

# 虾类劣变机制及其天然生物保鲜技术的研究进展

尤祯丹<sup>1,2</sup>, 蒋玉涵<sup>1,2</sup>, 陈传君<sup>1,2</sup>, 蒋金蓁<sup>3</sup>, 邓英<sup>3</sup>, 龚永平<sup>3</sup>, 颜其贵<sup>3</sup>, 韩国全<sup>1,2\*</sup>

(1. 四川农业大学食品学院, 雅安 625014; 2. 四川农业大学食品加工与安全研究所, 雅安 625014;  
3. 四川农业大学动物医学院, 成都 611130)

**摘要:** 虾类属于消费者喜爱的水产品之一, 但其货架期较短, 因此探究虾类劣变机制和高效保鲜方法至关重要。近年来, 研究学者发现微生物群体感应现象是影响品质劣变的因素之一。而天然生物保鲜剂可以很好的延缓品质的下降速度, 减少资源浪费, 在水产品保鲜方面具有广阔的应用前景。本文详细阐述了虾的劣变机理及其近年来国内外天然生物保鲜技术的研究成果, 旨在为新型生物保鲜技术的开发提供新思路。

**关键词:** 虾; 氧化; 群体感应现象; 天然生物保鲜

## Research advances in shrimp deterioration mechanism and its natural biological preservation technology

YOU Zhen-Dan<sup>1,2</sup>, JIANG Yu-Han<sup>1,2</sup>, CHEN Chuan-Jun<sup>1,2</sup>, JIANG Jin-Zhen<sup>3</sup>, DENG Ying<sup>3</sup>,  
GONG Yong-Ping<sup>3</sup>, YAN Qi-Gui<sup>3</sup>, HAN Guo-Quan<sup>1,2\*</sup>

(1. Sichuan Agricultural University Food College, Ya'an 625014, China; 2. Institute of Food Processing and Safety of Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 3. Sichuan Agricultural University College of Veterinary Medicine, Chengdu 611130, China)

**ABSTRACT:** Shrimp is one of the favorite aquatic products of consumers, but its shelf life is short, so it is important to explore the mechanism of shrimp deterioration and efficient preservation. In recent years, research scholars have found that microbial population induction is one of the factors that affect quality deterioration. The natural biological preservative can delay the decline of quality and reduce the waste of resources, and has broad application prospects in the preservation of aquatic products. This paper elaborated on the deterioration mechanism of shrimp and the research results of natural biological preservation technology at home and abroad in recent years, aiming to provide new ideas for the development of new biological preservation technology.

**KEY WORDS:** shrimp; oxidation; quorum sensing phenomenon; natural biological preservation

## 1 引言

虾是全球消费者喜爱的水产品之一, 其营养价值高, 具有独特的风味和口感。虾肉中富含人体所需多种必需脂肪酸, 以二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid ethy, EPA)为主<sup>[1]</sup>, 且体内粗蛋白含量及游离氨基酸含量相对较高<sup>[2, 3]</sup>。

此外, 与其他水产品相比, 虾的汞含量相对较低<sup>[4]</sup>。据联合国粮食及农业组织数据显示, 在 2009~2014 年间世界各地的海产品供应量已从 1.459 亿吨增加到 1.672 亿吨<sup>[5]</sup>。我国地域辽阔, 2016 年虾产量占甲壳类总捕捞量的 70%左右, 全国对虾需求量逐渐增加<sup>[6]</sup>。但虾水分含量多, 营养物质丰富, 在贮藏期间品质极易劣变。如今消费者对高质量、

\*通讯作者: 韩国全, 博士, 副教授, 主要研究方向为微生物与食品安全、农产品加工与品质控制。E-mail: hans\_980306@sicau.edu.cn

\*Corresponding author: HAN Guo-Quan, Ph.D, Associate Professor, Food Science College of Sichuan Agricultural University, No.46, Xinkang Road, Yucheng District, Ya'an 625014, China. E-mail: hans\_980306@sicau.edu.cn

长保质期的需求增加以及对环境问题认知的提高促使人们越来越关注天然生物保鲜。同时由于运输业快速发展,各地消费者更青睐于鲜度高的产品,因此在整个流通过程中有效的保鲜技术可以减少由于品质劣变导致的损失。

本文综合近些年的研究成果,从脂质氧化、蛋白降解和微生物方面系统的阐述了虾类劣变原因,并对近期用于虾类的天然保鲜技术成果进行对比,为企业及科研工作者之后研究提供新思路。

## 2 虾类的劣变机制

虾根据来源主要分为海水虾和淡水虾,均是依靠尾扇、腹足、颚足来觅食和爬行<sup>[7]</sup>。虾在捕捞上岸后就脱离了其本身适应的水体环境,由于自身的不适应性和其他因素很容易死亡。死亡后的虾易受各种因素影响导致其品质下降,比如贮藏温度、贮藏时间和处理方法等。虾类死亡后会经历3个阶段:僵直期、解僵期、自溶期。解僵期后虾体便进入变质阶段。变质过程中会出现黑变、虾头虾壳脱落、虾肉绵软等现象<sup>[8-10]</sup>。如今研究虾类变质的原因主要有3种,包括脂质氧化作用、蛋白降解作用和微生物作用。

### 2.1 脂质氧化作用

虾的脂质氧化作用在贮藏、运输、销售过程中经常出现,其严重影响了虾的外观品质和商品价值。脂质氧化作用可以分为酶促氧化和非酶氧化,其中酶促氧化可导致虾的黑变,非酶氧化可导致虾不饱和脂肪酸含量降低。

#### 2.1.1 酶促作用

虾在流通期间容易产生黑变现象,出现黑变的虾不会对消费者有直接伤害,只会影响虾的商品价值,造成经济损失。在活虾体内,一价铜离子与二价铜离子处于平衡状态;虾死亡后,一价铜离子被氧化为二价铜离子后激活酪氨酸酶,使虾体中的游离酪氨酸经酶促作用产生黑色素<sup>[10]</sup>。酪氨酸酶具有4种可能的氧化态,包括酪氨酸酶、脱氧酪氨酸酶、氧-酪氨酸酶、甲基-脱氧酪氨酸酶<sup>[11]</sup>。一般情况下虾黑变的顺序是头胸部的甲壳、腹部外骨骼、游泳腿和尾部<sup>[12]</sup>。黑变顺序可能与每个物种的底物水平、酶浓度或酶活性的差异有关。有研究表明虾头里的酪氨酸酶活性最强,而腹部和尾部的酶活性较低<sup>[13]</sup>。因此根据虾黑变的原因开发出相应的预防措施尤为重要。例如Barbagallo等<sup>[14]</sup>研究发现海藻酸对黑变预防效果明显。

#### 2.1.2 非酶作用

脂质过氧化可由自由基启动,不饱和脂肪酸会生成中间产物,然后与氧反应形成过氧自由基,在氧化过程中,不饱和脂肪酸含量会有所下降<sup>[15]</sup>。如今研究人员可以通过检测脂质过氧化产物来确定水产品的氧化程度。海养虾肌肉中含脂量比淡养虾高,在已检出的脂肪酸中,不饱和脂肪酸占比高<sup>[16-19]</sup>。虾体内不饱和脂肪酸的双键极易断裂,

即使在冷藏或冷冻条件下也可发生过氧化反应。Liu等<sup>[19]</sup>采用碱性脂肪酶对干虾进行脱脂,脱脂虾的硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid value, TBARS)低于没有脱脂的虾,说明这一方法可有效防止脂肪氧化,抑制虾干保存过程中的氧化酸败。

### 2.2 蛋白降解作用

蛋白降解程度主要与贮藏时间、贮藏温度、捕捞后的处理方法有关<sup>[18,19]</sup>。虾在贮藏期间,蛋白质降解程度与大分子蛋白质含量成反比,与降解产物(如肽、氨基酸等)的含量成正比<sup>[12]</sup>。

蛋白降解的变化通常包括蛋白质表面疏水性增加、形成羰基、蛋白展开以及构象变化<sup>[20]</sup>。活性氧攻击蛋白后可通过非共价结合或共价键形成蛋白质聚集体。蛋白氧化后的肌肉由于丝状间隙收缩而导致持水能力降低,因为氧化可导致肌球蛋白和肌动蛋白聚集和凝固,水作为渗出物从肉中浸出<sup>[21-23]</sup>。中国对虾肌原纤维蛋白经自由基氧化体系氧化后,自由巯基含量降低,通过聚丙烯酰胺凝胶电泳结果显示经自由基氧化的虾肉肌原纤维蛋白发生了降解,且降解速度与氧化剂浓度呈正相关<sup>[11]</sup>。研究发现在-20℃下储存时脂质氧化和蛋白质降解几乎同时发生<sup>[12]</sup>。

虾不同部位的内源酶也是引起蛋白降解的因素之一。陈诗妍等<sup>[15]</sup>研究表明凡纳滨对虾的虾头中胰蛋白酶的活性是虾肉中胰蛋白酶活性的300多倍,虾头中胰蛋白酶对肌原纤维蛋白的降解作用最强,由此推出凡纳滨对虾中的胰蛋白酶有可能对蛋白降解起到主要作用。姜鹤<sup>[16]</sup>比较了3种虾贝类,其中虾蛄消化腺中的蛋白酶和淀粉酶、肌肉组织中的蛋白酶的活力是3种海产品中最高,同时虾蛄的冷藏保鲜期也是最短的。虾类出现自溶现象后,体内游离氨基酸增多,有利于腐败微生物的生长繁殖。因此,我们可以通过研究内源酶抑制剂来延缓虾类的自溶现象。

### 2.3 微生物作用

#### 2.3.1 优势腐败微生物

虾通常在销售过程中通过冷藏或冻藏来维持品质。虾在低温环境下的保质期主要由微生物和酶促腐败决定。其体内含有大量的游离氨基酸,可促进优势腐败菌生长。希瓦氏菌被认为是冷藏海鲜的优势腐败菌,由于其在电子受体中的显著通用性而产生各种异味。Du等<sup>[24]</sup>对太湖白对虾贮藏期间的微生物和化学变化进行了评估;假单胞菌属、希瓦氏菌属等是新鲜白对虾中的主要细菌,而乳酸菌、希瓦氏菌属等在变质产物中占有一定优势。Yang等<sup>[25]</sup>发现冷藏期间的太平洋白对虾在25℃时优势微生物为变形杆菌,在4℃时优势微生物是腐败希瓦氏菌等。

#### 2.3.2 群体感应现象

近年来研究表明,微生物群体感应现象可能与腐败菌之间的生长繁殖有一定的联系。群体感应(quorum sensing,

QS)是指微生物群体在其生长过程中,由于群体密度的增加,导致其生理和生化特性的变化,显示出少量菌体或单个菌体所不具备的特征。据研究表明,冷藏虾类的腐败菌一般为革兰氏阴性菌,革兰氏阴性细菌中群体感应信号分子主要有 2 类,分别是种内的酰基-高丝氨酸内酯类(N-acyl-L-homoserine lactones, AHLs)和种间的呋喃酰硼酸二酯类物质(autoinducer-2, AI-2)<sup>[26-28]</sup>。革兰氏阴性菌的信号分子主要由信号分子合成酶产生。种内 AHL 信号分子由 Lux1 系统分泌,再作用于受体蛋白后表达目的基因。细菌识别种间 AI-2 分子后把磷酸化基团传递给受体蛋白,并启动相关基因表达。Zhu 等研究发现冷冻凡纳滨对虾的劣变与群体感应有一定的联系<sup>[29]</sup>。希瓦氏菌属可能在冷藏的凡纳滨对虾腐败期间对不动杆菌属的 AHLs 群体感应信号进行监视,这可能是希瓦氏菌属发展成腐败微生物的主要优势<sup>[30]</sup>。Zhu 等在冷藏的凡纳滨对虾虾肉中检测出 AHLs、AI-2 等 3 种信号分子,与特定腐败菌波罗的希瓦氏菌和腐败希瓦氏菌 AI-2 等的分泌有关<sup>[31]</sup>。腐败希瓦氏菌可利用其他细菌产生的 AHL 信号,通过 Lux R 受体系统加速虾腐败过程<sup>[32]</sup>。微生物间的 QS 会对虾捕捞后、贮藏、销售等各个阶段中的腐败菌产生影响,菌体产生的信号分子对其自身和其他腐败菌的生长有一定的联系。如今,已有学者开发出对应的群体感应抑制剂来抑制信号分子的产生,如肉桂醛及其衍生物、牛至精油等<sup>[33-35]</sup>。

### 3 天然生物保鲜技术的应用

目前,天然生物保鲜剂在食品工业中的应用引起了人们广泛关注。研究人员可以单独采用涂层方法,或与其他方法结合来更好的发挥天然生物保鲜剂的作用,使得更多的新型保鲜材料迈入人们的生活,比如植物精油和多糖等,我们可以有效地利用这些材料来保持虾原有的价值。

#### 3.1 涂膜保鲜技术

涂膜保鲜技术是在食品表面涂上一层液态膜,干燥后可形成一层均匀的薄膜,加入一定的保鲜剂,可以抑制病原菌的生长和防止脂质氧化来延长食品的货架期。涂层应用的特点有助于保持虾的品质,并且对产品的特性影响较小<sup>[36]</sup>。Alotaibi 等<sup>[37]</sup>研究结果表明与未包衣的样品相比,含有百里香精油的甘薯淀粉基包衣可以减少微生物生长、黑变现象、TBARS 值及其储存期间的硬度损失。Meenatchisundaram 等<sup>[38]</sup>研究了丁香和肉桂同化淀粉食用薄膜对白虾保质期的影响,香料融合的可食用薄膜可以有效抑制微生物生长。钟艳梅等<sup>[39]</sup>发现添加 0.1%植酸和 0.1%维生素 E 可以使得山苍子油对虾的保鲜有增效作用,并延长货架期 4 d 左右。Liu 等<sup>[40]</sup>将藻酸钙涂膜中添加了柑橘提取物可以显著抑制球形芽孢

杆菌的生长。

壳聚糖是天然的阳离子多糖,具有一定抑菌作用。Farajzadeh 等<sup>[41]</sup>研究表明壳聚糖-明胶涂层可有效地减少腐败,可延长虾保质期约 6 d。Carrion-granda 等<sup>[42]</sup>掺入 0.5%牛至和百里香的壳聚糖涂层有效地减少了即食去皮虾的细菌生长。Yuan 等<sup>[43]</sup>研究发现壳聚糖涂层结合绿茶提取物对冷冻贮藏的太平洋白虾具有一定的防黑变的作用。鲑鱼提取物和壳聚糖的复合保鲜具有很好的抗菌作用和抗氧化活性,延缓脂肪氧化,延长虾类的货架期<sup>[44]</sup>。Mohebi 等<sup>[45]</sup>研究含有植物精油、石榴皮提取物和纤维素纳米颗粒组合的壳聚糖、明胶的薄膜可以保持质量并延长虾的保质期至少 11 d。

各类精油和其他保鲜剂共同使用会得到不同得效果。Alparslan 等<sup>[46-48]</sup>开发出由明胶和橙果皮精油组成的食用涂料可延长深水粉红色虾的保质期约 6 d;壳聚糖包衣与橙皮精油的组合可延长深水粉红色虾的保质期约 15 d。Khazaci 等<sup>[49]</sup>通过溶解罗勒种子胶添加各种百分比的百里酚、甘油制备活性涂层溶液,用该涂层包裹的太平洋白虾的保质期可延长 11 d。迷迭香精油和肉桂精油混合涂膜使虾得保质期限长达 4 d<sup>[50]</sup>。加入精油的涂层在实际应用中有一定的缺陷,因为精油易挥发、且有浓烈的气味,所以在与其他保鲜剂复配使用时需注意配比<sup>[51]</sup>。

#### 3.2 其他生物保鲜技术

细菌素是细菌在代谢过程中通过核糖体合成的一类具有抑菌效果的多肽或前体多肽。Lv 等<sup>[52]</sup>从金鲤肠中分离得到的产细菌素的植物乳杆菌 FGC-12 对副溶血性弧菌具有强的抗菌活性,浸泡后在低温条件下储存 6 d 后,添加细菌素的虾中副溶血弧菌减少。陈飞龙等<sup>[53]</sup>发现用副干酪乳杆菌坚韧亚种 FX-6 的发酵提取物浸泡后可以将鲜虾货架期延长至 8 d。

天然提取物与其他保鲜技术相结合具有一定的抑菌效果。Li 等<sup>[54]</sup>研究表明条斑紫菜多酚还可以抑制多酚氧化酶活性,并且与对照组相比,条斑紫菜多酚和多糖浸泡后可延长虾的保存期 3~4 d。Abbasvali 等<sup>[55]</sup>研究表明虾经藏红花的水提取物浸泡后可延缓脂质氧化、微生物生长和黑变,并且白虾的保质期与对照组相比延长了 3 d。Udayasoorian 等<sup>[56]</sup>研究结果表明石榴皮提取物和葡萄柚籽提取物与气调包装无氧与增加 CO<sub>2</sub>合并可抑制微生物的生长,延长保质期至 24 d。

经不同方法处理后虾的保鲜期如表 1,天然生物保鲜剂可延长虾货架期 3~24 d 不等。可见多种天然生物保鲜剂联合使用或与其他保鲜技术结合使用可以更好地延长产品货架期。之后研究人员应深入研究保鲜方法的作用机制,开发行之有效的天然生物保鲜剂,为虾类保鲜方式的选择和应用提供理论基础。

表1 不同处理方法对货架期的延长情况  
Table 1 Extension of shelf life by different treatment methods

方法	延长时间(d)	研究人员	
涂膜保鲜技术	山苍子油(含 0.1%植酸和 0.1%VE)	4	钟艳梅等 <sup>[39]</sup>
	植物精油、石榴皮提取物和纤维素纳米颗粒组合的壳聚糖明胶薄膜	11	Mohebi 等 <sup>[45]</sup>
	壳聚糖包衣(含橙皮精油)	15	Alparslan 等 <sup>[48]</sup>
	副干酪乳杆菌 FX-6 发酵提取物	8	陈飞龙等 <sup>[53]</sup>
其他生物保鲜技术	条斑紫菜多酚和多糖	3~4	Li 等 <sup>[54]</sup>
	石榴皮提取物、葡萄柚籽提取物与 MAP 结合	24	Udayasoorian 等 <sup>[56]</sup>

#### 4 小 结

随着 21 世纪海洋资源的深度开发, 虾成为人们日常消费对象之一, 它的质量安全受到消费者的重视。我们需要尽可能的保持其原有的新鲜度, 相同新鲜度保存的时间越长就越能够发挥它的商品价值。天然生物保鲜剂与其他保鲜技术相结合可使虾的货架期有不同程度的延长, 也可为水产品保鲜提供了一个新思路。现在文中大部分的保鲜技术仍然停留在试验阶段, 还没有广泛应用于日常生产, 同时保鲜机制还没有完全探索清楚, 相信随着技术的不断提高, 这些保鲜技术将会对虾类贮藏产生深远影响。

#### 参考文献

- [1] 丁建英, 康琏, 徐建荣. 东北鳌虾和克氏原鳌虾肌肉营养成分比较[J]. 食品科学, 2010, (24): 427-431.  
Ding JY, Kang W, Xu JR. Comparison of muscle nutritional components between crayfish and *Procambarus clarkii* [J]. Food Sci, 2010, (24): 427-431.
- [2] 陈晓汉, 陈琴, 谢达祥. 南美白对虾含肉率及肌肉营养价值的评定[Z]. 2006.  
Chen XH, Chen Q, Xie DX. Evaluation of meat content and muscle nutritional value of *Penaeus vannamei* [Z]. 2006.
- [3] 周静, 刘云儒, 龙文芳, 等. 海南省近岸养殖区海产品及海水中铅和汞污染状况[J]. 环境与职业医学, 2018, (1): 39-42.  
Zhou J, Liu YR, Long WF, et al. Pollution of lead and mercury in marine products and seawater in coastal culture areas of Hainan province [J]. Environ Occup Med, 2018, (1): 39-42.
- [4] 林少英, 黄学敏, 谭领章, 等. 佛山市常见水产品甲基汞浓度比较分析[J]. 华南预防医学, 2016, (5): 484-486.  
Lin SY, Huang XM, Tan LZ, et al. Comparative analysis of methyl mercury concentrations in common aquatic products in Foshan city [J]. South China J Prev Med, 2016, (5): 484-486.
- [5] Fisheries and Aquaculture Department FAO. The state of world fisheries and aquaculture [J]. Rome Italy Fao, 2007, 4(1): 40-41.
- [6] 农业部渔业渔政管理局. 2017 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.  
Fisheries and Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture. 2017 China Fisheries Statistical Yearbook [M]. Beijing: China

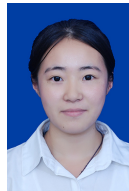
- Agriculture Press, 2017.
- [7] 刘品, 陈静. 低温等离子体对南美白对虾防黑变及品质的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 184-187.  
Liu P, Chen J. Study on the anti-blackening and quality of *Penaeus vannamei* by low temperature plasma [J]. Food Ind, 2018, 39(11): 184-187.
- [8] Ramsden CA, Riley PA. Tyrosinase: The four oxidation states of the active site and their relevance to enzymatic activation, oxidation and inactivation [J]. Bioorg Med Chem, 2014, 22(8): 2388-2395.
- [9] Goncalves AA, Menezes D, Oliveira AR. Melanosis in crustaceans: A review [J]. LWT- Food Sci Technol, 2016, 65: 791-799.
- [10] 柳佳彤, 姜启兴, 杨方, 等. 罗氏沼虾冻藏过程中质构与理化特性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 95-100.  
Liu JT, Jiang QX, Yang F, et al. Study on texture and physical and chemical properties of *Macrobrachium rosenbergii* during frozen storage [J]. Food Mach, 2018, 34(12): 95-100.
- [11] Baron CP, Kjaersgard IVH, Jessen F, et al. Protein and lipid oxidation during frozen storage of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(20): 8118-8125.
- [12] Haghshenas M, Hosseini H, Nayebyzadeh K, et al. Effect of beta glucan and carboxymethyl cellulose on lipid oxidation and fatty acid composition of pre-cooked shrimp nugget during storage [J]. LWT-food Sci Technol, 2015, 62(2): 1192-1197.
- [13] 李惠, 商金颖, 郭艳利, 等. 白虾 0 °C 复合生物保鲜剂防腐保鲜效果[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 286-290.  
Li H, Shang JY, Guo YL, et al. Antiseptic and fresh-keeping effect of white shrimp 0 °C composite biological preservative [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(7): 286-290.
- [14] Barbagallo RN, Alberio GRA, Spagna G. Preservation of *Parapenaeus longirostris* from polyphenol oxidase activity assayed *in vitro* with some melanosis inhibitors [J]. Ital J Food Sci, 2012, 24(4SI): 72-75.
- [15] 陈诗妍, 吉宏武, 李承勇, 等. 凡纳滨对虾内源蛋白酶对肌原纤维蛋白的降解作用[J]. 食品工业科技, 2015, (5): 149-155.  
Chen SY, Ji HW, Li CY, et al. Degradation of myofibrillar proteins by endogenous proteases from *Penaeus vannamei* [J]. Food Sci Technol, 2015, (5): 149-155.
- [16] 姜鹤. 虾贝类内源酶性质及保鲜研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.  
Jiang H. Study on endogenous enzyme properties and preservation of

- shrimp and shellfish [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [17] 纪俊敏, 谢文磊. 生物体系中脂质过氧化及抗氧化剂抗氧化活性的检测与评价[J]. 中国油脂, 2004, (7): 33–37.  
Ji JM, Xie WL. Detection and evaluation of lipid peroxidation and antioxidant activity in biological system [J]. China Oils Fats, 2004, (7): 33–37.
- [18] 黄凯, 黄玉玲, 王武, 等. 海水和淡水养殖南美白对虾脂质分析与比较[J]. 广西科学院学报, 2003, (3): 134–140.  
Huang K, Huang YL, Wang W, et al. Lipid analysis and comparison of *Penaeus vannamei* in seawater and freshwater culture [J]. J Guangxi Acad Sci, 2003, (3): 134–140.
- [19] Liu J, Zhao P, Liu L, et al. Decrease of lipid oxidation for dried shrimp (*Acetes chinensis*) preservation using alkaline lipase hydrolysis technology [J]. J Aquat Food Product Technol, 2016, 25(2): 169–176.
- [20] Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review [J]. Meat Sci, 2012, 91(2): 93–98.
- [21] Zhang B, Fang C, Hao G, et al. Effect of kappa-carrageenan oligosaccharides on myofibrillar protein oxidation in peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during long-term frozen storage [J]. Food Chem, 2018, 245: 254–261.
- [22] 李亮, 柏韵, 尚宏丽, 等. 自由基氧化对中国对虾肌原纤维蛋白的影响[J]. 食品工业科技, 2017, (24): 75–78.  
Li L, Bai Y, Shang HL, et al. Effects of free radical oxidation on myofibrillar protein in Chinese prawn [J]. Food Sci Technol, 2017, (24): 75–78.
- [23] Baron CP, Kjaersgard IVH, Jessen F, et al. Protein and lipid oxidation during frozen storage of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(20): 8118–8125.
- [24] Du L, Fan X, Liu F, et al. Changes of dominant spoilage bacteria and biogenic amines of taihu white prawn (*Exopalaemon modestus*) during ice storage [J]. J Food Prot, 2017, 80(12): 2099–2104.
- [25] Yang S, Xie J, Qian Y. Determination of spoilage microbiota of pacific white shrimp during ambient and cold storage using next-generation sequencing and culture-dependent method [J]. J Food Sci, 2017, 82(5): 1178–1183.
- [26] Whitehead NA, Bamard AM, Slater H, et al. Quorum-sensing in Gram-negative bacteria [J]. FEMS Microbiol Rev, 2001, 25(4): 365–404.
- [27] 朱素芹, 张彩丽, 孙秀娇, 等. 食品腐败的关键调控机制之群体感应的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 3859–3864.  
Zhu SQ, Zhang CL, Sun XJ, et al. Research progress of quorum sensing for key regulation mechanisms of food corruption [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(10): 3859–3864.
- [28] Tinh NTN, Gunasekara RAYS, Boo N, et al. N-acyl homoserine lactone-degrading microbial enrichment cultures isolated from *Penaeus vannamei* shrimp gut and their probiotic properties in *Brachionus plicatilis* cultures [J]. Fems Microbiol Ecol, 2007, 62(1): 45–53.
- [29] Zhu S, Wu H, Zeng M, et al. The involvement of bacterial quorum sensing in the spoilage of refrigerated *Litopenaeus vannamei* [J]. Int J Food Microbiol, 2015, 192: 26–33.
- [30] Zhu S, Wu H, Zhang C, et al. Spoilage of refrigerated *Litopenaeus vannamei*: Eavesdropping on acinetobacter acyl-homoserine lactones promotes the spoilage potential of *Shewanella baltica* [J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(5): 1903–1912.
- [31] Zhu S, Wu H, Zeng M, et al. The involvement of bacterial quorum sensing in the spoilage of refrigerated *Litopenaeus vannamei* [J]. Int J Food Microbiol, 2015, 192: 26–33.
- [32] Jie J, Yu H, Han Y, et al. Acyl-homoserine-lactones receptor LuxR of *Shewanella baltica* involved in the development of microbiota and spoilage of refrigerated shrimp [J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(7): 2795–2800.
- [33] 张璐, 桂萌, 李平兰. 食品防腐中群体感应及其抑制剂的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, (3): 364–367.  
Zhang L, Gui M, Li PL. Research progress of quorum sensing and its inhibitors in food preservation [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, (3): 364–367.
- [34] Kim BS, Jang SY, Bang Y, et al. Qstatin, a selective inhibitor of quorum sensing in vibrio species [Z]. 2018.
- [35] Alvarez MV, Ortega-ramirez LA, Melissa GM, et al. Oregano essential oil-pectin edible films as anti-quorum sensing and food antimicrobial agents [J]. Front Microbiol, 2014, 5(699): 699.
- [36] Brackman G, Defoirdt T, Miyamoto C, et al. Cinnamaldehyde and cinnamaldehyde derivatives reduce virulence in *Vibrio* spp. by decreasing the DNA-binding activity of the quorum sensing response regulator LuxR [J]. BMC Microbiology, 2008, 8: 149.
- [37] Alotaibi S, Tahergorabi R. Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage [J]. LWT- Food Sci Technol, 2018, 88: 203–209.
- [38] Meenatchisundaram S, Chandrasekar CM, Udayasoorian LP, et al. Effect of spice-incorporated starch edible film wrapping on shelf life of white shrimps stored at different temperatures [J]. J Sci Food Agric, 2016, 96(12): 4268–4275.
- [39] 钟艳梅, 梁发华. 山苍子油用于虾肉保鲜的研究[J]. 嘉应学院学报, 2015, (11): 75–79.  
Zhong YM, Liang FH. Study on the preservation of shrimp meat with litsea cubeba oil [J]. J Jiaying Univ, 2015(11): 75–79.
- [40] Liu X, Jia Y, Hu Y, et al. Effect of Citrus wilsonii Tanaka extract combined with alginate-calcium coating on quality maintenance of white shrimps (*Litopenaeus vannamei* boone) [J]. Food Control, 2016, 68: 83–91.
- [41] Farajzadeh F, Motamedzadegan A, Shahidi S, et al. The effect of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under refrigerated condition [J]. Food Control, 2016, 67: 163–170.
- [42] Carrion-granda X, Fernandez-pan I, Jaime I, et al. Improvement of the microbiological quality of ready-to-eat peeled shrimps (*Penaeus vannamei*) by the use of chitosan coatings [J]. Int J Food Microbiol, 2016, 232: 144–149.
- [43] Yuan G, Zhang X, Tang W, et al. Effect of chitosan coating combined with green tea extract on the melanosis and quality of Pacific white shrimp during storage in ice [J]. Cyta-J Food, 2016, 14(1): 35–40.

- [44] 户江. 鳃鱼提取物对鲜红虾保鲜效果的研究[J]. 农村经济与科技, 2017, (7): 70–72.  
Hu J. Study on fresh-keeping effect of squid extract on fresh red shrimp [J]. Rural Econ Technol, 2017, (7): 70–72.
- [45] Mohebi E, Shahbazi Y. Application of chitosan and gelatin based active packaging films for peeled shrimp preservation: A novel functional wrapping design [J]. LWT- Food Sci Technol, 2017, 76(A): 108–116.
- [46] Alparslan Y, Metin C, Yapici HH, *et al.* Combined effect of orange peel essential oil and gelatin coating on the quality and shelf life of shrimps [J]. Qual-Arch Fur Lebensmittelhyg, 2017, 68(3): 69–78.
- [47] Alparslan Y, Baygar T. Effect of chitosan film coating combined with orange peel essential oil on the shelf life of deepwater pink shrimp [J]. Food Biopro Technol, 2017, 10(5): 842–853.
- [48] Alparslan Y, Yapici HH, Metin C, *et al.* Quality assessment of shrimps preserved with orange leaf essential oil incorporated gelatin [J]. LWT- Food Sci Technol, 2016, 72: 457–466.
- [49] Khazaei N, Esmaili M, Emam-djomeh Z. Application of active edible coatings made from basil seed gum and thymol for quality maintenance of shrimp during cold storage [J]. J Sci Food Agric, 2017, 97(6): 1837–1845.
- [50] Dong Z, Xu F, Ahmed I, *et al.* Characterization and preservation performance of active polyethylene films containing rosemary and cinnamon essential oils for pacific white shrimp packaging [J]. Food Control, 2018, 92: 37–46.
- [51] Yuan G, Chen X, Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems [J]. Food Res Int, 2016, 89(1): 117–128.
- [52] Lv X, Du J, Jie Y, *et al.* Purification and antibacterial mechanism of fish-borne bacteriocin and its application in shrimp (*Penaeus vannamei*) for inhibiting *Vibrio parahaemolyticus* [J]. World J Microbiol Biotechnol, 2017, (33): 156.
- [53] 陈飞龙, 苗建银, 廖玮灵, 等. 副干酪乳杆菌坚韧亚种 FX-6 发酵提取物对鲜虾的保鲜评价[J]. 食品工业科技, 2016, (4): 351–355.  
Chen FL, Miao JY, Liao WL, *et al.* Preservation evaluation of fresh shrimp by fermented extract of *Lactobacillus paracasei* HT-6 [J]. Food Sci Technol, 2016, (4): 351–355.
- [54] Li Y, Yang Z, Li J. Shelf-life extension of pacific white shrimp using algae extracts during refrigerated storage [J]. J Sci Food Agric, 2017, 97(1): 291–298.
- [55] Abbasvali M, Ranaci A, Shekarforoush SS, *et al.* The effects of aqueous and alcoholic saffron (*Crocus sativus*) tepal extracts on quality and shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage [J]. J Food Qual, 2016, 39(6): 732–742.
- [56] Udayasoorian L, Peter M, Sabina K, *et al.* Comparative evaluation on shelf life extension of MAP packed *Litopenaeus vannamei* shrimp treated with natural extracts [J]. LWT- Food Sci Technol, 2017, 77: 217–224.

(责任编辑: 韩晓红)

### 作者简介



尤祯丹, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品质量安全控制。  
E-mail: 963246434@qq.com



韩国全, 博士, 副教授, 主要研究方向为微生物与食品安全、农产品加工与品质控制。  
E-mail: hans\_980306@sicau.edu.cn