

## 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼品质的影响

刘妙<sup>1,2</sup>, 杨宪时<sup>1\*</sup>, 张小伟<sup>1</sup>, 李学英<sup>1</sup>, 迟海<sup>1</sup>

1(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海, 200090)

2(上海海洋大学食品学院, 上海, 201306)

**摘 要** 以解冻损失、蒸煮损失、加压失水率、嫩度、质构特性、色泽、盐溶性蛋白质含量(SSP)和活性巯基含量为指标,将鱿鱼分别进行0、1、3、5、7次冻融处理,研究复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼品质的影响,并和对照组进行了比较。实验结果显示:随着冻融次数的增加,解冻损失、蒸煮损失和加压失水率随之增加,且复配组均显著低于对照组( $P < 0.05$ );最大剪切力先增大后减小,质构特性(硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性)逐渐变差, $L^*$ 值、 $a^*$ 值下降, $b^*$ 值增加,复配组嫩度、TPA和色泽指标均优于对照组,但和对照组没有显著性差异( $P > 0.05$ );盐溶性蛋白质含量和活性巯基含量下降,和对照组差异显著( $P < 0.05$ )。这表明,复配保鲜剂能够提高鱿鱼的保水性和嫩度,改善其质构特性和色泽,提高鱿鱼的SSP含量和活性巯基含量,保持冻藏鱿鱼的品质。

**关键词** 复配保鲜剂;冻融循环;鱿鱼;肉品质

鱿鱼又名柔鱼、枪乌贼,软体动物类,是目前世界上最具开发潜力的大洋海产品之一<sup>[1]</sup>。鱿鱼的捕获量大,营养价值非常高,富含蛋白质、钙、牛磺酸、磷、 $V_{B_1}$ 等多种人体所需的营养成分,且脂肪含量极低,粗脂肪含量仅有1.6%~2.0%<sup>[2]</sup>。冻藏是鱿鱼保鲜贮藏最主要的方式,能够抑制微生物的生长,降低酶的活性,较长时间地保持鱿鱼的品质。然而,冻藏容易使持水性降低,蛋白质发生变性,肌肉组织变差,色泽变暗。影响冻藏品质的因素有很多,包括温度、冷冻和解冻速度、温度的波动等<sup>[3]</sup>。鱿鱼从捕捞后在船上原条冻结,在鱿鱼加工和市场消费过程中,都需要解冻后再冻结,另外在贮藏运输中会由于温度的波动不可避免地出现反复冻融过程。反复冻融会引起重结晶现象的发生,致使冰晶数量减少和体积增大,破坏细胞膜结构,损伤细胞组织结构,加速脂肪氧化和蛋白质变性<sup>[3]</sup>,所以冻融循环对鱿鱼的品质会产生很大的不利影响。

反复冻融对肉制品品质的影响受到了国内外许多学者的关注。姜晴晴等<sup>[3]</sup>研究了冻融循环对秘鲁鱿鱼蛋白及肌肉品质的影响,发现反复冻融能促进蛋白和脂肪发生氧化,导致鱿鱼肌肉品质下降。THA-

NONKAEW等<sup>[4]</sup>研究了反复冻融对乌贼肌肉氧化程度、色泽及蛋白质生化影响,发现反复冻融会促进脂肪氧化和蛋白聚集。然而,保鲜剂对反复冻融肉类的影响研究较少,郭锐等<sup>[5]</sup>研究了 $\kappa$ -卡拉胶、复合磷酸盐对反复冻融猪肉香肠品质的影响,发现 $\kappa$ -卡拉胶可显著提高香肠的出品率,改善质构;复合磷酸盐可显著提高香肠的保水性,并对香肠内部水分分布也有改善作用。关于复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼品质的影响目前还未见报道。

实验选取由5%海藻糖、6%乳酸钠和0.5%混合磷酸盐组成的复配保鲜剂<sup>[6]</sup>,以鱿鱼的解冻损失、蒸煮损失、加压失水率、嫩度、质构特性、色泽、盐溶性蛋白质含量和活性巯基含量为指标,研究复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验样品为北太平洋鱿鱼,2013年9月在经纬度为155°42'E,42°55'N的公海区域捕捞,船上冻结后-20℃冻结状态下运至实验室,-80℃贮藏备用。

海藻糖、乳酸钠、混合磷酸盐[ $m$ (三聚磷酸钠): $m$ (焦磷酸钠): $m$ (六偏磷酸钠)=2:2:1]、考马斯亮蓝G-250、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)、三羟甲基氨基甲烷、牛血清蛋白、无水乙醇、 $H_3PO_4$ 、KCl、 $KH_2PO_4$ 、NaOH、HCl等,试剂均为分析纯或化学纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器设备

第一作者:硕士研究生(杨宪时研究员为通讯作者,E-mail:xian-shiyang@126.com)。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)(No.2012AA092303)资助;上海市农业科技成果转化项目(沪农科转字(2015)第2-1号)资助

收稿日期:2015-10-25,改回日期:2015-12-02

CR-400 色差仪, CHROMA METER 日本; TMS-Pro 质构仪, Food Technology Corporation 美国; 5810R 高速冷冻离心机, Eppendorf 德国; JYL-350 绞肉机, 上海九阳股份有限公司; IUL 均质机, 西班牙; 721 可见分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; HH-8 恒温水浴锅; YP200N 电子天平, 上海菁海仪器有限公司; MPR-414F 冰箱, Sanyo 日本等。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品处理

鱿鱼从  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中取出, 流水解冻。去除头部、内脏和皮, 胴体切成  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  鱿鱼片 (约  $10\text{ g}$ ) 备用。将鱿鱼片在复配保鲜剂 (5% 海藻糖、6% 乳酸钠、0.5% 混合磷酸盐) 中浸渍  $60\text{ min}$ , 复配保鲜剂溶液与鱿鱼比例为  $2:1\text{ (mL:g)}$ , 取出后用吸水纸吸干水分, 对照组不加保鲜剂。将复配组 and 对照组鱿鱼片分别装入保鲜袋中, 然后放入  $(-20 \pm 0.1)\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中贮藏。

取冻藏在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  的鱿鱼片, 室温解冻至中心温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 然后放回  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中贮藏, 作为一个冻融循环。5 d 为一个循环, 分别进行 0、1、3、5、7 个冻融循环。定期取出样品进行相关指标的测定。

#### 1.3.2 解冻损失测定

取样品, 称重  $m_0$ , 在室温下解冻至中心温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 用吸水纸吸干表面水分, 称重  $m_1$ , 按公式 (1) 计算解冻损失。

$$\text{解冻损失} / \% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $m_0$  为解冻前样品的质量, 单位为  $\text{g}$ ;  $m_1$  为解冻后样品的质量, 单位为  $\text{g}$ 。

#### 1.3.3 蒸煮损失测定

解冻后的样品在沸水中煮  $1\text{ min}$  后冷却至室温, 用吸水纸吸干表面水分, 称重  $m_2$ , 按公式 (2) 计算蒸煮损失。

$$\text{蒸煮损失} / \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中:  $m_1$  为解冻后样品的质量,  $\text{g}$ ;  $m_2$  为蒸煮后样品的质量,  $\text{g}$ 。

#### 1.3.4 加压失水率测定

取鱿鱼肉块, 准确称取其质量  $m_1$ , 将样品上下各垫 10 层滤纸, 用 TMS-Pro 质构仪,  $35\text{ kg}$  压力压  $5\text{ min}$ , 压完后称其质量  $m_2$ , 按公式 (3) 计算加压失水率。

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

式中:  $m_1$  为加压前样品的质量,  $\text{g}$ ;  $m_2$  为加压后样品的质量,  $\text{g}$ 。

#### 1.3.5 最大剪切力测定

取  $1\text{ cm}$  宽  $1\text{ cm}$  厚的鱿鱼条, 采用 TMS-Pro 型质构仪, 通过 Texture Lab Pro 软件测定鱿鱼的剪切力。最大力量感应量程:  $1\text{ }000\text{ N}$ , 回程距离:  $20\text{ mm}$ , 测试速度:  $60\text{ mm/min}$ , 结果以剪切力 ( $\text{N}$ ) 表示。每组样品测定 5 次, 最终结果取平均值。

#### 1.3.6 质构测定

鱿鱼片解冻后进行质构测定。采用 TMS-Pro 型质构仪, 测定鱿鱼的硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性。测前速率为  $60\text{ mm/min}$ , 测试速率为  $60\text{ mm/min}$ , 形变量为  $60\%$ 。每组样品测定 5 次, 结果取平均值。

#### 1.3.7 色泽测定

参照 CHANG 等<sup>[7]</sup>方法, 将解冻后的鱿鱼片用吸水纸吸去水分, 用色差仪测定样品的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。 $L^*$  表示亮度,  $+a^*$  表示偏红,  $-a^*$  表示偏绿;  $+b^*$  表示偏黄,  $-b^*$  表示偏蓝。每组样品测定 10 次, 取平均值进行计算。

#### 1.3.8 盐溶性蛋白质含量测定

参考文献 [8] 作适当修改, 用绞肉机把鱿鱼绞碎, 取  $4\text{ g}$  装入均质袋中, 加入 10 倍量的冰冷的  $0.6\text{ mol/L}$  的  $\text{KCl}$  溶液,  $\text{pH } 7.2$ , 均质 2 次, 每次  $30\text{ s}$ , 在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  下提取  $2\text{ h}$ , 然后离心 ( $8\text{ }000\text{ r/min}$ ,  $20\text{ min}$ ,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。收集上清液, 加入 3 倍量的冷水再次离心 ( $8\text{ }000\text{ r/min}$ ,  $20\text{ min}$ ,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。所得上清液即为盐溶性蛋白溶液。采用考马斯亮蓝法测定蛋白质含量, 用牛血清蛋白测定标准曲线 (标准曲线为  $y = 0.0057x + 0.0144$ ,  $R^2 = 0.9983$ ), 计算结果以  $\text{mg/g}$  表示, 每组试验做 3 个平行。

#### 1.3.9 肌动球蛋白的提取

肌动球蛋白根据 MACDONALD 等<sup>[9]</sup>的方法制备。取绞碎后的鱿鱼肉  $4\text{ g}$ , 装入均质袋中, 加入  $40\text{ mL}$  冰冷的 ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  $0.6\text{ mol/L}$  的  $\text{KCl}$  溶液,  $\text{pH } 7.0$ 。均质  $4\text{ min}$ , 每均质  $20\text{ s}$ , 放在冰中间歇  $20\text{ s}$ , 防止均质过热。然后离心 ( $8\text{ }000\text{ r/min}$ ,  $30\text{ min}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 收集上清液加入 3 倍体积的冰冷的去离子水稀释肌动球蛋白。再离心 ( $8\text{ }000\text{ r/min}$ ,  $20\text{ min}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 所得沉淀加入等量的冰冷的  $1.2\text{ mol/L}$  的  $\text{KCl}$  溶液,  $\text{pH } 7.0$ , 在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  下搅拌  $30\text{ min}$ , 不溶部分再次离心 ( $8\text{ }000\text{ r/min}$ ,  $20\text{ min}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<sup>[9]</sup>。所得肌动球蛋白溶液用  $0.6\text{ mol/L}$   $\text{KCl}$  溶液调节到  $4\text{ mg/mL}$ , 冷藏备用。

## 1.3.10 活性巯基含量测定

参照 BENJAKUL 等<sup>[9]</sup>方法,采用 DTNB 法测定活性巯基含量。取 1 mL 的 4 mg/mL 肌动球蛋白溶液,加入 9 mL 0.2 mol/L Tris-HCl 缓冲液, pH 6.8。取 4 mL 混合物,加入 0.4 mL 0.1% 5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)溶液,在 40 ℃ 下反应 25 min,溶液在 412 nm 下测定吸光值。空白用 0.6 mol/L KCl 溶液代替。每组试验做 3 个平行。活性巯基含量按照公式(4)进行计算:

$$C_0 = \frac{A \times D}{\varepsilon \times \rho} \quad (4)$$

式中: $C_0$ 为巯基的摩尔浓度(mol/g); $A$ 为吸光值; $D$ 为稀释倍数; $\varepsilon$ 为吸光系数[L/(mol·cm)]; $\rho$ 为蛋白浓度(mg/mL)。

## 1.4 统计分析

实验数据采用 Microsoft Excel 2010 进行统计分析。用 SPSS 17.0 进行差异显著性分析。 $P < 0.05$  为差异显著, $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果与讨论

## 2.1 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼解冻损失和蒸煮损失的影响

复配组和对照组鱿鱼的解冻损失和蒸煮损失分别如图 1、图 2 所示。由图 1、图 2 可知,随着反复冻融次数的增加,复配组和对照组鱿鱼的解冻损失和蒸煮损失逐渐增加,变化极显著( $P < 0.01$ )。鱿鱼冷冻后,肌肉中的水分在冻结过程中体积增大,使得肌细胞膜冻裂,导致水分流失,解冻时细胞中的汁液渗透变多,从而解冻损失增加。复配组解冻损失和蒸煮损失均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。经过 7 次反复冻融处理后,复配组和对照组的解冻损失分别增加至 8.06% 和 10.75%,蒸煮损失分别增加至 16.56% 和 20.33%。实验结果表明,在鱿鱼中加入复配保鲜剂可以有效减缓反复冻融过程中解冻损失和蒸煮损失的增加,提高冻藏鱿鱼保水性。

## 2.2 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼加压失水率的影响

由图 3 可知,随着冻融次数的增加,复配组和对照组的加压失水率都呈上升趋势,且对照组都高于复配组。冻融 1 次,复配组和对照组的加压失水率差异不显著( $P > 0.05$ ),冻融 3 次、5 次和 7 次,复配组和对照组加压失水率差异显著( $P < 0.05$ )。冻融处理 7 次后,复配组和对照组的加压失水率分别达到了 31.67% 和 40.47%,相比起始点分别增加了 11.97%

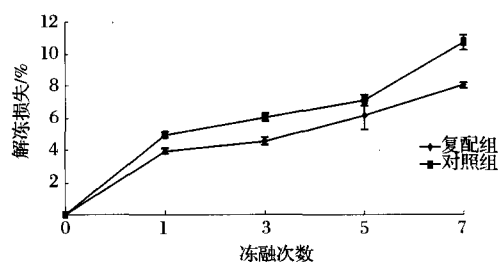


图 1 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼解冻损失的影响

Fig. 1 Effects of complex preservatives on thawing loss of freeze-thaw cycles squid

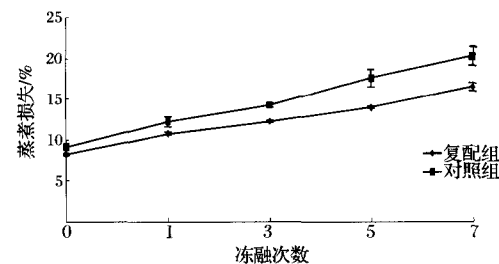


图 2 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼蒸煮损失的影响

Fig. 2 Effects of complex preservatives on cooking loss of freeze-thaw cycles squid

和 20.87%,对照组加压失水率的增加值是复配组加压失水率增加值的 1.7 倍。这表明,复配保鲜剂可以降低鱿鱼的加压失水率。

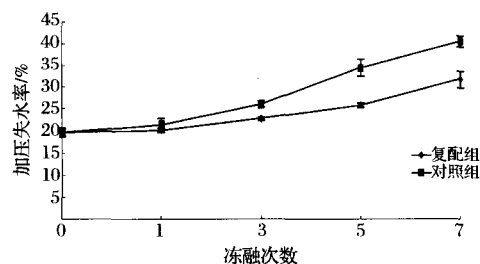


图 3 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼加压损失率的影响

Fig. 3 Effects of complex preservatives on pressurized water loss of freeze-thaw cycles squid

## 2.3 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼嫩度和质构的影响

剪切力是反映肉嫩度高低的指标,是肌肉中结缔组织的含量与性质及肌原纤维蛋白的化学结构状态的总体反映<sup>[10]</sup>。由图 4 可知,随着冻融次数的增加,复配组和对照组的最大剪切力均先增大后减小,这与 BOONSUMREJ 等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。复配组和对照组最大剪切力差异不显著( $P > 0.05$ )。常海军等<sup>[12]</sup>认为,汁液流失导致肉制品变硬,剪切力增大,而后由于肌纤维在冷冻-解冻过程中发生断裂,反复

冻融使肌肉的完整性遭到破坏,冰结晶的重新形成破坏了细胞膜、细胞器和肌肉的结构,从而使剪切力降低。相同冻融次数下,复配组的最大剪切力均大于对照组。冻融 0 次、1 次、7 次,复配组和对照组最大剪

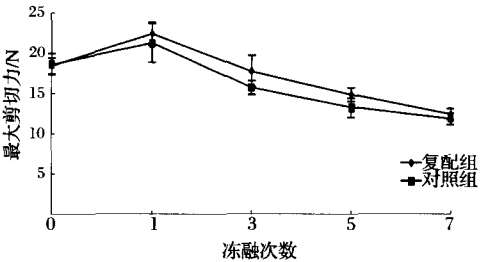


图 4 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼最大剪切力的影响

Fig. 4 Effects of complex preservatives on maximum shear force of freeze-thaw cycles squid

切力无显著差异 ( $P > 0.05$ ),冻融 3 次和 5 次,复配组和对照组最大剪切力差异显著 ( $P < 0.05$ )。

复配组和对照组鱿鱼在反复冻融中的质构变化见表 1。随着冻融次数的增加,复配组和对照组的内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性都有不同程度的降低,硬度先增加后降低,复配组和对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。复配组内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性均比对照组高,硬度在 0 次、1 次、3 次冻融处理时比对照组低。在反复冻融过程中,鱼体内的冰晶反复溶解、冻结,冰晶体积增大,对肌细胞形成机械损伤,蛋白变性加重,导致肌肉质构特性发生变化。实验结果表明,反复冻融造成鱿鱼嫩度下降,质构特性发生劣变,加入复配保鲜剂在某种程度上可以提高鱿鱼嫩度,减缓 TPA 指标的下降速率,但是效果不显著。

表 1 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼质构特性的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )

Table 1 Effects of complex preservatives on texture profile analysis of freeze-thaw cycles squid

冻融次数	组别	硬度/g	内聚性	弹性/mm	胶黏性/g	咀嚼性/(g·mm <sup>-1</sup> )
0	复配组	213.43 ± 19.07	0.28 ± 0.04	2.63 ± 0.05	54.18 ± 5.11	134.87 ± 8.78
	对照组	217.68 ± 21.73	0.28 ± 0.03	2.61 ± 0.07	55.60 ± 4.39	132.95 ± 9.37
1	复配组	228.38 ± 16.53	0.25 ± 0.04	2.55 ± 0.18	50.08 ± 2.35	125.76 ± 10.14
	对照组	234.66 ± 10.88	0.23 ± 0.01	2.48 ± 0.31	48.05 ± 3.38	129.24 ± 11.39
3	复配组	229.91 ± 23.64	0.20 ± 0.02	2.32 ± 0.10	42.88 ± 2.85	110.21 ± 10.59
	对照组	231.16 ± 19.87	0.19 ± 0.06	2.33 ± 0.36	39.35 ± 1.94	108.87 ± 9.65
5	复配组	222.54 ± 15.69	0.16 ± 0.02	2.24 ± 0.04	36.28 ± 3.09	86.25 ± 6.49
	对照组	218.38 ± 18.61	0.15 ± 0.02	2.26 ± 0.07	34.80 ± 4.35	88.76 ± 8.21
7	复配组	214.13 ± 16.21	0.14 ± 0.02	2.08 ± 0.04	33.40 ± 6.21	76.57 ± 9.43
	对照组	209.92 ± 24.65	0.13 ± 0.01	2.15 ± 0.15	30.20 ± 3.29	67.44 ± 10.67

#### 2.4 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼色泽的影响

肉制品的色泽是衡量肉品品质的重要因素。由表 2 可知,随着冻融次数的增加,复配组和对照组的亮度  $L^*$  值,红度  $a^*$  值都有下降,而黄度  $b^*$  值表现为

增加。但复配组和对照组  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值差异都不显著 ( $P > 0.05$ )。SRIKET 等<sup>[13-14]</sup>认为,冰晶的反复融化使细胞膜及细胞器破裂,使醇类物质释放,且在冻藏过程中发生脂肪水解及氧化,导致肉颜色变化。

表 2 复配保鲜剂对反复冻藏鱿鱼色泽的影响

Table 2 Effects of complex preservatives on color of freeze-thaw cycles squid

冻融次数	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
	复配组	对照组	复配组	对照组	复配组	对照组
0	66.31 ± 0.99	66.84 ± 0.67	-2.14 ± 0.14	-2.32 ± 0.05	-3.43 ± 0.41	-3.51 ± 0.45
1	66.19 ± 0.92	66.35 ± 0.92	-2.52 ± 0.10	-2.57 ± 0.09	-3.24 ± 0.44	-3.23 ± 0.49
3	65.72 ± 1.48	65.96 ± 0.33	-2.69 ± 0.11	-2.72 ± 0.13	-3.22 ± 0.72	-3.24 ± 0.46
5	65.14 ± 1.22	65.35 ± 0.87	-2.87 ± 0.10	-2.94 ± 0.19	-3.15 ± 0.36	-3.18 ± 0.50
7	64.37 ± 1.82	64.33 ± 0.84	-3.37 ± 0.12	-3.12 ± 0.17	-3.04 ± 0.34	-3.08 ± 0.59

#### 2.5 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼盐溶性蛋白质含量的影响

蛋白质的功能特性主要由肌原纤维蛋白决定,蛋白质变性后肌原纤维蛋白的溶解度降低,盐溶性蛋白

质量分数减少<sup>[15]</sup>。测定鱿鱼中的盐溶性蛋白质含量可以在一定程度上反映蛋白质的变性情况。复配组和对照组盐溶性蛋白质含量如图 5 所示。随着冻融次数的增加,复配组和对照组的盐溶性蛋白质含量都

呈下降的趋势,复配组的盐溶性蛋白质含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。反复冻融 5 次和 7 次,对照组 SSP 含量下降明显,和复配组差异显著 ( $P < 0.05$ )。经过 7 次冻融处理后,复配组和对照组的 SSP 含量分别降低至 12.81 mg/g 和 9.10 mg/g,相比起始点分别降低了 31.14% 和 52.23%,实验结果表明复配保鲜剂能有效延缓冷冻鱿鱼在反复冻融处理过程中的蛋白质变性。

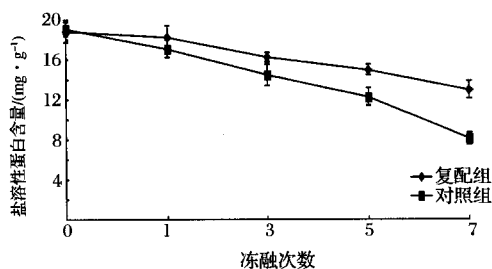


图5 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼盐溶性蛋白含量的影响

Fig. 5 Effects of complex preservatives on salt soluble protein of freeze-thaw cycles squid

## 2.6 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼活性巯基含量的影响

巯基含量是反映蛋白氧化的一个重要指标。蛋白质发生氧化可以使巯基(—SH)形成二硫键(—S—S—),随着氧化条件的增强还会生成亚砷等氧化产物<sup>[15]</sup>。所以蛋白质氧化程度越高,活性巯基含量越少。由图 6 可知,随着冻融循环次数的增加,复配组和对照组的活性巯基含量都明显降低。

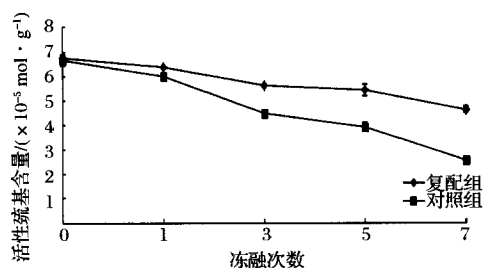


图6 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼活性巯基含量的影响

Fig. 6 Effects of complex preservatives on active sulphur content of freeze-thaw cycles squid

冻融 0 次时,鱿鱼活性巯基含量为  $6.75 \times 10^{-5}$  mol/g,经过 0 次、1 次冻融处理后,复配组和对照组活性巯基含量差异不显著 ( $P > 0.05$ ),3、5、7 次冻融循环处理后,复配组活性巯基含量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。经过 7 次反复冻融后,复配组和对照组的活性巯基含量分别为  $4.65 \times 10^{-5}$  mol/g 和  $2.58 \times$

$10^{-5}$  mol/g。在整个反复冻融过程中,复配组活性巯基含量下降了  $2.10 \times 10^{-5}$  mol/g,对照组下降了  $4.17 \times 10^{-5}$  mol/g。说明该复配保鲜剂可以在某些程度上抑制巯基氧化成二硫键,在反复冻融过程中可以提高鱿鱼的活性巯基含量,提高鱿鱼蛋白的稳定性。

## 3 结论

随着冻融次数的增加,复配组和对照组的解冻损失、加压损失和加压失水率都表现出不同程度的增加。经过复配保鲜剂处理后的鱿鱼,解冻损失、蒸煮损失、加压失水率均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。复配组和对照组的嫩度都随着冻融次数的增加呈现下降,TPA 指标逐渐变差, $L^*$  值、 $a^*$  值下降, $b^*$  值增加。复配组和对照组最大剪切力均先增大后减小,但差异不显著 ( $P > 0.05$ ),复配组 TPA 指标、 $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值均优于对照组,但和对照组相比差异不显著 ( $P > 0.05$ )。经过 7 次冻融处理后,复配组和对照组的 SSP 含量和活性巯基含量分别为 12.81、9.10 mg/g;  $4.65 \times 10^{-5}$ 、 $2.58 \times 10^{-5}$  mol/g,复配组和对照组差异显著 ( $P < 0.05$ )。结果表明该复配保鲜剂可以提高鱿鱼的保水性,提高产品嫩度,改进肉制品的质地结构和色泽,防止蛋白质冷冻变性,提高其抗氧化性和冻藏稳定性,显著抑制反复冻融过程中 SSP 含量和活性巯基含量的降低,保持冻藏鱿鱼的品质。

## 参考文献

- [1] 吴少杰,张俊杰,姚兴存,等. 我国鱿鱼的综合加工利用现状与展望[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 154 - 156.
- [2] CHEN X, LIU B, CHEN Y. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries[J]. Fisheries Research, 2008, 89(3): 211 - 221.
- [3] 姜晴晴,李珊,刘文娟,等. 冻融循环对秘鲁鱿鱼蛋白及肌肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 171 - 178.
- [4] THANONKAEW A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharao-nis*) subjected to multiple freeze - thaw cycles[J]. Food Chemistry, 2006, 95(4): 591 - 599.
- [5] 郭锐,彭意开,周光宏,等.  $\kappa$ -卡拉胶、复合磷酸盐对反复冻融猪肉香肠品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(4): 196 - 201.
- [6] 刘妙,杨宪时,李学英,等. 复配保鲜剂对冻藏鱿鱼品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11):

- 188 - 193.
- [7] CHANG H J, XU X L, ZHOU G H, et al. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing[J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5 (1): 285 - 297.
- [8] PAN B, YEH W. Biochemical and morphological changes in grass shrimp (*Penaeus monodon*) muscle following freezing by air blast and liquid nitrogen methods[J]. Journal of Food Biochemistry, 1993, 17(3): 147 - 160.
- [9] 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.
- [10] SRINIVASAN S, XIONG Y L, BLANCHARD S P. Effects of freezing and thawing methods and storage time on thermal properties of freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1997, 75(1): 37 - 44.
- [11] BOONSUMREJ S, CHAIWANICH SIRI 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.
- [12] 常海军, 牛晓影, 周文斌. 不同冻融次数对猪肉品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 43 - 48.
- [13] SRIKET P, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Comparative studies on the effect of the freeze - thawing process on the physicochemical properties and microstructures of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle [J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 113 - 121.
- [14] TSENG Y, XIONG Y L, FENG J, et al. Quality changes in Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) subjected to multiple freezing-thawing cycles[J]. Journal of Food Quality, 2007, 26(4): 285 - 298.
- [15] 曾名勇, 黄海, 李八方. 鳙肌肉蛋白质生化特性在冻藏过程中的变化[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 480 - 485.
- [11] BOONSUMREJ S, CHAIWANICH SIRI S, TANTRATIAN

## Effect of complex preservatives on the quality of repeated freeze-thaw squid

LIU Miao<sup>1, 2</sup>, YANG Xian-shi<sup>1\*</sup>, ZHANG Xiao-wei<sup>1</sup>, LI Xue-ying<sup>1</sup>, CHI Hai<sup>1</sup>

1 (East China Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

2 (College of Food Science & Technology, Shanghai Qcean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT** The effect of the complex preservatives on the quality of repeated freeze-thaw (0, 1, 3, 5 and 7 times) squid was studied. The changes in thawing loss (% TL), cooking loss (% CL), pressurized water loss (WL), tenderness, texture properties, color, salt-soluble protein (SSP) and active sulphur content in the squid were analyzed and compared with the control group. The results showed that TL, CL and WL increased with freeze-thaw times and were significantly different from the control group ( $P < 0.05$ ). Shear force increased at first and then decreased, texture properties (hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, chewiness) gradually decreased,  $L^*$ ,  $a^*$  decreased,  $b^*$  increased. Tenderness, TPA index and color of the mixed group were better than that of the control group, but there was no significant difference ( $P < 0.05$ ). Salt-soluble protein and active sulphur content decreased and were significantly different from the control group ( $P > 0.05$ ). All these results demonstrated that the complex preservatives can improve its water retention, tenderness, texture properties and color, raise the SSP content and active sulphur content and keep the quality of frozen squid.

**Key words** complex preservatives; freeze-thaw cycles; squid; meat quality