DOI: 10.3969/j.issn2095-9869.20250321001　　http://www.yykxjz.cn/

王世会, 张淑琪, 苏俊杰, 郭坤, 罗亮, 张瑞, 覃东立, 赵志刚. 北方寒地池塘养殖克氏原螯虾雌雄可食品质比较研究. 渔业科学进展, 2026, 47(1): 81–92

WANG S H, ZHANG S Q, SU J J, GUO K, LUO L, ZHANG R, QIN D L, ZHAO Z G. Edible quality of *Procambarus clarkii* by sex reared in the ponds in cold regions. Progress in Fishery Sciences, 2026, 47(1): 81–92

北方寒地池塘养殖克氏原螯虾雌雄可食品质比较研究*

王世会[1]　张淑琪[1,2]　苏俊杰[1,2]　郭　坤[1]　罗　亮[1]
张　瑞[1]　覃东立[1,3]　赵志刚[1①]

(1. 黑龙江省冷水性鱼类种质资源及增养殖重点开放实验室　中国水产科学研究院黑龙江水产研究所　黑龙江　哈尔滨　150070；2. 大连海洋大学食品科学与工程学院　辽宁　大连　116023；3. 农业农村部渔业环境及水产品质量监督检验测试中心(哈尔滨)　黑龙江　哈尔滨　150070)

摘要　为探究性别差异对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的可食品质影响，本研究采用北方寒地池塘养成的雌雄成体克氏原螯虾为研究对象，探究其在相似规格条件下的可食率参数(螯体比、肝胰腺指数、腹部出肉率)和品质特性(常规营养成分、脂肪酸、游离氨基酸和矿物质元素)。结果显示，雌虾螯足重和螯体比极显著低于雄虾，而肝胰腺重、腹部肌肉重、肝胰腺指数和腹部出肉率则极显著高于雄虾($P<0.01$)；雌虾肝胰腺水分极显著低于雄虾，而总脂含量则极显著高于雄虾($P<0.01$)；雌虾肝胰腺中总饱和脂肪酸和总单不饱和脂肪酸显著低于雄虾，而总多不饱和脂肪酸则显著高于雄虾($P<0.05$)；性别差异对游离氨基酸影响较小，仅雌虾肌肉中脯氨酸显著高于雄虾($P<0.05$)；雌虾肌肉中总鲜味氨基酸、总甜味氨基酸低于雄虾，而总苦味氨基酸则高于雄虾；性别差异对矿物质元素积累影响较小($P>0.05$)，但不同组织间钠、钾、镁和铁元素含量存在明显差异。综上，性别对克氏原螯虾可食率、常规营养成分和肝胰腺中脂肪酸影响较大，而对游离氨基酸、矿物质元素和肌肉中脂肪酸含量影响较小。

关键词　克氏原螯虾；性别；寒地；池塘养殖；可食品质

中图分类号 S966.16　**文献标识码**　A　**文章编号**　2095-9869(2026)01-0081-12

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)俗称小龙虾，是一种底栖且善于跳跃爬行的甲壳动物，原产于墨西哥和美国等地，后于 20 世纪初被引入我国长江流域，广泛分布于江河、湖泊和沟渠等多种水体环境(Li *et al*, 2021)。小龙虾现已成为我国重要的水产养殖品种之一，传统养殖区域包括湖北、安徽、江苏等长江流域(全国水产技术推广总站等, 2024)。近 5 年，随着寒地小龙虾苗种培育及养殖技术突破，以黑龙江省为代表的北方寒地小龙虾养殖规模正逐步扩大，养殖产量逐年提高。据《2024 中国渔业统计年鉴》显示，黑龙江省 2023 年小龙虾产量达到 345 t，养殖区域分布于哈尔滨市道里区、宾县、方正县，齐齐哈尔市泰来县，大庆市肇源县，绥化市肇东市，佳木斯市郊区、汤原县等地(农业农村部渔业渔政管理局等, 2024)。寒

* 中国水产科学研究院基本科研业务费(2023TD59)资助。王世会，Email: wangshihui@hrfri.ac.cn
① 通信作者：赵志刚，研究员，Email: zhaozhigang@hrfri.ac.cn
收稿日期: 2025-03-21, 收修改稿日期: 2025-04-10

地养殖小龙虾在 8—9 月上市，恰好弥补长江流域小龙虾上市的空档期。寒地小龙虾正在成为黑龙江省各地为提升渔业产品附加值而养殖的重要品种之一，成为当地助力乡村振兴的重要引擎。

中国小龙虾传统养殖区在长江流域，对小龙虾的相关研究同样主要集中于此区域，包括种质(彭波等, 2021; 高杨等, 2024; Deng *et al*, 2024; Zhang *et al*, 2024)、养殖模式(周剑等, 2021; Wang *et al*, 2023; Zhang *et al*, 2023; Liu *et al*, 2024)、病害防治(焦厚琪等, 2022; 许艺兰等, 2024)、饲料营养(Miao *et al*, 2020; Dai *et al*, 2023; 郭赛等, 2023)、品质(罗雅婷等, 2021; Wang *et al*, 2023; Zhang *et al*, 2023; Liu *et al*, 2024)、质量安全(Zhou *et al*, 2024; Zeng *et al*, 2025)和加工储藏(谌玲薇等, 2024; Xu *et al*, 2024)等全产业链研究。针对雌雄性别差异对小龙虾可食品质影响也有报道。黄国威等(2023)研究表明，同等规格条件下，雌虾可食用率高于雄虾，中等规格雄虾肌肉水分含量最高；周晖等(2023)研究显示，雌虾螯体比显著低于雄虾，但出肉率高于雄虾。除虾类外，性别差异对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*) (Wu *et al*, 2017; 王世会等, 2023)、远海梭子蟹(*Portunus pelagicus*) (Wu *et al*, 2010)和拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)(Wu *et al*, 2019; 于怀华等, 2020)等生化组成和营养品质的影响研究表明，性别对蟹类的肝胰腺、性腺和肌肉品质均存在不同程度的影响。

北方寒地，由于其特殊气候条件，加之小龙虾繁养分离模式，其生物学特性及品质研究并未见相关报道，这对全面评价我国不同地域养殖小龙虾品质是不利的。本研究以北方寒地典型池塘养殖模式养成小龙虾为研究对象，探究其雌雄性别差异对寒地养成小龙虾可食品质(肝胰腺指数、出肉率、常规营养成分、脂肪酸、游离氨基酸和矿物质元素)的影响，以期为我国寒地养殖小龙虾品质评价提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验用虾及样品采集

实验用雌雄性成熟小龙虾来自黑龙江省肇东市某水产养殖专业合作社。3 月末从江苏省泰州市小龙虾养殖基地空运抱仔苗(约 3 万尾/500 g)至黑龙江省哈尔滨市，随后运输至肇东市室外苗种培育大棚中进行一级培育，待 5 月中旬小龙虾达到约 2 000 只/500 g 规格时开始室外池塘养殖。室外养殖池塘约 3 333 m^2，种植有伊乐藻(*Elodea nuttallii*)，且池塘四周设置 30 cm 高的防逃网。5 月中旬开始投放虾苗，投放密度为 6 只/m^2。整个养殖期间(5—8 月)水位均维持在 1 m 左右。每天 17:00 投喂人工配合饲料(南京市澳华生物科技有限公司)一次，投喂量约占总重的 1%~5%。性成熟小龙虾判断标准根据体色和性腺发育状况共同决定。当小龙虾体色由青色或青褐色转变为红黑色，同时解剖发现雌虾出现卵巢，雄虾出现精巢等生殖器官时，即可判定小龙虾为性成熟个体。根据以上判断标准，确定 8 月 31 日为采集性成熟小龙虾样品的日期。雌雄个体随机采集各 40 只，活体运输至黑龙江省冷水性鱼类种质资源及增养殖重点开放实验室待用。为防止小龙虾因个体规格差异导致可食率参数和品质差异，本研究所采集的小龙虾个体规格为 35~50 g，雌虾平均规格为(40.61±0.51)g，雄虾平均规格为(40.90±0.49)g (表 1)。

1.2 可食率参数测定

本研究中所用的池塘小龙虾经中国水产科学研究院黑龙江水产研究所实验动物福利与伦理委员会审查和批准(申请编号：20230801-001)。用电子天平逐只称量小龙虾体重及螯足重(精确到 0.01 g)，用于计算螯体比。掰开小龙虾头部甲壳，用镊子精确夹取甲壳和腹部残留的肝胰腺样品并称重，计算肝胰腺指数。剪开腹部骨骼，镊子精确刮取肌肉并称重，计算腹部出肉率。由于雌雄成虾性腺量较少，且不是小龙虾主要可食成分，因此并未测定雌雄成虾的性腺指数。每 4 只小龙虾样品合并为 1 个湿样，雌雄个体分别合并为 10 个肝胰腺和 10 个肌肉组织湿样，将样品置于 –20 ℃冰箱中保存，以备后续测定使用。参数计算公式如下：

螯体比(%) = 100%×螯足重/体重

肝胰腺指数(%) = 100%×肝胰腺重/体重

腹部出肉率(%) = 100%×腹部肌肉重/体重。

1.3 常规营养成分测定

水分采用冷冻干燥法(王世会等, 2025)测定(–50 ℃真空冷冻至恒重)，仪器为真空冷冻干燥机(FD-1A-50，北京博医康仪器有限公司)。冷冻干燥时间根据组织和湿重样品量而定，肝胰腺组织冷冻干燥至恒重约 24 h，而肌肉由于水分含量较高且组织致密性等原因，冷冻至恒重约需 48 h。随后每 3~4 个冻干样品合并为 1 个样本，每种组织合并为 3 个重复样本，置于–20 ℃冰箱中保存并应用于后续粗蛋白、总脂和灰分测定。在–20 ℃冰箱中保存的冷冻干燥样品要注意多层密封，防止水分进入样品影响后续实验准确性。粗蛋白采用杜马斯燃烧定氮法(王世会等, 2025)测定，仪器

为杜马斯全自动定氮仪(Rapid N exceed elementar, 德国艾力蒙塔公司)；总脂采用 FOLCH 氯仿–甲醇溶解法(Li *et al*, 2021)测定，仪器为真空干燥箱(DZF-6050, 上海一恒科学仪器有限公司)；灰分采用高温灼烧法(AOAC, 1995)测定(550 ℃灼烧至恒重)，仪器为马弗炉(SX2-4-10, 上海一恒科学仪器有限公司)。依据各组织的水分含量，将粗蛋白、总脂、灰分由干重换算成湿重(%)。

1.4 脂肪酸测定

根据 GB 5009.168–2016(2016)中归一化法测定雌雄成虾肝胰腺和肌肉组织中脂肪酸相对百分含量。向总脂提取物的烧瓶中加入 8 mL 2% NaOH–甲醇溶液，随后在(80±1) ℃的水浴上冷凝回流，直至无油滴出现。从回流冷凝器的上端继续加入 7 mL 15%三氟化硼–甲醇溶液，并继续回流 2 min。停止加热，取下烧瓶并冷却至室温。加入 10~30 mL 正庚烷，振荡混匀 2 min，再加入饱和 NaCl 水溶液，静置分层。取约 5 mL 上层提取液至 25 mL 试管中，再加入 3~5 g 无水 Na_2SO_4，振荡混匀 1 min，静置分层，吸取上层溶液至进样瓶中待测定。脂肪酸检测分析采用气相色谱–质谱联用仪 GS-MC (7890B-5977A，安捷伦科技公司)，脂肪酸品质评价采用低胆固醇血症/高胆固醇血症(*h*/*H*)、动脉粥样硬化指数(AI)和血栓形成指数(TI) 3 个指标(Śmietana *et al*, 2021)，计算公式如下所示：

$$\text{低胆固醇血症/高胆固醇血症}(h/H)=\frac{\sum(\text{C18:1n9, C18:1n7, C18:2n6, C18:3n6, C18:3n3, C20:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:4n6, C22:5n3, C22:6n3})}{\sum(\text{C14:0, C16:0})}$$

$$\text{动脉粥样硬化指数(AI)}=\frac{(\text{C12:0}+4\times\text{C14:0}+\text{C16:0})}{(\sum\text{n-6 PUFA}+\sum\text{n-3 PUFA}+\sum\text{MUFA})}$$

$$\text{血栓形成指数(TI)}=\frac{(\text{C14:0}+\text{C16:0}+\text{C18:0})}{(0.5\times\sum\text{MUFA}+0.5\times\sum\text{n-6 PUFA}+3.0\times\sum\text{n-3 PUFA}+\text{n-3/n-6 PUFA})}$$

1.5 游离氨基酸测定及呈味强度值分析

参照 Chen 等(2007)方法测定雌雄成虾肝胰腺和肌肉组织中游离氨基酸组成及其含量。称取约 0.1 g 冷冻干燥组织样品，加入 15 mL 5%的三氯乙酸溶液匀浆处理 1 min，在 20~25 ℃的冷却浴中超声 5 min 并静置 2 h。混合液在 4 ℃、10 000 r/min 条件下离心 15 min 后分层。吸取 5 mL 上清液，用 3 mol/L NaOH 溶液调节 pH 至 2.0，双蒸水定容至 25 mL，充分混匀后 0.45 μm 滤膜过滤。游离氨基酸检测采用氨基酸自动分析仪(L-8800，日立仪器有限公司，日本)。通过测定各游离氨基酸含量与其阈值比值计算呈味强度值(TAV) (Rotzoll *et al*, 2006)。

1.6 矿物质元素测定

依据 GB 5009.268–2016 标准，采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定雌雄成虾肝胰腺和肌肉组织中矿物质元素组成及百分比含量。称取约 0.15~0.35 g 冷冻干燥组织样品放入消解管，并依次加入 5 mL 硝酸、2 mL 双氧水和 1 mL 纯净水，将混合溶液放置于微波消解仪(MARS, CEM 公司, 美国)中消解约 1 h。消解后缓慢打开排气盖，将混合溶液移入 50 mL 离心管中，加入 0.5 mL 内标溶液(100 μg/L)，并用纯净水定容至 50 mL，混匀后以备 ICP-MS 分析，上述实验同时设置空白对照组。矿物质元素检测采用电感耦合等离子体质谱仪(7500, 安捷伦科技公司, 美国)。

1.7 数据分析

所有数据均采用平均值±标准误(Mean±SE)表示。采用 Excel 2019 软件处理实验数据，Graphpad Prism 8.0 软件绘图，SPSS 26.0 软件统计分析。采用 Levene 法进行方差齐性检验，当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理，独立样本 *T* 检验(independent samples *T*-test)检查雌雄成虾肝胰腺和肌肉组织各项指标间的差异显著性，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 可食率参数比较

由表 1 可看出，雌雄成虾体重无显著性差异($P>0.05$)，雌虾螯足重和螯体比极显著低于雄虾($P<0.01$)，而肝胰腺重、腹部肌肉重、肝胰腺指数和出肉率则极显著高于雄虾($P<0.01$)。

2.2 常规营养成分比较

不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉常规营养成分如图 1 所示。雌虾肝胰腺中水分极显著低于雄虾($P<0.01$)，总脂极显著高于雄虾($P<0.01$)，粗蛋白和

表 1　不同性别小龙虾可食率参数比较

Tab.1　Edible yield of *P. clarkii* of different gender

项目 Item	雌虾 Females			雄虾 Males			显著性 Significance
	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准误 Mean±SE	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准误 Mean±SE	
体重 Body weight/g	47.65	35.48	40.61±0.51	46.16	35.52	40.90±0.49	
螯足重 Cheliform weight/g	10.62	6.59	8.44±0.18	16.46	10.11	13.33±0.28	**
肝胰腺重 Hepatopancreas weight/g	3.99	2.32	3.25±0.06	3.80	1.69	2.35±0.07	**
腹部肌肉重 Abdominal muscle weight/g	7.02	4.10	5.22±0.08	5.34	3.24	4.19±0.07	**
螯体比 Chelate proportion/%	23.73	17.29	20.73±0.25	39.81	27.17	32.48±0.41	**
肝胰腺指数 Hepatosomatic index/%	9.82	6.24	8.01±0.11	8.60	4.17	5.73±0.13	**
腹部出肉率 Abdominal meat yield/%	17.14	10.85	12.88±0.17	12.88	7.79	10.28±0.17	**

注：*代表差异显著 $P<0.05$；**代表差异极显著 $P<0.01$。下同。

Notes: * means significant difference ($P<0.05$); ** means extremely significant difference ($P<0.01$). The same below.

灰分则无显著性差异($P>0.05$)。雌虾肌肉水分显著低于雄虾($P<0.05$)，粗蛋白、总脂和灰分则无显著性差异($P>0.05$)。

2.3　脂肪酸组成比较

表 2 表明，不同组织间脂肪酸组成种类存在一定差异，肝胰腺中脂肪酸组成种类较肌肉更加丰富。雌虾肝胰腺的总饱和脂肪酸(∑SFA)和总单不饱和脂肪酸(∑MUFA)显著低于雄虾($P<0.05$)，而总多不饱和脂肪酸(∑PUFA)则显著高于雄虾($P<0.05$)，尤其是 ALA、ARA、EPA 和 DHA。除此之外，雌虾肝胰腺的总必需脂肪酸(∑EFA)、总高不饱和脂肪酸(∑HUFA)、总 ω-3 多不饱和脂肪酸(∑n-3 PUFA)、总 ω-6 多不饱和脂肪酸(∑n-6 PUFA)、n-3/n-6 PUFA、DHA+EPA 和 *h*/*H* 均显著或极显著高于雄虾。雌雄成虾肌肉中脂肪酸显著差异项(7 项)明显少于肝胰腺中差异项(31 项)，仅 C16:1n7、C17:1n7、LA、ALA、ARA、C20:3n3 和∑EFA 存在显著或极显著性差异。

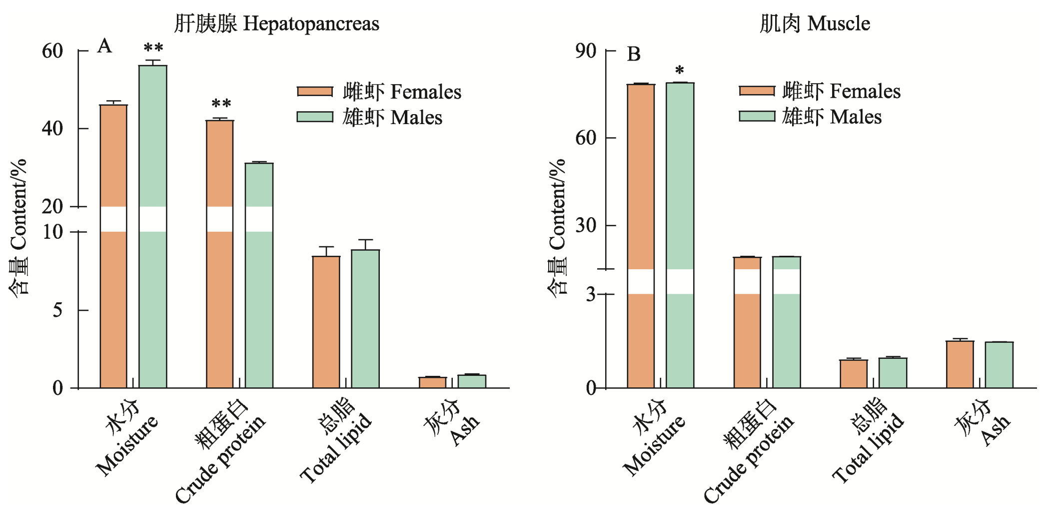

图 1　不同性别小龙虾肝胰腺(A)和肌肉(B)常规营养成分比较(%，湿重)

Fig.1　The proximate composition of hepatopancreas (A) and muscle (B) of *P. clarkii* of different gender (%, wet weight)

*表示具有显著差异($P<0.05$)，**表示具有极显著差异($P<0.01$)。图 2 同。

* indicates significant difference ($P<0.05$), and ** indicates highly significant difference ($P<0.01$). Same as in Fig.2.

表 2　不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉中主要脂肪酸组成(%, 占总脂百分比)

Tab.2　The fatty acid composition of *P. clarkii* hepatopancreas and muscle of different gender (%, percentage of total lipid)

脂肪酸 Fatty acids	肝胰腺 Hepatopancreas		肌肉 Muscle	
	雌虾 Females	雄虾 Males	雌虾 Females	雄虾 Males
C14:0	1.79±0.08	1.71±0.01	0.60±0.00	0.54±0.06
C15:0	1.15±0.02	1.24±0.04	0.72±0.01	0.69±0.00
C16:0	20.15±0.35	22.65±0.39*	14.54±0.10	15.01±0.31
C17:0	0.95±0.02	1.17±0.04*	1.36±0.02	1.41±0.00
C18:0	4.10±0.11	5.40±0.23*	10.46±0.09	10.53±0.06
C20:0	0.52±0.01	0.67±0.04*	0.29±0.01	0.25±0.01
C21:0	0.27±0.01	0.31±0.02	—	—
C22:0	0.48±0.01	0.62±0.04*	—	—
C23:0	0.44±0.02	0.53±0.04	—	—
C24:0	0.39±0.02	0.46±0.04	—	—
∑SFA	**30.24±0.54**	**34.73±0.87***	**27.97±0.03**	**28.43±0.42**
C15:1n5	0.10±0.00	0.12±0.02	2.83±0.04	2.77±0.06
C16:1n7	6.81±0.15*	5.58±0.25	2.26±0.02**	1.67±0.10
C17:1n7	0.92±0.01**	0.82±0.00	3.83±0.02*	3.64±0.05
C18:1n9	31.42±0.34	34.47±0.39*	24.82±0.26	24.98±0.22
C20:1n9	1.84±0.03	2.05±0.04*	1.61±0.04	1.67±0.03
C22:1n9	1.20±0.06	1.55±0.04*	—	—
C24:1n9	0.21±0.01	0.28±0.02*	—	—
∑MUFA	**42.48±0.27**	**44.86±0.27***	**35.35±0.29**	**34.73±0.22**
C18:2n6(LA)	14.94±0.57	12.17±0.73	7.25±0.05**	6.64±0.07
C18:3n6(GLA)	0.26±0.01*	0.18±0.00	—	—
C18:3n3 (ALA)	6.71±0.06**	4.27±0.32	3.71±0.09*	3.22±0.07
C20:2n6	0.70±0.00**	0.65±0.01	1.08±0.00	1.07±0.02
C20:3n6	0.44±0.01*	0.35±0.00	0.29±0.01	0.31±0.01
C20:4n6 (ARA)	1.37±0.07*	1.03±0.02	5.81±0.08	6.44±0.11*
C20:3n3	0.36±0.01**	0.28±0.01	0.61±0.01**	0.46±0.02
C20:5n3 (EPA)	1.61±0.06**	0.92±0.05	12.63±0.16	13.25±0.25
C22:6n3 (DHA)	0.84±0.01**	0.50±0.01	5.29±0.07	5.46±0.10
∑PUFA	**27.23±0.71***	**20.32±1.14**	**36.66±0.30**	**36.84±0.60**
∑EFA	21.65±0.55*	16.44±1.05	10.96±0.14**	9.86±0.13
∑HUFA	11.59±0.18**	7.51±0.40	28.34±0.26	29.13±0.53
∑n-3 PUFA	9.52±0.11**	5.96±0.38	22.24±0.17	22.38±0.43
∑n-6 PUFA	17.71±0.67*	14.36±0.76	14.42±0.13	14.46±0.20
n-3/n-6 PUFA	0.54±0.02*	0.41±0.00	1.54±0.01	1.55±0.02
DHA+EPA	2.45±0.06**	1.42±0.06	17.92±0.11	18.71±0.35
DHA/EPA	0.52±0.01	0.54±0.02	0.42±0.01	0.41±0.00
h/*H*	2.63±0.07*	2.21±0.07	3.95±0.03	3.88±0.11
AI	0.39±0.01	0.45±0.01*	0.24±0.00	0.24±0.01
TI	0.44±0.01	0.62±0.03**	0.27±0.00	0.28±0.01

注：—代表低于检出限；ΣSFA：总饱和脂肪酸；ΣMUFA：总单不饱和脂肪酸；ΣPUFA：总多不饱和脂肪酸；ΣEFA：总必需脂肪酸；ΣHUFA：总高不饱和脂肪酸；Σn-3 PUFA：总 ω-3 多不饱和脂肪酸；Σn-6 PUFA：总 ω-6 多不饱和脂肪酸；*h*/*H*：低胆固醇血症/高胆固醇血症比率；AI：动脉粥样硬化指数；TI：血栓形成指数。

Notes: —indicates below the detected value limits; ΣSFA: Total saturated fatty acids; ΣMUFA: Total monounsaturated fatty acids; ΣPUFA: Total polyunsaturated fatty acids; ΣEFA: Total essential fatty acids; ΣHUFA: Total highly unsaturated fatty acids; Σn-3 PUFA: Total ω-3 polyunsaturated fatty acids; Σn-6 PUFA: Total ω-6 polyunsaturated fatty acids; *h*/*H*: Hypocholesterolaemia/hypercholesterolaemia ratio; AI: Atherosclerotic index; TI: Index of thrombogenicity.

2.4 游离氨基酸组成和含量占比比较

不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉中游离氨基酸含量及占比如图 2 所示。本研究中共检测到 17 种游离氨基酸，包括 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸(图 2A)。雌雄成虾肝胰腺中游离氨基酸均无显著性差异(P>0.05)，而雌虾肌肉中仅脯氨酸显著高于雄虾(P<0.05)。就不同组织而言，肝胰腺中总游离必需氨基酸(∑EFAA)略高于肌肉，但精氨酸和总游离氨基酸(∑FAA)明显低于肌肉。从各游离氨基酸占比来看(图 2B)，雌虾肝胰腺中精氨酸低于雄虾，谷氨酸则高于雄虾；雌雄虾肌肉中精氨酸含量占比最高，雌虾甘氨酸低于雄虾，而∑EFAA 则高于雄虾。

表 3 显示，游离氨基酸呈现味道愉悦(+)和味道不好(–)两种滋味，其中味道愉悦包括鲜味和甜味，而味道不好为苦味。雌虾肝胰腺中总鲜味氨基酸(∑TUV)、总甜味氨基酸(∑TSV)和总苦味氨基酸(∑TBV)均低于雄虾，呈鲜甜味主要氨基酸分别为谷氨酸和精氨酸，呈苦味主要氨基酸为赖氨酸、缬氨酸和组氨酸。雌虾肌肉中∑TUV 和∑TSV 低于雄虾，而∑TBV 则高于雄虾，呈甜味主要氨基酸为丙氨酸、甘氨酸和精氨酸，呈苦味主要氨基酸则为甲硫氨酸和组氨酸。

2.5 矿物质元素组成和含量占比测定

图 3 为不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉中矿物质元素组成含量及占比。雌雄成虾肝胰腺(图 3A)和肌肉(图 3B)中各矿物质元素含量均无显著性差异(P>0.05)。不论是在肝胰腺还是肌肉中，占比最高的均是钾元素(图 3C)，肝胰腺中铁元素含量和占比明显高于肌肉，说明小龙虾肝胰腺可以成为是人体摄入铁元素的重要来源之一。

3 讨论

3.1 性别差异对小龙虾可食率参数影响

腹部肌肉是小龙虾主要可食部分，其腹部肌肉重与体重百分比即为出肉率，是衡量小龙虾可食品质的重要参数(彭波等, 2021)。本研究表明，同等规格条件下，雌虾的腹部肌肉重、出肉率、肝胰腺重和肝胰腺指数均极显著高于雄虾(P<0.01)，这与先前的研究结果一致(彭波等, 2021；黄国威等, 2023)；雌虾螯足重和螯体比极显著低于雄虾(P<0.01)，与以往结果一致(彭波等, 2021；黄国威等, 2023；周晖等, 2023)。本研究小龙虾来自于池塘养殖模式，而上述文献中小龙虾则主要来自于稻虾连作模式，说明雌雄性别对成虾腹部出肉率、肝胰腺指数和螯体比的

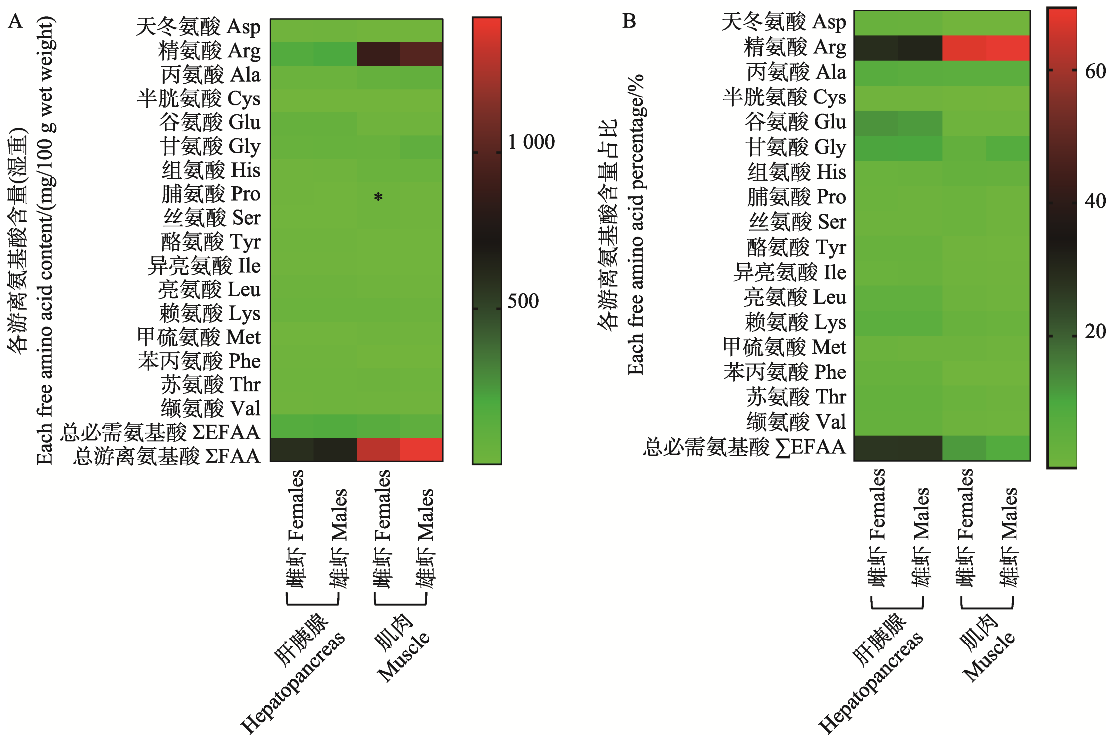

图 2 不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉中游离氨基酸含量(A)及占比(B)比较

Fig.2 The free amino acid composition (A) and the percentage (B) of *P. clarkii* hepatopancreas and muscle of different gender

表 3　不同性别小龙虾肝胰腺和肌肉中游离氨基酸的阈值及呈味强度值(TAV)比较

Tab.3　The threshold and taste activity value (TAV) of free amino acid composition of *P. clarkii* hepatopancreas and muscle of different gender

游离氨基酸 Free amino acids	呈味情况 Flavor characteristics	阈值 Threshold (mg/100 g)	肝胰腺 Hepatopancreas		肌肉 Muscle	
			雌虾 Females	雄虾 Males	雌虾 Females	雄虾 Males
总鲜味氨基酸∑TUV			3.41	4.74	0.90	0.92
天冬氨酸 Asp	鲜 Umami (+)	100	0.32	0.34	0.04	0.04
谷氨酸 Glu	鲜 Umami (+)	30	3.09	4.40	0.85	0.87
总甜味氨基酸∑TSV			4.95	5.15	19.65	21.43
丙氨酸 Ala	甜 Sweetness (+)	60	0.95	0.96	1.76	1.82
甘氨酸 Gly	甜 Sweetness (+)	130	0.47	0.61	1.25	1.65
丝氨酸 Ser	甜 Sweetness (+)	150	0.03	0.04	0.03	0.03
苏氨酸 Thr	甜 Sweetness (+)	260	0.15	0.15	0.08	0.07
脯氨酸 Pro	甜/苦 Sweetness/Bitterness (+)	300	0.11	0.08	0.20	0.14
精氨酸 Arg	甜/苦 Sweetness/Bitterness (+)	50	3.24	3.31	16.33	17.72
总苦味氨基酸 ∑TBV			5.39	5.45	6.36	5.38
赖氨酸 Lys	甜/苦 Sweetness/Bitterness (-)	50	1.55	1.50	0.80	0.57
缬氨酸 Val	甜/苦 Sweetness/Bitterness (-)	40	1.09	1.01	0.69	0.61
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫 Bitterness/Sweetness/Sulphur (-)	30	0.77	0.69	1.61	1.14
组氨酸 His	苦 Bitterness (-)	20	0.77	1.00	2.89	2.71
异亮氨酸 Ile	苦 Bitterness (-)	90	0.38	0.41	0.15	0.13
亮氨酸 Leu	苦 Bitterness (-)	190	0.36	0.36	0.13	0.11
苯丙氨酸 Phe	苦 Bitterness (-)	90	0.47	0.47	0.09	0.10

注：“+”表示味道愉悦，“−”表示味道不好。

Note: + means pleasant taste; − means unpleasant taste.

参数影响不因养殖模式差异而不同，具有普遍适用性。同等规格条件下，雌虾的腹部肌肉重和腹部出肉率极显著高于雄虾，这与雌虾螯足重极显著低于雄虾存在显著相关性，可能与不同性别的个体生长发育有关(彭波等, 2021)。雄虾由于主动掘洞与抱对等行为，需要生长出更大的螯足，有利于在争取食物、获取配偶等竞争中获胜(Pavey *et al*, 1996; Berrill *et al*, 1984)，这与河蟹中雄蟹螯足显著大于雌蟹的现象也是一致的。

3.2　性别差异对小龙虾常规营养成分的影响

常规营养成分是评价水产动物营养品质的重要指标(Rangasamy *et al*, 2024)。本研究表明，雌虾肝胰腺水分极显著低于雄虾，而总脂极显著高于雄虾(P<0.01)，同时雌虾肝胰腺粗蛋白和灰分略低于雄虾，这与黄国威等(2023)在大规格虾[雌虾(31.52±4.86) g、雄虾(27.35±4.19)g]肝胰腺中研究结果一致，说明性别对成虾肝胰腺中水分、粗蛋白、总脂和灰分含量的影响可能不因养殖环境差异而不同。雌虾肝胰腺中总脂含量极显著高于雄虾，可能是因为雌虾需要存储更多营养物质为卵巢发育提供营养和能量，这也与雌虾水分含量极显著低于雄虾结果相一致的。通常认为，肝胰腺因为涉及到营养物质代谢和储藏转移，受养殖环境影响会更大，这也与本实验肝胰腺中常规营养数值较黄国威等(2023)相关数值差异较大是一致的。同时发现，性别对肝胰腺中常规营养物质的影响与河蟹(Wu *et al*, 2017; 王世会等, 2023)中研究结果一致，说明性别对虾蟹类肝胰腺中常规营养成分的影响可能具有普遍适用性。本研究显示，雌虾水分显著低于雄虾，而粗蛋白、总脂和灰分则相差不大，这与黄国威等(2023)在大规格虾肌肉中研究结果不一致，说明性别对成虾肌肉中水分、粗蛋白、总脂和灰分含量的影响可能会因养殖环境差异而不同。

3.3　性别差异对小龙虾脂肪酸含量影响

脂肪酸也是评价水产动物营养品质的重要指标

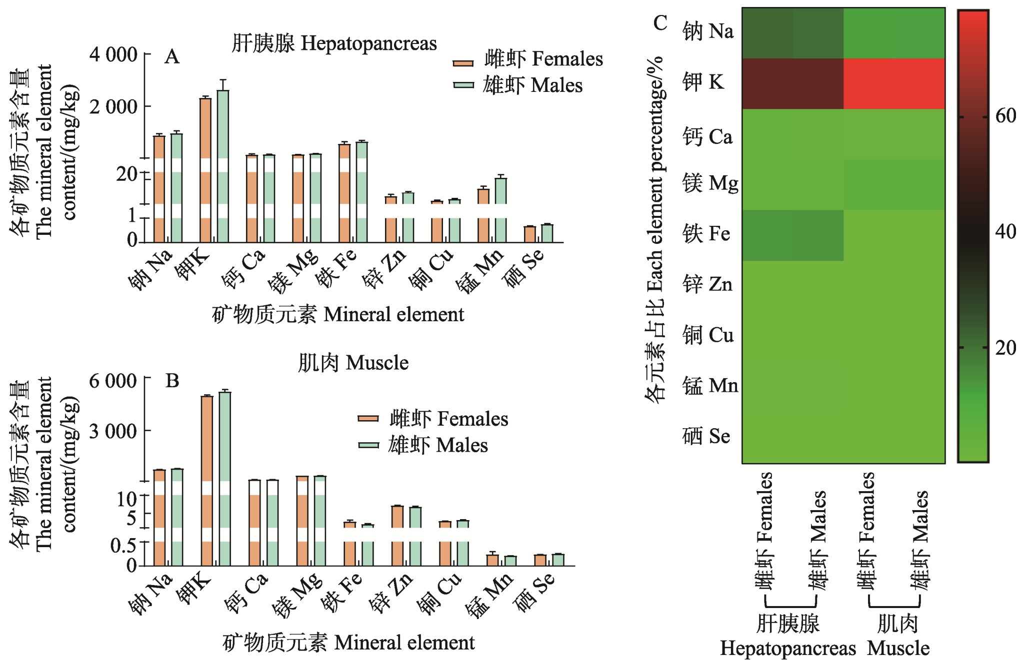

图 3 不同性别小龙虾肝胰腺(A)和肌肉(B)中矿物质元素组成含量及占比(C) (mg/kg, 湿重)

Fig.3 The mineral element composition in hepatopancreas (A) and muscle (B), and its percentage (C) of *P. clarkii* of different gender (mg/kg, wet weight)

(Rangasamy *et al*, 2024)。本研究表明，小龙虾肝胰腺的脂肪酸种类较肌肉更加丰富，这与河蟹(王世会等, 2023)、拟穴青蟹(于怀华等, 2020)等甲壳动物的研究结果一致。本研究肝胰腺中∑SFA 和∑MUFA 含量显著高于肌肉，可能是由于 SFA 和 MUFA 在小龙虾体内主要起供能的作用，而肝胰腺则又是小龙虾生长发育的主要供能场所，故小龙虾肝胰腺中脂肪酸种类不仅多，而且∑SFA 和∑MUFA 含量也显著高于肌肉。雌虾肝胰腺中，∑SFA、∑MUFA 和 AI 显著低于雄虾($P<0.05$)，而∑PUFA 和 *h*/*H* 则显著高于雄虾($P<0.05$)，尤其 DHA、EPA、ARA、∑EFA、∑HUFA、∑n-3 PUFA 和∑n-6 PUFA，这与黄国威等(2023)在大规格虾肝胰腺中的结果一致，说明雌虾肝胰腺脂肪酸营养优于雄虾。肌肉中∑PUFA 和 *h*/*H* 显著高于肝胰腺，尤其是 DHA、EPA 和 ARA，说明肌肉脂肪酸营养组成优于肝胰腺。雌雄虾肌肉中，∑SFA、∑MUFA 和∑PUFA 均无显著性差异($P>0.05$)，说明性别对小龙虾肌肉脂肪酸营养影响较小，这与河蟹(王世会等, 2023)、拟穴青蟹(于怀华等, 2020)等的研究结果相似，但与小龙虾(黄国威等, 2023)、梭子蟹(Wu *et al*, 2010)等的研究结果差异较大，说明性别对甲壳动物肌肉脂肪酸营养的影响可能因养殖模式、养殖水质环境、人工投入饲料和天然生物饵料等多种因素而变化，但究竟是哪种因素起主导作用仍需进一步深入研究。

3.4 性别差异对小龙虾游离氨基酸组成及含量占比的影响

游离氨基酸是影响水产动物滋味品质的重要物质之一，而呈味强度值 TAV 则是评价水产动物游离氨基酸品质的重要参数(王世会等, 2023)。本研究表明，雌雄成虾肝胰腺中游离氨基酸均无显著性差异($P>0.05$)，而雌虾肌肉中仅脯氨酸显著性高于雄虾($P<0.05$)，说明性别对小龙虾肝胰腺和肌肉中游离氨基酸含量的影响较小，这与河蟹(王世会等, 2023)的研究结果相似。本研究发现，肝胰腺和肌肉的精氨酸含量占比最高，与在野生和养殖小龙虾(王曜等, 2014)、稻虾轮作、虾蟹混养和藕虾模式小龙虾(李鹏鹏等, 2023)的研究结果一致，说明小龙虾肝胰腺和肌肉中精氨酸含量占比受养殖环境、养殖模式等影响较小。从氨基酸呈味贡献(TAV>1)角度来看，雌虾肝胰腺中∑TUV、∑TSV 和∑TBV 均低于雄虾，说明雌虾肝胰腺的总鲜味和甜味优于雄虾，但其总苦味也强于雄虾。肝胰腺中呈鲜味的主要氨基酸为谷氨酸，呈甜味的主要氨基酸为精氨酸，呈苦味的主要氨基酸为赖氨酸、缬氨酸和组氨酸，这与在河蟹中研究结果(王世会等, 2023)一致。雌虾肌肉中∑TUV 和∑TSV 低于雄虾，而∑TBV 则高于雄虾，雄虾肌肉的总鲜味和甜味优于雌虾，同时其苦味低于雌虾，说明雄虾肌肉滋味品质更优。本研究小龙虾肌肉呈甜味的主要氨基酸为丙氨酸、

甘氨酸和精氨酸，呈苦味的主要氨基酸则为甲硫氨酸和组氨酸，这与李鹏鹏等(2023)在稻虾轮作、虾蟹混养和藕虾模式小龙虾中研究结果相似。

3.5 性别差异对小龙虾矿物质含量的影响

矿物质元素是人体必需的营养物质，只能从食物中摄取，在维持人体健康、完成正常生理功能发挥着重要的作用(Dato-Cajegas *et al*, 1996)。本研究表明，雌雄成虾肝胰腺和肌肉中各矿物质元素含量均无显著性差异(P>0.05)，说明性别对小龙虾肝胰腺和肌肉中矿物质元素含量影响较小。肝胰腺中铁、锌、铜、锰和硒等微量元素的含量显著高于肌肉组织。这一现象可能与水产动物代谢及酶活调控机制有关：部分微量元素是代谢酶和活性因子的必需组分，而肝胰腺作为小龙虾代谢反应的核心场所，需富集更多微量元素以维持其生理功能(Albuquerque *et al*, 2020)。肝胰腺和肌肉中，占比最高的均为钾元素，同时肝胰腺中铁元素含量和占比明显高于肌肉中，这与黄国威等(2023)在湖北养殖的小龙虾结果一致，说明钾元素和肝胰腺中铁元素含量高低不因养殖环境差异而影响。

4 结论

本研究探明了雌雄性别对寒地池塘养殖小龙虾的可食品质影响的差异，证实性别显著影响小龙虾的螯体比、肝胰腺指数、腹部出肉率，肝胰腺水分和总脂含量，肝胰腺∑SFA、∑MUFA 和∑PUFA，以及肌肉中脯氨酸含量。整体而言，性别对克氏原螯虾可食率、常规营养成分和肝胰腺中脂肪酸影响较大，而对游离氨基酸、矿物质元素和肌肉中脂肪酸影响较小。

参 考 文 献

高杨, 田灿, 姜京京, 等. 不同地理种群克氏原螯虾形态差异及相关分子标记研究. 江苏农业科学, 2024, 52(16): 203–213 [GAO Y, TIAN C, JIANG J J, *et al*. Morphological differences and related molecular markers of *Procambarus clarkii* from different geographical populations. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(16): 203–213]

郭赛, 陈效儒, 袁汉文, 等. 饲料蛋白质水平和加工工艺对克氏原螯虾生长性能、消化力和抗氧化性能的影响. 渔业科学进展, 2023, 44(5): 90–103 [GUO S, CHEN X R, YUAN H W, *et al*. Effects of dietary protein levels and processing techniques on the growth performance, digestibility, and antioxidant capacity of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(5): 90–103]

黄国威, 佘敏, 周际松, 等. 不同规格及性别的克氏原螯虾各部位营养分析及评价. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 33–42 [HUANG G W, SHE M, ZHOU J S, *et al*. Nutritional analysis and evaluation of different parts of *Procambarus clarkia* with different size and gender. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(11): 33–42]

焦厚琪, 霍诗天, 闫黎明, 等. 克氏原螯虾一种新型甲壳素基因的鉴定和抑菌功能研究. 水生生物学报, 2022, 46(2): 248–256 [JIAO H Q, HUO S T, YAN L M, *et al*. Identification of a new crustin and study of its antibacterial function from *Procambarus clarkii*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(2): 248–256]

李鹏鹏, 温丽敏, 吕经秀, 等. 不同养殖模式克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)游离氨基酸的主成分分析及综合评价. 食品科学, 2023, 44(16): 284–291 [LI P P, WEN L M, LÜ J X, *et al*. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids in crayfish (*Procambarus clarkii*) from different co-culture modes. Food Science, 2023, 44(16): 284–291]

罗雅婷, 刘益, 刘金梦, 等. 湖南省稻田养殖的不同规格克氏原螯虾的肌肉营养成分分析. 动物营养学报, 2021, 33(8): 4592–4603 [LUO Y T, LIU Y, LIU J M, *et al*. Analysis of muscle nutritional components of different sizes of *Procambarus clarkii* cultured in rice field in Hunan Province. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(8): 4592–4603]

农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2024 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2024, 34 [Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2024. Beijing: China Agriculture Press, 2024, 34]

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. 水产科学, 2021, 40(5): 718–725 [PENG B, TAN Y F, PENG G H, *et al*. Path analysis of effects of phenotypic traits attributes on abdomen meat weight of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. Fisheries Science, 2021, 40(5): 718–725]

全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国小龙虾产业发展报告(2024). 中国水产, 2024, 584(7): 14–20 [[National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. Report on the development of China's crayfish industry (2024). China Fisheries, 2024, 584(7): 14–20]

谌玲薇, 邱文兴, 刘煊, 等. 熟制方式对克氏原螯虾剥壳效果及品质的影响. 广东海洋大学学报, 2024, 44(2): 10–15 [SHEN L W, QIU W X, LIU X, *et al*. Effects of cooking methods on the shucking performance and quality of crayfish (*Procambarus clarkii*). Journal of Guangdong Ocean University, 2024, 44(2): 10–15]

王世会, 苏俊杰, 张淑琪, 等. 寒地池塘养殖中华绒螯蟹与克氏原螯虾营养品质及有毒重金属风险评估. 大连海洋大学学报, 2025, 40(3): 396–405 [WANG S H, SU J J, ZHANG S Q, *et al*. Nutritional quality and heavy metal safety risk assessment of Chinese mitten crab(*Eriocheir* *sinensis*) and crayfish (*Procambarus clarkia*) cultivated in cold ponds. Journal of Dalian Ocean University, 2025, 40(3): 396–405]

王世会, 赵志刚, 罗亮, 等. 滨海氯化物型盐碱水池塘养殖中华绒螯蟹营养品质分析. 海洋渔业, 2023, 45(5): 579–593 [WANG S H, ZHAO Z G, LUO L, *et al*. Quality analysis of *Eriocheir sinensis* originated from Yangtze River cultured in chloride saline-alkaline water. Marine Fisheries, 2023, 45(5): 579–593]

王曜, 陈舜胜. 野生与养殖克氏原鳌虾游离氨基酸的组成及比较研究. 食品科学, 2014, 35(11): 269–273 [WANG Y, CHEN S S. Comparative composition of free amino acids in wild and cultured *Procambarus clarkii*. Food Science, 2014, 35(11): 269–273]

许艺兰, 陈婷婷, 卢冰霞, 等. 克氏原鳌虾副溶血性弧菌的分离鉴定与小鼠致病性试验. 水产学杂志, 2024, 37(4): 42–48, 83 [XU Y L, CHEN T T, LU B X, *et al*. Isolation and identification of *Vibrio parahaemolyticus* from red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) and its pathogenicity in mice. Chinese Journal of Fisheries, 2024, 37(4): 42–48, 83]

于怀华, 彭莹莹, 许文军, 等. 不同性别拟穴青蟹肝胰腺和肌肉的营养组成比较研究. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020, 39(1): 34–40, 75 [YU H H, PENG Y Y, XU W J, *et al*. A comparative study on the nutritional composition of hepatopancreas and muscles of *Scylla paramamosain* of different genders. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020, 39(1): 34–40, 75]

周晖, 汤保贵, 龚汉夫, 等. 克氏原鳌虾食性、形态学参数、质量参数和出肉率的相关性分析. 动物营养学报, 2023, 35(4): 2455–2464 [ZHOU H, TANG B G, GONG H F, *et al*. Correlation analysis for feeding habits, morphological parameters, weight parameters and abdomen meat percentage of *Procambarus clarkii*. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(4): 2455–2464]

周剑, 赵仲孟, 黄志鹏, 等. 池塘和稻田养殖模式下克氏原鳌虾肌肉和肝脏营养成分比较. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 162–169 [ZHOU J, ZHAO Z M, HUANG Z P, *et al*. Comparison of nutrient components in muscles and hepatopancreas of pond-and paddy field-cultured *Procambarus clarkii*. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 162–169]

ALBUQUERQUE F E A, MINERVINO A H H, MIRANDA M, *et al*. Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 86: 103361

AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995

BERRILL M, ARSENAULT M. The breeding behaviour of a northern temperate orconectid crayfish, *Orconectes rusticus*. Animal Behaviour, 1984, 32(2): 333–339

CHEN D W, ZHANG M, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343–1349

DAI J H, CHEN T, GUO X R, *et al*. Evaluation of fish meal replacement by *Clostridium autoethanogenum* protein in diets for juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). Aquaculture, 2023, 570: 739379

DATO-CAJEGAS C R S, YAKUPITIYAGE A. The need for dietary mineral supplementation for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultured in a semi-intensive system. Aquaculture, 1996, 144(1/2/3): 227–237

DENG C W, LIAO Q Q, REN Y Y, *et al*. Genetic characterization of *Procambarus clarkii* cultured in Sichuan Province based on microsatellite markers. Fishes, 2024, 9(10): 419

LI J H, HUANG J, LI C L, *et al*. Evaluation of the nutritional quality of edible tissues (muscle and hepatopancreas) of cultivated *Procambarus clarkii* using biofloc technology. Aquaculture Reports, 2021, 19: 100586

LIU Y H, HUANG J N, WEN B, *et al*. Comprehensive assessment of three crayfish culture modes: From production performance to environmental sustainability. Science of the Total Environment, 2024, 954: 176470

MIAO S Y, HAN B, LI J Q, *et al*. Effects of dietary protein level on the growth performance, feed utilization and immunity of red swamp crayfish *Procambarus clarkia*. Aquaculture Reports, 2020, 18: 100540

PAVEY C R, FIELDER D R. The influence of size differential on agonistic behaviour in the freshwater crayfish, *Cherax cuspidatus* (Decapoda: Parastacidae). Journal of Zoology, 1996, 238(3): 445–457

RANGASAMY E, LALBAHADUR MUTHU V, DHANABALAN K, *et al*. Determination of proximate composition on some edible crabs with special reference to nutritional aspects collected from coastal waters of Rameshwaram, Tamil Nadu. Food Chemistry Advances, 2024, 4: 100686

ROTZOLL N, DUNKEL A, HOFMANN T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2705–2711

ŚMIETANA N, PANICZ R, SOBCZAK M, *et al*. Spiny-cheek crayfish, *Faxonius limosus* (rafinesque, 1817), as an alternative food source. Animals, 2021, 11(1): 59

WANG J Q, YE J W, ZHANG Z X, *et al*. Comparison of the nutrient value, nonspecific immunity, and intestinal microflora of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in different culture modes. Aquaculture Reports, 2023, 31: 101683

WU N, WANG X C. Comparison of gender differences in nutritional value and key odor profile of hepatopancreas of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Journal of Food Science, 2017, 82(2): 536–544

WU Q Y, SHI X, FANG S B, *et al*. Different biochemical composition and nutritional value attribute to salinity and rearing period in male and female mud crab *Scylla paramamosain*. Aquaculture, 2019, 513: 734417

WU X G, ZHOU B, CHENG Y X, *et al*. Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(2): 154–159

XU W S, YANG Q F, LI D Y, *et al*. Elucidating the effects of precooked treatments on the quality attributes of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*): Insights from water boiling *vs*. microwaving. Food Chemistry: X, 2024, 23: 101692

ZENG H X, ZHONG Y F, WEI W, *et al*. Combined exposure to microplastics and copper elicited size-dependent uptake and toxicity responses in red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*). Journal of Hazardous Materials, 2025, 487: 137263

ZHANG J L, LIAO M C, WANG J H, *et al*. Development of microsatellite markers and comprehensive assessment on genetic variation of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in Hubei Province, China. Aquaculture International, 2024, 32(4): 5067–5083

ZHANG Y L, YANG B, YANG L, *et al*. Comparison of the nutritional qualities of the pond, rice-field and wild crayfish (*Procambarus clarkii*) meat. Food Chemistry Advances, 2023, 2: 100272

ZHOU B J, ZENG X Y, WANG Q, *et al*. Exposure and health risk assessment of heavy metal in crayfish from the middle and lower reaches of the Yangtze River. Biological Trace Element Research, 2024, 202(1): 332–345

(编辑　马璀艳)

Edible Quality of *Procambarus clarkii* by Sex Reared in the Ponds in Cold Regions

WANG Shihui[1], ZHANG Shuqi[1,2], SU Junjie[1,2], GUO Kun[1], LUO Liang[1], ZHANG Rui[1], QIN Dongli[1,3], ZHAO Zhigang[1①]

(1. *Key Open Laboratory of Cold Water Fish Germplasm Resources and Breeding of Heilongjiang Province, Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin* 150070, *China*; 2. *College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian* 116023, *China*; 3. *Supervision, Inspection, and Testing Center for Fishery Environment and Aquatic Products* (*Harbin*), *Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin* 150070, *China*)

Abstract The crayfish *Procambarus clarkii* is a benthic crustacean known for jumping and crawling. *P. clarkii* is traditionally cultivated in the Yangtze River Basin in provinces of Hubei, Anhui, and Jiangsu. However, *P. clarkii* cultivation is gradually expanding to northern regions, such as Heilongjiang Province. *P. clarkii* yield has also annually increased with advances in cultivating and breeding the seedlings in cold regions. Sexually mature female and male *P. clarkii* were collected to investigate the effect of sex on their edible quality when reared in ponds in cold regions. Edibility indices (the chelate proportion, hepatosomatic index, and meat yield) and quality characteristics (proximate composition, fatty acids, free amino acids, and mineral elements) under similar body weight were evaluated. The cheliform weight and chelate proportion of the females were significantly lower than those of the males, whereas the hepatopancreas weight, abdominal muscle weight, hepatosomatic index, and meat yield of the females were highly significantly higher (P<0.01). The hepatopancreatic moisture and total lipid contents of the females were significantly lower and higher than those of the males, respectively (P<0.01). The total saturated fatty acid and total monounsaturated fatty acid contents in the female hepatopancreas were significantly lower than those

① Corresponding author: ZHAO Zhigang, Email: zhaozhigang@hrfri.ac.cn

in the male hepatopancreas, whereas the total polyunsaturated fatty acid (∑PUFA) contents, especially ALA, ARA, EPA, and DHA, were significantly higher in the females ($P<0.05$). In addition, the ∑EFA and ∑HUFA, ∑n-3 PUFA, ∑n-6 PUFA, n-3/n-6 PUFA, DHA+EPA, and h/H contents were significantly or highly significantly higher in the females than in the males ($P<0.05$; $P<0.01$). The differences in the fatty acid contents between female and male adult *P. clarkii* muscles (7 items) were significantly lower than those in the hepatopancreas (31 items), with only C16:1n7, C17:1n7, LA, ALA, ARA, C20:3n3, and ∑EFA being significantly or highly significantly different ($P<0.05$; $P<0.01$). A small effect was detected in the free amino acid (FAA) contents between the sexes. Only the proline (Pro) content was significantly higher in the female muscle than in the male muscle ($P<0.05$). The ∑EFAA was slightly higher in the hepatopancreas than that in the muscles, but lower Arg and ∑FAA contents were observed. The total umami (∑TUV), total sweetness (∑TSV), and the total bitterness (∑TBV) values in the female hepatopancreas were all lower than those of the males. Additionally, the ∑TUV and ∑TSV in the female muscle were lower than those of the males, but their ∑TBV was higher. The mineral element accumulation difference was minimal, but with large differences in the accumulation in Na, K, Mg, and Fe in females and males ($P>0.05$). The Fe content and proportion in the hepatopancreas of *P. clarkii* were significantly higher than those in the muscles, indicating that the hepatopancreas is an important source of Fe for the human. In summary, *P. clarkii* sex strongly impacted the edible yield, proximate composition, and fatty acids in the hepatopancreas. Sex had a relatively weak impact on free amino acids, mineral elements, and fatty acids in the muscles. This study provides basic data for understanding how edible quality differs between the sexes of *P. clarkii* reared in cold regions.

Key words *Procambarus clarkii*; Gender; Cold region; Pond aquaculture; Edible quality