

小龙虾预制食品品质综述

苏雨瞳¹, 余进祥², 傅雪军², 郭全友³, 魏帮鸿², 包海蓉¹, 胡火根²

(1.上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2.江西省水生生物保护救助中心, 南昌 330029;
3.中国水产科学院研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: **目的** 通过掌握原料养殖、预制加工、产品贮藏这3个环节对小龙虾预制食品品质的影响, 生产符合食品安全要求、感官性能更佳的高品质的小龙虾预制食品。**方法** 通过检索国内外相关文献, 对影响小龙虾预制食品安全、品质的因素进行归纳和总结。**结果** 原料养殖中养殖环境与模式以及饲料投喂都对高品质小龙虾预制食品的产出有很大影响; 预制加工中清洗、脱壳、烹饪、包装以及灭菌条件各环节的控制影响小龙虾预制食品产品品质; 产品贮藏中贮藏温度、贮藏时间及保鲜剂的应用等均会影响小龙虾预制食品的安全与品质。**结论** 原料养殖、预制加工、产品贮藏3个环节的控制一定程度上决定了小龙虾预制食品的安全与品质; 结合包装技术在预制菜食品中的应用可进一步提升小龙虾预制菜食品的安全与品质。

关键词: 小龙虾预制食品; 安全与品质; 原料养殖; 预制加工; 产品贮藏

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)09-0071-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.009

Overview on Quality of Crayfish Prepared Food

SU Yu-tong¹, YU Jin-xiang², FU Xue-jun², GUO Quan-you³,
WEI Bang-hong², BAO Hai-rong¹, HU Huo-gen²

(1. College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Jiangxi Aquatic Biology Protection and Rescue Center, Nanchang 330029, China;

3. East China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize and analyze the effects of feedstock farming, pre-processing and product storage on the safety and quality of crayfish prepared food to produce high-quality crayfish prepared food that meets requirements on food safety and has better sensory properties. Through searching relevant literature at home and abroad, factors affecting safety and quality of crayfish prepared food were summarized and analyzed. The findings demonstrated that the farming environment and mode as well as the feeding of feed had an important impact on the output of high-quality crayfish prepared food; in terms of pre-processing, the control of cleaning, dehulling, cooking, packaging and sterilisation conditions affected the quality of crayfish prepared food; in terms of storage, the storage temperature, storage time and the application of preservation agents affected the safety and quality of crayfish prepared food. In conclusion, the control of feedstock farming, pre-processing and product storage determines the safety and quality of crayfish prepared food to some extent. Its application in combination with packaging technology in pre-processed food can further improve the safety and quality of crayfish prepared food.

KEY WORDS: crayfish prepared foods; safety and quality; feedstock farming; pre-processing; product storage

收稿日期: 2023-04-19

作者简介: 苏雨瞳(1999—), 女, 硕士生, 主攻食品加工与品质控制。

通信作者: 包海蓉(1969—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与品质控制; 胡火根(1964—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究水产养殖、渔业工程及水生生物保护等。

小龙虾,学名为克氏原螯虾,也被叫作淡水小龙虾,属于节肢动物门甲壳纲十足目螯虾科原螯虾属,原产地为北美洲,经由日本引入我国,属于穴居入侵型红沼泽螯虾^[1]。小龙虾引入我国后,一方面因其适应环境能力强,繁殖能力强,易养殖,另一方面因营养丰富,且加工后滋味良好,深受中国人民喜爱。近年来,小龙虾的经济价值逐步增高,根据《中国小龙虾产业发展报告(2022)》^[2]中的数据,2021年我国小龙虾产业总产值为4 221.95亿元,同比增长22.43%,其中养殖业产值为823.44亿元;以加工业为主的第二产业产值为368.51亿元;以餐饮为主的第三产业产值为3 030亿元。小龙虾一、二、三产业产值之比约为2:1:7,小龙虾餐饮业占比大,有很大发展潜力。

预制菜是指以农、畜、水产品为原料,配以各种辅料加工而成的成品或半成品。根据加工程度的不同可分为即食食品、即热食品、即烹食品、即配食品4类^[3]。预制菜在20世纪80年代进入我国^[4],目前处于一个高速发展的初创期。随着中国经济发展,居民收入增加,消费多元化,这些为预制菜的发展奠定了经济基础。中国餐饮业标准化程度在不断提高,餐饮连锁化日趋集中,口味及出品稳定性、统一性推动了预制菜行业的发展。餐饮产业供应链的不断完善,物流配送体系和冷链技术的进步,为预制菜发展解决了采购、存储和销售等难题。B端餐饮人工成本和租金成本不断增加,加快了B端餐饮对出餐速度、后厨加工场地面积需求的变化,加速了预制菜发展^[5]。

小龙虾预制食品作为小龙虾产品的第一大类,产品特色明显。常见的小龙虾预制食品主要包括即食、即热或即烹、即配的整龙虾、龙虾尾以及龙虾仁等。影响小龙虾预制食品安全和品质的因素很多,其中原料养殖、预制加工以及产品贮藏3个主要环节占比较大。本文通过综述3个环节与小龙虾预制食品品质的关联,同时结合包装技术的应用,以期为生产安全、高品质的小龙虾预制菜产品提供参考。

1 原料养殖对小龙虾预制食品品质的影响

小龙虾一年只繁殖一次,且由于养殖环境不同,性成熟时间有所差异。虾苗养殖环境、饲料投喂以及养殖模式的不同都会影响小龙虾的繁殖,进而影响小龙虾预制食品产品品质。

1.1 养殖环境与养殖模式

小龙虾的生长过程对环境依赖度高,不同环境养殖的小龙虾虾肉品质有差异。贾丽娟等^[6]比较了武汉和韶关两地小龙虾的常规营养成分、氨基酸和矿物元素等指标的差别;徐晨等^[7]比较了浦口、太湖和泗洪

三地小龙虾的主要营养成分;Zhou等^[8]采用多元素分析和稳定同位素比值分析对比了4个不同地区养殖小龙虾与野生小龙虾的微量元素。综上,养殖环境的不同会导致肌肉品质、粗蛋白和粗灰分含量有差异,原料品质会影响小龙虾预制食品品质。优化小龙虾的养殖环境,可产出品质更优的小龙虾原料。

小龙虾的主要养殖模式有稻田养殖、池塘精养和藕虾混养等。程小飞等^[9]对比了池塘养殖、稻田养殖和野生小龙虾的肌肉营养成分,发现养殖组小龙虾的粗蛋白和粗脂肪含量都高于野生组的,养殖组的肌肉综合营养价值高于野生组的。因此,科学养殖可以在增加产量的同时也保持小龙虾的品质,但是具体选择何种养殖模式还需结合养殖环境和生产需求具体分析。针对稻田养殖和池塘养殖2种养殖模式,周剑等^[10]测定了2种模式下小龙虾的常规营养成分变化,同时检测了小龙虾的肌肉和肝胰腺中的氨基酸和脂肪酸的组成。研究发现2种模式养殖的小龙虾除水分和粗灰分外,其余常规营养成分无显著性差异,2种小龙虾都有较高的食用价值。陈健等^[11]测定了2种养殖模式小龙虾的常规营养成分、氨基酸等的变化,稻田养殖的小龙虾肌肉中除脂肪含量显著低于池塘养殖的小龙虾肌肉中的脂肪含量外,其他营养成分无显著差异。虽然池塘精养小龙虾的营养价值略高于稻田养殖模式,但是稻虾互利共生,从经济效益角度考量,稻田养殖仍占主导^[2,12]。

1.2 饲料投喂

饲料投喂是小龙虾养殖环节重要一环,主要是投喂频率和饲料选择。投喂的频率与小龙虾含肉率直接相关,过少的投喂频率将会降低后续小龙虾预处理工序的得肉率,从而影响小龙虾预制食品的品质。惠文杰等^[13]研究了不同饲喂频率对小龙虾含肉率及生长指标的影响,结果表明小龙虾的含肉率随着饲喂频率的增加而增加,且小龙虾的末质量、增量率和特定生长率在2次/d时达到最大,之后随着饲喂频率的继续增加而不断下降。因此,投喂过少,造成小龙虾营养不足、同类相食,影响产量和品质;投喂过多,饲料成本增加,可能破坏水质,影响生长环境,导致病害发生,影响品质^[14]。但是,在饲喂过程中,人工投喂方法也会影响小龙虾的生长。实验只采用了饱食投喂法进行研究,未来还可针对其他方法进行研究,以优化出最佳投喂频率,确保小龙虾生长过程中能摄入足够的营养,保证其品质。

饲料的营养成分与小龙虾的品质高度关联,国内外学者对小龙虾养殖饲料开展了相关研究。Xu等^[15]分别研究了动物性蛋白质和植物性蛋白质饲料喂养的小龙虾蒸煮后的风味变化;孟晶等^[16]研究了饲料中脂肪含量对小龙虾的生长、体组成及脂肪酸组成的影响;张家宏等^[17]研究了饲料中不同蛋白质和脂肪水平对小龙虾的成活率、生长、肌肉氨基酸组成等指标的

影响; Li 等^[18]研究了饲料中碳水化合物和脂肪的比值对小龙虾的影响; Tan 等^[19]研究了在饲喂小龙虾幼苗时将饲料中的鱼粉用植物蛋白替换后对小龙虾的影响。综上, 不同种类的饲料由于其所含营养成分的不同, 导致小龙虾的生长情况不同, 成活率、营养成分、风味有所差异。不同饲料投喂的小龙虾的蛋白质、脂肪、游离氨基酸等营养成分的含量与占比不同, 这些营养物质是产生制品风味和滋味的前体物质。前体物质通过美拉德反应、蛋白质水解反应、脂质氧化等反应产生小龙虾制品独特的滋味、风味。饲喂时需注意不同种类饲料的配比, 依据最终品质要求, 选择饲料配比。

除了常见的 3 种饲料外, 一些营养补充剂的添加可以提高小龙虾的免疫力、营养价值, 从而提高小龙虾的存活率, 降低养殖成本, 并生产出高营养价值的小龙虾预制产品。Zhu 等^[20]研究将双孢菇多糖(ABPs)添加于小龙虾饲料中, 研究发现添加 ABPs 可提高小龙虾的生长性能、非特异性免疫力和抗病力, 对小龙虾的养殖有良好的效果; Lu 等^[21]研究了饲料中添加海藻糖对小龙虾肌肉蛋白的影响, 添加 5~15 g/kg 海藻糖能显著提高小龙虾幼虾的生长性能、肌肉蛋白质含量、非特异性免疫力和抗脱水能力; Shehata 等^[22]研究了维生素 E、核苷酸、雨生红球藻、花生四烯酸和酵母提取物复配使用对小龙虾的影响, 研究得出了适合小龙虾生长的最佳复配比。综上, 添加不同的营养补充剂会对小龙虾的品质产生不同影响, 在实际饲喂中可根据不同需求添加不同的营养补充剂。

小龙虾养殖模式、养殖环境以及饲料投喂的区别都会影响小龙虾的含肉率以及生长性能, 进而影响小龙虾的肌肉品质, 导致后续预制食品的产品品质有所差异。因此, 科学养殖对小龙虾的品质尤为重要。

2 预制加工对小龙虾预制食品品质的影响

预制加工的工序将会对预制小龙虾的品质产生直接影响。从原料到即食、即热小龙虾预制食品一般需要经过清洗、热烫(去壳)、调味熟化、杀菌等步骤。操作过程的控制和优化将提升小龙虾预制食品的品质。

2.1 清洗与脱壳

小龙虾出塘后, 体表带有泥浆和微生物, 目前, 常见的清洗方法是手工清洗和气泡清洗。Wang 等^[23]研究了超声联合臭氧水的新型清洗方法对小龙虾菌落总数和理化性质的影响。表明此方法可在提高清洗效率的同时保证小龙虾的品质, 以保证后续加工的顺利进行。

生产小龙虾仁需脱壳, 现常采用冻融或加热后人工脱壳的方法。此方法在一定程度上削弱了结缔

组织, 可能会影响后续加工, 因此需要研究辅助脱壳的新方法。Ye 等^[24]将高压脱壳与传统方法脱壳进行对比, 比较 2 种脱壳方法与小龙虾虾仁品质的关联, 采用新方法脱壳的虾肉凝胶性能保持良好; 汪兰等^[25]研究了超高压增压次数与小龙虾脱壳时间及虾仁品质的关联, 并与人工脱壳的虾仁进行了对比; 叶韬等^[26]研究了不同压力下的超高压处理对小龙虾的脱壳率、虾仁得率、虾仁完整率、蛋白变性程度、菌落总数及脂肪氧化率等的影响。综上, 超高压技术可快速对小龙虾进行增压与卸压, 使其壳肉分离, 为后续脱壳处理大大减少了时间, 提高了效率, 并保证了虾仁的脱壳完整率, 减少了菌落总数, 保证了后续加工的产品品质。

加工即煮或即配小龙虾食品, 可按目标产品需要, 在小龙虾完成清洗、去头、脱壳后进行分装冷冻。

2.2 热烫与盐煮

小龙虾预制食品常采用热烫预处理的方式, 达到减菌、改善品质的作用。薛雷等^[27]研究该工艺对小龙虾品质变化的影响, 测定了总蛋白酶活力、色泽、质构指标以及感官分析; 石钢鹏等^[28]研究比较了经超高压与热烫 2 种预处理方式的小龙虾虾肉在冻藏期间品质的变化, 发现 2 种预处理方式对小龙虾的色泽与质构均有改善效果, 但热烫更佳。热烫预处理可杀死微生物, 有效减缓肌原纤维蛋白的氧化, 且加热可使肌肉蛋白变性, 虾肉质地改善, 对后续加工有着积极作用。

食品工业中, 常采用盐等调味料对食品原料进行处理以达到去腥的目的, 其次盐煮还可适量杀菌减轻后期杀菌工作。董志俭等^[29]研究了盐煮加工工序对小龙虾感官和理化品质的影响, 测定小龙虾在不同盐度下的水分含量、质量损失率、色泽、质构以及感官品质的变化; 郭力等^[30]研究了盐煮加热对即食小龙虾质构的影响, 得出最适工艺参数, 即食盐质量浓度为 5 g/dL, 盐煮时间越长, 虾肉硬度值增大, 弹性先增大后减小。通过盐煮预处理可有效保持虾体鲜亮, 且改善虾肉质构, 使得虾肉口感较好, 为后续加工做准备。

2.3 调味与熟化

不同的烹饪方法、工艺参数的设置对小龙虾预制食品的品质、风味的影响是不同的。小龙虾预制食品烹饪加工方式有盐煮、油炸、微波加热和调味焗炒等。沙小梅等^[31]采用了电子鼻、电子舌以及 GC-IMS 等技术分析了生龙虾肉和经麻辣翻炒、蒜香焗炒、清蒸不同烹饪方式加工的龙虾肉风味特征, 发现不同烹饪方式的小龙虾和生肉小龙虾在滋味和气味方面差异性显著。

油炸工艺是小龙虾即食食品加工关键步骤, 主要

起到熟化、呈色与增香作用,还可去除腥味物质。李新等^[32]研究了不同油炸温度和时间对小龙虾理化性质和品质的影响;董鑫磊等^[33]研究了龙虾尾在油炸过程中的品质变化;杨海琦等^[34]研究了油炸工艺对即食小龙虾品质的影响,结果表明油炸温度为150℃,油炸时间为80s,小龙虾产品有最佳的感官品质且蛋白质结构保存完整,该研究为即食小龙虾油炸工艺的优化提供了一定的理论指导。小龙虾肉蛋白质的凝胶作用可提升虾肉的持水性和嫩度,在不同的油炸温度和时间下,小龙虾蛋白的变性程度也不同,因而品质也有差异。

微波加热是一种实现小龙虾预制食品内外同时加热的方式。范海龙等^[35]研究了不同功率的微波加热对小龙虾品质的影响,通过热成像温度分析、质构分析、感官分析发现,以3W/g微波功率密度加热3.5min的虾尾口感评分最高,但随着时间和微波功率的增加会对虾肉质量产生不良影响。郭力等^[30]研究了微波功率和微波时间对小龙虾质构的影响,结果表明随着微波功率和时间的增大,虾肉水分含量显著降低,硬度和咀嚼性明显增大。微波加热较水煮加热避免了虾肉水溶蛋白的丢失,能更好保持产品口感和品质,但是经微波加热的小龙虾色泽弱于水煮加热的小龙虾。因此,在保证色泽的条件下,微波加热在小龙虾加工中的应用潜力有待进一步发掘。

2.4 包装和灭菌

预制菜领域中常用包装材料是复合材料,常见的包装技术主要有真空包装技术、气调包装技术,覆铁膜技术等^[36]。其中真空包装技术和气调保鲜技术因其便于预制菜贮藏、运输和销售的特性,实际运用更多。其次,新兴技术如NaCl微胶囊技术也越来越多地应用于预制菜的包装中,结合喷雾干燥技术可将食盐包埋于微胶囊内,形成NaCl微胶囊,在中餐工业化产品降温后加入,食前复热即可实现咸味释放,保持食品良好风味。

李肖婵等^[37]研究了4种复合包装材料对即食小龙虾品质的影响。产品真空包装后,贮藏1个月(检测间隔为5d),比较不同复合包装材料对即食小龙虾品质的影响。结果表明在贮藏期间,采用PET/AL/PA/PP复合袋包装的即食小龙虾的硬度、弹性、咀嚼性以及感官评价等均优于剩下3组的。Chen等^[38]研究比较了气调包装、有氧聚氯乙烯包装以及真空包装对即食虾尾贮藏稳定性的差异,发现气调包装能有效抑制微生物生长,并最大限度地减少了虾尾的氧化以及质构变化。包装可以有效保持食品风味,避免微生物污染,保证食品品质。在小龙虾预制食品领域中,真空包装技术和气调包装技术应用较多,其他包装技术在该领域中的应用还可进一步挖掘。

灭菌是小龙虾预制加工的重要工序,根据产品要求,可采用低温巴氏灭菌法或高温高压灭菌法等。

郑煜飞等^[39]研究了杀菌温度和时间对小龙虾感官品质、蛋白理化性质以及微生物数量的影响;葛孟甜等^[40]比较了巴氏杀菌和高温高压杀菌2种方法对即食小龙虾品质的影响,温和的巴氏杀菌法处理的即食小龙虾在营养品质、质构特性及感官品质上更优。除了热杀菌,其他的灭菌方式也有学者进行研究,如李新等^[41]研究了辐照对小龙虾品质的影响,分析了虾肉理化指标以及蛋白质性质的变化,研究得出高剂量辐照后色泽指标降低,而质构特性、水解氨基酸含量随着辐照剂量增大而增加;潘志海等^[42]研究得出,微波杀菌工艺对即食小龙虾的蒸煮值、持水性、质构、色泽等品质的影响均优于传统杀菌组的,表明可进一步开发微波杀菌技术在即食小龙虾生产加工中的运用。辐照杀菌和微波杀菌2种新技术都可运用在小龙虾预制食品的灭菌处理中,但是经这2种杀菌处理的小龙虾在色泽和脱壳完整率等方面略低于传统杀菌组的,因此还需进行后续研究,以实现产业化运用。

3 产品贮藏对小龙虾预制食品品质的影响

4类小龙虾预制食品由于加工方式不同,贮藏条件和货架期根据加工工艺条件有所区别。

3.1 即食小龙虾与即热小龙虾的贮藏

为了保证即食、即热小龙虾产品品质,现多采用冷藏和冷冻的方式进行贮藏。赵立等^[43]比较了慢冻和速冻熟制小龙虾肉的品质变化;吴晨燕等^[44]比较了在冷藏和冻藏2种贮藏条件下熟制小龙虾品质的变化;周结礼^[45]研究了不同贮藏方法(速冻处理后-18℃贮藏、气调包装后10℃贮藏、辐照处理后20℃贮藏、生物保鲜剂处理后10℃贮藏)对卤味小龙虾品质的影响,测定各组品质的变化,发现卤味小龙虾选择单一贮藏方法的最佳条件为-18℃冻藏,贮藏期达296d,组合条件下保鲜剂与冻藏结合品质最佳。综上,冷藏和冷冻贮藏可在保证产品品质的同时延长产品货架期。除贮藏条件的影响外,前处理也会影响预制小龙虾的货架期,如快速冷冻处理、添加保鲜剂等都可延长产品货架期,具体处理方法需结合实际进行选择。

即食和即热是经过预熟化的产品,可以实现常温贮藏。Yu等^[46]研究了常温熟制风味小龙虾易腐败的问题,采用气相色谱法分析了小龙虾变质前后腐败菌的变化;江昕等^[47]选择控制水分活度栅栏因子对即食小龙虾仁产品工艺进行研究,开发出一种具有良好的常温耐贮藏性,且可以避免高温杀菌带来的不利影响的即食小龙虾仁;徐文思等^[48]以龙虾尾为原料,开发了一

款开袋即食的小龙虾产品;瞿桂香等^[49]采用响应面法优化了椒盐小龙虾的加工工艺,开发了常温下可销售的小龙虾即食食品;周涛等^[50]研究了贮藏温度对即食小龙虾品质以及微生物菌群的影响,结果表明产品在25℃条件下货架期为6d,4℃条件下的货架期可达到35d。综上研究,虽然即食、即热的小龙虾预制食品可以采用常温贮藏方式,但是该贮藏条件下的货架期都较短。许多学者进一步地进行了研究,如陈东清等^[51]研究了电子束辐照对蒸煮小龙虾品质及货架期的影响,表明4kGy电子束辐照可以有效延长小龙虾常温货架期至10d;郑读等^[52]研究了辐照对即食小龙虾品质的影响,常温贮藏条件下,保持小龙虾虾肉品质的最长货架期的最适工艺参数为辐照剂量6.62kGy。有学者采用添加保鲜剂的方式研究了常温贮藏的效果。Han等^[53]研究超声辅助海藻酸低聚糖浸泡对熟制小龙虾保藏效果的影响,发现该处理可以降低冻融循环对熟制小龙虾的机械损伤,提高了熟制小龙虾的品质;刘文浩等^[54]研究了ε-聚赖氨酸盐酸盐对气调包装即食小龙虾的保鲜效果,表明添加0.1g/kg的ε-聚赖氨酸盐酸盐和15g/kg的D-异抗坏血酸钠的气调包装可以在(15±2)℃条件下有效保持即食小龙虾新鲜度,且产品货架期可由2d延长至6d;于晓慧等^[55]研究了复合生物保鲜剂对即食小龙虾保鲜效果的影响,经复合保鲜剂处理,可延长即食小龙虾常温货架期至15d。采用辐照技术和保鲜剂处理后的产品,常温贮藏时间较普通贮藏时间略有延长,但是相较于冷冻和冷藏条件贮藏的预制小龙虾产品,货架期时间依旧较短。

预制小龙虾根据其预期的贮藏条件的不同,采取不同的杀菌工艺,以获得最佳的产品赏味期。张泽伟等^[56]研究了过热蒸汽灭菌以及传统巴氏灭菌对即食小龙虾冷藏品质的影响,结果表明过热蒸汽处理的小龙虾冷藏品质较佳,可有效减缓感官评分的下降、菌落总数和TVB-N含量的上升、挥发性气味的变化,还可延长产品货架期;孔金花等^[57]研究了高温熟制杀菌对小龙虾品质和贮藏特性的影响,研究表明最佳工艺参数为杀菌温度110℃、杀菌时间10min,该工艺条件下,产品在4℃贮藏条件下的货架期达到35d。孔金花等在张泽伟等的研究基础上,为避免高温处理使虾肉软烂影响品质,研究了一次到位的熟制杀菌的效果,但是采用该方法的产品货架期较短。有效的杀菌和贮藏条件的组合可生产不同保质期的高品质即食即热小龙虾产品。

3.2 即烹与即配小龙虾的贮藏

小龙虾加工制成的即配食品主要包括速冻虾仁、速冻虾尾以及速冻整龙虾等。小龙虾的大小与品质决定了不同的加工成品形态。即烹与即配小龙虾预制食品主要以速冻产品为主,由于未经熟化处理,产品上

仍存在大量的酶、微生物,因而更易腐败。冷冻贮藏是2类产品的主要贮藏条件。赵立等^[58]研究了不同速冻温度处理的小龙虾在相同条件下贮藏6个月的品质变化;杨海琦等^[59]研究了小龙虾在冻结及冻藏条件下蛋白质理化性质的变化,结果表明较低的冻结及冻藏温度有利于保持小龙虾的品质;Liu等^[60]研究了冷冻温度和贮藏时间对小龙虾品质的影响,综合考虑冷冻和贮藏的温差及冷冻速率的影响,认为-30℃的冷冻条件为最佳;郑静静等^[61]以带壳和去壳小龙虾为原料,在-18℃下贮藏1个月,结果表明在贮藏前期2种产品品质指标无显著差异,冷冻贮藏3周之后,带壳虾肉的品质优于去壳虾肉的品质。小龙虾原材料受季节性影响大,因此速冻小龙虾除作即配与即烹小龙虾售卖外,还会作为即食、即热小龙虾淡季原料的来源。长期冻藏过程中,小龙虾肉蛋白会发生变性和氧化,使蛋白质的功能特性降低,影响产品品质。几位学者针对冻结温度和冻藏温度对小龙虾品质的影响作了研究,为小龙虾的冷冻保鲜提供了理论指导。

4 结语

小龙虾预制食品产业发展蓬勃,目前小龙虾预制食品主要有麻辣、蒜蓉、十三香等不同口味的即食、即热整龙虾、龙虾尾以及龙虾仁等,有即烹、即配的速冻虾尾、虾仁等。小龙虾预制食品的发展得益于加工工艺的改进,包装技术和冷藏技术的发展,较好地保留了小龙虾的口感。未来可以从产品形态、口味等多个方向,从健康、饮食搭配角度,开发研究出品种和口味更丰富的小龙虾预制菜产品。

包装是保障产品安全、维持产品品质的重要手段。预制小龙虾目前采用的包装技术主要为真空包装技术、气调包装技术2种。随着纳米纤维素基抗菌复合材料、活性包装材质、可循环利用的复合共挤材质及抗菌包装等技术的不断发展,未来可能有更多的新型包装技术用于小龙虾预制菜,从包装角度保障小龙虾预制菜的食品安全,实现保鲜锁鲜。

小龙虾预制食品迭代升级涉及产业链的诸多环节。小龙虾产业中养殖模式优化,加工工艺和装备升级,加工标准体系建设都是小龙虾产业发展的重要环节。通过对产业链中原料养殖、预制加工、产品贮藏3个与小龙虾预制食品安全和品质息息相关的环节进行总结分析,得出原料养殖中,养殖环境、养殖模式以及饲料投喂,从原料端影响了高品质小龙虾预制食品的产出;预制加工中,清洗、脱壳、烹饪、包装以及灭菌条件各环节,从工艺技术端调控影响着小龙虾预制食品产品品质;产品贮藏中,贮藏温度、贮藏时间及保鲜剂的应用等,从保藏流通端影响着小龙虾预制食品安全与品质。

小龙虾预制食品的安全和品质的提升,需要从产

业链的各主要环节着手,从原料端、工艺技术端、包装技术端和保藏流通端综合进行研发调控,最终实现产品在安全和品质上的突破。

参考文献:

- [1] 高晓光,吕蒙,臧芳波,等.小龙虾加工与保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2021,21(12):126-131.
GAO Xiao-guang, LYU Meng, ZANG Fang-bo, et al. Research Progress of Crayfish Processing and Preservation Technology[J]. Storage and Process, 2021, 21(12): 126-131.
- [2] 于秀娟,郝向举,党子乔,等.中国小龙虾产业发展报告(2022)[J].中国水产,2022,559(6):47-54.
YU Xiu-juan, HAO Xiang-ju, DANG Zi-qiao, et al. Report on Development of Crayfish Industry in China (2022)[J]. China Fisheries, 2022, 559(6):47-54.
- [3] 黄燕燕,梁艳彤,陆云慧,等.水产品预制菜行业发展现状[J].现代食品科技,2023,39(2):81-87.
HUANG Yan-yan, LIANG Yan-tong, LU Yun-hui, et al. Development Status of the Pre-Prepared Aquatic Food Industry[J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(2): 81-87.
- [4] 邓衍军,陈宇,杨国栋.广东省预制菜产业发展现状分析[J].现代农业装备,2022,43(6):16-19.
DENG Yan-jun, CHEN Yu, YANG Guo-dong. Analysis on the Current Situation of Prefabricated Vegetable Industry in Guangdong Province[J]. Modern Agricultural Equipments, 2022, 43(6): 16-19.
- [5] 看鉴社,周天翔.预制菜行业:布局起点,赢在终点[J].人力资源,2022(5):32-35.
KAN Jian-she, ZHOU Tian-xiang. Prefabricated Vegetable Industry: Starting Point of Layout, Second Class of Guangdong[J]. Human Resources, 2022(5): 32-35.
- [6] 贾丽娟,王广军,夏耘,等.不同地区稻田养殖小龙虾生理代谢、肌肉品质及营养价值比较[J].甘肃农业大学学报,2022,57(1):188-197.
JIA Li-juan, WANG Guang-jun, XIA Yun, et al. Comparison of Physiological Metabolism, muscle Quality and Nutritional Value of *Procambarus Clarkii* Cultivated in Paddy Fields in Different Areas[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2022, 57(1): 188-197.
- [7] 徐晨,葛庆丰,诸永志,等.不同地区小龙虾营养价值和品质的比较研究[J].肉类研究,2019,33(8):7-11.
XU Chen, GE Qing-feng, ZHU Yong-zhi, et al. Comparative Analysis of Nutritional Value and Quality of Crayfish from Different Areas of China[J]. Meat Research, 2019, 33(8):7-11.
- [8] ZHOU Meng-ying, WU Qing-qing, WU Hao, et al. Enrichment of Trace Elements in Red Swamp Crayfish: Influences of Region and Production Method, and Human Health Risk Assessment[J]. Aquaculture, 2021, 535: 736366.
- [9] 程小飞,宋锐,向劲,等.不同养殖模式和野生克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J].现代食品科技,2021,37(4):87-95.
CHENG Xiao-fei, SONG Rui, XIANG Jin, et al. Analysis and Evaluation of Different Farming Modes and Nutrient Composition of Wild Crawfish (*Procambarus Clarkii*) Muscle[J]. Modern Food Science & Technology, 2021, 37(4): 87-95.
- [10] 周剑,赵仲孟,黄志鹏,等.池塘和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝脏营养成分比较[J].渔业科学进展,2021,42(2):162-169.
ZHOU Jian, ZHAO Zhong-meng, HUANG Zhi-peng, et al. Comparison of Nutrient Components in Muscles and Hepatopancreas of Pond-and Paddy Field-Cultured *Procambarus Clarkii*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 162-169.
- [11] 陈健,李良玉,杨壮志,等.池塘及稻田养殖克氏原螯虾肌肉成分与营养品质比较分析[J].中国饲料,2020(13):79-84.
CHEN Jian, LI Liang-yu, YANG Zhuang-zhi, et al. Comparison of Muscle Compositions and Nutritional Quality in Muscle of *Procambarus Clarkii* Cultured in Paddy Field and Pool[J]. China Feed, 2020(13): 79-84.
- [12] 佚名.中国小龙虾产业发展报告(2021)[J].中国水产,2021(7):47-54.
Anon. Report on Development of Crayfish Industry in China (2021)[J]. China Fisheries, 2021(7): 47-54.
- [13] 惠文杰,蔡明浪,王爱民,等.不同投饲频率对克氏原螯虾含肉率及生长性能的影响[J].中国饲料,2020(23):77-80.
HUI Wen-jie, CAI Ming-lang, WANG Ai-min, et al. Effects of Feeding Frequency on Meat Content and Growth Performance of *Procambarus Clarkii*[J]. China Feed, 2020(23): 77-80.
- [14] 刘顺.小龙虾养殖技术[J].乡村科技,2020,11(32):115-116.
LIU Shun. Crayfish Farming Technology[J]. Rural

- Science and Technology, 2020, 11(32): 115-116.
- [15] XU Xiao-di, SUN Cun-xin, LIU Bo, et al. Flesh Flavor of Red Swamp Crayfish (*Procambarus Clarkii* Girard, 1852) Processing by GS-IMS and Electronic Tongue is Changed by Dietary Animal and Plant Protein[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131453.
- [16] 孟晶, 王中霞, 汪海卫. 日粮脂肪水平对克氏原螯虾的生长、体组成及脂肪酸组成的影响[J]. 水产养殖, 2016, 37(7): 19-26.
- MENG Jing, WANG Zhong-xia, WANG Hai-wei. The Effects of Dietary Lipid Levels on the Growth, Body Composition and Fatty Acid Composition of *Procambarus Clarkii*[J]. Journal of Aquaculture, 2016, 37(7): 19-26.
- [17] 张家宏, 王守红, 寇祥明, 等. 饲料中蛋白质和脂肪水平对克氏原螯虾生长的影响研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(8): 88-93.
- ZHANG Jia-hong, WANG Shou-hong, KOU Xiang-ming, et al. Study on Effect of Dietary Protein and Lipid Levels on Growth of *Procambarus Clarkii*[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(8): 88-93.
- [18] LI Shuai-bo, YANG Zhi-gang, TIAN Hong-yan, et al. Effects of Dietary Carbohydrate-to-Lipid Ratios on Growth Performance, Intestinal Digestion, Lipid and Carbohydrate Metabolism of Red Swamp Crayfish (*Procambarus Clarkii*)[J]. Aquaculture Reports, 2022, 24: 101117.
- [19] TAN Q, SONG D, CHEN X, et al. Replacing Fish Meal with Vegetable Protein Sources in Feed for Juvenile Red Swamp Crayfish, *Procambarus Clarkii*: Effects of Amino Acids Supplementation on Growth and Feed Utilization[J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(2): 858-864.
- [20] ZHU Xia, XU Ning, LIU Yong-tao, et al. The Effects of *Agaricus Bisporus* Polysaccharides Enriched Diet on Growth, Nonspecific Immunity and Disease Resistance in Crayfish (*Procambarus Clarkii*)[J]. Aquaculture Reports, 2022, 24: 101168.
- [21] LU Yao-peng, ZHENG Pei-hua, ZHANG Xiu-xia, et al. Effects of Dietary Trehalose on Growth, Trehalose Content, Non-Specific Immunity, Gene Expression and Desiccation Resistance of Juvenile Red Claw Crayfish (*Cherax Quadricarinatus*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2021, 119: 524-532.
- [22] SHEHATA A I, WANG Tao, WANG Jian-feng, et al. Effect of Feed Additives in the Diet on the Growth and Testicular Development of Male Red Claw Crayfish (*Cherax Quadricarinatus*) Using Orthogonal Experiments[J]. Animal Feed Science and Technology, 2022, 283: 115180.
- [23] WANG Lan, SHI Liu, JIAO Chun-hai, et al. Effect of Ultrasound Combined with Ozone Water Pretreatment on the Bacterial Communities and the Physicochemical Properties of Red Swamp Crayfish Meat (*Procambarus Clarkii*)[J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(10): 1778-1790.
- [24] YE Tao, ZHU Ya-jun, WANG Yun, et al. Effect of High Pressure Shucking on the Gel Properties and *in Vitro* Digestibility of Myofibrillar Proteins from Red Swamp Crayfish (*Procambarus Clarkii*)[J]. LWT, 2022, 156: 113020.
- [25] 汪兰, 何建军, 贾喜午, 等. 超高压增压次数对小龙虾脱壳及虾仁品质影响的研究[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 49-52.
- WANG Lan, HE Jian-jun, JIA Xi-wu, et al. Effect of Number of Pressurization on Shucking of Red Swamp Crayfish and Properties of Shrimp Meat[J]. The Food Industry, 2017, 38(5): 49-52.
- [26] 叶韬, 陈志娜, 吴盈盈, 等. 超高压对鲜活小龙虾脱壳效率、肌原纤维蛋白和蒸煮特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 149-156.
- YE Tao, CHEN Zhi-na, WU Ying-ying, et al. Impact of High Pressure Processing on the Shelling Efficacy, Myofibrillar Protein, and Cooking Characteristics of Fresh Crayfish[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(1): 149-156.
- [27] 薛雷, 许学勤, 姜启兴, 等. 热烫工艺对冻煮小龙虾产品品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(5): 119-123.
- XUE Lei, XU Xue-qin, JIANG Qi-xing, et al. Effect of Blanching Process on Frozen Cooked Crayfish[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(5): 119-123.
- [28] 石钢鹏, 周俊鹏, 章蔚, 等. 超高压与热烫预处理对克氏原螯虾肉冻藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 288-296.
- SHI Gang-peng, ZHOU Jun-peng, ZHANG Wei, et al. Effect of Ultra-High Pressure and Blanching Pretreatment on the Quality of Frozen *Procambarus Clarkii* Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 288-296.

- [29] 董志俭, 孙丽平, 张焕新, 等. 盐煮对小龙虾感官和理化品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(18): 104-107.
DONG Zhi-jian, SUN Li-ping, ZHANG Huan-xin, et al. Effect of Salt Boiling on the Sensory and Physical and Chemical Quality of Crayfish[J]. Food Research and Development, 2017, 38(18): 104-107.
- [30] 郭力, 过世东, 刘海英. 盐煮和微波加热对即食龙虾质构的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(3): 376-380.
GUO Li, GUO Shi-dong, LIU Hai-ying. Effect of Microwave Heating and Salt Cooking on Texture of Ready-to-Eat Product of Crayfish[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(3): 376-380.
- [31] 沙小梅, 蒋文丽, 李鑫, 等. 不同烹饪方式小龙虾的风味特征分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031877>.
SHA Xiao-mei, JIANG Wen-li, LI Xin, et al. Analysis of Flavor Characteristics of *Procambarus Clarkii* in Different Cooking Methods[J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1-11. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031877>.
- [32] 李新, 汪兰, 乔宇, 等. 油炸过程中淡水小龙虾理化性质与品质变化[J]. 肉类研究, 2021, 35(9): 1-6.
LI Xin, WANG Lan, QIAO Yu, et al. Changes in Physicochemical Properties and Quality Attributes of Freshwater Crayfish during Deep-Fat Frying[J]. Meat Research, 2021, 35(9): 1-6.
- [33] 董鑫磊, 易靓, 董诗瑜, 等. 克氏原螯虾尾油炸过程中品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 80-86.
DONG Xin-lei, YI Liang, DONG Shi-yu, et al. Quality Change of Crayfish (*Procambarus Clarkii*) Tail during Frying[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 80-86.
- [34] 杨海琦, 陈季旺, 楚天奇, 等. 油炸工艺对即食小龙虾品质的影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2020, 39(6): 9-16.
YANG Hai-qi, CHEN Ji-wang, CHU Tian-qi, et al. Effect of Frying Process on Quality Attributes of Ready-to-Eat Crayfish[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2020, 39(6): 9-16.
- [35] 范海龙, 朱华平, 范大明, 等. 微波加热对小龙虾品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 8-16.
FAN Hai-long, ZHU Hua-ping, FAN Da-ming, et al. Effects of Microwave Heating on the Quality of Crayfish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(18): 8-16.
- [36] 佚名. 预制菜爆火, 包材技术应用获得机遇[J]. 中国包装, 2022, 42(2): 34.
Anon. Prepared Dishes Explode, Packaging Technology Applications Gain Opportunities[J]. China Packaging, 2022, 42(2): 34.
- [37] 李肖婵, 林琳, 郑静静, 等. 不同复合包装材料对即食小龙虾品质的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 118-124.
LI Xiao-chan, LIN Lin, ZHENG Jing-jing, et al. Effect of Different Compound Packaging Materials on the Quality of Ready-to-Eat Crayfish[J]. China Condiment, 2020, 45(3): 118-124.
- [38] CHEN Gong, XIONG Y L. Shelf-Stability Enhancement of Precooked Red Claw Crayfish (*Cherax Quadricarinatus*) Tails by Modified CO₂/O₂/N₂ Gas Packaging[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(8): 1431-1436.
- [39] 郑煜飞, 陈季旺, 楚天奇, 等. 杀菌工艺对即食小龙虾品质的影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(4): 1-7.
ZHENG Yu-fei, CHEN Ji-wang, CHU Tian-qi, et al. Effect of Sterilization Process on Quality Attributes of Ready-to-Eat Crayfish[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2021, 40(4): 1-7.
- [40] 葛孟甜, 李正荣, 赖年悦, 等. 两种杀菌方式对即食小龙虾理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. 渔业现代化, 2018, 45(3): 66-74.
GE Meng-tian, LI Zheng-rong, LAI Nian-yue, et al. Effects of the Two Sterilization Methods on Physicochemical Properties and Volatile Flavor Compounds of Ready-to-Eat *Procambarus Clarkii*[J]. Fishery Modernization, 2018, 45(3): 66-74.
- [41] 李新, 熊光权, 廖涛, 等. 小龙虾肉辐照后理化指标与蛋白质性质分析[J]. 核农学报, 2016, 30(10): 1941-1946.
LI Xin, XIONG Guang-quan, LIAO Tao, et al. Analysis of Physicochemical Characteristics and Protein Properties in Irradiated Crayfish[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(10): 1941-1946.
- [42] 潘志海, 郭长凯, 栾东磊. 即食小龙虾的微波杀菌工艺研究及品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 221-230.
PAN Zhi-hai, GUO Chang-kai, LUAN Dong-lei. Study

- on Microwave Sterilization Process and Quality Evaluation of Instant Crayfish (*Procambarus Clarkii*)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(21): 221-230.
- [43] 赵立, 陈军, 郭振, 等. 冷冻处理的熟制虾肉在保鲜条件下的货架期[J]. *食品科技*, 2012(4): 128-133.
ZHAO Li, CHEN Jun, GUO Zhen, et al. Shelf Life of Cooked Crayfish Meat Treated with Freezing under Keeping-Fresh Storage[J]. *Food Science and Technology*, 2012(4): 128-133.
- [44] 吴晨燕, 王晓艳, 王洋, 等. 熟制麻辣小龙虾冷藏和冻藏条件下的品质变化[J]. *肉类研究*, 2018, 32(5): 52-56.
WU Chen-yan, WANG Xiao-yan, WANG Yang, et al. Quality Change of Cooked Spicy Crayfish during Refrigerated and Frozen Storage[J]. *Meat Research*, 2018, 32(5): 52-56.
- [45] 周结礼. 小龙虾卤制工艺及贮藏方法的研究[D]. 雅安: 四川农业大学: 28-41.
ZHOU Jie-li. Study on Marinating Technology and Storage Method of Crayfish[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University: 28-41.
- [46] YU Mei-juan, TAN Huan, HE Shuang, et al. Characterization of Specific Spoilage Bacteria and Volatile Flavor Compounds of Flavored Crayfish[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2021, 22(3): 42-50.
- [47] 江昕, 何锦风, 王锡昌. 即食龙虾仁制品的研制[J]. *现代食品科技*, 2006, 22(2): 128-131.
JIANG Xin, HE Jin-feng, WANG Xi-chang. Study on Ready-to-Eat Food Derived from Red Swamp Crayfish[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2006, 22(2): 128-131.
- [48] 徐文思, 杨祺福, 秦佳伟, 等. 小龙虾即食休闲食品的研制及品质分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(2): 36-44.
XU Wen-si, YANG Qi-fu, QIN Jia-wei, et al. Development and Quality Analysis of Ready-to-Eat Crayfish Snack[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(2): 36-44.
- [49] 瞿桂香, 钱文霞, 董志俭, 等. 响应面优化即食椒盐小龙虾的加工工艺[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(6): 131-136.
QU Gui-xiang, QIAN Wen-xia, DONG Zhi-jian, et al. Response Surface Optimization of Ready-to-Eat Crayfish with Spiced Salt Processing[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(6): 131-136.
- [50] 周涛, 吴晓营, 罗海波, 等. 贮藏温度对即食小龙虾品质及微生物菌群多样性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(9): 141-146.
ZHOU Tao, WU Xiao-ying, LUO Hai-bo, et al. Analysis of Quality and Colony Diversity of Products of Crayfish under Different Storage Temperatures[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(9): 141-146.
- [51] 陈东清, 汪兰, 熊光权, 等. 电子束辐照对蒸煮小龙虾品质及货架期的影响[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2019, 37(3): 37-43.
CHEN Dong-qing, WANG Lan, XIONG Guang-quan, et al. Effects of Electron-Beam Irradiation on the Quality and Shelf Life of Steamed Crayfish[J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2019, 37(3): 37-43.
- [52] 郑读, 李北平, 熊光权, 等. 辐照对小龙虾常温贮藏品质的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(6): 44-49.
ZHENG Du, LI Bei-ping, XIONG Guang-quan, et al. Effect of Irradiation on Storage Quality of Crayfish at Room Temperature[J]. *Meat Research*, 2021, 35(6): 44-49.
- [53] HAN Ji-ping, SUN Ying-jie, ZHANG Tao, et al. The Preservable Effects of Ultrasound-Assisted Alginate Oligosaccharide Soaking on Cooked Crayfish Subjected to Freeze-Thaw Cycles[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, 92: 106259.
- [54] 刘文浩, 徐晓云, 吴婷, 等. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对气调包装即食小龙虾的保鲜效果研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(8): 12-16.
LIU Wen-hao, XU Xiao-yun, WU Ting, et al. Effect of E-Polylysine Hydrochloride on Preservation of Ready-to-Eat Crayfish by Modified Atmosphere Packaging[J]. *China Condiment*, 2021, 46(8): 12-16.
- [55] 于晓慧, 林琳, 姜绍通, 等. 即食小龙虾复合生物保鲜剂的优选及保鲜效果研究[J]. *肉类工业*, 2017(3): 24-32.
YU Xiao-hui, LIN Lin, JIANG Shao-tong, et al. Study on the Optimization and Preservation Effect of the Compounded Biological Preservatives of Instant Crayfish[J]. *Meat Industry*, 2017(3): 24-32.
- [56] 张泽伟, 吉宏武, 段伟文, 等. 两种灭菌方式对熟制小龙虾冷藏期间品质的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2019, 39(6): 93-100.
ZHANG Ze-wei, JI Hong-wu, DUAN Wei-wen, et al.

- Effect of Two Sterilization Treatment on the Quality of Cooked Crayfish (*Procambarus Clarkii*) Product during Refrigerated Storage[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2019, 39(6): 93-100.
- [57] 孔金花, 温丽敏, 诸永志, 等. 高温熟制杀菌对小龙虾品质及贮藏特性的影响[J]. *肉类研究*, 2022, 36(3): 38-44.
- KONG Jin-hua, WEN Li-min, ZHU Yong-zhi, et al. Effects of Simultaneous High-Temperature Cooking and Sterilization on Quality and Storage Characteristics of Ready-to-Eat Crayfish[J]. *Meat Research*, 2022, 36(3): 38-44.
- [58] 赵立, 陈军, 邵兴锋, 等. 冷冻方式对熟制克氏原螯虾肉冷冻贮藏(-18 °C)条件下品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(10): 232-234.
- ZHAO Li, CHEN Jun, SHAO Xing-feng, et al. Effect of Freezing Methods on the Quality of Cooked *Procambarus Clarkii* Meat under Frozen Storage (-18 °C)[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(10): 232-234.
- [59] 杨海琦, 陈季旺, 徐言, 等. 冻结及冻藏温度对小龙虾蛋白质理化性质的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(4): 254-264.
- YANG Hai-qi, CHEN Ji-wang, XU Yan, et al. Effect of Frozen and Freezing Storage Temperatures on Physico-chemical Properties of Protein from Red Swamp Crayfish[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(4): 254-264.
- [60] SHI Liu, XIONG Guang-quan, DING An-zi, et al. Effects of Freezing Temperature and Frozen Storage on the Biochemical and Physical Properties of *Procambarus Clarkii*[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2018, 91: 223-229.
- [61] 郑静静, 林琳, 张艳凌, 等. 熟制小龙虾冷冻贮藏期间的品质变化研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(5): 1468-1474.
- ZHENG Jing-jing, LIN Lin, ZHANG Yan-ling, et al. Quality Changes of Cooked Crayfish during Frozen Storage[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(5): 1468-1474.

责任编辑: 曾钰婵