

常用水产保鲜剂对南极磷虾品质的影响研究

杨峰^{1,2}, 李学英¹, 杨宪时¹, 迟海¹, 郭全友¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090) (2. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要: 选择 4-己基间苯二酚、茶多酚、壳聚糖、混合磷酸盐、山梨糖醇和植酸 6 种保鲜剂, 以 TCA-N、TBARS、盐溶性蛋白质含量和汁液浸出体积变化为指标, 结合感官评分, 探讨了保鲜剂对(2±0.1) °C 贮藏条件下南极磷虾品质变化的影响。实验结果显示, 不同保鲜剂对南极磷虾的品质影响不同, 混合磷酸盐组和山梨糖醇组感官评分较高, 与空白组感官评分有显著性差异($P<0.05$); 添加量为 0.2 g/L 的 4-己基间苯二酚对 TBARS 值变化较空白组有显著的抑制作用($P<0.05$); 山梨糖醇能够显著抑制南极磷虾 TCA-N 含量的增加($P<0.05$), 显著添加量为 10 g/L; 混合磷酸盐在贮藏初期对南极磷虾汁液浸出体积有一定的减缓作用, 后期影响作用较小; 植酸和山梨糖醇对南极磷虾盐溶蛋白的损失有一定程度的减缓作用, 但作用效果不显著。

关键词: 保鲜剂; 南极磷虾; 品质变化

文章编号: 1673-9078(2012)10-1285-1289

Effect of Seafood Preservatives on Quality of Antarctic Krill (*Euphausia superba*)

YANG Feng^{1,2}, LI Xue-ying¹, YANG Xian-shi¹, CHI Hai¹, GUO Quan-you¹

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

(2. University of Shanghai for Science and Technology, School of Medical Instrument and Food Engineering, Shanghai 200093, China)

Abstract: Influences of 4-HR, tea polyphenol, chitosan, polyphosphate, phytic acid and sorbitol on quality changes of *Euphausia superba* were investigated by testing the indexes of sensory evaluation, TCA-soluble nitrogen contents, TBARS values, salt-soluble protein contents and juice volume loss under the condition of (2±0.1) °C in this research. The results indicated that the treated food additives showed different effects on quality changes of *Euphausia superba*. The use of polyphosphate and sorbitol obtained high sensory scores and had remarkable discrepancy with control group ($P<0.05$). Changes of TBARS were inhibited effectively on *Euphausia superba* after adding 0.2 g/L 4-HR. The contents of TCA-soluble nitrogen decreased significantly by using 0.2 g/L sorbitol ($P<0.05$). The juice volume loss slowed down remarkably by adding 6 g/L poly phosphate. However, salt-soluble protein contents were not significantly decreased by adding phytic acid and sorbitol.

Key words: preservatives; *Euphausia superba*; quality changes

南极磷虾(*Euphausia superba*)以其巨大的生物量和潜在的渔业资源日益受到人们的关注。最新数据显示, 南极磷虾现有可捕量是世界现有渔业产量的 1 倍以上^[1-2]。随着世界人口增长和粮食缺乏问题的日益严峻, 开发和利用南极磷虾成为满足人类缓解粮食危机的有效途径^[3-4]。然而南极磷虾自身蛋白酶活性很强, 一方面, 南极磷虾蛋白酶的分解作用, 造成虾体蛋白质劣

变^[5-6]; 另一方面, 南极磷虾内的酪氨酸酶与氧分子结合, 发生氧化作用生成黑色素^[7], 引起感官品质的急速下降; 同时, 南极磷虾不饱和脂肪酸含量很高^[8], 脂肪氧化也会对南极磷虾品质造成一定的影响。这都使南极磷虾贮藏、加工、运输流通以及规模化生产受到了极大程度的限制, 因此保持南极磷虾的品质显得尤为重要。

保鲜剂在水产品保鲜方面的应用研究较为广泛^[9-10], 目前市售的水产保鲜剂主要分抗氧化剂、保水剂和抑菌剂几类。然而南极磷虾自身腐败变质机理与其他水产品不同, 内源蛋白酶对其品质影响强于微生物作用^[6]。同时, 由于南极磷虾个体较小, 氧化、黑变对其感官影响较大。加之, 南极磷虾肌肉组织柔软多汁, 贮藏过程中极易造成水分的流失, 简单的水产保鲜剂

收稿日期: 2012-05-15

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划(2011AA090801); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2011T05); 农业部南极海洋生物资源开发利用专项

作者简介: 杨峰(1986-), 男, 硕士研究生, 从事食品质量安全的研究

通讯作者: 杨宪时(1954-), 男, 研究员, 从事水产品贮藏加工和品质保障技术研究

完全不能满足南极磷虾品质的保持。因此,研发复合型南极磷虾新型保鲜剂对其品质保持十分必要。本实验选择了市售较为常见的6种水产保鲜剂,通过测定硫代巴比妥酸反应物(Tiobarbituric acid reactive substances, TBARS)、三氯乙酸可溶性氮(TCA-N)含量、汁液浸出体积和盐溶蛋白含量变化,并结合感官评分,分别对不同浓度作用下的南极磷虾抗氧化、保水性、酶抑制等性能进行分析和比较,旨在选择出有效地的保鲜剂来提高南极磷虾的质量,延长南极磷虾的货架期,为工厂化加工利用提供参考数据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

南极磷虾由我国“南极海洋生物资源开发利用项目组”于2011年2月南极FAO 48.1区捕捞,船上冻结后-23℃冻藏,-18℃集装箱于2011年8月运抵,-80℃贮藏备用。

1.2 主要试剂

壳聚糖、山梨糖醇、植酸、混合磷酸盐、葡萄糖酸内酯和普鲁兰多糖,购于上海联合食品添加剂有限公司;HCl标准溶液购于上海市计量测试技术研究院;考马斯亮蓝G-250、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、无水乙醇等购于国药集团化学试剂有限公司,以上药品纯度均为AR。

1.3 主要仪器

HH-8型恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;Centrifuge 5810R离心机,Effendof,德国;721型可见光分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;半自动凯氏定氮仪,上海嘉定粮油仪器有限公司;IUL型均质机,西班牙;高精度低温培养箱,日本三洋公司。

1.4 样品处理方法和贮藏试验

按参考文献^[1]对南极磷虾进行解冻,选择个体完整、无黑头的南极磷虾。原料虾与保鲜剂溶液比例(m/V)1:2条件下浸渍10 min,10 min后捞出沥干,密封装袋,放入高精度低温培养箱中,控制贮藏温度(2±0.1)℃。每隔适当时间间隔取出试样并进行感官评分,测定南极磷虾TCA-N、TBARS值、盐溶性蛋白质含量变化和汁液浸出体积。

混合磷酸盐、壳聚糖、D-山梨糖醇、植酸、茶多酚和4-HR取值水平的选择均参照GB 2760-2007食品添加剂使用卫生标准添加,其中茶多酚和壳聚糖的使用没有规定鲜虾水产品的限量标准,参照相关文献^[12]并结合南极磷虾自身特点选择适宜添加量,最终确定添加量如表1所示。

表1 保鲜剂的添加量(g/L)

Table 1 Adding amount of the food additives

混合磷酸盐	壳聚糖	D-山梨糖醇	植酸	4-HR	茶多酚
2	2	5	0.64	0.1	0.3
6	4	10	1.29	0.2	0.5
10	6	15	2.57	0.3	1

注:植酸密度为1.285 g/mL。

1.5 实验方法

1.5.1 感官检验

选择10名经过严格训练的评价员组成感官评价小组,参考文献^[6],按照表2的评分标准,采用现场打分的原则,以南极磷虾的色泽、体表、肌肉及90℃水煮5 min的气味和汤汁为评价指标,各项指标满分为2分,总分10分为最好品质,0分为最差品质,5分为感官不可接受点。

表2 南极磷虾感官检验评分规则

Table 2 The rule of sensory score for evaluation of *Euphausia superba*

指标	2	1	0
色泽	体色正常,有光泽	色泽稍有变化,光泽逐渐变暗	色泽发暗,无光泽
体表	个体清洁完整,甲壳、尾部无脱落,无黑头现象	个体较完整,少数出现黑头现象但不明显	个体不完整,甲壳、尾部脱落现象严重,黑头现象严重
肌肉	组织坚实,弹性好	组织稍有连接,较有弹性	手触弹性差,组织松弛
气味	虾体固有的香味	稍有香气,有较淡的腥味或氨味	有强烈的腥味和氨味
汤汁	汤汁清冽带有虾体色泽,汤内无碎肉	汤汁稍混,少有组织脱落于汤内	汤汁浑浊,肉质腐败,脱落悬浮于汤内

1.5.2 汁液浸出体积测定

参照PisalSriket等^[13]的方法,稍作修改。取约100 g样品,用棉纱布将虾体表面水分吸取干,置于均质机内充分绞碎,准确称取25 g虾肉组织于离心管中,在4℃,11000 r/min条件下离心1 h,离心后取上清液测量浸出液体积(mL)。

1.5.3 TBARS测定

参照马丽珍等人的方法^[14],稍作修改。取南极磷虾在均质机内进行搅碎,称取10 g虾肉于锥形瓶中,加入7.5% TCA 50 mL,摇床内振荡提取30 min,用双层滤纸过滤两次,得到上清液。准确吸取上清液5 mL并加入5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸溶液,90℃水

中保温 40 min, 取出后冷却至室温, 以 6000 r/min 速度离心 5 min, 离心后吸取上清液, 分别在 532 nm 和 600 nm 处进行比色测定, 结果以每 kg 虾肉中丙二醛的毫克数来表示 (mg/kg)。

1.5.4 盐溶蛋白的提取及其含量测定

取 5 g 南极磷虾装入打浆袋中, 并加入 100 mL 冰冷的 0.6 mol/L KCl 溶液, 均质机内反复匀浆 3 次, 4 °C 条件下提取 1 h, 最后 11000 r/min 下低温(4 °C)离心 10 min, 得到上清液即为实验用盐溶性蛋白溶液。结合考马斯亮蓝法测定蛋白质含量^[5], 用牛血清蛋白做标准曲线, 595 nm 条件下测定南极磷虾盐溶性蛋白质含量 (标准曲线的回归方程为 $y=0.0067x+0.0964$, $R^2=0.9991$), 计算结果以 mg/g 表示。

1.5.5 三氯乙酸可溶性氮测定

参照 Kolakowski^[16]的方法, 三氯乙酸可溶性氮含量按半微量凯氏定氮法进行测定, 结果以 mg/g 表示。

1.6 数据分析与处理方法

实验数据用 Microsoft Excel 2003 进行回归分析, 每项测定数据至少采用 3 个平行。用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行方差分析和 Duncan 方法分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 茶多酚和 4-HR 对南极磷虾 TBARS 的影响

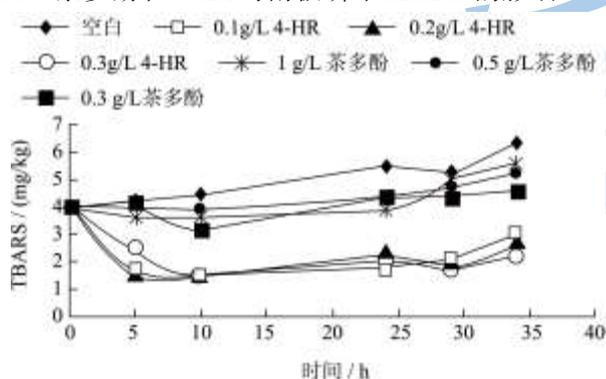


图 1 茶多酚和 4-HR 对南极磷虾 TBARS 的影响

Fig.1 Changes in TBARS of *Euphausia superba* by adding tea polyphenols and 4-HR

南极磷虾含有多种不饱和脂肪酸且含量很高, 极易与氧分子反应, 产物为小分子的醛、酮、酸等, 引起南极磷虾品质的下降, TBARS 值能准确反应这类物质的含量^[13]。茶多酚和 4-HR 在抑制虾类黑头和脂肪的氧化方面得到了广泛的应用, 而且两者对抑制脂肪氧化的作用明显^[9,17]。图 1 是不同添加浓度的茶多酚和 4-HR 对南极磷虾 TBARS 的影响。在贮藏过程中, 空白组南极磷虾 TBARS 值随着时间的延长呈上升趋势, 然而添加不同浓度的茶多酚和 4-HR 的南极磷虾 TBARS 值先呈下降后再上升的趋势。不同浓度的茶多

酚和 4-HR 对南极磷虾 TBARS 有不同程度的抑制作用, 添加不同浓度的茶多酚在南极磷虾贮藏初期作用效果显著, 但随着时间的延长作用效果下降, 在抑制脂肪氧化方面, 4-HR 作用优于茶多酚, 且 4-HR 三个不同的添加量作用效果相当, 抑制作用极其显著 ($P<0.01$), 综合成本和南极磷虾易氧化的特点最终选择 0.2 g/L 的 4-HR 添加量。

2.2 壳聚糖和混合磷酸盐对南极磷虾汁液浸出体积的影响

保水性是肉制品的重要品质指标之一^[8]。因南极磷虾个体较小, 组织柔软多汁, 在贮藏过程中极易造成汁液流失, 保水性就显得尤为重要。壳聚糖涂膜在虾体表面形成保护膜, 能有效阻止水分的散失, 混合磷酸盐是肉制品生产中使用较多的保水剂, 能改变肌原纤维蛋白的热诱导凝胶流变特性, 提高蛋白质保持水分和脂肪的能力, 减少营养成分的损失, 从而影响肉制品保水性^[9]。壳聚糖和混合磷酸盐对南极磷虾汁液浸出体积的影响如表 3 所示, 不同浓度的混合磷酸盐对南极磷虾的汁液浸出体积有不同程度的抑制作用, 相反壳聚糖涂膜却加快了南极磷虾汁液的浸出。在前 10 h, 添加 6 g/L 混合磷酸盐对南极磷虾汁液浸出体积有显著地抑制作用 ($P<0.05$), 这可能是由于混合磷酸盐使南极磷虾肌肉纤维发生实质性膨润^[20], 提高了虾肉吸收和固定水分的能力, 肌肉的持水性能直接关系到肉及肉制品的质地、风味和组织状态, 持水力越大, 就表明样品的品质越好。随着贮藏时间的延长, 南极磷虾的汁液浸出体积增大, 这可能是由于南极磷虾蛋白酶的分解作用, 将蛋白质分解成水溶性的氨基酸和肽段的原因, 这也从一个侧面反映出南极磷虾蛋白酶的活性很强。壳聚糖的涂膜作用没有减缓汁液浸出的体积, 相反却大大增加了汁液浸出体积, 由最初的 5.4 mL 上升到将近 18 mL, 这与普通虾的研究报道不一致^[21]。可能是由于壳聚糖溶于醋酸后降低环境 pH, 加速南极磷虾蛋白酶分解作用, 使虾体变软, 保水性下降, 南极磷虾汁液的流失加快。虾类食物在蒸煮时产生大量的汁液, 汁液中除含有氨基酸等风味物质外, 还含有水溶性蛋白质、维生素等, 随汤汁流失, 既损失了营养风味, 又影响了制品的外观。

2.3 植酸和 D-山梨糖醇对南极磷虾 TCA-N 的影响

南极磷虾自身蛋白酶的活性很强, 而蛋白酶的活性中心一般由金属离子组成, 植酸和 D-山梨糖醇能与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Zn^{2+} 等离子结合形成螯合物, 阻止金属离子与酶活性中心结合, 从而降低蛋白酶的活性^[22], 因此选择植酸和 D-山梨糖醇抑制南极磷虾蛋白酶活力对南极磷虾品质保持有一定影响。

表 3 混合磷酸盐和壳聚糖对南极磷虾汁液浸出体积的影响

Table 3 Changes in the volume of Leaching liquid for *Euphausia superba* by adding phosphate mixture and chitosan

试验组	时间/h					
	0	5	10	24	29	34
空白	5.41±0.83	6.62±0.73	7.71±0.83	9.82±0.73	9.71±0.92	11.02±1.12
2g/L 混合磷酸盐	5.41±0.83	5.72±0.83 ^a	7.43±0.61	8.73±0.81	9.32±0.93	10.72±0.91
6g/L 混合磷酸盐	5.41±0.83	5.33±0.62 ^a	6.93±0.52 ^a	8.22±0.71	8.83±0.72	9.71±0.93
10g/L 混合磷酸盐	5.41±0.83	5.71±0.92 ^a	7.33±0.71	8.82±0.63	9.32±0.81	10.43±0.81
2g/L 壳聚糖	5.41±0.83	8.92±1.03	10.73±0.93	12.42±1.12	15.83±1.22	18.31±1.22
4g/L 壳聚糖	5.41±0.83	8.71±0.93	10.12±0.93	11.72±1.21	14.52±1.13	17.52±1.31
6g/L 壳聚糖	5.41±0.83	8.53±0.81	9.73±0.61	11.32±0.93	14.62±1.32	17.31±1.13

注：同一列字母表示不同的差异性($P < 0.05$)，没有标注字母表示没有显著差异($P > 0.05$)。

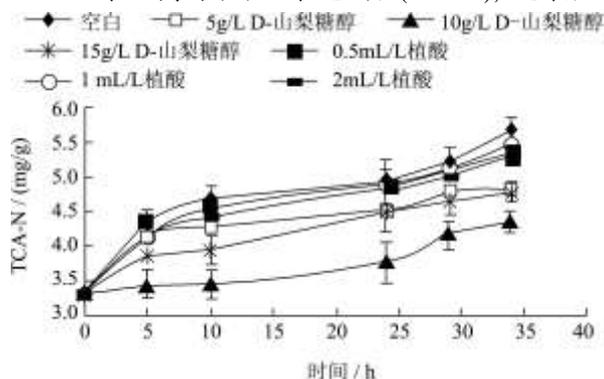


图 2 植酸和 D-山梨糖醇对南极磷虾 TCA-N 的影响

Fig.2 Changes in TCA-soluble nitrogen of *Euphausia superba* by adding phytic acid and sorbitol

由图2可知不同浓度的植酸和D-山梨糖醇对南极磷虾TCA-N的有不同程度的抑制作用，且D-山梨糖醇作用优于植酸，D-山梨糖醇添加量为10 g/L时抑制作用显著 ($P < 0.05$)。随着时间的延长，南极磷虾TCA-N含量不断增长，空白组由最初的3.3 mg/g上升到5.7 mg/g，增加量为2.4 mg/g，而对应的10 g/L D-山梨糖醇组由3.3 mg/g上升到4.3 mg/g，增加量为1 mg/g，平均抑制率为16%。这说明添加量为10 g/L D-山梨糖醇可以实现TCA-N含量的抑制作用，不同浓度的植酸对TCA-N含量也有一定程度的抑制作用，但抑制作用不显著 ($P > 0.05$)。以南极磷虾总氮含量为25.0 mg/g的标准计算^[15]，空白组南极磷虾TCA-N含量最高占总氮量的22.8%，对应的10 g/L D-山梨糖醇组为17.2%，这说明南极磷虾在贮藏过程中，自身酶对蛋白质的分解作用显著，抑制TCA-N含量能够显著抑制蛋白酶对蛋白质的分解作用，这可能是由于D-山梨糖醇与南极磷虾蛋白酶中金属离子的螯合作用，与酶活性中心的金属离子结合，使南极磷虾酶活性下降，蛋白质分解速率降低。

2.4 植酸和 D-山梨糖醇对南极磷虾盐溶性蛋白的影响

图3是植酸和D-山梨糖醇对南极磷虾盐溶性蛋白

含量的影响。在贮藏过程中南极磷虾盐溶性蛋白含量显著下降，尤其是在前5 h，盐溶蛋白下降很快。5 h后空白组由初始点的39.6 mg/g，下降到24.6 mg/g，添加不同浓度的植酸和D-山梨糖醇下降到23 mg/g左右，下降了将近一倍。5 h后盐溶蛋白含量下降缓慢，直到29 h后各组南极磷虾盐溶蛋白含量逐渐下降到0，由此可见盐溶性蛋白的下降呈现二阶段下降的规律，前段短时间下降迅速，后期长时间下降缓慢。这种二阶段规律与Sultanbaw^[23]和周爱梅^[24]的研究结果相一致。

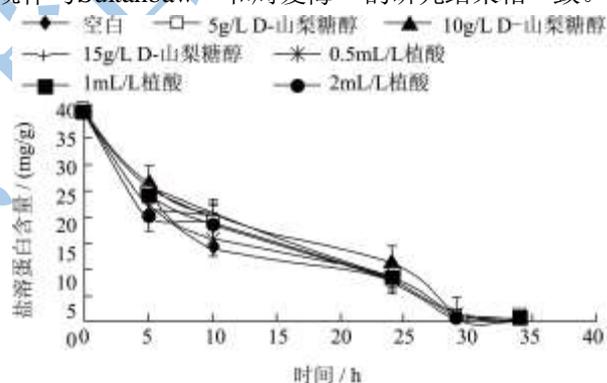


图 3 植酸和 D-山梨糖醇对南极磷虾盐溶性蛋白的影响

Fig.3 Changes in salt-soluble protein of *Euphausia superba* by adding phytic acid and sorbitol

蛋白质的功能特性由肌原纤维蛋白决定，蛋白质品质下降后，肌原纤维蛋白的溶解度降低，对应的盐溶性蛋白含量下降，因此，盐溶性蛋白含量的变化在一定程度上反映了蛋白质的品质变化情况^[25-26]。在贮藏初期蛋白质的盐溶性下降很快，说明前5 h是蛋白质品质下降的关键期。植酸和D-山梨糖醇对南极磷虾盐溶性蛋白的影响较小，这与在冻藏条件下的研究结果不相同^[27]，说明在(2±0.1) °C条件下，植酸和D-山梨糖醇对南极磷虾蛋白质的盐溶性影响不大。

2.5 保鲜剂对南极磷虾感官评分影响

根据以上实验结果，选择最佳添加量(6 g/L 混合磷酸盐、6 g/L 壳聚糖、10 g/L D-山梨糖醇、1.29 g/L

植酸、0.2 g/L 4-HR 和 1 g/L 的茶多酚) 处理南极磷虾并进行感官评价。图 4 是保鲜剂对南极磷虾感官评分的影响。南极磷虾的品质初始点很高(感官评分在 9 分左右), 随着时间的延长感官评分逐渐下降, 其中混合磷酸盐组和 D-山梨糖醇组感官评分明显高于空白组 ($P<0.05$), 且混合磷酸盐作用效果优于 D-山梨糖醇。在 30 h 后, 混合磷酸盐组和 D-山梨糖醇组感官评分分别为 6.5 分和 6 分, 仍在可接受范围。而空白组感官评分在 4.3 分, 感官不可接受(感官不可接受点低于 5 分), 这时虾肉变得松散, 虾体发黑, 煮熟后汤汁浑浊, 品质难以接受; 而混合磷酸盐组和 D-山梨糖醇组组南极磷虾品质感官评分下降相对较慢, 35 h 后还维持在 5 分以上, 仍在感官接受范围内。笔者在试验过程中发现添加壳聚糖组的南极磷虾感官评分始终低于空白组, 储藏 15 h 后感官就不可接受, 主要因为虾体组织已经很松散, 煮后虾组织分散, 汤汁碎肉较多且浑浊。

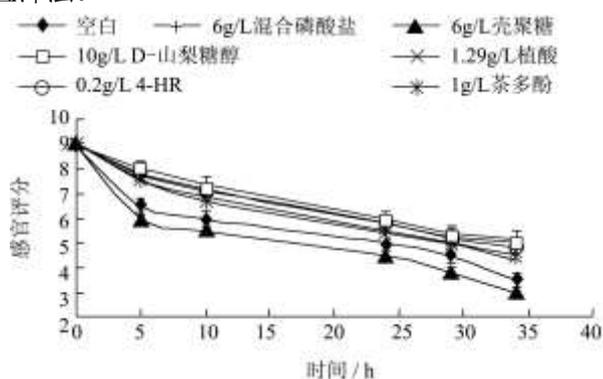


图 4 保鲜剂对南极磷虾感官评分

Fig.4 Sensory score of *Euphausia superba* by adding food additives

3 结论

3.1 保鲜剂 4-HR、混合磷酸盐和 D-山梨糖醇, 对南极磷虾品质变化影响显著, 4-HR 能够有效抑制南极磷虾脂肪氧化, 显著添加量为 0.2 g/L; 添加 6 g/L 的混合磷酸盐能够提高南极磷虾的保水性和感官评分; D-山梨糖醇能够显著抑制 TCA-N 的增加, 保持蛋白质的性质, 显著添加量为 10 g/L。

3.2 壳聚糖涂膜作用没有达到预期的实验效果, 这是由南极磷虾自身的条件决定的, 南极磷虾个体较小且肌肉组织柔软多汁, 虾壳也较薄, 壳聚糖溶液中的醋酸极易使虾体蛋白质变性, 造成组织汁液的流失, 这也是造成壳聚糖组南极磷虾感官评分很低的重要原因。

3.3 在 (2 ± 0.1) °C 条件下, 添加不同浓度的植酸和 D-山梨糖醇对南极磷虾蛋白质的盐溶性作用不显著,

Sompongse 等^[28]认为巯基发生氧化作用产生的二硫键会引起肌球蛋白重链的聚合, 从而降低蛋白质的盐溶性, 说明在 (2 ± 0.1) °C 条件下添加不同浓度的植酸和 D-山梨糖醇不能阻碍蛋白质巯基的氧化作用, 植酸和 D-山梨糖醇在冻藏条件下的作用效果有待进一步研究。南极磷虾贮藏温度需要较低, 本次实验对南极磷虾保鲜剂验证温度仍单一, 且单一保鲜剂难以实现对南极磷虾品质的保持, 所以保鲜剂对低温条件下南极磷虾品质的影响以及复合保鲜剂的研制需要进一步的探讨。

参考文献

- [1] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望 [J]. 海洋科学, 1995, 4: 28-32
- [2] 孙松. 南极磷虾 [J]. 极地研究, 2002, 24(4): 57-60
- [3] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析 [J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451-458
- [4] 王功美. 南极磷虾-巨大的蛋白库: 访中科院海洋研究所研究员孙松博士 [J]. 海洋资源开发, 2001, 2: 21-23
- [5] Nishimura K, Kawamura Y, Matoba T, et al. Deterioration of Antarctic krill muscle during freeze storage [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1983, 47(12): 2881-2888
- [6] 迟海, 李学英, 杨宪时. 南极大磷虾 0、5 和 20 °C 贮藏中的品质变化 [J]. 海洋渔业, 2010, 22: 451-452
- [7] Ivan B, Birk O. Some factors affecting Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) cuticle polyphenol oxidase activity and blackspot development [J]. International Journal of Food Science and Technology, 1998, 33(3): 329-336
- [8] 迟海, 李学英, 杨宪时. 南极磷虾加工利用研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22: 283-287
- [9] 陈晓眠, 吴晓萍, 邓楚津, 等. 壳聚糖和茶多酚对罗非鱼冷藏保鲜效果比较 [J]. 现代食品科技, 2011, 27(3): 280-282
- [10] 龚婷, 陆利霞, 熊晓辉. 生物保鲜技术在水产品保鲜中的应用研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 311-313
- [11] 迟海, 李学英, 杨宪时, 等. 不同解冻方式对南极磷虾品质的影响 [J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1291-1295
- [12] 王正云, 李志方, 施帅. 茶多酚结合壳聚糖对冷却肉的保鲜效果 [J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 186-189
- [13] Pisal S, Soottawat B, Wonnop V, 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 Science, 2007, 53(5): 113-121
- [14] 马丽珍, 南庆贤, 戴瑞彤. 真空包装冷却猪肉低剂量辐照后的理化和感官特性变化 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 184-187

- [15] 韩雅珊.食品化学实验指导[M].北京:中国农业大学出版社, 1996
- [16] Kolakow E. Changes of non-protein nitrogens fractions in Antarctic krill during storage at 3 °C and 20 °C [J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A, 1986, 183: 421-425
- [17] 曹荣,薛长湖,徐丽敏.复合保鲜剂在对虾保鲜及防黑变中的应用[J].农业工程学报,2009,25(8):294-297
- [18] 韩敏义,李巧玲.复合磷酸盐在食品中的应用[J].中国食品添加剂,2004,3:93-96
- [19] 彭增起,周光宏,徐幸莲.磷酸盐混合物和加水量对低脂牛肉灌肠硬度和保水性的影响[J].食品工业科技,2003,24(3): 8-43
- [20] Xiong Y L. Role of myofibrillar proteins in water-binding in brine-enhanced meats [J]. Food Research International, 2005, 38(3): 281-287
- [21] 王秀娟,张坤生,任云霞.可食性涂膜保鲜虾的品质控制研究[J].食品工业科技,2008,29(8):255-257
- [22] Empson L, Labuza P, Graf E. Phytic acid as a food antioxidant [J]. Journal of Food Science, 1991, 56(2): 560-563
- [23] Sultanbawa Y, Li Chan. Cryoprotective effects of sugar and polyol blends in Ling Codsurimi during frozen storage [J]. Food Research International, 1998, 31: 87- 98
- [24] 周爱梅,龚杰,邢彩云,等.罗非鱼与鳙鱼鱼糜蛋白在冻藏中的生化及凝胶特性变化[J].华南农业大学学报,2005,26(3):103-107
- [25] Jiang S T, Hwang D C, Chen C S. Effect of storage temperature on the formation of disulfides and denaturation of milkfish actomyosin [J]. Food Science, 1988, 53(5): 1333-1335
- [26] Soottawat B, Thomas A, Seymour, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. Food Science, 1997, 62(4): 729-733
- [27] 崔珺.速冻方式和贮藏温度对带鱼品质影响的研究[D].浙江:浙江海洋学院,2011
- [28] Sompongse W, Itoh Y, Obatake A. Effect of cryoprotectants and a reducing reagent on the stability of actomyosin during ice storage [J]. Fisheries Science, 1996, 62(1): 73-79
- [29]