

金枪鱼生物保鲜技术的研究进展

刘爱芳, 谢晶

(上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: **目的** 综述生物保鲜剂在金枪鱼贮藏中的研究现状。 **方法** 首先分析金枪鱼贮藏过程中常见的腐败微生物, 其次介绍抗氧化生物保鲜剂、抑菌生物保鲜剂、复合保鲜剂在金枪鱼保鲜中的应用现状。 **结果** 金枪鱼贮藏过程中常见的腐败微生物为假单胞菌、腐败希瓦氏菌等, 生物保鲜剂的复合使用以及与气调包装技术结合可增加保鲜效果, 延长货架期。 **结论** 生物保鲜, 尤其是复合保鲜剂以及生物保鲜剂与其他物理保鲜技术相结合在金枪鱼保鲜中极具发展潜力。

关键词: 金枪鱼; 生物保鲜剂; 微生物; 保鲜

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)15-0016-07

Progress of Biological Techniques for Tuna Preservation

LIU Ai-fang, XIE Jing

(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: This study aimed to review the research progress of bio-preservative in the preservation technology of tuna. The common spoilage related bacteria were analyzed, and then application of antioxidant bio-preservative, bacteriostatic bio-preservative, complex preservatives and compound bio-preservatives in tuna preservation were reviewed. During the process of tuna storage, the most common spoilage microorganisms are Pseudomonas, Shewanellaputrefacien, etc. Meanwhile, the use of compound bio-preservatives and the combined use of MAP could improve the effect of preservation and extent the shelf life of tuna. Bio-preservation, especially the compound bio-preservatives as well as the combination of bio-preservatives and physical preservation technique, has the most development potential in the tuna preservation. However, further study of the fresh-keeping technique is needed for tuna preservation.

KEY WORDS: tuna; bio-preservative; microorganisms; fresh-keeping

金枪鱼, 又称鲔鱼、吞拿鱼, 主要分布在太平洋、印度洋、大西洋等中低纬度深海区域^[1]。金枪鱼营养丰富, 但易氧化、受细菌污染, 不易保藏。目前, 金枪鱼超低温冷链还不健全, 冷链流通过程中的温度波动会严重影响鱼肉的品质和感官^[2], 因此需要进一步完善金枪鱼的保鲜技术。除了控制温度以外, 添加合成或天然的食品保鲜剂是金枪鱼保鲜的重要方法之一。与化学保鲜剂相比, 生物保鲜剂安全性高, 逐渐成为人们研究的重点。生物保鲜剂是指从动植物、微生物中提取的或利用生物工程技术改造而获得的天然的、对人体无害的保鲜剂^[3]。文中首先分析了导致

金枪鱼腐败变质的主要微生物种类, 然后从保鲜机制的角度对金枪鱼常用的几种生物保鲜剂进行分类概述, 以期今后生物保鲜技术在金枪鱼中的应用研究提供理论参考。

1 金枪鱼肉品质特性及其贮藏中常见腐败菌

1.1 金枪鱼肉品质特性

金枪鱼肉质柔嫩鲜美, 具有高优质蛋白、低脂肪、低热量的特点, 且含丰富维生素及微量元素。其含有

收稿日期: 2015-05-30

基金项目: 2014年国家农业成果转化资金项目(2014GB2C000081); 上海市科委项目(14dz1205101)

作者简介: 刘爱芳(1990—), 女, 河北石家庄人, 上海海洋大学硕士生, 主攻水产品保鲜。

通讯作者: 谢晶(1968—), 女, 浙江人, 博士, 上海海洋大学教授、博导, 主要研究方向为食品工程。

的EPA,DHA等功能性成分具有强化肝脏功能、缓解心力衰竭、预防脑血管疾病以及抗动脉硬化等作用,是国际营养学会推荐的健康美食^[4]。在国际市场上,大部分金枪鱼都被制成生鱼片供食用,因而色泽往往成为消费者评价鱼肉新鲜与否的第一印象。色泽变化所包含的生理、生化和微生物学意义是评价肉类品质的重要依据。新鲜金枪鱼肉中,还原态的肌红蛋白与充氧态的氧合肌红蛋白处于平衡状态,其中铁均呈亚铁状态,肌肉呈现鲜红色,氧化后亚铁氧化为高价铁,形成高铁肌红蛋白,呈现暗褐色,让人产生肉质不新鲜的感觉^[5]。另外,金枪鱼肉富含多不饱和脂肪酸,易氧化产生醛、酮、酸等小分子物质,释放不良的哈喇气味,并且脂类氧化产生的羰基、游离基等,与蛋白质分解产生的氨基氮、盐基氮、氧化三甲胺还原生成三甲胺的氨基,以及氧化脂类之间的相互反应,致使原本鲜红的鱼肉发生褐变。

1.2 金枪鱼中常见腐败菌

金枪鱼具有高蛋白、低脂肪等特点,在贮运过程中易携带大量微生物,而微生物的生长代谢将分解蛋白质、氨基酸等含氮物质,产生组胺、醇、三甲胺等小分子物质,释放不良气味,导致鱼肉腐败变质。我国于2006年实施的《生食金枪鱼》安全卫生标准中规定,用于生食的金枪鱼肉中所检测出的菌落总数不得超过104 cfu/g,每100 g中大肠菌群的MPN值必须小于30,并且不得检出副溶血性弧菌、沙门氏菌、霍乱弧菌、金黄色葡萄球菌以及单核细胞增生李斯特菌^[6]。

金枪鱼肉中微生物种类虽多,但只有少数几种微生物参与腐败过程。在产品贮藏中,适合繁殖并产生腐败臭味和异味代谢产物的微生物被称为特定腐败菌(SSO)^[7]。随着贮藏条件的不同,特定腐败菌也会随之改变。耐冷的革兰氏阴性菌假单胞菌和腐败希瓦氏菌在有氧冷藏条件下,对所有鱼类均是特定腐败菌。在气调包装和真空冷藏中,则主要是磷发光杆菌^[8]。Serio等^[9]通过监测金枪鱼贮藏期间三甲胺、硫化氢、生物胺等小分子物质含量变化来分析微生物腐败潜力,并采用16S rDNA测序法鉴定菌种,发现在温度为4~11℃或25℃、氯化钠质量分数为6%的溶液浸渍贮藏条件下,金枪鱼特定腐败菌为沙雷氏菌和希瓦氏菌。研究发现革兰氏阳性短杆菌单核细胞增多性李斯特氏菌是冷藏食品中威胁人类健康的食源性病原菌,可引起李氏杆菌病,是生食金枪鱼腐败致病的重要因素^[10]。近年来,因金枪鱼等红肉中组胺超标而引起的食物过敏性中毒事件时有发生,其中的组胺主

要是游离组氨酸在具有组氨酸脱羧酶活性的产组胺菌作用下脱羧产生^[11],García等^[12]通过API 20E工具包检测和生化试验分析得到,在-15℃贮藏的黄鳍金枪鱼片中,产组胺菌活性较强的为摩氏摩根菌,其次是肠杆菌属中的*Enterobacter cloacae*以及*Enterobacter agglomerans*。Ferrario等^[13]经16S rRNA内部转录间隔区放大和16S rRNA序列分析,发现低温保藏的黄鳍金枪鱼产组胺菌为摩氏摩根菌和肠杆菌,结果与García的研究相近。

目前,关于冷链中金枪鱼菌相变化情况的系统研究较少。通过优势腐败菌的定性定量分析确定特定腐败菌,并进一步构建特定腐败菌的生长动力学模型,以预测金枪鱼剩余货架期是今后金枪鱼保鲜领域值得研究的内容。

2 常用生物保鲜剂

生物保鲜剂在金枪鱼的保鲜中,其保鲜机理可以概括为抗氧化、抑菌、抑制酶活、形成保护膜,其中抗氧化和抑菌生物保鲜剂应用最多。各生物保鲜剂的作用机制均有各自的侧重点,部分生物保鲜剂的保鲜机理已研究到细胞分子阶段。对这些机理的研究为生物保鲜剂在金枪鱼保鲜中的应用提供了理论依据,使得采用生物保鲜剂保鲜的方法来延长金枪鱼货架期的途径变得更加透明、安全。

2.1 抗氧化生物保鲜剂

金枪鱼富含不饱和脂肪酸,因而抗氧化是金枪鱼保鲜中极其重要的一部分。

2.1.1 茶多酚

茶多酚又名茶单宁、茶鞣质,是茶叶中多酚类物质的总称。主要包括儿茶素、黄酮、花青素、酚酸等4类化合物,其中儿茶素所占比重最大,为茶多酚总量的60%~80%。纯茶多酚一般为白色粉末,在潮湿的空气中能被氧化成棕色物质。

研究证明,茶多酚对金黄色葡萄球菌、单核细胞增多性李斯特氏菌、热死环丝菌的抑制最强(最低抑菌浓度为156 mg/L),对铜绿假单胞菌、大肠杆菌次之(最低抑菌浓度为313 mg/L),抑菌谱较广,其抑菌机理为破坏细胞膜结构,使细菌蛋白质的正常表达异常^[14-15]。

除抑菌之外,茶多酚在金枪鱼的保鲜中,最主要的作用机制是抗氧化,并且已作为一种天然的食品抗氧化剂被列入食品添加剂中。茶多酚能作为氢供体,

能清除自由基,使连锁反应中断或延缓,有效地抑制自由基链式反应引起的氧化反应,达到保鲜功效^[16]。此外,茶多酚的抗氧化作用还可以通过清除活性氧、螯合金属离子、结合氧化酶等方式实现。Sheehan等^[17]发现在相同浓度(0.3 g/kg)下,茶儿茶素在对肉类、家禽和鱼中的抗氧化作用,比 α -生育酚效果更佳。李双双^[18]等从多个浓度梯度茶多酚溶液对-18℃冻藏条件下的黄鳍金枪鱼的保鲜实验中得知,采用6 g/L茶多酚保鲜液处理的金枪鱼肌肉,在第30天仍能达到一级鲜度,比对照组延长了至少15 d鲜度货架期。茶多酚味微涩,保鲜工艺中须严格控制其用量,以保持金枪鱼肉原有鲜味。

2.1.2 金针菇提取液

已有研究证明,金针菇提取液在食品保鲜中具有抗氧化功效,并且在提取液中发现一定的麦角硫因、油酸、亚油酸、1,3-二亚油精和多糖等活性物质^[19-20]。其中,麦角硫因与传统抗氧化剂相比,具有更加强大的羟基自由基清除能力,是金针菇提取液中较为重要的活性物质。麦角硫因,又称2-巯基-L-组氨酸三甲基内盐,作为一种天然氨基酸,不仅具有抗炎、保护细胞等一定生理功能,在食品保鲜中以其强大的羟基自由基清理能力,能通过清除活性氧、激活抗氧化酶、螯合二价金属阳离子等分子活动达到抗氧化保鲜的效果^[21-22]。Bao等^[23]研究发现,添加5 mL金针菇提取液的100 g切碎大眼金枪鱼肉相对于未加入提取液的对照组,其冰藏货架期延长了6 d;金针菇提取液在抑制不饱和脂肪酸的氧化以及高铁肌红蛋白的形成方面,相比于抗坏血酸钠盐(质量分数0.05%)或 α -生育酚(质量分数0.05%),抗氧化效果更佳。证明富含麦角硫因的金针菇提取液对金枪鱼的色泽变化及脂肪氧化具有很好的抑制作用。

2.1.3 其他抗氧化生物保鲜剂

除上述抗氧化生物保鲜剂外,一些新型抗氧化剂在金枪鱼保鲜方面的应用也逐渐增多。

*Majoranasyriaca*属于牛至属植物,是中东用于食品的传统调味品,已被证明具有抗氧化活性。植物精油是从植物根、茎、叶等部分萃取的挥发性芳香物质,化学成分复杂,主要包括芳香族、脂肪族和萜类化合物^[24]。Al-Bandak等^[25]研究了*Majoranasyriaca*提取液对黄鳍金枪鱼的抗氧化作用。经监测过氧化值和硫代巴比妥酸值,发现0℃有氧贮藏条件下,提取液与玉米精油混合液有效抑制了金枪鱼肉的脂肪氧化,延长了金枪鱼的保质期。

高铁肌红蛋白酶是可以还原高铁肌红蛋白的一

类酶的总称,也称细胞色素b5高铁肌红蛋白还原酶、黄素腺嘌呤二核甘酸依赖的细胞色素b5高铁肌红蛋白还原酶。高铁肌红蛋白酶稳定性受冷冻-解冻处理即温度波动的影响小^[26]。虽然高铁肌红蛋白还原酶与肉类色泽稳定性之间的关系仍然存在争议,但是Chiou等^[27]已证明高铁肌红蛋白还原酶(0.103 U/mL)能够提高蓝鳍金枪鱼肉色泽的稳定性,并且该酶对高铁肌红蛋白的还原效应是在4℃的冷藏温度下验证的,这对延长金枪鱼在市场冷藏展柜中的鲜度保鲜期有极大的意义。

2.2 抑菌生物保鲜剂

随着生活质量的不断提高,越来越多的消费者已经意识到饮食和健康之间的重要关系,安全、无毒的生物保鲜剂在食品保鲜方面抑菌应用也因此成为了大众的关注焦点。生物保鲜剂的抑菌机理主要有:形成高分子膜阻碍细胞营养物质的摄取;水解细胞壁的糖苷键,使细胞壁部分缺失;进入细胞内部,扰乱其生理活动;螯合金属离子等。

2.2.1 乳酸链球菌素

乳酸链球菌素(Nisin),一种由乳酸乳球菌乳酸亚种产生的微生物次级代谢产物,是包含羊毛硫氨酸、 β -甲基羊毛硫氨酸等在内的34个氨基酸组成的细长型阳离子天然活性多肽小分子,对单核增多性李斯特氏细菌、金黄色葡萄球菌、乳杆菌等革兰氏阳性菌的营养细胞及其孢子生长具有强烈的抑制活性^[28]。Nisin作为唯一被美国食品药品监督管理局(FDA)批准的、可应用在食品防腐中的细菌素,其抑菌机理成为众多学者的研究热点,形成的理论主要为结合细胞膜形成孔道复合物使细胞内营养物质渗出,细胞裂解。Nisin本身对消化道中的蛋白酶敏感,可被消化代谢,无害于人体健康,因此在食品保鲜中倍受青睐。祝银等^[29]发现Nisin能有效抑制-18℃冻藏的金枪鱼的腐败变质,延迟其弹性、凝聚性、口感的劣变,并且0.4 g/L的Nisin添加量可使其保鲜效果达到最佳。李双双等^[30]用Nisin溶液处理黄鳍金枪鱼肉,实时检测其TVB-N值、pH值、色差等,发现Nisin溶液能较好维持金枪鱼肉色泽、硬度和弹性,能较好抑制金枪鱼肉中的微生物生长繁殖。Takahashi等^[10]研究发现在10℃下贮藏7 d,质量分数为0.05%的Nisin溶液接种到金枪鱼中,可有效抑制金枪鱼肉中的单核细胞增多性李斯特氏细菌。因Nisin的抑菌谱较窄,在食品保鲜中通常与其他保鲜剂协同作用,如溶菌酶^[31]、大蒜精油^[32]、迷迭香^[33]等。

2.2.2 壳聚糖

壳聚糖,别名甲壳胺,是一种具有无毒性、生物相容性、生物降解性、粘液粘聚性的多功能天然聚合物糖类,可通过甲壳素脱乙酰基得到,其化合物结构为 β -1,4糖苷键连接氨基葡萄糖和N-乙酰氨基葡萄糖。壳聚糖在水产品保鲜领域是一种极具潜力的天然生物保鲜剂^[34]。2001年,FDA将壳聚糖归类于符合GRAS(Generally Recognized as Safe)的食品添加剂^[35]。

壳聚糖对细菌的抑制活性较强(对革兰氏阳性菌的抑制作用强于革兰氏阴性菌),其次是酵母菌,对真菌也有一定的抑制作用,但相对较弱。不同分子量的壳聚糖抑菌机制不同,低原子质量(3 kD)的壳聚糖渗透进入细菌内部,扰乱细胞正常生理活动,高原子质量(300~400 kD和700 kD)的壳聚糖则破坏细菌细胞膜^[36]。在-18℃冻藏温度下,15 g/L壳聚糖保鲜液可以有效延长黄鳍金枪鱼货架期。相对于其他浓度梯度实验组,15 g/L的壳聚糖溶液能使黄鳍金枪鱼的TVB-N值在贮藏期间保持最低,在第30天时,其TVB-N值仍保持在一级鲜度,为12.78 mg/100 g^[37]。Takahashi等^[10]发现10℃下质量分数为1%的壳聚糖溶液对存在于金枪鱼肉中的单核细胞增多性李斯特氏细菌抑制能力最强。研究发现,壳聚糖能较好维持金枪鱼肉的硬度,这可能是因为壳聚糖和蛋白质分子间的交联作用,改变了蛋白质分子结构,改善了凝胶特性,以此提高了盐溶性蛋白质的保水力和硬度^[38]。壳聚糖的水溶性较差,仅能溶于部分无机酸和有机酸中,因此其水溶性衍生物的开发成为改善壳聚糖应用现状的关键点。

2.2.3 ϵ -聚赖氨酸

ϵ -聚赖氨酸最初是由Shima等^[39]从链霉菌的代谢产物中分离得到,是一种由25~35个赖氨酸残基组成的短肽。研究表明, ϵ -聚赖氨酸具有高效且广泛的抑菌作用,可通过损伤细胞膜、攻击胞内靶点等方式有效杀灭革兰氏细菌、真菌、酵母菌、一些噬菌体以及耐热的芽孢杆菌^[40]。 ϵ -聚赖氨酸作为一种热稳定性好、水溶性好、可在人体中代谢的天然保鲜剂,其安全性已得到广泛认可,对海产品、蔬菜、饼干等均具有良好的抑菌保鲜效果。Takahashi等^[10]在金枪鱼中单核细胞增多性李斯特氏菌的生物抑菌剂研究中发现,金枪鱼在10℃运输和销售过程中可能暴露的温度下, ϵ -聚赖氨酸能有效推迟单核细胞增多性李斯特氏菌的生长繁殖,并且质量分数为0.2%是抑制该菌的最佳剂量。

2.2.4 其他抑菌生物保鲜剂

抑菌生物保鲜剂的发展迅速,除上述保鲜剂外,

还有一些保鲜剂也可有效抑制金枪鱼中微生物的生长,如生物酶类保鲜剂Cold-active蛋白酶以及溶菌酶。在Cold-active蛋白酶对低温贮藏金枪鱼肉影响的研究中,王全福等^[41]将从一种嗜冷的细菌*Antarctic sea ice bacteria Pseudoalteromonas sp.*NJ276提取的Cold-active蛋白酶喷涂到大眼金枪鱼样表面,0℃贮存20 d后,发现与未喷涂Cold-active蛋白酶的对照组相比,Cold-active蛋白酶能显著提高金枪鱼鲜度货架期。溶菌酶又称胞壁质酶或N-乙酰胞壁质聚糖水解酶,是一种可使细胞中黏多糖水解的碱性球蛋白,能够破坏细胞壁中N-乙酰氨基葡萄糖和N-乙酰胞壁酸之间的 β -1,4糖苷键,使细胞壁不溶性黏多糖分解成可溶性糖肽,导致细胞壁破裂内容物逸出,使细菌溶解,从而达到抑菌效果。溶菌酶对革兰氏阳性菌细胞、部分革兰氏阴性菌细胞、真菌中的酵母细胞、霉菌细胞均有一定程度的溶解作用^[42]。Takahashi等^[10]发现室温下,质量分数为0.2%溶菌酶能很好地抑制单核细胞增多性李斯特氏细菌,这对金枪鱼在零售市场的开发销售有重大意义。溶菌酶作为一种酶类生物保鲜剂,其特异性高,单独使用具有一定局限性,因此常与其他保鲜剂共同使用。

2.3 复合保鲜剂

食品的腐败变质是多种因素共同作用的结果,单一的生物保鲜剂虽具有抗氧化抑菌功效,但抑菌谱并不能覆盖所有微生物,均具有各自的侧重点。多种保鲜剂复配使用,不仅可以使保鲜抑菌效果增强,亦能减少保鲜剂的使用量,降低保鲜剂对食品风味口感的影响以及工艺成本。研究发现Nisin和 ϵ -聚赖氨酸的复合保鲜剂可显著增加其对危害严重的食源性致病菌单核细胞增多性李斯特菌和蜡样芽胞杆菌的抑制作用^[43]。将壳聚糖(10.0 g/L)、茶多酚(3.0 g/L)与溶菌酶(0.3 g/L)协同作用于腐败希瓦氏菌,可强烈抑制菌体的生长,推迟其对数期^[44]。

对金枪鱼中腐败微生物的抑制,常用Nisin与其他生物保鲜剂(如壳聚糖、茶多酚、溶菌酶、 ϵ -聚赖氨酸等)进行复合使用。李双双等^[45]在-18℃冻藏温度下,对Nisin、壳聚糖以及茶多酚等3种生物保鲜剂的金枪鱼TVB-N值分别进行单因素效应分析和双因素间的交互效应分析,发现茶多酚保鲜效果最佳,茶多酚和Nisin之间的交互作用显著;通过响应面法确定复合保鲜剂的最佳质量浓度:茶多酚为6.55 g/L,壳聚糖为16.05 g/L,Nisin为0.46 g/L。Takahashi等^[46]对Nisin分别与溶菌酶、 ϵ -聚赖氨酸在金枪鱼肉中的抑菌协同

作用效果进行了测试,将 102 cfu/g 的单核细胞增多性李斯特菌和 2 种混合保鲜剂(Nisin 和溶菌酶, Nisin 和 ϵ -聚赖氨酸)接种到金枪鱼碎肉中,在 10 °C, 7 d 和 25 °C, 12 h 的贮藏条件下,2 种复合保鲜剂均能在实验初始阶段减少细菌数目,并能长时间维持较低水平的细胞数目,显示出强大的抑菌活性;复配后的保鲜剂效果均优于单一保鲜剂,货架期延长;同时 25 °C 的实验温度下得到的阳性抑菌结果,对延长室温下即食性海产品的货架期、扩大金枪鱼消费市场具有重大意义。

2.4 生物保鲜技术与气调包装保鲜技术的结合

气调包装(MAP)主要通过改善包装内气体组成,来达到抑制脂肪氧化以及微生物生长、延长食品货架期的目的^[47]。金枪鱼气调保鲜技术常用 O₂, N₂, CO₂ 等气体进行填充,通过 O₂ 对厌氧菌的抑制作用、N₂ 的填充作用以及 CO₂ 的广谱抑菌作用共同对金枪鱼肉进行保鲜。贮藏温度、气体比例、包装材料、金枪鱼肉初始状态等均是气调保鲜效果的主要影响因素。特别是考虑到金枪鱼肉色泽是消费者评价其新鲜程度的一项重要指标,生物保鲜技术与 MAP 的协同护色保质研究逐渐成为研究热点。

Thiansilakul 等^[48]在研究咖啡酸、鞣酸结合 MAP (CO₂(60%)+N₂(35%)+O₂(5%))对冻藏东方小金枪鱼品质影响的研究中发现,MAP 能有效抑制金枪鱼的微生物腐败,提高其可接受度。在 4 °C 贮藏条件下,与空气对照组相比,鞣酸与 MAP 的协同作用能够有效抑制金枪鱼肉中高铁肌红蛋白的形成($P<0.05$)以及不饱和脂肪酸、特别是 $n-3$ 脂肪酸的氧化($P<0.05$),可使货架期延长至 12 d,并且其抗氧化效果优于咖啡酸与 MAP 的协同使用。Muela 等^[49]将大目金枪鱼样品在真空冷藏条件下解冻后随机分为空气组、高氧组(O₂(70%)+CO₂(30%))、低氧组(O₂(40%)+CO₂(40%)+N₂(20%))、无氧组(CO₂(60%)+N₂(40%))、一氧化碳组(CO₂(60%)+N₂(39.5%)+CO(0.5%))以及绿茶提取物高氧组(绿茶提取物+O₂(70%)+CO₂(30%))。在 4 °C 贮藏条件下,经定时监测鱼肉理化指标、微生物指标和感官情况发现各气调包装组相比于空气组能够有效抑制嗜冷菌的生长,延长金枪鱼货架期;在鱼肉表面喷洒绿茶提取物的气调包装组以及含有 CO 的气调包装组中,金枪鱼的色泽和风味能够保持更佳状态,但 CO 是否可以作为水产品的气调保鲜填充气体在国内外仍存在很大的争议,而我国《生食金枪鱼》标准规定生食金枪鱼加工中不应使用 CO 进行护色,真空包装的低温金枪鱼中 CO

含量不应超过 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[6]。由此可见,生物保鲜剂与 MAP 对金枪鱼保鲜的协同使用,在食品安全日益受重视的今天,将会有较大的发展前景。

3 结语

随着大众对金枪鱼这种远洋捕捞海产品的消费需求的不增长,金枪鱼保鲜技术的需求也越来越迫切,单纯的低温保藏已经不能满足其流通要求,而生物保鲜剂能在保证安全营养的基础上有效延长其货架期,因此生物保鲜,尤其是复合保鲜剂以及生物保鲜剂与其他物理保鲜技术相结合的方法在金枪鱼保鲜中极具发展潜力,也有待进一步研究。例如:抗氧化类生物保鲜剂在金枪鱼中的研究较少,所开发出的种类有限;金枪鱼流通过程中微生物菌相变化有待进一步系统研究,以建立其微生物生长模型,预测流通过程中金枪鱼肉品质变化情况,优化生物保鲜技术;一些新型生物保鲜剂(如植物提取液)成分复杂,其保鲜机理尚不明确;生物保鲜技术与其他技术的结合使用有待进一步开发,如生物保鲜剂与冰温、微冻贮藏以及与气调贮藏相结合等。

参考文献:

- [1] 潘迎捷. 水产辞典[M]. 上海:上海辞书出版社,2007.
PAN Ying-jie. Aquatic Dictionary[M]. Shanghai: Lexicographical Publishing House, 2007.
- [2] 李念文,汤元睿,谢晶,等. 物流过程中大眼金枪鱼(Thunnus obesus)的品质变化试验研究[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 319—323.
LI Nian-wen, TANG Yuan-rui, XIE Jing, et al. Physicochemical Quality Properties of Thunnus obesus during Logistical Process[J]. Food Science, 2013, 34(14): 319—323.
- [3] 苏辉,谢晶. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 265—269.
SU Hui, XIE Jing. Application on Bio-preservative for Aquatic Products[J]. Food and Machinery, 2013, 29(5): 265—269.
- [4] 周聃,徐坤华,赵巧灵,等. 2 种大洋性金枪鱼赤身营养价值分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(11): 14—18.
ZHOU Ran, XU Kun-hua, ZHAO Qiao-ling, et al. Nutritive Value Analysis and Evaluation of Akami of Two Kinds of Ocean Tuna[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(11): 14—18.
- [5] 杨金生,尚艳丽,夏松养. 不同冻藏温度对金枪鱼肉肉色变化的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(1): 39—41.
YANG Jin-sheng, SHANG Yan-li, XIA Song-yang. Effect of Different Frozen Storage on Color Change of Tuna[J]. Food In-

- dustry, 2012, 33(1):39—41.
- [6] SC/T 3117—2006, 生食金枪鱼[S].
SC/T 3117—2006, Eating Raw Tuna[S].
- [7] 罗庆华. 水产品特定腐败菌研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(23):468—472.
LUO Qing-hua. Research Advances on Specific Spoilage Organisms of Aquatic Products[J]. Food Science, 2010, 31(23):468—472.
- [8] 许振伟, 许钟, 杨宪时, 等. 鱼类腐败菌腐败能力测定方法[J]. 食品科学, 2010, 31(20):355—359.
XU Zhen-wei, XU Zhong, YANG Xian-shi, et al. Comparative Evaluation of Two Methods for Determining Spoilage Ability of Fish Spoilage Bacterium *Shewanella Putrefaciens*[J]. Food Science, 2010, 31(20):355—359.
- [9] SERIO A, FUSELLA G C, PAPARELLA A. Spoilage Potential of H₂S Producing Bacteria in Seafood[J]. Italian Journal of Food Science, 2011, 23(1):201—203.
- [10] TAKAHASHI H, KURAMOTO S, MIYA S, et al. Use of Commercially Available Antimicrobial Compounds for Prevention of *Listeria Monocytogenes* Growth in Ready-to-eat Minced Tuna and Salmon Roe During Shelf Life[J]. Journal of Food Protection, 2011, 74(6):994—998.
- [11] CHANG S C, KUNG H F, CHEN H C, et al. Determination of Histamine and Bacterial Isolation in Swordfish Fillets (*Xiphias Gladius*) Implicated in a Food Borne Poisoning[J]. Food Control, 2008, 19(1):16—21.
- [12] GARCA-TAPIA G, BARBA-QUINTERO G, GALLEGOS-INFANTE J A, et al. Influence of Physical Damage and Freezing on Histamine Concentration and Microbiological Quality of Yellow Fin Tuna During Processing[J]. Food Science and Technology, 2013, 33(3):463—467.
- [13] FERRARIO C, PEGOLLO C, RICCI G, et al. PCR Detection and Identification of Histamine-forming Bacteria in Filleted Tuna Fish Samples[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(2):115—120.
- [14] 钱丽红, 陶妍, 谢晶. 茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理[J]. 微生物学通报, 2010, 37(11):1628—1633.
QIAN Li-hong, TAO Yan, XIE Jing. Antimicrobial Mechanisms of Tea Polyphenol against *Staphylococcus Aureus* and *Pseudomonas Aeruginosa*[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 37(11):1628—1633.
- [15] 刘书亮, 夏静华, 叶劲松, 等. 三种天然保鲜剂对肉中腐败菌和致病菌的抑制效果[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3):46—50.
LIU Shu-liang, XIA Jing-hua, YE Jing-song, et al. Inhibition Effect of Three Kinds of Natural Preservatives on Spoilage Organisms and Pathogenic Bacteria in Meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(3):46—50.
- [16] MEDINA I, GALLARDO J M, GONZLEZ M J, et al. Effect of Molecular Structure of Phenolic Families as Hydroxycinnamic Acids and Catechins on Their Antioxidant Effectiveness in Minced Fish Muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(10):3889—3895.
- [17] TANG S, SHEEHAN D, BUCKLEY D J, et al. Anti-oxidant Activity of Added Tea Catechins on Lipid Oxidation of Raw Minced Red Meat, Poultry and Fish Muscle[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2001, 36(6):685—692.
- [18] 李双双, 夏松养, 李仁伟. 茶多酚对冻藏金枪鱼的保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2012, 37(12):126—129.
LI Shuang-shuang, XIA Song-yang, LI Ren-wei. Effect on Preserving of Frozen Tuna for Tea Polyphenol[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12):126—129.
- [19] CAI H, LIU X, CHEN Z, et al. Isolation, Purification and Identification of Nine Chemical Compounds from *Flammulina Velutipes* Fruiting Bodies[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):2873—2879.
- [20] DUBOST N J, OU B, BEELMAN R B. Quantification of Polyphenols and Ergothioneine in Cultivated Mushrooms and Correlation to Total Antioxidant Capacity[J]. Food Chemistry, 2007, 105(2):727—735.
- [21] 李轶群, 周念波. 麦角硫因的生物学功能及其应用[J]. 食品工程, 2010(3):26—28.
LI Yi-qun, ZHOU Nian-bo. Ergothioneine Biological Function and Major Applications[J]. Food Engineering, 2010(3):26—28.
- [22] 杨念, 芮汉明. 金针菇提取物的提取工艺优化及其抗氧化性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(1):194—198.
YANG Nian, RUI Han-ming. Study of Optimal Extraction Process and Antioxidant Properties of Extract from Mushroom (*Flammulina Velutipes*) [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(1):194—198.
- [23] BAO H N D, USHIO H, OHSHIMA T. Antioxidative Activities of Mushroom (*Flammulina velutipes*) Extract Added to Bigeye Tuna Meat: Dose-dependent Efficacy and Comparison with Other Biological Antioxidants[J]. Journal of Food Science, 2009, 74(2):162—169.
- [24] 陈建烟, 李永裕, 吴少华. 植物精油生物活性作用机理研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(9):1312—1318.
CHEN Jian-yan, LI Yong-yu, WU Shao-hua. Advances in Mechanism of Biological Activities of Plant Essential Oils[J]. Natural Products Research and Development, 2012, 24(9):1312—1318.
- [25] AL-BANDAK G, TSIRONI T, TAOUKIS P, et al. Antimicrobial and Antioxidant Activity of Majoranasyriaca in Yellowfin Tuna[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(2):373—379.

- [26] TANG J L, FAUSTMAN C, MANCINI R A, et al. The Effects of Freeze-thaw and Sonication on Mitochondrial Oxygen Consumption, Electrontransport Chain-linked Metmyoglobin Reduction, Lipid Oxidation, and Oxymyoglobin Oxidation[J]. *Meat Science*, 2006, 74(3): 510—515.
- [27] CHIOU T K, PONG C Y, NIEH F P, et al. Effect of Met-myoglobin Reductase on the Color Stability of Blue Fin Tuna during Refrigerated Storage[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(4): 694—702.
- [28] 贺松, 龚芳红, 张德纯, 等. 乳酸链球菌素对乳酸菌抑菌作用的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(23): 352—355.
HE Song, GONG Fang-hong, ZHANG De-chun, et al. Anti-microbial Activity of Nisin against Lactic Acid Bacteria[J]. *Food Science*, 2009, 30(23): 352—355.
- [29] 祝银, 刘琴, 严忠雍, 等. Nisin生物保鲜剂对冻藏金枪鱼的影响[J]. *广州化工*, 2013, 41(24): 41—43.
ZHU Yin, LIU Qin, YAN Zhong-yong, et al. Nisin Biological Preservative Texture of Frozen Tuna[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2013, 41(24): 41—43.
- [30] 李双双. 金枪鱼的生物保鲜技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2013.
LI Shuang-shuang. Study on Tuna Biological Preservation Technology[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2013.
- [31] CHAI C, LEE K S, OH S W, et al. Synergistic Inhibition of Clostridium Difficile with Nisin-lysozyme Combination Treatment[J]. *Anaerobe*, 2015, 34: 24—26.
- [32] ROHANI S M R, MORADI M, MEHDIZADEH T, et al. The Effect of Nisin and Garlic (Allium Sativum L) Essential Oil Separately and in Combination on the Growth of Listeria Monocytogenes[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2011, 44(10): 2260—2265.
- [33] GAO Meng-sha, FENG Li-fang, JIANG Tian-jia, et al. The Use of Rosemary Extract in Combination with Nisin to Extend the Shelf Life of Pompano (Trachinotus Ovatus) Fillet during Chilled Storage[J]. *Food Control*, 2014, 37(1): 1—8.
- [34] ALISHAHI A, ADER M. Applications of Chitosan in the Seafood Industry and Aquaculture: A Review[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(3): 817—830.
- [35] ANONYMOUS. US Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Premarket Approval, GRAS Notices Received in 2001[EB/OL]. <http://vm.cfsan.fda.gov>.
- [36] 王月慧, 余雄伟, 徐远阳, 等. 壳聚糖抑菌作用位点的研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(13): 92—95.
WANG Yue-hui, YU Xiong-wei, XU Yuan-yang, et al. Anti-bacterial Action Sites of Chitosans[J]. *Food Science*, 2012, 33(13): 92—95.
- [37] 李仁伟, 李双双, 夏松养. 壳聚糖对冻藏金枪鱼肉的保鲜效果研究[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2013, 32(3): 233—237.
LI Ren-wei, LI Shuang-shuang, XIA Song-yang. On Research of Water-soluble Chitosan Effect for Preserving Frozen Tuna[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2013, 32(3): 233—237.
- [38] 蒋大挺. 壳聚糖[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
JIANG Da-ting. Chitosan[M]. 2nd Edition. Beijing: Beijing Industry Press, 2006.
- [39] SHIMA S, SAKAI H. Polylysine Produced by Streptomyces[J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1977, 41: 1807—1809.
- [40] 刘盛荣. ϵ -聚赖氨酸生物合成及代谢调控研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
LIU Sheng-rong. Study on ϵ -poly-L-lysine Biosynthesis and Metabolic Regulation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [41] WANG Quan-fu, HOU Yan-hua, YAN Pei-sheng. Effect of Cold-active Protease Treatments on Bigeye Tuna (Thunnus Obesus) Meat during Chilled Storage[J]. *Information Technology and Agricultural English*, 2012, 134: 895—902.
- [42] 刘益丽, 邓霄禹, 江明锋. 溶菌酶抑菌活性及检测方法研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2013, 40(8): 189—194.
LIU Yi-li, DENG Xiao-yu, JIANG Ming-feng. Research Progress on Antibacterial Activity and Detection Method of Lysozyme[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2013, 40(8): 189—194.
- [43] NAJJAR M B, KASHTANOV D, CHIKINDAS M L. ϵ -Poly-L-lysine and Nisin an Actsynergistically Against Gram-positive Food-borne Pathogens Bacillus Cereu and Listeria Monocytogenes[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2007, 45(1): 13—18.
- [44] 蓝蔚青, 谢晶, 侯伟峰, 等. 复合生物保鲜剂对腐败希瓦氏菌的抑菌机理[J]. *江苏农业学报*, 2012, 28(1): 186—192.
LAN Wei-qing, XIE Jing, HOU Wei-feng, et al. Anti-bacterial Mechanism of Composite Biological Preservative against Shewanella Putrefaciens[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(1): 186—192.
- [45] 李双双, 霍健聪, 夏松养. 冻藏金枪鱼复合保鲜剂的配比优化研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(6): 82—84.
LI Shuang-shuang, HUO Jian-cong, XIA Song-yang. Study on Optimization of Tuna Composite Preservative[J]. *Food Industry*, 2013, 34(6): 82—84.
- [46] TAKAHASHI H, KASHIMURA M, MIYA S, et al. Effect of Paired Antimicrobial Combinations on Listeria Monocytogenes Growth Inhibition in Ready-to-eat Seafood Products[J]. *Food Control*, 2012, 26(2): 397—400.
- [47] MASTROMATTEO M, CONTE A, NOBILE M A. Combined Use of Modified Atmosphere Packaging and Natural Compounds for Food Preservation[J]. *Food Engineering Reviews*, (下转第29页)

- [37] 章学来,赵群志,袁园,等.一种冷藏车用低温相变蓄冷材料:中国,103740335[P].2013-12-03.
ZHANG Xue-lai, ZHAO Qun-zhi, YUAN Yuan, et al. A low-temperature Phase Change Storage Material for Refrigerator Vehicle: China, 103740335[P]. 2013-12-03.
- [38] 高斯.保温包装中蓄冷剂的研制[D].无锡:江南大学,2012.
GAO Si. Research on Cold Storage Agent for Insulation Packaging[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [39] 高凯,阎瑞香,董爱平,等.果蔬运输保鲜蓄冷剂的研制[J].保鲜与加工,2010,10(6):20-23.
GAO Kai, YAN Rui-xiang, DONG Ai-ping, et al. Study on Coolant of Fruits and Vegetables during Storage and Transportation[J]. Storage and Process, 2010, 10(6): 20-23.
- [40] 李瑶,钱静,吴丽彬.基于T-history曲线计算材料相变潜热方法的改进[J].包装工程,2014,35(23):17-22.
LI Yao, QIAN Jing, WU Li-bin. Improvement of Calculation Method for Material Phase Change Latent Heat Based on T-history Curve[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 17-22.
- [41] SHIBUKAWA M, AOYAGI K, SAKAMOTO R, et al. Liquid Chromatography and Differential Scanning Calorimetry Studies on the States of Water in Hydrophilic Polymer Gel Packings in Relation to Retention Selectivity[J]. Journal of Chromatography A, 1999, 832: 17-27.
- [42] OMIDIAN H, ZOHURIAAN-MEHR M J. DSC Studies on Synthesis of Superabsorbent Hydrogels[J]. Polymer, 2002, 43: 269-277.
- [43] 马承银.高吸水性树脂在蓄冷材料中的应用研究[J].塑料开发,2000;1437-1439.
MA Cheng-yin. Research of High Absorbent Resin Application in the Cool Storage Materials[J]. Plastic Development, 2000; 1437-1439.
- [44] 李婷,潘欣,应铁进.食品相变蓄冷剂的配方优化及应用[J].中国食品学报,2011,11(4):115-122.
LI Ting, PAN Xin, YING Tie-jin. Optimization and Application of Formula for CTESM as Temperature Regulator in Food Storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(4): 115-122.
- [45] 潘欣.食品相变蓄冷剂的研制[D].杭州:浙江大学,2005.
PAN Xin. Development of CTESM in Food Storage[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [46] 刘建良. LASP/AA/AM高吸水性树脂的合成、性能及蓄冷保鲜应用研究[D].广州:广东工业大学,2012.
LIU Jian-liang. Study on Synthesis and Properties of LASP/AA/AM Super Absorbent Polymer and Applied to Cool Storage Fresh-keeping[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2012.
- [47] 谭爱龄,陈璐,刘建良.高吸水性树脂复合相变材料的冻融特性[J].化工进展,2011,30(10):2262-2265.
TAI Ai-ling, CHEN Lu, LIU Jian-liang. Freezing and Thawing Characteristics of Superabsorbent Composite Phase Change Material[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2011, 30(10): 2262-2265.
- [48] 于党伟,卢立新.乙烯基微胶囊相变材料的研究进展[J].包装工程,2013,34(23):127-131.
YU Dang-wei, LU Li-xin. Research Progress in Vinyl Microencapsulated Phase Change Materials[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23): 127-131.
- [49] 陆少锋,邢建伟,吴钦,等.界面聚合聚脲/聚氨酯双层微胶囊相变材料的研制与性能[J].高分子材料科学与工程,2011,27(1):17-19.
LU Shao-feng, XING Jian-wei, WU Qin, et al. Interfacial Polymerization Polyurea/Polyurethane Double Microencapsulated Phase Change Materials Research and Performance[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(1): 17-19.
- [50] 单其艳,杨铭,冉瑞龙,等.脲醛树脂-石蜡相变微胶囊的制备及性能研究[J].上海纺织科技,2012,40(7):13-15.
SHAN Qi-yan, YANG Ming, RAN Rui-long, et al. Ureaformaldehyde Resin-paraffin Phase Change Microcapsules Preparation and Properties[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2012, 40(7): 13-15.
- [51] 胡广东,邹黎明,徐速,等.复合相变材料/聚甲基丙烯酸酯微胶囊的制备与表征[J].合成纤维,2011(1):20-23.
HU Guang-dong, ZOU Li-ming, XU Su, et al. Composite Phase Change Material/Poly(Methyl Methacrylate) Microcapsules Preparation and Characterization[J]. Synthetic Fiber, 2011(1): 20-23.
- [52] 张艳辉,邓建国,黄奕刚.乙二醇双硬脂酸酯/PMMA核壳储能微胶囊制备[J].化工进展,2012,31(3):580-585.
ZHANG Yan-hui, DENG Jian-guo, HUANG Yi-gang. Ethylene Glycol Stearic Acid Ester/PMMA Core-shell Storage Microcapsules[J]. Industry and Engineering Progress, 2012, 31(3): 580-585.

(上接第22页)

2010,2(1):28-38.

- [48] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS M P. Effect of Phenolic Compounds in Combination with Modified Atmospheric Packaging on Inhibition of Quality Losses of Refriger-

ated Eastern Little Tuna Slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 146-152.

- [49] MUELA E, ALONSO V, MORAGO P, et al. Effect of Gas Packaging Conditions on Thawed Thunnus Obesus Preservation[J]. Food Control, 2014, 46: 217-224.