还原型谷胱甘肽复配保鲜剂对刀额新对虾品质的影响

韩诗蕾[1]，但姝[2]

(1.广东省食品工业研究所，广东省食品工业公共实验室，广东广州 510308)(2.广东实验中学，广东广州 510375)

摘要：以刀额新对虾为材料，研究还原型谷胱甘肽（GSH）对多酚氧化酶（PPO）的抑制作用，发现当 GSH 浓度为 4 g/L，处理时间为 30 min 时对 PPO 的抑制效果最好。采用 PPO 活力、挥发性盐基氮（TVB-N）含量、白度值、肌肉盐溶性蛋白质含量、感官评价作为指标，研究在-18 ℃冻藏条件下各种 GSH 复配保鲜剂对刀额新对虾品质的影响。经实验证明，4 g/L GSH 能有效抑制虾头 PPO 活力以及减缓褐变。4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇以及 4 g/L GSH+5 g/L 柠檬酸复配的保鲜剂能降低冻藏期间 TVB-N 的产生以及减缓蛋白质的降解速度，4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇+5 g/L 柠檬酸复配的保鲜剂处理的虾样品有最高的感官评分。综合各指标看，由 4g/L GSH+10 g/L 山梨醇+5 g/L 柠檬酸组成的保鲜剂具有最佳的保鲜效果。

关键词：保鲜剂；刀额新对虾；盐溶性蛋白质；感官评价

文章篇号：1673-9078(2016)8-246-251 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.037

Effect of Reduced Glutathione-composite Preservatives on the Quality of *Metapenaeus ensis*

HAN Shi-lei[1], DAN Shu[2]

(1.Guangdong Food Industry Institute, Guangdong Provincial Public Laboratory of Food Industry, Guangzhou 510308, China) (2.Guangdong Experimental High School, Guangzhou 510375, China)

Abstract: *Metapenaeus ensis* was used as the material to study the inhibitory effect of reduced glutathione (GSH) on polyphenol oxidase (PPO) activity, with optimal inhibitory effect on PPO activity determined at a GSH concentration of 4 g/L and a treatment time of 30 min. PPO activity, total volatile basic nitrogen (TVB-N) content, whiteness, salt-soluble muscle protein, and sensory evaluation were used as indicators to study the effect of different reduced GSH-composite preservatives on the quality of *M. ensis* during frozen storage at -18 ℃. Our results showed that 4 g/L GSH effectively inhibited PPO activity and decreased melanin accumulation. The preservatives prepared from 4 g/L GSH+10 g/L sorbitol and 4 g/L GSH+5 g/L citric acid reduced the generation of TVB-N and decreased the degradation rate of salt-soluble protein during storage. Shrimp treated with the preservative composed of 4 g/L GSH+10 g/L sorbitol+5 g/L citric acid possessed the highest sensory evaluation score. These findings suggested that the preservative composed of 4 g/L GSH+10 g/L sorbitol+5 g/L citric acid exhibited the best fresh-keeping effect for the storage of *M. ensis*.

Key words: *Metapenaeus ensis*; preservatives; salt-soluble protein; sensory evaluation

刀额新对虾（*Metapenaeus ensis*）俗称基围虾，是市售新鲜虾中最为常见的一种。刀额新对虾因其含丰富的蛋白质，成为大部分消费者喜欢的一种水产品。此外，虾中含有较多的镁元素，能有效地促进血液循环，预防心血管疾病的形成。但由于对虾中水分含量较高，且肉中含有各种酶类，在冻藏过程中，虾的肉质容易腐败，保质期短，因此，提高虾的保质期是目前国内外研究的重点。目前水产加工运输中较常用的鲜虾保鲜方法为冻藏，温度一般为-25 ℃~-5 ℃。在冻藏过程中，由于对虾体内的酶以及微生物的共同作用，使对虾体内发生一系列生化变化，如肉质腐烂、虾体褐变等，严重地影响对虾的风味及品质[1]。因此，如何有效地抑制对虾体内酶活性和微生物生长是目前研究的两个重点方向

GSH 由谷氨酸、甘氨酸和半胱氨酸组成，是含有一个巯基的三肽。GSH 作为一种新型功能食品因子，具有较强抗氧化作用，能有效地清除自由基，抑制对虾中 PPO 活力，防止冻藏过程虾体褐变，还能起到强化风味的作用[2]。GSH 作用机理主要是其能取代 PPO

收稿日期：2015-07-29

基金项目：广州市科技计划-科技惠民专项（2014Y200107）

作者简介：韩诗蕾（1990），女，助理工程师，硕士，研究方向：食品工程

活性中心的铜离子，从而改变酶结构使酶失活。同时，GSH 能与酶反应中间产物醌反应，抑制冻藏期间黑色素的形成[3]。但是对虾中蛋白含量丰富，使用单一的保鲜剂保鲜效果有限。因此，本文在研究 GSH 对刀额新对虾中 PPO 活力的抑制作用的基础上，加入山梨醇及柠檬酸两种保鲜剂，研究复配保鲜剂对刀额新对虾-18 ℃冻藏期间保鲜效果的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

刀额新对虾：购自生鲜市场。所用试剂为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

冷冻离心机，德国 sigma 仪器公司；电子天平，德国 Sartorius 公司；电热恒温水浴锅，上海华岩仪器设备有限公司；PHS-25 数显酸度计，上海傲磁仪器有限公司；UV-3000 紫外-可见分光光度计，上海天美仪器有限公司；均质机，德国艾卡仪器公司；全自动测色色差计，北京市兴光测试仪器公司；数字式快速水分测定仪，泰州市精泰仪器仪表有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 不同浓度 GSH 溶液处理

将新鲜刀额新对虾冲洗干净，以对虾：浸泡溶液=1:2 (*m/V*)的比例放入配制好的 1 g/L、2 g/L、3 g/L、4 g/L、5 g/L GSH 水溶液中，置于 5 ℃中浸泡 30 min 后取出，滤干水，放入 5 ℃冰箱备用。

1.3.2 不同浸泡时间处理

将新鲜刀额新对虾冲洗干净，分成等量的五组，以对虾：浸泡溶液=1:2 (*m/V*)的比例放入配制好的 4g/L GSH 水溶液中，置于 5 ℃中分别浸泡 10、20、30、40、50 min 后取出，滤干水，放入 5 ℃冰箱备用。

1.3.3 复配保鲜剂处理

配制 A（空白对照）：蒸馏水；B：4 g/L GSH；C：4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇；D：4 g/L GSH+5g/L 柠檬酸；E：4 g/L GSH+10g/L 山梨醇+5g/L 柠檬酸。将新鲜刀额新对虾以对虾：浸泡溶液=1:2 (*m/V*)的比例分别放入上述复配保鲜剂中浸泡 30 min 后取出，沥干水，-18 ℃冻藏，每间隔 20 d 取样进行生化指标测定。

1.3.4 PPO 提取与酶活测定

虾头 PPO 提取：称取 10 g 虾头，加入 25 mL、0.05 mol/L 磷酸钠缓冲溶液（pH 7.2，0 ℃保存），0 ℃均质，冷冻离心（10000 r/min，4 ℃）20 min，取上清即为粗酶液。

酶活测定：取 0.05 mol/L 邻苯二酚溶液 2.8 mL，加入 0.2 mL 粗酶液迅速摇匀，在 420 nm 波长处测量吸光值变化，每变化 0.001 吸光度记为一个酶活力单位（U），计算相对酶活力（相对酶活力=样品酶活/新鲜虾酶活）[4~5]。

1.3.5 TVB-N 含量测定

虾肉中 TVB-N 含量根据中华人民共和国水产行业标准 SC/T 3032-2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》方法进行测定[6]。

1.3.6 虾头白度测定

使用全自动测色色差计对虾头色泽进行测量，记录 L*值、a*值与 b*值，用以下公式计算白度[7]。

$$\text{白度值} = 100 - \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2 + (100 - L^*)^2}$$

1.3.7 肌肉盐溶蛋白质含量

取虾，去头去壳，迅速剁碎，称取 4 g 虾泥，加入 40 mL KCl 溶液（0.6 mol/L，pH=7.0），均质 5 min，离心 20 min（10000 r/min，4 ℃），取上清液，加入 120 mL 蒸馏水，离心 20 min（10000 r/min，4 ℃），取沉淀，加入 40 mL KCl 溶液（1.2 mol/L，pH=7.0），离心 20 min（10000 r/min，4 ℃），取上清，用双缩脲法测定盐溶蛋白含量[8~9]。

1.3.8 感官评价

感官评价从外观色泽、肌肉组织和气味三部分进行评价，每个部分满分 3 分，9 分代表样品十分新鲜，6 分以上代表可食用，0 分代表样品完全腐烂，不可食用，具体评价标准见表 1[10~11]。感官评价人员由随机选取的 30 个不同年龄段和性别的人员组成，在经过简单培训后对不同预处理方式冻藏的生虾样品进行评分，结果去掉一个最高分和一个最低分取平均值。

表 1 刀额新对虾感官评价评分标准

Table 1 Scoring criteria for sensory evaluation of *M. ensis*

评分	外观色泽	肌肉组织	气味
3	头与虾体紧密相连，外壳透明清晰，有光泽	肌肉十分致密，富有弹性	具有鲜虾特有气味
2	头与虾体连接略松散，外壳较透明清晰，较有光泽	肌肉较致密，略有弹性	具有轻微鲜虾气味,无异味
1	头与虾体容易分离，外壳颜色略暗沉，虾头略发黑	肌肉稍松散，弹性差	略有海产腐败气味
0	头与虾体分离，外壳颜色暗沉，无光泽，虾头发黑	肌肉松散，无弹性	有浓重海产腐败气味

1.3.9 处理与分析方法

实验数据采用 SPSS 19.0 统计软件进行方差分析和邓肯分析，（p<0.05）为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 GSH 浓度对 PPO 活力的影响

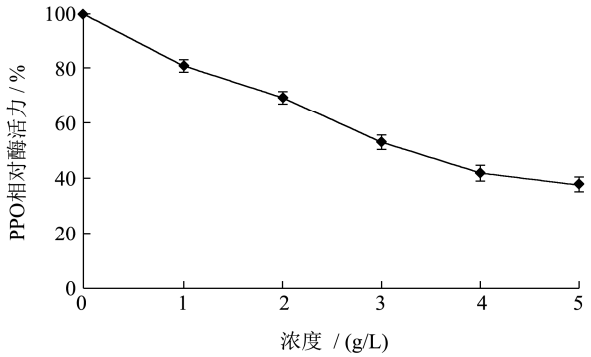


图 1 不同 GSH 浓度对刀额新对虾 PPO 活力影响

Fig.1 Effects of different GSH concentrations on PPO activity

由图 1 看出，随着 GSH 浓度上升，虾头中 PPO 活力逐渐下降，当 GSH 浓度上升至 4 g/L 时，PPO 相对酶活力下降至 42.89%，PPO 活力抑制率达到 57.11%，说明 GSH 能有效地抑制刀额新对虾虾头中 PPO 活力。当浓度上升至 5 g/L 时，PPO 相对酶活力降至 38.09%，对比处理浓度为 4 g/L 时，PPO 活力抑制率仅上升了 4.80%。因此综合成本等各方面考虑，4 g/L 为 GSH 处理最佳浓度。

2.2 处理时间对 PPO 活力的影响

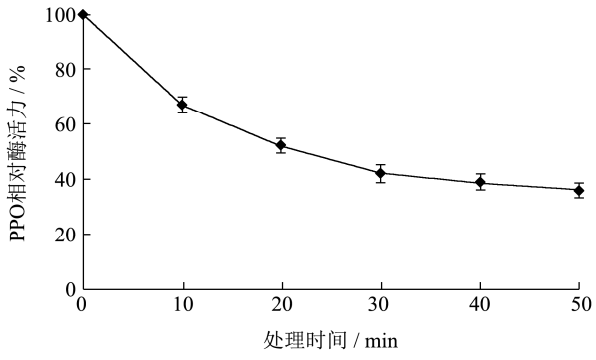


图 2 不同处理时间对刀额新对虾多酚氧化酶活力影响

Fig.2 Effects of different GSH-treatment times on PPO activity

以相同浓度的 GSH 溶液，不同的浸泡时间进行实验，结果如图 2 所示。随着浸泡时间的延长，GSH 对虾头中 PPO 活力的抑制作用增强，这种增强作用在浸泡初期尤为明显。浸泡时间为 10 min 时，虾头中 PPO 相对酶活力下降最多，与新鲜虾相比 PPO 活力下降了 33.12%。随着浸泡时间增加，PPO 相对酶活力缓慢下降，浸泡时间上升至 30 min 时，PPO 相对酶活力下降至 42.26%，抑制率达到 57.74%。当浸泡时间超过 30 min 后，PPO 值没有明显下降，PPO 相对酶活力维持在 40%左右。因此，30 min 为 GSH 保鲜剂的最佳处理时间。

2.3 不同 GSH 复配保鲜剂对 PPO 活力变化的影响

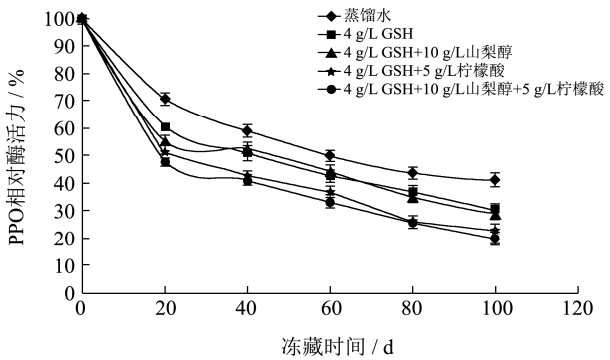


图 3 冻藏期间刀额新对虾 PPO 活力变化

Fig.3 Changes in the PPO activity of *M. ensis* during frozen storage

在冻藏过程中，对虾体内的丝氨酸蛋白酶原被激活形成具有活性的丝氨酸蛋白酶，丝氨酸蛋白酶激活无活性的多酚氧化酶原形成 PPO，PPO 能氧化酚类物质形成醌，醌类物质再进一步反应形成黑色素在对虾体内积累，影响对虾感官品质[12]。GSH 能与 PPO 活性中心的铜离子结合，改变了酶结构从而抑制 PPO 活性。不同 GSH 复配保鲜剂处理后，置于-18 ℃中，冻藏过程中虾头中 PPO 活力变化如图 3 所示。在冻藏过程中，虾头中 PPO 活力不断下降，这主要是因为在低温下，酶活性受到一定程度抑制，随着冻藏时间增加，PPO 逐渐失活，酶活力降低[13]。在为期 100 d 的冻藏过程中，经四种 GSH 复配保鲜剂处理后，虾头中 PPO 活力均有所下降。其中，GSH 对 PPO 活力有明显的抑制，且这种抑制作用在整个冻藏过程中都能发挥作用。在-18 ℃冻藏 100 d 后，经过 GSH 处理的虾头 PPO 相对酶活力降低至 29.89%，而在 GSH 的基础上添加山梨醇，虾头 PPO 相对酶活力与单独添加 GSH 相比没有显著性差异（p>0.05）。相反，在 GSH 的基础上添加柠檬酸，虾头中 PPO 活力有明显抑制（p<0.05），经过 100 d 冻藏后，PPO 相对酶活力降至 22.40%，比仅添加 GSH 作为保鲜剂的对照组相比 PPO 相对酶活力低了 7.49%，说明 GSH 与柠檬酸能够共同作用，抑制虾头中 PPO 活力。有研究表明，对虾体内 PPO 最适 pH 为 6~8，而对虾死后体内 pH 值为 6.5~7.5[14]，

柠檬酸水溶液呈酸性，因此经 GSH 与柠檬酸复配保鲜剂处理的对虾样品体内 pH 下降，PPO 活力受到进一步抑制。由 GSH、山梨醇和柠檬酸三种配方共同组成的保鲜剂对虾头 PPO 的抑制作用与 GSH 和柠檬酸组成的配方无明显差异。

2.4 不同 GSH 复配保鲜剂对 TVB-N 值的影响

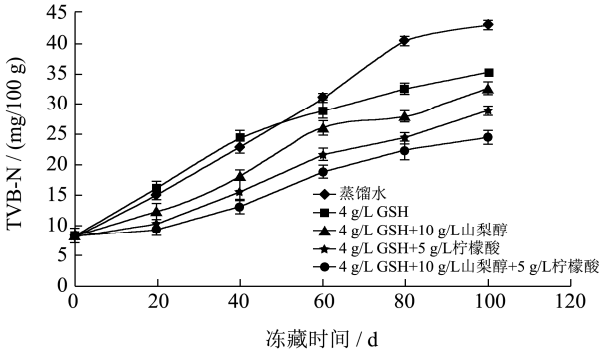


图 4 冻藏期间刀额新对虾 TVB-N 值变化

Fig.4 Changes in the TVB-N value of *M. ensis* during frozen storage

对虾在贮藏期间，由于酶和微生物的共同作用发生腐败，虾肉组织中的蛋白质被分解为氨或胺类碱性物质，此类物质含量越高，则代表样品的腐败程度越高[15]。根据 GB 2733-2005 规定，TVB-N≤30 mg/100 g 为鲜、冻动物性水产品可食用标准。由图 4 可知，未经 GSH 保鲜剂处理的虾样品在-18 ℃冻藏 60 d 后 TVB-N 含量高于可食用标准，并且在冻藏 100 d 后，TVB-N 含量达到 42.89 mg/100 g。经过 GSH 浸泡处理的对虾样品在冻藏前 60 d 内，TVB-N 含量与空白对照组相比无显著性差异（p>0.05），在冻藏 60 d 后 TVB-N 值接近 300 mg/100 g。但在 60-100 d 内，TVB-N 含量上升速度降低。在 GSH 的基础上分别加入山梨醇和柠檬酸，能明显降低冻藏期间 TVB-N 的产生（p<0.05），这可能是因为山梨醇和柠檬酸均能和酶活性中心的金属离子螯合，从而抑制蛋白酶的活性。与山梨醇相比，柠檬酸对 TVB-N 的抑制作用更明显，这是由于经过柠檬酸处理的对虾样品表面 pH 值下降，一定程度上抑制了微生物的生长。王玉婷[16]的实验也证实，柠檬酸能抑制水产常见菌假单胞菌的生长。经过-18 ℃冻藏 100 d 后，由 4 g/L GSH、10 g/L 山梨醇和 5 g/L 柠檬酸复配保鲜剂处理后的刀额新对虾样品 TVB-N 值最低，为 24.44 mg/100 g，符合可食用标准。

2.5 不同 GSH 复配保鲜剂对虾头白度值的影响

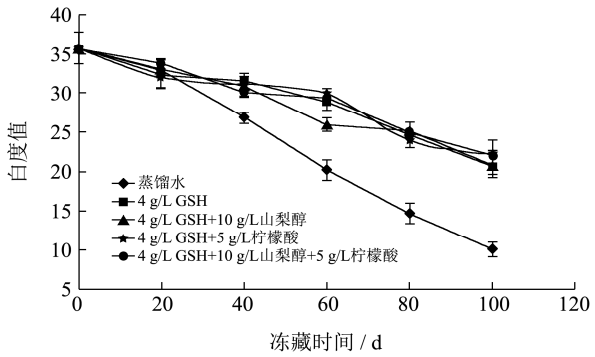


Fig.5 Changes in the whiteness of *M. ensis* during frozen storage

图 5 冻藏期间刀额新对虾白度值变化

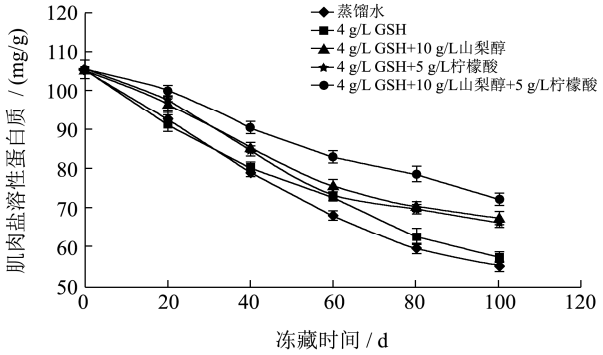


图 6 冻藏期间刀额新对虾肌肉盐溶性蛋白质含量变化

Fig.6 Changes in the salt-soluble muscle protein of *M. ensis* during frozen storage

在冻藏期间，对虾体内的多酚氧化酶原被激活并将酚类物质氧化，形成黑色素在对虾体内积累，导致虾体变黑，影响食用。经研究发现，虾头中 PPO 活力最高，因此在冻藏期间，虾头褐变最为明显[17]。由图 5 可知，在冻藏初期 20 d 内，虾头褐变不明显，各组间没有明显差异（p>0.05）。冻藏 20 d 后，未经保鲜剂处理的对虾样品与经 GSH 复配保鲜剂处理的对虾样品白度值有明显差异（p<0.05），未经保鲜剂处理的对虾样品虾头褐变速度加快，在冻藏 100 d 后，虾头明显发黑，白度值从 35.78 降至 9.98。而经过 GSH 处理的对虾样品褐变速度较慢，虾头无明显发黑，-18 ℃冻藏 100 d 后白度值维持在 25 左右，这主要是由于 GSH 能与氧化的中间产物醌类物质结合形成稳定化合物，从而阻断黑色素的形成。在冻藏期间，由 GSH 和山梨醇复配的保鲜剂处理的对虾样品的白度值与单独 GSH 处理的对虾样品白度值无明显差异（p>0.05），说明山梨醇对虾头 PPO 的抑制作用不明显，这与上述冻藏期间刀额新对虾 PPO 活力变化结果一致。而柠檬酸对虾头褐变的抑制作用也不明显，这与上述冻藏期间刀额新对虾 PPO 活力变化结果不一致，可能是因为柠檬酸能通过与 PPO 活性中心的铜离子结合抑制酶

活性，但其不能与反应中间产物醌结合，因此已生成的中间产物继续反应生成黑色素积累，使虾头褐变。

2.6 不同 GSH 复配保鲜剂对肌肉盐溶性蛋白质含量的影响

刀额新对虾蛋白含量丰富，在冻藏过程中，由于肌肉间冰晶的形成使蛋白质结构发生改变而变性，蛋白质的水化程度降低，肌原纤维蛋白的溶解度下降，盐溶性蛋白质含量也随之下降[18]。此外，冻藏过程中肌肉蛋白质巯基氧化，形成二硫键引起肌球蛋白重链聚合，也会导致肌肉盐溶性蛋白质含量下降[19]。盐溶性蛋白质与肌肉保水性与凝胶性有直接关系，因此，盐溶性蛋白质的含量是反映冻藏期间虾肉蛋白质品质的重要指标。由图 6 看出，在-18 ℃冻藏期间，对虾肌肉组织中盐溶性蛋白质含量呈下降趋势，其中冻藏初期含量下降较快，在冻藏 80 d 后，肌肉盐溶性蛋白质含量下降速度减慢。在 100 d 的冻藏期间，盐溶性蛋白质含量呈二阶段变化。山梨醇和柠檬酸都能在一定程度上减缓蛋白质品质的下降，且在冻藏 60 d 后效果更为显著，但两者间对蛋白质变性的抑制效果无明显差异（p>0.05）。山梨醇作为一种抗冻剂，能有效减少冻藏过程中肌肉间冰晶的形成，抑制蛋白质的冷冻变性，从而起到维持肌原纤维蛋白质结构稳定的作用[20]。而柠檬酸则可能是通过抑制蛋白质巯基的氧化，从而减缓冻藏过程中盐溶性蛋白质的降解速度。因此，在整个冻藏过程中，由 GSH、山梨醇和柠檬酸三种成分复配的保鲜剂能更好地抑制冻藏过程中蛋白质的降解，经过 100 d 冻藏后，肌肉盐溶性蛋白质含量为 72.25 mg/g，而未经保鲜剂处理的对虾样品肌肉盐溶性蛋白质含量降至 55.22 mg/g。

2.7 不同 GSH 复配保鲜剂对感官评价的影响

对虾死后其体内的糖类、蛋白质及脂肪等物质会在酶和微生物的作用下降解，导致其外观、气味及肉质发生改变。从表 2 看出，在-18 ℃冻藏前期，经各种复配保鲜剂处理的对虾样品与空白对照组感官评分差异不大，但冻藏 40 d 后，经过各种复配保鲜剂处理的对虾样品感官评分明显高于未经保鲜剂处理的空白对照（p<0.05），这主要是因为 GSH 复配的保鲜剂能有效抑制对虾 PPO 酶活力，从而抑制黑色素的生成，保持对虾的外观和色泽。未经保鲜剂处理的对虾样品在冻藏 60 d 后，感官评分低于 6 分，虾肉组织变松散，略有异味，不可食用。冻藏 100 d 后，虾头明显发黑，虾肉几乎完全腐败。仅由 GSH 处理的对虾样品经过 100 d 冻藏后，感官评分略低于 6 分，虾肉组织松散，虾头略有发黑，品质较差，说明仅由 GSH 构成的保鲜剂保鲜效果有限，不能有效抑制冻藏过程中蛋白酶和微生物的降解作用，从而导致对虾外观、肉质和气味品质均有下降。而经 4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇以及 4 g/L GSH+5 g/L 柠檬酸复配的保鲜剂处理的对虾样品，冻藏 100 d 后，感官评分分别为 6.64 和 6.05，虾肉组织较为致密，虾头无明显发黑，处于可食用范围。经 GSH、山梨醇和柠檬酸复配保鲜剂处理的对虾样品感官评分最高，100 d 冻藏后感官评分为 7.53，外壳颜色较透明清晰，虾肉有弹性，略有鲜味，保鲜效果良好。因此，从感官评分看，由 4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇+5 g/L 柠檬酸复配的保鲜剂能较好维持虾的鲜度。

表 2 冻藏期间刀额新对虾感官评分变化

Table 2 Changes in the sensory evaluation scores of *M. ensis* during frozen storage

冻藏时间/d	实验组				
	蒸馏水	4 g/L GSH	4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇	4 g/L GSH+5 g 柠檬酸	4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇+5 g 柠檬酸
0	9.00±0.21^{a}	9.00±0.21^{a}	9.00±0.21^{a}	9.00±0.21^{a}	9.00±0.21^{a}
20	8.23±0.12^{a}	8.63±0.19^{b}	8.89±0.35^{c}	8.74±0.22^{d}	8.94±0.21^{e}
40	7.62±0.21^{a}	8.04±0.20^{b}	8.22±0.21^{c}	8.24±0.18^{c}	8.88±0.19^{d}
60	5.58±0.19^{a}	7.28±0.16^{b}	7.95±0.10^{c}	7.74±0.11^{d}	8.21±0.18^{e}
80	4.01±0.18^{a}	6.64±0.22^{b}	7.05±0.05^{c}	6.81±0.09^{d}	7.99±0.24^{e}

注：同一行数据右上角小写字母不同，表示显著性差异（p<0.05）。

3 结论

3.1 通过对比不同 GSH 浓度以及处理时间对刀额新对虾虾头 PPO 活力的抑制效果，得出 GSH 浓度为 4 g/L，浸泡时间为 30 min 能最好地抑制虾头中 PPO 活力。

3.2 通过对刀额新对虾-18 ℃冻藏期间 PPO 相对酶活力、TVB-N、白度值、肌肉盐溶性蛋白质含量以及感官评分等指标的对比研究，发现 GSH 能有效抑制 PPO 活力及虾头褐变，GSH 与柠檬酸复配的保鲜剂能进一

步抑制 PPO 活力，但不能有效抑制虾头褐变，四种 GSH 复配保鲜剂对虾头褐变的抑制效果没有显著差异。由 GSH、山梨醇和柠檬酸复配的保鲜剂能最大程度地降低冻藏过程中 TVB-N 的产生，减缓盐溶性蛋白质的下降速度，且感官评分最高。综合各指标来看，在-18 ℃冻藏条件下，由 4 g/L GSH+10 g/L 山梨醇+5 g/L 柠檬酸复配的保鲜剂对刀额新对虾的保鲜效果最好。

参考文献

[1] 刘庆营.可生食水产品的一种保鲜方法[J].渔业致富指南,2007,7:44
LIU Qing-ying. One way for keeping aquatic product fresh [J]. Fish Guide to be Rich, 2007, 7: 44

[2] Xia Z. Anti-browning of mushroom (*agaricus bisporus*) slices by glutathione during hot air drying [J]. Advance Journal of Food Science & Technology, 2013, 5(8): 1110-1104

[3] Robert C, Cadet F. The inhibition of studies on polyphenoloxidase by cysteine [J]. Biochemical Education, 1996, 24(3): 157-159

[4] Pilar M, Adolfo A, Miriam P M. Characterization of polyphenoloxidase of prawns (*Penaeus japonicus*). Alternatives to inhibiton additives and high-pressure treatment [J]. Food Chemistry, 2001, 75: 317-324

[5] 林婉玲,杨贤庆,侯彩玲,等.浸渍冻结对凡纳滨对虾冻藏过程中品质的影响[J].食品科学,2014,35(10):223-229
LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, HOU Cai-ling, et al. Effect of immersion chilling and freezing on quality of *litopenaeus vannamei* during frozen storage [J]. Food Science, 2014, 35(10): 223-229

[6] SC/T 3032-2007,水产品中挥发性盐基氮的测定[S]
SC/T 3032-2007, Determination of the total volatile basic nitrogen in fishery products [S]

[7] Jae W P. Functional proetin additives in surimi gels [J]. Journal of Food Science, 1994, 59(3): 525-527

[8] 蓝尉冰,毛伟杰,池岸英,等.凡纳滨对虾肌肉蛋白质组成及分子量分布研究[J].食品工业科技,2012,33(9):49-52
LAN Wei-bing, MAO Wei-jie, CHI An-ying, et al. Study on muscle protein composition and molecular weight distribution of *Penaeus Vannamei* [J]. Food Industrial Technology, 2012, 33(9): 49-52

[9] Boonsumrej S, Chaiwanichsiri 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

[10] 吕自治.感观鉴别几种海味食品的新鲜度[J].肉类工业,1995,10:14
LV Zi-zhi. Sensory distinguish freshness of some sea food [J]. Meat Industry, 1995, 10:14

[11] 王秀娟,张坤生,任云霞.壳聚糖涂膜保鲜虾的研究[J].食品科学,2007,28(7):519-522
WANG Xiu-juan, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia. Study on preservation of shrimp by coating with chitosan. [J]. Food Science, 2007, 28(7): 519-522

[12] Heinz D, Thorsten S, Dorothea N, et al. Similar enzyme activation and catalysis in hemocyanins and tyrosinases [J]. Gene, 2007, 398: 183-191

[13] 熊青,谢晶,高志立,等.不同生物保鲜剂对冷藏南美白对虾的保鲜效果[J].食品工业科技,2014,35(1):270-274
XIONG Qing, XIE Jing, GAO Zhi-li, et al. Effects of natural preservatives on shrimp (*Penaeus vannamei*) during cold storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(1): 270-274

[14] 黄万有,吉宏武,刘书成,等.凡纳滨对虾 PPO 的组织分布和活性与其贮藏过程中黑变的关系[J].现代食品科技,2014,30(2):89-94
HUAGN Wan-you, JI Hong-wu, LIU Shu-cheng, et al. Relation of tissue distribution and activity of polyphenol oxidase from *Litopenaeus vannamei* and its melanosis during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 89-94

[15] Jezek F, Buchtova H. Monitoring of physicochemical changes in frozen fish muscle tissue [J]. Agriculturae Conspectus Scientificus: poljoprivredna Znanstvena Smotra, 2011, 76(3)

[16] 王玉婷.复合生物保鲜剂在大黄鱼保鲜中的应用研究[D].山东:山东轻工业学院,2011
WANG Yu-ting. The research and application of biological preservatives in *Pseudosciaena crocea* [D]. Shandong: Shandong Institute of Light Industry, 2011

[17] Gokoglu N, Yerlikaya P. Inhibition effects of grape seed extracts on melanosis formation in shrimp (*Parapenaeus longirostris*) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(6): 1004-1008

[18] 马路凯,张宾,王强,等.海藻糖、海藻胶及寡糖对南美白对虾蛋白质冷冻变性的抑制作用[J].现代食品科技, 2014, 6(6): 140-145
MA Lu-kai, ZHANG Bin, WANG Qiang, et al. Inhibition of

the freeze-denaturation of protein in *litopenaeus vannamei* by trehalose, alginate and its oligosaccharides [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 6(6): 140-145

[19] 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

[20] 张静雅,陆剑锋,林琳,等.鲢鱼冷冻鱼糜抗冻剂的复配研究[J].食品科学,2012,33(2):127-132
ZHANG Jing-ya, LU Jian-feng, LIN Lin, et al. Optimization of cryoprotectant formula for silver carp surimi during frozen storage [J]. Food Science, 2012, 33(2): 127-132

现代食品科技