

# 乳酸菌及其细菌素在海水鱼保鲜中应用的研究进展

方士元<sup>1,4</sup>, 谢晶<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306;

4. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海 201306)

**摘要** 随着人们对生鲜海水鱼产品需求的日益增加,其保鲜技术的研发成为热点。乳酸菌及其细菌素以其天然、强抗菌性及安全可靠等优势,在海水鱼保鲜方面有广阔的应用前景。综述了海水鱼中乳酸菌细菌素分类、分离纯化方法,分析了乳酸菌产生的有机酸、细菌素和  $H_2O_2$  的抑菌作用,概述了乳酸菌及其细菌素在海水鱼保鲜中的应用现状和监管问题,提出了在应用上存在的问题和今后的发展重点。进一步阐明了乳酸菌生物保鲜剂在海水鱼保鲜中的应用价值,以推动海水鱼保鲜技术的发展。

**关键词** 乳酸菌;细菌素;海水鱼;生物保鲜

中图分类号 Q939.11<sup>+</sup>7

文献标识码 A

文章编号 1005-7021(2019)02-0111-06

doi:10.3969/j.issn.1005-7021.2019.02.017

## Advances in Lacto-Bacteria and Its Bacteriocin for Preservation of Marine Fish

FANG Shi-yuan<sup>1,4</sup>, XIE Jing<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Coll. of Food Sci. & Tech., Shanghai Ocean Uni., Shanghai 201306;

2. Shanghai Aqua-Products Process. & Stor. Engin. Tech. Res. Ctr., Shanghai 201306;

3. Shanghai Profess. Tech. Serv. Platform on Cold Chain Equip't Perform. & Energy Saving Eval'n, Shanghai 201306;

4. Nat'l Exper'l Teach. Demonst'n Ctr. for Food Sci. & Engin. (Shanghai Ocean Uni.), Shanghai 201306)

**Abstract** With the increasing demand for marine fish products, keeping fresh has become an important research topic. Lacto-bacteria and their bacteriocin, with their natural, strong antibacterial and safe and reliable advantages, have wide application prospects in marine fish preservation. The classification, the methods of isolation and purification of lacto-bacteria bacteriocin were reviewed. The bacteriostatic action of the organic acid, bacteriocin and  $H_2O_2$  produced by lacto-bacteria were analyzed, the application status and regulatory problems of lacto-bacteria and bacteriocin in marine fish were summarized, and some problems and future development of lacto-bacteria and bacteriocin in marine fish were also pointed out. The aims of this paper are to enhance the application of lacto-bacteria preservatives in marine fish and to clarify the development of keeping fresh technology on marine fish.

**Keywords** lacto-bacteria; bacteriocin; marine fish; preservation

随着人们生活水平和保健意识的提高,鱼类因其营养价值更符合人体需要而日益受到青睐。其中海水鱼肉质鲜美,富含 EPA、DHA 等不饱和脂肪酸,较淡水鱼更受人们喜爱。但海水鱼营养

丰富,适宜微生物生长繁殖,更易腐败变质,货架期短<sup>[1-2]</sup>,延长海水鱼货架期主要依靠控制微生物的生长繁殖。保藏海水鱼除了常规的物理、化学手段,还有生物保鲜法。生物保鲜技术包括用植

基金项目:农业部海水鱼产业体系(CARS47);2016年上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2016)第1-1号];上海市科委平台能力建设项目(16DZ2280300);上海市科委公共服务平台建设项目(17DZ2293400)

作者简介:方士元 男,硕士研究生。研究方向为海产品保鲜。E-mail:bl5850777@163.com

\* 通讯作者。女,教授,博士,博士生导师。研究方向为食品工程。E-mail:jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2018-10-24

物源性、动物源性、微生物源性和酶类生物保鲜剂以及复合生物保鲜剂保鲜<sup>[3]</sup>。近年来,微生物保鲜剂由于其高效、安全和良好的拮抗作用成为生物保鲜技术的研究热点<sup>[4]</sup>。乳酸菌是一种微生物保鲜剂,且一般被认为是食品级微生物<sup>[5]</sup>,常用于制造酸奶、泡菜和其他发酵食品。乳酸菌生成的有机酸、细菌素和  $H_2O_2$  等物质能有效抑制和杀灭食品中的腐败菌和病原菌,延长食品保质期,因而可以被用作生物保鲜剂。例如,乳酸菌产生的细菌素对革兰阳性菌有很强杀灭作用,仅在低浓度下就可使其迅速死亡。其中研究最广泛的是乳酸链球菌素(Nisin),是国际上第一个被允许使用的细菌素。以往乳酸菌主要应用于乳制品和果蔬产品保鲜,近年来,将其应用于海水鱼保鲜已逐渐成为研究热点。本文综述了海水鱼源的乳酸菌细菌素分类、分离纯化方法、保鲜机理,以及在海水鱼中的应用和安全监管问题,旨在为今后进一步关注和研究乳酸菌生物保鲜剂在海水鱼中的应用提供参考。

## 1 乳酸菌及其细菌素概述

### 1.1 海水鱼中的乳酸菌

乳酸菌是指一类无芽胞、革兰阳性细菌的总称。主要包括乳杆菌属(*Lactobacillus*)、肠球菌属(*Enterococcus*)、肉食杆菌属(*Carnobacterium*)和乳球菌属(*Lactococcus*)等<sup>[6]</sup>。乳酸菌广泛分布在自然界中,其中海水鱼是乳酸菌的重要来源之一。前人从生鲜海水鱼中分离得到的乳酸菌有乳杆菌属、乳球菌属、肠球菌属、明串珠菌属等<sup>[7]</sup>。而海水鱼加工产品一般有微加工海产品和半加工海产品,在微加工海产品中的优势乳酸菌包括乳杆菌属、乳球菌属、肠球菌属和肉食杆菌属等<sup>[8]</sup>,其中在  $-15 \sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  贮藏的微加工海产品中优势乳酸菌是肉食杆菌属<sup>[9]</sup>。在半加工海产品中的乳酸菌主要是乳酸杆菌属和片球菌属。

### 1.2 细菌素定义

细菌素(bacteriocin)是指细菌代谢过程中产生的具有抗菌活性的多肽或蛋白质复合物<sup>[10]</sup>。一般来说,乳酸菌的细菌素是阳离子的,有两亲性、膜渗透性的多肽。Klaenhammer 在 1993 年根据乳酸菌细菌素结构和分子量将其分为四类,过去的 20 a 中分类标准不断被修订<sup>[11-12]</sup>。而 Cotter 等<sup>[13]</sup>在 2005 年将细菌素分为两类:含有羊毛硫氨酸的羊毛硫抗生素和不含羊毛硫氨酸的非羊毛

硫抗生素。Cotter 认为 Klaenhammer 分类法的 I、II 类细菌素都是通过在细胞膜上形成孔洞或阻碍细胞壁合成来产生抑菌效果,III 类细菌素则是通过水解细菌细胞壁使细菌死亡,而 IV 类细菌素至今未发现,所以 Cotter 将乳酸菌产生的细菌素分为两类。而 Cotter 的命名法很好地解释了 Nisin 为什么具有双重作用,即它不仅能在细胞膜上产生细孔,同时也能结合类脂 II 阻碍细胞壁的合成;但这种分类方法目前还未得到广泛认可,而且除了 II a 类细菌素之外,其他细菌素抑菌机理的研究仍较少。今后乳酸菌细菌素分类仍需不断完善,相信随着对其作用机制研究的日益深入,细菌素作为生物保鲜剂的应用也会越来越广。

### 1.3 乳酸菌细菌素的分离纯化

要研究乳酸菌素的作用机制,高纯度的乳酸菌素是必不可少的。针对不同产品设计特异的纯化技术流程,要综合考虑纯化活性、产率以及成本等因素,以取得良好的分离纯化效果。赵冬兵<sup>[14]</sup>将清酒乳杆菌 *Lactobacillus sakei* 产生的细菌素通过硫酸铵分级沉淀法、纤维素 DEAE-52、葡聚糖 G-50 柱层析和高效液相色谱法进行纯化,纯度达 97.5%。张瑜<sup>[15]</sup>分离鼠李糖乳杆菌 *L. rhamnosus* 所产细菌素时,用乙酸乙酯萃取,通过 AKTA 蛋白纯化系统的多肽分离柱分离,制备液相获得细菌素的纯度达 95%。Saraniya 等<sup>[16]</sup>研究了印度发酵食品中的戊糖乳杆菌 *L. pentosus* SJ65 所产细菌素,用丙酮沉淀、凝胶渗透、疏水色谱等多种方式分离纯化,细菌素由分子量为 1.6 kDa 和 3.9 kDa 的两个独立的肽组成。Casaburi 等<sup>[17]</sup>对意大利传统发酵香肠中的弯曲乳杆菌 *L. curvatus* 54M16 所产细菌素经反向液相色谱纯化,解析电离飞行时间质谱后得出其分子量为 2.5 ku。

## 2 乳酸菌保鲜的机理

在自然界中,乳酸菌通过竞争和拮抗作用抑制其他微生物生长。其中乳酸菌的拮抗作用主要是凭借了它产生的抗菌性代谢产物(有机酸、 $H_2O_2$ )和细菌素,抑制了其他微生物的生长繁殖,从而延长了食品保质期。

### 2.1 有机酸

在代谢过程中,乳酸菌会生成乳酸、乙酸等有机酸,它们显著降低环境中的 pH 值,抑制有害细菌增殖,但对乳酸菌自身生长没有影响,同时由于乳酸菌的生长繁殖,竞争作用使大肠埃希菌、金黄

色葡萄球菌、沙门氏菌生长受到抑制。有机酸有解离和未解离两种形式,其抑菌能力与是否解离有关<sup>[18]</sup>,未解离的有机酸能通过自由扩散进入细菌,在其体内解离释放质子,降低了细胞内的 pH 值,而细菌需要消耗大量能量来维持 pH 值平衡,使其能量耗尽而死;同时有机酸的解离使细胞内酸性离子不断积累,增大胞内渗透压,使细菌细胞破裂。此外,有机酸的解离会钝化或变性细胞内某些酶,影响大分子物质的合成,使细菌的代谢与生长繁殖受到抑制。研究发现,细胞介质的 pH 值、酸的解离度、酸的浓度是有机酸抑菌活性的重要影响因素<sup>[19-22]</sup>。

## 2.2 细菌素

由于细菌素对人体无害,也不像抗生素会产生抗性,可以作为良好的食品保鲜剂<sup>[23]</sup>。乳酸菌产生的细菌素对大多数革兰阳性菌抑制效果较好,而且若结合螯合剂使用则对革兰阴性菌也有抑制作用<sup>[24]</sup>。同时,需要注意的是,细菌素一般只在较小的 pH 范围内有活性,细菌素所带电荷对其活性影响也很大,因而研究哪些因素会影响乳酸菌细菌素的活性就显得十分必要<sup>[25-28]</sup>。近几年,研究最多的乳酸菌细菌素是 Nisin,它带正电荷,具有疏水性,易与其他种细菌的细胞质膜上阴离子结合,引起膜上的类脂破坏,导致细胞膜上产生细孔,并进一步引起细胞内的  $K^+$ 、ATP 等小分子迅速外流,破坏跨膜电势,导致细菌细胞死亡<sup>[29]</sup>。它不仅能够有效抑制革兰阳性菌的营养细胞,也能杀灭其芽胞,且对芽胞的作用效果更佳<sup>[30]</sup>,是一种高效的天然保鲜剂。

## 2.3 $H_2O_2$

乳酸菌有黄素蛋白氧化酶活性,能生成  $H_2O_2$ ,但是不含过氧化氢酶,使  $H_2O_2$  不断累积。 $H_2O_2$  是一种强氧化剂,对细胞壁有强氧化作用及对核酸和蛋白质有破坏作用,在一定浓度能够抑制或杀灭假单孢菌属、沙门氏菌属等革兰阴性菌。同时,氧的浓度、介质的形态和温度是影响  $H_2O_2$  产生的重要因素,一般在较低温度,较高氧浓度的液态或半液态的介质环境生成  $H_2O_2$  数量大<sup>[31-32]</sup>。Suigita 等<sup>[33]</sup>研究了从日本鲈鱼肠道内分离得到的乳酸乳球菌 *L. lactis*,发现其生成的有抑菌效果的物质主要是  $H_2O_2$ 。而 Harp<sup>[34]</sup>发现食品中有  $H_2O_2$  酶会破坏乳酸菌产生  $H_2O_2$  的能力。通过对上述机理的研究,表明在对海水鱼中乳酸菌进行保护性培养时,要注意为其产生抑菌活性

物质提供有利条件,且在不同种类海水鱼中,起主要抑菌作用的物质不尽相同,需要进一步实验研究以获得最佳贮藏工艺。

## 3 乳酸菌及其细菌素在海水鱼保鲜中的应用

乳酸菌能够在低温、低 pH 值、高盐等极端条件下生长繁殖<sup>[35]</sup>,所以冷藏、腌制、盐浸、烟熏、发酵水产品往往含有大量乳酸菌。之前对乳酸菌保鲜研究主要集中于其在鲑鱼的应用,且主要作用病原菌为单增李斯特菌<sup>[36-41]</sup>,对它抑制效果良好。但前人研究冷藏鲑鱼中微生物种类<sup>[42]</sup>时发现,鲑鱼经真空包装冷藏三周后,检测其微生物种类,其中乳酸菌属占 60%,其余 40% 为革兰阴性菌,乳酸菌主要抑制革兰阳性菌,对革兰阴性菌的抑菌效果不佳,所以在实际应用中与其他保鲜剂联合使用更佳。Ghalfi 等<sup>[43]</sup>研究发现,把弯曲乳杆菌 *L. curvatus* CWBI-B28 菌株产生的细菌素喷涂到熏制鲑鱼上,并用塑料薄膜包装 4 °C 贮藏,李斯特氏菌 *Listeria monocytogenes* 被有效抑制。Gómez<sup>[44]</sup>用乳酸菌 *L. atus* BCS35 对鲑鱼和比目鱼进行保护性培养保鲜,NaCl 浓度的 3%,贮藏于聚苯乙烯盒,0 ~ 2 °C 保藏 14 d,细菌数明显低于未处理的对照组。

复合乳酸菌是指将两种或两种以上的乳酸菌共同培养,一般其抑菌效果优于单一乳酸菌。Vescovo 等<sup>[45]</sup>在冷冻烟熏鲑鱼中单独或者联合接种干酪乳杆菌 *L. casei*、植物乳杆菌 *L. plantarum* 和栖鱼肉杆菌 *Carnobacterium piscicola*,4 °C 冷藏 30 d,结果表明,无害李斯特氏菌 *L. innocua* 受到有效控制,产品质量良好。Speranza 等<sup>[46]</sup>将凤尾鱼注射乳酸菌和双歧杆菌后腌制,在稀释的盐水中 4 °C 贮藏,至少在 6 ~ 10 d 内有较高的感官质量,保质期超过了 21 d。唐文静等<sup>[47]</sup>研究了复合乳酸菌(干酪乳杆菌 LC1 + 植物乳杆菌 LP1 + 乳酸菌 L3)对冷藏海鲈鱼块的保鲜效果,在 4 °C 冷藏条件下,接种复合乳酸菌的海鲈鱼块较对照组的货架期显著增加,感官品质劣变延缓了 6 d,TVB-N 值的升高延缓 2 d,显著强于单一乳酸菌。

Nisin 是乳酸菌产生的一种目前唯一被允许用作食品添加剂的细菌素,许多研究证明了它对腐败菌和致病菌的抑制作用<sup>[48]</sup>,在海水鱼保鲜方面有很大潜力。祝银等<sup>[49]</sup>用 0.4 g/L 的 Nisin 处



理金枪鱼,  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏, 处理组肌肉的硬度、弹性和凝聚性明显高于对照组, 且在第 30 天仍保持一级鲜度。裘帅波等<sup>[50]</sup>研究发现, 采用  $0.5\text{ g/L}$  Nisin 保鲜液处理后的青占鱼, 在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  贮藏第 8 天, 感官品质变化不大, 且比照组延长了  $4\sim 5\text{ d}$  的货架期。尽管 Nisin 能很好地抑制李斯特菌等腐败菌的生长, 且不会对鱼肉组织造成损伤, 但只用其保鲜水产品仍存在一些不足。它溶解度低、易扩散到水相, 单独使用时会与酶和磷脂类成分发生反应, 降低作用浓度, 且对革兰阴性菌抑制效果较差。而如果将 Nisin 与酸味剂、盐等联合使用, 其抑菌范围和抗菌活性可以得到大幅增强。官爱艳等<sup>[51]</sup>以配比为竹叶抗氧化物  $0.3\text{ g/L}$ 、茶多酚  $0.4\text{ g/L}$ 、Nisin  $0.7\text{ g/L}$  配制复合生物保鲜剂, 能将冰藏条件下海鲈鱼的货架期延长  $6\text{ d}$ 。Abdollahzadeh 等<sup>[52]</sup>用  $0.8\%$  百里香酚和  $500\text{ IU/g}$  Nisin 处理银鲤样品, 在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷藏第 2 天将单增李斯特菌数量降低至  $Z\text{ Log cfu/g}$  以下。

将高分子物质与保鲜剂结合, 可以增加被包封物质的稳定性, 免受食品成分的干扰和酶的破坏。此外, 高分子物质可以使保鲜剂缓慢释放出来, 达到延长保鲜效果的目的。Concha 等<sup>[53]</sup>在海藻酸盐基质中加入乳酸菌和 Nisin ( $100\text{ IU/mL}$ ) 制成薄膜, 覆盖在接种了单增李斯特菌的冷熏鲑鱼片 ( $4.0\text{ cm}\times 4.0\text{ cm}$ ) 上,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  真空包装贮藏, 抑菌物质扩散到食品内,  $20\text{ d}$  内有效地抑制了李斯特菌的扩散, 直径  $8\text{ mm}$  膜的抑菌区域为  $5.7\text{ cm}^2$ , 说明细菌素与包装材料相结合可能有更好的保鲜效果。凡玉杰等<sup>[54]</sup>用 Nisin  $0.3\text{ g/L}$ 、壳聚糖  $5\text{ g/L}$ 、海藻酸钠  $7\text{ g/L}$  复合保鲜液处理银鲳鱼, 在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷藏的货架期延长了约  $7\text{ d}$ 。但将这些物质直接喷涂到食品表面, 会出现分散不均匀的现象, 也会增加表面水分含量, 影响保鲜效果。

前人已经筛选出多种具有良好抑菌活性的乳酸菌, 但针对不同鱼类和保藏环境, 筛选工作仍在继续。研究表明, 乳酸菌在海水鱼常规贮藏条件下仍能良好繁殖, 抑菌成分在室温下保持稳定, 并能显著提高海水鱼感官质量, 且冷链断链时仍能具备抑菌效果。目前, 海水鱼中使用的保鲜剂正由化学型转变为天然无毒的生物型保鲜剂, 相信在今后的研究中, 乳酸菌及其细菌素将会发挥越来越重要的作用。

## 4 乳酸菌保鲜应用的食品安全问题

在食品中使用如细菌素等抑菌物质, 是有严格的监管要求的, 需要考虑它们对食品营养和感官特征的影响。在我国, 《食品添加剂使用卫生标准》(GB 2760-2014) 规定, 乳酸菌素用于食用菌和杂粮罐头、酱和复合调味料, 最大使用量为  $0.2\text{ g/kg}$ ; 用于乳及乳制品、熟肉制品和熟制水产品, 最大使用量是  $0.5\text{ g/kg}$ 。虽然大部分乳酸菌是食源性的, 可以直接使用对人体无害, 但许多研究也表明<sup>[55]</sup>, 乳酸菌对多种抗生素具有不同程度的抗性, 而乳酸菌的抗性基因有可能会转移给肠道内其他细菌, 甚至致病菌, 使其产生抗药性, 这是今后在使用乳酸菌时需要特别注意的方面。此外, 还需注意虽然不同乳酸菌会产生不同生物胺(酪胺、组胺), 但一般不会达到过量的程度, 反之, 乳酸菌还能抑制其他产生生物胺的微生物生长繁殖, 因而控制了生物胺的生成<sup>[56-57]</sup>。如需进一步减少生物胺的含量, 可以将乳酸菌与一些葡萄球菌联用, 或者筛选不产生生物胺的乳酸菌株作为保鲜剂。

目前已知的乳酸菌产生的细菌素有 40 余种, 其中 Nisin 被国际公认是天然、安全的食品保鲜剂, 我国也许可将 Nisin 作为食品保鲜剂。一些安全性研究表明, 人体每日摄入 Nisin 量不超过  $2.9\text{ mg/人}$  的情况下是安全的。而且 Nisin 易被蛋白水解酶水解, 在肠道中很快被水解为氨基酸, 在人体中无残留, 对食品的感官不产生有害影响。但目前除了 Nisin, 其他细菌素仍缺乏安全性评价认证, 有待进一步研究。同时, 要使用这种新型保鲜剂, 完善、合理安全的监管体制是必不可少的。

## 5 展望

随着生活水平的提高, 人们对水产品的质量和安全有了更高的要求。利用乳酸菌这种天然微生物作为保鲜剂, 既可以达到保鲜的目的, 又能够维持并改善其风味。但乳酸菌株遗传特性不稳定, 无法大量培育, 目前急需相应的乳酸菌制剂制造业随之发展, 才能广泛应用于市场。此外, 乳酸菌培养液黏度较低, 无法在鱼样上形成液膜, 导致处理过的鱼样汁液流失率较高, 可以适当添加黏稠剂形成液膜。限制乳酸菌素资源开发的关键技术是纯化流程, 对乳酸菌素的纯化流程依据细菌素的性质多采用综合纯化技术, 以便高效地获得纯品。乳酸菌素与其他保鲜剂联用有更好的保鲜效果, 但产生协同增效的机理还有待进一步研究,

可以在分子水平上进一步研究其代谢通路,为将来实际应用打下基础。另外,将复合保鲜剂与传统的保鲜技术如低温保鲜和气调保鲜等结合起来,可以在提高保鲜效果的前提下降低生产成本。虽然 Nisin 的保鲜效果良好,但它的稳定性容易受到 pH、盐和温度等物化因素的影响,有研究<sup>[58]</sup>认为葡聚糖和海藻糖对 Nisin 有较强的保护作用,金属离子会提高 Nisin 的抗菌活性。目前,为了增加乳酸菌及其细菌素的产量,可以采用新兴育种技术和群体感应技术,改善遗传性状,调节代谢,以及高产菌株筛选、发酵条件调控、基因工程技术、诱导调控和胁迫刺激应答等方法,增加遗传稳定性,提高产量,为后续工业化发展奠定基础。总之,随着研究的深入,乳酸菌及其细菌素作为天然、无害的新型保鲜剂会有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] Yin MM, Liu YD, Zhang LM. Antimicrobial activity of the secondary metabolites from marine microorganisms: Research advances[J]. Journal of International Pharmaceutical Research, 2014, 41(6):641-647.
- [2] Han F, Huang X, Mahunu GK. Exploratory review on safety of edible raw fish per the hazard factors and their detection methods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59:37-48.
- [3] Hwanhlem N, H-Kittikun A. Biopreservation of seafood by using bacteriocins and bacteriocinogenic lactic acid bacteria as potential bio-control agents[M]. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [4] Ghanbari M, Jami M, Domig KJ, et al. Seafood biopreservation by lactic acid bacteria -A review[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 54(2):315-324.
- [5] Verma AK, Banerjee R, Dwivedi HP, et al. Bacteriocins-Potential in food preservation[J]. Encyclopedia of Food Microbiology, 2014:180-186.
- [6] Fran coise L. Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products[J]. Food Microbiology, 2010, 27(6):698.
- [7] 任士菊. 冷水鱼肠道乳酸菌多样性及产细菌素乳酸菌特性研究[D]. 石河子:石河子大学,2014.
- [8] Dabadé DS, Besten HMWD, Azokpota P, et al. Spoilage evaluation, shelf-life prediction, and potential spoilage organisms of tropical brackish water shrimp (*Penaeus notialis*) at different storage temperatures[J]. Food Microbiology, 2015, 48:8.
- [9] Gürakan GC, Özer B. Biopreservation by lactic acid bacteria [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2007, 70(2-4):331-345.
- [10] Balciunas, Marcos E, Martinez C, et al. Novel biotechnological applications of bacteriocins: A review[J]. Food Control, 2013, 32(1):134-142.
- [11] Veskovi ć Mora ćanin M, Dukci ć DA, Memi ši NR. Bacteriocins produced by lactic acid bacteria-A review[J]. Acta Periodica Technologica, 2012, 38(4):50-56.
- [12] 丹彤,张和平. 乳酸菌细菌素的分类、生物合成及其应用[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(3):29-32.
- [13] Cotter PD, Hill C, Ross RP. Bacteriocins: developing innate immunity for food [J]. Nature Reviews Microbiology, 2005, 3(10):777-788.
- [14] 赵冬兵. 发酵肉中产细菌素乳酸菌的筛选鉴定及细菌素的分离纯化和特性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2017.
- [15] 张瑜. LS-8 乳酸菌细菌素的分离纯化[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [16] Saraniya A, Jeevaratnam K. Purification and mode of action of antilisterial bacteriocins produced by *Lactobacillus pentosus* SJ65 isolated from uttapam batter[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 38(6):612-619.
- [17] Casaburi A, Martino VD, Ferranti P, et al. Technological properties and bacteriocins production by *Lactobacillus curvatus*, 54M16 and its use as starter culture for fermented sausage manufacture[J]. Food Control, 2016, 59:31-45.
- [18] 张军,田子罡,王建华,等. 有机酸抑菌分子机理研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(3):323-328.
- [19] 王晶,许丽. 乳酸菌抑菌机理及其在鸡生产上的应用[J]. 饲料博览, 2009(9):11-13.
- [20] Gerez CL, Torres MJ, Valdez GFD, et al. Control of spoilage fungi by lactic acid bacteria[J]. Biological Control, 2013, 64(3):231-237.
- [21] Sudalayandi K, Manja KS. Repressive efficacy of lactic acid bacteria against the human pathogenic and fish-borne spoilage microbiota of fresh Indian mackerel fish chunks[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(90):15695-15701.
- [22] Lacombe A, Wu VC, Tyler S, et al. Antimicrobial action of the American cranberry constituents; phenolics, anthocyanins, and organic acids, against *Escherichia coli* O157:H7[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 139(1-2):102.
- [23] 吴京平. 新型微生物源天然食品防腐剂及其抑菌性能[J]. 北京联合大学学报, 2011, (1):55-58.
- [24] Woraprayote W, Malila Y, Sorapukdee S, et al. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products[J]. Meat Science, 2016, 120:118-132.
- [25] Abdullah SU, Badaruddin M, Ali R, et al. Effect of elementary and advanced glycation products of nisin on its preservative efficacy and digestibility[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4):1043-1046.
- [26] Lucas R, Ma J, Grande, Abriouel H, et al. Application of the broad-spectrum bacteriocin enterocin AS-48 to inhibit *Bacillus coagulans*, in canned fruit and vegetable foods[J]. Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2006, 44(10):1774.
- [27] Leal Sánchez MV, Jiménez Díaz R, Maldonado Barragán A, et al. Optimization of Bacteriocin Production by Batch Fermentation of *Lactobacillus plantarum* LPCO10[J]. Applied & Environmental Microbiology, 2002, 68(9):4465-4471.
- [28] Thirumurugan A, Ramachandran S, Gobikrishnan S. Optimization of medium components for maximizing bacteriocin production by *Lactobacillus plantarum* ATM11 using statistical design [J]. International Food Research Journal, 2015, 22(3):

- 1272-1279.
- [29] Helgason E, økstad OA, Caugant DA, et al. *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, and *Bacillus thuringiensis*-one species on the basis of genetic evidence. [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2000, 66(6):2627-2630.
  - [30] 刘元雪, 李晓晖, 施文正, 等. 不同培养条件对罗非鱼肠道乳酸菌分离的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(1): 133-139.
  - [31] 傅容辉. 生物保鲜乳酸菌的筛选鉴定及培养条件的优化 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
  - [32] 孙怡, 蒋冬花, 徐晓波. 高产 SOD 乳酸菌的筛选和培养条件的优化[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2009, 32(2):212-215.
  - [33] Suigita H, Ohta K, Kuruma A, et al. An antibacterial affect of *Lactococcus lactis* isolated from the intestinal tract of the Amur catfish, *Silurus asotus* Linnaeus [J]. Aquaculture Research, 2010, 38(9):1002-1004.
  - [34] Harp E, Gilliland SE. Evaluation of a Select Strain of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* as a Biological Control Agent for Pathogens on Fresh-Cut Vegetables Stored at 7°C [J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(6):1013-1018.
  - [35] 许冬梅, 曹蕾, 荆佩欣, 等. 青藏高原几种牧草附着耐低温乳酸菌的筛选[J]. 微生物学杂志, 2017, 37(3):87-94.
  - [36] Mejlholm O, Dalgaard P. Modelling and predicting the simultaneous growth of *Listeria monocytogenes* and psychrotolerant lactic acid bacteria in processed seafood and mayonnaise-based seafood salads[J]. Food Microbiology, 2015, 46:1.
  - [37] Abd-El-Aziz NA, Moharram YG. Microbiological quality of imported frozen shrimp in Egypt[J]. Annals of Agricultural Sciences, 2016, 61(1):35-40.
  - [38] Raorane A, Doijad S, Poharkar K, et al. Isolation and genotypic characterization of *Listeria monocytogenes* from pork and pork products[J]. 2015, 4:788-798.
  - [39] Gudmundsdóttir S, Gudbjörnsdóttir B, Lauzon HL, et al. Tracing *Listeria monocytogenes*, isolates from cold-smoked salmon and its processing environment in Iceland using pulsed-field gel electrophoresis[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 101(1):41-51.
  - [40] Hu Y, Gall K, Ho A, et al. Daily variability of *Listeria contamination* patterns in a cold-smoked salmon processing operation. [J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(9):2123.
  - [41] Beaufort A, Rudelle S, Gnanou-Besse N, et al. Prevalence and growth of *Listeria monocytogenes* inn-aturally contaminated cold-smoked salmon [J]. Applied Microbiology, 2007, 44(4):406-411.
  - [42] Gram L. Microbiological Spoilage of Fish and Seafood Products [M]. New York: Springer New York, 2010:87-119.
  - [43] Ghalfi H, Allaoui A, Destain J, et al. Bacteriocin activity by *Lactobacillus curvatus* CWBI-B28 to inactivate *Listeria monocytogenes* in cold-smoked salmon during 4 degrees C storage[J]. J Food Prot, 2006, 69(5):1066-1071.
  - [44] Gómez-Sala B, Herranz C, DaÁz-Freitas B, et al. Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 223(2):41-49.
  - [45] Vescovo M, Scolari G, Zacconi C. Inhibition of *Listeria innocua* growth by antimicrobial-producing lactic acid cultures in vacuum-packed cold-smoked salmon [J]. Food Microbiology, 2006, 23(7):689-693.
  - [46] Speranza B, Bevilacqua A, Sinigaglia M, et al. Shelf life definition for Italian anchovies inoculated with *Lactobacillus plantarum*, and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16(39): 171-180.
  - [47] 唐文静, 宁喜斌, 王楚文, 等. 复合乳酸菌对冷藏海鲈鱼块的保鲜效果[J]. 微生物学通报, 2016, 43(3):559-566.
  - [48] Delves-Broughton J. Nisin as a food preservative [J]. Food Australia, 2005, 57(12):525-527.
  - [49] 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, (24):41-43.
  - [50] 裘帅波, 黄巧珍, 裘观容, 等. 天然乳酸菌肽保鲜剂对青占鱼保鲜效果研究[J]. 食品工业, 2013, (4):45-48.
  - [51] 官爱艳, 谭贝贝, 卢佳芳, 等. 生物保鲜剂对海鲈鱼冰藏保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(8):1528-1536.
  - [52] Abdollahzadeh E, Rezaei M, Hosseini H. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes*, inoculated in minced fish meat [J]. Food Control, 2014, 35(1):177-183.
  - [53] Concha-Meyer A, Schöbitz R, Brito C, et al. Lactic acid bacteria in an alginate film inhibit *Listeria monocytogenes*, growth on smoked salmon [J]. Food Control, 2011, 22(3-4):485-489.
  - [54] 凡玉杰, 杨文鸽, 楼乔明, 等. 复配型壳聚糖涂膜对冷藏银鲳的保鲜效果[J]. 核农学报, 2016, 30(4):734-740.
  - [55] Korhonen J. Antibiotic Resistance of Lactic Acid Bacteria[J]. Veterinarski Glasnik, 2010, 62(5-6):329-340.
  - [56] Todorov SD, Stojanovski S, Iliev I, et al. Technology and safety assessment for lactic acid bacteria isolated from traditional Bulgarian fermented meat product "lukanka" [J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2017, 48(3):576-586.
  - [57] 王然然, 李晓敏, 陈柳, 等. 黄酒发酵过程中乳酸菌的分离及其产生生物胺能力的评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1):12-17.
  - [58] 杨小民, 杨基础. 几种糖对纤维素酶热稳定性影响的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2000, 40(2):51-54.