

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.03.003

含 ϵ -聚赖氨酸的壳聚糖/明胶涂层对海参的保鲜作用

毕景然¹, 王煦松^{1*}, 陈庭家², 张梓豪¹, 穆露¹

(1. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034; 2. 大连盐化集团有限公司, 辽宁 大连 116009)

摘要: 海参具有水分含量高、蛋白含量高的原料特性, 在储运过程中极易发生腐败。该文研究含 ϵ -聚赖氨酸(ϵ -polylysine, ϵ -PL)的壳聚糖(chitosan, CS)/明胶(gelatin, Gel)涂层对海参冷藏过程中品质劣化的延缓作用。结果表明, 未涂层的空白组海参在贮藏第3天已经腐败, 菌落总数及总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量快速上升。CS-Gel/ ϵ -PL涂层能够有效抑制海参上微生物的生长, 贮藏7d时, 处理组菌落总数为4.07 lg(CFU/mL), TVB-N含量仅为28.42 mg/100 g, 仍低于安全限值。另外, CS-Gel/ ϵ -PL涂层处理组海参在贮藏过程中持水率高, 氮氧化物、甲烷等短链烷烃、无机硫化物以及有机硫化物等腐败不良气味产生量低, 硬度、弹性及咀嚼性等质构特性保持良好。通过感官评价分析, 发现CS-Gel/ ϵ -PL涂层可有效延缓贮藏过程中海参体壁暗淡、特征鲜味消失、组织状态松散、弹性下降等现象。以上表明CS-Gel/ ϵ -PL对即食海参具有良好保鲜效果。

关键词: ϵ -聚赖氨酸; 壳聚糖; 明胶; 海参; 保鲜

Preservation Effect of Chitosan/Gelatin Coating Containing ϵ -Polylysine on Sea Cucumbers

BI Jingran¹, WANG Xusong^{1*}, CHEN Tingjia², ZHANG Zihao¹, MU Lu¹

(1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China; 2. Dalian Salt Chemical Group Co., Ltd., Dalian 116009, Liaoning, China)

Abstract: As sea cucumbers have the raw material characteristics of high moisture and protein content, they are easy to corrupt during storage and transportation. This paper studied the delay effect of chitosan (CS)/gelatin (Gel) coating containing ϵ -polylysine (ϵ -PL) on the quality deterioration of sea cucumbers during cold storage. The results showed that the sea cucumbers in the blank group without CS-Gel/ ϵ -PL coating had deteriorated on the third day of storage, and the total number of colonies and total volatile basic nitrogen (TVB-N) content had increased rapidly. CS-Gel/ ϵ -PL could effectively inhibit the growth of microorganisms on sea cucumbers. After 7 d of storage, the total colony counts in the treatment group was 4.07 lg(CFU/mL), and the TVB-N content was only 28.42 mg/100 g, still lower than the safety limit. In addition, sea cucumbers in the CS-Gel/ ϵ -PL coating treatment group had high water-holding capacity and low production of objectionable odors, such as nitrogen oxides, short-chain alkanes like methane, inorganic sulfides, and organic sulfides. They also had good hardness, elasticity, and chewability. Sensory evaluation analysis showed that CS-Gel/ ϵ -PL coating could effectively delay the phenomena of the dim body wall, disappearance of characteristic umami, loose tissue state, and decrease of elasticity of sea cucumbers during storage. These results demonstrated that CS-Gel/ ϵ -PL has a good preservation effect on instant sea cucumber.

Key words: ϵ -polylysine; chitosan; gelatin; sea cucumber; preservation

引文格式:

毕景然, 王煦松, 陈庭家, 等. 含 ϵ -聚赖氨酸的壳聚糖/明胶涂层对海参的保鲜作用[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(3): 17-23.

BI Jingran, WANG Xusong, CHEN Tingjia, et al. Preservation Effect of Chitosan/Gelatin Coating Containing ϵ -Polylysine on Sea Cucumbers[J]. Food Research and Development, 2025, 46(3): 17-23.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(32102050); 辽宁省教育厅高校基本科研项目(LJKMZ20220875)

作者简介: 毕景然(1988—), 女(汉), 副教授, 博士研究生, 研究方向: 水产品加工与保鲜。

*通信作者: 王煦松(1989—), 女, 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 食品质量控制。

海参(*Stichopus japonicus*)属于棘皮动物门海参纲,是我国重要的经济水产品,2022年我国海参总产量达24.9万t^[1]。即食海参作为一种典型的海参加工形式,产品既保留了海参的原有风味和营养价值,又兼具食用方便的属性,因此备受消费者喜爱^[2]。海参体壁是海参的主要可食部分,蛋白质含量为40%~60%(干重),是公认的优质动物蛋白^[3]。但由于高蛋白的原料特性,海参在加工、贮藏和运输过程中不可避免地会发生蛋白质变性、质构劣变和营养物质损失等一系列品质变化,导致海参难以长时间冷藏贮存。2023年,于笛等^[4]研究发现,由于微生物作用以及水分流失,即食海参在4℃贮藏过程中,理化性质会发生显著性改变,品质下降明显。因此,提高海参在冷藏保鲜过程中的品质控制尤为重要。

ϵ -聚赖氨酸(ϵ -polylysine, ϵ -PL)是一种阳离子抗菌肽,具有高水溶性、无毒、无异味、可生物降解、广谱抑菌性、适用pH值范围广等特点,因此被广泛地应用于食品保鲜领域^[5]。Chen等^[6]制备的 ϵ -PL-氨基羧甲基壳聚糖/双醛淀粉/聚乙烯醇保鲜膜可以有效抑制细菌生长,并被成功应用于三文鱼冷藏保鲜。Zheng等^[7]发现 ϵ -PL-胶原蛋白/壳聚糖膜可有效抑制猪肉在冷藏过程中脂质的氧化及细菌的生长,相较于聚乙烯商业包装膜,可延长猪肉5d货架期。Xiao等^[8]利用魔芋葡甘露聚糖、 ϵ -PL和阿魏酸,制备了复合保鲜膜,并应用于鲈鱼的保鲜,研究发现复合膜可有效延缓鱼肉的腐败,提高新鲜度,抑制腐烂气味的生成。

天然多糖因其独特的生物特性、可降解、无毒,常被用于制作可食用涂层,以作为微生物、氧气和水汽的屏障来延长食品的保质期。壳聚糖(chitosan, CS)属天然产物,是自然界中唯一的天然碱性多糖^[9]。明胶(gelatin, Gel)来源广泛,是动物的皮肤、骨肌膜等结缔组织的胶原部分的降解产物,具有良好的生物相容性、生物可降解性^[10]。Qiao等^[11]研究发现,通过氢键和静电相互作用,壳聚糖和明胶可形成具有良好相容性、成膜性的共混物,可被广泛应用于活性物质的负载,以降低活性物质散失速率,延长作用时间。Tügen等^[12]制备了Gel/CS膜用于负载柠檬精油,研究发现含有柠檬精油的Gel/CS膜具有良好的抗氧化活性及机械性能,并成功应用于鲜切红苹果的保鲜。

本文研究CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层对海参4℃贮藏过程菌落总数、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、持水率、挥发性物质、质构特性、感官特征的影响,以期阐明CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层对海参冷藏过程中品质变化的减缓作用,为开发其在水产保鲜中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

即食刺参(*Apostichopus japonicus*):市售;CS(生物试剂)(脱乙酰度80%~97%):生工生物科技有限公司(上海);Gel(生物试剂):上海原野生物科技有限公司; ϵ -PL、平板计数琼脂培养基(均为生物试剂):上海阿拉丁生化科技有限公司;乙酸、氧化镁(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

FW177恒温加热磁力搅拌器:天津市泰斯特仪器有限公司;GFL-70电热鼓风干燥箱:天津市莱玻特瑞仪器设备有限公司;ZHJH-C1112B超净工作台:华辰乐天生物试验设备有限公司;K9840自动凯氏定氮仪:山东海能科学仪器有限公司;SX-500蒸汽灭菌锅:托米托吉有限公司;DRP-91b2电热恒温培养箱:上海森信实验仪器有限公司;TA.XT Plus物性测定仪:英国Stable Micro Systems公司;PEN3型电子鼻:德国AIR-SENSE公司;Sorvall ST8离心机:赛默飞世尔科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 壳聚糖-明胶/ ϵ -聚赖氨酸复合涂层的制备

将6g CS充分溶解于100mL 0.5%(体积比)的乙酸溶液中,配制成6%的CS溶液。取3g Gel溶于100mL去离子水,并向其中加入0.35g ϵ -PL,搅拌1h。将CS溶液与Gel/ ϵ -PL溶液按体积比1:1混合,搅拌30min后,超声脱气直至溶液呈透明状,即为CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层。

1.3.2 海参样品处理

将海参随机分配成3组,分别为空白组(未挂涂)、CS-Gel处理组及CS-Gel/ ϵ -PL处理组,每组5根海参。每根海参在200mL保鲜溶液中浸渍10s,取出常温晾置5min后,放入4℃冰箱中贮藏,在第0、1、3、5、7、10、14天取样进行指标测定。

1.3.3 菌落总数的测定

根据GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法,称取2g样品放入装有18mL超纯水的无菌离心管中,漩涡振荡2min,制成质量分数10%的样品匀液,吸取1mL匀液进行连续10倍梯度稀释,选取两个合适的浓度,采用平板计数琼脂培养基,在37℃下培养72h后,记录菌落数量,并根据公式(1)计算样品菌落总数。

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1n_2) \times d} \quad (1)$$

式中: N 为样品中菌落总数; $\sum C$ 为平板(含适宜范围菌落数的平板)菌落数之和; n_1 为第一稀释度(低稀释倍数)平板个数; n_2 为第二稀释度(低稀释倍数)平板

个数; d 为稀释因子(第一稀释度)。

1.3.4 TVB-N含量的测定

根据 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的方法,取 2 g 海参样品,切碎后,加入 18 mL 去离子水中,漩涡振荡 2 min 后过滤。向滤液中加入 1 g 氧化镁,立即使用自动凯氏定氮仪进行测定。

1.3.5 持水率测定

将 2 g 海参置于离心管中,在 4 °C 下 3 000 r/min 离心 10 min,根据公式(2)计算持水率。

$$W = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: W 为持水率,%; m_0 为离心前海参质量,g; m_1 为离心后海参质量,g。

1.3.6 挥发性物质的测定

取 2 g 不同贮藏时间的海参样品,匀浆成泥状,装入 10 mL 顶空瓶中,密封封盖用于电子鼻检测。气体流速 150 mL/min,保留时间 600 s,顶空温度 25 °C,进样针取样量 0.25 mL,进样速度 2 mL/s,采集时间 120 s,结束后延时 600 s。电子鼻传感器阵列及其性能特性分别为 W1C 对芳香成分灵敏,W5S 对氮氧化物灵敏,W3C 对氨水、芳香类化合物灵敏,W6S 对氢气有选择性,W5C 对烷烃、芳香类化合物和弱极性化合物灵敏,W1S 对甲烷等短链烷烃灵敏,W1W 对无机硫化物灵敏,W2S 对醇、醛、醚等灵敏,W2W 对芳香族化合物、有机硫化物灵敏,W3S 对烷烃灵敏。

1.3.7 质构特性的测定

取海参背部体壁,修整疣足后,选用 P/0.5 柱形探头对海参的弹性、硬度、内聚性、黏性、咀嚼性、回复性进行质构特征分析(texture profile analysis, TPA),测定过程中设定形变量为 50%,感应力为 5 g,测定速度为 0.5 mm/s。

1.3.8 感官评价

由 15 人(男女比例为 7:8)组成感官评定小组,根据表 1 对海参的品质特征(色泽、风味、组织状态和弹性)进行目测、鼻嗅、触碰评分,评价标准采取 5 分制。

表 1 海参感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of sea cucumber

分值	色泽	气味	组织状态	弹性
5	呈淡褐色或深褐色,有光泽	无腥臭味,呈特有鲜味	完整、韧性好,肉质紧密	弹性好
4	较有光泽	无腥臭味,稍有鲜味	较完整、韧性较好,肉质较紧密	弹性较好
3	光泽一般	无腥臭味,无鲜味	略有松散、韧性一般	弹性一般
2	色泽较暗淡,光泽差	略有腥臭味	肉质松散	弹性较差
1	色泽暗淡,无光泽	强烈腥臭味	肉质软烂	无弹性

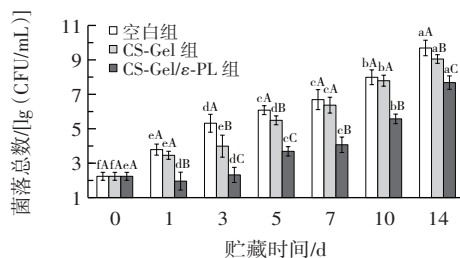
1.4 数据分析

利用 Excel 2010 软件对试验数据进行整理与分析,所得数据采用 SPSS 25.0 进行显著性分析($p < 0.01$ 表示差异显著)。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖-明胶/ ϵ -聚赖氨酸复合涂层对海参菌落总数的影响

聚糖-明胶/ ϵ -聚赖氨酸复合涂层对海参菌落总数的影响见图 1。



不同小写字母表示同一组别不同时间具有显著性差异($p < 0.01$);不同大写字母表示同一时间不同组别具有显著性差异($p < 0.01$)。

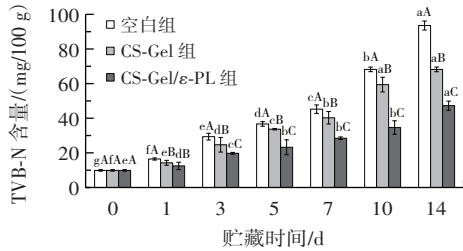
图 1 海参在 4 °C 贮藏过程中菌落总数的变化

Fig.1 Changes in total colony counts of sea cucumbers during storage at 4 °C

根据 GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》,即食生制动物性水产制品的菌落总数应不超过 5 lg (CFU/mL)。由图 1 可知,在 4 °C 贮藏过程中,海参体壁的菌落总数快速增长,空白组在 0 d 时菌落总数为 2.24 lg (CFU/mL),第 3 天时已超出质量安全要求限值,达到 5.32 lg (CFU/mL),14 d 后高达 9.69 lg (CFU/mL)。CS 作为一种阳离子多糖,本身具有抑菌特性^[13],因此,CS-Gel 组可以抑制海参体壁微生物的生长,但在贮藏 5 d 时,CS-Gel 组菌落总数超过 5 lg (CFU/mL),达到 5.49 lg (CFU/mL),14 d 时达到 9.05 lg (CFU/mL)。由于加入抗菌肽 ϵ -PL,CS-Gel/ ϵ -PL 的抑菌效果明显提升。 ϵ -PL 可通过静电作用与细菌细胞膜结合,使磷脂双分子层弯曲受损,破坏细胞膜完整性,使细胞内容物外泄,进而导致菌体死亡^[14]。因此,CS-Gel/ ϵ -PL 处理组贮藏 1 d 时,海参体壁菌落总数下降至 1.96 lg (CFU/mL)。之后,菌落总数虽仍呈上升趋势,但增长速率有效减缓,贮藏 7 d 时为 4.07 lg (CFU/mL),仍低于安全限值,14 d 时仅为 7.68 lg (CFU/mL)。以上结果表明,CS-Gel/ ϵ -PL 复合涂层可以有效抑制海参体壁细菌的生长繁殖,延长海参货架期。

2.2 壳聚糖-明胶/ ϵ -聚赖氨酸复合涂层对海参 TVB-N 含量的影响

壳聚糖-明胶/ ϵ -聚赖氨酸复合涂层对海参 TVB-N 含量的影响见图 2。



不同小写字母表示同一组别不同时间具有显著性差异($p < 0.01$);不同大写字母表示同一时间不同组别具有显著性差异($p < 0.01$)。

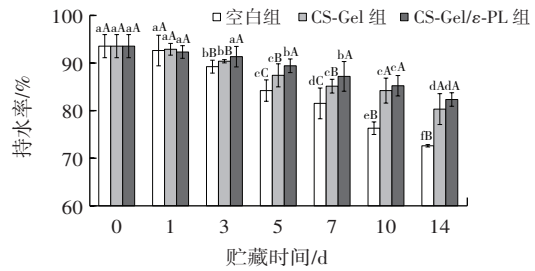
图2 海参在4°C贮藏过程中TVB-N含量的变化

Fig.2 Changes in TVB-N content of sea cucumbers during storage at 4°C

水产品贮藏过程中,受到酶和微生物的作用,氨基酸极易被破坏,会产生氨、二甲胺、三甲胺等氨类物质^[15]。TVB-N含量是反映水产品品质的重要指标之一。根据GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》,即食生制动物性水产制品的TVB-N含量不得超过30 mg/100 g。由图2可知,新鲜的海参TVB-N含量为9.85 mg/100 g,空白组在贮藏第3天达到29.35 mg/100 g。CS-Gel处理组TVB-N含量同样在贮藏第5天超过安全限值,达到33.67 mg/100 g。CS-Gel/ε-PL处理组对海参具有良好的保鲜效果,在7 d时,TVB-N含量仅为28.42 mg/100 g,低于安全限值,这可能是由于ε-PL的抑菌性有效地削弱了微生物对海参体壁氨基酸的降解作用,有效提升了复合涂层的防腐作用^[16]。

2.3 壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参持水率的影响

壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参持水率的影响见图3。



不同小写字母表示同一组别不同时间具有显著性差异($p < 0.01$);不同大写字母表示同一时间不同组别具有显著性差异($p < 0.01$)。

图3 海参在4°C贮藏过程中持水率的变化

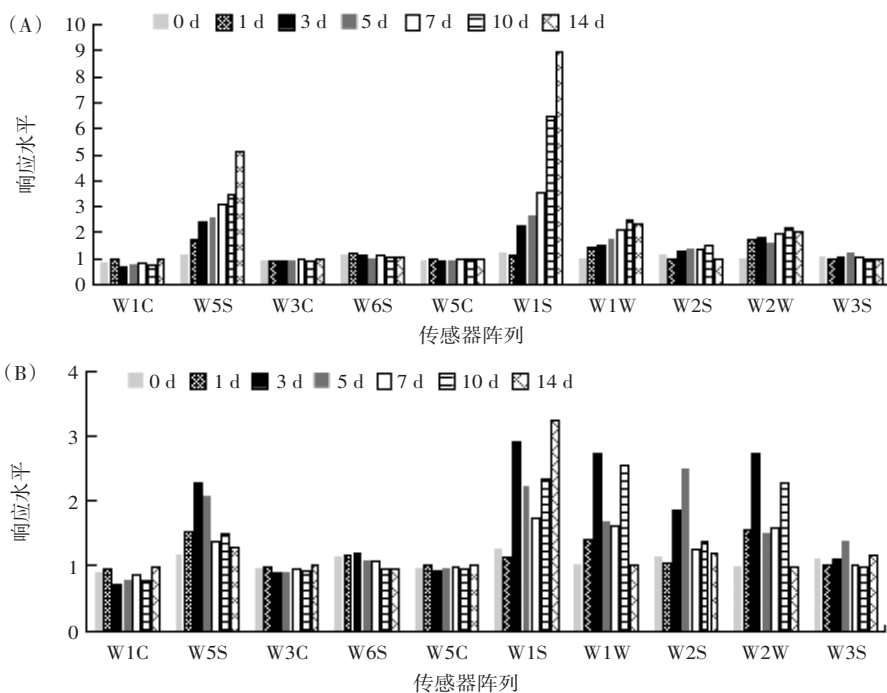
Fig.3 Changes in the water-holding capacity of sea cucumbers during storage at 4°C

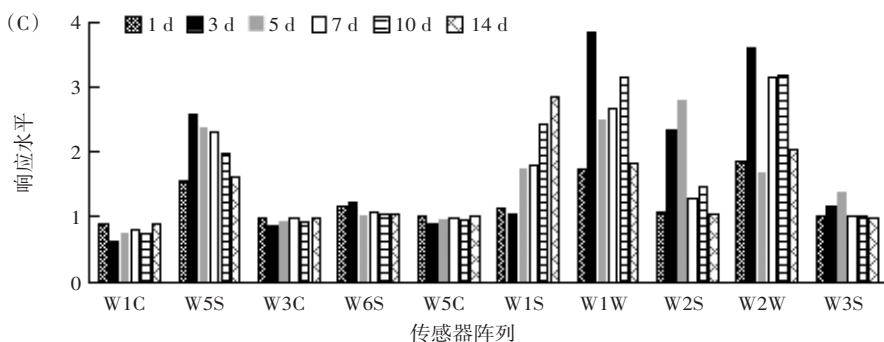
水分是海参的主要成分之一,持水性对即食海参的多汁性、嫩度及风味等感官品质具有重大影响^[17]。由图3可知,新鲜海参具有良好的持水性,持水率达93.55%,但随着贮藏时间的延长,海参的持水率严重下滑,14 d时,仅为72.61%,这可能是由于在贮藏过程中,微生物大量繁殖,腐败加剧,致使海参体壁胶原蛋白网络结构被破坏,水分子自由度增加,从而降低了持水能力^[18]。但CS-Gel及CS-Gel/ε-PL处理组均具有良好的抑菌作用,因此有效地减缓了持水率的下降趋势,尤其是CS-Gel/ε-PL处理组海参在贮藏14 d时,持水率仍为82.34%。

2.4 壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参挥发性成分的影响

壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参挥发性成分的影响见图4。

海参中含有丰富的蛋白质,在腐败过程中,伴随着





(A)空白组;(B)CS-Gel组;(C)CS-Gel/ε-PL组。

图4 海参在4℃贮藏过程中挥发性成分的变化

Fig.4 Changes in volatile components of sea cucumbers during storage at 4℃

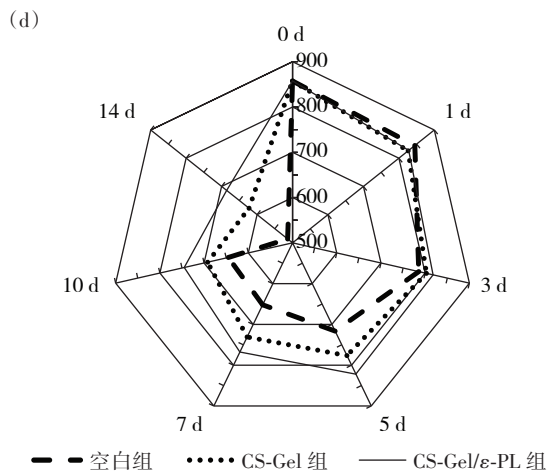
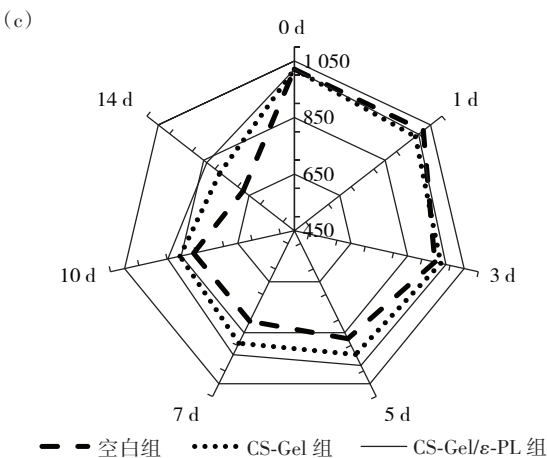
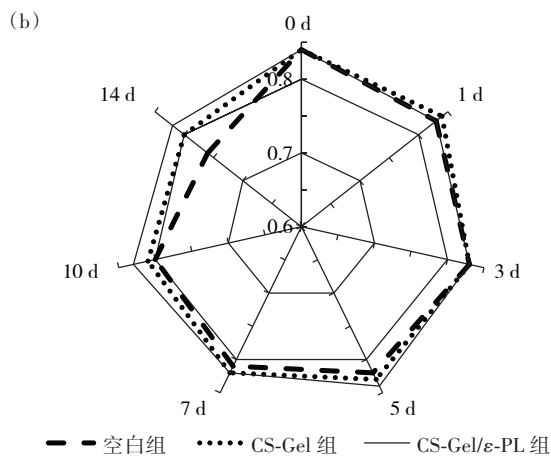
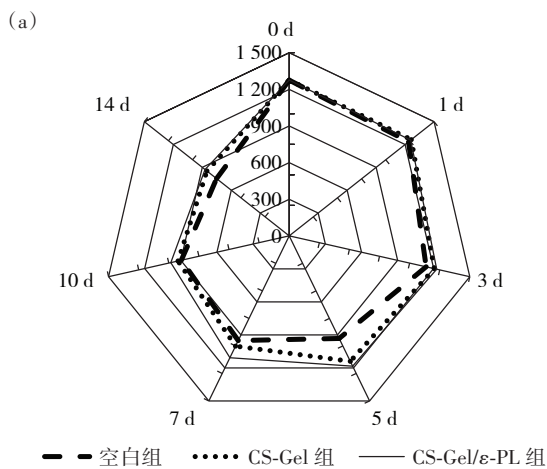
大量的蛋白质分解,会产生具有挥发性的分解产物,其中以氨类及含硫化合物为主^[19],因此可以采用电子鼻测定仪,模拟嗅觉系统测定海参挥发物质的变化规律,收集气味指纹数据。由图4可知,空白组W5S、W1S、W1W、W2W传感器阵列响应值随贮藏时间延长而逐渐增大,说明在海参贮藏过程中产生了大量的氮氧化物、甲烷等短链烷烃、无机硫化物以及有机硫化物。CS-Gel及CS-Gel/ε-PL处理组均对以上4类挥发性物质的生成具有抑制作用,尤其是CS-Gel/ε-PL处理组对于W5S(氮氧化物)以及W1W(无机硫化物)的抑制

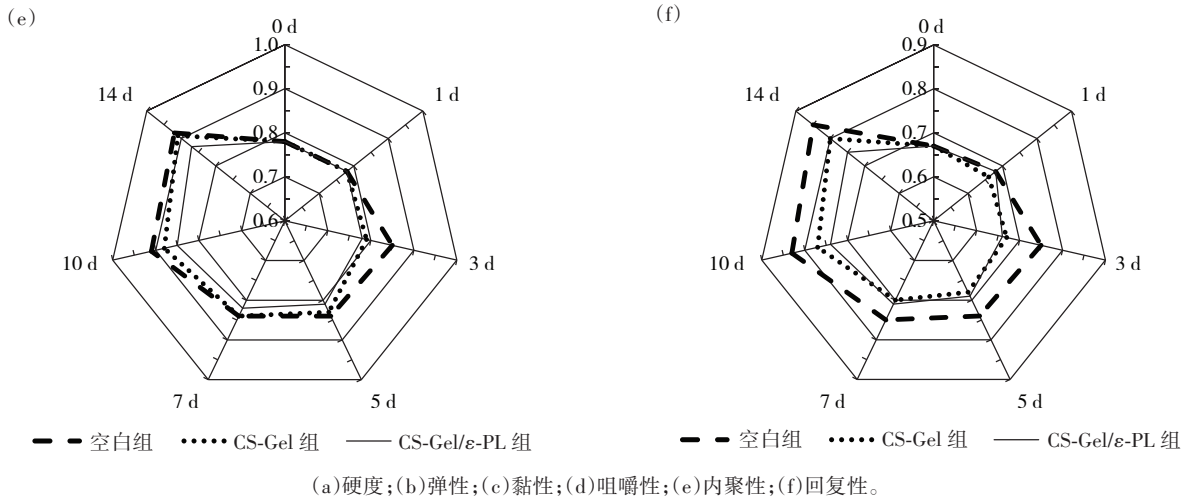
效果明显。

2.5 壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参质构特性的影响

壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参质构特性的影响见图5。

质构特性是评价食品品质的重要指标之一。由图5可知,硬度是决定海参口感的关键指标,新鲜海参的硬度为1275.48g,贮藏期间硬度快速下降,第5天时,硬度已降至1000g以下(932.12g),14d后为752.39g,下降率达41.01%,与于笛等^[4]的研究结果一致,贮藏过





(a)硬度;(b)弹性;(c)黏性;(d)咀嚼性;(e)内聚性;(f)回复性。

图5 海参在4℃贮藏过程中质构特性的变化

Fig.5 Changes in texture properties of sea cucumbers during storage at 4℃

程中即食海参的硬度呈明显下降趋势。由于CS-Gel及CS-Gel/ε-PL处理组可以有效抑制海参的腐败,减缓海参贮藏过程中软烂的现象,处理组海参的硬度在贮藏第7天时仍保持在1000g以上(CS-Gel组:1002.39g,CS-Gel/ε-PL组:1107.12g)。弹性特征代表样品受外力作用变形后恢复原状的能力,空白组样品的弹性值随贮藏时间的延长而逐渐降低,由0d的0.84降至14d的0.76,这可能是由于贮藏过程中海参汁液流失造成海参体壁蛋白网络结构支撑能力下降,致使海参变形后恢复能力减弱^[20]。但是CS-Gel/ε-PL处理组仍可以良好地保持海参体壁弹性,贮藏14d时弹性值仍为0.82。咀嚼性是弹性与黏性的乘积,表示咀嚼样品所需的能量^[21]。新鲜海参的黏性为1020.85,咀嚼性为857.51mJ,贮藏3d后黏性降至946.29,咀嚼性为785.42mJ,贮藏14d后黏性为675.97,咀嚼性为513.74mJ,咀嚼性降低代表海参的适口性减弱,对海参品质影响较大。CS-Gel及CS-Gel/ε-PL处理组可以有效缓解贮藏期间海参咀嚼性减弱这一现象,其中,CS-Gel组在贮藏第3天时,咀嚼性仍为802.78mJ,第

14天时为622.56mJ;CS-Gel/ε-PL组在贮藏5d时,咀嚼性为821.79mJ(大于800mJ),第14天时仍为685.68mJ。内聚性代表样品聚在一起的能力,贮藏期间,海参胶原网络体系逐渐被水解,体壁支撑性下降^[22],空白组内聚性由0d的0.78逐渐上升至0.92,上升率为17.95%,而CS-Gel/ε-PL处理组第14天时为0.87,上升率降至11.54%。回复性一般可代表韧性,空白组样品回复性随贮藏时间的延长而逐渐增大,0d时回复值为0.67,14d时回复值降为0.85,这可能是由于贮藏过程中海参体壁胶原不断降解,致使纤维束松散,导致样品原面积与受力形变之后面积的比值增大,回复性增加^[23]。CS-Gel/ε-PL组在贮藏第14天时,回复性为0.75。以上结果可知,CS-Gel/ε-PL保鲜液可以有效保持即食海参在4℃贮藏过程中的质构特性。

2.6 壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参感官特性的影响

壳聚糖-明胶/ε-聚赖氨酸复合涂层对海参感官特性的影响见图6。

由图6可知,空白组海参的色泽、气味、组织结构、

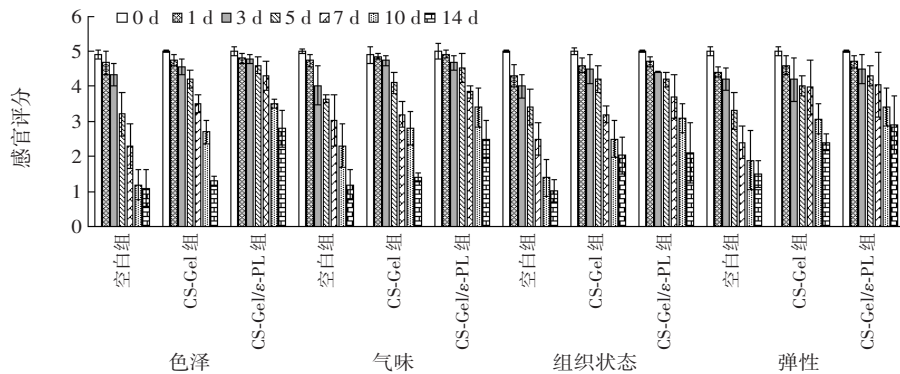


图6 海参在4℃贮藏过程中感官特征分项评分

Fig.6 Scoring of sensory properties of sea cucumbers during storage at 4℃

弹性均在贮藏第5 d 出现明显下滑,开始出现腐败现象,海参体壁光泽一般,失去原有特征鲜味,组织状态松散、韧性一般,弹性下降,色泽、气味、组织结构、弹性特征评分下降率分别为35.8%、27.2%、31.6%、34.0%,感官总评分下降32.2%,这些现象可能和贮藏过程腐败菌的大量繁殖,胶原蛋白降解,汁液流失等有关。而挂涂了CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层后, ϵ -PL良好的抑菌效果减缓了海参的腐败程度,贮藏第7天时,色泽、气味、组织结构、弹性特征评分下降率仅分别为26.8%、27.2%、30.0%、24.2%,感官总评分下降27.1%,说明CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层不仅可以延长海参的货架期,还可以有效保持海参的品质。

3 结论

本文针对海参冷藏过程易腐败的问题,制备了CS-Gel/ ϵ -PL复合涂层,并探究了CS-Gel/ ϵ -PL涂层对海参冷藏过程中品质变化的影响。研究发现,CS-Gel/ ϵ -PL涂层能够有效延缓海参的品质劣化现象,将海参保质期从3 d 延长至7 d。CS-Gel/ ϵ -PL处理组海参在贮藏第7天时,菌落总数为4.07 lg(CFU/mL),TVB-N含量仅为28.42 mg/100 g,均远低于空白组,且未超过安全限值。另外,CS-Gel/ ϵ -PL涂层有效减缓了海参贮藏过程中硬度、弹性、黏性、咀嚼性降低,内聚性、回复性增大的质构变化,处理组贮藏14 d 时持水率仍为82.34%,氮氧化物及无机硫化物的含量低于空白组,且色泽、气味、组织结构、弹性感官特征评分均高于空白组。由此说明,CS-Gel/ ϵ -PL涂层可以有效减缓海参贮藏过程中品质劣化的现象,对加工贮藏过程中保持海参品质具有重要参考意义。

参考文献:

- [1] 刘经未,相智巍,李宝山,等. 海参中多糖,皂苷等活性物质的研究进展[J]. 水产研究, 2023, 10(4): 127-134.
LIU Jingwei, XIANG Zhiwei, LI Baoshan, et al. Research progress of polysaccharides, saponins and other active substances in sea cucumber[J]. Open Journal of Fisheries Research, 2023, 10(4): 127-134.
- [2] LIU Q, SUN J F, PANG Y H, et al. Optimization of processing technology of instant sea cucumber with fuzzy mathematic comprehensive evaluation by response surface methodology and exploration on nutritional value of instant sea cucumber[J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(5): 583-593.
- [3] WANG Y C, TIAN M, CHANG Y G, et al. Investigation of structural proteins in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) body wall[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 18744.
- [4] 于笛,傅志宇,姜鹏飞,等. 即食海参4℃贮藏过程中品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(21): 213-220.
YU Di, FU Zhiyu, JIANG Pengfei, et al. Quality variation of instant sea cucumber *Stichopus japonicus* during storage at 4℃[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(21): 213-220.
- [5] LI Y X, QIU Y L, HOU H M, et al. The preparation and properties of amino-carboxymethyl chitosan-based antibacterial hydrogel loaded with ϵ -polylysine[J]. Foods, 2023, 12(20): 3807.
- [6] CHEN X X, LI Y X, QIU Y L, et al. Amino carboxymethyl chitosan/dialdehyde starch/polyvinyl alcohol double-layer film loaded with ϵ -polylysine[J]. Food Chemistry, 2023, 428: 136775.
- [7] ZHENG T T, TANG P P, YANG C K, et al. Development of active packaging films based on collagen/gallic acid-grafted chitosan incorporating with ϵ -polylysine for pork preservation[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 140: 108590.
- [8] XIAO H B, LIAO J, CHEN Y S, et al. Effects of konjac glucomannan/ ϵ -polylysine hydrochloride/ferulic acid composite coating on the freshness preservation performance and flavor of refrigerated sea bass fillets[J]. Foods, 2023, 12(3): 517.
- [9] JIANG J H, CHEN X X, ZHANG G L, et al. Preparation of chitosan-cellulose-benzyl isothiocyanate nanocomposite film for food packaging applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 285: 119234.
- [10] ALIPAL J, MOHD PU'AD N A S, LEE T C, et al. A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 42: 240-250.
- [11] QIAO C D, MA X G, ZHANG J L, et al. Molecular interactions in gelatin/chitosan composite films[J]. Food Chemistry, 2017, 235: 45-50.
- [12] TÜGEN A, OCAK B, ÖZDESTAN-OCAK Ö. Development of gelatin/chitosan film incorporated with lemon essential oil with antioxidant properties[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(6): 3010-3019.
- [13] QIU Y L, LI Y X, ZHANG G L, et al. Quaternary-ammonium chitosan, a promising packaging material in the food industry[J]. Carbohydrate Polymers, 2024, 323: 121384.
- [14] CHEN Y, MIAO W H, LI X X, et al. The structure, properties, synthesis method and antimicrobial mechanism of ϵ -polylysine with the preservative effects for aquatic products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 139: 104131.
- [15] BEKHIT A E D A, HOLMAN B W B, GITERU S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 280-302.
- [16] LI Y N, YE Q Q, HOU W F, et al. Development of antibacterial ϵ -polylysine/chitosan hybrid films and the effect on *Citrus*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 118: 2051-2056.
- [17] HUFF-LONERGAN E, LONERGAN S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 194-204.
- [18] LI S, ZHOU Y, SUN L M, et al. Effects of storage method on the quality of processed sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) [J]. Foods, 2022, 11(24): 4098.
- [19] LI X R, DONG Y F, JIANG P F, et al. Identification of changes in volatile compounds in sea cucumber *Apostichopus japonicus* during seasonings soaking using HS-GC-IMS[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112695.
- [20] SUN X, ZHU L L, QI X, et al. Cleavage sites and non-enzymatic self-degradation mechanism of ready-to-eat sea cucumber during storage[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131722.
- [21] VILGIS T A. Texture, taste and aroma: Multi-scale materials and the gastrophysics of food[J]. Flavour, 2013, 2(1): 12.
- [22] HUANG Y Z, XIE Y S, LI Y X, et al. Quality assessment of variable collagen tissues of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) body wall under different heat treatment durations by label-free proteomics analysis[J]. Food Research International, 2023, 165: 112540.
- [23] LIU Z Q, LI D Y, SONG L, et al. Effects of proteolysis and oxidation on mechanical properties of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) during thermal processing and storage and their control[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127248.