

不同规格及性别的克氏原螯虾各部位 营养分析及评价

黄国威^{1,2}, 余敏¹, 周际松¹, 熊光权¹, 白婵¹, 邱亮¹, 杨俊松^{3*}, 廖涛^{1*}

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 武汉 430064;
2. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 武汉 430068; 3. 蚌埠医学院公共基础学院, 蚌埠 233030)

摘要: **目的** 综合分析和评价不同规格及性别的克氏原螯虾各部位的营养成分。**方法** 通过测定不同规格及性别的克氏原螯虾的肝胰腺、肌肉、虾壳、虾钳中基本营养成分、氨基酸、脂肪酸和矿物质指标等, 综合评价各部位的营养情况。**结果** 同等规格下雌虾可食用率高于雄虾, 中等规格雌虾可食用率最高, 为30.28%; 水分含量最高的部位为中等规格雄虾肌肉, 含量为81.72%±0.66%; 灰分含量最高的部位为中等规格雄虾虾壳, 含量为38.42%±0.31%; 蛋白质含量最高的部位为大规格雌虾肌肉, 含量为17.37%±6.00%; 脂肪含量最高的部位为大规格雌虾肝胰腺, 含量为25.00%±3.29%; 甲壳素含量最高的部位为大规格雌虾虾钳, 含量为14.55%±2.55%; 虾青素含量最高的部位为大规格雄虾虾壳, 含量为106.93 μg/g; 虾的肝胰腺和肌肉中Zn、Se、Fe含量较高; 虾壳和虾钳中Ca元素含量较高; 虾的尾部肌肉中P、K、Na等元素含量较高。**结论** 中等规格雌虾具有更大的食用价值, 各类虾的虾头壳、虾钳、肝胰腺等副产物中富含甲壳素、虾青素、氨基酸、不饱和脂肪酸、矿物质等营养成分, 具有较高的开发价值。

关键词: 克氏原螯虾; 营养成分; 品质评价

Nutritional analysis and evaluation of different parts of *Procambarus clarkia* with different size and gender

HUANG Guo-Wei^{1,2}, SHE Min¹, ZHOU Ji-Song¹, XIONG Guang-Quan¹,
BAI Chan¹, QIU Liang¹, YANG Jun-Song^{3*}, LIAO Tao^{1*}

(1. Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430064, China; 2. School of Biological Engineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 3. Department of Public Foundation, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, China)

ABSTRACT: Objective To comprehensively analyze and evaluate the nutritional composition of various parts of *Procambarus clarkia* of different sizes and genders. **Methods** The nutrition of each part was evaluated

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0902000)、湖北省农业科技创新中心重大科技研发专项(2020-620-000-002-03)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2019YFD0902000), and the Major Project of Scientific and Technological Research and Development of Hubei Agricultural Scientific and Technological Innovation Center (2020-620-000-002-03)

*通信作者: 杨俊松, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: cacfrw@126.com

廖涛, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: 17418431@qq.com

*Corresponding author: YANG Jun-Song, Ph.D, Professor, Department of Public Foundation, Bengbu Medical College, No.2600 Donghai Avenue, Bengbu 233030, China. E-mail: cacfrw@126.com

LIAO Tao, Professor, Ph.D, Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, No.5 Nanhu Avenue, Hongshan District, Wuhan 430064, China. E-mail: 17418431@qq.com

comprehensively by measuring the basic nutrients, amino acids, fatty acids and mineral indicators in the hepatopancreas, muscles, shells and pincers of *Procambarus clarkia* of different sizes and genders. **Results** The edible rate of female *Procambarus clarkia* was higher than that of male *Procambarus clarkia* at the same sizes, with the highest edible rate of 30.28% for medium-sized female *Procambarus clarkia*; the highest moisture content was in the muscle of medium-sized male *Procambarus clarkia*, with $81.72\% \pm 0.66\%$; the highest ash content was in the shell of medium-sized male *Procambarus clarkia*, with $38.42\% \pm 0.31\%$; the highest protein content was in the muscle of large-sized female *Procambarus clarkia*, with $17.37\% \pm 6.00\%$; the highest fat content was in the hepatopancreas of large-sized female *Procambarus clarkia*, with $25.00\% \pm 3.29\%$; and the highest chitin content was in the hepatopancreas of large-sized female *Procambarus clarkia*. The highest chitin content was in the pincers of large-sized female *Procambarus clarkia* with $14.55\% \pm 2.55\%$; the highest astaxanthin content was in the shell of large-sized male *Procambarus clarkia* with $106.93 \mu\text{g/g}$; the hepatopancreas and muscles of *Procambarus clarkia* had higher content of Zn, Se and Fe; the shells and pincers of *Procambarus clarkia* had higher content of Ca; the muscles of *Procambarus clarkia* had higher content of P, K and Na. **Conclusion** Medium-sized female *Procambarus clarkia* have greater edible value, and various types of *Procambarus clarkia* head shells, pincers, hepatopancreas and other by-products are rich in chitin, astaxanthin, amino acids, unsaturated fatty acids, minerals and other nutrients, which have high development value.

KEY WORDS: *Procambarus clarkia*; nutritional ingredients; quality evaluation

0 引言

克氏原螯虾, 又称龙虾、小龙虾, 属甲壳纲十足目水生类动物, 因肉质鲜美, 深受人们的喜爱。小龙虾分布广泛, 原产墨西哥、美国, 20 世纪引入我国, 现已成为我国重要经济养殖物种。2020 年, 我国的小龙虾总产值高达 3448.46 亿元, 其中小龙虾养殖业 748.38 亿元; 以加工业为主的第二产业产值占比很低, 约为 480.08 亿元^[1]。小龙虾的加工以初级加工为主, 即生产虾尾、虾仁等初级加工产品, 导致其可食率很低, 加工过程中产生的虾头、虾壳及内脏等废弃物含量高达 50%~60%^[2], 这些废弃物中也富含甲壳素、虾青素、氨基酸、钙、钠、钾、磷和微量元素硒等^[3], 如果将这些废料中的营养元素充分利用, 必将带来巨大的经济效益。例如, 朱继国等^[4]利用克氏原螯虾壳为钙源制备钙质补充; 王紫薇^[5]利用虾头和虾壳酿造一种功能性调味料。但此类研究还不够全面, 目前对于克氏原螯虾营养价值的研究大多都集中在肌肉品质上, 例如程小飞等^[6]研究了不同养殖模式对克氏原螯虾的肌肉品质影响, 彭波等^[7]研究了性别差异对克氏原螯虾的肌肉及含肉率的影响, 毛涛等^[8]分析了不同规格及体色对克氏原螯虾肌肉品质的影响。

近年来, 随着我国克氏原螯虾产业的快速发展, 克氏原螯虾的营养价值也越来越受人们的关注。目前, 对克氏原螯虾虾壳、肝胰腺等废弃物的营养价值研究较少, 且没有关于性别和规格对克氏原螯虾各部位营养价值影响的相关研究。因此, 本研究将不同规格的克氏原螯虾按性别分为 6 个大类, 分析对比了不同性别及规格克氏原螯虾可食

用部位(虾钳、尾部肌肉)与不可食用部位(虾头壳、肝胰腺)等部分营养成分之间的差异, 为确定具体规格及性别克氏原螯虾在食用方面的精细加工及虾壳、肝胰腺等废弃物的综合利用提供数据理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

3 个规格的雌雄克氏原螯虾, 购于湖北省武汉市南湖悦活里超市, 活虾清洗干净后, 用剪刀、钳子等工具解剖为虾头壳、虾钳、肝胰腺、尾部肌肉 4 个部分, 经真空冷冻干燥制成冻干粉, 放入 -20°C 冰箱备用。

氯化钠、乙醇、硫酸、硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、甲基红、溴甲酚绿、硼酸、石油醚(沸程 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$)、乙酸镁、盐酸、硝酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 乙腈、二氯甲烷、甲醇、正己烷、二丁基羟基甲苯[色谱纯, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; 虾青素标准品(纯度 $\geq 98\%$, 上海源叶生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

K9860 全自动凯氏定氮仪(山东海能仪器股份有限公司); SZF-06C 脂肪测定仪(上海洪纪仪器设备有限公司); KS-5200DE 液晶超声波清洗器(昆山结力美超声仪器有限公司); HWCL-3 集热式恒温磁力搅拌浴(郑州长城科工贸有限公司); CF15R 高速冷冻离心机(日本日立公司); SHZ-DIII 予华牌循环水真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司); BT25S 电子分析天平(精度 0.001 g , 德国 Sartorius 公司); HH-S6 恒温水浴锅(郑州杜甫仪器厂); Phenomenex PEPTID EX-C₁₈ 色谱柱($250 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$, $3.6 \mu\text{m}$)、

AgilentDB-225 毛细管色谱柱(10 m×0.1 m, 0.1 μm)、7890A-5975C 气相色谱质谱联用仪(美国 Agilent 公司); LC-20AT 高效液相色谱仪(日本岛津公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 生物学指数测定

依据虾的个体质量将不同规格的克氏原螯虾分为大、中、小 3 个规格, 并对 3 个规格雌雄克氏原螯虾的生物学指数进行测定, 具体计算方法如公式(1)~(5)。

$$\text{尾肉指数}/\% = \frac{\text{虾肉质量}}{\text{个体质量}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{钳肉指数}/\% = \frac{\text{钳肉质量}}{\text{个体质量}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{肝胰腺指数}/\% = \frac{\text{肝胰腺质量}}{\text{个体质量}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{肥满度}/\% = \frac{\text{个体质量}}{(\text{个体长度})^3} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{可食部位得率}/\% = \text{钳肉指数}(\%) + \text{肝胰腺指数}(\%) + \text{尾肉指数}(\%) \quad (5)$$

1.3.2 基础营养成分测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》直接干燥法测定水分含量; 参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》总灰分法测定灰分含量; 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定粗脂肪含量; 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定粗蛋白质含量。

1.3.3 甲壳素含量的测定

参考李永强^[9]和程佳琦^[10]方法并稍作修改: 称取 5 g 虾壳或虾钳粉样品(记为 M_0), 以 1:10 ($m:V$) 的比例加入 1 mol/L 的盐酸溶液, 搅拌充分反应, 放置到 4°C 冰箱冷藏 1.5 h, 进行脱钙处理, 然后将过滤后的固体物以 1:10 ($m:V$) 比例加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液, 放入 90°C 水浴锅中加热 2 h 进行脱蛋白处理, 过滤得到固体物质, 重复以上操作 4 次, 在最后一次脱蛋白处理后用乙醇洗净固体物质, 放入 40°C 烘箱烘干称重, 得到甲壳素粗提物(记为 M_1); 甲壳素的含量/ $\% = M_1/M_0 \times 100\%$ 。

1.3.4 氨基酸含量测定及营养评价

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》使用全自动氨基酸分析仪测定氨基酸含量。

氨基酸评分^[11]: 根据联合国粮农组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白的氨基酸模式进行比较, 按公式(6)~(8)分别计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)。

$$\text{AAS} = \frac{aa}{AA_{(\text{FAO/WHO})}} \quad (6)$$

$$\text{CS} = \frac{aa}{AA_{(\text{Egg})}} \quad (7)$$

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100H}{HE}} \quad (8)$$

式中, aa 为实验样品中某氨基酸含量(mg/gN), $AA_{(\text{FAO/WHO})}$ 为 FAO/WHO 评分模式^[12]中同种氨基酸含量(mg/gN), $AA_{(\text{Egg})}$ 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量($\%$), n 为比较的氨基酸个数, A 、 B 、 C 、...、 H 为虾各部分蛋白质的各种必需氨基酸含量。

1.3.5 矿物质元素测定

参考 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》对矿物质元素进行测定。

1.3.6 虾青素测定

参考 SOWMYA 等^[13]的方法, 并做出适当的修改。称取 1 g 左右样品以 1:7 ($m:V$) 的比例加入乙醇, 25°C、40 kHz 超声 20 min, 4°C、8000×g 离心 15 min, 取上清液, 重复操作 3 次, 合并上清液。向样品溶液中加入 KOH-乙醇溶液(将溶液 pH 调到 10)在 4°C 条件下皂化 2.5 h, 然后用稀 HCl 溶液将样品溶液 pH 中和至 7, 40°C 真空过滤, 得到虾青素粗提物。用恒定体积流动相溶解样品虾青素, 过 0.45 μm 滤膜。

高效液相色谱仪条件: 等度洗脱; 流动相: 乙腈: 甲醇: 二氯甲烷=80:15:5 ($V:V:V$); Phenomenex PEPTID EX-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 3.6 μm), 流速 1 mL/min, 设波长为 474 nm, 柱温 25°C, 进样量 20 μL。

1.3.7 脂肪酸组成测定及营养评价

样品制备: 称取样本 10 mg 至顶空瓶中, 加入 2 mL 5% 浓硫酸甲醇溶液, 加入 25 U 10.2% 二丁基羟基甲苯甲醇, 90°C 恒温水浴反应 1.5 h, 反应完成后取出静置冷却至室温; 冷却后开盖加入 2 mL 饱和食盐水, 1 mL 正己烷, 涡旋 1 min; 低速离心机离心 5 min, 4°C, 3500×g; 取 800 μL 上层清液至 1.5 mL 离心管中; 将虾仁样本上清液稀释 4 倍, 虾黄样本上清液稀释 10 倍, 取 60 μL 上清液至进样瓶中上机检测。

气相色谱仪分析条件: AgilentDB-225 毛细管色谱柱(10 m×0.1 m, 0.1 μm), 升温程序: 初始温度 55°C 保持 1 min, 以 30°C/min 升至 205°C, 保持 1 min, 以 5°C/min 升至 230°C, 保持 1 min。进样口温度为 250°C, 进样量为 1 μL, 分流比为 15:1, 柱流量为 0.3 mL/min。

脂肪酸营养价值评价: 根据相关文献^[14], 按照公式(9)~(10)计算克氏原螯虾样品脂肪酸组成致动脉粥样硬化指数(atherosclerosis index, AI)和血栓形成指数(thrombin index, TI)来衡量克氏原螯虾对人体心脑血管疾病的风险。

$$\text{AI} = \frac{\text{C12:0} + \text{C14:0} + \text{C16:0}}{\sum \text{MUFA} + \sum \text{PUFA}} \quad (9)$$

$$TI=C14:0+C16:0+C18:0/[(0.5\times\sum MUFA)+(0.5\times\sum PUFA(n-6))+ (3\times\sum PUFA(n-3))+(n-3/n-6)] \quad (10)$$

其中: MUFA 为单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid), PUFA 为多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid), $n-6$ 及 $n-3$ 为多不饱和脂肪酸的两个重要分类。

1.4 数据处理

每个试验重复 3 次, 结果以平均值 \pm 标准偏差表示, 采用 SPSS 24.0 软件进行单因素方差分析(one-way analysis of variance, One-way ANOVA), 显著性水平 $P<0.05$, Origin 2019 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同规格及性别克氏原螯虾生理指数

不同规格及性别的克氏原螯虾生理指数结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, 克氏原螯虾的体长、总质量、钳重、钳肉质量、肝胰腺质量、虾尾肉质量会随着规格的增长呈正相关; 同等规格下雌虾可食用率高于雄虾, 中等规格雌虾可食用率最高, 为 30.28%; 在大、中规格克氏原螯虾中性别对钳重和钳肉质量的影响具有显著性($P<0.05$), 雄虾钳重及钳肉质量显著高于雌虾; 大、中规格克氏原螯虾中性别对虾尾肉质量也具有显著性($P<0.05$), 雌虾尾肉质量显著高于雄虾; 小规格克氏原螯虾性别对其总质量、钳重、钳肉质量、肝胰腺质量、虾尾肉质量均无显著性($P>0.05$); 且比较 3 种规格虾的可食部位得率可知, 得率较高的为中等和大规格的虾, 这与 BONO 等^[14]的研究一致, 但是大规格雄虾的尾肉指数偏低, 其钳肉指数较高, 这表明雌、雄个体在生长发育过程中存在一定的差异, 当雌虾长到一定程度时, 出现性成熟, 体内激素分泌与营养供给与雄虾不同, 导致雄虾偏向增长钳肉, 而雌虾偏向增长尾肉。在实际生活中, 钳利用价值较低, 在一定程度上造成了资源浪费。

2.2 不同规格及性别克氏原螯虾基础营养成分

水产品的主要营养成分(水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白

质)是衡量水产品营养和品质的重要指标^[15]。甲壳素, 是一种线性高分子多糖^[16]。研究表明, 甲壳素可调节机体 pH、提高免疫力、预防癌变^[17]、控制血糖^[18]等。不同规格及性别的克氏原螯虾的基础营养成分如表 2 所示, 水分含量最高的部位为中等规格雄虾肌肉, 含量为 81.72% \pm 0.66%, 对比各组分部位间水分含量可知, 各组分部位间水分差异较大, 肌肉和肝胰腺组水分含量大于虾钳和虾壳组, 性别对部分规格部位克氏原螯虾肝胰腺水分含量有显著影响($P<0.05$), 雄虾肝胰腺的水分含量远高于雌虾($P<0.05$), 这可能是由于雌虾肝胰腺中脂肪占比较大; 灰分含量最高的部位为中等规格雄虾虾壳, 含量为 38.42% \pm 0.31%, 规格对灰分的影响基本不显著($P>0.05$), 在中、小规格克氏原螯虾钳中性别对灰分的影响显著($P<0.05$), 在 BONO 等^[14]研究中, 地中海红虾的灰分会随着体型的增长呈负相关且与性别对灰分的影响具有显著性, 这与本研究结果有部分差异, 这可能是由于样品不同造成的; 肌肉组蛋白质含量最高, 含量最高的部位为大规格雌虾肌肉, 含量为 17.37% \pm 6.00%, 肌肉组脂肪含量较低, 这与杜雪莉等^[19]研究结果一致, 更能说明克氏原螯虾为高蛋白低脂肪食品, 肌肉组蛋白质含量与肝胰腺脂肪含量高于其他 3 类, 并且中等规格克氏原螯虾不同性别对粗脂肪的含量具有显著性差异($P<0.05$), 可能是由于此规格段克氏原螯虾多处于成熟期, 性类固醇激素大多分布在肝胰腺且部分雌虾是排卵期, 所以雌虾粗脂肪含量较雄虾更高; 表中研究结果显示, 脂肪含量最高的部位为大规格雌虾肝胰腺, 也与上述猜想一致。WU 等^[20]在研究中表明, 脂类对甲壳类动物的具有重要的营养价值, 对野生和圈养的甲壳类动物的比较表明, 膳食脂肪组成对组织脂肪酸的影响及其对繁殖成功和产卵质量有后续影响。壳类甲壳素含量高于钳类, 甲壳素含量最高的部位为大规格雌虾钳, 含量为 14.55% \pm 2.55%, 大部分部位甲壳素含量在 13%左右, 本研究结果与 PERCOT 等^[21]的研究结果相比含量稍低, 在王凤霞等^[22]对不同种类虾头的研究中, 克氏原螯虾头所含甲壳素为 4.6%, 与本研究结果相比较低, 可能是样品选择的差异。

表 1 不同规格及性别的克氏原螯虾生理指数

Table 1 Physiological index of *Procambarus clarkia* of different sizes and genders

规格	性别	体长 /cm	质量 /g	钳重 /g	钳肉 质量/g	肝胰腺 质量/g	尾肉质量 /g	肥满度 /%	钳肉指数 /%	肝胰腺指数 /%	尾肉指数 /%	可食用率 /%
小	雌	10.34 \pm 0.86 ^d	12.47 \pm 1.85 ^d	1.88 \pm 0.54 ^c	-	0.97 \pm 0.36 ^b	2.17 \pm 0.80 ^c	1.16	-	7.56	17.00	24.56
	雄	11.27 \pm 1.09 ^c	12.76 \pm 2.27 ^d	3.28 \pm 0.88 ^{de}	-	0.68 \pm 0.24 ^b	2.13 \pm 0.35 ^c	0.92	-	5.34	16.95	22.29
中	雌	13.39 \pm 1.09 ^b	19.46 \pm 2.27 ^a	3.55 \pm 0.88 ^d	0.73 \pm 0.30 ^c	1.59 \pm 0.24 ^a	3.61 \pm 0.35 ^b	0.82	3.69	8.04	18.54	30.28
	雄	14.14 \pm 0.74 ^b	18.19 \pm 1.40 ^a	5.23 \pm 1.65 ^c	1.19 \pm 0.51 ^b	1.09 \pm 0.34 ^b	2.63 \pm 0.57 ^c	0.65	6.47	5.99	14.49	26.95
大	雌	15.06 \pm 1.10 ^a	31.52 \pm 4.86 ^c	6.92 \pm 2.14 ^b	1.35 \pm 0.48 ^b	2.04 \pm 0.69 ^a	5.11 \pm 0.91 ^a	0.94	4.29	6.44	16.39	27.12
	雄	15.75 \pm 0.80 ^a	27.35 \pm 4.19 ^b	8.62 \pm 2.71 ^a	1.73 \pm 0.72 ^a	1.68 \pm 0.67 ^a	3.55 \pm 1.45 ^b	0.70	6.48	6.07	12.85	25.39

注: -表示未检出; 同一列的小写字母不同表示差异性显著($P<0.05$)。

表 2 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分基础营养成分
Table 2 Basic nutrients of various parts of *Procambarus clarkia* of different specifications and genders

部位	规格	性别	水分/%	灰分/%	蛋白质/%	脂肪/%	甲壳素/%
肝胰腺	小	雌	59.13±3.99 ^c	1.98±0.52 ^a	3.49±0.26 ^b	14.61±1.18 ^{bc}	-
		雄	75.42±2.67 ^{ab}	2.06±0.74 ^a	3.45±0.31 ^b	14.41±3.09 ^{bc}	-
	中	雌	70.85±0.69 ^b	1.13±0.00 ^{ab}	7.73±2.54 ^a	17.20±0.59 ^b	-
		雄	79.08±0.51 ^a	1.63±0.03 ^{ab}	8.04±1.40 ^a	11.24±0.32 ^{cd}	-
	大	雌	59.06±3.25 ^c	0.92±0.09 ^b	2.85±0.83 ^b	25.00±3.29 ^a	-
		雄	78.86±5.45 ^a	1.08±0.23 ^{ab}	3.11±0.21 ^b	7.87±0.50 ^d	-
肌肉	小	雌	80.00±0.08 ^{ab}	1.53±0.18 ^a	8.87±1.54 ^b	1.29±0.04 ^a	-
		雄	75.42±2.67 ^c	1.28±0.07 ^{abc}	8.95±0.59 ^b	0.93±0.07 ^{bc}	-
	中	雌	81.26±0.29 ^{ab}	1.12±0.00 ^c	8.99±1.19 ^b	0.80±0.09 ^c	-
		雄	81.72±0.66 ^a	1.28±0.07 ^{abc}	11.67±2.44 ^b	1.27±0.04 ^a	-
	大	雌	81.24±0.20 ^{ab}	1.45±0.03 ^{ab}	17.37±6.00 ^a	0.80±0.05 ^c	-
		雄	77.79±3.86 ^{bc}	1.22±0.16 ^{bc}	16.73±1.51 ^a	1.03±0.02 ^b	-
虾钳	小	雌	59.69±2.99 ^b	19.76±2.48 ^a	6.19±0.28 ^c	1.11±0.21 ^a	11.23±1.51 ^b
		雄	59.56±4.10 ^b	14.55±0.85 ^b	8.55±1.17 ^a	0.04±0.01 ^c	9.69±1.12 ^b
	中	雌	60.49±1.76 ^b	19.65±1.43 ^a	7.38±0.18 ^b	0.70±0.11 ^b	11.93±1.35 ^b
		雄	61.02±3.86 ^b	13.81±1.32 ^b	8.53±0.27 ^a	1.05±0.12 ^a	10.35±0.87 ^b
	大	雌	62.56±5.58 ^b	17.46±1.72 ^{ab}	3.22±0.17 ^d	1.06±0.04 ^a	14.55±2.55 ^a
		雄	71.48±4.68 ^a	17.39±1.62 ^{ab}	2.78±0.26 ^d	1.29±0.09 ^a	9.51±0.61 ^b
虾壳	小	雌	46.28±1.84 ^b	24.18±1.22 ^c	5.48±0.18 ^c	1.118±0.40 ^a	14.16±1.77 ^a
		雄	46.55±2.23 ^b	32.88±2.10 ^b	5.12±0.21 ^c	1.355±0.00 ^a	14.52±1.69 ^a
	中	雌	51.83±3.75 ^a	35.21±2.73 ^{ab}	8.97±1.27 ^a	1.120±0.03 ^a	11.23±0.76 ^b
		雄	43.68±2.38 ^b	38.42±0.31 ^a	7.22±0.98 ^b	1.236±0.15 ^a	13.60±1.70 ^{ab}
	大	雌	48.26±0.27 ^{ab}	36.36±2.98 ^{ab}	5.95±0.51 ^{bc}	0.997±0.01 ^a	14.16±1.78 ^a
		雄	48.16±2.46 ^{ab}	31.75±1.22 ^b	8.63±0.20 ^a	1.400±0.13 ^a	13.55±0.28 ^{ab}

注: 相同部位, 同一列的小写字母不同表示差异性显著($P<0.05$), -表示未检出。

2.3 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分氨基酸组成及分析

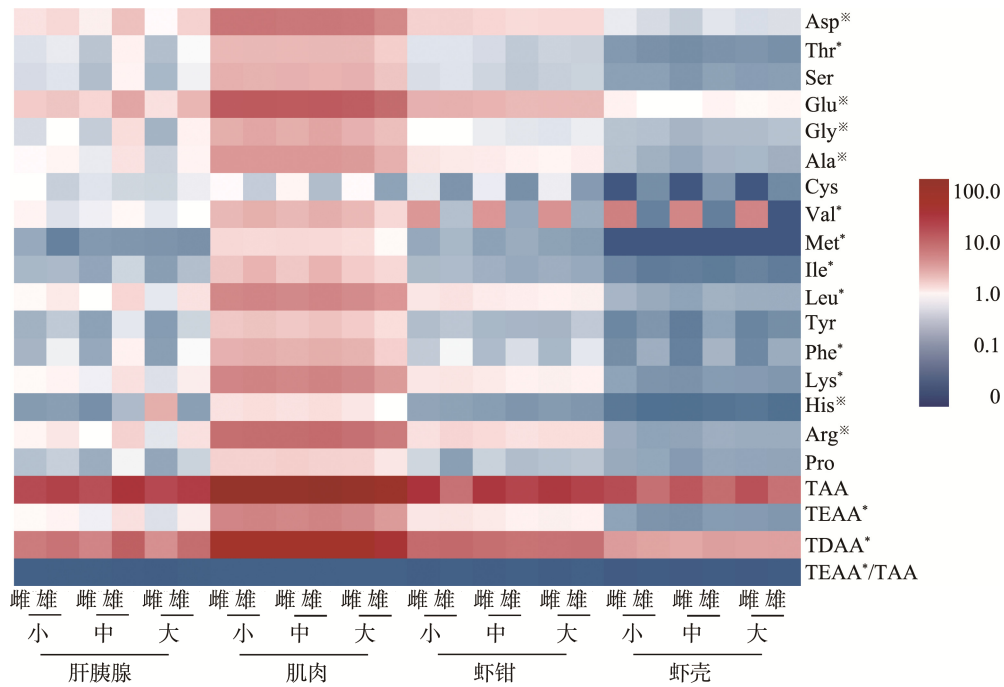
必需氨基酸含量在一定程度上能反映蛋白质的营养价值^[23]。从图 1 中可以看出在肝胰腺组成中, 雌虾总必需氨基酸含量(total essential amino acid, TEAA)和总鲜味氨基酸(total delicious amino acid, TDAA)均基本高于雄虾, 在肌肉组成中, 除大规格虾中雄虾总必需氨基酸含量与鲜味氨基酸含量大于雌虾, 其他均与肝胰腺含量差异相似, 在钳类与壳类中, 总必需氨基酸含量与鲜味氨基酸含量差异不大。

通过图 2 AAS 和 CS 评分, 可以得出虾中肝胰腺和钳类的第一限制性氨基酸为异亮氨酸, 肌肉中第一限制性氨基酸为蛋氨酸+半胱氨酸, 这点与程小飞等^[6]对肌肉的研究结果相同, 壳中 AAS 和 CS 评分蛋氨酸+半胱氨酸含量为 0, 第一限制性氨基酸为异亮氨酸。肌肉的 AAS、CS 评分和必需氨基酸指数均大于一, 结合图中数据, 中等规格雌虾的评分基本都大于雄虾。雄虾虾壳中无蛋氨酸与半胱氨酸, 各规格每种部位缬氨酸均存在雌虾含量远高于雄虾含量现象, 说明缬氨酸的含量可能与雌虾的生长发育有一定的关系。且大规格雄虾虾壳中无缬氨酸, 这里猜测可能是大雄虾壳中缬氨酸含量低于检出限而未检出, 雌虾虾壳中无半胱氨酸, 在

程小飞等^[24]对虾壳粉的研究中, 也未检出半胱氨酸, 可以说明雌虾和雄虾在营养成分组成中存在一定差异。从图中可以看出, 除缬氨酸外, 谷氨酸与天冬氨酸在虾各个部位中也含量较高, 这与 FU 等^[25]对干制鲑鱼的研究结果相似, 而谷氨酸与天冬氨酸具有鲜味^[14], 丙氨酸和甘氨酸为虾提供了甜味^[26], 为虾肉的感官分析做出了贡献。

2.4 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分矿物质含量

从表 3 中可以看出, 除部分肝胰腺样品外, 克氏原螯虾微量元素与常量元素齐全, 肝胰腺中 Zn、Se、Fe 含量相比其他部位较高, 微量元素在肝胰腺中含量高于肌肉组织, 这可能是克氏原螯虾的代谢及其酶活反应大多发生在肝胰腺部位, 所以肝胰腺中需要大量微量元素来控制代谢及其他酶活反应^[27]。虾尾肉中的 P、K、Na 等元素含量比较高。K 元素在虾壳、虾钳中的含量远高于肝胰腺与肌肉^[28], 中等规格雌虾中 Ca、Zn 与 Mg 元素含量高于雄虾, 导致这种差异原因可能是中等规格及以上的雌虾存在性成熟的现象, 这种现象导致雌、雄个体对矿物质和营养物质吸收能力存在差异; 大规格雌虾中的各个部分 Se 元素含量均高于雄虾含量, 含量处于 0.2~2.3 mg/kg 之间, 与 SUAMI 等^[29]对虾的研究中结果相近, 这表明大规格的雄虾对 Se 元素积累能力比雌性虾强。



注: *为鲜味氨基酸; *为必需氨基酸。Asp 为天门冬氨酸(aspartic acid); Thr 为苏氨酸(threonine); Ser 为丝氨酸(serine); Glu 为谷氨酸 (glutamic acid); Gly 为甘氨酸(glycine); Ala 为丙氨酸(alanine); Cys 为半胱氨酸(cysteine); Val 为缬氨酸(valine); Met 为蛋氨酸(methionine); Ile 为异亮氨酸(isoleucine); Leu 为亮氨酸(leucine); Tyr 为酪氨酸(tyrosine); Phe 为苯丙氨酸(phenylalanine); Lys 赖氨酸为(lysine); His 为组氨酸(histidine); Arg 为精氨酸(arginine); Pro 为脯氨酸(proline); TAA 为总氨基酸(total amino acids)。

图 1 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分氨基酸组成[以干重计/(g/100 g)]

Fig.1 Amino acid composition of various parts of *Procambarus clarkia* of different specifications and genders [by dry weight/(g/100 g)]

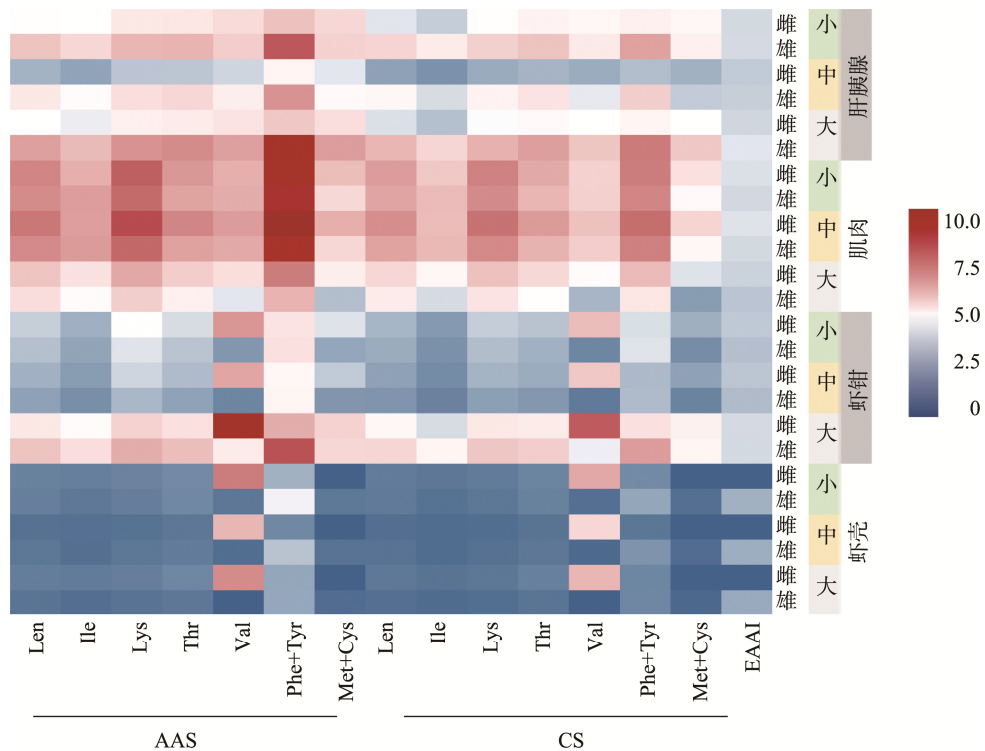


图 2 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分氨基酸评分

Fig.2 Amino acid scores of various parts of *Procambarus clarkia* of different sizes and genders

表 3 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分矿物质含量[以干样计/(mg/kg)]

Table 3 Mineral content of various parts of *Procambarus clarkia* of different specifications and genders [by dry weight/(mg/kg)]

部位	规格	性别	Zn [*]	Se [*]	Fe [*]	Ca [#]	P [#]	K [#]	Na [#]	Mg [#]
肝胰腺	小	雌	84.64	1.05	1765.89	1536.00	538.15	5079.27	2032.49	453.11
		雄	270.67	1.69	2248.39	1868.78	863.71	7245.03	2840.41	463.09
	中	雌	75.29	0.77	1288.09	1489.00	572.63	4825.65	1835.73	0.00
		雄	425.02	1.30	2120.58	1858.44	960.12	10775.97	4242.80	953.35
	大	雌	322.99	2.21	1827.37	2456.00	511.15	3940.75	1304.34	0.00
		雄	219.61	1.25	1973.80	2649.00	800.18	9487.08	2366.71	0.00
肌肉	小	雌	101.37	0.73	1499.23	3050.79	1205.00	11642.28	2878.36	1909.71
		雄	83.75	0.58	2538.62	2229.55	1118.64	11677.74	2763.15	1294.75
	中	雌	140.42	1.05	236.40	6973.46	1390.56	14720.82	3531.48	2562.81
		雄	97.31	0.68	415.27	5047.08	1244.74	11748.48	6245.51	2477.48
	大	雌	151.80	0.79	431.00	25952.66	1352.41	13708.72	6316.41	2777.93
		雄	115.51	0.66	880.02	3175.05	1464.72	14905.36	3744.37	1809.74
虾钳	小	雌	84.61	0.23	208.42	174801.98	608.83	3123.03	3268.46	2228.18
		雄	131.14	0.24	393.83	205183.38	755.37	3621.50	3997.24	2922.99
	中	雌	76.37	0.41	56.99	154124.21	643.08	2275.78	2526.24	1809.99
		雄	351.77	1.03	227.18	154028.43	664.26	2779.19	2787.92	2366.32
	大	雌	139.51	0.67	52.58	196481.89	818.74	2727.85	3650.97	2558.97
		雄	80.12	0.32	66.40	171464.88	684.38	2160.68	2768.68	2549.01
虾壳	小	雌	70.99	0.77	140.63	166070.15	512.99	926.52	2009.11	2205.28
		雄	53.95	0.53	479.78	167444.87	401.85	1824.86	2751.77	2067.55
	中	雌	68.55	0.37	163.77	141515.11	415.67	1914.55	3207.71	1639.34
		雄	80.97	0.01	427.75	210911.62	518.37	1753.29	3271.72	2630.60
	大	雌	52.45	1.08	215.90	214464.70	644.77	1432.79	3958.14	4936.81
		雄	73.36	0.26	129.00	164752.74	452.73	1393.43	3476.27	2381.14

注: #为常量元素; *为微量元素。

2.5 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分虾青素含量

从表 4 中可以看出, 规格及性别对虾头壳和虾钳虾青素含量影响明显, 3 个规格克氏原螯虾虾青素含量雄虾明显高于雌虾, 机体中虾青素含量跟其抵御外界恶劣环境的能力呈正相关^[30], 虾青素含量越高, 其抵御外界恶劣环境的能力就越强。克氏原螯虾自身无法产生虾青素, 主要通过摄取藻类来获取虾青素, 并在体内不断积累产生超强抗氧化能力, 这表明雄虾对虾青素的积累能力超过雌虾, 除大规格雄虾外, 其余同规格同性别的克氏原螯虾虾钳中虾青素含量高于虾壳, 虾青素含量最高的部位为大规格雄虾壳, 含量为 106.93 μg/g。虾青素含量范围位于 5.23~106.93 mg/kg 之间, HU 等^[31]从克氏原螯虾壳提取的虾青素含量为 43.7 mg/kg。LI 等^[32]从克氏原螯虾

壳提取的虾青素含量为 9.9 mg/L, 王凤霞等^[22]从克氏原螯虾头提取虾青素含量仅为 31 μg/g, 均在上表中虾青素含量范围之间, 而本研究测得大规格雄虾虾青素含量与其不一致, 这里可能由于提取等操作存在一定的差异。

2.6 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分脂肪酸含量

图 3 是克氏原螯虾各个部位的脂肪酸含量。二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA), 在肝胰腺中的含量均处于 0.1~0.5 mg/g 之间, 在肌肉中, DHA 含量为 0.3~0.8 mg/g, EPA 含量为 0.7~3.5 mg/g, DHA 在虾钳中的含量为 0.3~1.5 mg/g, EPA 在虾钳中的含量为 1.0~5.1 mg/g, 壳类 DHA 含量为 3.0~9.4 mg/g, EPA 含量为 1.3~2.8 mg/g。其中壳类的不饱和脂肪酸明显高于其他 3 类, 从图 3 中可以看出其不

表 4 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分虾青素含量[以干样计/(mg/kg)]

Table 4 Astaxanthin content in various parts of *Procambarus clarkia* of different sizes and gender [by dry weight/(mg/kg)]

部位	虾钳						虾壳					
	小		中		大		小		中		大	
性别	雌	雄	雌	雄	雌	雄	雌	雄	雌	雄	雌	雄
含量/(mg/kg)	8.97	87.59	14.00	81.02	41.04	100.41	5.23	40.23	12.04	60.80	37.55	106.93

饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量, 棕榈酸、油酸、亚油酸及 α -亚麻酸含量远高于其他 3 类, 这一点与 GONZALES 等^[33]的研究结论相近, 可能是由于脂肪酸生产系统造成的。KÜÇÜKGÜLMEZ 等^[34]研究 5 种鱼类, 也发现以上 4 种脂肪酸也同样高于其他脂肪酸含量, 猜测这种可能是淡水鱼类的特征。 α -亚麻酸是 EPA 和 DHA 合成的基本脂肪酸和内源性前体^[35], 人体不能合成, 食用这些对人体的营养更有优势。己酸、癸酸、月桂酸、十三烷酸、十七烷烯酸、 γ -亚麻酸和木蜡酸为虾壳特有的脂肪酸。食品中不饱和脂肪度高具有调节血脂软化血管、抑制动脉粥样硬化和血栓形成的作用, 在脂肪酸评价中可以通过血栓形成指数^[36]和动脉粥样硬化指数^[33]来评价。比较雌雄两种肝胰腺部分和肌肉部分, 可以发现肝胰腺组饱和脂肪酸含量大于不饱和脂肪酸含量, 肌肉组中中等规格雄性虾不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量, 结合 AI 值和 TI 值比较, 中等规格虾肌肉不饱和度更高, 中等雄虾肌肉更具有食用价值。GULZAR 等^[37]在文献中指出水生食品将成为多不饱和脂肪酸含量、EPA 和 DHA 的主要来源之一, 从图中可以看出多不饱和脂肪酸含量与 GULZAR 的结论基本相符。WU 等^[20]比较了不同养殖地的中华绒螯蟹中雌蟹与雄蟹的脂肪酸组成区别, 其肌肉中 C16:1n7 含量显著低于肝胰腺中含量, 这与上表中数据刚好相反, 而雄蟹中 C16:1n7 和 C18:1n9 含量显著低于雌蟹, 这与本研究中数据只有中等

规格虾数据基本一致, 在肝胰腺组成中与 WU 等^[20]结论较为一致。

3 结 论

在 3 种规格雌、雄性虾中, 中、大规格克氏原螯虾的营养成分明显高于小规格克氏原螯虾, 故小规格虾在食用方面不占明显优势, 但小规格克氏原螯虾壳中甲壳素含量较高, 故可利用小虾废弃副产物提取原料; 中、大规格雄虾钳肉质量显著高于雌虾, 中、大规格雌虾尾肉质量显著高于雄虾, 说明雄虾成年后偏向于生长钳肉, 雌虾成年后偏向于生长虾尾肉。3 种规格雌、雄性个体的肝胰腺中均检测到丰富的脂肪, 尤其是大规格的雌性虾, 肝胰腺中的脂肪含量高达 $25.00\% \pm 3.29\%$, 在中、大规格的虾中, 雌虾肝胰腺中的脂肪含量远高于雄性, 从虾的废弃肝胰腺中提取必需脂肪酸具有很大潜力, 尤其是利用雌性虾废弃肝胰腺。虾尾肉含有丰富的蛋白质却含有较低油脂, 尤其是大规格虾尾肉中, 雌虾的脂肪含量比雄虾更低, 更符合人们健康饮食观念。虾壳和虾钳中甲壳素和虾青素含量丰富, 雄虾虾壳和虾钳中的虾青素远远高雌虾, 可以作为高附加值产物的提取营养物质。这些结果表明, 与雄性克氏原螯虾相比, 中、大雌性克氏原螯虾的营养价值更高, 同时考虑到大规格的克氏原螯虾的价格更高, 所以, 中等规格雌虾具有更大食用价值和开发利用价值。

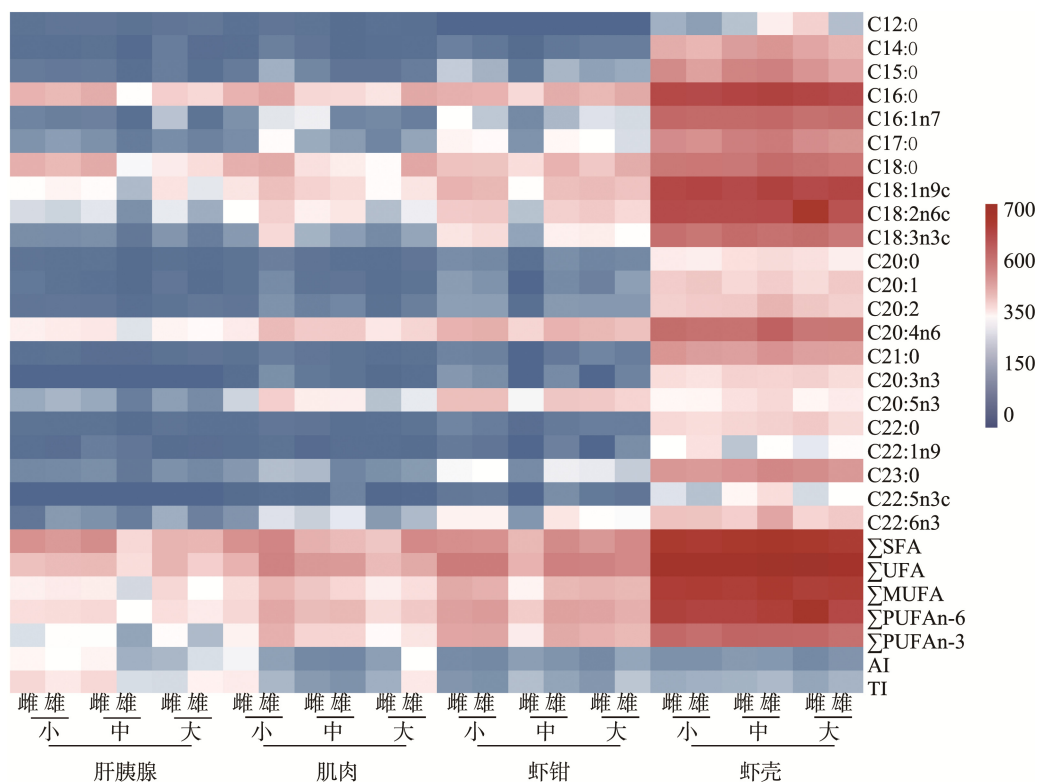


图 3 不同规格及性别的克氏原螯虾各部分脂肪酸含量[以湿样计/(mg/g)]

Fig.3 Fatty acid content of various parts of *Procambarus clarkia* of different specifications and genders [by wet weigh/(mg/g)]

参考文献

- [1] 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.
LI CJ, TU ZC, WEN PW, *et al.* Present situation and future development trend of crayfish processing in China [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(8): 463–470.
- [2] NIRMAL NP, SANTIVARANGKNA C, RAJPUT MS, *et al.* Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 103: 20–35.
- [3] 顾鹏程, 马栎, 郭爱琴, 等. 小龙虾废弃物的利用与工艺创新[J]. 粮食与饲料工业, 2021, 397(3): 37–40.
GU PC, MA D, GUO AIQ, *et al.* Application and technological innovation of crayfish waste exploitation feed resources [J]. *Cereal Feed Ind*, 2021, 397(3): 37–40.
- [4] 朱继国, 廖涛, 熊光权, 等. 超声波辅助龙虾壳制备谷氨酸螯合钙的工艺优化[J]. 中国调味品, 2022, 47(5): 22–27.
ZHU JG, LIAO T, XIONG GQ, *et al.* Optimization of ultrasound-assisted preparation of calcium glutamate chelate from lobster shells [J]. *China Cond*, 2022, 47(5): 22–27.
- [5] 王紫薇. 超声辅助酶解制备克氏原螯虾调味料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
WANG ZW. Study on preparation of *procambarus clarkii* flavoring by ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis [D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [6] 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 XF, SONG R, XIANG J, *et al.* Analysis and evaluation of different farming modes and nutrient composition of wild crawfish (*Procambarus clarkia*) muscle [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 37(4): 87–95.
- [7] 彭波, 谭云飞, 蓬国辉, 等. 克氏原螯虾体征性状与肌肉质量的相关及通径分析[J]. 水产科学, 2021, 40(5): 718–725.
PENG B, TAN YF, PENG GH, *et al.* Correlation and path analysis between physical traits and muscle mass in *Procambarus clarkii* [J]. *Fish Sci*, 2021, 40(5): 718–725.
- [8] 毛涛, 喻亚丽, 何力, 等. 不同体色和规格克氏原螯虾营养品质差异的研究[J]. 淡水渔业, 2020, 50(6): 77–82.
MAO T, YU YL, HE L, *et al.* The nutritional quality discrepancy of different sizes and colour of *Procambarus clarkii* [J]. *Fresh Fish*, 2020, 50(6): 77–82.
- [9] 李永强. 生物法处理虾壳制备甲壳素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
LI YQ. Study of extracting chitin from shrimp shell with biological method [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [10] 程佳琦. 微波对小龙虾壳中甲壳素和壳聚糖提取和解聚的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
CHENG JQ. Effect of microwave on extraction and depolymerization of chitin and chitosan from crayfish shells [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [11] 况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 2028–2036.
KUANG WM, TANG RJ, XUE Y, *et al.* Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models [J]. *Fish Sci*, 2020, 44(12): 2028–2036.
- [12] 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 J, ZHAO ZM, HUANG ZP, *et al.* Comparison of nutrient components in muscles and hepatopancreas of pond- and paddy field-cultured *Procambarus clarkia* [J]. *Prog Fish Sci*, 2021, 42(2): 162–169.
- [13] SOWMYA PRR, ARATHI BP, VIJAY K, *et al.* Astaxanthin from shrimp efficiently modulates oxidative stress and allied cell death progression in MCF-7 cells treated synergistically with β -carotene and lutein from greens [J]. *Food and Chem Toxicol*, 2017, 106: 58–69.
- [14] BONO G, GAI F, PEIRETTI PG, *et al.* Chemical and nutritional characterisation of the central mediterranean giant red shrimp (*Aristaeomorpha foliacea*): Influence of trophic and geographical factors on flesh quality [J]. *Food Chem*, 2012, 130(1): 104–110.
- [15] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 鳊鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2021, 38(3): 41–48.
LING SN, LIU TY, CHEN XY, *et al.* Nutritional components analysis and evaluation of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 38(3): 41–48.
- [16] LEE Y, KIM HW, BRAD-KIM YH. New route of chitosan extraction from blue crabs and shrimp shells as flocculants on soybean soylutes [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2017, 27(2): 461–466.
- [17] 许向阳, 周建平, 李玲, 等. N-正辛基-N'-琥珀酰壳聚糖的制备及其对 4 种肿瘤细胞的亲和性[J]. 中国新药与临床杂志, 2007, 26(5): 355–359.
XU XY, ZHOU JP, LI L, *et al.* Preparation and research of affinity of N-octyl-N'-succinyl chitosan for four kinds of tumor cells [J]. *Chin J New Drugs Clin Remed*, 2007, 26(5): 355–359.
- [18] PHILIBERT T, LEE BH, FABIEN N. Current status and new perspectives on chitin and chitosan as functional biopolymers [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2017, 181(4): 1314–1337.
- [19] 杜雪莉, 张凌晶, 杨欣怡, 等. 4 种饲料养殖小龙虾营养分析及品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 576–584.
DU XL, ZHANG LJ, YANG XY, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of *Procambarus clarkii* fed with 4 kinds of feeds [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(2): 576–584.
- [20] WU X, CHENG Y, SUI L, *et al.* Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock [J]. *Aquac Res*, 2007, 38(14): 1459–1467.
- [21] PERCOT A, VITON C, DOMARD A. Optimization of chitin extraction from shrimp shells [J]. *Biomacromolecules*, 2003, 4(1): 12–18.
- [22] 王凤霞, 张姗姗, 张轩铭, 等. 山东 4 种常见虾头品质分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(2): 228–235.

- WANG FX, ZHANG SS, ZHANG XM, *et al.* Analysis and evaluation of shrimp head quality from four common shrimp species in Shandong Province [J]. *Prog Fish Sci*, 2022, 43(2): 228–235.
- [23] SHI L, HAO G, CHEN J, *et al.* Nutritional evaluation of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) muscle: Mineral content, amino acid profile and protein digestibility [J]. *Food Res Int*, 2020, 129: 108876.
- [24] 程小飞, 宋锐, 洪波, 等. 虾壳粉氨基酸和脂肪酸营养成分分析[J]. 中国饲料, 2020, (23): 66–70.
- CHENG XF, SONG R, HONG B, *et al.* Analysis of nutritional components of amino acids and fatty acids in *Procrustus clarkii* crawfish shell meal [J]. *China Feed*, 2020, (23): 66–70.
- [25] FU XY, XUE CH, MIAO BC, *et al.* Effect of processing steps on the physico-chemical properties of dried-seasoned squid [J]. *Food Chem*, 2007, 103(2): 287–294.
- [26] LÓPEZ-CERVANTES J, SÁNCHEZ-MACHADO DI, ROSAS-RODRÍGUEZ JA. Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2006, 1105(1): 106–110.
- [27] ABUQUERQUE FEA, MINERVINO AHH, MIRANDA M, *et al.* Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil [J]. *J Food Composit Anal*, 2020, 86: 1–11.
- [28] DINCER MT, AYDIN I. Proximate composition and mineral and fatty acid profiles of male and female jinga shrimps (*Metapenaeus affinis*, H. Milne Edwards, 1837) [J]. *Turk J Vet Anim Sci*, 2014, 38(4): 445–451.
- [29] SUAMI RB, AL SALAH DMM, KABALA CD, *et al.* Assessment of metal concentrations in oysters and shrimp from atlantic coast of the democratic republic of the congo [J]. *Heliyon*, 2019, 5(12): e03049.
- [30] AN Z, WANG L, LI Q. The effects of astaxanthin on immunity, reproduction of *Procambarus clarkii* under Microcystin-LR stress [Z]. 2017.
- [31] HU J, LU W, LV M, *et al.* Extraction and purification of astaxanthin from shrimp shells and the effects of different treatments on its content [J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2019, 29(1): 24–29.
- [32] LI S, GUO JR, FENG JH, *et al.* Determination of astaxanthin and astaxanthin esters in shrimp shell by HPLC [J]. *Mar Sci Bull*, 2019, 21(2): 57–71.
- [33] GONZALES-BARRON U, POPOVA T, BERMÚDEZ-PIEDRA R, *et al.* Fatty acid composition of lamb meat from Italian and German local breeds [J]. *Small Ruminant Res*, 2021, 200: 106384.
- [34] KÜÇÜKGÜLMEZ A, YANAR Y, ÇELİK M, *et al.* Fatty acids profile, atherogenic, thrombogenic, and polyene lipid indices in golden grey mullet (*Liza aurata*) and gold band goatfish (*Upeneus moluccensis*) from mediterranean sea [J]. *J Aquat Food Prod Technol*, 2018, 27(8): 912–918.
- [35] MEDEIROS MD, FERREIRA RT, BARROS WM, *et al.* Fatty acid profiles and cholesterol content of five species of pacu-pevas from the pantanal region of Mato Grosso, Brazil [J]. *J Food Composit Anal*, 2019, 83: 103283.
- [36] PRETORIUS B, SCHÖNFELDT HC. Cholesterol, fatty acids profile and the indices of atherogenicity and thrombogenicity of raw lamb and mutton offal [J]. *Food Chem*, 2021, 345: 128868.
- [37] GULZAR S, RAJU N, CHANDRAGIRI-NAGARAJARAO R, *et al.* Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application- A review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2020, 100: 307–319.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



黄国威, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。
E-mail: 2622480040@qq.com



杨俊松, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: cacfrw@126.com



廖涛, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。
E-mail: 17418431@qq.com