

长江中下游小龙虾全产业链食品安全 现状分析

宫智勇*, 刘 言, 王 桥

(武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023)

摘 要: 小龙虾(*Procambarus clarkii*)是近年来兴起的重要淡水经济虾类。“十三五”期间,小龙虾相关产业迅速发展,在整个长江中下游地区形成了完整的产业链。小龙虾产业规模庞大,从田间到餐桌涉及多个环节,因此其食品质量安全问题也逐渐成为社会关注的焦点。本文介绍了小龙虾全产业链食品质量安全的总体状况,围绕养殖、加工、储运、流通等环节中涉及的主要外源风险因子,包括重金属、养殖投入品、微生物的污染现状和存在的健康风险进行总结分析。对于诸如微塑料、全氟化合物和有机磷阻燃剂等新型污染物,总结分析了其在小龙虾中的污染现状及现有的筛查技术。对于内源性危害物,包括小龙虾过敏原和小龙虾与哈夫病的相关研究,也进行了总结,为小龙虾产业的健康发展提供理论依据,促进产业整体质量的不断提升。

关键词: 小龙虾; 食品质量安全; 重金属; 养殖投入品; 微生物; 哈夫病

Analysis of the current situation of food quality and safety in the whole *Procambarus clarkii* industrial chain in the middle and lower reaches of the Yangtze River

GONG Zhi-Yong*, LIU Yan, WANG Qiao

(College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

ABSTRACT: The crayfish (*Procambarus clarkii*) is an important freshwater economic shrimp that has emerged in recent years. During the 13th Five-Year Plan period, the crayfish-related industry developed rapidly, forming a complete industrial chain throughout the middle and lower reaches of the Yangtze River. The crayfish industry is large in scale and involves many links from field to table, so its food quality and safety issues have gradually become a focus of social concern. This paper presented the general situation of food quality and safety in the whole crayfish industry chain, summarized and analyzed the main exogenous risk factors involved in farming, processing, storage and transportation, and distribution, including the current situation of contamination and health risks of heavy metals, farming inputs and microorganisms. For new contaminants such as microplastics, perfluorinated compounds and organophosphorus flame retardants, the current status of their contamination in crayfish and the existing screening techniques were summarized and analyzed. Studies on endogenous hazards, including crayfish allergens and crayfish and Haff disease were also summarized to provide a theoretical basis for

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1606000)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2019YFC1606000)

*通信作者: 宫智勇, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全风险评估及检测分析。E-mail: gongwhqg@163.com

*Corresponding author: GONG Zhi-Yong, Ph.D, Professor, Wuhan Polytechnic University, No.68, Xuefu South Road, Wuhan 430023, China. E-mail: gongwhqg@163.com

the healthy development of the crayfish industry and promote the continuous improvement of the overall quality of the industry.

KEY WORDS: *Procambarus clarkii*; food safety; heavy metal; aquaculture inputs; microorganism; Haff disease

0 引言

小龙虾, 学名克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 原产于美国南部和墨西哥北部, 最早于 20 世纪 30 年代引入中国长江中下游地区^[1]。近年来, 小龙虾因为肉质鲜美、营养丰富而广受消费者欢迎, 成为极具潜力的淡水经济虾类, 相关产业快速发展, 在整个长江中下游流域形成了完整的产业链。截至 2020 年, 全行业产业总产值约为 3448.46 亿元, 其中养殖业约为 748.38 亿元, 加工业约为 480.08 亿元, 餐饮业约为 2220 亿元。全国小龙虾养殖总面积达到 2184.63 万亩, 养殖总产量达到 239.37 万 t^[2], 仅次于鲤鱼、鲫鱼等 5 类大宗淡水鱼, 位列第六。全国共有 23 个市县有小龙虾养殖报告, 绝大部分集中在湖北、安徽、湖南、江苏和江西 5 省, 养殖总产量 218.69 万 t, 占全国小龙虾养殖总产量的 91.36%。各地均根据自身环境特点, 开发不同的养殖模式, 包括稻田养殖、池塘精养、藕虾混养和虾蟹混养等。其中稻田养殖模式占比最大, 养殖面积约为 1892.03 万亩, 养殖产量 206.23 万 t, 分别占小龙虾养殖总面积和养殖总产量的 86.61%和 86.15%^[2]。当前全国拥有小龙虾年加工量 100 t 以上的加工企业 123 家, 总加工量约 88.07 万 t, 总产值约 480.07 亿元。大部分加工企业集中在湖北、安徽、湖南、江苏和江西 5 个主要养殖省份。其中湖北省的产能占据绝大多数, 省内拥有大型加工企业 50 余家, 加工总量超过 60 万 t, 占全国大型加工企业总加工量的 70%^[2]。

小龙虾产业链较长, 在养殖、流通、加工、贮运、出口、餐饮等各个环节中的潜在风险物质种类繁多, 如养殖环境中重金属和持久性有机污染物残留, 养殖投放品如农兽药的残留; 加工、贮运等操作过程中人为添加的化学制剂残留; 全链条各环节均可能产生的有害微生物等。这些风险物质均有可能迁移到产业链终端的餐饮环节, 对人体健康造成潜在威胁。近年来就时有因食用小龙虾而引起横纹肌溶解症^[3-4]及群体性食物中毒的相关报道^[5]。而对于部分风险物质的实际污染现状和迁移规律, 目前尚无结论。因此, 本文根据小龙虾产业现状, 总结分析全产业链主要危害物的污染情况, 为后续针对性建立行之有效的行业规范和标准, 加快推进现代化、信息化建设, 促进产业的规范发展, 以及建立透明的、面向企业、消费者和监管者的高度集成的信息化监管系统, 确立从农田到餐桌的小龙虾食品安全保障体系提供一定的参考。

1 小龙虾全产业链典型外源危害物安全现状分析

1.1 重金属

作为一种底栖动物中的高级消费者, 小龙虾既能通过食物链富集重金属, 又能在重金属胁迫之下生存和繁殖, 对铜、镉、锌、铅、铬等重金属具有很强的富集能力。环境中的重金属主要通过小龙虾的鳃交换或者摄食过程进入体内, 在肝脏、鳃和外骨骼中富集, 使其体内重金属污染物含量高于周围环境中的数值^[6-7]。而长江中下游 5 省部分小龙虾主产区的水体重金属污染形势较为严峻, 个别地区水体、底泥重金属铅、镉和汞等超标可达 150 倍以上^[8]。因此, 小龙虾的重金属污染状况逐步引起了公众和学者的关注。从整个产业链来看, 小龙虾及其相关产品的重金属来源主要来自于受到重金属污染的养殖水体、养殖过程中投放的含有重金属的投入品(饲料、鱼药等)以及加工过程和包装材料中可能存在的重金属迁移 3 个方面。目前已有大量小龙虾中重金属污染状况的研究报道。对于主要产区小龙虾的重金属污染水平, 朱玉芳等^[9]对苏州市 9 个不同地区的小龙虾进行采样检测, 发现 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 检出率分别达到 96.15% 和 50.00%, Cd^{2+} 超标率为 22.22%, 而 Hg^{2+} 未检出残留。张振燕等^[10]对淮安市 5 个不同区县的小龙虾进行检测发现, As^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 检出率为 100%, Cd^{2+} 检出率为 98%, 未发现超标样品, 但个别地区 Pb^{2+} 含量临近警戒范围。田津津等^[11]对常德、益阳和岳阳等地小龙虾进行采样分析, 发现 Pb^{2+} 含量超标率达到 63.00%, 且样品含量与养殖水环境 Pb^{2+} 存在明显的相关性。王华全等^[12]在对湖北省 37 个出口淡水小龙虾养殖基地的小龙虾样品进行检测分析之后发现, 基地内小龙虾样品体内 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 、 As^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{2+} 含量均低于我国及其他国家和组织的最大允许残留量, 平均残留处于较低水平, 对人体健康造成危害的可能性不大。

在调查分析整虾中重金属含量之外, 也有对于重金属在小龙虾体内分布的研究。GEDIK 等^[13]研究了砷(As)和其他金属元素(镉、铅)在小龙虾体内的分布情况, 发现砷在不同组织中的蓄积情况差异较大, 但主要在鳃和肝脏脏积累, 可食用的虾尾肌肉组织中砷的平均含量在较低的安全范围内。ZHOU 等^[14]采集了国内多个地区的养殖和野生小龙虾, 通过多元素分析后发现小龙虾体内重金属元素主要分布在脏器、外骨骼和肌肉中, 且总体含量为脏器 > 外

骨骼>肌肉。周立志等^[15]调查了3种重金属在小龙虾体内的富集特征,发现 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 在小龙虾体内的不同器官和组织中富集程度不同,在几丁质外骨骼和肝脏中富集的浓度高于可食用的虾尾肌肉中,几丁质外骨骼中的 Pb^{2+} 高出肌肉10倍以上。总体来看,全国大部分地区小龙虾体内重金属含量均满足无公害水产品的质量安全标准,尤其可食用肌肉部分残留量较低,对人体健康产生危害的风险不大,但受不同地区水体和土壤中重金属含量差异的影响,其含量存在一定差异。此外,根据部分地区的研究结果显示^[16-17],不同年龄段人群小龙虾食用量的差异较大,对于食用小龙虾量较高的未成年人和青年人,长期食用增加膳食重金属摄入的风险仍然不容忽视。

1.2 养殖投入品

小龙虾在养殖过程中,需要使用大量养殖投入品,而部分养殖投入品中危险因子会残留在小龙虾中,在一定程度上增加了食品安全风险。在养殖过程中,小龙虾会因水质、气候、养殖密度等问题而发生疾病,如白斑综合征、烂壳病和黑鳃病等,大多数情况下使用生石灰、漂白粉和二氧化氯等物质进行防治即可,部分地区也会根据自身情况适当添加调水剂、底质改良剂、微生态制剂、维生素和保肝剂进行辅助。但有调查显示,部分地区的小龙虾样品中检出了恩诺沙星、氟苯尼考、土霉素等限用药品,说明存在药品违规使用的情况^[18]。虾稻养殖是目前最为主要的小龙虾养殖模式,在此模式下,会使用少量的农药来保障水稻正常生长。小龙虾对有机磷农药和菊酯类农药较为敏感,近年来虾稻模式的养殖户开始选择对小龙虾毒性较低的氯虫苯甲酰胺、噻虫嗪及烯啶虫胺等农药进行替代。这几种农药在自然环境和小龙虾体内代谢速率较快,小龙虾体内残留量处于较低水平,整体上不存在安全风险^[18]。部分地区的小龙虾样品中林丹和呋喃丹的残留量将导致消费者在正常消费量的情况下,对林丹和呋喃丹的暴露量超出每日允许摄入量,需要引起一定的重视^[19]。

大部分小龙虾池塘都会种植一定量水草来为小龙虾提供有利的栖息环境。种植得比较多的是伊乐藻(*Elodea canadensis* Michx)和轮叶黑藻(*Hydrillaverticillata*)两种藻类。在培育水草的过程中往往需要杀灭线虫和防治青苔蔓延,养殖户主要使用阿维菌素来杀灭线虫,使用“青苔净”等药物清除青苔。对于上述两种物质,目前主要的研究集中在如何有效使用及对小龙虾的毒性研究之上,而对于其在小龙虾中蓄积及暴露情况,少有文献进行报道^[20]。小龙虾属于杂食性生物,食量较大,池塘中有机碎屑、腐殖质、水草、浮萍、水蚯蚓、螺蛳、河蚌和水生昆虫等难以满足生长需求,需要补充一定量的人工饵料。目前小龙虾饲料生产厂家较多,品牌繁杂。从小龙虾抽样检测的情况看,

大多数厂家生产的饲料并没有添加违禁药物,但是,部分饲料中检出了一些限用药物的成分,例如磺胺类药物、喹诺酮类和阿维菌素等^[21]。

相对于其他水产品,小龙虾养殖环节涉及到的投入品种类过多,质量参差不齐,给后期监管带来了一定的压力。相当一部分投入品为了逃避行业监管,使用模糊的标识,看似可以归为非药品,但其实包含药品成分。对于此种乱象,需要进一步对投入品中的风险物质进行全面筛查,根据相关结果制定相关政策和标准来加强管理。

1.3 微生物

小龙虾属于甲壳类生物,与大闸蟹类似,自身微生物污染较为严重,在运输、储存过程中极易腐败变质^[22-23]。目前,已有报道在生鲜小龙虾携带有副溶血性弧菌^[5]、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌等致病菌,微生物污染已成为加工和贮运过程中最为主要的风险因子。张生元等^[24]在濒死克氏原螯虾中检测出布氏柠檬酸杆菌。江杨阳等^[25]对4℃冷藏条件下小龙虾进行研究,发现希瓦氏菌、肉食杆菌、环丝菌属、嗜冷菌属、漫游球菌属、不动杆菌属、气单胞菌和束毛球菌属为该条件下小龙虾的优势腐败菌。而在加工小龙虾之中,周涛等^[26]通过高通量测序技术发现,即食小龙虾菌群的物种多样性随贮藏时间的延长而逐渐降低,海洋杆菌属(81.522%)和希瓦氏菌属(3.625%)为4℃贮藏末期优势菌群,哈撒韦氏菌属(78.700%)、芽孢杆菌属(12.380%)和狭义梭菌属(8.707%)则是25℃贮藏末期优势菌群,相关产品在4和25℃条件下的货架期分别为35和6d。

针对上述微生物风险因子,目前在小龙虾加工与流通过程中食品安全与品质控制相关领域已经开展了相关的研究。对于生鲜小龙虾,可以通过改良清洗技术,提高虾体的洁净度的方法,降低整虾微生物含量^[27]。对于冻藏小龙虾,主要通过延缓小龙虾内部成分的分解变质、微生物的生长繁殖和降低酶活性进行。如庞杰等^[28]对小龙虾用魔芋-葡甘露聚糖处理后,添加有较好保鲜性能的复合保鲜剂喷雾保鲜,可以有效延长小龙虾货架期。李睿等^[29]发明一种小龙虾复合保鲜剂及小龙虾保鲜处理方法,可有效抑制微生物生长,降低挥发性盐基氮的生成量,延长小龙虾产品货架期。李新建^[30]采用壳聚糖、海藻酸钠分别与甘油、抗坏血酸、茶多酚、氯化钙等天然无毒无害材料制成两种复合涂膜,对小龙虾虾仁分别进行涂膜处理时,发现可食性涂膜保鲜能显著降低蒸煮损失率、解冻过程中的汁液流失率、干耗率和细菌总数。针对即食小龙虾,于晓慧等^[31]基于脱氢乙酸钠、山梨酸钾、ε-聚赖氨酸复配产生新型保鲜剂,可有效减缓小龙虾产品感官品质的下降,抑制微生物数量、挥发性盐基氮含量、K、pH、硫代巴比妥酸反应物值等指标的变化。李肖婵等^[32]采用4种不同复合包装袋对30℃贮藏温度下即食小龙虾(110℃

反压杀菌 20 min)进行对比研究发现, 4 种包装袋中使用铝箔复合包装袋(聚对苯二甲酸类塑料/铝箔/尼龙/未拉伸聚丙烯薄膜)能得到较高的产品品质和较长的货架期。此外, 使用热蒸汽杀菌、超高压杀菌和辐照杀菌等技术, 同样可以有效降低小龙虾产品的菌落总数, 提高其食用安全性^[33-37]。

1.4 新型污染物

新型污染物是指“新的”或“新发现的”不受管制的污染物, 主要包括一些被人类大量使用、在环境中广泛存在的产物, 例如全氟化合物、各种新型阻燃剂和微塑料等^[38]。环境水体中的新型污染物是水产品中新兴污染物的主要来源^[39-40]。部分残留的新型污染物会随着食物链在水产品中蓄积, 构成一定的威胁, 甚至威胁人类健康^[41-42]。与传统风险物质相比, 新型污染物浓度较低, 部分污染物浓度分布从几纳克每升到几百纳克每升不等^[43-44], 但其潜在毒性通常被人们所忽略, 由于持久排放, 这种影响是长远且不容忽视的^[45]。目前在水产品中已经发现的新型污染物主要有全氟化合物(perfluorinated compounds, PFCs)、有机磷阻燃剂和微塑料几类。全氟化合物广泛用于纺织、造纸、包装、农药和消防等工业和民用领域, 但已有研究发现其具有持续性、生物积累毒性^[46], 而水产品就是全氟化合物的主要摄入来源^[47]。虽然目前尚无小龙虾中全氟化合物的报道, 但在长江流域的黄鳝体内, 已有发现全氟化合物的报道^[47]。因此对于长江中下游小龙虾体内全氟化合物的暴露情况, 需要引起足够重视。有机磷酸酯(organophosphate esters, OPEs)主要作为溴代阻燃剂的替代品被广泛生产和使用。有机磷酸酯较易释放到各种环境介质中, 并通过饮食摄入、呼吸吸入、皮肤接触等方式进入人体, 造成潜在健康风险^[48]。目前已经发现有机磷酸酯能够在植物和动物中蓄积^[48], 对于长江中下游小龙虾中的蓄积情况, 需要进一步进行研究。微塑料一般指直径小于 5 mm 的塑料碎片、纤维或者颗粒。微塑料会在食物链中进行蓄积, 并对生物体造成较大的危害^[49-50]。ZHANG 等^[51]调查了湖北省监利县池塘和稻田小龙虾样品中微塑料的分布, 发现两种模式的小龙虾的胃和内脏中均发现了微塑料积累。大多数微塑料颗粒具有纤维状的形状, 蓝色和透明的颜色, 尺寸小于 1 mm, 初步判定为聚乙烯。初步研究发现环境中的微塑料可以在小龙虾的内部组织中积累, 在没有去除鳃、胃和内脏的情况下, 通过食用小龙虾食物可能对人类构成潜在的风险。

一般而言, 在了解新型污染物的类别之后, 可以通过靶向筛查的方式来进行识别。但靶向筛查的缺点也十分明显, 即必须知晓污染物的类别, 根据其化学特性采取针对性的提取方式进行识别, 通用性较差。近年来, 新兴的基于高分辨率质谱法的非靶向筛查技术, 无需购买众多参考标准品, 即可实现复杂混合物中未知化合物的识别, 有较

好的应用前景^[52]。非靶向筛查技术最显著的一个优点就是可以进行无偏检测。只要选择适当的色谱条件和电离方法, 通过常规手段进行预处理和提取之后就能够对所有能够提取的化合物进行有效识别^[53]。小龙虾产业养殖地域广大, 加工产业链较长, 其中必然包含种类繁多、化学性质复杂的新型污染物, 大量相关的非靶向筛查技术工作还有待展开。如何优化非靶向识别流程, 减少非靶向识别的工作量, 识别出小龙虾中更多值得高度关注的新型污染物, 为小龙虾的食品安全风险防控提高理论依据将是今后工作的重点内容。

2 小龙虾内源性危害物研究现状分析

2.1 小龙虾过敏原

小龙虾的内源性危害物主要是各类过敏源, 近年来因食用小龙虾过敏导致的食品安全事件层出不穷。张松成^[54]对郑州市 116 例婴幼儿哮喘患儿的研究中发现, 3.45% 的患者对虾过敏率。韩秀华等^[55]对泰安市 2047 例慢性荨麻疹病人进行的过敏原分析结果中显示, 虾过敏阳性率达 49.7%。研究发现, 食用小龙虾之后有可能激发体内的 I 型超敏反应, 刺激细胞释放出组胺、5-羟色胺等生物活性物质, 诱导皮肤、胃肠道或者口腔产生过敏症状^[56]。目前已发现并且鉴定的克氏原螯虾过敏原物质主要有原肌球蛋白(tropomyosin)、精氨酸激酶(arginine kinase)、磷酸丙糖异构酶(triose-phosphate isomerase)和血蓝蛋白亚基(hemocyanin subunits)^[57]。其中, 原肌球蛋白是广泛存在于脊椎和无脊椎动物中的一类同源蛋白, 易海涛等^[58]通过对克氏原螯虾原肌球蛋白变应原的一个片段区基因进行了表达、纯化及免疫原性鉴定, 发现该蛋白可与食用克氏原螯虾过敏患者混合血清中的 IgE 结合, 产生免疫反应性。精氨酸激酶是一种调节能量代谢的酶, 主要存在于无脊椎动物之中。CHEN 等^[59]采用硫酸铵盐析和 Q-Sepharose 柱层析等的方法纯化了小龙虾中的精氨酸激酶, 同时采用点杂交方法对其过敏性进行了验证。结果显示, 经纯化后的精氨酸激酶蛋白能与甲壳类动物过敏患者的血清发生特异性反应, 从而说明精氨酸激酶是小龙虾中的致敏物质。磷酸丙糖异构酶是生物体中存在的重要的酶, 在能量转换中可以催化丙糖磷酸异构体构型的变化。张永霞^[60]通过硫酸铵盐析和柱层析的方法, 从肌浆中提取纯化目的蛋白, 并利用质谱技术鉴定了蛋白质, 通过利用过敏患者血清进行斑点杂交(dot blot)反应, 确定了该纯化蛋白的致敏性, 从而得出该酶是克氏原螯虾中的变应原蛋白。血蓝蛋白是一类存在于节肢动物和软体动物中的多功能蛋白, 主要在能量转换、渗透压维持及动物蜕皮等生理过程中发挥作用。陈亨莉^[61]在酶联免疫吸附试验中发现, 甲壳类动物过敏患者血清

与克氏原螯虾血淋巴发生了特异性免疫球蛋白 E (immunoglobulin E, IgE) 反应, 利用离心和柱层析方法从血淋巴中得到分离纯化的血蓝蛋白, 后续免疫印迹试验结果进一步显示, 该蛋白具有 IgE 结合活性, 提示血蓝蛋白是小龙虾的 1 种新型过敏原。

目前针对小龙虾过敏原的鉴定已经取得较大的进展, 后续的研究将进一步围绕提纯小龙虾过敏原, 探索其致敏的生物机制, 同时积极寻找消除过敏源的有效方法, 对患者的免疫治疗提供有效的帮助。

2.2 哈夫病致病因子

哈夫病(Haff disease)是在食用水产品 24 h 内发生的不明原因横纹肌溶解综合征(rhabdomyolysis syndrome), 引起横纹肌急性损伤, 肌纤维细胞破裂和坏死后释放大量的肌红蛋白(myoglobin, MG)、肌酸激酶(creatine Kinase, CK)、肌酸激酶同工酶(creatine kinase MB, CK-MB)和乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)等内容物进入血液造成的临床综合征^[62]。国外哈夫病的发生多与食用水牛鱼、鳗鱼、淡水鱼和小龙虾等水产品密切相关^[63-65]。小龙虾是我国常见的哈夫病相关食品, 小龙虾引发的爆发性哈夫病多发生在小龙虾产销地区, 包括江苏省、湖北省、安徽省、湖南省等长江中下游地区。2016 年江苏省报道了 197 例因食用小龙虾致横纹肌溶解症病例^[66], 同年安徽省也呈现哈夫病爆发, 病例均食用小龙虾^[67]。刘伟等^[68]对湖北武汉 76 例小龙虾相关横纹肌溶解综合征病例进行了临床分析, 发现 CK、MG 和谷草转氨酶异常升高的患者比例超过 90%。整体来看, 食用小龙虾后致横纹肌溶解症的发病几率较小, 女性患者比男性患者多, 发病人群主要为成人。多数患者发病前食用了 10 只以上的小龙虾, 少部分患者就餐时有饮酒, 初步判断食用量多少与病例相关^[69], 但与其横纹肌溶解综合征的严重程度可能不相关。

获得性横纹肌溶血综合征病因包括酗酒、过量运动、肌肉挤压、药物毒物(如他汀类药物、海洛因等毒品、毒芹素等天然毒物)和代谢异常(如低钾血症等电解质紊乱)等, 但对哈夫病的致病因子仍不清楚^[70], 大量研究对哈夫病的病因进行了探究。在动物研究中, 对 SD 大鼠的食用小龙虾急性毒性试验未发现毒性作用^[71]。裴佩等^[72]利用他汀类药物和贝特类药物通过联合给药, 在 Wistar 大鼠上获得了横纹肌溶解综合征动物模型。邹璇等^[62]对深圳市 1 例哈夫病病例食用同源的小龙虾头(肝胰腺)和虾尾(虾肉)处理后分别对 SD 大鼠进行灌胃, 24 h 后肝胰腺灌胃大鼠血清中 CK、CK-MB 和 LDH 含量均超过对照组 2 倍, 48 h 后虾肉灌胃大鼠血清指标超过对照组 2 倍。美国食品及药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)对可疑小龙虾样品进行了重金属、农药、除草剂、养殖

水及海洋毒素的检测, 结果均为阴性^[73]。有研究提出哈夫病致病因子可能与一种未知毒素有关, 根据国内外文献报道及临床和流行病学研究可推断该种毒物具有毒性强、水溶性差、热稳定性强、毒作用具有靶向性和小龙虾对其具有自身免疫性等特点^[74]。尽管有不少相关研究提出多种假设, 但现在小龙虾影响人体横纹肌溶解的主要病因仍待进一步探究, 这也是当前小龙虾食品安全相关研究的一个重要课题。

3 结束语

小龙虾产业是水产行业中一颗冉冉升起的新星, 相关产业链飞速发展。在带来了巨大经济效益的同时, 更是实现了“一水两用、一田双收、稳粮增效、粮渔双赢”, 极大地拓展了水产行业的发展空间, 推动了大农业转型升级、提质增效, 保障了粮食安全、食品安全和生态安全。但也应当看到, 由于其庞大的产业规模, 较多的产业环节, 小龙虾行业仍存在一定的食品质量安全风险。目前针对小龙虾产业的传统风险物质的研究已较为透彻, 在后续研究中, 仍需加强对新型风险物质的筛查工作和对内生性危害物, 尤其是哈夫病致病机制的研究工作。对于新型风险物质, 可以充分运用非靶向筛查技术, 进一步筛查小龙虾全链条中的新型污染物, 确定其整体暴露水平和生物代谢途径。对于食用小龙虾引起的哈夫病, 后续可从蛋白组学的角度, 研究并筛选与小龙虾相关的哈夫病特异蛋白, 通过动物试验寻找可能的致病机制或受体通路。从监管的角度来看, 需要根据现有的研究结果, 制定相关标准, 加强小龙虾质量安全监管力度, 建立小龙虾养殖可追溯体系, 加强投入品管理, 严禁使用违禁药品。在小龙虾养殖的水域建立环境监控网络, 采取有效措施避免养殖水域污染。参考国内外相关行业的经验, 建立质量安全管理数据库和信息管理系统, 推行小龙虾质量安全可追溯制度。以大数据和“互联网+”为抓手, 推进小龙虾食品安全突发事件预警机制, 保证小龙虾终端产品的食品质量安全。

参考文献

- [1] OFICIALDEGUI FJ, SANCHEZ MI, CLAVERO M, *et al.* One century away from home: how the red swamp crayfish took over the world [J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2020, 30: 121-125.
- [2] 中国小龙虾产业发展报告(2021)[J]. 中国水产, 2021, (7): 27-33. Chinese crayfish industry development report (2021) [J]. *China Fish*, 2021, (7): 27-33.
- [3] FENG G, LUO QC, ZHUANG P, *et al.* Haff disease complicated by multiple organ failure after crayfish consumption: A case study [J]. *Revist Brasil Terap Intens*, 2014, 26(4): 407-409.
- [4] 林虹, 陈梁发, 谭伟煌, 等. 广州市白云区小龙虾相关横纹肌溶解综合

- 征病例流行病学特征及相关影响因素分析[J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32(4): 71–74.
- LIN H, CHEN LF, TAN WX, *et al.* Epidemiological characteristics and influencing factors of crayfish-related rhabdomyolysis syndrome in Baiyun district, Guangzhou City [J]. J Pub Heal Prev, 2021, 32(4): 71–74.
- [5] 孙吉昌, 游兴勇, 刘成伟, 等. 一起由副溶血性弧菌致群体性食物中毒的调查报告[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(1): 89–91.
- SUN JC, YOU XY, LIU CW, *et al.* A case report on mass food poisoning caused by *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Chin J Food Hyg, 2012, 24(1): 89–91.
- [6] PENG FJ, LI JW, GONG ZY. Investigation of bioaccumulation and human health risk assessment of heavy metals in crayfish (*Procambarus clarkii*) farming with a rice-crayfish-based coculture breeding modes [J]. Foods, 2022, 11(3): 261.
- [7] 杨希妍, 杨雅茹, 李帅东, 等. 中国部分地区克氏原螯虾的不同养殖模式及其体内重金属污染情况[J]. 南方农机, 2021, 52(17): 46–49.
- YANG XY, YANG YR, LI SD, *et al.* Different farming patterns of crayfish and their internal heavy metal contamination in some regions of China [J]. China South Agric Mach, 2021, 52(17): 46–49.
- [8] 唐聪, 钱宝, 李炜钦, 等. 洞庭湖区表层沉积物重金属污染特征与风险评价[J]. 人民长江, 2020, 51(6): 49–56, 62.
- TANG C, QIAN B, LI WQ, *et al.* Characteristics and risk assessment of heavy metal pollution in surface sediments of Dongting Lake area [J]. Yangtze River, 2020, 51(6): 49–56, 62.
- [9] 朱玉芳, 崔勇华, 戈志强, 等. 重金属元素在克氏原螯虾体内的生物富集作用[J]. 水利渔业, 2003, 23(1): 11–12.
- ZHU YF, CUI YH, GE ZQ, *et al.* Bioaccumulation of heavy metals in *Procambarus clarkia* [J]. Reservoir Fisher, 2003, 23(1): 11–12.
- [10] 张振燕, 张美琴, 吴光红, 等. 江苏淮安地区克氏原螯虾的重金属污染调查与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(4): 317–321.
- ZHANG ZY, ZHANG MQ, WU GH, *et al.* Survey and assessment of heavy metal pollution of *Procambarus clarkii* in Huai'an area [J]. J Food Saf Qual, 2012, 3(4): 317–321.
- [11] 田津津, 朱玉林. 湖南省克氏原螯虾及其养殖水环境中 Pb 分布情况及相关性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 100–103.
- TIAN JJ, ZHU YL. Distribution and correlation of Pb between *Procambarus clarkii* and aquaculture environment in Hunan Province [J]. Food Mach, 2020, 36(1): 100–103.
- [12] 王华全, 沈伊亮. 湖北出口淡水小龙虾重金属污染监测与分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(9): 2140–2142, 2145.
- WANG HQ, SHEN YL. Monitoring and analysis of heavy metal pollution of Hubei exported cawfish [J]. Hubei Agric Sci, 2014, 53(9): 2140–2142, 2145.
- [13] GEDIK K, KONGCHUM M, DELAUNE RD, *et al.* Distribution of arsenic and other metals in crayfish tissues (*Procambarus clarkii*) under different production practices [J]. Sci Total Environ, 2017, 574: 322–331.
- [14] ZHOU MY, WU QQ, WU H, *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.
- [15] 周立志, 陈春玲, 张磊, 等. 三种重金属在克氏原螯虾体内的富集特征[J]. 生态学杂志, 2008, 27(9): 1498–1502.
- ZHOU LZ, CHEN CL, ZHANG L, *et al.* Enrichment characteristics of three heavy metals in *Procambarus clarkii* [J]. Chin J Ecol, 2008, 27(9): 1498–1502.
- [16] 吴春峰, 刘弘, 方亚敏, 等. 上海市售克氏原螯虾中铅、镉污染及摄入量调查[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(11): 650–652.
- WU CF, LIU H, FANG YM, *et al.* Survey on the content and intake of lead and cadmium in crayfish from market in shanghai [J]. J Environ Occup Med, 2010, 27(11): 650–652.
- [17] 张文, 吴光红, 卢元玲, 等. 江苏地区克氏原螯虾中镉的膳食暴露及风险评估[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 201–206.
- ZHANG W, WU GH, LU YL, *et al.* Dietary exposure and risk assessment of cadmium from crayfish (*Procambarus clarkia*) in Jiangsu Province [J]. Food Sci, 2017, 38(23): 201–206.
- [18] 何力, 喻亚丽, 甘金华, 等. 克氏原螯虾质量安全风险研究与分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(1): 1–12.
- HE L, YU YL, GAN JH, *et al.* Research and analysis on quality and safety risk of *Procambarus clarkii* [J]. Chin Fish Qual Stand, 2020, 10(1): 1–12.
- [19] 刘巧荣, 黄磊, 黎玉林, 等. 稻田养殖水产品农残安全性调查与分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(3): 8–13.
- LIU QR, HUANG L, LI YL, *et al.* Rice-field aquatic product safety investigation and analysis of pesticide residual [J]. Chin Fish Qual Stand, 2013, 3(3): 8–13.
- [20] 周日东, 房如森. 无公害水产品养殖中渔药使用准则与病害预防[J]. 科学养鱼, 2007, (5): 80.
- ZHOU RD, FANG RS. Guidelines for the use of fisheries drugs and disease prevention in pollution-free aquatic products aquaculture [J]. Sci Fish, 2007, (5): 80.
- [21] 邢玉秀. 动物性食品兽药残留的来源、危害与控制措施[J]. 河南农业科学, 2004, (7): 79–80.
- XING YX. The sources, hazards and control measures of veterinary drug residues in animal food [J]. J Henan Agric Sci, 2004, (7): 79–80.
- [22] 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 HQ, LI XY, YANG XS, *et al.* Quality and bacterial phase changes of high-moisture roast shrimp during storage at different temperatures [J]. Food Mach, 2012, 28(2): 165–169.
- [23] 李兵兵, 刘纯成, 侯海燕, 等. 淮安地区小龙虾及其外环境中致病菌分布规律和耐药性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3530–3534.
- LI BB, LIU CC, HOU HY, *et al.* Distributing disciplinarian and drug resistance of pathogenic bacteria in *Procambarus clarkii* and its external environment in Huai'an [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(9): 3530–3534.
- [24] 张生元, 郑瑞珠, 艾桃山, 等. 克氏原螯虾源布氏柠檬酸杆菌的分离鉴

- 定及药敏试验[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 129–131.
- ZHANG SY, ZHENG RZ, AI TS, *et al.* Isolation, identification and drug sensitivity test of *Citrobacter braakii* from *Procambarus clarkii* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(12): 129–131.
- [25] 江杨阳, 杨水兵, 余海霞, 等. 基于培养基法和高通量测序法分析冷藏小龙虾优势腐败菌[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 130–136.
- JIANG YY, YANG SB, YU HX, *et al.* Analysis of specific spoilage organisms in chilled red swamp crayfish using culture-dependent method and high-throughput sequencing [J]. Food Sci, 2019, 40(16): 130–136.
- [26] 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 T, WU XY, LUO HB, *et al.* Analysis of quality and colony diversity of products of crayfish under different storage temperatures [J]. Food Mach, 2019, 35(9): 141–146.
- [27] 李新, 黄建联, 熊光权, 等. 二次超声波清洗小龙虾的方法: 中国, CN109362861B [P]. 2021-01-22.
- LI X, HUANG JL, XIONG GQ, *et al.* Method of secondary ultrasonic cleaning of crayfish: China, CN109362861B [P]. 2021-01-22.
- [28] 庞杰, 陈钰, 董秀萍, 等. 一种抑制虾黑变的保鲜方法: 中国, CN112088931A [P]. 2020-12-18.
- PANG J, CHEN Y, DONG XP, *et al.* A preservation method to inhibit shrimp blackening: China, CN112088931A [P]. 2020-12-18.
- [29] 李睿, 杨俊, 毕旺来, 等. 一种小龙虾复合保鲜剂及小龙虾保鲜处理方法: 中国, CN107624859B [P]. 2021-07-23.
- LI R, YANG J, BI WL, *et al.* A compound preservative for lobster and a fresh-keeping treatment method for lobster: China, CN107624859B [P]. 2021-07-23.
- [30] 李新建. 淡水龙虾虾仁可食性涂膜技术的研究[J]. 肉类研究, 2011, 25(1): 37–39.
- LI XJ. Study on crawfish accounts with edible coatings preservative [J]. Meat Res, 2011, 25(1): 37–39.
- [31] 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 XH, LIN L, JIANG ST, *et al.* Study on the optimization and preservation effect of the compounded biological preservatives of instant crayfish [J]. Meat Ind, 2017, (3): 24–32.
- [32] 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 XC, LIN L, ZHENG JJ, *et al.* Effect of different compound packaging materials on the quality of ready-to-eat crayfish [J]. Chin Cond, 2020, 45(3): 118–124.
- [33] 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 ZW, JI HW, DUAN WW, *et al.* Effect of two sterilization treatment on the quality of cooked crayfish (*Procambarus clarkii*) product during refrigerated storage [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2019, 39(6): 93–100.
- [34] 张泽伟, 段伟文, 陈铭, 等. 过热蒸汽对熟制小龙虾优势腐败菌的杀菌动力学及其机理[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(1): 87–96.
- ZHANG ZW, DUAN WW, CHEN M, *et al.* Inactivation kinetics and mechanisms of dominant spoilage bacteria in cooked crayfish (*Procambarus clarkii*) by superheated steam [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2020, 40(1): 87–96.
- [35] 李肖婵, 林琳, 朱亚军, 等. 巴氏杀菌和超高压杀菌对即食小龙虾货架期的影响[J]. 渔业现代化, 2020, 47(4): 83–88.
- LI XC, LIN L, ZHU YJ, *et al.* Effect of pasteurization and ultra-high pressure sterilization on the shelf life of ready-to-eat *Procambarus clarkii* [J]. Fish Mod, 2020, 47(4): 83–88.
- [36] 周蓓蓓, 陈小雷, 鲍俊杰, 等. 超高压加工工艺对小龙虾仁品质影响的初步研究[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 154–160.
- ZHOU BB, CHEN XL, BAO JJ, *et al.* Primary research on the effect of ultra-high pressure processing technology on the quality of freshwater crawfish tailmeat by response surface methodology [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(6): 154–160.
- [37] 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): 39–45.
- CHEN DQ, WANG L, XIONG GQ, *et al.* Effects of electron-beam irradiation on the quality and shelf life of steamed crayfish [J]. J Radiat Res Radiat Process, 2019, 37(3): 39–45.
- [38] 文湘华, 申博. 新兴污染物水环境保护标准及其实用型去除技术[J]. 环境科学学报, 2018, 38(3): 847–857.
- WEN XH, SHEN B. Water environmental protection standards for emerging pollutants and their practical removal technologies [J]. Acta Sci Circumst, 2018, 38(3): 847–857.
- [39] RATHI BS, KUMAR PS, SHOW PL. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research [J]. J Hazard Mater, 2021, 409: 124413.
- [40] NGUYEN HT, YOON Y, NGO Y, *et al.* The application of microalgae in removing organic micropollutants in wastewater [J]. Crit Rev Env Sci Technol, 2021, 51(12): 1187–1220.
- [41] YANG Y, ZHANG XR, JIANG JY, *et al.* Which micropollutants in water environments deserve more attention globally? [J]. Environ Sci Technol, 2022, 56(1): 13–29.
- [42] STEELE JC, MENG XZ, VENKATESAN AK, *et al.* Comparative meta-analysis of organic contaminants in sewage sludge from the United States and China [J]. Sci Total Environ, 2022, 821(15): 153423.
- [43] PANIERI E, BARALIC K, DJUKIC-COSIC D, *et al.* PFAS molecules: A major concern for the human health and the environment [J]. Toxics, 2022, 10(2): 44.
- [44] HU ZH, YIN LS, WEN XF, *et al.* Organophosphate esters in China: Fate, occurrence, and human exposure [J]. Toxics, 2021, 9(11): 310.
- [45] ZHANG K, ZHAO Y, FENT K. Occurrence and ecotoxicological effects of free, conjugated, and halogenated steroids including 17 α -hydroxypregnanolone and pregnanediol in swiss wastewater and

- surface water [J]. Environ Sci Technol, 2017, 51(11): 6498–6506.
- [46] 杨帆, 施致雄. 全氟辛烷磺酸和全氟辛酸的人群暴露水平和毒性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(8): 730–733.
- YANG F, SHI ZX. Human exposure and toxicity of perfluorooctyl sulfonate and perfluorooctanoic acid: A review of recent studies [J]. J Environ Health, 2014, 31(8): 730–733.
- [47] 周殿芳, 吕磊, 周剑光, 等. 长江流域黄鳝中全氟化合物的残留特征及其来源探讨[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 158–165.
- ZHOU DF, LV L, ZHOU JG, *et al.* Residual characteristics and source of perfluorinated compounds in monopterus albus of the yangtze river [J]. Prog Fish Sci, 2018, 39(5): 158–165.
- [48] ZHANG Q, YAO YM, WANG Y, *et al.* Plant accumulation and transformation of brominated and organophosphate flame retardants: A review [J]. Environ Pollut, 2021, 288: 117742.
- [49] DISSANAYAKE PD, KIM S, SARKAR B, *et al.* Effects of microplastics on the terrestrial environment: A critical review [J]. Environ Res, 2022, 209: 112734.
- [50] YANG HR, DONG H, HUANG YR, *et al.* Interactions of microplastics and main pollutants and environmental behavior in soils [J]. Sci Total Environ, 2022, 821: 153511.
- [51] ZHANG DD, FRASER MA, HUANG W, *et al.* Microplastic pollution in water, sediment, and specific tissues of crayfish (*Procambarus clarkii*) within two different breeding modes in Jianli, Hubei province, China [J]. Environ Pollut, 2021, 272: 115939–115947.
- [52] KRAUSS M, SINGER H, HOLLENDER J. LC-high resolution MS in environmental analysis: From target screening to the identification of unknowns [J]. Anal Bioanal Chem, 2010, 397(3): 943–951.
- [53] HOLLENDER J, SCHYMANSKI EL, SINGER HP, *et al.* Nontarget screening with high resolution mass spectrometry in the environment: Ready to go [J]. Environ Sci Technol, 2017, 51(20): 11505–11512.
- [54] 张松成. 婴幼儿哮喘食物过敏原 sIgE 检测及临床意义[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2013.
- ZHANG SC. Detection and clinical significance of food allergen sIgE in infants with asthma [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2013.
- [55] 韩秀华, 高岩, 戚贵芹, 等. 泰安地区 2047 例慢性荨麻疹过敏原流行病学分析[J]. 山东医药, 2013, 53(39): 43–45.
- HAN XH, GAO Y, QI GQ, *et al.* Epidemiological analysis of 2047 cases of chronic urticaria allergen in Tai'an [J]. Shandong Med, 2013, 53(39): 43–45.
- [56] CARRERA M, PAZOS M, GASSET M. Proteomics-based methodologies for the detection and quantification of seafood allergens [J]. Foods, 2020, 9(8): 1134.
- [57] YANG Y, YAN HF, ZHANG YX, *et al.* Expression and epitope identification of myosin light chain isoform 1, an allergen in *Procambarus clarkii* [J]. Food Chem, 2020, 317: 126422.
- [58] 易海涛, 夏立新, 刘芳, 等. 克氏原螯虾主要变应原原肌球蛋白的一个片段区基因的克隆表达、纯化及免疫原性鉴定[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2011, 35(3): 280–285.
- YI HT, XIA LX, LIU F, *et al.* Cloning, expression, purification and immunogenicity identification of a fragment region gene of *Procambarus clarkii*, a major allergen [J]. J Jiangxi Normal Univ (Nat Sci Ed), 2011, 35(3): 280–285.
- [59] CHEN HL, MAO HY, CAO MJ, *et al.* Purification, physicochemical and immunological characterization of arginine kinase, an allergen of crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Food Chem Toxicol, 2013, 62: 475–484.
- [60] 张永霞. 克氏原螯虾新型过敏原的鉴定与性质研究[D]. 厦门: 集美大学, 2015.
- ZHANG YX. Identification and characterization of a novel allergen for *Procambarus clarkii* [D]. Xiamen: Jimei University, 2015.
- [61] 陈亨利. 克氏原螯虾过敏原的性质研究[D]. 厦门: 集美大学, 2013.
- CHEN HL. Study on the properties of *Procambarus clarkii* allergens [D]. Xiamen: Jimei University, 2013.
- [62] 邹旋, 常群群, 戴余雷, 等. 小龙虾头与尾匀浆灌胃诱发 SD 大鼠哈夫病样损害[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 373–378.
- ZOU X, CHANG QQ, DAI YL, *et al.* Induction of Haff disease-like injury in SD rats by oral gavage administration of crayfish head and tail homogenates [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(8): 373–378.
- [63] BUCHHOLZ U, MOUZIN E, DICKEY R, *et al.* Haff disease: From the Baltic Sea to the U.S. shore [J]. Emerg Infect Dis, 2000, 6(2): 192–195.
- [64] RICKY L, LANGLEY WHB. Haff disease after eating salmon [J]. South Med J, 2007, 100(11): 1147–1150.
- [65] BANDEIRA AC, CAMPOS GS, RIBEIRO GS, *et al.* Clinical and laboratory evidence of Haff disease-case series from an outbreak in Salvador, Brazil, December 2016 to April 2017 [J]. Eurosurveillance, 2017, 22(24): 2–6.
- [66] 陈旭峰, 黄培培, 张劲松, 等. 小龙虾致横纹肌溶解症 197 例临床分析[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(12): 1269–1272.
- CHEN XF, HUANG PP, ZHANG JS, *et al.* Clinical analysis of 197 cases of rhabdomyolysis induced by crayfish [J]. Chin J Emerg Med, 2016, 25(12): 1269–1272.
- [67] 唐晓飞, 沈馨茹, 钱光荣, 等. 小龙虾相关横纹肌溶解综合征 90 例临床分析[J]. 安徽医学, 2017, 38(5): 595–597.
- TANG XF, SHEN XR, QIAN GR, *et al.* Rhabdomyolysis after cooked crayfish consumption: Clinical analysis of 90 cases [J]. Anhui Med J, 2017, 38(5): 595–597.
- [68] 刘伟, 李文刚, 喻才正. 76 例小龙虾相关横纹肌溶解综合征临床分析[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2018, 47(6): 729–732.
- LIU W, LI WG, YU CZ. Clinical analysis of 76 cases with crayfish-related rhabdomyolysis syndromes [J]. Acta Med Univ Sci et Technol Huazhong, 2018, 47(6): 729–732.
- [69] MA HL, WU JB, QIN W, *et al.* Outbreak of Haff disease along the Yangtze River Anhui Province, China, 2016 [J]. Emerg Infect Dis, 2020, 26(12): 2916–2921.
- [70] GAO XG, SONG XH, ZUO RN, *et al.* Ionophore toxin maduramicin

- produces haff disease-like rhabdomyolysis in a mouse model [J]. *Int J Env Res Public Health*, 2020, 17(21): 7882.
- [71] 梁婕, 施伟庆, 俞萍, 等. 食用小龙虾对大鼠急性毒性作用研究[J]. *毒理学杂志*, 2015, 29(5): 393–396.
- LIANG J, SHI WQ, YU P, *et al.* Study on the acute toxic effects of crayfish consumption on rats [J]. *J Toxicol*, 2015, 29(5): 393–396.
- [72] 裴佩, 鹿双双, 汪聿坤, 等. 药物致横纹肌溶解的动物实验研究[J]. *实验动物科学*, 2020, 37(3): 44–52.
- PEI P, LU SS, WANG YK, *et al.* Animal studies of drug-induced rhabdomyolysis [J]. *Lab Animal Sci*, 2020, 37(3): 44–52.
- [73] XIE P, HU J, HUANG JM, *et al.* Crayfish-related Haff disease rhabdomyolysis; diagnosis supported by bone scintigraphy [J]. *Hell J Nucl Med*, 2013, 16(1): 60–61.
- [74] 马宁, 李凤琴, 李宁, 等. 食源性横纹肌溶解综合征概述[J]. *中国食品卫生杂志*, 2010, 22(6): 564–567.
- MA N, LI FQ, LI N, *et al.* Review on the research of foodborne rhabdomyolysis syndrome [J]. *Chin J Food Hyg*, 2010, 22(6): 564–567.
- (责任编辑: 韩晓红 郑 丽)

作者简介



宫智勇, 博士, 教授, 主要研究方向为
食品安全风险评估及检测分析
E-mail: gongwhqg@163.com