

乳酸链球菌素对高水分烤虾贮藏中品质的影响

杨 絮, 鲁淑彦, 郭全友

Effect of Nisin on the Quality Change of Roasted Shrimp with High Water Content during Storage

YANG Xu, LU Shuyan, and GUO Quanyou

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070116>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

含水量对软烤虾制品品质变化的影响

Effect of water content on the quality change of roast shrimp

食品工业科技. 2017(07): 86-90 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.07.008>

辣木籽提取物提取工艺优化及其对乳中蜡样芽孢杆菌的抑制作用

Extraction Process Optimization of *Moringa* Seed Extract and Its Inhibition on *Bacillus cereus* in Milk

食品工业科技. 2021, 42(15): 110-118 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110107>

乳酸链球菌素与L-乳酸对嗜水气单胞菌的协同抑杀作用

Synergistic Inhibitory Effects of Nisin and L-Lactic Acid against *Aeromonas hydrophila*

食品工业科技. 2020, 41(16): 81-87 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.014>

乳酸链球菌素抑菌机理及在食品保鲜中的研究进展

Research Progress on the Bacteriostatic Mechanism of Nisin and Its Application in Food Preservation

食品工业科技. 2021, 42(3): 346-350 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040214>

异硫氰酸苄酯、乳酸链球菌素和麝香草酚复配物的抑菌活性

Antibacterial Effects of Benzyl Isothiocyanate, Nisin and Thymol Compounds

食品工业科技. 2019, 40(21): 52-57 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.21.009>

乳酸链球菌素(Nisin)与超高压结合对*E.coli*的协同杀菌效应

Synergistic Effects of Nisin and HPP on the Inactivation of *Escherichia coli*

食品工业科技. 2019, 40(20): 82-87 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.20.014>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

杨絮, 鲁淑彦, 郭全友. 乳酸链球菌素对高水分烤虾贮藏中品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 330–335. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070116

YANG Xu, LU Shuyan, GUO Quanyou. Effect of Nisin on the Quality Change of Roasted Shrimp with High Water Content during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 330–335. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070116

· 贮运保鲜 ·

乳酸链球菌素对高水分烤虾贮藏中品质的影响

杨 絮, 鲁淑彦, 郭全友*

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘 要:为研究乳酸链球菌素 (Nisin) 对高水分烤虾常温下贮藏性的影响, 在烤虾样品中分别添加 20、60 和 100 mg/kg 的 Nisin, 以感官结合菌落总数、蜡样芽孢杆菌数、挥发性盐基氮、pH 等指标对样品品质进行评价。结果表明, 烤虾的感官评分在常温贮藏过程中逐渐下降, 菌落总数、蜡样芽孢杆菌数、挥发性盐基氮与 pH 则呈增长趋势。随着 Nisin 添加量的增加, 菌落总数、蜡样芽孢杆菌数、挥发性盐基氮的增长趋慢。第 6 d 时, 未加 Nisin 的对照组样品菌落总数达到行业标准《调味烤虾》中规定的限值 (3×10^4 CFU/g), 而添加 20、60、100 mg/kg Nisin 的样品, 菌落总数达到规定限值的时间分别被延长至 8、12 和 14 d。本研究表明 Nisin 对高水分烤虾中蜡样芽孢杆菌等腐败微生物生长有明显的抑制作用, 能有效延长产品的货架期。

关键词:烤虾, 乳酸链球菌素, 品质变化, 蜡样芽孢杆菌, 抑菌作用

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0330-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070116



本文网刊:

Effect of Nisin on the Quality Change of Roasted Shrimp with High Water Content during Storage

YANG Xu, LU Shuyan, GUO Quanyou*

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: To investigate the effect of Nisin on the storage of roasted shrimp with high water content at room temperature, different concentrations of Nisin (20, 60 and 100 mg/kg) were added to the roasted shrimp samples. Sensory evaluation combined with the total viable count (TVC), the *Bacillus cereus* count, the total volatile basic nitrogen (TVB-N) and the pH value were used as indicators, to evaluate the quality of roasted shrimp samples. The results showed that the sensory evaluation scores decreased during storage of samples, and the TVC, the *Bacillus cereus* count, the TVB-N and the pH value of the samples increased gradually. With the increase of added Nisin, the growth of the TVC, the *Bacillus cereus* count and the TVB-N slowed down. On the 6th day, the TVC of the control group reached the threshold specified in the Chinese industry standard "Seasoned roasted shrimp" (3×10^4 CFU/g), while the shelf life of samples with 20, 60 and 100 mg/kg Nisin were extended to 8, 12 and 14 days, respectively. This study showed that Nisin had an inhibitory effect on the growth of microorganisms such as *Bacillus cereus* in the roasted shrimp with high water content, and it could effectively prolong the shelf life of the product.

Key words: roasted shrimp; Nisin; quality change; *Bacillus cereus*; antibacterial effect

南美白对虾, 学名凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 是目前世界上最重要的经济虾类之一。根据联合国粮农组织 (FAO) 发布的数据显示, 南美白对虾

在甲壳类养殖总产量中占比最高, 2017 年达 29%, 其中中国养殖产量居世界首位^[1]。传统的即食调味烤虾多水分含量较低^[2], 虽然有较好的贮藏性和货架

收稿日期: 2022-07-13

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFD0900400)。

作者简介: 杨絮 (1984-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 水产品加工与质量安全, E-mail: 16634281@qq.com。

* 通信作者: 郭全友 (1975-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工与质量安全, E-mail: dhsguoqy@163.com。

期,但干燥过度使产品质地粗硬,口感较差。采用高温高压加工的产品同样有着组织结构损坏,风味营养流失较多的问题。高水分即食烤虾产品通过采用轻微干燥、温和热处理、添加抗菌物质等多个温和加工手段的协同作用,获得的产品水分含量 45% 仍能常温贮藏^[3]。高水分即食烤虾较好地保留了虾特有的鲜美风味和柔软质地,但由于加工和杀菌条件较温和,耐热细菌如芽孢杆菌很容易残存下来,当产品水分含量或贮藏温度过高时,容易引起这些耐热细菌的生长^[4]。由于营养成分、加工包装和贮藏条件的不同,产品都有特定的优势腐败菌。前期的研究表明,高水分烤虾产品中残存的微生物均为革兰氏阳性菌,而蜡样芽孢杆菌是高水分烤虾常温贮藏后期的优势腐败菌^[5-6]。

天然生物保鲜剂安全无毒,能够有效抑制腐败菌生长,协同水分活度等栅栏因子对产品进行保鲜是目前的研究热点^[7-8]。乳酸链球菌素(Nisin)是由多种氨基酸组成的生物活性抗菌肽,对食品的色香味等无不良影响,是一种高效安全的食品生物保鲜剂^[9-10]。Nisin 能有效抑制细菌芽孢萌发和营养细胞生长,可抑制引起食品腐败的大多数革兰氏阳性菌,特别是对产芽孢的细菌有强烈的抑制作用^[11-12]。Nisin 的抗菌作用是通过与细胞膜结合,干扰细胞膜的正常功能,细胞膜受损后,在膜上形成孔道,造成细胞内三磷酸腺苷、核苷酸及氨基酸等小分子物质流失和膜电位下降,使微生物细胞裂解而导致病菌和腐败菌死亡^[13-14]。Nisin 耐热性能优良,并与热杀菌相互促进协同作用,经加热杀伤的孢子对 Nisin 更敏感^[15-16],因此 Nisin 被广泛应用于乳制品、罐头制品、熟制水产品等热杀菌食品,以降低热杀菌强度,改进食品品质,延长产品货架期^[17-19]。GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准中规定熟制水产品(可直接食用)的乳酸链球菌素最大使用量为 0.5 g/kg。但 Nisin 用于温和热处理的半干耐贮即食制品的研究较少,本实验考察了 Nisin 对高水分烤虾贮藏中品质变化的影响,分析了 Nisin 对产品中腐败菌特别是蜡样芽孢杆菌生长的抑制作用,以期保障高水分烤虾产品的品质和安全。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南美白对虾 浙江省舟山市越洋食品有限公司,规格 25~30 只/kg;乳酸链球菌素(Nisin) 浙江

银象生物工程有限公司;蜡样芽孢杆菌标准菌株(ATCC 49064) 无锡赛维科技有限公司;营养琼脂 上海疾病预防控制中心;脑心浸出液肉汤培养基 英国 OXOID 公司;甘露醇卵黄多粘菌素琼脂培养基 北京陆桥技术有限公司;0.1 mol/L 盐酸标准溶液 上海市计量测试技术研究院;96 孔板与氯化钠、氢氧化钠、磷酸二氢钾、高氯酸(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

MIR153 高精度培养箱 日本 Sanyo 公司;HS153 快速水份测定仪 梅特勒托利多科技(中国)有限公司;Masticator Silver 均质器 西班牙 IUL 公司;TP310 pH 分析仪 北京时代新维测控设备有限公司;SA-960-II SHJ 净化工作台 上海净化设备厂;Icount-11 菌落计数器 杭州迅数科技有限公司;Power Wave XS 酶标仪 美国 Biotek 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 工艺流程:南美白对虾→去头去肠线→水煮→去壳→调味浸渍→烘干→烘烤→平衡水分→真空包装→热水杀菌→成品。

操作要点:活南美白对虾摘头并带出肠线,将虾放入沸腾水(≥98 ℃)中,旺火煮沸≥6 min,捞出在清水中冷却后去壳取肉,洗净沥干。将按比例配好的调味料,拌入虾肉中拌均,5 ℃ 以下浸渍 12 h 左右,中间翻动 2~3 次。将调味后的虾均匀摆在烘箱网架上,60~70 ℃ 干燥至水分含量 50% 左右。150~160 ℃ 烤箱中烘烤 5 min,冷却后装入塑料袋中密封,放入冰箱中过夜平衡水分,测定水分含量。通过调节烘干、烘烤温度和时间,使用快速水分测试仪监控,控制各组产品水分含量均为 48.0%±0.5%。装入真空包装袋内,真空封口;在 90~92 ℃ 水浴中杀菌 30 min,放入流水中冷却。

在前期实验基础上,三组样品在调味步骤中分别加入 20、60、100 mg/kg 的 Nisin,另一组为未添加 Nisin 的对照组。

1.2.2 贮藏实验 将全部样品放入 25.0±0.5 ℃ 高精度培养箱中贮藏。分别在第 0、2、4、6、8、10、12、14、16 d 随机取出样品,进行感官评价,绞碎进行菌落总数、蜡样芽孢杆菌数、挥发性盐基氮、pH 检测。

1.2.3 感官评价 由经验丰富并经过培训的 6 名评价员组成感官小组进行评价,以外观、色泽、风味、质地为指标,进行描述性记录并打分。参考 SC/T 3305-2021 调味烤虾的感官要求^[2],确定高水分烤虾 10 分制感官评分规则,如表 1 所示。10 分为最好品

表 1 高水分烤虾感官评分规则
Table 1 Sensory evaluation standards of high water content roasted shrimp

指标	10~7分	6~4分	3~0分
外观	虾体自然弯曲,个小均匀排列整齐	虾体自然弯曲,个体较规整	个体不规则
色泽	自然鲜艳,光泽度好	稍暗,光泽度较好	发暗,光泽度较差
风味	滋味鲜美,烤香味足	滋味较鲜美,烤香味稍不足	鲜香味不足,回味有腥味
质地	有弹性有嚼劲,软硬适当	稍有弹性,略微偏软或偏硬	弹性较差,产品较硬或较软

质,5分为中等品质,0分为最差品质。各项指标满分为10分,共40分,总分20分表示感官拒绝。

1.2.4 菌落总数测定 按照 GB 4789.2-2016 中的方法,称取 25.0 g 绞碎样品,放入盛有 225 mL 生理盐水的均质杯内,高速均质后,以 10 倍稀释,根据需要得到所需的稀释度。选取 3 个适宜稀释度的样品匀液,涂布于琼脂培养基表面,每个稀释液涂布 3 个平皿,在 $36\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 $48\pm 2\text{ h}$ 后计数。

1.2.5 蜡样芽孢杆菌检验 样品处理与稀释同 1.2.4。按照 GB 4789.14-2014 中的平板计数法,选取 3 个适宜连续稀释度的样品匀液,涂布于甘露醇卵黄多粘菌素琼脂培养基表面,每个稀释液涂布 3 个平皿,在 $30\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 $48\pm 2\text{ h}$,确定后计数典型菌落数。

1.2.6 挥发性盐基氮(TVB-N)测定 称取 10.0 g 绞碎样品,放入盛有 100 mL 蒸馏水的锥形瓶内,搅匀振荡,浸渍过滤后按 GB 5009.228-2016 中的半微量定氮法测定。

1.2.7 pH 测定 称取 10.00 g 绞碎样品,加 90 mL 去离子水,均质后浸渍 30 min,取上清液用 pH 分析仪测定。

1.3 数据处理

实验数据用 Microsoft Excel 2019 进行统计分析,用 SPSS 21.0 对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 乳酸链球菌素对高水分烤虾常温贮藏中感官评分的影响

食品的微生物腐败都是微生物生长或活动的结果,表现在食品感官特性的变化往往是直接可见,感官指标是评价食品品质最直观的指标^[20]。通过感官小组评价得出的不同 Nisin 添加量的高水分烤虾在常温贮藏期间感官评分的变化趋势如图 1 所示。由图 1 可见,贮藏开始时添加 Nisin 各组与未添加组样品的感官评分没有差异,说明 Nisin 对产品的外观风味质地无不良影响。随着贮藏时间的延长,产品的感官品质变化明显,对照组最先达到感官拒绝点,感官评分第 6 d 就降到 17.33 分。而 Nsin 添加量 100 mg/kg

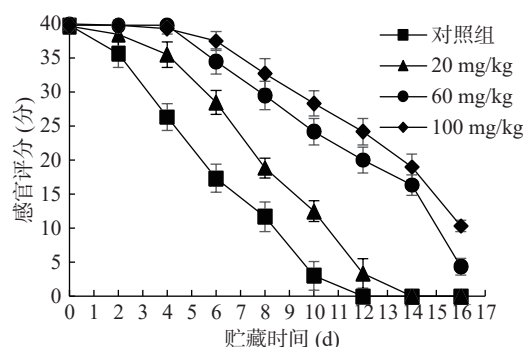


图1 添加 Nisin 的高水分烤虾贮藏中感官评分的变化

Fig.1 Effect of Nisin on the sensory evaluation of roasted shrimp during storage

组,感官评分第 14 d 才降到感官拒绝点以下的 19.00 分。加入 60 和 20 mg/kg Nisin 组感官评分分别第 12 d 和第 8 d 降到感官拒绝点以下的 20.00 和 18.83 分。傅宝尚等^[21]发现乳酸链球菌素不但能有效抑制烤制鲑鱼片贮藏中 TVB-N 值、菌落总数的上升,且较好保持产品的质构和色泽。Sofrac 等^[22]发现添加 Nisin 可将经渗透预处理的真空包装金枪鱼片 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的保质期从 27 d 延长至 51 d。感官指标能直观评价产品的品质,但受主观因素影响较大,且结果无法用数据表达是否处于安全可食用状态,仍需检验其他理化指标。

2.2 乳酸链球菌素对高水分烤虾常温贮藏中菌落总数的影响

食品添加剂能有效抑制水产品中微生物的生长,延长水产品及其制品的货架期^[23-24]。不同 Nisin 添加量的高水分烤虾在贮藏中菌落总数的变化如图 2 所示。GB 10136-2015 食品安全国家标准 动物性水产制品中规定即食水产制品的菌落总数应 $\leq 5\times 10^4\text{ CFU/g}$ (4.7 lg CFU/g),因此烤虾中的菌落总数大于 4.7 lg CFU/g 时即为货架期终点。由图 2 可见,对照组的货架期最短,第 6 d 即达到 4.75 lg CFU/g ,超过了即食水产制品的菌落总数限定值,货架期仅有 6 d。Nisin 添加量越大,菌落总数增长速度越慢,产品到达货架期终点的时间越长。Nisin 添加量为 100 mg/kg 时,烤虾货架期最长,在第 14 d 菌落总数才超标达到 4.95 lg CFU/g 。加入 60 和 20 mg/kg Nisin 组其货架期分别被延长至 10 和 8 d。各组样品菌落总数超标的时间与达到感官评分拒绝点的时间几乎同步,说明高水分烤虾常温贮藏中的腐败变质是微生物生长的结果^[4]。Oliveira 等^[25]用乳酸链球菌素处理猪肉后,猪肉在贮藏期间微生物呈现下降的趋势,阐明 Nisin 是食品中潜在的防腐剂和抑菌剂。李霜^[26]研究发现经 0.06% 乳酸链球菌素溶液处理后,再进行调理和高压脉冲电场处理的调理牛肉,其货架期相较于只经高压脉冲电场处理的延长了约 7 d,达到 15 d。可以看出乳酸链球菌素在抑制食品中微生物的生长,延长食品的货架期有明显效果。

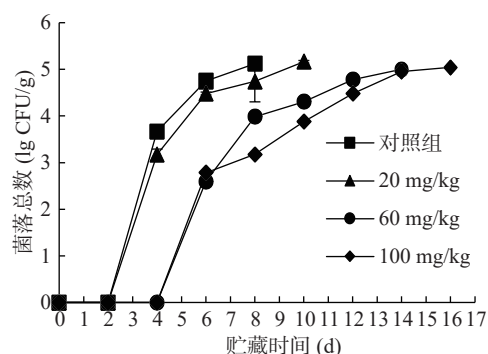


图2 添加 Nisin 的高水分烤虾贮藏中菌落总数的变化

Fig.2 Effect of Nisin on the total number of colonies of roasted shrimp during storage

2.3 乳酸链球菌素对高水分烤虾常温贮藏中蜡样芽孢杆菌数的影响

通常 70~80 ℃ 就能够杀灭食品中的大多数细菌营养细胞,但细菌芽孢对热的抵抗力比营养细菌强得多^[27]。蜡样芽孢杆菌较为耐热,其芽孢可耐受 100 ℃ 加热 30 min^[28]。蜡样芽孢杆菌在各类食品中普遍存在,有研究在热处理后食品中,检测出蜡样芽孢杆菌占细菌总数的 48%^[29]。温和加工过程很难将其完全杀灭,因此在加工贮藏中需采取一定措施抑制蜡样芽孢杆菌及其芽孢的生长增殖^[30],添加 Nisin 的高水分烤虾在贮藏中蜡样芽孢杆菌数的变化如图 3 所示。由图 3 可见,贮藏到第 4 d 时,对照组和添加量 20 mg/kg 组的蜡样芽孢杆菌数已分别达到了 3.37 和 3.13 lg CFU/g,而添加量 60 和 100 mg/kg 两组均未检出蜡样芽孢杆菌。贮藏到第 8 d 时,对照组和添加量 20 mg/kg 组的蜡样芽孢杆菌数分别达到了 4.76 和 4.54 lg CFU/g,而添加量 60 和 100 mg/kg 两组在第 14 d 时才分别达到 4.65 和 4.75 lg CFU/g。

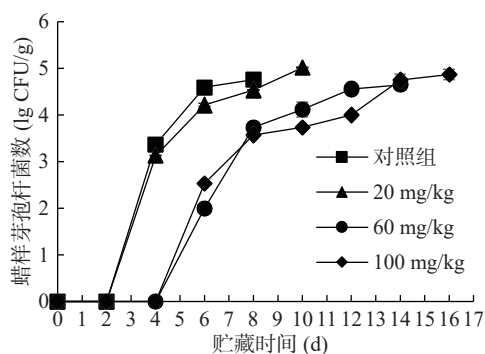


图 3 添加 Nisin 的高水分烤虾贮藏中蜡样芽孢杆菌数的变化

Fig.3 Effect of Nisin on the total number of *Bacillus cereus* of roasted shrimp during storage

2.4 乳酸链球菌素对高水分烤虾常温贮藏中挥发性盐基氮的影响

挥发性盐基氮通常作为评价水产品的重要鲜度指标^[31],添加 Nisin 的烤虾在贮藏中 TVB-N 值的变化如图 4 所示。各组在贮藏初期 TVB-N 值增加缓

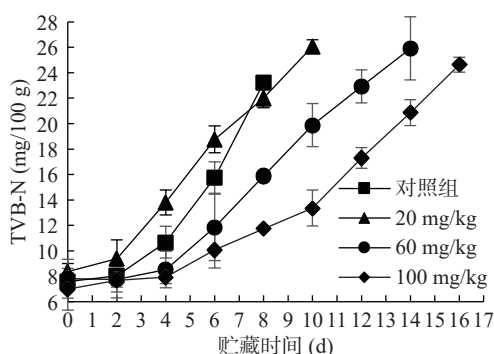


图 4 添加 Nisin 的高水分烤虾贮藏中 TVB-N 值的变化

Fig.4 Effect of Nisin on total volatile base nitrogen of roasted shrimp during storage

慢。随着贮藏时间的延长,样品中微生物的生长速度逐渐加快,TVB-N 值迅速增加。样品贮藏到第 6 d 时,对照组和添加量 20 mg/kg 组的 TVB-N 值接近 20 mg/100 g,而添加量 100 mg/kg 组的 TVB-N 值仅 10 mg/100 g。罗珍岑等^[32]研究发现制作自然发酵酸肉用 Nisin 处理的各组,贮藏至 45 d 时 TVB-N 值均未达到 20 mg/100 g,而对照组只能贮藏 20 d。由此可见乳酸链球菌素对控制食品中的挥发性盐基氮有较好作用。

2.5 乳酸链球菌素对高水分烤虾常温贮藏中 pH 的影响

动物性食品在贮藏中因酶和微生物的作用,蛋白质和核酸等组分降解,呈碱性的物质增加,使 pH 上升^[33]。添加 Nisin 的烤虾在贮藏中 pH 的变化如图 5 所示,产品贮藏初期 pH 在 6.7~6.9 之间。贮藏中随着腐败菌的生长,各组 pH 均呈现上升趋势。其中对照组 pH 上升最快,第 16 d 时达到 7.23,上升了 6.79%。而 Nisin 添加量 100 mg/kg 组,pH 变化最小,第 16 d 时为 6.97,仅上升了 2.65%。随着 Nisin 添加量的增加,产品贮藏中 pH 上升减缓,反应出 Nisin 对腐败菌生长的抑制效应。

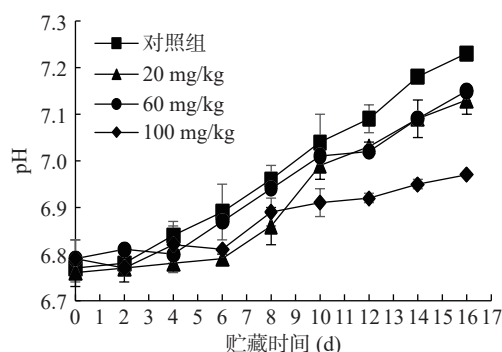


图 5 添加 Nisin 的高水分烤虾贮藏中 pH 的变化

Fig.5 Effect of Nisin on pH value of roasted shrimp during storage

3 结论

本研究通过在高温烤虾中添加乳酸链球菌素,分析样品在常温贮藏中菌落总数与蜡样芽孢杆菌数的变化,并结合感官评价、pH 等指标,结果表明随着贮藏时间的延长,烤虾中的菌落总数、蜡样芽孢杆菌总数、TVB-N 与 pH 出现增长趋势,感官评分逐渐下降。对照组第 6 d 菌落总数即达到 4.75 lg CFU/g,超过了即食水产制品的菌落总数限定值,而添加量 100 mg/kg 组货架期最长,在第 14 d 菌落总数才超标达到 4.95 lg CFU/g。添加 20、60 mg/kg Nisin 的样品,产品货架期由 6 d 分别被延长至 8、12 d。随着 Nisin 添加量增加,抑菌效应越明显,贮藏到第 4 d 时,对照组和添加量 20 mg/kg 组的蜡样芽孢杆菌已分别达到了 3.37 和 3.13 lg CFU/g,而添加量 60 和 100 mg/kg 两组均未检出蜡样芽孢杆菌。证明了 Nisin 能够抑制高水分烤虾样品中的腐败菌尤其是优

势腐败菌蜡样芽孢杆菌的生长,延长产品货架期。

参考文献

- [1] 国家现代农业产业技术体系. 南美白对虾产业发展报告[J]. 中国水产, 2021(5): 27-36. [National Modern Agricultural Industry Technology System. Development report of *Penaeus vannamei* industry[J]. China Fisheries, 2021(5): 27-36.]
- [2] 刘智禹, 苏永昌, 吴靖娜, 等. SC/T 3305-2021 调味烤虾[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021. [LIU Z Y, SU Y C, WU J N, et al. SC/T 3305-2021 Seasoned roast shrimp[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.]
- [3] 杨宪时, 许钟, 郭全友. 高水分烤虾加工方法: 中国, CN101632465A[P]. 2008-07-21. [YANG X S, XU Z, GUO Q Y. Processing method for roasted shrimp with high water content: China, CN101632465A[P]. 2008-07-21.]
- [4] 鲁淑彦. 软烤虾工艺条件与贮藏性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017. [LU S Y. Study on the processing conditions and storage properties of roast shrimp[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.]
- [5] 王焕庆, 李学英, 杨宪时, 等. 高水分烤虾贮藏过程中的品质变化和菌相分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 165-169. [WANG H Q, LI X Y, YANG X S, et al. Quality and bacterial phase changes of high-moisture roast shrimp during storage at different temperatures[J]. Food and Machinery, 2012, 28(2): 165-169.]
- [6] 陈琛, 李学英, 杨宪时, 等. 高水分烤虾中蜡样芽孢杆菌的分离鉴定及其生长特性[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 176-180. [CHEN C, LI X Y, YANG X S, et al. Isolation, identification and growth characteristics of *Bacillus cereus* from high-moisture roast shrimp[J]. Food Science, 2013, 34(15): 176-180.]
- [7] 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.
- [8] AHMAD V, KHAN M S, JAMAL Q M, et al. Antimicrobial potential of bacteriocins: In therapy, agriculture and food preservation[J]. Int J Antimicrob Agents, 2017, 49(1): 1-11.
- [9] 徐俊进, 金陈斌, 陈小龙. 新型绿色防腐剂乳酸链球菌素[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(6): 1005-1007. [XU J J, JIN C B, CHEN X L. Study on a new kind green preservative Nisin[J]. Zhejiang Agricultural Science, 2017, 58(6): 1005-1007.]
- [10] 程琳丽. 乳酸链球菌素的研究现状及在食品中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(11): 3581-3585. [CHENG L L. Research status of Nisin and its application in food[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(11): 3581-3585.]
- [11] SHAHBAZI Y, SHAVISI N, MOHEBI E. Potential application of *Ziziphora clinopodioides* essential oil and Nisin as natural preservatives against *Bacillus cereus* and *Escherichia coli* O157: H7 in commercial barley soup[J]. Journal of Food Safety, 2016, 36(4): 435-441.
- [12] ÁVILA M, TORRES N G, HERNÁNDEZ M, et al. Inhibitory activity of reuterin, Nisin, lysozyme and nitrite against vegetative cells and spores of dairy-related *Clostridium* species[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 172: 70-75.
- [13] 王佳宇, 胡文忠, 管玉格, 等. 乳酸链球菌素抑菌机理及在食品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 346-350. [WANG J Y, HU W Z, GUAN Y, et al. Research progress on the bacteriostatic mechanism of Nisin and its application in food preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 346-350.]
- [14] KITAGAWA N, OTANI T, INAI T. Nisin, a food preservative produced by *Lactococcus lactis*, affects the localization pattern of intermediate filament protein in HaCaT cells[J]. Anatomical Science International, 2019, 94: 163-171.
- [15] 陈乐, 章中, 郭家俊, 等. 热结合 Nisin 处理对枯草杆菌芽孢的杀灭效果[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 320-325. [CHEN L, ZHANG Z, GUO J J, et al. Effects of heat combining with Nisin treatment on the sterilization of *Bacillus subtilis* spores[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(20): 320-325.]
- [16] KALLINTERI L D, KOSTOULA O K, SAVVAIDIS I N. Efficacy of Nisin and/or natamycin to improve the shelf-life of galotyri cheese[J]. Food Microbiology, 2013, 36(2): 176-181.
- [17] 陈舒. 影响软烤扇贝品质安全和耐贮性的因素研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008. [CHEN S. Factors of effecting safety and storability of lightly baked scallop[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008.]
- [18] 陈洪生, 国慧, 刁静静, 等. 复合抗氧化剂处理对五香牛肉低温贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 204-210. [CHEN H S, GUO H, DIAO J J, et al. Effect of compound antioxidant treatment on the spiced beef under low temperature storage conditions[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 204-210.]
- [19] NOVICKIJ V, STANEVIČIENĖ 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.
- [20] MASNIYOM P, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Shelf-life extension of refrigerated seabass slices under modified atmosphere packaging[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2002, 82(8): 873-880.
- [21] 傅宝尚, 丁若松, 尚珊, 等. 不同防腐剂对烤制鱿鱼片贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 301-308. [FU B S, DING R S, SHANG S, et al. Effects of different preservatives on the storage quality of roasted flake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 301-308.]
- [22] SOFRA C, TSIRONI T, TAOUKIS P S. Modeling the effect of pre-treatment with Nisin enriched osmotic solution on the shelf life of chilled vacuum packed tuna[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 16: 125-131.
- [23] 刘寒, 钱磊, 张志军, 等. 生物保鲜剂应用于水产品保鲜的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 208-211. [LIU H, QIAN L, ZHANG Z J, et al. Research progression application of biological preservatives in aquatic products[J]. Food Research and Development, 2019, 40(18): 208-211.]
- [24] 裴诺, 施文正, 汪之和. 壳聚糖与生物保鲜剂复合使用在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 448-454. [PEI N, SHI W Z, WANG Z H. Research progress in the application of chitosan and biological preservative in aquatic products preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 448-454.]
- [25] OLIVEIRA D, CONVERTI A, GIERUS M, et al. Application of Nisin as biopreservative of pork meat by dipping and spraying methods[J]. Braz J Microbiol, 2019, 50(2): 523-526.
- [26] 李霜. 高压脉冲电场联合乳酸链球菌素对调理牛肉保鲜效果的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019. [LI S. Study on preservation effect of high voltage pulsed electric field combined with nisin on conditioned beef[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2019.]

- [27] 胡长利, 向新华, 韩晓旭, 等. 耐热芽孢杆菌 (*Bacillus sporothermodurans*) 的研究进展概述[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2795–2801. [HU C L, XIANG X H, HAN X X, et al. Research and development of *Bacillus sporothermodurans*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(7): 2795–2801.]
- [28] 穆可云. 大蒜提取物对蜡样芽孢杆菌的抑制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013. [MU K Y. Studies on the inhibition effect of *Allium sativum* extracts against *Bacillus cereus*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.]
- [29] AYARI S, DUSSAULT D, HAMDI M, et al. Growth and toxigenic potential of *Bacillus cereus* during storage temperature abuse in cooked irradiated chicken rice in combination with Nisin and carvacrol[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 19–25.
- [30] 李曼, 侯利华, 曹晓梅, 等. 乳酸链球菌素对蜡样杆菌芽孢作用的初步研究[J]. 中国消毒学杂志, 2009, 26(2): 126–128. [LI M, HOU L H, CAO X M, et al. The preliminary study of litic effect of Nisin on *Bacillus cereus* spores[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2009, 26(2): 126–128.]
- [31] BEHNAM S, ANVARI M, REZAEI M, et al. Effect of Nisin as a biopreservative agent on quality and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at 4 degrees[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 2184–2192.
- [32] 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 Z C, DUAN Z Z, TAN X Q, et al. Effects of Nisin on nutritional hygiene and sensory quality of sour pork stored at room temperature[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(23): 176–182.]
- [33] 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 Science and Technology, 2017, 77: 217–224.