

乳酸链球菌素的研究现状及在食品中的应用

程琳丽*

(上海市贸易学校, 上海 201306)

摘要: 随着科技的进步和人们对食品安全的日益高度重视, 传统的化学保鲜剂已经不能满足消费者对健康的需求, 因此科学家们将更多的目光转向生物型防腐保鲜剂。细菌素是某些细菌在代谢过程中通过核糖体合成机制产生的一类具有抗菌活性的多肽、蛋白质或蛋白质复合物, 具有高效、无毒、无残留、无抗药性及耐高温等优点。乳酸链球菌素是当下研究最彻底、应用最广、通过纯化并实现商业化的细菌素之一, 它是由乳酸菌发酵生产的多肽类天然生物抗菌剂, 能够抑制或杀死其他细菌。本文综述了乳酸链球菌素的理化特性、抑菌机制、功能应用等方面, 以期为后续研究提供参考。

关键词: 乳酸链球菌素; 天然生物抗菌剂; 理化特性; 抑菌机制

Research status and application of Nisin in food

CHENG Lin-Li*

(Shanghai Trade School, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: With the progress of science and technology and people's increasing attention to food safety, traditional chemical preservation agents cannot meet the needs of consumers for health, therefore scientific researchers turn more attention to biological antiseptic preservation agent. Bacteriocin is a class of polypeptides, proteins or protein complexes with antibacterial activity produced by some bacteria in the process of metabolism through the ribosome synthesis mechanism, which has the advantages of high efficiency, non-toxicity, non-residual, non-resistance and high temperature resistance. Nisin is one of the most thoroughly researched and widely used bacteriocins, which can be purified and commercialized. It is a peptide-based natural bio-antibacterial agent produced by lactic acid bacteria fermentation, which can inhibit or kill other bacteria. This paper reviewed the physical and chemical properties, antiseptic mechanism and functional application of Nisin, hoping to provide a certain reference for the follow-up research.

KEY WORDS: Nisin; natural bio-antibacterial agent; physicochemical property; antibacterial mechanism; antimyomy mechanism

1 引言

随着人们不断追求绿色健康, 天然有机、不含化学防腐剂且货架期长的食品受到人们的青睐。天然生物抗菌剂乳酸链球菌素(Nisin)是由乳酸链球菌分泌的一种多肽, 能

够抑制大部分革兰氏阳性菌的生长^[1]。鉴于其高效无毒, 独有的抑菌特性, Nisin 已被大量研究报道, 在食品各领域中得到广泛应用^[2,3]。本研究结合国内外研究, 对天然生物抗菌剂 Nisin 的理化特性、抗菌机制、作用方式、功能应用及未来发展趋势等方面展开了综述, 以期为后续研究提

*通讯作者: 程琳丽, 助理讲师, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: chenglinli87@163.com

*Corresponding author: CHENG Lin-Li, Assistant Lecturer, Shanghai Trade School, No.689, Yunling West Road, Putuo District, Shanghai 201306, China. E-mail: chenglinli87@163.com

供参考。

2 乳酸链球菌素概述

乳酸链球菌素又名乳链菌肽或尼克素,英文名 Nisin,为白色易流动粉末。1928 年 Rogers 等在英国发现了由某些乳酸链球菌菌株产生的细菌素 Nisin,其在细胞进入指数生长时期开始合成,进入稳定时期完全停止^[4,5]。Nisin 是带正电荷的阳离子物质,具有疏水性;此外可能因 Nisin 含有特殊氨基酸,具有耐酸、耐热和抑菌等特性。随着 pH 降低, Nisin 的溶解度和稳定性显著增加, pH 值为 2 时,溶解度是 pH 值为 8 时的 228 倍,并且在 121 °C 时高压热处理 15 min 仍具有活性^[6]。

Nisin 主要存在 2 种变异体(A&Z),它们的差别仅在于氨基酸顺序上的第 27 位氨基酸不同, Nisin A 是组氨酸, Nisin Z 是天门冬酰胺。结构改变并没有影响它们的抗菌性能,但 Nisin Z 比 Nisin A 具有较高的溶解度和扩散性,在食品应用中非常重要。Nisin 早在 20 世纪 80 年代就被纳入欧洲食品添加剂列表,编号为 E234(EEC1983)。美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)确定 Nisin 为公认安全产品(generally recognized as safe, GRAS),并于 1988 年正式批准其用于食品,是世界卫生组织允许作为食品防腐剂使用的唯一一种细菌素^[7]。加拿大卫生部经评估已于 2017 年 9 月批准 Nisin 作为防腐剂用于部分食品,并发布通告修订《许可防腐剂列表》^[8]。

3 Nisin 的抑菌机制

关于 Nisin 的抑菌机制目前尚未完全清楚,但 Nisin 与靶细胞膜的相互作用是抑菌的关键,而孔道形成是其作用的主要方式^[9]。关于形成通透性孔道的方式有 2 种:“桶板模型”和“楔形模型”。“桶板模型”认为每个 Nisin 分子垂直于细胞膜上形成离子通道,然后贯穿细胞膜。而根据“楔形模型”,临界数量的 Nisin 分子附在细胞膜上后,同时嵌入细胞膜形成楔形。这 2 种模型都揭示了通透性孔道的形成需要在能量的作用下完成^[10-12]。

抑制细胞壁的生物合成是 Nisin 抑菌的另一种方式。靶细胞膜上的“对接分子”脂质体 II 促进 Nisin 抑制肽聚糖合成,不加选择地代替了“孔道理论”,增强了 Nisin 作用的有效性。Nisin 和细菌细胞膜上的质膜磷脂反应导致细胞膜的正常功能破坏,抑制芽孢产生,阻止芽孢向外生长^[13]。这种现象可以归结为 Nisin 结合脂质体 II 肽聚糖前体,抑制细胞壁生物合成,这也是形成通道的本能^[14,15]。

4 Nisin 的抑菌特性

Nisin 抑菌范围较广,对大部分革兰氏阳性菌都有很

强的抑制作用,但也有例外表现出耐性,这可能是细菌细胞内合成一种酶 Nisinase,从而使得 Nisin 失去活性^[16]。一般条件下 Nisin 不能抑制革兰氏阴性菌,这是因为革兰氏阴性菌细胞膜外层的脂多糖成分形成障碍, Nisin 不能直接作用于原生质细胞壁上。螯合剂乙二胺四乙酸(EDTA)可以结合脂多糖中的二价镁离子和钙离子,从而使膜外层不稳定,使 Nisin 可以穿过脂多糖,在细胞质膜上形成孔道,引起质子驱动力减少,细胞内营养成分泄漏^[17]。

研究表明^[18,19]由于 Nisin 含有疏水残基,会和食品中的某些成分如脂肪反应,减弱 Nisin 的抗菌性能,例如 Nisin 在乳制品中的抗菌作用就比肉制品中显著; Nisin 在酸性条件下活性高,而在 pH 值达到 7 以上就会失去活性,鲜肉中含有的谷胱甘肽能显著降低 Nisin 的活性,而肉本身较高的 pH、磷脂成分等干扰也影响其抗菌效果。一些添加剂对 Nisin 具有拮抗作用,例如食品中经常添加的偏亚硫酸钠和二氧化钛,会使 Nisin 降解; Nisin 在液态均相食品中的抑菌效果也比在固态异相中好。以上均表明 Nisin 在食品中的应用范围受到限制。

5 Nisin 的应用

目前, Nisin 已广泛应用于不同食品中抑制病原菌生长,延长产品货架期。不同领域的应用表明乳酸链球菌素是有效的天然食品生物抗菌剂, Nisin 通常是干燥粉末的形式添加到食品中,尽管没有纯化,但成品是食品级的。

5.1 在奶酪和乳制品中的应用

Nisin 在发酵乳制品中作为安全抗菌剂已有很长历史,通常作为发酵剂。Nisin 主要用于原料奶、巴氏杀菌乳、奶酪等乳制品,尤其在奶酪生产中应用最为广泛^[20]。

Nisin 主要是保护奶酪生产熟化期间不受产单核细胞李斯特菌污染引起的一系列腐败变质问题。奶酪制品由于高 pH 值、高水分含量和厌氧包装,容易滋生芽孢菌,而 Nisin 具有抑制其特性^[21]。经过长期贮存的软质奶酪一般含有 10^4 CFU/g 产单核细胞李斯特菌,加入 2000 IU/g Nisin,在 20 °C 储藏 7 天,实验组相比对照组中的李斯特菌明显减少^[22];光明研究中心通过实验^[23]得知,添加 Nisin 可以延长牛奶的货架期,而且随着其添加量的增加,牛奶的货架期也延长;也有实验^[24]显示,添加了 Nisin 的低脂牛奶、脱脂乳、调味乳,即使放置于 45 °C,其保存期仍能延长至 6 周,而罐装无糖炼乳添加 0.08~0.10 g/kg Nisin,可降低炼乳的过度热加工,减少热加工时间 10 min。在酸奶中添加 Nisin 抑制腐败菌,却没有达到预期效果,但发酵剂保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的生长受到抑制,从而酸奶凝固性变差^[25,26]。

5.2 在肉制品中的应用

目前通常使用亚硝酸盐抑制肉中的梭状菌, 然而亚硝酸盐添加不当, 轻者造成机体缺氧, 重者生成强致癌物, 造成人体安全问题, 因此人们不得不寻找其他物质代替^[27]。肉制品中添加 Nisin 可以有效防止腐败的发生。德苏扎^[28]等人通过浸渍和喷洒生物防腐剂 Nisin 抑制人工污染猪肉中的细菌生长, 结果表明防腐效果显著, 喷洒法可直接应用于食品中。

有报道^[29-32]说由于鲜肉 pH 值较高和肉中成分磷酸酯会干扰 Nisin 的抑菌性能, 另外鲜肉中含有的谷胱甘肽也可以显著降低 Nisin 的活性, 因此 Nisin 在鲜肉制品中应用较少。不过 Nisin 可应用于一些特定肉制品中, 例如发酵香肠、低温肉制品、调理肉制品。Davies 等^[33]探究了香肠中脂肪成分和磷酸盐乳化剂对 Nisin 的影响, 表明脂肪含量越低, Nisin 越高; Hamparsun^[34]在土耳其腊肠中添加不等量的 Nisin, 考察微生物, 肉制品理化指标随时间、浓度的变化关系, 结果表明, Nisin 的抑菌效果随浓度的增大而增强, 而且 Nisin 的浓度对肉制品的 pH、水分活度影响比较小。Nisin 可以有效杀死冷藏肉中的热环丝菌, 抑制肉制品中常见的芽孢类细菌, 如凝结芽孢杆菌、蜡状芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌等^[35-37]。任杰等^[38]比较了肉制品中化学防腐山梨酸钾和 Nisin 的抗菌效果, 结果表明 Nisin 保鲜时间最长, 为 16~17 d; 刘欣等^[39]以桶子鸡为原料, 用不同浓度 Nisin 浸泡处理后真空包装, 冷藏条件下保质期可由 8 d 延长至 24 d; 李儒仁等^[40]研究了生物保鲜剂对冷鲜牛肉的保鲜效果, Nisin 与纳他霉素和 ϵ -聚赖氨酸复配有效延长货架期的同时保持了食用品质。丁华等^[41]研究肉制品中 Nisin 对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度分别为 7.5、0.9735 mg/mL, 且罗勒精油(μ L)与 Nisin(mg)复配比为 3:1 时保鲜效果最佳。以上研究都充分表明 Nisin 在不同肉制品中保鲜可行有效, 但需复配使用, 这仍需大力研究。

5.3 在抗菌保鲜膜中的应用

将 Nisin 添加到薄膜中, Nisin 可从包装材料上释放到食品表面, 当抗菌剂与细菌体接触时, 可渗透到细胞壁, 破坏其功能, 从而起到抗菌的作用^[42]。Nisin 的应用在降低食品中添加剂用量的前提下, 保持了食品原有风味、延长了货架时间, 因此具有广阔的发展前景^[43]。

Nisin 制备包装膜有 2 种方法。一种是直接将细菌素与聚合物结合, 例如将 Nisin 结合进生物可降解蛋白膜中, 通过热压处理浇铸进大豆蛋白膜中或玉米胶蛋白中; 另一种是涂层或吸附在聚合物表面, 如 Nisin 甲基纤维素膜, 在聚乙烯膜上涂层 Nisin 包装家禽肉制品, Nisin 可吸附在聚乙烯、乙烯、醋酸乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚酯丙烯酸树脂和聚氯乙烯等包装材料上^[44,45]。贾晓云等^[46]研究了 Nisin 与多糖类物质可食用抗菌共混膜的工艺, 并将其应用于生

鲜肉, 保鲜效果较好, 货架期可延长至 16 d; 郭利芳等^[47]用含 Nisin 的乳清蛋白可食用涂膜对火腿肠进行处理, 发现保鲜效果与聚偏氯乙烯包装处理的效果接近, 且环保可食性包装符合未来的趋势, 因此具有良好的应用前景。

5.4 应用于栅栏技术

栅栏技术是将许多不同的保藏技术联合应用以提高各种防腐剂的抑菌效果。防腐保鲜技术包括辐照、PEF、超高压和热处理等, 再加上 Nisin 可以获得更强的抑菌效果, 增强食品安全性。

为了降低 Nisin 的使用剂量, 可以改变物理条件, 如低温、低 pH、低水分活度及高压。相比直接高压, 经过较低水平高压处理的 Nisin, 可以更有效杀死大量病原微生物, 同样超高压结合 Nisin 也可以显著提高对大肠杆菌和李斯特菌的抗菌效果^[48,49]; 利用 PEF 可以增加细胞膜的渗透性, 在一定水平上使 Nisin 更容易作用于细胞膜, 发挥抗菌性能^[50]; 有研究人员发现^[51]在这个过程中, PEF 诱导了细胞内的物质泄漏, 导致 Nisin 和多肽疏水基团反应失去活性, 但剩余的活性 Nisin 却增加了 PEF 对大肠杆菌的杀伤力; 将 Nisin 和其他抗菌剂复合使用也可以提高抗菌能力, 例如在螯合剂 EDTA 的存在下, Nisin 可以抑制革兰氏阴性菌; 经 γ 射线和 X 射线辐照, 食品只要添加微剂量 Nisin 能够获得理想的抗菌效果, 且不会影响食品风味。Mohamed 等^[52]研究报道了细菌素结合辐照技术可以大幅度减少食物中腐败微生物和致病菌的数量, Nisin 结合 γ 辐射可以消除鲜肉中的产单核细胞李斯特菌。鞠健等^[53]研究 Nisin 结合辐照处理冷藏鲈鱼的保鲜效果, 发现 4 kGy 辐照处理组效果最佳, 相较于空白组保质期可延长 4~5 d, 为鲈鱼生物保鲜提供研究思路。

6 结论与讨论

本研究对 Nisin 的研究和应用进行了综述, Nisin 正迎合了当下人们追求绿色健康的需要。开发 Nisin 衍生物及与其他生物技术结合的应用研究, 扩大 Nisin 复合抗菌剂的应用范围, 增强抑菌活性, 有效减少用量, 保持产品良好品质是未来研究的重要方向。Nisin 目前采用脱脂牛奶和乳清蛋白分批培养发酵生产, 成本较高, 没有通用的分离纯化技术, 因此接下来需要寻找低成本无污染的培养基与通用的分离纯化技术, 以实现商业化生产, 从而提高经济效益并保障人民的食品安全。

参考文献

- [1] 张雪颖. 浅谈细菌素 Nisin[J]. 食品安全导刊, 2018, (21): 54.
Zhang XY. Brief talk on Nisin [J]. Chin Food Saf Magaz, 2018, (21): 54.
- [2] Zahra P, Hedayat H, Samira B, et al. Application of bacteriocins in meat and meat products: An update [J]. Curr Nutr Food Sci, 2020, 16(2): 120-133.

- [3] Gomes J, Barbosa J, Teixeira P. Natural antimicrobial agents as an alternative to chemical antimicrobials in the safety and preservation of food products [J]. *Curr Chem Biol*, 2019, 13(1): 25–37.
- [4] 高蕾蕾, 李迎秋. 乳酸链球菌素及其在食品中的应用研究进展[J]. *中国调味品*, 2017, 42(3): 157–160, 165.
Gao LL, Li YQ. Research progress of Nisin and its application in food industry [J]. *China Cond*, 2017, 42(3): 157–160, 165.
- [5] Pongtharangkul T, Demirci A. Evaluation of agar diffusion bioassay for nisin quantification [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2004, (65): 268–272.
- [6] Penna TCV, Jozala AF, Leticia CDLV, *et al.* Production of nisin by *Lactococcus lactis* in media with skimmed milk [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2005, (122): 619–637.
- [7] Sobrino LA, Belloso OM. Use of Nisin and other bacteriocins for preservation of dairy products [J]. *Int Dairy J*, 2008, (18): 329–343.
- [8] 佚名. 加拿大批准乳酸链球菌素作为防腐剂用于部分食品[J]. *中国畜牧业*, 2018, (6): 15.
Anonymous. Canada approves lactic acid streptococcus as a preservative for some foods [J]. *China Anim Ind*, 2018, (6): 15.
- [9] 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(自然科学版)*, 2011, (1): 46–48, 40.
Wu JP. New microbial source natural food preservatives and their antiseptic properties [J]. *J Peking Univ(Nat Sci Ed)*, 2011, (1): 46–48, 40.
- [10] 吕淑霞, 白泽朴, 代义, 等. 乳酸链球菌素(Nisin)抑菌作用及其抑菌机理的研究[J]. *中国酿造*, 2008, (9): 87–91.
Lv SX, Bai ZP, Dai Y, *et al.* Study on antibacterial function and mechanism of Nisin [J]. *China Brew*, 2008, (9): 87–91.
- [11] Ojcius DM, Young JDE. Cytolytic pore-forming proteins and peptides: Is there a common structural motif? [J]. *Trend Biochem Sci*, 1991, (16): 225–229.
- [12] Driessen AJM, Hooven VDH, Kuiper W, *et al.* Mechanistic studies of lantibiotic-induced permeabilization of phospholipid vesicles [J]. *Biochem*, 1995, (34): 1606–1614.
- [13] 王利君, 郇萍, 付碧石, 等. 乳酸菌细菌素抗菌作用机制研究进展[J]. *食品科技*, 2020, (1): 36–42.
Wang LJ, Li P, Fu BS, *et al.* Advances in the study of the mechanism of antibacterial action of lactic acid bacteria bacteriological bacteria [J]. *Food Sci Technol*, 2020, (1): 36–42.
- [14] Bauer R, Dicks LMT. Mode of action of lipid II-targeting lantibiotics [J]. *Int J Food Microbiol*, 2005, 101(2): 201–216.
- [15] Deegan LH, Cotter PD, Hill C, *et al.* Bacteriocins: biological tools for bio-preservation and shelf-life extension [J]. *Int Dairy J*, 2006, (16): 1058–1071.
- [16] Sahl HG, Jack RW, Bierbaum G, *et al.* Biosynthesis and biological activities of lantibiotics with unique post-translational modifications [J]. *Eur J Biochem*, 1995, (230): 827–853.
- [17] Millette M, Smoragiewicz W, Lacroix M, *et al.* Antimicrobial potential of immobilized *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* ATCC 11454 against selected bacteria [J]. *J Food Protect*, 2004, 67(6): 1184–1189.
- [18] Yun X, Meng C, Robyn DW, *et al.* Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatin edible coating and its effect on cold storage of fresh pork [J]. *Food Control*, 2020, (110): 107018.
- [19] 付咪, 俞佳丽, 郭亮, 等. 乳酸链球菌素脂质体在不同 pH 值条件下的稳定性及其抑菌效果[J]. *食品科学*, 2019, 40(21): 7–13.
Fu M, Yu JL, Guo L, *et al.* Stability and antibacterial activity of Nisin-loaded liposomes under different pH conditions [J]. *Food Sci*, 2019, 40(21): 7–13.
- [20] Sullivan LO, Ross RP, Hill C. Potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria for improvements in food safety and quality [J]. *Biochim*, 2002, 84(5–6): 593–604.
- [21] Meshref AMS, Hassan GM, Riad EM, *et al.* Effect of Nisin on the viability of *Staphylococcus aureus* in kareish cheese [J]. *J Veter Med Res*, 2019, 26(2): 174–185.
- [22] Ferreira MA, Lund BM. The effect of nisin on *Listeria monocytogenes* culture medium and long-life cottage cheese [J]. *Lett Appl Microbiol*, 1996, (22): 433–438.
- [23] 孟令洁. 乳酸链球菌素和杀菌温度对牛奶货架期的影响[J]. *乳业科学与技术*, 2002, (3): 9–12.
Meng LJ. Effect of lactic acid streptococcus and sterilization temperature on milk shelf life [J]. *Dairy Sci Technol*, 2002, (3): 9–12.
- [24] 夏云梯. 乳酸链球菌素在乳制品中的应用[J]. *中国乳业*, 2002, (5): 26–27.
Xia YT. Application of streptococcus lactic acid in dairy products [J]. *China Dairy*, 2002, (5): 26–27.
- [25] 师坤, 李军, 杨胖. 细菌素在乳制品生产及贮藏保鲜中的应用[J]. *中国奶牛*, 2018, (1): 43–48.
Shi K, Li J, Yang P. The application of bacteriocin in the production and storage of dairy products [J]. *China Cows*, 2018, (1): 43–48.
- [26] 姜旭德, 张春华. 乳酸菌素及其乳酸链球菌素在食品中的应用[J]. *中国乳业*, 2017, (2): 60–62.
Jiang XD, Zhang CH. The application of lactobacteriocin and Nisin in food processing [J]. *China Dairy*, 2017, (2): 60–62.
- [27] 周亚军, 李宗豪, 李圣桡, 等. 肉加工中亚硝酸盐的作用及其替代物应用研究进展[J]. *农产品加工*, 2019, (22): 77–81.
Zhou YJ, Li ZH, Li SR, *et al.* Research progress on the effect of nitrite and its substitute application in meat processing [J]. *Agric Process*, 2019, (22): 77–81.
- [28] Oliveira DSDAP, Converti A, Gierus M, *et al.* Application of nisin as biopreservative of pork meat by dipping and spraying methods [J]. *Brazi J Microbiol*, 2019, 50(2): 523–526.
- [29] 姜爱丽, 胡文忠, 崔晓亭, 等. 温度及乳酸链球菌素对单增李斯特菌的抑制作用[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(13): 157–160.
Jiang AL, Hu WZ, Cui XT, *et al.* Inhibition of temperature and Nisin on *Listeria monocytogenes* [J]. *Food Ind Technol*, 2015, (15): 157–160.
- [30] 陈忠杰, 胡燕, 杨豫敏. 魔芋多糖-乳酸链球菌素复合涂膜对冷鲜肉的保鲜效果[J]. *现代畜牧业*, 2019, 3(1): 41–46.
Chen ZJ, Hu Y, Yang YM. The efficacy of the kongac glucomannan and Nisin coated film in preserving chilled meat [J]. *Mod Anim Husband*, 2019, 3(1): 41–46.
- [31] 罗珍岑, 段珍珍, 谭小琴, 等. Nisin 对酸肉常温贮藏中营养卫生及感官品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 176–182.
Luo ZC, Duan ZZ, Tan XQ, *et al.* Effects of Nisin on nutritional hygiene and sensory quality of sour pork stored at room temperature [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(23): 176–182.
- [32] 马俪珍, 南庆贤, 毛学英. Nisin 在鲜肉中的作用活性[J]. *肉类研究*, 2002, 16(1): 35–36, 48.

- Ma LZ, Nan QX, Mao XY. Functional activity of Nisin in the fresh meat [J]. *Meat Res*, 2002, 16(1): 35–36, 48.
- [33] Alison DE, Milne CF, Bevis HE, *et al.* Effective use of Nisin to control lactic acid bacterial spoilage in vacuum-packed bologna-type sausage [J]. *J Food Prot*, 1999, (62): 1004–1010.
- [34] Hamparsun H, Muammer U. The effect of Nisin on *L. monocytogenes* in Turkish fermented sausages (sucuks) [J]. *Meat Sci*, 2007, 76(2): 327–332.
- [35] 赵剑飞. Nisin 的性能及在肉制品中的应用[J]. *肉类工业*, 2005, (7): 40–41.
- Zhao JF. Nisin's performance and its application in meat products [J]. *Meat Ind*, 2005, (7): 40–41.
- [36] 唐仁勇, 刘达玉, 郭秀兰, 等. 乳酸链球菌素及其在肉制品中的应用[J]. *成都大学学报(自然科学版)*, 2010, 29(1): 14–17.
- Tang RY, Liu DY, Guo XL, *et al.* The application of streptococcus lactic acid in meat products [J]. *J Chengdu Univ(Nat Sci Ed)*, 2010, 29(1): 14–17.
- [37] 黄现青, 张建威, 高晓平, 等. 乳酸链球菌素检测及其在肉品中的应用[J]. *肉类工业*, 2011, (3): 38–40.
- Huang XQ, Zhang JW, Gao XP, *et al.* Lactose streptococcus detection and its application in meat [J]. *Meat Ind*, 2011, (3): 38–40.
- [38] 任杰, 邱春强, 朱伟. 几种主要防腐剂抑菌性和肉品保鲜的作用研究[J]. *肉类工业*, 2016, (7): 52–56.
- Ren J, Qiu CQ, Zhu W, *et al.* Function study of antibacterial property and fresh-keeping of meat products of several main preservatives [J]. *Meat Ind*, 2016, (7): 52–56.
- [39] 刘欣, 王文艳, 王娟, 等. 乳酸链球菌素对桶子鸡的保鲜效果[J]. *食品工业*, 2019, (7): 6–10.
- Liu X, Wang WY, Wang J, *et al.* The preservation effect of streptococcus lactic acid on barrel chicken [J]. *Food Ind*, 2019, (7): 6–10.
- [40] 李儒仁, 沈瑞, 荣良燕, 等. 生物保鲜剂延长冷鲜牛肉货架期的效果[J]. *肉类研究*, 2018, 32(1): 30–35.
- Li RR, Shen R, Rong LY, *et al.* Effect of biological preservatives in extending the shelf-life of chilled beef [J]. *Meat Res*, 2018, 32(1): 30–35.
- [41] 丁华, 王建清, 王玉峰, 等. 罗勒精油和 Nisin 复配抑菌剂抑菌效果的研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(7): 20–25.
- Ding H, Wang JQ, Wang YF, *et al.* Study on antibacterial effect of compound bacteriostatic agent of basil essential oil and Nisin [J]. *China Cond*, 2016, 41(7): 20–25.
- [42] 杨万根, 李冠霖, 曹泽虹, 等. 乳酸链球菌素、植酸及包装材料对调理鸭肉的保鲜效果比较[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(12): 217–221.
- Yang WG, Li GL, Cao ZH, *et al.* Comparison on preservation effect of Nisin, phytic acid and packaging materials for pretreated duck meat [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(12): 217–221.
- [43] Duran M, Aday MS, Zorba NND, *et al.* Potential of antimicrobial active packaging 'containing natamycin, Nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating' to extend shelf life of fresh strawberry [J]. *Food Bioprod Process*, 2016, (98): 354–363.
- [44] Gharsallaoui A, Joly C, Oulahal N, *et al.* Nisin as a food preservative: Part 2: Antimicrobial polymer materials containing Nisin [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2016, 56(8): 1275–1289.
- [45] Santos JCP, Sousa RCS, Otoni CG, *et al.* Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action, and application in active food packaging [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2018, (48): 179–194.
- [46] 贾晓云, 张顺亮, 刘文营, 等. 乳酸链球菌素-普鲁兰多糖-海藻酸钠可食用抗菌共混膜的制备及其在生鲜肉保鲜中的应用[J]. *肉类研究*, 2017, 31(4): 17–22.
- Jia XY, Zhang SL, Liu WY, *et al.* Development and application of Nisin-pullulan-sodium alginate composite edible film in preserving the quality of fresh pork during chilled storage [J]. *Meat Res*, 2017, 31(4): 17–22.
- [47] 郭利芳, 马玲, 赵勇. 含 Nisin 的乳清蛋白涂膜在火腿肠包装中的应用[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(22): 210–214, 219.
- Guo LF, Ma L, Zhao Y. Application of whey protein isolate with Nisin coatings in preservation of ham [J]. *Food Ind Technol*, 2017, 38(22): 210–214, 219.
- [48] 许牡丹, 张玉杰, 何代琴. Nisin、溶菌酶辅助超高压对枣汁的影响[J]. *食品工业*, 2018, 39(1): 59–62.
- Xu MD, Zhang YJ, He DQ. Effect of Nisin and lysozyme-assisted ultra-high pressure on eucalyptus juice [J]. *Food Ind*, 2018, 39(1): 59–62.
- [49] 邹小欠, 李成, 余炬波, 等. 超高压结合天然保鲜剂处理对腌制生食泥螺品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 2268–2275.
- Zou XQ, Li C, Yu JB, *et al.* Combined effects of natural chemicals and ultra-high pressure on quality of pickled raw *Bullacta exarata* [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(8): 2268–2275.
- [50] Terebiznik MR, Jagus RJ, Cerrutti P, *et al.* Combined effect of Nisin and pulsed electric fields on the inactivation of *Escherichia coli* [J]. *J Food Prot*, 2000, (63): 741–746.
- [51] Novickij V, Stanevicienė R, Staigvila G, *et al.* Effects of pulsed electric fields and mild thermal treatment on antimicrobial efficacy of Nisin-loaded pectin nanoparticles for food preservation [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2020, (120): 108915.
- [52] Mohamed HM, Elnawawi FA, Yousef AE. Nisin treatment to enhance the efficacy of gamma radiation against *Listeria monocytogenes* on meat [J]. *J. Food Prot*, 2011, 74(2): 193–199.
- [53] 鞠健, 胡建中, 廖李, 等. Nisin 结合辐照处理对冷藏鲈鱼品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(21): 280–284.
- Ju J, Hu JZ, Liao L, *et al.* Influence of Nisin combined with irradiation on quality of weever during cold storage [J]. *Food Ind Technol*, 2016, 37(21): 280–284.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



程琳丽, 助理讲师, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。
E-mail: chenglinli87@163.com