}
0.20	3.58±0.05 ^c	7.02±0.08 ^c	1.09±0.03 ^c	3.64±0.08 ^{abc}	5477.41±174.66 ^a	69.74±0.04 ^e	7.16±0.00 ^c	4.42±0.43 ^a
0.30	3.28±0.05 ^d	6.50±0.08 ^d	1.02±0.04 ^d	3.60±0.08 ^{bc}	5533.31±228.97 ^a	69.80±0.06 ^d	7.18±0.01 ^b	4.22±0.41 ^a
0.40	2.87±0.04 ^d	6.18±0.00 ^e	0.96±0.05 ^{de}	3.52±0.20 ^c	5551.31±269.23 ^a	70.14±0.01 ^c	7.20±0.01 ^a	4.14±0.31 ^{ab}
0.50	3.01±0.03 ^e	6.15±0.09 ^e	0.92±0.04 ^e	3.49±0.12 ^c	4549.65±313.23 ^b	70.22±0.06 ^b	7.21±0.01 ^a	4.32±0.65 ^a

表 4 无磷保水剂对冷冻鱼糜品质的影响($\bar{x} \pm s$, $n=3$)
Table 4 Effect of combined addition of sodium citrate and sodium lactate on the quality of frozen surimi($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

试验号	乳酸钠添加量/%	柠檬酸钠添加量/%	解冻损失率/%	离心损失率/%	煮制损失率/%	凝胶失水率/%	凝胶强度/(g·mm)	白度	pH
1	1(0.20)	1(0.30)	2.54±0.03	7.79±0.08	1.80±0.08	4.00±0.06	5514.84±231.52	69.14±0.14	7.16±0.01
2	1	2(0.40)	2.25±0.07	7.54±0.05	1.72±0.08	3.66±0.07	5537.00±301.65	68.91±0.03	7.18±0.01
3	1	3(0.50)	2.20±0.06	6.64±0.05	1.54±0.07	3.50±0.05	5954.53±340.40	69.02±0.17	7.20±0.01
4	2(0.25)	1	2.46±0.08	7.20±0.08	1.78±0.01	4.01±0.07	5760.55±302.26	68.30±0.18	7.17±0.01
5	2	2	2.09±0.01	7.09±0.09	1.53±0.04	3.64±0.04	6031.08±467.31	68.19±0.20	7.19±0.01
6	2	3	1.33±0.06	5.89±0.09	1.42±0.07	3.44±0.08	6833.71±254.32	68.56±0.15	7.26±0.02
7	3(0.30)	1	2.24±0.05	6.98±0.07	1.40±0.05	3.91±0.11	7058.21±435.94	68.88±0.09	7.20±0.01
8	3	2	1.44±0.06	6.28±0.00	1.33±0.05	3.20±0.07	7647.68±120.40	70.53±0.10	7.25±0.02
9	3	3	2.21±0.06	6.25±0.06	1.35±0.01	3.38±0.07	8588.08±369.05	69.86±0.03	7.31±0.01

表 5 无磷保水剂对冷冻鱼糜品质影响的方差分析
Table 5 ANOVA results (F value/ P value) showing the effects of sodium citrate and sodium lactate dosages on the quality of frozen surimi

方差来源	解冻损失率	离心损失率	煮制损失率	凝胶失水率	pH	凝胶白度	凝胶强度
乳酸钠添加量	4.46/0.023	29.71/0.000	39.53/0.000	15.31/0.000	41.76/0.000	26.21/0.000	106.47/0.000
柠檬酸钠添加量	7.93/0.003	48.25/0.000	19.06/0.000	87.07/0.000	43.81/0.000	2.92/0.075	24.48/0.000
模型	6.20/0.001	38.98/0.000	29.30/0.000	51.19/0.0001	42.79/0.000	14.56/0.000	65.48/0.000

注：表中数据是 F 值/ P 值。

官品质提高，而pH值升高，白度下降。柠檬酸钠添加量为0.40%时解冻损失率在最小，凝胶强度则达最大值，而继续增大柠檬酸钠用量，解冻损失率升高，凝胶强度降低。在上述实验的基础上进行综合考虑，柠檬酸钠较优的添加量范围为0.30%~0.50%。

2.3 乳酸钠、柠檬酸钠复配比例对冷冻鱼糜保水性的影响
采用正交试验研究乳酸钠、柠檬酸钠的复配比例对冷冻鱼糜保水品质的影响，实验结果见表4，方差分析见表5。乳酸钠和柠檬酸钠的添加对冷冻鱼糜保水性的各项指标、pH值、凝胶白度、凝胶强度均有不同程度的影响。乳酸钠的添加对凝胶强度影响最大，其次是pH值、煮制失水率。在实验范围内，随乳酸钠添加量的增加，凝胶强度显著增大，煮制失水率、解冻损失率、离心损失

率、凝胶失水率显著降低($P < 0.05$)。添加柠檬酸钠对解冻损失率、离心损失率、凝胶失水率、pH值的影响较乳酸钠显著，但对白度影响不显著($P > 0.05$)。随柠檬酸钠用量的增大，离心损失率、煮制损失率、解冻损失率、凝胶失水率显著降低($P < 0.05$)，pH值、凝胶强度显著升高。肌肉保水性，是指当肌肉受到外力作用时，保持体系水分的能力，保水性越强，肉质越好^[19]，而解冻损失率、离心损失、煮制损失率、凝胶失水率是衡量保水性的重要指标。通过对上述结果的综合考虑，认为添加0.25%乳酸钠和0.50%柠檬酸钠对鱼糜的保水效果相对较好。

2.4 无磷保水剂与复合磷酸盐对冷冻鱼糜品质影响的比较结果

表6 不同保水剂对冷冻鱼糜品质的影响

Table 6 Effects of different combinations of sodium citrate and sodium lactate and compound phosphate on the quality of frozen surimi

组别	解冻损失率/%	离心损失率/%	煮制损失率/%	凝胶失水率/%	凝胶强度/(g·mm)	白度	pH
空白对照	8.77±0.05 ^a	10.26±0.02 ^a	1.70±0.01 ^a	3.79±0.10 ^a	3933.80±255.04 ^d	70.83±0.05 ^a	6.87±0.02 ^c
0.50%柠檬酸钠+0.25%乳酸钠	1.33±0.06 ^c	5.89±0.09 ^c	1.42±0.07 ^b	3.44±0.08 ^b	6833.71±254.32 ^c	68.56±0.15 ^c	7.26±0.01 ^b
0.40%柠檬酸钠+0.30%乳酸钠	1.44±0.06 ^b	6.28±0.06 ^d	1.35±0.01 ^{bc}	3.20±0.07 ^c	7647.68±120.40 ^b	70.53±0.10 ^b	7.25±0.01 ^b
0.50%复合磷酸盐	1.47±0.03 ^b	5.81±0.03 ^c	1.32±0.03 ^c	3.44±0.07 ^b	8569.50±159.28 ^a	70.82±0.07 ^b	7.39±0.01 ^a

2.4.1 不同保水剂对冷冻鱼糜保水性的影响

根据正交试验结果,选择0.25%乳酸钠和0.50%柠檬酸钠混合物、0.30%乳酸钠和0.40%柠檬酸钠混合物两组保水效果较好的无磷保水剂,与复合磷酸盐分别添加至鱼糜中,研究其对冷冻鱼糜品质的影响,结果见表6。与空白对照组相比,无磷保水剂与复合磷酸盐都可提高冷冻鱼糜的保水效果和凝胶强度,但增大了鱼糜体系的pH值,白度降低。添加0.50%复合磷酸盐时,冷冻鱼糜的离心损失率、煮制损失率、凝胶失水率最低,而添加0.25%乳酸钠和0.50%柠檬酸钠混合物的冷冻鱼糜,解冻损失率最低,且离心损失率和凝胶失水率与复合磷酸盐组相比,无显著性差异($P>0.05$)。综合上述结果,认为0.25%乳酸钠和0.50%柠檬酸钠混合物可替代0.50%复合磷酸盐保水剂。

磷酸盐类保水剂主要通过提高肉的pH值,使肉糜体系pH值向碱性偏移,避开肉中蛋白质的等电点,来提高鱼糜的保水性,改善鱼糜制品的品质^[20]。乳酸钠和柠檬酸钠作为多用途的食品添加剂,安全易得^[21],是一类强碱弱酸盐,添加至鱼糜中可提高体系的pH值,同时,其高价阴离子可增加鱼糜体系的离子强度,利于肌球蛋白转变为溶胶状态,提高保水性^[22]。此外,柠檬酸钠具备结合二价金属离子的能力,可螯合肌肉中的金属离子后释放出羧基,由于蛋白质羧基所带的同种电荷相斥,使肌肉蛋白结构松弛,提高冷冻鱼糜及其制品的持水性^[23-24]。

2.4.2 不同保水剂对冷冻鱼糜流变性质的影响

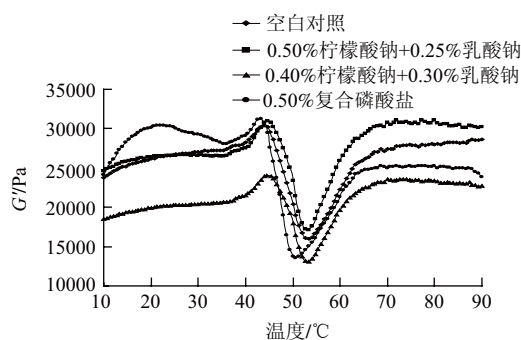


图1 不同保水剂对冷冻鱼糜弹性模量的影响

Fig.1 Effects of different combinations of sodium citrate and sodium lactate and compound phosphate on the elastic modulus (G') of frozen surimi

流变性质是指物质在外力作用下形变,在流动过程中

表现出来的性质,主要研究和处理表现上连贯的黏性物质的变形问题及生产工艺过程中物质的流动变化问题^[25-26],贮能模量 G' 是动态弹性模量,表征材料的弹性特征^[21]。

对添加不同保水剂的4组鱼糜进行流变性质研究,结果见图1。可以看出,在10~45°C的范围内,添加复合磷酸盐的冷冻鱼糜的 G' 随着温度的增加而呈现先增加后降低,随后再增加的趋势。其他处理的 G' 在10~45°C的范围内逐渐上升,在45°C左右达到最大值,随后呈迅速下降,在52°C左右降低到最小值,随后快速上升,之后达到平衡。 G' 下降可能是由于鱼糜中的内源性蛋白酶在该温度段水解肌球蛋白,导致了凝胶劣化;由肌动蛋白-肌球蛋白解离或肌球蛋白尾部变性引起的;温度升高降低了氢键等的键能,使蛋白质分子的流动性增强,从而降低了 G' ;之后 G' 快速增加是由于形成了稳定的凝胶结构^[27-28]。添加柠檬酸钠和分别为乳酸钠为0.50%和0.25%的鱼糜,在通过凝胶劣化段后 G' 值明显高于其他几组,表明该鱼糜体系有较强的弹性,凝胶结构更稳定。通过上述结果的综合考虑,认为添加0.50%柠檬酸钠和0.25%乳酸钠可替代0.50%复合磷酸盐。

3 结论

碱性盐的种类、添加量对冷冻鱼糜的保水性有影响,乳酸钠和柠檬酸钠的较优添加量范围分别为0.20%~0.30%和0.30%~0.50%。碱性盐类混合添加的效果优于单独添加,且复配比例为0.25%乳酸钠+0.50%柠檬酸钠时,冷冻鱼糜解冻损失率最低,离心损失率和凝胶失水率与添加0.50%复合磷酸盐组相比,无显著性差异($P>0.05$)。同时,添加该无磷保水剂的鱼糜,其弹性模量相对较高,凝胶结构更稳定,因此无磷保水剂具有一定优势,可替代复合磷酸盐。

参考文献:

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国渔业年鉴2011[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [2] OFFER G, TRINK J. On the mechanism of water holding in meat[J]. Meat Science, 1983, 8(4): 245-250.
- [3] CHANG C C, REGENSTEIN J M. Water uptake, protein solubility, and protein changes of codmince stored on ice as affect by polyphosphates[J]. Food Sci, 1997, 62(2): 305-309.

- [4] THORARINSDOTTIR K A, ARASON S G, BOGASON S, et al. Effects of phosphate on yield, quality and water-holding capacity in the processing of salted cod(*Gadus morhua*)[J]. Food Sci, 2001, 66(6): 821-826.
- [5] 李秀娟. 三种渗透性抗冻剂和稀释基础液配合对兔精液冷冻保存效果的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005.
- [6] 刘锐萍, 裴庆润, 张铁军, 等. 食品中磷酸盐的应用现状及存在问题分析[J]. 饮料工业, 2007(2): 9-11.
- [7] 王道营, 诸永志, 徐为民. 复合磷酸盐在肉品加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(10): 167-169.
- [8] YAMAMOTO T, NOZAKI S, WATABE S. Frozen surimi, United States: US2004/0191398 A1[P]. 2011-12-20.
- [9] 刘国信. 大豆蛋白在肉制品加工中的应用[J]. 中外食品, 2006(4): 56-57.
- [10] 吴立根, 王岸娜. 复合变性淀粉提高鸡胸肉保水率的研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 25-26.
- [11] 张国丛, 李美桃, 刘欢, 等. 亲水胶体及其复配胶在肉制品中应用的研究进展[J]. 肉类研究, 2008, 22(4): 7-9.
- [12] 薛勇, 薛长湖, 李兆杰, 等. 海藻糖对冻藏过程中鲮肌原纤维蛋白冷冻变性的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 637-641.
- [13] 刘欣, 周爱梅, 赵力超, 等. 海藻糖、乳酸钠对冻藏鲮鱼鱼糜蛋白抗冻效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(8): 60-64.
- [14] 李里特, 江正强, 卢山. 烘焙食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [15] 刘茹. 鱼肉和猪肉凝胶的差异及其机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [16] 王卫芳. 鱼肉猪肉复合凝胶制品的开发及其影响因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [17] 赵思明. 食品科学与工程中的计算机应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 47-54.
- [18] 张崑, 曾庆伟, 朱志伟, 等. 柠檬酸盐对罗非鱼鱼糜的凝胶及抗冻性的影响[J]. 陕西科技大学学报, 2009, 27(1): 14-19.
- [19] 景慧. 羊肉无磷保水剂和粘结剂的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [20] 刘冠勇, 罗欣. 影响肉与肉制品系水力因素之探讨[J]. 肉类研究, 2000, 14(3): 16-18.
- [21] 赵文杰, 柴春祥, 张世芳, 等. 鱼糜流变特性的研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 75-79.
- [22] 马申嫣, 范大明. 不同保水剂对可微波油炸鸡肉串品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(6): 753-758.
- [23] 张颖颖, 高红亮, 常忠义, 等. 无磷酸盐贡丸品质改良剂[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 289-293.
- [24] 张英, 周长民. 柠檬酸的特性与应用[J]. 辽宁化工, 2007, 36(5): 351-354.
- [25] 周宇英, 唐伟强. 食品流变特性的研究进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2001, 36(8): 7-9.
- [26] 陈克复, 卢晓江, 金醇哲, 等. 食品流变学及其测量研究[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [27] CAO M J, WU L L, HARA K, et al. Purification and characterization of a myofibril-bound serine proteinase from the skeletal muscle of silver carp[J]. Food Biochem, 2005, 29: 533-546.
- [28] 陈坤杰. 蜂乳的流变特性的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 31(4): 93-96.