紫菜多糖提取物对冷藏对虾品质的影响

李颖畅，王亚丽，吕艳芳，马春颖，励建荣

（渤海大学化学化工与食品安全学院,辽宁省食品安全重点实验室,辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”,辽宁锦州 121013）

摘要：对虾营养丰富，但极易腐败变质，为研究紫菜多糖提取物对冷藏对虾品质的影响，延长冷藏对虾的货架期。本文将0.8%紫菜多糖处理的对虾和对照组贮存在(4±1) ℃的冰箱中8 d，在第0、2、4、6、7和8 d进行品质评价。通过测定生物指标（菌落总数）、化学指标（pH值、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸(TBA)值和K值）和感官评分来评价冷藏过程中对虾的品质变化。结果表明，紫菜多糖处理的对虾，在冷藏过程中细菌总数、pH值、TVB-N、TBA值和K值显著低于对照组，感官评分也显著低于对照组。紫菜多糖处理的对虾相对对照组延长货架期3~4 d。紫菜多糖提取物在对虾冷藏保鲜过程中能有效抑制细菌繁殖，减缓脂肪氧化，延长对虾的货架期，在对虾冷藏保鲜中具有良好的应用前景。

关键词：紫菜多糖提取物；冷藏；对虾；保鲜

文章篇号：1673-9078(2015)3-115-120 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.020

The Effect of Polysaccharides Extracted from *Porphyra* on the Quality of Prawns Subjected to Cold Storage

LI Ying-chang, WANG Ya-li, LV Yan-fang, MA Chun-ying, LI Jian-rong

(Engineering and Technology Research Center of Food preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Prawns are nutritious, but are susceptible to spoilage. The aim of this study was to investigate the effect of polysaccharides extracted from Porphyra on the quality of prawns during cold storage, in order to prolong the shelf life of cold-stored prawns. The prawns treated with 0.8% polysaccharides from *Porphyra*, and those from the control group were stored in a refrigerator at 4 ± 1 ℃ for 8 days. The sensory quality of the prawns was assessed on days 0, 2, 4, 6, 7, and 8. The biological index (total bacterial count) and chemical indices (pH value, total volatile basic nitrogen [TVB-N], thiobarbituric acid [TBA], and K value) were measured, and a sensory evaluation performed in order to assess the change in the quality of prawns during cold storage. The results of these analyses showed that prawns treated with polysaccharides from *Porphyra* had significantly lower total viable count, pH, TVB-N, TBA, K value, and sensory scores, compared to the control group. Polysaccharides from *Porphyra* extended the shelf life of prawns by 3 to 4 days than that of the control group, during cold storage. Hence, polysaccharides extracted from *Porphyra* effectively inhibited the propagation of bacteria and slowed the anti-oxidation of fat, thereby prolonging the shelf life of prawns. Therefore, this method could be applied for the preservation of prawns during cold storage.

Key words: polysaccharides extracted from *Porphyra*; cold storage; prawns; preservation

中国对虾(*Penaeus chinensis*)，属于节肢动物门、甲壳纲、十足目、对虾科、对虾属，由于人工养殖对虾获得成功，我国对虾产量大幅度增长,年产量达到150万吨，超过全球产量的三分之一[1]。对虾富含蛋白质、矿质元素、维生素、必需氨基酸和不饱和脂肪酸，营养丰富，肉味鲜美[2]。在运输和贮藏过程中，对虾极易受到细菌侵袭而腐烂变质和黑变[3~4]，据统计，全世界对虾渔获后平均损失约为收获量的 25%[1]。目前水产品保鲜的方法有低温保鲜（冷藏保鲜、冷冻保鲜）、超高压保鲜、气调包装保鲜、辐射保鲜和化学保鲜等[5~9]。冷藏保鲜微生物和酶的活性并没有完全被抑制，水产品的腐败还在继续发生。冷冻保鲜在一定程度上保持了对虾的贮藏品质，但冷冻后不能保持其原有的新鲜状态、形状、色泽和气味。超高压保鲜、辐射保

收稿日期：2014-05-21

基金项目：“十二五”国家科技支撑计划(2012BAD29B06)；辽宁省食品安全重点实验室开放课题(LNSAKF2011016)

作者简介：李颖畅（1973-），女，博士，副教授，研究方向：水(农)产品的加工与贮藏

通讯作者：励建荣教授

鲜等需要特殊的设备，而且成本较高。化学保鲜剂的保鲜效果较好，但对人们的健康有潜在的危害。随着人们对健康的重视，化学保鲜剂的使用正逐渐减少，而从植物中提取天然保鲜剂逐渐成为研究的热点。Mu等[4]研究表明肉桂醛能有效防止冷藏太平洋白对虾的黑变，抑制微生物的增长。王秀娟等[10]用壳聚糖涂膜保鲜虾，浓度为1.5%壳聚糖保鲜效果最佳，能延长保质期2~3 d。

紫菜是红藻门(*Rhodophyta*)、原红藻纲(*Protoflorideophy-ceae*)、红毛菜目(*Bangiales*)、红毛菜科(*Bangiaceae*)、紫菜属(*Porphyra*)的统称[11]。我国紫菜资源丰富，是世界第一紫菜养殖大国。紫菜中蛋白质含量丰富，脂肪含量低，含有人体所需的8种必需氨基酸；紫菜中维生素含量也非常丰富，主要含有B族维生素、维生素C、维生素E、胡萝卜素等，其中B族维生素的含量与黄豆芽、香菜和苦瓜等蔬菜相比毫不逊色[12~13]。紫菜多糖也是紫菜中功能性成分之一，紫菜多糖具有广泛的生理功能，例如抗氧化、抑菌、抗病毒、抗癌、降血脂和增强机体免疫力等作用[14~18]。目前研究多糖对对虾保鲜作用的主要是壳聚糖[19]，壳聚糖相对分子量的大小，对成膜性和膜的性能影响非常显著[20]，并且存在保鲜效率低，难干燥等问题。关于紫菜多糖对对虾的保鲜作用还未见报道，本文研究紫菜多糖提取物对对虾品质的影响，通过微生物指标、化学指标和感官指标评价了冷藏过程中对虾的品质，为紫菜多糖在对虾等水产品保鲜上的应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

鲜活中国对虾，属于对虾科、对虾属，2012.09购于锦州市林西路水产市场；条斑紫菜：连云港东源食品有限公司，2011.10~2011.11采收。无水乙醇、三氯乙酸、氧化镁、硫代巴比妥酸（生化试剂）、高氯酸、氯化钠和氢氧化钾，分析纯，国药集团化学试剂有限公司；平板计数营养琼脂（生物试剂），北京奥博星生物技术有限责任公司。

1.2 主要仪器

JA21002型电子天平，上海舜宇恒平科技仪器有限公司；101B-2型均质机，上海一恒科技有限公司；UV-1600 型紫外−可见分光光度计，上海欣茂仪器有限公司；Agilent 1100型液相色谱，美国Agilent公司；LDZX-40SC型立式可控电热压力蒸汽灭菌器，上海申安医疗器械厂；SW-CJ-2FD型洁净工作台，苏净集团苏州安泰空气技术有限公司；kjeltec™ 8400型凯氏定氮仪，丹麦FOSS公司；MIR-554型低温恒温培养箱，日本三洋电机株式会社。

1.3 方法

1.3.1 紫菜多糖的制备

将紫菜50 ℃烘干，磨成粉末，称取紫菜粉末20 g，料液比为1:40 (g/mL)，超声波辅助提取，超生波功率为700 W，累计超生时间为55 min。将粗紫菜多糖溶液过滤，滤液以

5000 r/min离心10 min，取上清液，用旋转蒸发仪60 ℃浓缩紫菜多糖溶液，5倍体积95%乙醇沉淀多糖，沉淀时间6 h，用5%三氯乙酸70 ℃处理30 min除去粗多糖中蛋白质，浓缩，置于冷冻干燥机中干燥。硫酸苯酚法[21]测定多糖含量。

1.3.2 对虾的处理

鲜活的对虾充氧加水，在半小时内运回实验室；挑选甲壳色泽好、肢体无残缺和大小均匀的对虾，加冰猝死，用无菌蒸馏水洗净，分为紫菜多糖组（多糖含量为0.8%）和对照组，分别用紫菜多糖和去离子水浸泡120 min，沥干后装入保鲜袋中，在4 ℃冰箱中贮藏。

1.3.3 菌落总数的测定

按照GB 4789.2-2010采用平板倾注计数法测定[22]，菌落总数(TVC)用$\log_{10}$ CFU/g表示。

1.3.4 pH测定

按照GB/T 5009.45-2003中的酸度计法测定pH值[23]。

1.3.5 挥发性盐基氮(TVB-N)测定

参考FOSS应用子报测定鱼肉中的TVB-N值的方法[24]，用无氮称量纸称取10 g虾肉置于烧杯中，加入蒸馏水100 mL，用磁力搅拌器搅拌均匀，静置30 min后过滤。量取滤液10 mL于蒸馏管（750 mL）中，加入10%的MgO溶液10 mL，连接到蒸馏器上进行蒸馏。仪器条件设定为1%硼酸吸收液30 mL，加水量50 mL，蒸馏时间5 min，延时5 s。采用0.1 mol/L盐酸标准滴定液和混合指示剂（每升0.1 mol/L的盐酸标准滴定液加0.1%的溴甲酚绿10 mL和0.1%的甲基红指示剂7 mL）进行滴定。每批样品均进行试剂空白实验，TVB-N值采用mg N/100 g表示。

1.3.6 TBA值的测定

参考Barakat[25]的方法，略作修改。称取10 g绞碎鲈鱼肉于烧杯中，加入蒸馏水25 mL和10%的三氯乙酸(TCA) 25 mL，匀浆，静置30 min后用滤纸过滤。

取 5 mL 上清液于比色管中，加入 0.02 mol/L 的 TBA 溶液 5 mL。将上述混合液在(80±1) ℃恒温水浴中加热 40 min，冷却至室温，在 532 nm 测定吸光度。TBA 值用丙二醛的质量分数表示，单位为 mg MAD/kg 样品。

1.3.7 K 值的测定

K 值的测定参照 Choia et al. (2007)[26]的方法。取 5 g 绞碎的鱼肉于烧杯中，向烧杯中加入冷却的 0.06 mol/L 高氯酸 25 mL，充分匀浆后，1940 ×g 离心 10 min，量取 10 mL 上清液，用 1 mol/L KOH 溶液调 pH 至 6.5~6.8。1940 ×g 离心 10 min，上清液用 HPLC 检测。色谱条件：色谱柱 ODS C_{18}(250 mm ×4.6 mm, 5 μm)，以 0.04 mol/L 磷酸二氢钾和 0.06 mol/L 磷酸氢二钾混和溶液作为流动相。进样量为 10 μL，流速为 1 mL/min，柱温为 37 ℃，紫外检测器波长为 254 nm。

$$K/\% = \frac{(HxR + Hx)}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)}$$

1.3.8 感官评定

感官评定小组由 5 名具有感官评定经验的人员组成，以肌肉组织、体表色泽和气味 3 方面为评价指标，按照虾的感官鉴定标准[27]进行综合评分，总分取 5 人评分的平均值，在 9 分（极新鲜）和 0 分（完全腐败）之间，5 分以下表明对虾已经腐败且感官上不可接受。具体评分标准见表 1。

表 1 感官评定标准

Table 1 Standards of sensory evaluation

项目	3 分	2 分	1 分	0 分
肌肉组织	肌肉纹理清晰有弹性，肉与壳连接紧密	肌肉略有弹性，不变色，肉与壳连接稍松弛	肌肉弹性较差，肉与壳连接松弛	肌肉组织松软，肉质发黄
体表色泽	体表有光泽，头胸甲与体节间连接紧密	壳有轻微红色或黑色，头尾部出现黑斑	肌体无固有色泽，体表出现大面积黑斑	体表色泽灰暗，甲壳与虾体分离
气味	虾体固有气味、无异味	略有异味	异味较强	异味强烈

1.4 数据分析

采用 SPSS11.0 统计软件进行单因素方差分析，P<0.05 为差异显著，实验数据用 $\bar{X} \pm S$ 表示。

2 结果与讨论

2.1 菌落总数变化

世界每年有三分之一的食品损失是由微生物导致的，特别是水产品的腐败，因此测定菌落总数具有重要意义。由图 1 可以看出，菌落总数的最初值是(2.42±0.13) $\log_{10}$CFU/g，这与对虾养殖环境有关。随贮藏时间的延长，对照组和紫菜多糖组菌落总数不同程度的增加；从第 4 d 开始，紫菜多糖处理组菌落总数显著（p<0.05）低于对照组。Ding 等[15]报道紫菜多糖具有抗菌活性，本实验也证实了紫菜多糖抑制微生物生长，延长对虾货架期。一般认为，菌落总数不超过 5 $\log_{10}$CFU/g 为一级鲜度，菌落总数不超过 5.7 $\log_{10}$CFU/g 为二级鲜度，菌落总数超过 6$\log_{10}$CFU/g 不能食用[28]。对照组贮藏第 2 d 菌落总数为(4.63±0.09) $\log_{10}$CFU/g，在一级鲜度范围内，第 4 d 菌落总数为(6.23±0.06) $\log_{10}$CFU/g，已经不能食用；紫菜多糖组贮藏第 4 d、第 6 d 菌落总数分别为(4.48±0.04) $\log_{10}$CFU/g，(5.51±0.08) $\log_{10}$CFU/g，分别在一级鲜度和二级鲜度范围内。与对照相比，紫菜多糖延长货架期大约 3 d。

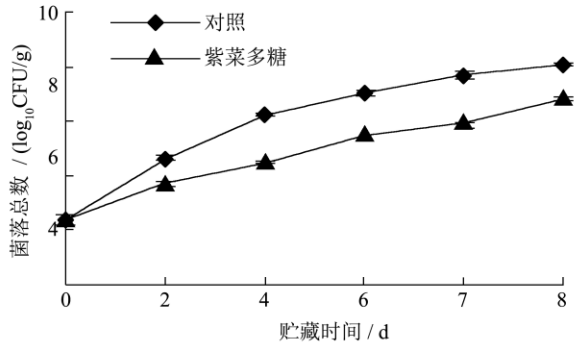


图 1 贮藏期间菌落总数变化

Fig.1 Change in the total colony count in treated and control prawns during coldstorage

2.2 pH 值变化

由图 2 可以看出，对虾的最初 pH 为 7.36，这与 Huang 等报道结果是一致的[29]。对照组和紫菜多糖组 pH 具有相同的变化趋势，先降低然后上升，这也与 Mu 等报道的贮藏对虾 pH 变化趋势是相一致的[4]。由于内源酶和微生物酶作用，导致一些化合物的释放，pH 的变化与这些化合物的积累是密切相关的[30]。死后初期 pH 呈下降趋势，可能是因为体内的糖原被降解，生成酸类物质。但随后在微生物的作用下，虾体内的蛋白质、氨基酸及其它含氮物质被分解为氨、三甲胺、吲哚、组胺等碱性物质，使 pH 值上升。紫菜

多糖组 pH 低于相同贮藏期对照组 pH，可能是因为紫菜多糖抑制微生物繁殖，使蛋白质、氨基酸等含氮物质分解减慢。有研究认为 pH 7.80 是区分品质是否可接受的关键点[31]，对照组贮藏第 4 d 的 pH 值为 7.60，在可接受范围内；紫菜多糖组第 7 d pH 值为 7.74，仍在可接受范围内，而对照组第 7 d pH 值已经达到 8.0。从 pH 值看，紫菜多糖使对虾货架期延长大约 3 d。

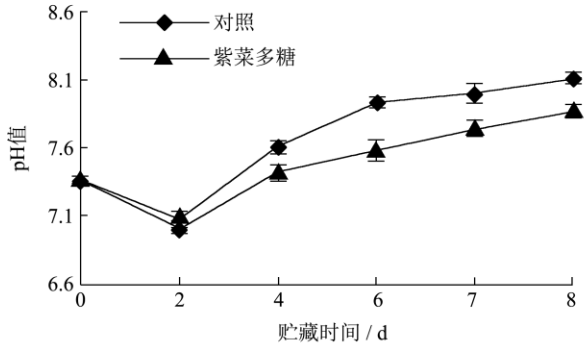


图 2 贮藏时间 pH 值氨变化

Fig.2 Change in pH in treated and control prawns during cold storage

2.3 挥发性盐基氮(TVB-N)变化

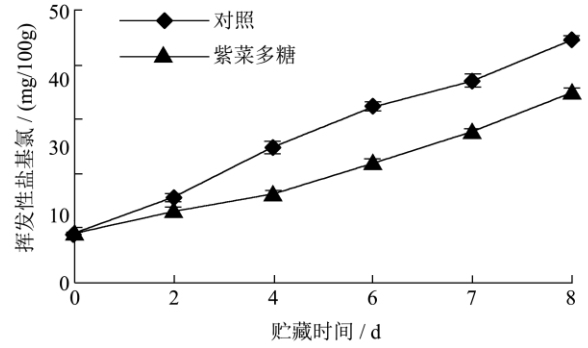


图 3 贮藏时间挥发性盐基氮变化

Fig.3 Change in TVB-N content in treated and control prawns during cold storage

挥发性盐基氮(TVB-N)是评价水产品鲜度的常用指标，它反映水产品蛋白质和其它非蛋白氮化合物因内源性酶或者微生物作用分解而产生三甲胺、二甲胺、氨和其它胺类等碱性化合物的情况[32]。按 GB2741-94 规定[28]：TVB-N≤25 mg/100 g 为一级鲜度；≤30 mg/100 g 为二级鲜度。由图 3 可以看出，TVB-N 的最初值为 8.83 mg/100 g，随着贮藏时间的延长，对照组和紫菜多糖处理组 TVB-N 呈上升趋势；从贮藏第 4 d 起，紫菜多糖组 TVB-N 显著($p<0.05$)低于对照组 TVB-N。贮藏第 4 d 对照组和紫菜多糖组的 TVB-N 分别为 24.74 mg/100 g，16.15 mg/100 g，在一级鲜度范围内；贮藏第 7 d，紫菜多糖组 TVB-N 为 27.58 mg/100 g，仍然在二级鲜度范围，而对照组 TVB-N 为 37.11 mg/100 g，已经超过二级鲜度。紫菜多糖组 TVB-N 值低于对照可能是因为紫菜多糖能抑制微生物繁殖或者分解蛋白质和非蛋白氮化合物的能力降低。紫菜多糖延长对虾货架期 3 d。

2.4 硫代巴比妥酸变化

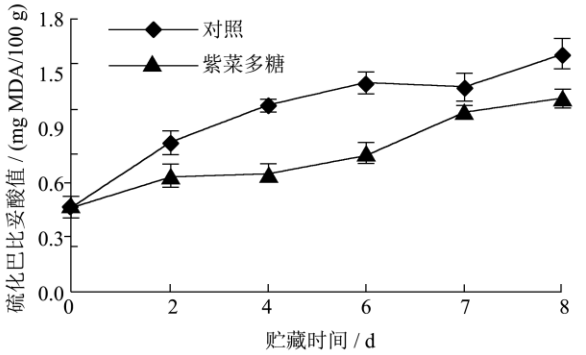


图 4 贮藏期间硫代巴比妥酸变化

Fig.4 Change in TBA in treated and control prawns during cold storage

硫代巴比妥酸(TBA)值是检测油脂氧化产物的有效方法，广泛用于测定脂类食品，尤其是肉类和水产品脂肪氧化酸败程度，是判断水产品脂肪氧化程度的重要指标[33]。由图 4 可以看出，鲜虾初始的 TBA 为 0.56 mg MDA/l00 g，随贮藏时间延长，对照组和紫菜多糖处理组 TBA 值升高。紫菜多糖组 TBA 值低于对照组 TBA 值，说明紫菜多糖提取物有一定抗氧化作用。Zhou 等[34]发现紫菜多糖具有抗氧化活性，本研究也说明紫菜多糖具有抑制对虾脂肪氧化的作用，延长对虾货架期。对虾的硫代巴比妥酸(TBA)值较低的原因可能是因为对虾脂肪含量相对比较低，也可能是产生的 MDA 与蛋白质、氨基酸和核酸结合。

2.5 K 值变化

鱼死亡后，三磷酸腺苷降解为二磷酸腺苷、一磷酸腺苷、次黄嘌呤核苷酸、次黄嘌呤核苷、次黄嘌呤和黄嘌呤[35]。三磷酸腺苷和相关化合物的总体水平（K 值）是用来评价鱼等水产品鲜度的重要指标。很多因素影响 K 值，包括水产品种类、肌肉类型、捕获时应激状态和贮藏温度。由图 5 可以看出，最初 K 值为 1.83%，随贮藏时间的延长，对照组和紫菜多糖处理组 K 值呈上升趋势，紫菜多糖组 K 值上升速度显著（$p<0.05$）低于对照组。在贮藏第 4 d，对照组和紫菜多糖处理组的 K 值分别为 20.70%，13.27%；在贮藏末期对照组对虾 K 值已经达到 39.10%，完全腐败。在贮藏第 8 d，紫菜多糖处理组 K 值为 27.75%，已有

初期腐败现象。生物聚合物通过螯合作用能有效和生物组织结合[36]，紫菜多糖可能通过交联机制和 ATP 降解酶结合，导致 ATP 降解率降低。紫菜多糖处理使对虾货架期延长大约 3~4 d。

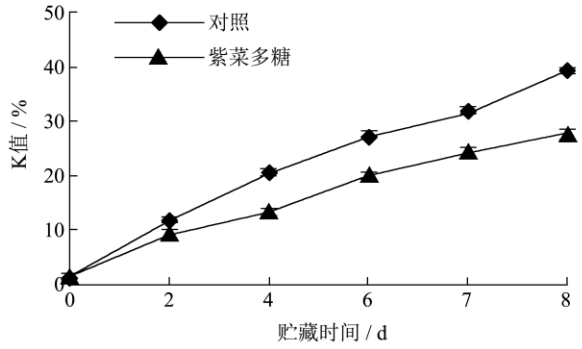


图 5 贮藏期间 K 值变化

Fig.5 Change in K values in treated and control prawns during cold storage

2.6 感官评价

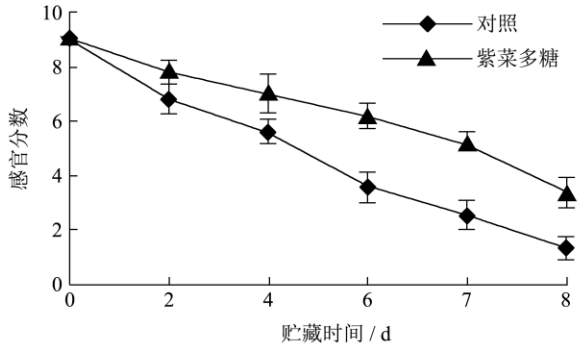


图 6 贮藏期间感官评分变化

Fig.6 Change in sensory scores of treated and control prawns subjected to cold storage

由图 6 可以看出，在贮藏的当天，感官分数无显著（$p>0.05$）变化，说明紫菜多糖处理对虾对其感官没有不利影响。随贮藏时间的延长，对照组感官分数呈显著（$p<0.05$）下降趋势；紫菜多糖处理组感官分数与对照组有相似的变化趋势，但紫菜多糖组感官分数显著（$p<0.05$）高于对照组。感官分数是各项鲜度评价指标的综合反映，随贮藏时间的延长 TVB-N、TBA 和菌落总数上升的同时感官分数逐渐降低。Li 等[35]认为感官分数低于 5.0 不能食用。对照组和紫菜多糖组在贮藏第 4 d 感官分数分别为 5.6，7.0。紫菜多糖组在贮藏第 7 d 感官分数为 5.2，而对照组在第 7 d 感官分数已经降低到 2.6。紫菜多糖组感官分数下降缓慢，可能与紫菜多糖抑制微生物的增长有关。

3 结论

用 0.8%紫菜多糖提取物处理的对虾，在 4 ℃冰箱中贮藏 8 d。在冷藏过程中，紫菜多糖处理组的菌落总数、pH 值、TVB-N 值、TBA 值和 K 值显著低于对照组，而感官评分显著高于对照组。紫菜多糖提取物能更有效抑制冷藏对虾的细菌繁殖，减缓脂肪氧化，延缓腐败变质，其处理的对虾货架期延长 3~4 d。紫菜多糖提取物在冷藏对虾等水产品上的应用具有良好的前景。

参考文献

[1] 胡晓亮,沈建,陈庆余.对虾天然保鲜剂的研究进展[J].核农学报,2012,26(9):1284-1289
HU Xiao-liang, SHEN Jian, CHEN Qing-yu. Research progress on natural antistaling agent for fresh shrimp [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(9): 1284-1289

[2] Rutherford T J, Marshall D L, Andrews L S, et al. Combined effect of packaging atmosphere and storage temperature on growth of Listeria monocy togenes on ready to-eat shrimp [J]. Food Microbiology, 2007, 24(8): 703-710

[3] Bahmani Z A, Rezai M, Hosseini S V, et al. Chilled storage of golden gray mullet (Liza aurata) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(9): 1894-1900

[4] Mu H L, Chen H J, Fang X J, et al. Effect of cinnamaldehyde on melanosis and spoilage of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(10): 2177-2182

[5] Bahmani Z A, Rezai M, Hosseini S V, et al. Chilled storage of golden gray mullet (*Liza aurata*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(9): 1894-1900

[6] Wang H, Yang R J, Liu Y N, et al. Effects of low dose gamma irradiation on microbial inactivation and physicochemical properties of fried shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(6): 1088-1096

[7] Kaur B P, Kaushik N, Rao P S, et al. Effect of high-Pressure processing on physical, biochemical, and microbiological characteristics of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. Food Bioprocess Technology, 2013, 6(6): 1390-1400

[8] Zhou R, Liu Y, Xie J, et al. Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure puffer fish (Takifugu obscurus) during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1660-1666

[9] Li M, Wang W, Fang W, et al. Inhibitory effects of chitosan

coating combined with organic acids on Listeria monocytogenes in refrigerated ready-to-eat shrimps [J]. Journal of Food Protection, 2013, 76(8): 1377-1383

[10] 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

[11] 李晓川.我国紫菜产业发展、标准状况及安全性评价[J].中国渔业质量与标准,2011,1(3):9-12
LI Xiao-chuan. Industry development, standard and safety assessment of seaweed in China [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2011, 1(3): 9-12

[12] 王海洪,王扬,徐大伦.紫菜加工利用可行性分析[J].食品科技,2000,6:29-30
WANG Hai-hong, WANG Yang, XU Da-lun. Food Science and Technology, 2000, 6: 29-30

[13] 谢玥,贾丽,焦玉海.高效液相色谱法测定蔬菜中B族维生素[J].中国食品添加剂,2010,3:218-222
XIE Yue, JIA Li, JIAO Yu-hai. Determination of vitamin b group in vegetables by high performance liquid chromatography [J]. China Food Additives, 2010, 3: 218-222

[14] Zubia M, Fabre M S, Kerjean V, et al. Antioxidant and cytotoxic activities of some red algae (*Rhodophyta*) from Brittany coasts (France) [J]. Botanica Marina, 2009, 52(3): 268-277

[15] Ding L, Qin S, Li F S, et al. Isolation, antimicrobial activity, and metabolites of fungus cladosporium sp. associated with red alga Porphyra yezoensis [J]. Current Microbiology, 2008, 56(3): 229-235

[16] Yang Y J, Nam S J, Kong G, et al. A case-control study on seaweed consumption and the risk of breast cancer [J]. British Journal of Nutrition, 2010, 103(9): 1345-1353

[17] Tsuge K, Okabe M, Yoshimura T, et al. Dietary effects of Porphyran from Porphyra yezoensis on growth and lipid metabolism of Sprague-Dawley rats [J]. Food Science and Technology Research, 2004, 10(2): 147-151

[18] Yoshizawa Y, Ametani A, Tsunehiro J, et al. Macrophage stimulation activity of the polysaccharide fraction from a marine alga (*Porphyra Yezoensis*): structure-function relationships and improved solubility [J]. Bioscience Biotechnology Biochemistry, 1995, 59(10): 1933-1937

[19] 李升福,王喜波,闻海波.壳聚糖在对虾保鲜中作用的初步研究[J].河北渔业,2007,3:14-18,24
LI Sheng-fu, WANG Xi-bo, WEN hai-bo. Research on the function of chitosan for preservation of raw shrimp [J]. Hebei Fishery,2007, 3:14-18, 24

[20] 秦秋香,郭祀远.壳聚糖的成膜性及其工业应用进展[J].现代食品科技,2007,23(4):93-96
QIN Qiu-xiang, GUO Qin-yuan. Filming of chitosan and its applications [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(4): 93-96

[21] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colormetric methods for determination of sugars and related substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356

[22] GB/T 4789.2-2010,食品微生物学检验-菌落总数测定[S].北京:中国标准出版社,2010
GB/T 4789.2-2010, Food microbiology testing-Determination of the total number of colonies [S]. Beijing, China Standard Press, 2010

[23] GB/T 5009.457-2003,水产品卫生标准的分析方法[S].北京:中国标准出版社,2003
GB/T 5009.457-2003, Analysis method of aquatic health standards [S]. Beijing, China Standard Press, 2003

[24] FOSS. Determination of total volatile basic nitrogen of fresh fish and frozen fish [J]. Application Sub Note, 2002, 8: 16

[25] Barakat S M, Yamazaki K, Miyashita K, et al. A new technology for fish preservation by combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds [J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 656-662

[26] Choia Y J, Linb T M, Tomlinsonb K, et al. Effect of salt concentration and temperature of storage water on the physicochemical properties of fish proteins [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 41(3): 1387-1393

[27] 王四维.虾类产品鲜度判定方法[J].保鲜与加工,2005,5:42-44
WANG Si-wei. Determination methods on freshness of shrimp product [J]. Storage and Process, 2005, 5: 42-44

[28] GB/T 2741-1994,海虾卫生标准[S].北京:中国标准出版社,1994
GB/T 2741-1994, Shrimp health standards [S]. China Standard Press, 1994

[29] Huang J Y, Chen Q C, Qiu M, et al. Chitosan-based edible coatings for quality preservation of postharvest whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Journal of Food Science, 2012, 77: 491-496

[30] Sundararajan S, Prudente A, Bankston J D, et al. Evaluation of green tea extract as a glazing material for shrimp frozen by cryogenic freezing [J]. J. Food Sci., 2011, 76: 511-518

[31] Saloua S, Abdel W, Abdel M, et al. Combined effect of sepia soaking and temperature on the shelf life of peeled shrimp

Penaeus kerathurus [J]. Food Chemistry, 2004, 88(1): 115-122

[32] Ruiz-Capillas C, Moral A. Sensory and biochemical aspects of quality of whole bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during bulk storage in controlled atmospheres [J]. Food Chemistry, 2005, 89(3): 347-354

[33] Jo C, Ahn D U. Volatiles and oxidatives changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 270-275

[34] Zhou C, Wang Y, Ma H, et al. Effect of ultrasonic degradation on in vitro antioxidant activity of polysaccharides from porphyra yezoensis (Rhodophyta) [J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(6): 479-486

[35] Li T T, Li J R, Hu WZ, et al. Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 821-826

[36] Dasha M, Chiellini F, Ottenbriteb R M, et al. Chitosan-aversatile semi-synthetic polymer in biomedical applications [J]. Progress in Polymer Science, 2011, 36: 981-1014

现代食品科技