

李楚君, 涂宗财, 温平威, 等. 中国小龙虾产业发展现状和未来发展趋势 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 463–470. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040290

LI Chujun, TU Zongcai, WEN Pingwei, et al. Present Situation and Future Development Trend of Crayfish Processing in China[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 463–470. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040290

· 专题综述 ·

中国小龙虾产业发展现状和未来发展趋势

李楚君¹, 涂宗财^{1,2,3}, 温平威¹, 王 辉^{1,*}

(1.南昌大学, 食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047;

2.江西师范大学, 国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 江西南昌 330022;

3.江西师范大学, 江西省淡水鱼高值化利用工程技术研究中心, 江西南昌 330022)

摘 要:自“十三五”计划以来, 中国小龙虾整体养殖面积不断扩大、产业加工量不断提高, 因此具有较高的经济效益和良好的发展态势。如今即食调味小龙虾已经成为当代青年人的一种新的消费时尚, 预计 2022 年我国小龙虾产业势头将继续稳步增长, 消费市场进一步扩大, 一二三产业更深层次融合。为增进国内外对中国小龙虾产业发展现状的了解, 促进产业向精深加工型方向大幅度升级, 本文从小龙虾当前的养殖现状、营养成分及其功能特性、加工技术、品质保鲜、废弃物深度加工等方面进行总结梳理, 阐述当前小龙虾产业体系和综合利用研究中的加工信息以及所面临的技术问题, 以期提高该类虾资源的有效利用率, 提升市场竞争力, 并展望产业今后的发展趋势。

关键词:小龙虾产业, 加工现状, 营养成分, 活性成分, 资源利用

中图分类号: S985.2⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)08-0463-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040290



本文网刊:

Present Situation and Future Development Trend of Crayfish Processing in China

LI Chujun¹, TU Zongcai^{1,2,3}, WEN Pingwei¹, WANG Hui^{1,*}

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2.National R&D Center for Freshwater Fish Processing (Nanchang), Jingxi Normal University, Nanchang 330022, China;

3.Engineering Research Center for Freshwater Fish High-value Utilization of Jiangxi Province, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: The overall cultivation area of crayfish in China has been continuously expanded, and the industrial processing volume continues to increase after the 13th Five-Year Plan, so it has a high economic benefit and a good development trend. Nowadays, ready-to-eat flavored crayfish has become a new consumption fashion for young people. It is expected that the momentum of China's crayfish industry will continue to grow steadily, further expand the consumer market, and promote the integrated development of primary, secondary, and tertiary industries in 2021. To enhance the understanding of the development status of the Chinese crayfish industry at home and abroad, and promote the industry to greatly upgrade to the direction of intensive processing, in this paper, the current status of crayfish breeding, nutritional composition and functional characteristics, processing technology, quality preservation, and deep processing of shrimp wastes are summarized. The processing information and technical problems in the current crayfish industrial system and comprehensive utilization study are described. It is expected to improve the effective utilization rate of this kind of shrimp resource, enhance the market competitiveness, and forecast the development trend of the industry in the future.

Key words: crayfish industry; processing status; nutrients; active ingredient; resource utilization

收稿日期: 2021-04-29

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-45-28) 吉安市科技计划项目 (20211-055389)。

作者简介: 李楚君 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品精深加工及其高值化利用, E-mail: 1457416137@qq.com。

* 通信作者: 王辉 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品精深加工及其高值化利用, E-mail: 503756510@qq.com。

小龙虾,学名克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*),甲壳纲十足目螯虾科,原产于美国、墨西哥等地,自20世纪30年代从日本引入中国后^[1],在国家政策的扶持和带动下,经过不断繁衍扩张,现已发展成为具有地方特色的主导产业,如今是我国长江中下游各省市重要的经济淡水虾类。小龙虾味道鲜美、肉质细嫩,虾肉富含微量元素,尤其含有较高的硒元素,并有研究证明小龙虾对于免疫学和神经生物学等领域的重要作用,助于提高机体抗病毒及免疫^[2-4],有益于免疫力低下和视力衰弱的人群,因此小龙虾是一种健康、保健的绿色水产品。

2016年以来,小龙虾相关产品如雨后春笋不断涌现,特别是通过预煮调味制成的即食制品一跃成为各大网商和线下销售最火爆的餐饮食品之一。受新冠肺炎疫情影响,2020年中国小龙虾产业总产值与2019年相比下降15.07%,达3448.46亿元,其中以加工为主的第二产业占比增幅较大,以餐饮为主的第三产业产值占总产值的64.38%^[5]。由此说明,中国的小龙虾产业目前是以餐饮服务业为主要驱动力的初级加工产业,这样的产业模式不仅能发展为完备的全产业体系,推动二三产业融合发展,还能很好地消化因贸易壁垒或饮食文化差异导致国外即食小龙虾的消费市场相对较窄、出口量较低所带来的影响。小龙虾在国外——尤其在南非、欧洲等地,多被认为是入侵生物,科学家多研究其对水生生态系统的生境影响^[6-9],并且在虾的养殖过程中容易发生白斑综合征病毒(White spot syndrome virus, WSSV)等病毒性疾病,该病毒引起虾的致死率高,因此对此病毒的诊断与防疫机制一直是国内外的主要研究方向^[10-14]。为此,总结小龙虾在中国的产业发展现状并探讨其综合利用,以期顺应我国“十四五”规划的政策导向并为国际水产食品今后的发展路线提供思路。

1 养殖现状

1.1 养殖规模

近年来,我国小龙虾养殖总面积持续增长^[5],据农业农村部渔业渔政管理局资料统计^[15-20],2020年小龙虾养殖面积为2184万亩(见图1),养殖产量达到历史新高,为239.37万吨(见图2)。与2019年相比,2020年虽受到新冠肺炎疫情的冲击,但养殖面积和产量仍在稳步增长,分别增长13.22%和14.55%,总体产业发展势头良好。

中国小龙虾养殖产量的省(区、市)有23个,主要集中于水域较好、养殖效益高的长江中下游地区。产量排名在前五位的省份依次为湖北、安徽、湖南、江苏、江西,其他省(区、市)也有较快速的发展。2020年仅湖北省产量就为98.20万吨,占全国总产量的41.02%,领先第一^[5](见图3)。上述5省的养殖产量总计218.69万吨,同比2019年增长13.94%,占全国总产量的91.36%。从全国来看,小龙虾养殖量最大的五个省份将继续保持增长,浙江、四川、河

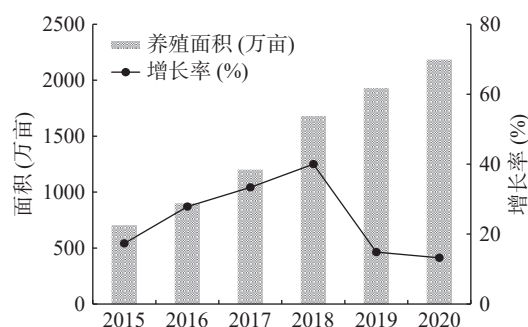


图1 2015~2020年全国克氏原螯虾养殖面积

Fig.1 Area of *Procambarus clarkii* in China from 2015 to 2020

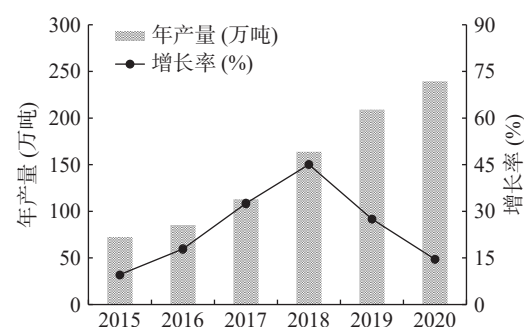


图2 2015~2020年全国克氏原螯虾养殖产量

Fig.2 Production of *Procambarus clarkii* in China from 2015 to 2020

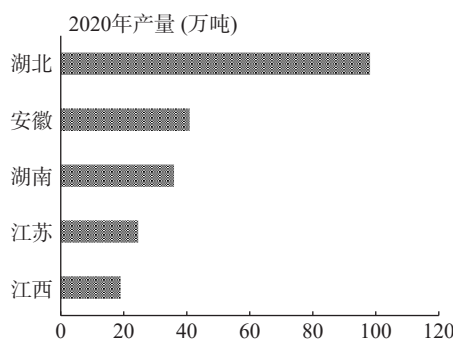


图3 2020年克氏原螯虾养殖产量前五省

Fig.3 Top 5 provinces in the production of *Procambarus clarkii* in 2020

南等起步较晚的省份也开始加速发展,小龙虾养殖业的整体势头将一直保持快速增长。

1.2 养殖方式及效益

各地区小龙虾的养殖因地区不同而有不同的养殖水域,而稻田养殖模式占小龙虾养殖总面积比重最大,其次为虾蟹混养、池塘精养、莲田套养。近几年为加快推进中国水产养殖业绿色发展举措,国内许多省份已经将种植水稻和养殖淡水小龙虾有机结合,大力发展稻渔综合种养。相比于单一的水稻作生态系统,稻虾养殖具有较好的生态系统稳定性,更能充分发挥稻田的生产潜力^[21]。春季购买虾苗成本高,5月~6月小龙虾的集中上市期,成虾价格低,但考虑不同地区的养殖效益有所不同,以及新老养殖户的养殖方式不同,因此养殖户整体盈亏程度需按实际情况

分析。2020 年各主产省份虾苗上市初期为 15~17 元/斤,后期更有跌到 5 元/斤,相比于 2019 年同期价格普遍为 25~35 元/斤,虾苗总体价格走势偏大,2020 年受到疫情冲击更容易造成小龙虾市场价格差距大、虾苗有价无市等问题出现^[5,22]。

2 营养成分分析及活性研究进展

2.1 营养成分

小龙虾中所含的营养成分如表 1^[23] 所示,可看出小龙虾体内的蛋白质含量较高,并且含有人体所必需的八种氨基酸,包括脊椎动物体内含量较少的精氨酸和幼儿必需的组氨酸。脂肪含量相对低,接近 1%,所含的脂肪主要是不饱和脂肪酸,利于人体消化吸收。虾肉中富含磷、镁、钙等常量矿质元素,其中镁对于高血压等心血管疾病能起到较好的预防作用。不仅如此,虾肉中还含有硒、锌、铁、铜等微量元素,视黄醇当量也极为丰盛,硒与视黄醇对于视力衰弱、免疫力低下的人群具有很好的保健效果。总体来说,小龙虾的营养较为全面,经常食用小龙虾能起到一定的食疗效果。

2.2 活性成分功效

小龙虾不但营养物质丰富,还含有具医疗效用或生理活性的有效成分,如酶类、甲壳素、虾青素等。小龙虾头部存在高效的酶系统^[24],这些丰富的内源酶在一定条件下能够将蛋白质分解成具有功能活性的小肽或呈味氨基酸。甲壳素存在于虾壳中,作为天然高分子材料可在医疗上用于生产伤口愈合促进剂、药物传送载体、手术缝合线等,能够在生物医药应用市场上快速扩张^[25]。并且在一些国家已将甲壳素和壳聚糖批准为食品添加剂,在食品工业中得到了较广泛的应用。虾青素也存在于虾壳中,是一种酮式类胡萝卜素,有抗氧化、抗肿瘤功效,可预防糖尿病、心血管疾病,还能根据用途选择不同的产品形式用于商业应用,如制备乳液、脂质体及微胶囊等运载体系^[26],但虾青素在光照和高温条件下容易发生降解,在胃肠道中的稳定性差,导致其生物利用率低。

3 主要加工产品及技术

3.1 加工产品

小龙虾的加工产量也在逐年提升,从 2016 年开始,增长速度明显加快^[15-20] (见图 4)。企业对小龙虾的加工当前有冻生和冻煮两种模式,冻生为非即食的

小龙虾,主要生产虾仁、虾尾及整虾;冻煮为即食的小龙虾,主要生产不同口味的调味整虾、虾尾及虾仁等。不管是生鲜还是即食,在食用之前都需要低温储藏,因此研究小龙虾的加工工艺和保鲜技术对延长小龙虾产品的货架期有重要意义。

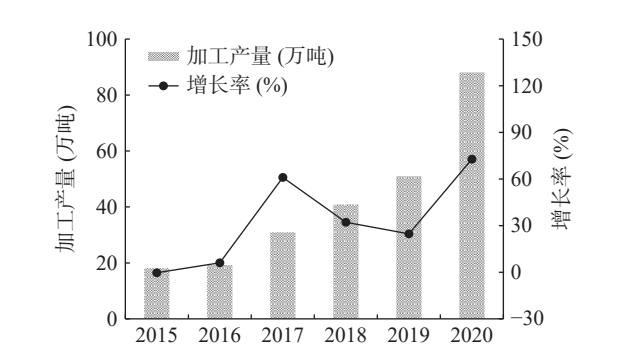


图 4 2015~2020 年全国克氏原螯虾加工产量
Fig.4 Processing output of *Procambarus clarkii* in China from 2015 to 2020

3.2 加工工艺及保鲜技术

Bonilla 等^[27] 将小规格的龙虾经过机械加工制备成肉糜,使用液氮和鼓风冷冻机对其进行低温冷冻,可较好保持肉糜在冷冻贮藏过程中的品质特性。随着调味料配方的丰富和调味工艺的发展,李锐等^[28] 对香麻小龙虾调味汁的配方和即食麻辣小龙虾的生产工艺进行优化设计;瞿桂香等^[29] 以感官评分为指标对不同单因素进行分析,得出即食小龙虾椒盐口味的最佳工艺,满足传统的厨房烹饪向工业化生产转型。油炸与真空渗透的优化使调味小龙虾更适合规模化生产,张刘蕾等^[30] 研究油炸和真空渗透对冻藏风味小龙虾品质的影响,得出真空渗透比常压渗透效率更高,并在 160 ℃ 油炸 4 min、真空渗透 10 h 条件下质构最好;崔阳阳等^[31] 采用浸渍入味工艺研制的龙虾产品肉质更加紧密,口感与风味优于煮制的小龙虾产品。在满足风味的基础上品质的变化也是食品烹调过程中的重要评价,吴晨燕等^[32] 研究熟制麻辣小龙虾沸水煮制杀菌后在冷藏和冻藏条件下的品质变化,得出在 4 ℃ 和-18 ℃ 条件下龙虾产品分别能贮藏 4 周和 4 个月;Fan 等^[33] 研究了微波和水煮对龙虾尾的品质变化,将成熟度理论引入到小龙虾虾尾烹调过程的评价指标,建立了一种可视化的方法,为食品烹饪评价提供了一种新的策略。

表 1 每 100 g 龙虾中所含营养成分
Table 1 Nutrients of crayfish meat in per 100 g

成分	含量	成分	含量	成分	含量
热量(Kcal)	90.00	钠(mg)	190.00	维生素E(mg)	3.58
蛋白质(g)	18.90	胆固醇(mg)	121.00	锌(mg)	2.79
脂肪(g)	1.10	硒(mg)	39.36	铁(mg)	1.30
碳水化合物(g)	1.00	镁(mg)	22.00	铜(mg)	0.54
钾(mg)	257.00	钙(mg)	21.00	维生素B ₂ (mg)	0.03
磷(mg)	221.00	烟酸(mg)	4.30	视黄醇当量(mg)	77.60

对于冻生龙虾的保鲜, Shi 等^[34]研究了不同冷冻温度和贮藏周期对其产生的生物化学及理化特性影响, 得出小龙虾货架期应为 1 个月, 并在 -30 ℃ 条件贮藏; Sun 等^[35]研究了超声波和纳米保水剂对小龙虾冻藏过程中冷冻的保护效果, 得出用 60 W 超声波结合壳聚糖纳米保水剂处理后, 在 -18 ℃ 可以延缓龙虾贮藏品质的劣变。由于当前中国小龙虾加工市场局限于烹调加工, 为了满足口感, 其产品的实际储藏期一般较短, 而且对于煮制、包装和杀菌工艺的研究尚未完善。为延长虾类产品货架期, 防止肉制品品质劣变, 周涛等^[36]分别从 4 和 25 ℃ 下提取调味小龙虾的总 DNA, 通过高通量测序技术探究贮藏期间微生物菌群变化, 得出随贮藏时间延长, 菌群多样性下降, 两种温度下各出现不同优势腐败菌。虽然低温保鲜能够抑制产品中的微生物和内源酶类, 但随着贮藏时间的延长, 这些贮藏方式效果不够理想, 而运用化学防腐剂会产生一定毒性。可食用涂料可以通过延缓微生物生长、减少脂质氧化和水分损失以及作为食品添加剂的载体来改善新鲜或冷冻产品的质量^[37], 于晓慧等^[38]通过对茶多酚、壳聚糖和 ϵ -聚赖氨酸进行优化, 研制即食小龙虾的复合保鲜剂, 常温下保质期只有 10 d 左右。采用杀菌技术又大幅度延长了产品的货架期, Shi 等^[39]研究超高压处理对小龙虾蛋白变性和水分特性的影响, 大于 300 MPa 的高压会导致蛋白质聚集和持水力下降; 张泽伟^[40]研究过热蒸汽和巴氏杀菌对熟制小龙虾冷藏期间品质变化的影响, 在 4 和 10 ℃ 下, 过热蒸汽组的货架期分别为 48 和 27 d; 陈东清等^[41]比较电子束辐照与高压蒸汽对龙虾的杀菌效果, 得出电子束辐照杀菌对虾肉的影响较小, 经过吸收剂量 8 kGy 杀菌的龙虾产品在 37 ℃ 下可储藏 6 d。

总体来说, 国内采用盐煮^[42]、油炸^[43]、浸渍调味^[31]等工艺进一步改善小龙虾调理食品的风味与品质。但小龙虾消费市场主流的调理食品种类单一, 新产品的研发力度处于滞后阶段, 不适应产业的快速发展需求。保鲜方式丰富多样, 目前常用的有冷冻保鲜、气调或真空保鲜、超高压或辐照杀菌以及添加食品保鲜剂等, 生物防腐代替防腐剂使用的同时避免了高温杀菌对产品品质的影响, 但杀菌和抑菌效果不足, 如何从单一的低温贮藏技术过渡为低温与其他保鲜技术联合是当前需要突破的难题。

4 副产物综合利用

小龙虾精深加工是对其头、壳的综合利用为主, 并研究其中活性成分的提取工艺和活性成分含量的检测。虾肉所占整虾比重少, 进行加工后会产生约 70%~85% 的不可食用部分, 这些废料中含有约 20%~30% 的粗蛋白, 20%~30% 的甲壳素, 30%~40% 的矿物质盐类, 同时含有脂肪、虾青素等营养成分^[44], 这些都能转变为宝贵的生物材料, 但大部分都因被置弃而造成严重的环境污染和经济问题。因此迫切需要

应用合适的技术将这些虾副产物转化成高附加值的日用化学品、药品和食品。

4.1 蛋白粉

蛋白粉目前作为动物饲料的补充剂用于水产或畜牧养殖, 其提取工艺是以水解液的形式脱除蛋白, 离心取上清液喷雾干燥后成粉体, 化学处理方法有碱提、超声波辅助碱提、酸提、有机溶剂提取等, 工业上还是以浓碱提取为主。一般来说, 化学处理产生大量的强酸碱废液, 不仅要洗涤、中和处理, 同时因反应时效长且提取率低而导致成本升高。酶催化和生物发酵已经被证实是简单、高效、绿色、经济的生物技术^[45], Guo 等^[46]将虾头 50 ℃ 自溶活化 4 h 后, 采用地衣芽孢杆菌对其进行发酵 10 h, 脱蛋白率为 88.3%。Mizani 等^[47]使用亚硫酸钠、聚乙二醇辛基苯基醚分别与碱性蛋白酶在 40 ℃ 水解虾头 1 h, 蛋白提取率分别为 62% 和 65.1%, 酶法提取蛋白效率虽然比生物发酵低, 但能够显著缩短提取时间, 在实际生产中更为适用。

4.2 钙产品

龙虾壳能作为一种优质钙源与有机酸结合制备各种不同的钙产品, 应用于食品添加剂或研发补钙保健品、营养品等。去除蛋白质后一般选用大量盐酸进行脱矿, 对人工和环境都会造成很大的危害, 且不易回收钙质、使后续提取的甲壳素部分脱乙酰解聚, 在实验室中已尝试用柠檬酸、乙二醇四乙酸、乳酸等有机酸去除甲壳类动物壳中的矿质, 李明华等^[48]应用超声波辅助柠檬酸确定龙虾壳脱钙的最佳工艺条件, 证明超声波可明显提高脱钙效率, 脱钙率达到 93.85%。而在这几种酸中, 乳酸可从广泛低廉的淀粉和木质纤维素中提取^[49], 有望作为工业化脱钙剂。Nguyen 等^[50]利用微波强化乳酸对澳洲岩龙虾进行脱矿, 得出在乳酸:酶脱蛋白产物为 18 mL/g 反应 23 min 后, 回收的矿质中含有 87% 的钙。

4.3 虾青素

虾青素是一种具有强脂溶性的酮式类胡萝卜素, 这种天然脂溶性色素的抗氧化性和抗炎作用能够预防与人类氧化应激相关的炎症疾病, 在医学和化妆领域的应用逐渐扩大^[51]。目前已提出有碱法、酶法、有机溶剂浸提、油提、超临界流体萃取等, 有机溶剂提取虾青素时间更短、清洁高效、质量更好, Irna 等^[52]用高压辅助有机试剂提取虾青素, 与化学萃取相比, 虾青素产量从 29.44 $\mu\text{g/g}$ (干重) 增加到 59.9744 $\mu\text{g/g}$ (干重)。Deng 等^[53]采用酶水解蛋白质和甲壳素、乙酸乙酯提取虾青素, 其中 1 g 虾壳废料能转化成 101.3 μg , 虽然孵化时间相对更长, 但能回收所有成分并保持其天然生物活性。

4.4 甲壳素及其衍生物

在过去的十年中, 甲壳素及其衍生物的提取、化学改性及结构表征一直是科学家的研究热点。甲壳素是一种丰富的多糖聚合物, 其储量仅次于纤维素,

存在于甲壳纲动物的外骨骼、昆虫表皮和真菌类的细胞壁,是从多种生物来源获得的一种重要可再生资源,主要由 β -(1,4)-2-乙酰氨基-2-脱氧-D-葡萄糖和部分 β -(1,4)-2-氨基-2-脱氧-D-葡萄糖组成^[54],化学结构与天然纤维素相似,因此被认为是一种天然含氮高分子多糖,也是自然界唯一带正电荷的碱性多糖^[55]。在热碱条件下使 N-乙酰基-D-氨基葡萄糖单元脱除乙酰基基团,洗涤干燥后得到浅黄色壳聚糖。与甲壳素相比,脱乙酰的壳聚糖表现出较低的结晶度、较好的反应性和可改善的溶解性,因其“可调”特性而受到重视,这种特性有助于在多个工业部门实现大量可优化的应用^[56]。另一方面,甲壳素和壳聚糖的溶解性、结晶度和细胞反应等性质受到脱乙酰程度影响,可作为两者区分的依据^[57],并且国外对脱乙酰动力学的机理多有研究报道^[58-59],国内对相关的研究尚不充足。在工业加工中,这些聚合物主要都是从虾蟹壳中提取的,Birolli 等^[60]采用超声波代替热处理,尽管制备的壳聚糖显示较高的乙酰度(81.8%),但无论是哪种辐照幅度都会使壳聚糖发生严重解聚。考虑到许多加工因素能影响产品的物理化学特性,要求生产出高质量的壳聚糖以节约能源和加工成本,越来越多学者寻求开发新的绿色提取方法,等 Sedaghat^[61]利用铜绿假单胞菌对虾副产物进行生物发酵处理,在添加 20% 葡萄糖、20% 乳酸下发酵 6 d,甲壳素产率 47%,应用高压釜辅助碱法转化的壳聚糖产率 87%,但葡萄糖浓度、接种量、发酵时间和温度等工艺参数会影响生物发酵的效率,使得该方法现阶段难以达到工业化的要求。研究人员将离子液体和共晶溶剂应用到提取过程中以改善壳聚糖的性质是近年来“绿色化学”的研究热点,Huet 等^[62]得出离子液体对甲壳素的解聚影响相对较小,并表明甲壳素的无定形化是制备低乙酰化度壳聚糖的关键,虽然在使用过程中离子液体不会形成挥发性的有机物,但本身的毒性及其降解性仍然存在争议。

中国小龙虾产业庞大,利用加工后产生的废料生产以上产品是大有裨益的。事实上,我国关于小龙虾副产物利用研究的发展并不长,由于开展建设经验少,开发程度低,导致这类加工产业在小龙虾加工行业总量的占比低。龙虾副产物脱矿物质、脱蛋白及脱色干燥后才能获得纯度较高的甲壳素,因此这三者是紧密相关的,如何高效提取生物材料且不破坏其结构成分、注重成本利用,简化工艺条件,以更环保和可持续的方式生产高质量的产品是行业当下需关注的重点。

5 展望

即食小龙虾推动了小龙虾产业的强劲崛起,但与此同时,一系列发展中所积累的问题也已经有所体现。初级加工仍以即食为主,在电商零售发展蒸蒸日上的今天,对于小龙虾的产地配送、冷链运输也提出了更高的要求,运输行业如何规范物流标准与配送服

务运作,防止顾客收到生鲜产品后有破损、恢复常温、断链等情况发生;地方特色产业的地区政府应该如何加强基础设施建设、支持创新产品研发,推动产业朝更高目标发展。加工业助长了大量废弃物的积累,副产物资源占比高、产量大,对其资源高值化利用研究的应用远不能支撑当前小龙虾产业链的发展;产品提取技术或制备工艺复杂,在生产过程中存在危害分析和关键控制点管理困难、产生大量导致环境污染的废液以及进一步处理废液导致成本升高等不足,而许多有望替代的新技术由于种种局限尚停留在实验室阶段,未能实现工业化生产。

未来小龙虾产业还将维持中高速的增长,并且在市场需求提升的影响下,小龙虾加工业发展规模滞后的局面将逐渐得到改善,产品品质进一步提高。对初级加工产品的需求会持续提升,进入大发展阶段,从供应链分析,推广标准化的养殖技术,冷链物流和配送规模扩大,未来将以不同的保鲜技术复合应用,实施优势互补,以减少季节或地域限制,使小龙虾保鲜朝着安全高效方向发展。在产品方面,做出满足我国各地口味的小龙虾产品,开发更多腌制、干制、罐藏产品,如龙虾酱、龙虾肉松、虾味料制品、虾壳钙片等。精深加工会稳步发展,高效回收小龙虾副产物资源,衍生出更多高附加值产品,如酶制剂、壳聚糖微胶囊、壳寡糖等,应用在生物医药、化妆品、食品工业、肥料以及环保材料领域。此外,在提取技术方面进一步升级,可以将新型的绿色方法结合,探究新的提取工艺,纯化以甲壳素为代表的高品质产品。总体上,需要加大加工技术的创新投入,研发创新型产品,涉及产品流水线、流通渠道和消费市场等全方位服务,促进小龙虾产业在技术和质量服务上稳步发展。

参考文献

- [1] 郭力. 小龙虾即食产品的研制 [D]. 无锡: 江南大学, 2010. [GUO L. Development of crayfish ready-to-eat products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.]
- [2] LIU M, CHEN C, WU Q C, et al. Chitinase involved in immune regulation by mediated the toll pathway of crustacea *Procambarus clarkii* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2021, 110: 67-74.
- [3] LAGE C, KENNETH S. Crayfish immunity-Recent findings [J]. Developmental & Comparative Immunology, 2018, 80: 94-98.
- [4] LAN J F, WEI S, WANG Y Q, et al. *PcToll3* was involved in anti-*Vibrio* response by regulating the expression of antimicrobial peptides in red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2016, 57: 17-24.
- [5] 中国小龙虾产业发展报告 (2021)[N]. 中国渔业报, 2021-12-21(3). [China Crayfish Industry Development Report (2021)[N]. China Fisheries News, 2021-12-21(3).]
- [6] IZRAL N M, BRUA R B, CULP J M, et al. Crayfish tissue metabolomes effectively distinguish impacts of wastewater and agriculture in aquatic ecosystems[J]. Science of the Total Environment, 2021: 760.

- [7] O'SHAUGHNESSY E M, EGLY R, HARRIS B, et al. Distribution of crayfish in the Southern Basin of Lake Michigan and the Greater Chicago Region[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2021, 47(4).
- [8] ANALN, ANDRIES C H, TSUNGAI A Z, et al. Red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, found in South Africa 22 years after attempted eradication[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2017, 27(6): 1334–1340.
- [9] GROSSET S C, ANASTÁCIO P M, AQUILONI L, et al. The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: Impacts on aquatic ecosystems and human well-being[J]. *Limnologia*, 2016: 58.
- [10] HUANG A G, TAN X P, CUI H B, et al. Antiviral activity of geniposidic acid against white spot syndrome virus replication in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*[J]. *Aquaculture*, 2020: 528.
- [11] LEE C, KIM J H, CHOI S, et al. Detection of infectious white spot syndrome virus in red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) imported into Korea[J]. *Aquaculture*, 2021: 544.
- [12] YUAN G, ZHU L, JIANG X, et al. Diagnosis of co-infection with white spot syndrome virus and *Aeromonas veronii* in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*[J]. *Aquaculture*, 2021: 532.
- [13] JIN W, LAI Y Y, ZHU F. Effect of dietary fucoidan on innate immune response of *Procambarus clarkii* and disease resistance against white spot syndrome virus[J]. *Aquaculture*, 2021: 534.
- [14] LIU L K, LIU M J, LI D L, et al. Recent insights into anti-WSSV immunity in crayfish[J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2021: 116.
- [15] 农业农村部渔业渔政管理局. 2016年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.]
- [16] 农业农村部渔业渔政管理局. 2019年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019.]
- [17] 农业农村部渔业渔政管理局. 2017年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017.]
- [18] 农业农村部渔业渔政管理局. 2018年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.]
- [19] 农业农村部渔业渔政管理局. 2015年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.]
- [20] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020. [Ministry of Agriculture and the Rural Fisheries fisheries authority. Chinese Yearbook of fishery statistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.]
- [21] 奚业文, 周洵. 稻虾连作共作稻田生态系统中物质循环和效益初步研究[J]. *中国水产*, 2016(3): 78–82. [XI Y W, ZHOU X. A preliminary study on material circulation and benefits of continuous cropping of rice and shrimp in paddy ecosystem[J]. *China's Aquatic Product*, 2016(3): 78–82.]
- [22] 2020 中国小龙虾产业发展报告[J]. *中国水产*, 2020(7): 8–17. [China Crayfish Industry Development Report 2020[J]. *Fisheries of China*, 2020(7): 8–17.]
- [23] 杨丽莉. 淡水小龙虾分离蛋白的制备及其功能性质的研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016. [YANG L L. Preparation and functional properties of freshwater crayfish protein isolates[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2016.]
- [24] 李锐, 邹茜, 孙玉林, 等. 紫外诱导克氏原螯虾头自溶制备蛋白酶液及其鲜味物质研究[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(3): 153–160. [LI R, ZHOU Q, SHUN Y L, et al. UV-induced autolysis of the head of *Procambarus clarkii* for preparation of protease hydrolysate and its umami compounds[J]. *Food & Fermentation Industry*, 2019, 45(3): 153–160.]
- [25] SHAMSHINA J L, BERTON P, ROGERS R D. Advances in functional chitin materials: A review[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2019, 7(7): 6444–6457.
- [26] AMBATI R R, PHANG S M, RAVI S, et al. Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications—a review[J]. *Marine Drugs*, 2014, 12(1): 128–152.
- [27] BONILLA F, REYES V, CHOULJENKO A, et al. Influence of energy removal rate on the quality of minced meat from under-sized crawfish during frozen storage[J]. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2020, 2(1).
- [28] 李锐, 吴诗敏, 任彬. 香麻小龙虾调味汁制作工艺研究[J]. *中国调味品*, 2019, 44(1): 125–128. [LI R, WU S M, REN B. Study on the preparation technology of the sesame crayfish sauce[J]. *China Condiments*, 2019, 44(1): 125–128.]
- [29] 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 G X, QIAN W X, DONG Z J, et al. Optimization of processing technology of instant salted crayfish by response surface[J]. *Preservation and Processing*, 2020, 20(6): 131–136.]
- [30] 张刘蕾, 姜启兴, 许艳顺, 等. 油炸和真空渗透对冻藏风味小龙虾品质的影响[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2013, 28(4): 40–44. [ZHANG L L, JIANG Q X, XU S Y, et al. Effects of frying and vacuum osmotic treatment on the quality of frozen flavor crayfish[J]. *Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition)*, 2013, 28(4): 40–44.]
- [31] 崔阳阳, 姜启兴, 许艳顺, 等. 浸渍入味对冷冻熟制小龙虾品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(14): 297–300. [CUI Y Y, JIANG Q X, XU S Y, et al. Effect of soaking process on the quality of frozen cooked crayfish[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(14): 297–300.]
- [32] 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 C Y, WANG X Y, WANG Y, et al. Quality changes of cooked spicy crayfish under cold storage and frozen storage conditions[J]. Meat Research, 2018, 32(5): 52–56.]
- [33] FAN H L, FAN D M, HUANG J L, et al. Cooking evaluation of crayfish (*Procambarus clarkia*) subjected to microwave and conduction heating: A visualized strategy to understand the heat-induced quality changes of food[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 62: 102368.
- [34] SHI L, XIONG G Q, DING A, 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.
- [35] SUN Y N, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Ultrasound treatment of frozen crayfish with chitosan Nano-composite water-retaining agent: Influence on cryopreservation and storage qualities[J]. Food Research International, 2019: 126.
- [36] 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 X Y, LUO H B, et al. Effects of storage temperature on quality and microflora diversity of ready-to-eat crayfish[J]. Food and Machinery, 2019, 35(9): 141–146.]
- [37] DEGHANI S, HOSSEINI S V, REGENSTEIN J M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review[J]. Food Chemistry, 2018: 240.
- [38] 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 X H, LIN L, JIANG S T, et al. Study on the optimization and preservation effect of compound biological preservative for instant crayfish[J]. Meat Industry, 2017(3): 24–32.]
- [39] SHI L, XIONG G Q, YIN T, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the protein denaturation and water properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*)[J]. LWT, 2020, 133: 110124.
- [40] 张泽伟. 过热蒸汽进行调味小龙虾杀菌的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2019. [ZHANG Z Z. Study on sterilization of flavored crayfish by superheated steam[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2019.]
- [41] 陈东清, 李新, 汪兰, 等. 即食小龙虾加工与杀菌工艺研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2020, 38(5): 46–53. [CHEN D Q, LI X, WANG L, et al. Journal of Radiation Research and Radiation Technology, 2020, 38(5): 46–53.]
- [42] 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 Z J, SUN L P, ZHANG H X, et al. Effects of salt boiling on sensory and physicochemical quality of crayfish[J]. Food Research and Development, 2017, 38(18): 104–107.]
- [43] 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 H Q, CHEN W, CHU T Q, et al. Effects of frying technology on the quality of ready-to-eat crayfish[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2020, 39(6): 9–16.]
- [44] RØDDE R H, EINBU A, VA°RUM M K. A seasonal study of the chemical composition and chitin quality of shrimp shells obtained from northern shrimp (*Pandalus borealis*)[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(3): 388–393.
- [45] MAO X Z, GUO N, SUN J N, et al. Comprehensive utilization of shrimp waste based on biotechnological methods: A review[J]. Journal of Cleaner Production, 2017(143): 814–823.
- [46] GOU N, SUN J N, ZHANG Z H, et al. Recovery of chitin and protein from shrimp head waste by endogenous enzyme autolysis and fermentation[J]. Journal of Ocean University of China, 2019, 18(3): 719–726.
- [47] MIZANI M, AMINLARI M, KHODABANDEH M. An effective method for producing a nutritive protein extract powder from shrimp-head waste[J]. Food Science and Technology International, 2005, 11(1).
- [48] 李明华, 孟秀梅. 超声波辅助柠檬酸法龙虾壳脱钙工艺研究[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 8–10. [LI M H, MENG X M. Ultrasonic-assisted decalcification of lobster shells with citric acid[J]. Food Industry, 2017, 38(5): 8–10.]
- [49] EŞ I, KHANEGHAH M A, BARBA J F, et al. Recent advancements in lactic acid production - a review[J]. Food Research International (Ottawa, Ont.), 2018, 107(5).
- [50] NGUYEN T T, BARBE A R, SMITH P, et al. Application and optimization of the highly efficient and environmentally-friendly microwave-intensified lactic acid demineralization of deproteinized Rock lobster shells (*Jasus edwardsii*) for chitin production[J]. Food and Bioproducts Processing, 2017, 102(5): 367–374.
- [51] FAKHRI S, ABBASZADEH F, DARGAHI L, et al. Astaxanthin: A Mechanistic review on its biological activities and health benefits[J]. Pharmacological Research, 2018, 4(5).
- [52] IRNA C, JASWIR I, OTHMAN R, et al. Comparison between high-pressure processing and chemical extraction: Astaxanthin yield from six species of shrimp carapace[J]. Journal of Dietary Supplements, 2018, 15(6): 805–813.
- [53] DENG J J, MAO H H, FANG W, et al. Enzymatic conversion and recovery of protein, chitin, and astaxanthin from shrimp shell waste[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 271: 122655.
- [54] GOPI S, PIUS A, THOMAS S. Enhanced adsorption of crystal violet by synthesized and characterized chitin nano whiskers from shrimp shell[J]. Journal of Water Process Engineering, 2016, 14: 1–8.
- [55] IMEN H, FATIH Ö, JOE M. Regenstein. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016: 48.
- [56] JOSEPH S M, KRISHNAMOORTHY S, PARANTHAMAN R, et al. A review on source-specific chemistry, functionality, and applications of chitin and chitosan[J]. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2021, 2(5).
- [57] KNIDRI H E, BELAABED R, ADDAOU A, et al. Extrac-

tion, chemical modification and characterization of chitin and chitosan[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 120(Pt A).

[58] VILLAR-CHAUVERO M M, DOMÍNGUEZ J C, ALONSO M V, et al. Thermal and kinetics of the degradation of chitosan with different deacetylation degrees under oxidizing atmosphere[J]. *Thermochimica Acta*, 2018.

[59] SOUZA J R D, GIUDICI R. Effect of diffusional limitations on the kinetics of deacetylation of chitin/chitosan[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 254(5).

[60] BIROLI W G, DELEZUK J, CAMPANA-FILHO S P. Ul-

trasound-assisted conversion of alpha-chitin into chitosan[J]. *Applied Acoustics*, 2016, 103: 239–242.

[61] SEDAGHAT F, YOUSEFZADI M, TOISERKANI H, et al. Bioconversion of shrimp waste *Penaeus merguensis* using lactic acid fermentation: An alternative procedure for chemical extraction of chitin and chitosan[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 104: 883–888.

[62] HUET G, HADAD C, GONZALEZ-DOMÍNGUEZ J M, et al. IL *versus* DES: Impact on chitin pretreatment to afford high quality and highly functionalizable chitosan[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 269: 118332.