

引用格式:刘蒙佳,周强,戴玉梅,等.不同解冻方法及添加抗冻剂处理对冷冻海鲈鱼鱼片解冻品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(8):210-218. LIU Mengjia, ZHOU Qiang, DAI Yumei, et al. Effect of different thawing methods and antifreeze treatment on the quality of frozen sea bass (*Perca fluviatilis*) fillets[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8):210-218.

## 不同解冻方法及添加抗冻剂处理对冷冻海鲈鱼鱼片解冻品质的影响

刘蒙佳<sup>1\*</sup>, 周强<sup>1</sup>, 戴玉梅<sup>1</sup>, 雷昌贵<sup>2</sup>, 丁立云<sup>3</sup>

1(闽南科技学院 生命科学与化学学院, 福建 泉州, 362332) 2(河南质量工程职业学院 食品与化工系, 河南 平顶山, 467000)

3(江西省水产科学研究所, 江西 南昌, 330039)

**摘要** 为探究不同解冻方法及添加抗冻剂处理条件对冷冻海鲈鱼鱼片解冻品质影响规律,以新鲜海鲈鱼(*Perca fluviatilis*)为主要材料,将鱼片(添加0.4%复合磷酸盐为处理组A,4%海藻糖+0.4%复合磷酸盐为处理组B)冻结后进行冻藏处理,设立对照组(-30℃,72h)。采用空气解冻、冰箱解冻、静水解冻及微波解冻对冷冻海鲈鱼鱼片进行解冻处理。研究结果表明,与其他解冻方法比较,微波解冻及静水解冻可以显著提高海鲈鱼鱼片解冻速率( $P<0.05$ ),而微波解冻及冰箱解冻可以显著降低其解冻汁液流失率、蒸煮损失率、菌落总数,并延缓其盐溶性蛋白含量、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性、白度值下降,且差异显著( $P<0.05$ )。对于空气解冻、冰箱解冻、静水解冻而言,与对照组比较,处理组B及处理组A均可显著降低其解冻汁液流失率、蒸煮损失率、菌落总数,并抑制盐溶性蛋白含量、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性下降( $P<0.05$ ),且对于采用空气解冻及静水解冻法而言,处理组B效果较处理组A显著( $P<0.05$ )。9个检测指标可简化为2个主成分,其方差总贡献率为83.074%。该实验为海鲈鱼解冻及解冻品质的综合评价提供数据支持。

**关键词** 海藻糖;复合磷酸盐;海鲈鱼鱼片;解冻;品质;主成分分析

## Effect of different thawing methods and antifreeze treatment on the quality of frozen sea bass (*Perca fluviatilis*) fillets

LIU Mengjia<sup>1\*</sup>, ZHOU Qiang<sup>1</sup>, DAI Yumei<sup>1</sup>, LEI Changgui<sup>2</sup>, DING Liyun<sup>3</sup>

1(College of Life Sciences and Chemistry, Minnan Science and Technology University, Quanzhou 362332, China)

2(Department of Food and Chemical Engineering, Henan Quality Polytechnic, Pingdingshan 467000, China)

3(Jiangxi Fisheries Research Institute, Nanchang 330039, China)

**ABSTRACT** In order to explore the effect of different thawing methods, by air, refrigerator, static hydrolysis and microwave, and antifreeze treatment on the thawing quality of frozen sea bass fillet, fresh sea bass (*Perca fluviatilis*) (0.4% compound phosphate as treatment group A, 4% trehalose + 0.4% compound phosphate as treatment group B) and a control group (-30℃, 72 h) were set up. The results showed that compared with other thawing methods, microwave thawing and static hydrolysis thawing can significantly improve the thawing rate of sea bass fillets ( $P<0.05$ ), while microwave thawing and refrigerator thawing can significantly ( $P<0.05$ ) reduce the water loss rate, cooking loss rate and total number of colonies, and delay the decrease of the salt-soluble protein content, elasticity,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity, whiteness value. For the three conventional thawing methods (air thawing, refrigerator thawing, static hydrolysis), treatment group B and group A can significantly reduce the liquid loss rate, cooking loss rate, total number of colonies, and inhibit the decrease of the salt-soluble protein content, elasticity,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity ( $P<0.05$ ). For air thawing and static hydrolysis

第一作者:硕士,副教授(本文通讯作者, E-mail:liumengjia@mku.edu.cn)

基金项目:福建省本科教学团队项目(JXTD-2018-01);福建省高等学校应用型学科项目(SJXK-2017-01);福建省中青年教育科研(JAT191048);福建省泉州市高等学校中青年学科(专业)带头人培养计划项目(泉教高[2018]1号)

收稿日期:2019-12-09, 改回日期:2020-01-10

thawing, the effect of treatment group B was significantly higher than that of treatment group A ( $P < 0.05$ ). The nine indicators can be simplified into two principal components, and the total variance contribution rate was 83.074%. It provides data support for the comprehensive evaluation of thawing and thawing quality of sea bass.

**Key words** trehalose; compound phosphate; *Perca fluviatilis* fillet; thawing; quality; principal component analysis

海鲈鱼 (*Perca fluviatilis*), 辐鳍亚纲, 鲈形目, 河鲈科, 鲈属, 是我国沿海地区高产的一种重要经济鱼类<sup>[1]</sup>。目前, 国内外水产品普遍采用的贮藏保鲜方法为低温贮运法。在  $-30 \sim -18\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏可冻结约 95% 以上的水分, 其内源酶的活性和微生物增殖得到抑制, 提高了水产品品质<sup>[2]</sup>。冻品在生产及烹饪加工前需进行解冻处理, 解冻方法不当易导致其品质劣化<sup>[3-4]</sup>。为提高解冻品质, 常在冻品冻结前添加一定量的保水剂或抗冻剂。目前, 常见抗冻剂有复合磷酸盐、糖类及蛋白水解类等。复合磷酸盐对食品的色、形、香、味维持效果明显<sup>[5-7]</sup>。磷酸盐可增加肌动球蛋白的亲水性, 以促进鱼肉蛋白的稳定<sup>[8-9]</sup>。海藻糖作为低甜度、低热量的抗冻剂成为研究热点<sup>[10]</sup>。国内外学者对冷冻-解冻水产品及其他肉制品解冻过程中的品质变化进行了相关研究。李天翔等<sup>[11]</sup>研究发现冷藏库低温解冻能较好地保持鲮鱼 (*Katsuwonus pelamis*) 肌原纤维蛋白的结构及功能特性。周果等<sup>[12]</sup>研究表明低温解冻 ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 有利于保持鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 品质。BOONSOMREJ<sup>[13]</sup>指出水产品解冻后其理化、感官和微生物指标存在一定相关性。XIA 等<sup>[14]</sup>研究发现冷藏解冻对猪肉品质损害最低, 而微波解冻促进蛋白和脂肪氧化。薛勇等<sup>[15]</sup>采用海藻糖应用于鳙鱼 (*Aristichthys nobilis*), 表明具有较好抗冻效果。主成分分析也称主分量分析, 是利用原变量间具有较强的相关性特点, 将测定多个指标进行数据转换和降维, 并对降维后的特征向量进行线性变换, 用少量因素来描述多种指标或因素之间的关系<sup>[16-17]</sup>。目前, 关于不同解冻方法及添加抗冻剂对海鲈鱼鱼片解冻效果影响还未见报道。本文采用福建东山港产海鲈鱼为原料, 探讨海鲈鱼解冻品质指标变化, 旨在为海鲈鱼解冻及解冻效果综合评价提供一定数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜海鲈鱼 (购自漳州东山港), 活海鲈鱼 (500

$\pm 50$ ) g, 低温供氧运至实验室。

1.2 实验试剂

三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠、海藻糖 (食品级), 购自南京信捷汇生物科技有限公司。

三磷酸腺苷二钠、牛血清白蛋白 (生化试剂, 98%)、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 、三羟甲基氨基甲烷、马来酸、酒石酸钾钠等均为分析纯、琼脂平板计数培养基为生化试剂, 购自国药集团化学试剂有限公司。

1.3 实验仪器

超低温冰箱 (MDF-U53V 型), 日本 SANYO 公司; 数显温度计 (DTM-280 型), 京冀仪器仪表厂; pH 计 (PHS-3C 型), 上海鹏顺科学仪器有限公司; 电子天平 (BS223K 型), 美特勒科学仪器有限公司; 恒温数显水浴锅 (VA-66 型), 江苏荣华仪器制造有限公司; 高速离心机 (CR22G 型), 日本日立公司; 可见分光光度计 (721 型), 上海佑科仪器仪表有限公司; 物性分析仪 (TMS-PRO), 美国 FTC 公司; 色差计 (WSC-S 型), 上海精密仪器有限公司等。

1.4 原料处理方法

将新鲜海鲈鱼 ( $500 \pm 50$ ) g 去内脏并洗净, 去头尾并切片处理, 鱼片规格为  $100\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ , 鱼片质量 ( $100 \pm 5$ ) g, 以海鲈鱼质量计, 添加保水剂 0.4% (质量分数) 复合磷酸盐 [ $m$  (三聚磷酸钠):  $m$  (焦磷酸钠):  $m$  (六偏磷酸钠) = 4: 2: 3] 及 4% 海藻糖, 并设定对照组, 将样品冷却至  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  后, 置于冷冻室冻结并于  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏 72 h, 进行后续解冻实验, 具体实验处理及分组见表 1。

表 1 实验处理及分组

Table 1 Experimental treatment and grouping	
组别	处理条件
对照组	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏
处理组 A	0.4% 复合磷酸盐 + $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏
处理组 B	4% 海藻糖 + 0.4% 复合磷酸盐 + $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏

1.5 解冻处理方法

1.5.1 空气解冻

将冷冻 72 h 后海鲈鱼鱼片取出, 置于室内温度

为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的无热源自然环境状态下解冻,同时计时,采用DTM-280型数显温度计插入鱼片中心位置,待中心温度达到 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 即可停止解冻<sup>[18]</sup>。

### 1.5.2 冰箱解冻

置于冰箱温度为 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的环境状态下解冻,采用DTM-280型数显温度计插入鱼片中心位置,待中心温度达到 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 即可停止解冻<sup>[19]</sup>。

### 1.5.3 静水解冻

将冷冻72 h后海鲈鱼鱼片取出,将其置于保鲜袋中密封,再完全浸没在水中[水温为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ]解冻,同时计时,采用DTM-280型数显温度计插入鱼片中心位置,待中心温度达到 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 即可停止解冻。

### 1.5.4 微波解冻

将冷冻72 h后的海鲈鱼鱼片从冷冻室取出,置于洗净并烘干的烧杯中置于2 415 MHz,功率500 W的微波炉中解冻,采用微波炉自带解冻程序解冻96 s(100 g鱼片解冻时间),即可停止解冻<sup>[20]</sup>。

## 1.6 指标测定及方法

### 1.6.1 解冻速率测定

分别记录鱼片经不同解冻方法解冻后鱼片的温度以及不同解冻方法所用的时间,解冻速率如公式(1)所示<sup>[21]</sup>:

$$\nu = \frac{\Delta T}{t} \quad (1)$$

式中: $\nu$ ,解冻速率, $^\circ\text{C}/\text{min}$ ;  $\Delta T$ ,初始温度与解冻结束时的温度之差, $^\circ\text{C}$ ;  $t$ ,解冻所用的时间,min。

### 1.6.2 汁液流失率测定

称量解冻前海鲈鱼鱼片质量,用吸水纸吸去经不同解冻方法解冻后的鱼片表面的水分,称量解冻后质量。各解冻方法做3组平行实验,并求出平均值。解冻汁液流失率的计算如公式(2)所示:

$$\text{TL}/\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

式中:TL,汁液流失率,%;  $W_1$ ,解冻前样品的质量,g;  $W_2$ ,冻后样品的质量,g。

### 1.6.3 蒸煮损失率测定

将海鲈鱼鱼片进行沸水隔水蒸煮15 min。蒸煮后将鱼片表面的水分用吸水纸除去,称量质量并记录数据。每种解冻方法各测量3次,并取平均值<sup>[22]</sup>。蒸煮损失率的计算如公式(3)所示:

$$\text{CL}/\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100 \quad (3)$$

式中:CL,蒸煮损失率,%;  $W_2$ ,蒸煮前样品的质量,g;

$W_3$ ,蒸煮后样品的质量,g。

### 1.6.4 pH值测定

准确称取10 g已搅碎拌匀的肉糜状的待测样于锥形瓶中,加入100 mL蒸馏水,搅拌均匀后静置30 min,再经滤布多次过滤后,用pH酸度计测定滤液pH<sup>[23]</sup>,各解冻方法均取3次进行测量,并求出平均值。

### 1.6.5 盐溶性蛋白测定

采用双缩脲法测定盐溶性蛋白含量<sup>[24]</sup>。

### 1.6.6 菌落总数测定

参照谢晶等<sup>[25]</sup>方法测定其菌落总数。

### 1.6.7 弹性测定

采用TMS-PRO物性分析仪测定海鲈鱼鱼片的弹性<sup>[26]</sup>。

### 1.6.8 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性测定

提取肌原纤维蛋白的方法参照BENJAKUL<sup>[27]</sup>的方法。 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性测定按参照万建荣<sup>[28]</sup>的方法。

### 1.6.9 白度值测定

参照ZHANG<sup>[29]</sup>的方法测试,具体方法稍作修改。将鱼片切成0.5 mm的薄片。使用标准白板校正,使用WSC-S色差仪测定样品的 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值。计如算公式(4)所示:

$$w = 100 - [(100 - L^{*2}) + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (4)$$

## 1.7 数据分析

试验中所有试样做3个平行测定,并重复3次,数据测定结果以平均值 $\pm$ 标准差表示,采用Excel软件进行绘图。结果采用SPSS 19.0软件进行分析处理,数据均值间差异显著性采用Duncan法进行检验,差异显著( $P < 0.05$ ),差异不显著( $P > 0.05$ ),品质指标采用主成分分析法进行降维。

## 2 结果与分析

### 2.1 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片解冻品质指标影响

#### 2.1.1 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片解冻速率影响

一般解冻速率越快,冰晶对冻品挤压破坏越严重,其大小在一定程度上反映解冻品质<sup>[12]</sup>。如表2所示,不同解冻方法而言,解冻速率顺序依次为冰箱解冻<空气解冻<静水解冻<微波解冻,其中微波解冻速率最快,其对照组、处理组A、处理组B的解冻速率分别为7.69、6.34、6.05  $^\circ\text{C}/\text{min}$ ,显著高于其他几

种解冻方法的解冻速率 ( $P < 0.05$ )。同一解冻方法而言,采用空气解冻、冰箱解冻、微波解冻,处理组 A、处理组 B 的解冻速率较对照组低,且差异显著 ( $P < 0.05$ ),而处理组 A 与处理组 B 比较差异不显著 ( $P > 0.05$ )。静水解冻解冻速率顺序为处理组 B < 处理组 A < 对照组,但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。本研究表明,微波解冻速率最大,这与微波解冻从内部开始加热及海鲈鱼鱼片的尺寸大小有关。此外,静水解冻速率为空气解冻解冻速率的 4.82 倍(对照组)、5.57 倍(处理组 A)、6.05 倍(处理组 B),但上述 2 种解冻方法的解冻介质温度相差不大,解冻速率的差异可能与解冻介质导热性能有关。余小领等<sup>[21]</sup>采用空气及静水解冻冻肉,其解冻速率与温度及汁液流失率呈正相关,这主要是基于空气及水作为解冻介质而言。唐梦等<sup>[30]</sup>在不同温度下采用高压静电场对冻结罗非鱼 (*Oreochromis spp*) 进行解冻,研究发现相同电压下,解冻温度与解冻速率呈正相关,而与解冻损失率相关性不大。本研究发现,采用 3 种解冻方法(空气解冻、冰箱解冻、微波解冻)对样品进行解冻处理,相对于空白对照组,其处理组 A 及处理组 B 可显著降低其解冻速率 ( $P < 0.05$ ),而处理组 A 及处理组 B 间差异不显著 ( $P > 0.05$ ),表明复合磷酸盐组与海藻糖协同复合磷酸盐组对海鲈鱼鱼片解冻速率影响不大。

表 2 解冻方法及抗冻剂处理对海鲈鱼鱼片解冻速率影响

Table 2 Effect of thawing method and antifreeze treatment on thawing rate of *Perca fluviatilis* fillet

解冻方法	解冻速率/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ )		
	对照组	处理组 A	处理组 B
空气解冻	0.050 ± 0.002 <sup>Aa</sup>	0.042 ± 0.004 <sup>Bbc</sup>	0.035 ± 0.004 <sup>Bc</sup>
冰箱解冻	0.007 2 ± 0.000 6 <sup>Ac</sup>	0.005 8 ± 0.000 6 <sup>Bc</sup>	0.004 2 ± 0.000 4 <sup>Bc</sup>
静水解冻	0.241 ± 0.003 <sup>Ab</sup>	0.234 ± 0.005 <sup>ABb</sup>	0.212 ± 0.007 <sup>Bb</sup>
微波解冻	7.69 ± 0.16 <sup>Aa</sup>	6.34 ± 0.22 <sup>Ba</sup>	6.05 ± 0.08 <sup>Ba</sup>

注:同列数据上标小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ ),同行数据上标大写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 2.1.2 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片汁液流失率影响

汁液流失率与海鲈鱼鱼片解冻品质呈反比<sup>[31]</sup>。如图 1 所示,同一解冻方法而言,鱼片采用空气解冻、静水解冻,其汁液流失率顺序依次为对照组 > 处理组 A > 处理组 B,且差异显著 ( $P < 0.05$ ),对于上述 2 种解冻方法即添加海藻糖及复合磷酸盐可有效降低其汁液流失率 ( $P < 0.05$ )。本研究中,微波解冻、冰箱解冻分别与空气解冻、静水解冻比较,可有效降低其海鲈鱼解冻汁液流失率,冰箱解冻所需时间长,冰晶消融缓慢,冰晶对细胞及蛋白质等生物大分子破坏性

较小,而微波解冻,解冻时间短,冰晶在内部消融,对冻品组织细胞破坏也较小,故此其汁液流失率较低<sup>[26]</sup>。这与郭恒等<sup>[32]</sup>采用 6 种解冻温度(4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱解冻、12  $^{\circ}\text{C}$  流水解冻、16  $^{\circ}\text{C}$  静止空气解冻、20  $^{\circ}\text{C}$  水浴解冻、30  $^{\circ}\text{C}$  水浴解冻及 40  $^{\circ}\text{C}$  水浴解冻)对冷冻鲢鱼进行解冻研究结果报道一致。另外,空气解冻中处理组 A、处理组 B 的汁液流失率为对照组的 39.06%、26.29%,而静水解冻处理组 A、处理组 B 的汁液流失率为对照组的 44.36%、26.72%。就采用空气解冻、静水解冻进行解冻处理而言,相对于空白对照组,添加抗冻剂能有效降低其汁液流失率,且处理组 B 较处理组 A 效果更优,其原因可能是海藻糖在肌肉组织中与蛋白质结合形成晶状体,从而使得蛋白质分子结构更紧密稳定,在解冻过程中起到保护作用<sup>[10]</sup>。

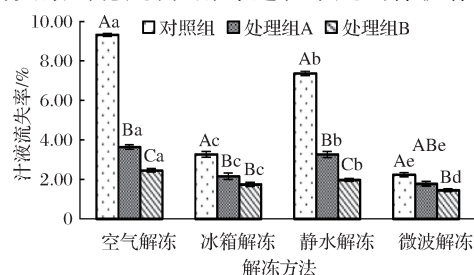


图 1 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片汁液流失率影响

Fig. 1 Effect of thawing method and antifreeze on drip loss of *Perca fluviatilis* fillet

注:图中小写字母为不同解冻方法各水平间差异显著性比较,字母相同表示不显著,字母不同则表示显著 ( $P < 0.05$ ),大写字母表示同一解冻方法不同实验组间差异显著性比较,字母相同,表示不显著,字母不同则表示显著 ( $P < 0.05$ )(下同)

### 2.1.3 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片蒸煮损失率影响

水产品的持水性可通过蒸煮损失率来衡量<sup>[33]</sup>。如图 2 所示,对同一解冻方法而言,其蒸煮损失率处理组 A、处理组 B 较对照组低,且差异显著 ( $P < 0.05$ ),且对于空气解冻、冰箱解冻、静水解冻而言,处理组 B 蒸煮损失率显著低于处理组 A ( $P < 0.05$ )。不同解冻方法各处理水平间比较而言,其蒸煮损失率依次为微波解冻 < 冰箱解冻 < 静水解冻 < 空气解冻,与空气解冻及静水解冻相比,微波解冻、冰箱解冻可显著降低海鲈鱼鱼片的蒸煮损失率 ( $P < 0.05$ )。本研究中,微波解冻、冰箱解冻可有效降低海鲈鱼鱼片解冻的蒸煮损失率。就采用空气解冻、静水解冻解冻而言,相对于空白对照组,其处理组均可显著减缓蒸煮损失率升高 ( $P < 0.05$ ) 空气解冻处理组 A、处理组 B 蒸煮损失率较对照

组降低了 26.54%、35.00%，静水解冻处理组 A、处理组 B 蒸煮损失率较对照组降低了 14.07%、25.85%，且采用空气解冻、静水解冻，处理组 B 抑制蒸煮损失率的效果较处理组 A 明显 ( $P < 0.05$ )，本研究表明，添加海藻糖协同复合磷酸盐处理可显著降低海鲈鱼鱼片解冻的蒸煮损失率，提高冻品的持水性。姜晴晴等<sup>[34]</sup>比较低温解冻、微波解冻、流水解冻、自然解冻对带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 蛋白质的影响时发现，4 种解冻方法的蒸煮损失率差异不显著 ( $P > 0.05$ )，这可能与鱼的种类及尺寸大小有关。对照表 2 可知，解冻速率顺序为微波解冻 > 静水解冻 > 空气解冻 > 冰箱解冻，但微波解冻及冰箱解冻蒸煮损失率较小，这与郭恒等<sup>[32]</sup>研究所报道的蒸煮损失率与解冻速率无显著相关性一致，这可能与解冻过程中导热介质及热传导方式不同有关。

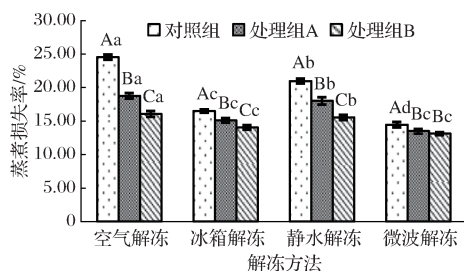


图 2 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片蒸煮损失率影响

Fig. 2 Effect of thawing method and antifreeze on cooking loss rate of *Perca fluviatilis* fillet

#### 2.1.4 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片 pH 影响

解冻肉样的 pH 值变化与样品冻结前是否添加抗冻剂有密切关系<sup>[35]</sup>。由图 3 可知，相同解冻方法（除空气解冻外）而言，处理组 A 与处理组 B 比较，pH 值差异不显著 ( $P > 0.05$ )。不同解冻方法比较而言，空气解冻的 pH 较高，对照组、处理组 A、处理组 B 的 pH 值分别为 5.72、6.11、5.90，与其他 3 种解冻方法各水平间比较，显著高于采用冰箱解冻、静水解冻、微波解冻鱼片的 pH 值 ( $P < 0.05$ )，而冰箱解冻、静水解冻、微波解冻处理组 A 与处理组 B 鱼片的 pH 值比较，差异不显著 ( $P > 0.05$ )。本研究中，就 3 种解冻方法（冰箱解冻、静水解冻、微波解冻）而言，相对于对照组，处理组 A 与处理组 B 可显著提高其 pH 值 ( $P < 0.05$ )，这主要与复合磷酸盐电离呈碱性相关有关。张珂<sup>[36]</sup>在添加保水剂对冻藏罗非鱼片采用不同方法解冻，其中利用真空解冻及微波解冻 pH 值变化较小，与本研究较一致。

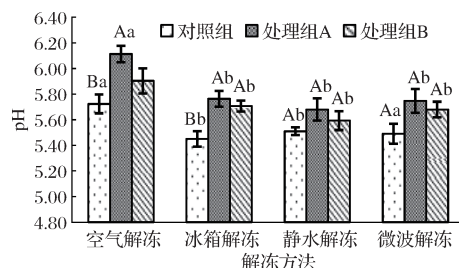


图 3 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片的 pH 的影响

Fig. 3 Effect of thawing method and antifreeze on pH of *Perca fluviatilis* fillet

#### 2.1.5 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼盐鱼片溶性蛋白影响

相关研究表明，解冻海鲈鱼鱼片的盐溶性蛋白含量越低，相对应的解冻品质也就有所下降<sup>[37]</sup>。如图 4 所示，采用空气解冻、冰箱解冻、静水解冻，各处理组水平间盐溶性蛋白含量顺序依次为对照组 < 处理组 A < 处理组 B，且差异显著 ( $P < 0.05$ )，不同解冻方法水平间比较而言，鱼片盐溶性蛋白含量依次为空气解冻 < 静水解冻 < 冰箱解冻 < 微波解冻，其中微波解冻及冰箱解冻盐溶性蛋白显著高于空气解冻、静水解冻 ( $P < 0.05$ )。空气解冻其盐溶性蛋白含量最低，分别为 63.84 (对照组)、72.80 (处理组 A)、84.83 mg/g (处理组 B)，较微波解冻分别下降了 26.62%、17.10%、5.42%。本研究中，微波解冻可有效减缓海鲈鱼解冻的盐溶性蛋白含量下降，而冰箱解冻盐溶性蛋白含量与微波差异不明显 ( $P > 0.05$ )。另外，添加海藻糖协同复合磷酸盐处理能明显减缓海鲈鱼解冻盐溶性蛋白含量的下降，其主要原因是添加复合磷酸盐可螯合金属离子，提高蛋白质的水合作用，同时解离肌动球蛋白提高其盐溶性蛋白含量<sup>[4]</sup>，解冻过程中，大型冰晶消融会破坏蛋白质的结合状态，使部分化学键受到破坏，引起蛋白质的变性。而海藻糖含有的游离羟基能增强自由水转化成结合水的能力，从而减少解冻过程中冰晶生长或重结晶，保护蛋白质的三维空间结构，提高其蛋白稳定性<sup>[10]</sup>。采用空气解冻、冰箱解冻、静水解冻对样品进行解冻处理，处理组 A 与处理组 B 较对照组均可减缓其盐溶性蛋白含量的降低，且空气处理组 B (添加海藻糖 + 复合磷酸盐) 对于处理 A (添加复合磷酸盐)，效果较优，这与于魏等<sup>[38]</sup>不同磷酸盐复配在对草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 鱼糜盐溶蛋白的影响一致。

#### 2.1.6 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片菌落总数影响



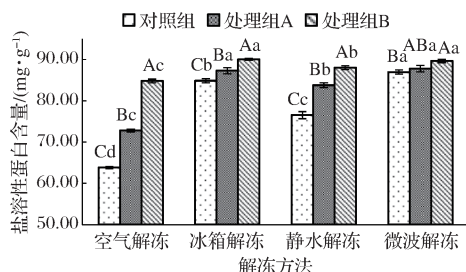


图4 解冻方法及抗冻剂海鲈鱼鱼片盐溶性蛋白影响

Fig. 4 Effect of thawing method and antifreeze on salt-soluble protein of *Perca fluviatilis* fillet

解冻过程中微生物出现大量繁殖,导致海鲈鱼鱼片解冻品质下降<sup>[1]</sup>。如图5所示,4种解冻方法中,对照组鱼片菌落总数均高于处理组A、处理组B,差异显著( $P < 0.05$ ),且对于空气解冻、冰箱解冻、静水解冻而言,处理组B的菌落总数显著低于处理组A( $P < 0.05$ ),微波解冻处理组B菌落总数低于处理组A,但差异不显著( $P > 0.05$ )。不同解冻方法比较而言,海鲈鱼鱼片菌落总数顺序为微波解冻 < 静水解冻 < 冰箱解冻 < 空气解冻,且其解冻方法水平间均值差异显著( $P < 0.05$ )。相关研究普遍将 6.0 lg CFU/g 作为菌落总数的限值。本研究中,微波解冻对照组、处理组A、处理组B的菌落总数分别为 1.26、0.87、0.75 lgCFU/g,分别为空气解冻的 19.09%、16.17%、14.23%。由此可知,微波解冻可有效降低海鲈鱼鱼片解冻过程中菌落总数升高,这与微波解冻过程中温度升高导致的热杀菌效应有关,这与崔瑾<sup>[39]</sup>对小黄鱼(*Pseudociaena polyactis*)进行微波解冻,小黄鱼的菌落总数接近新鲜鱼值,能够较好地维持鱼体鲜度的报道一致。另外,静水解冻过程对冻品具有水封隔氧作用,腐败菌繁殖受到抑制,其菌落总数也相对较低,而空气解冻腐败菌在温度及氧气的作用下增殖明显。研究报道<sup>[40]</sup>,添加磷酸盐对水产品中的枯草芽孢菌及藤黄微球菌有一定抑制作用,进一步验证了本结论。

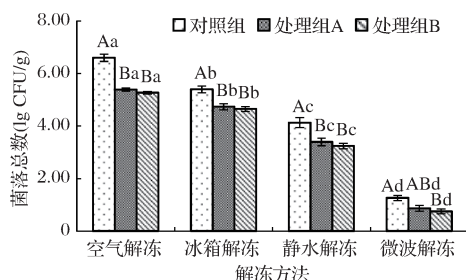


图5 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片菌落总数影响

Fig. 5 Effect of thawing method and antifreeze on total number of colonies of *Perca fluviatilis* fillet

## 2.1.7 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片弹性影响

弹性与肌肉间结合力大小密切相关,肌肉间结合力越大,其质构特性保持作用越好<sup>[26]</sup>。贮藏过程中,在内源酶、特定细胞间结合力逐渐下降,从而引起海鲈鱼鱼片肌肉组织崩解及弹性降低,另外,BADII等<sup>[41]</sup>指出弹性下降可能是因为解冻过程中冰晶融化,破坏了细胞结构。如图6所示,采用空气解冻、冰箱解冻、静水解冻对海鲈鱼鱼片进行解冻,相对于对照组,处理组A、处理组B可显著提高解冻鱼片弹性( $P < 0.05$ ),且采用冰箱解冻、静水解冻,处理组B较处理组A弹性高,且差异显著( $P < 0.05$ ),而微波解冻其弹性变化不明显( $P > 0.05$ )。不同解冻方法比较而言,鱼片弹性指标顺序为空气解冻 < 静水解冻 < 冰箱解冻 < 微波解冻,且差异显著( $P < 0.05$ )。本研究中,微波解冻和冰箱解冻可有效维持海鲈鱼鱼片弹性,且处理组B较处理组A比较而言,可进一步延缓鱼片解冻过程中弹性降低。张根生等<sup>[42]</sup>采用静水对鸡胸肉进行解冻发现,与其他解冻温度相比,低温(4℃)解冻其弹性显著好于其他温度解冻处理组,与本实验研究较一致。叶伏林等<sup>[43]</sup>研究4次反复冻融对黄鳍金枪鱼肉品质的影响表明,随着冻结次数增多,其弹性显著下降,这反复冻融所导致的冰晶生长及重结晶有关,而本实验中添加抗冻剂可有效减缓冰晶消融过程中海鲈鱼鱼片组织蛋白的破坏,维持其较高弹性。

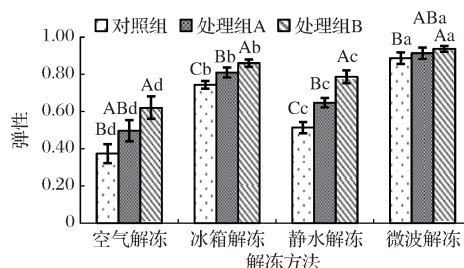


图6 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片弹性影响

Fig. 6 Effect of thawing method and antifreeze on elasticity of *Perca fluviatilis* fillet

## 2.1.8 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性影响

$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性可以反映冻藏过程中肌球蛋白分子的完整性,被广泛用于表征蛋白质变性程度<sup>[44]</sup>。如图7所示,同一解冻方法而言,采用空气解冻、冰箱解冻、静水解冻过程中,海鲈鱼鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的顺序均为对照组 < 处理组A < 处理组B,且差异显著( $P < 0.05$ )。不同解冻方法比较而言,

鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性(对照组及处理组 A)的顺序均为空气解冻 < 静水解冻 < 冰箱解冻 < 微波解冻,且差异显著( $P < 0.05$ )。本研究发现,微波解冻及冰箱解冻在一定程度上可以抑制  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性降低,且对于采用空气解冻及静水解冻而言,处理组 B 较处理 A 维持  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性效果显著( $P < 0.05$ )。在解冻过程中,肌动球蛋白的头部结构会发生变化,严重时会造成二硫键,进而导致其酶活性的下降或丧失。董开成等<sup>[45]</sup>研究表明, $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性与冻藏温度关系密切,冻藏温度越高其变性程度与本实验存在差异,这可能与本实验采用解冻介质有关。戚勃等<sup>[46]</sup>研究琼胶寡糖对冻虾仁和罗非鱼片品质影响发现,添加琼胶寡糖组的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性显著高于空白对照组,这与本研究结果一致。

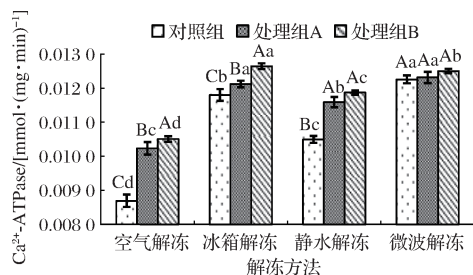


图7 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性影响

Fig. 7 Effect of thawing method and antifreeze on  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of *Perca fluviatilis* fillet

### 2.1.9 解冻方法及抗冻剂对海鲈鱼鱼片白度值影响

白度值的下降主要是由于脂肪氧化产生自由基等中间产物破坏鱼肉中色素,使鱼肉产生褐变<sup>[24]</sup>。如图8所示,对于空气解冻而言,海鲈鱼鱼片白度值大小顺序为对照组 < 处理组 A < 处理组 B,且差异显著( $P < 0.05$ ),而其他3种解冻方法中白度值变化不明显。不同解冻方法比较而言,鱼片白度值表现为空气解冻 < 冰箱解冻 < 微波解冻 < 静水解冻,且差异显著( $P < 0.05$ ),处理组显著高于对照组( $P < 0.05$ ),处理组 B 与处理组 A 比较,差异不显著( $P > 0.05$ )。静水解冻和微波解冻在一定程度上可减缓海鲈鱼鱼片解冻后白度值降低,且处理组显著高于对照组( $P < 0.05$ ),处理组 B 与处理组 A 比较,差异不显著( $P > 0.05$ )。本研究发现,空气解冻对应的白度值较低,这可能是冻品暴露于空气中,出现海鲈鱼鱼片脂肪氧化导致其白度值下降。另外,空气解冻过程中冻品蛋白质变性加剧及菌落总数增加也易导致其白度值下降。而静水解冻可以维持鱼片较高的白度值,这是由于静水解冻阻

碍空气对鱼片脂肪氧化作用所致。SARMA 等<sup>[19]</sup>结果与研究一致。

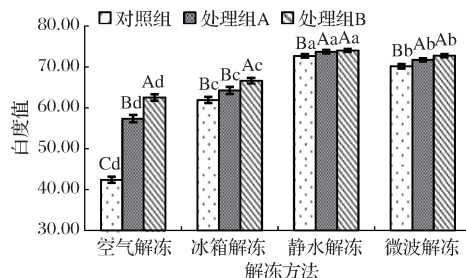


图8 解冻方法及抗冻剂海鲈鱼鱼片白度值影响

Fig. 8 Effect of thawing method and antifreeze on whiteness of *Perca fluviatilis* fillet

### 2.2 海鲈鱼鱼片解冻各品质指标主成分分析

对海鲈鱼鱼片解冻9个品质指标进行主成分分析,由表3可知,特征值 > 1 的有2个主成分,总方差贡献率 83.073% 来自前3个主成分,其方差贡献率依次为 69.010%、14.063%。说明使用这2个主成分能较好代替上述9项解冻品质指标。在主成分矩阵中,检测绝对值可反映其对主成分贡献率大小。比较第1主成分中贡献率大小为弹性 >  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性 > 蒸煮损失率 > 盐溶性蛋白含量 > 汁液流失率 > 菌落总数 > 解冻速率。解冻速率、汁液流失率、蒸煮损失率、盐溶性蛋白含量、菌落总数、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、白度值在第1主成分上有较高载荷,说明第1主成分可以主要反映这8个指标信息,其中,解冻速率、盐溶性蛋白含量、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、白度值在正坐标处具有较高载荷,表明上述指标间呈正相关,而汁液流失率、蒸煮损失率、菌落总数在负坐标处有较高载荷,上述各指标呈正相关,而A类指标(解冻速率、盐溶性蛋白含量、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、白度值)与B类指标(汁液流失率、蒸煮损失率、菌落总数)间呈负相关,其相关系数  $r$  的大小及统计学意义需进一步考察。与第1主成分相关性较大的变量是解冻速率、汁液流失率、蒸煮损失率、盐溶性蛋白含量、菌落总数、弹性、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、白度值,而第2主成分相关性较大的变量为 pH。第1主成分反映海鲈鱼鱼片解冻蛋白质变性及脂肪氧化程度,第2主成分相关性较大变量为 pH,第2主成分反映海鲈鱼鱼片氢离子电解程度。由表4可知,得分系数表示各个指标对主成分的影响程度,通过得分系数可以将各个变量进行线性组合,建立关于第1主成分( $Y_1$ )、第2主成分( $Y_2$ )与解冻速率( $X_1$ )、汁液流失率( $X_2$ )、蒸煮损失率( $X_3$ )、pH( $X_4$ )、盐溶性蛋白含量( $X_5$ )、菌落

总数( $X_6$ )、弹性( $X_7$ )、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性( $X_8$ )、白度值( $X_9$ )这 9 个变量的得分系数模型,由此第 1 主成分提取为  $Y_1 = 0.103X_1 - 0.141X_2 - 0.153X_3 - 0.047X_4 + 0.152X_5 - 0.132X_6 + 0.156X_7 + 0.154X_8 + 0.129X_9$ ;第 2 主成分提取为  $Y_2 = -0.361X_1 - 0.363X_2 - 0.222X_3 + 0.591X_4 + 0.150X_5 + 0.295X_6 + 0.021X_7 + 0.062X_8 - 0.128X_9$ 。利用 2 个主成分回归函数的因子得分系数可分别计算 2 个主成分得分,以每个主成分的方差贡献率作为权数可进一步建立综合评价函数<sup>[47]</sup>,并计算综合得分,综合得分越高表明海鲈鱼鱼片解冻品质越好,该线性回归函数对于后续综合评价海鲈鱼鱼片解冻品质具有参考意义。

表 3 主成分方差分析

Table 3 Analysis of variance for PCA

成分	初始特征值			提取平方与载入		
	特征根	方差贡献率%	累计方差贡献率%	特征根	方差贡献率%	累计方差贡献率%
1	6.211	69.010	69.010	6.211	69.010	69.010
2	1.266	14.063	83.074	1.266	14.063	83.074
3	0.948	10.533	93.607			
4	0.450	5.005	98.611			
5	0.067	0.748	99.359			
6	0.031	0.347	99.706			
7	0.019	0.216	99.922			
8	0.006	0.068	99.990			
9	0.001	0.010	100.000			

表 4 主成分载荷矩阵及得分系数

Table 4 Loading matrix and coefficient of score for PCA

指标	成分载荷		得分系数	
	1	2	1	2
解冻速率	0.637	-0.456	0.103	-0.361
汁液流失率	-0.873	-0.460	-0.141	-0.363
蒸煮损失率	-0.948	-0.281	-0.153	-0.222
pH	-0.292	0.748	-0.047	0.591
盐溶性蛋白含量	0.941	0.190	0.152	0.150
菌落总数	-0.821	0.373	-0.132	0.295
弹性	0.969	0.026	0.156	0.021
$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性	0.956	0.078	0.154	0.062
白度值	0.803	-0.162	0.129	-0.128

### 3 结论

综上所述,与其他解冻方法比较,微波解冻、静水解冻可显著提高海鲈鱼鱼片解冻速率。微波解冻、冰箱解冻可有效维持海鲈鱼鱼片的解冻品质。对于常规的 3 种解冻方法(空气解冻、冰箱解冻、流水解冻)而言,与对照组比较,添加海藻糖协同复合磷酸盐处理及添加复合磷酸盐均可在一定程度上维持海鲈鱼鱼片解冻品质,且相对于采用空气解冻及静水解冻法

而言,处理组 B 解冻品质显著优于处理组 A ( $P < 0.05$ )。主成分分析表明,9 个解冻检测指标可简化为 2 个主成分,其方差总贡献率为 83.074%,能较好地反映原始信息。

### 参 考 文 献

- [1] 唐文静,王楚文,柳云龙,等. 冷藏海鲈鱼优势腐败菌的筛选和鉴定[J]. 食品科学,2016,37(3):170-174.
- [2] 高志立,谢晶. 水产品低温保鲜技术的研究进展[J]. 广东农业科学,2012,39(14):98-101.
- [3] SALLAM K I. Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids[J]. Food Chemistry, 2007,101(2):592-600.
- [4] REQUENA J R, CHAO C C, LEVINE R L, et al. Glutamic and aminoadipic semialdehydes are the main carbonyl products of metal-catalyzed oxidation of proteins[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 2001,98(1):69-74.
- [5] 韩敏义,李巧玲,陈红叶. 复合磷酸盐在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2004, (3):93-96.
- [6] 高艳红. 磷酸盐对速冻肌肉丸保水性功能特性影响的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2009.
- [7] 冯宪超,白云,贾旭,等. 射频加热和蒸煮加热对西式火腿品质和肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2017,40(12):346-351.
- [8] UIJTENBOOGAART T, TRZISZKA L T, FIG S. Cryoprotectant effects during short time frozen storage of chicken myofibrillar protein isolates[J]. Journal of Food Science, 2010,58(2):274-277.
- [9] 陈秋妹,付才力,汪少芸,等. 多聚磷酸盐对鱼排保水性的影响及其作用机理[J]. 中国食品学报,2016,16(4):65-71.
- [10] 苏赵,胡强,李树红,等. 海藻糖对草鱼鱼糜冷冻藏品质的影响[J]. 食品与机械,2017,33(7):139-144.
- [11] 李天翔,包海蓉,王锡昌,等. 不同解冻方式对鳕鱼肉蛋白及组胺变化的影响[J]. 食品与发酵工业,2017,43(3):180-185.
- [12] 周果,王芝妍,陈霞霞,等. 贮藏温度及解冻方式对鲈鱼肉蛋白生化特性的影响[J]. 中国食品学报,2016,16(7):164-169.
- [13] BOONSUMREJ S, CHAIWANICHISIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007,80(1):292-299.
- [14] XIA X, KONG B, LIU J, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012,46(1):280-286.
- [15] 薛勇,薛长湖,李兆杰,等. 海藻糖对冻藏过程中鲢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.
- [16] 陶爱芬,祁建民,林培青,等. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价[J]. 中国农业科学,2008,41(9):2859-2867.
- [17] GHOSH D, CHATTOPADHYAY P. Application of principal component analysis (PCA) as a sensory assessment tool for fermented food products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(3):328-334.
- [18] 俞裕明,李汴生,朱志伟,等. 不同冻结速率对南方鲇冷冻鱼片理化和感官品质的影响[J]. 上海水产大学学报,2008,17(3):



350-356.

- [19] SARMA J, REDDY G V S, SRIKAR L N. Effect of frozen storage on lipids and functional properties of proteins of dressed Indian oil sardine (*Sardinella Longiceps*) [J]. Food Research International, 2000, 33(10): 815-820.
- [20] 高文宏, 罗嫚, 唐相伟, 等. 微波解冻猪里脊肉过程的优化设计研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 151-155, 111.
- [21] 余小领, 李学斌, 闫利萍, 等. 不同冻结和解冻速率对猪肉保水性和超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 261-265.
- [22] 王一帆, 宋晓燕, 刘宝林. 冷藏期间三文鱼片的力学特性变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 212-216.
- [23] 张宁宁, 郑宝东, 张翀, 等. 加工条件对大黄鱼鱼肉抗氧化肽功能特性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 152-155.
- [24] 迟海, 李学英, 杨宪时, 等. 红酒提取物对南极磷虾贮藏过程中抗氧化效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 153-158.
- [25] 谢晶, 杨胜平. 生物保鲜剂结合气调包装对带鱼冷藏货架期的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 376-382.
- [26] 陆云飞, 张宾, 祝剑娜, 等. 褐藻胶寡糖对南美白对虾虾仁品质特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 267-271.
- [27] BENJAKUL S, SEYMOUR T A, MORRISSEY M T, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 729-733.
- [28] 万建荣, 洪玉蓉, 吴光红, 等. 水产食品化学分析手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1993.
- [29] ZHANG T, XUE Y, LI Z, et al. Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120 °C) treatment[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 125-131.
- [30] 唐梦, 岑剑伟, 李来好, 等. 高压静电场解冻对冻罗非鱼片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 1-6.
- [31] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review[J]. Meat Science, 2012, 91(2): 93-98.
- [32] 郭恒, 钱怡, 李颖杰, 等. 解冻温度对冷冻鲈鱼品质、质构及超微结构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 49-56.
- [33] 阮征, 李沛生, 朱志伟. 不同冻结速率对脆肉鲩鱼片冻结特性的影响研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 250-254.
- [34] 姜晴晴, 吴春华, 董开成, 等. 解冻方式对带鱼蛋白性质及肌肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 17-27.
- [35] 刘颖. 复合磷酸盐食品添加剂的开发及应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [36] 张珂. 保水剂和解冻方法对冻藏罗非鱼片品质的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2016.
- [37] 宋丽丽, 郗海燕, 葛林梅, 等. 提高冻藏鲮鱼片解冻品质的研究[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(1): 105-108.
- [38] 于巍, 周坚. 草鱼盐溶蛋白保水性及流变性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 72-75.
- [39] 崔瑾. 冷冻鱼的微波解冻方法研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2012.
- [40] 沈飏, 胡兴娉, 徐君辉, 等. 水产品中添加剂多聚磷酸盐抑菌效果的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 54-57.
- [41] BADII F, HOWELL N K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage[J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(4): 313-319.
- [42] 张根生, 张红蕾, 岳晓霞, 等. 低温静水解冻对鸡胸肉品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 167-172.
- [43] 叶伏林, 顾赛麒, 刘源, 等. 反复冻结-解冻对黄鳍金枪鱼肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 172-177.
- [44] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, TUEKSUBAN J. Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Snurida tumbil*) during post-mortem storage in ice[J]. Food Chemistry, 2003, 80(4): 535-544.
- [45] 董开成, 杨水兵, 余海霞, 等. 不同预冻条件对小黄鱼品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 225-231.
- [46] 戚勃, 杨贤庆, 李来好, 等. 琼胶寡糖对冻虾仁和罗非鱼片品质的影响[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 72-79.
- [47] 谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 等. 基于主成分分析法分析不同包装材料对双孢蘑菇品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 286-291.

## (上接第 209 页)

- [15] LARREA V, HERNANDO I, QUILES A, et al. Changes in proteins during teruel dry-cured ham processing[J]. Meat Science, 2006, 74(3): 586-593.
- [16] MORA L, SENTANDREU M A, FRASER P D, et al. Oligopeptides arising from the degradation of creatine kinase in spanish dry-cured ham[J]. Journal of Agricultural And Food Chemistry, 2009, 57(19): 8 982-8 988.
- [17] 马菲, 郇延军, 刁欣悦. 酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 55-63.
- [18] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: A review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [19] KATO H, RHUE M R, NISHIMURA T. Role of free amino-acids and peptides in food taste[J]. Acs Symposium Series, 1989, 388: 158-174.
- [20] DEMASI T W, WARDLAW F B, DICK R L, et al. Nonprotein nitrogen (nPN) and free amino-acid contents of dry, fermented and nonfermented sausages[J]. Meat Science, 1990, 27(1): 1-12.
- [21] ASTIASARAN I, VILLANUEVA R, BELLO J. Analysis of proteolysis and protein insolubility during the manufacture of some varieties of dry sausage[J]. Meat Science, 1990, 28(2): 111-117.
- [22] CARERI M, MANGIA A, BARBIERI G, et al. Sensory property relationships to chemical-data of italian-type dry-cured ham[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5): 968-972.
- [23] BRUNTON N P, LYG J G, ZHANG L, et al. The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef biceps femoris muscle during cooking from 5 to 85 degrees C[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 236-244.
- [24] RENOU J P, FOUCAT L, BONNY J M. Magnetic resonance imaging studies of water interactions in meat[J]. Food Chemistry, 2003, 82(1): 35-39.
- [25] 孟祥忍, 王恒鹏, 谢静, 等. 真空低温烹饪对牛肉微观结构与理化性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(9): 152-158.