

Ding Y, Sun Y F, Cheng Y X. Three bait feeding modes on nutrient composition of adult crayfish *Procambarus clarkii* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(1): 012606. [丁宇, 孙云飞, 成永旭. 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾成体营养组成的影响 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(1): 012606.]

三种饵料投喂模式对克氏原螯虾成体营养组成的影响

丁宇¹ 孙云飞^{1,2,3,4} 成永旭^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学, 农业农村部稻渔综合种养生态重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学, 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 为探究克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)成体的最适饵料投喂模式, 本研究设置传统饵料(TF)、冰鲜鱼(CF)和配合饲料(FD) 3种饵料投喂模式, 依据不同养殖目的将克氏原螯虾成体划分为商品虾和亲虾, 于实验60d、103d和126d进行差异化采样。结果显示: (1)3种饵料投喂模式下克氏原螯虾成体各组织的水分和总脂肪含量无显著差异($P>0.05$); 粗蛋白仅FD组卵巢显著高于TF和CF组($P<0.05$); TF组肝胰腺和卵巢中灰分含量最高, CF组最低, CF组胚胎灰分含量最高, FD组最低。(2)TF组克氏原螯虾成体各组织C18:2n6 (LA)、 Σ n-3 PUFA显著最高($P<0.05$), CF组C20:5n3 (EPA)、C22:6n3 (DHA)、 Σ n-6 PUFA和n-3/n-6 PUFA显著最高($P<0.05$)。CF组卵巢和胚胎中较高的 Σ HUFA与 Σ n-3 PUFA含量可能有利于提高亲虾的繁殖性能。综上所述, 3种饵料投喂模式对克氏原螯虾成体的基本营养组成影响有限, 作为商品虾应投喂传统饵料以提高养殖的经济效益。饵料直接影响克氏原螯虾成体各组织的脂肪酸组成, 亲虾应投喂冰鲜鱼以提高繁殖性能。研究结果将细化克氏原螯虾成体的饵料投喂模式, 为克氏原螯虾成体的养殖生产管理提供理论指导。

关键词: 饵料投喂模式; 基本营养; 脂肪酸; 克氏原螯虾

中图分类号: S966.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2026)01-012606-10

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0163 CSTR: 32229.14.SSSWXB.2025.0163



克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 隶属节肢动物门(Arthropoda)、螯虾科(Cambaridae), 养殖模式主要以稻虾综合种养(85.76%)为主, 其次是池塘养殖(10.17%)^[1]。据农业农村部渔业局统计, 2023年我国克氏原螯虾养殖产量高达316.10万吨, 成为我国第一大甲壳动物经济养殖品种^[2]。配合饲料投喂模式在克氏原螯虾的养殖中占据主导地位, 但目前仍存在大豆、玉米等传统饵料和冰鲜野杂鱼等投喂模式^[3,4]。造成如此投喂模式的主要原因, 一方面是配合饲料中含有相对较高的蛋白质和脂肪, 能够满足克氏原螯虾不同生长阶段的营养需求; 另一方面配合饲料价格上涨导致养殖成本增加, 降低了

克氏原螯虾的经济效益, 而传统饵料具有易获取且价格低廉的优势^[2,5,6]。目前, 有关克氏原螯虾适宜投喂模式的研究主要集中在实验材料为1—10 g的幼体和亚成体, 例如, 向环沟内投喂冰鲜鱼相比配合饲料能够使幼虾具有更佳的生长性能^[7], 配合饲料和大豆、玉米搭配使用能够有效兼顾克氏原螯虾的生长速度、产量、营养和养殖效益^[3]。然而, 鲜有对克氏原螯虾成体即性腺发育到性成熟及繁殖孵化时期的适宜投喂模式的报道。

克氏原螯虾独特的风味及丰富的营养物质是其广受市场青睐的重要原因。本研究将克氏原螯虾成体区分为商品虾和亲虾, 根据不同的养殖目的

收稿日期: 2025-05-09; 修订日期: 2025-06-25

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401802); 江苏省农业农村厅种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS[2021]123)资助 [Supported by the National Key Research and Development Program of China (2023YFD2401802); Jiangsu Provincial Department of Agriculture and Rural Development Seed Industry Zhengxing Guashai Projects (JBGS[2021]123)]

作者简介: 丁宇(2001—), 男, 硕士研究生; 研究方向为甲壳动物营养繁殖学。E-mail: dy1013609739@163.com

通信作者: 孙云飞(1988—), 男, 副教授; 研究方向为甲壳动物养殖生态学。E-mail: yfsun@shou.edu.cn

采取了差异化分析策略。已有研究表明不同投喂饵料之间营养组成的显著差异会直接影响克氏原螯虾的肌肉、肝胰腺等组织的基本营养组成与脂肪酸组成^[8-10]。因此, 针对上市销售的商品虾, 肌肉和肝胰腺作为主要可食用部位是其营养成分测定的关键组织。与幼体时期专注于生长性能的研究不同, 克氏原螯虾成体除了要关注生长性能提高养殖效益之外, 还要关注成虾的繁殖性能以保障后续苗种繁育^[11], 而卵巢及胚胎中的营养组成与成虾的繁殖性能息息相关。卵巢中充足蛋白质有利于卵黄蛋白的合成, 同时脂类的累积为其卵黄发生与性腺成熟提供了物质基础^[12-14]。同时, 亲虾的营养供给显著影响胚胎的能量预算及胚胎发育所需营养物质的储备^[15-17]。因此亲虾中卵巢和胚胎的营养成分有助于解释3种饵料投喂模式之间繁殖性能和胚胎质量的差异。总之, 克氏原螯虾成体阶段的营养供给关系着其上市品质、繁殖性能及胚胎质量。

本研究通过对比投喂传统饵料、冰鲜鱼和配合饲料3种饵料投喂模式下克氏原螯虾成体肝胰腺、肌肉、卵巢、胚胎营养成分的差异, 并结合先前研究获得的生长与繁殖性能^[18], 从营养的角度为确定克氏原螯虾成体的适宜饵料提供依据, 有助于优化克氏原螯虾养殖过程中的投喂管理。

1 材料与方法

1.1 实验设计

从江苏省台优生态农创园挑选四肢健全的克氏原螯虾[体质量(17—19) g], 暂养驯化1周后于2023年6月30日开始养殖实验。实验设置传统饵料(质量1:1的玉米和大豆, TF)、冰鲜鱼(CF)和配合饲料(世昌农牧集团股份有限公司, FD) 3种饵料投喂模式, 每种投喂模式设置3个重复, 每个重复60尾虾

(40雌20雄)被放置于养殖车间的水泥池中(长×宽×深=2.0 m×1.0 m×0.8 m, 水深0.2 m)。实验期间每天8:00和18:00饱食投喂, 饵料投喂1h后捞出残饵。为保证养殖水泥池内水体适合克氏原螯虾生长, 每周换水2次, 每次更换水体的1/2, 同时水泥池内24h持续供氧, 使水体溶氧保持在6.0 mg/L以上, pH 7.5—7.9, 氨氮含量低于0.69 mg/L。实验期间光照条件不加干预为自然光照。

1.2 样品采集

实验期间具体的采样时间如图1所示, 实验于第60天(8月28日)进行第1次采样, 从每个水泥池中随机挑选5尾成虾解剖用于肌肉和肝胰腺营养成分的测定。实验第103天(10月10日)进行第2次采样, 待每个水泥池中的抱卵虾比例达到50%时, 随机抽取该重复组中未排卵且性成熟的亲虾5尾, 用于测定亲虾V期卵巢(参考李胜等^[19]的研究, V期卵巢整体呈现紫黑色, 主要由成熟卵母细胞组成, 细胞内充满大型卵黄颗粒)的营养组成。实验第126天(11月2日)进行第3次采样, 抽取胚胎颗粒饱满色泽光亮的抱卵虾, 完全剥离附肢上的胚胎并测定其营养组成。为了响应水产动物福利, 解剖前将克氏原螯虾浸泡在80 mg/L MS-222 (Sigma, USA)中进行麻醉^[20], 随后依次进行胚胎、肝胰腺、性腺和肌肉的解剖, 整个过程均在冰上进行。

1.3 基本营养组成的测定

3种投喂饵料的基本营养组成见表1。水分含量的测定基于冻干法(GB/T 5009.3—2016), 使用冷冻真空干燥机(FD-1C-80, Bilon, 上海), 以1h内连续两次测定的样品质量差异不超过5%为完成标准。总脂质含量的测定依据Folch等^[21]的方法, 用氯仿-甲醇溶液(2:1)提取总脂。使用20氮/蛋白质分析仪(FP828, LECO, 美国)测定样品的粗蛋白含量, 其原

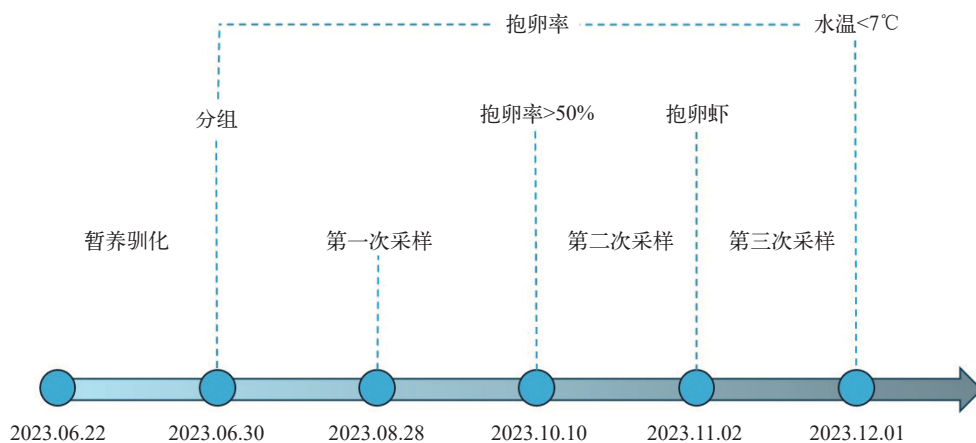


图1 采样时间示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling time

表 1 三种投喂饵料的基本营养成分

Tab. 1 Basic nutrient composition of three feedings

项目Item	TF	CF	FD
水分Moisture (%湿重)	42.95±0.45 ^b	80.36±0.84 ^a	9.27±0.12 ^c
粗蛋白Crude protein (%干重)	26.52±0.95 ^c	71.27±1.61 ^a	49.10±0.66 ^b
总脂肪Total lipid (%干重)	10.18±0.29 ^b	11.74±0.40 ^a	8.81±0.17 ^c
灰分Ash (%干重)	2.38±0.32 ^c	16.28±0.31 ^a	9.58±0.29 ^b

注: 同行数据上标不同字母表示组间存在显著差异($P<0.05$);下同

Note: Different superscript letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$); the same applies below

理与凯氏定氮法不同,是一种结合质量平衡和热力学方法的热导检测技术,其关键在于根据燃烧前后气相状态的变化推导样品的元素含量。灰分含量的测定按照AOAC标准^[22]使用马弗炉在550℃(GB/T 5009.4—2016)下焚烧至恒重。更多测定细节参考徐登歌等^[23]。

1.4 脂肪酸的测定

将克氏原螯虾肝胰腺、肌肉、卵巢和胚胎组织样品冷冻干燥后用研钵碾碎,将待测组织放入比色管中加入氯仿甲醇混合溶液,静置12h后抽滤。为了使加入的甲醇氯仿溶液中的甲醇抽离,加入MgCl₂溶液,静置2h使其出现明显分层,上层即为甲醇溶液。将抽离甲醇后的溶液移到烧杯中并准确称重,随后放入真空干燥箱使溶液中混合的氯仿溶液挥发,再次称重得到脂肪。

利用正己烷溶解得到的脂肪,将脂肪-正己烷溶液转移到甲酯化瓶中,加入BF₃-甲醇溶液,充氮保护;加入苯和甲醇溶液,充氮保护。将甲酯化瓶中溶液转移到离心管中多次加蒸馏水和正己烷,震荡、离心,最终得到的溶液转移到小烧杯中,放入真空干燥箱使溶液中混合的正己烷溶液挥发,加入正己烷至1.0 mL,将这1.0 mL脂肪酸甲酯化溶液使用0.2 μm滤膜过滤于进样瓶等待上机检测。

使用仪器Agilent7890B-5977A气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行脂肪酸分析得到不同组织的脂肪酸组成及其百分比含量。3种投喂饵料的脂肪酸组成如表2所示。

1.5 数据处理

分别使用Shapiro-Wilk检验和Levene检验评估数据的正态性和同质性后,使用SPSS软件(IBM SPSS Statistics 25 for Windows, USA)进行统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行Tukey's HSD事后检验来对比不同饵料投喂模式下克氏原螯虾各组织营养成分组成的显著性,认为 $P<0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

2.1 肝胰腺基本营养成分与脂肪酸的含量

如表3所示,投喂模式并不会显著影响克氏原螯虾肝胰腺的水分、粗蛋白和总脂肪含量($P>0.05$)。CF组水分含量最高、总脂肪含量最低,而TF组水

表 2 三种投喂饵料的脂肪酸差异

Tab. 2 Fatty acid composition of three feedings

项目Item	TF	CF	FD
C14:0	1.16±0.09	1.63±0.20	0.99±0.03
C15:0	0.50±0.02	0.50±0.01	0.50±0.07
C16:0	9.86±0.51	10.28±0.58	9.83±0.80
C16:1	2.31±0.27 ^b	5.50±0.85 ^a	5.19±0.46 ^a
C17:0	1.49±0.12	1.28±0.23	1.33±0.17
C17:1	0.25±0.04	0.24±0.09	0.27±0.03
C18:0	0.26±0.05 ^c	4.44±0.23 ^a	1.71±0.25 ^b
C18:1	10.68±1.89 ^b	12.18±0.57 ^b	20.93±2.57 ^a
C18:2n6	40.89±0.88 ^a	7.90±0.56 ^c	28.19±1.59 ^b
C18:3n6	0.42±0.09	0.57±0.04	0.51±0.04
C20:0	0.68±0.11	0.80±0.14	0.68±0.06
C20:1	2.05±0.23	2.23±0.08	1.97±0.09
C20:2n6	0.72±0.10 ^a	0.39±0.14 ^b	0.76±0.16 ^a
C20:3n6	0.34±0.04	0.45±0.08	0.42±0.09
C20:4n6	3.58±0.32 ^a	0.20±0.02 ^b	0.58±0.02 ^b
C20:5n3	5.28±0.88 ^a	11.70±1.42 ^b	9.27±0.74 ^b
C22:0	0.59±0.05 ^b	0.88±0.09 ^a	0.51±0.11 ^b
C22:1	0.35±0.14 ^a	0.73±0.08 ^b	0.28±0.06 ^a
C22:6n3	2.07±0.33 ^b	20.11±2.42 ^a	2.29±0.60 ^b
ΣSFA	13.95±0.78 ^b	18.92±0.52 ^a	15.04±0.99 ^b
ΣMUFA	15.29±1.91 ^b	20.15±1.42 ^b	28.35±2.53 ^a
ΣPUFA	53.31±0.69 ^a	41.32±3.19 ^b	42.02±2.44 ^b
ΣHUFA	11.7±0.59 ^b	33.03±3.70 ^a	13.07±1.02 ^b
Σn-3 PUFA	7.35±0.56 ^b	31.81±3.77 ^a	11.56±1.04 ^b
Σn-6 PUFA	45.96±0.55 ^a	9.51±0.74 ^c	30.46±1.55 ^b
n-3/n-6 PUFA	0.16±0.01 ^c	3.39±0.66 ^a	0.38±0.02 ^b

注: 饱和脂肪酸ΣSFA. C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C22:0; 单不饱和脂肪酸ΣMUFA. C16:1, C17:1, C18:1n-9, C20:1, C22:1; 多不饱和脂肪酸ΣPUFA. C18:2n-6, C18:3n6, C20:2n6, C20:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; 高不饱和脂肪酸ΣHUFA. C18:3n6, C20:3n6, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:6n-3; n-3系脂肪酸Σn-3 PUFA. C20:5n-3, C22:6n-3; n-6系脂肪酸Σn-6 PUFA. C18:2n-6, C18:3n6, C20:2n-6, C20:3n-6, C20:4n-6

Note: Saturated fatty acidsΣSFA. C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C22:0; Monounsaturated fatty acidsΣMUFA. C16:1, C17:1, C18:1n-9, C20:1, C22:1; Polyunsaturated fatty acidsΣPUFA. C18:2n-6, C18:3n6, C20:2n6, C20:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; Highly unsaturated fatty acidsΣHUFA. C18:3n6, C20:3n6, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:6n-3; n-3system fatty acidsΣn-3 PUFA. C20:5n-3, C22:6n-3; n-6system fatty acidsΣn-6 PUFA. C18:2n-6, C18:3n6, C20:2n-6, C20:3n-6, C20:4n-6

分含量最低、总脂肪含量最高。此外, TF组肝胰腺灰分含量最高并显著高于CF组($P<0.05$), FD组灰分含量与TF组和CF组均无显著差异($P>0.05$)。

如表4所示, CF组克氏原螯虾肝胰腺中高不饱和脂肪酸(Σ HUFA)和n-3系列脂肪酸(Σ n-3 PUFA)含量最高, CF和FD组无显著差异($P>0.05$)且均显著高于TF组($P<0.05$)。n-6系列脂肪酸(Σ n-6 PUFA)

表3 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾肝胰腺基本营养组成的影响

Tab. 3 Basic nutrient composition of the hepatopancreas of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
水分Moisture (%湿重)	40.62±1.55	44.09±1.52	41.53±1.91
粗蛋白Crude protein (%干重)	11.35±0.91	11.07±0.46	12.38±0.17
总脂肪Total lipid (%干重)	79.00±2.63	69.70±6.51	76.14±6.67
灰分Ash (%干重)	2.67±0.22 ^a	2.01±0.18 ^b	2.23±0.16 ^{ab}

表4 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾肝胰腺脂肪酸组成的影响

Tab. 4 Fatty acid composition of the hepatopancreas of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
C14:0	1.28±0.14	1.30±0.07	1.18±0.12
C15:0	0.52±0.04 ^a	0.35±0.07 ^b	0.35±0.04 ^b
C16:0	14.40±1.32	11.33±1.69	11.71±0.87
C16:1	4.26±0.07	4.39±0.83	4.74±0.13
C17:0	0.94±0.04	0.93±0.09	0.93±0.06
C17:1	0.45±0.10	0.56±0.07	0.57±0.05
C18:0	3.52±0.15	3.58±0.10	3.40±0.18
C18:1	18.69±0.24	18.57±2.61	17.18±0.76
C18:2n6	13.68±0.33 ^a	8.46±0.22 ^c	10.62±0.24 ^b
C18:3n6	0.63±0.09	0.62±0.04	0.57±0.04
C20:0	0.34±0.03	0.42±0.02	0.39±0.05
C20:1	2.11±0.03	2.24±0.06	2.18±0.13
C20:2n6	1.29±0.16 ^a	0.97±0.02 ^b	1.01±0.03 ^b
C20:3n6	0.31±0.01	0.30±0.03	0.26±0.05
C20:4n6	1.46±0.05 ^a	0.48±0.06 ^b	0.51±0.11 ^b
C20:5n3	3.39±0.23 ^b	4.38±0.27 ^a	4.28±0.75 ^{ab}
C22:0	0.29±0.03	0.26±0.01	0.28±0.02
C22:1	0.23±0.01 ^b	0.26±0.01 ^a	0.26±0.00 ^a
C22:6n3	2.40±0.07 ^c	6.98±0.66 ^a	5.66±0.23 ^b
Σ SFA	18.20±1.63	21.27±1.20	18.23±1.11
Σ MUFA	25.77±0.17	25.99±1.95	24.92±0.86
Σ PUFA	23.15±0.43	22.18±0.57	22.91±0.53
Σ HUFA	8.18±0.17 ^b	12.75±0.66 ^a	11.28±0.60 ^a
Σ n-3 PUFA	5.79±0.16 ^b	11.36±0.76 ^a	9.95±0.70 ^a
Σ n-6 PUFA	17.37±0.35 ^a	10.82±0.28 ^c	12.97±0.26 ^b
n-3/n-6 PUFA	0.33±0.01 ^c	1.05±0.09 ^a	0.77±0.07 ^b

则表现出相反的趋势, 即CF组含量最低且显著低于FD组, FD组显著低于TF组($P<0.05$)。 Σ n-3 PUFA与 Σ n-6 PUFA比值n-3/n-6 PUFA在TF组最高, FD组次之, TF组最低, 各组之间表现出显著差异($P<0.05$)。对于C18:2n6 (LA)、C20:5n3 (EPA)和C22:6n3 (DHA), TF组LA显著高于FD组, FD组LA显著高于CF组; CF组EPA和DHA显著高于TF组($P<0.05$)。投喂模式对克氏原螯虾肝胰腺的饱和脂肪酸(Σ SFA)、单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)和多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)含量的影响不显著($P>0.05$)。

2.2 肌肉基本营养组成与脂肪酸的含量

如表5所示, 3种饵料投喂模式下克氏原螯虾肌肉的水分、粗蛋白、总脂肪和灰分均无显著差异($P>0.05$)。TF组总脂肪含量最高, FD组次之, CF组最低。

如表6所示, 3种饵料投喂模式下克氏原螯虾肌肉中脂肪酸组成表现出较大差异, Σ SFA、 Σ MUFA、 Σ PUFA、 Σ HUFA、 Σ n-3 PUFA和n-3/n-6 PUFA均存在显著差异, 且CF组均为最大值组($P<0.05$)。CF组 Σ SFA、 Σ HUFA、n-3/n-6 PUFA含量显著高于FD组, FD组又显著高于TF组($P<0.05$)。CF和FD组 Σ MUFA含量无显著差异, 且均显著高于TF组($P<0.05$)。CF组 Σ PUFA、 Σ n-3 PUFA显著高于FD和TF组($P<0.05$), 而FD和TF组之间无显著差异($P>0.05$)。与肝胰腺类似, TF组LA显著高于CF和FD组; CF组EPA和DHA显著高于TF组($P<0.05$)。3种饵料投喂模式对克氏原螯虾肌肉的 Σ n-6 PUFA含量影响不显著($P>0.05$)。

2.3 卵巢基本营养组成与脂肪酸的含量

如表7所示, FD组卵巢中粗蛋白含量最高为57.21%, 显著高于TD和CF组($P<0.05$), 且TD和CF组之间无显著差异($P>0.05$)。CF组灰分最低为3.23%, 显著低于TD和FD组($P<0.05$), 且TD和FD组之间无显著差异($P>0.05$)。3种饵料投喂模式对克氏原螯虾卵巢的水分和总脂肪含量无显著影响($P>0.05$)。

如表8所示, 克氏原螯虾卵巢组织中 Σ MUFA在TF组含量最高, CF和FD组无显著差异($P>0.05$)且均显著低于TF组($P<0.05$)。CF组 Σ PUFA显著高

表5 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾肌肉基本营养组成的影响

项目Item	TF	CF	FD
水分Moisture (%湿重)	79.44±0.54	78.71±0.53	78.74±0.69
粗蛋白Crude protein (%干重)	86.73±2.21	86.22±0.14	86.31±1.77
总脂肪Total lipid (%干重)	4.50±0.46	3.44±0.49	3.72±0.31
灰分Ash (%干重)	5.75±0.33	5.80±0.13	5.71±0.06

于FD组($P<0.05$), TF组 Σ PUFA与CF、FD组均无显著差异($P>0.05$)。对于 Σ HUFA、 Σ n-3 PUFA和n-3/n-6 PUFA, CF组均表现出最高的脂肪酸含量, 且显著高于TF和FD组($P<0.05$), 但TF和FD组之间无显著差异($P>0.05$)。 Σ n-6 PUFA与胰腺中的表达一致, 即TF组显著高于FD组, FD组显著高于CF组($P<0.05$)。LA、EPA和DHA在3种饵料投喂模式下克氏原螯虾卵巢中的表达趋势仍然与3种投喂之间脂

表 6 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾肌肉脂肪酸的影响

Tab. 6 Fatty acid composition of the muscle of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
C14:0	0.35±0.06	0.27±0.01	0.25±0.01
C15:0	0.24±0.01	0.26±0.01	0.27±0.03
C16:0	9.52±0.07 ^b	9.96±0.14 ^a	9.50±0.04 ^b
C16:1	2.83±0.61	3.57±0.34	3.79±0.40
C17:0	0.50±0.01 ^b	0.57±0.01 ^a	0.45±0.03 ^b
C17:1	0.22±0.03 ^c	0.35±0.03 ^b	0.50±0.08 ^a
C18:0	5.98±0.09 ^b	7.37±0.11 ^a	6.93±0.59 ^a
C18:1	11.95±0.16 ^b	13.52±0.09 ^a	13.28±0.10 ^a
C18:2n6	14.75±0.41 ^a	11.17±0.44 ^b	11.66±1.00 ^b
C18:3n6	0.14±0.01 ^b	0.18±0.01 ^a	0.17±0.00 ^a
C20:0	0.85±0.05 ^b	1.07±0.07 ^a	1.11±0.06 ^a
C20:1	1.00±0.05 ^b	1.34±0.02 ^a	1.06±0.03 ^b
C20:2n6	1.75±0.09	1.90±0.05	1.89±0.07
C20:3n6	0.15±0.01 ^b	0.20±0.01 ^a	0.24±0.03 ^a
C20:4n6	3.87±0.07 ^c	5.92±0.08 ^a	5.33±0.21 ^b
C20:5n3	11.91±0.30 ^c	15.67±0.35 ^a	13.44±0.13 ^b
C22:0	0.59±0.02 ^b	0.57±0.04 ^b	0.91±0.03 ^a
C22:1	1.38±0.08 ^a	0.81±0.01 ^b	0.44±0.02 ^c
C22:6n3	6.20±0.20 ^b	9.72±1.00 ^a	6.02±0.42 ^b
Σ SFA	17.44±0.17 ^c	19.50±0.06 ^a	18.52±0.56 ^b
Σ MUFA	15.99±0.82 ^b	18.77±0.41 ^a	18.62±0.26 ^a
Σ PUFA	38.77±0.62 ^b	44.75±1.53 ^a	38.73±1.57 ^b
Σ HUFA	22.27±0.18 ^c	31.68±1.39 ^a	25.19±0.70 ^b
Σ n-3 PUFA	18.10±0.10 ^b	25.39±1.35 ^a	19.45±0.54 ^b
Σ n-6 PUFA	20.66±0.53	19.36±0.54	19.28±1.14
n-3/n-6 PUFA	0.88±0.02 ^c	1.31±0.07 ^a	1.01±0.05 ^b

表 7 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾卵巢基本营养组成的影响

Tab. 7 Basic nutrient composition of the ovaries of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
水分Moisture (%湿重)	47.64±0.60	47.43±0.69	47.38±0.98
粗蛋白Crude protein (%干重)	52.48±1.05 ^b	52.32±1.00 ^b	57.21±0.47 ^a
总脂肪Total lipid (%干重)	44.63±1.27	45.07±0.78	44.48±1.40
灰分Ash (%干重)	4.45±0.30 ^a	3.23±0.38 ^b	4.23±0.15 ^a

肪酸的差异一致, 即TF组LA显著高于CF和FD组; CF组EPA和DHA显著高于FD组, FD组显著高于TF组($P<0.05$)。3种饵料投喂模式下克氏原螯虾卵巢的 Σ SFA含量无显著差异($P>0.05$)。

2.4 胚胎基本营养组成与脂肪酸的含量

如表 9 所示, 不同饵料投喂模式下克氏原螯虾胚胎的水分、粗蛋白、总脂肪无显著差异($P>0.05$)。CF组灰分显著高于FD组($P<0.05$), TF组灰分与CF和FD组无显著差异($P>0.05$)。

表 8 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾卵巢脂肪酸的影响

Tab. 8 Fatty acid composition of the ovaries of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
C14:0	0.56±0.10 ^b	1.23±0.05 ^a	1.14±0.15 ^a
C15:0	0.47±0.05 ^b	0.45±0.03 ^b	0.69±0.04 ^a
C16:0	10.66±1.95	11.57±0.25	9.76±0.45
C16:1	10.33±0.38	10.67±0.29	10.27±0.61
C17:1	0.75±0.10	0.64±0.08	0.54±0.08
C18:0	3.27±0.17 ^b	4.32±0.29 ^a	4.20±0.03 ^a
C18:1	19.11±0.58 ^a	13.23±1.46 ^c	16.22±0.52 ^b
C18:2n6	17.39±0.52 ^a	12.47±0.22 ^c	15.10±0.49 ^b
C18:3n6	0.22±0.02 ^b	0.28±0.03 ^a	0.25±0.02 ^{ab}
C20:0	0.36±0.06 ^b	1.46±0.08 ^a	1.42±0.09 ^a
C20:1	1.02±0.06 ^b	1.47±0.14 ^a	1.34±0.14 ^a
C20:2n6	1.34±0.25	1.71±0.11	1.72±0.03
C20:3n6	0.39±0.06 ^a	0.26±0.05 ^b	0.28±0.03 ^{ab}
C20:4n6	0.50±0.01	0.50±0.03	0.53±0.02
C20:5n3	6.66±0.64 ^b	11.14±0.51 ^a	7.27±0.62 ^b
C22:0	0.29±0.01	0.34±0.05	0.32±0.06
C22:1	0.26±0.02	0.25±0.03	0.28±0.04
C22:6n3	1.91±0.38 ^b	3.93±0.36 ^a	1.72±0.27 ^b
Σ SFA	15.33±2.15	19.03±0.60	17.20±0.68
Σ MUFA	31.2±0.44 ^a	26.00±1.64 ^b	28.37±1.06 ^b
Σ PUFA	28.41±1.03 ^{ab}	30.29±0.76 ^a	26.87±1.42 ^b
Σ HUFA	9.69±0.99 ^b	16.11±0.73 ^a	10.05±0.91 ^b
Σ n-3 PUFA	8.57±0.94 ^b	15.07±0.76 ^a	8.99±0.84 ^b
Σ n-6 PUFA	19.84±0.38 ^a	15.22±0.09 ^c	17.88±0.58 ^b
n-3/n-6 PUFA	0.43±0.05 ^b	0.99±0.05 ^a	0.50±0.03 ^b

表 9 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾胚胎基本营养组成的影响

Tab. 9 Basic nutrient composition of the eggs of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
水分Moisture (%湿重)	68.27±0.64	67.53±0.79	68.95±2.16
粗蛋白Crude protein (%干重)	55.17±0.47	55.28±0.37	55.70±0.86
总脂肪Total lipid (%干重)	43.01±2.63	42.86±1.74	42.87±1.20
灰分Ash (%干重)	6.40±0.22 ^{ab}	7.69±0.69 ^a	5.51±0.87 ^b

如表 10 所示, 克氏原螯虾胚胎中 Σ HUFA和 Σ n-3 PUFA在CF组含量最高, CF和FD组无显著差异($P>0.05$)且均显著高于TF组($P<0.05$)。CF组 Σ PUFA显著高于FD组($P<0.05$), TF组 Σ PUFA与CF、FD组均无显著差异($P>0.05$)。对于 Σ n-6 PUFA, TF组含量最高且显著高于CF组($P<0.05$), 但TF和FD组之间无显著差异($P>0.05$)。对于n-3/n-6 PUFA, CF组显著高于FD组, FD组显著高于TF组($P<0.05$)。对于LA、EPA和DHA, TF组LA显著高于FD组, FD组LA显著高于CF组; CF组EPA和DHA显著高于FD组, FD组显著高于TF组($P<0.05$)。3种饵料投喂模式下克氏原螯虾卵巢的 Σ SFA、 Σ MUFA、 Σ PUFA含量均无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饵料投喂模式对克氏原螯虾基本营养组成的影响

基本营养组成是重要的营养评价指标, 肌肉中

表 10 三种饵料投喂模式对克氏原螯虾胚胎脂肪酸的影响

Tab. 10 Fatty acid composition of the eggs of *Procambarus clarkii* with three feeding modes

项目Item	TF	CF	FD
C14:0	1.02±0.15 ^b	1.40±0.14 ^a	1.03±0.15 ^b
C15:0	0.77±0.05	0.77±0.05	0.79±0.01
C16:0	11.73±0.89	11.68±1.62	12.06±0.48
C16:1	9.12±0.59	8.96±2.01	9.13±0.40
C17:0	0.35±0.02	0.37±0.04	0.39±0.01
C17:1	0.69±0.08 ^b	0.87±0.08 ^{ab}	1.06±0.09 ^a
C18:0	2.46±0.22 ^a	1.89±0.09 ^b	1.81±0.17 ^b
C18:1	16.52±0.44 ^b	19.92±1.27 ^a	18.90±0.75 ^a
C18:2n6	13.75±0.41 ^a	8.83±0.03 ^c	11.32±0.56 ^b
C18:3n6	0.44±0.07	1.01±0.03	0.90±0.02
C20:1	0.64±0.03	0.68±0.03	0.66±0.03
C20:2n6	1.31±0.11 ^b	2.12±0.12 ^a	1.78±0.27 ^b
C20:3n6	—	0.31±0.07	0.32±0.03
C20:4n6	—	0.56±0.11	0.39±0.09
C20:5n3	4.85±0.44 ^b	6.29±0.19 ^a	6.22±0.15 ^a
C22:0	—	1.01±0.05	1.01±0.07
C22:6n3	1.01±0.16 ^b	1.70±0.21 ^a	1.70±0.12 ^a
Σ SFA	16.33±0.84	16.11±1.59	16.09±0.51
Σ MUFA	26.97±0.26	30.44±2.62	29.75±0.73
Σ PUFA	21.36±0.78	20.82±0.40	22.63±0.39
Σ HUFA	6.30±0.50 ^b	9.87±0.32 ^a	9.53±0.15 ^a
Σ n-3 PUFA	5.87±0.47 ^b	7.99±0.37 ^a	7.92±0.20 ^a
Σ n-6 PUFA	15.49±0.37 ^a	12.83±0.06 ^b	14.72±0.22 ^a
n-3/n-6 PUFA	0.38±0.02 ^c	0.62±0.03 ^a	0.54±0.01 ^b

注: “—”表示该脂肪酸检出含量低于0.10

Note: “—” indicates the detected content of fatty acid is below 0.10

极高的蛋白质(>80%)营养也是小龙虾受消费者喜爱的重要原因^[24]。本研究中不同投喂存在显著的营养组成差异, 因此猜测各组克氏原螯虾肝胰腺、肌肉、卵巢和胚胎的营养组成也会存在显著差异。然而结果显示不同投喂对克氏原螯虾各组织的水分、蛋白质和总脂肪含量的影响有限。对于水分, 在异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[25]和黄颡鱼(*Carassius auratus gibelio*)^[26]中已有报道表明不同脂肪源对其肝胰腺和肌肉的水分无显著影响。然而, 总脂肪含量的相似性与实验预期相悖。一方面林华峰等^[27]指出饲料中高比例的豆油等植物油会导致脂肪肝, 这种现象的原因部分归咎于植物饵料中含有较高的 Σ SFA和 Σ MUFA, 这些脂肪酸会导致总脂肪在体内的沉积^[28]。类似地, 植物饵料投喂的日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)肝胰腺和肌肉中同样获得了接近冰鲜鱼投喂的脂肪含量^[29]。本研究中植物饵料组 Σ SFA和 Σ MUFA含量显著高于冰鲜鱼组和配合饲料组, 这可能是其总脂肪与其余两种投喂在同一水平的重要原因。另一方面, 亲本卵巢的脂类储备对胚胎发育至关重要, 甚至脂肪是胚胎发育和变态的唯一内源性能量来源^[30, 31]。本研究3种饵料投喂模式下克氏原螯虾卵巢均表现一致的高脂肪含量, 这可能是生物繁衍本能即在繁殖期优先将营养运输到性腺以为后续的繁殖提供物质保障。粗蛋白含量仅在卵巢组织中体现出显著差异, 即配合饲料组卵巢粗蛋白含量显著高于冰鲜鱼组。尽管冰鲜鱼具有最高的粗蛋白含量, 但研究表明过高的蛋白质含量会对克氏原螯虾的蛋白质代谢产生负担, 再加之配合饲料更均衡的营养组成和牛磺酸等营养元素的添加^[32-34], 这可能有利于蛋白质在卵巢中的积累, 同时这也在一定程度上解释了传统饵料投喂下克氏原螯虾更高的生长性能^[18]。

3.2 饵料投喂模式对克氏原螯虾脂肪酸组成的影响

脂肪酸不仅是克氏原螯虾风味评价的重要指标更是其营养价值的重要体现^[35, 36]。本研究发现肝胰腺、肌肉、性腺和胚胎脂肪酸组成中LA、EPA和DHA具有相似的比例, 即传统饵料组LA含量最高, EPA和DHA含量最低, 冰鲜鱼组则相反。这与不同投喂饵料之间的脂肪酸组成高度一致, 说明投喂饵料的脂肪酸组成会显著改变克氏原螯虾成体各组织的脂肪酸组成。这种一致性在罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)和中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)等甲壳动物中也被广泛报道^[37, 38]。LA是克氏原螯虾的必需脂肪酸, 由于自身合成能力受限, 必须通过摄食途径获取。本研究传统饵料以玉

米和大豆组成(LA比例约40%), 丰富外源LA供给是各组织LA显著积累的重要原因。类似的, 在中华绒螯蟹育肥和囤养期间, 由于冰鲜鱼中较高的EPA和DHA比例, 投喂冰鲜鱼的河蟹可食部位肝胰腺、卵巢及肌肉中EPA和DHA含量显著高于配合饲料组^[39]。EPA和DHA作为重要的高不饱和脂肪酸是合成卵黄蛋白原的重要前体物质和结构组成, 卵黄蛋白原在肝胰腺合成后转运至卵巢, 被卵母细胞摄取并加工成卵黄蛋白, 为胚胎发育储备能量和营养^[40]。研究表明, 充足的DHA和EPA供应能显著促进甲壳动物Vg基因的表达和蛋白合成速率, 从而加速卵黄积累, 提升卵子质量, 最终表现为更高的抱卵量、受精率和孵化率^[41]。因此, Σ HUFA含量的差异尤其EPA、DHA, 必然会影响雌蟹的性腺发育^[42]。本研究中冰鲜鱼投喂下克氏原螯虾卵巢中丰富的EPA、DHA、 Σ HUFA暗示了其最佳的繁殖性能, 在已发表的研究中证实了冰鲜鱼饵料投喂的克氏原螯虾在V期性腺指数、抱卵率、生殖指数和生殖力方面均显著优于传统饵料^[18]。除此之外, DHA和EPA在胚胎发育过程中的能量供应方面发挥重要作用, 在甲壳动物胚胎发育的中后期以及孵化后的早期幼体阶段是维持代谢活动和完成变态的主要能量来源^[43, 44]。例如DHA和EPA等HUFA对泥蟹(*Eurypanopeus depressus*)等甲壳动物的早期发育发挥重要作用, 尤其体现在幼蟹的成活率和生长速率方面^[45]。并且还有研究表明 Σ n-3 PUFA能够通过改变免疫相关基因TLR22和MyD88的表达水平来调节大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的非特异性免疫和抗病能力^[46]。本研究中冰鲜鱼投喂的克氏原螯虾胚胎中EPA、DHA、 Σ HUFA和 Σ n-3 PUFA的比例显著高于投喂传统饵料和配合饲料组, 这也确实印证了冰鲜鱼投喂的亲虾具有更高胚胎质量, 包括卵湿重、卵干重、单卵重和卵径^[18], 但胚胎孵化后得到的幼虾是否具有更高的成活率以及抗逆能力还有待进一步研究。

4 结论

饵料投喂模式对克氏原螯虾成体的基本营养组成影响有限, 各组织水分和总脂肪含量均无显著差异, 粗蛋白也仅配合饲料组卵巢显著更高, 因此, 如果作为商品虾养殖的话, 应尽量投喂传统饵料来提高其经济效益。投喂饵料的脂肪酸组成会极大地影响克氏原螯虾成体各组织中的脂肪酸组成, 尤其LA和 Σ n-6 PUFA(传统饵料组最高), 以及DHA、EPA、 Σ n-3 PUFA和n-3/n-6 PUFA(冰鲜鱼组最高)。冰鲜鱼投喂模式下亲虾卵巢中脂肪酸组

成更有利于繁殖孵化。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Yue G H, Li J, Bai Z, *et al.* Genetic diversity and population structure of the invasive alien red swamp crayfish [J]. *Biological Invasions*, 2010, **12**(8): 2697-2706.
- [2] Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. Report on crayfish industry development in China (2024) [J]. *China Fisheries*, 2024(7): 14-20. [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. 中国小龙虾产业发展报告(2024) [J]. 中国水产, 2024(7): 14-20.]
- [3] Song G T, Wang F, Jiang Y L, *et al.* Comparative analysis on growth and muscle quality of *Procambarus clarkii* fed with five diets [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, **50**(7): 172-177. [宋光同, 王芬, 蒋业林, 等. 5种饲料组合投喂下克氏原螯虾生长及肌肉品质的比较分析 [J]. 江苏农业科学, 2022, **50**(7): 172-177.]
- [4] Hu Y J, Yun B, Han D, *et al.* A review: The nutritional requirements of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *China Feed*, 2024(15): 90-96. [胡亚军, 负彪, 韩冬, 等. 克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)营养需求研究进展 [J]. 中国饲料, 2024(15): 90-96.]
- [5] Deng J M, Wang Y, Chen L Q, *et al.* Effects of replacing plant proteins with rubber seed meal on growth, nutrient utilization and blood biochemical parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, **23**(1): 30-39.
- [6] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action (Rome: Food and Agriculture Organization) [J/OL]. 2020. <https://www.fao.org>.
- [7] Xu Z H, Zhou X, Shui Y. Food preference and feeding rhythm in red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2012, **27**(2): 166-170. [徐增洪, 周鑫, 水燕. 克氏原螯虾的食物选择性及其摄食节律 [J]. 大连海洋大学学报, 2012, **27**(2): 166-170.]
- [8] Castell J D, Kean J C. Evaluation of the role of nutrition in lobster recruitment [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, **43**(11): 2320-2327.
- [9] Zou J, Chao C, Meng S, *et al.* Effects of feed on fatty acid composition in muscles and gonads of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2021, **50**(3): 338-351.
- [10] Ma S H, Xiao W F, Xie S Q, *et al.* Optimal ratio of linolenic acid to linoleic acid in the diet of *Procambarus clarkii* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, **49**(3): 106-118. [马世豪, 肖文富, 解绥启, 等. 克氏原螯虾饲料亚麻酸与亚油酸的适宜比值 [J]. 水生生物学报, 2025, **49**(3): 106-118.]

- [11] Lu X, Peng D, Chen X, *et al.* Effects of dietary protein levels on growth, muscle composition, digestive enzymes activities, hemolymph biochemical indices and ovary development of pre-adult red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2020(18): 100542.
- [12] Dabrowski K, Zhang Y F, Kwasek K, *et al.* Effects of protein-, peptide- and free amino acid-based diets in fish nutrition [J]. *Aquaculture Research*, 2010, **41**(5): 668-683.
- [13] Yuan H, Gong S, Chu Z, *et al.* Effects of low dietary protein level on serum oestradiol, testosterone and sex reversal in rice field eel, *Monopterus albus* (Zuiew) [J]. *Aquaculture Research*, 2011, **42**(12): 1752-1763.
- [14] Liu M, Zhang H T, Sun G W, *et al.* Research progress of nutritional requirements and functional feed of *Procambarus clarkii* [J]. *Guangdong Feed*, 2021, **30**(11): 37-44. [刘敏, 张海涛, 孙广文, 等. 克氏原螯虾营养需求与功能性饲料研究进展 [J]. *广东饲料*, 2021, **30**(11): 37-44.]
- [15] Vogt G. Investigation of hatching and early post-embryonic life of freshwater crayfish by in vitro culture, behavioral analysis, and light and electron microscopy [J]. *Journal of Morphology*, 2008, **269**(7): 790-811.
- [16] Brillon S, Lambert Y, Dodson J. Egg survival, embryonic development, and larval characteristics of northern shrimp (*Pandalus borealis*) females subject to different temperature and feeding conditions [J]. *Marine Biology*, 2005, **147**(4): 895-911.
- [17] Shui Y, Kui Y, Zhu Y, *et al.* Egg incubation and plasma proteome alterations in response to brood care in maternal crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *Aquaculture*, 2021(542): 736888.
- [18] Ding Y, Sun Y F, Cheng Y X. Effects of different feeding modes on the growth, reproduction, digestion, stress tolerance, and intestinal microflora of pre-adult red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. *Aquaculture*, 2025(604): 742479.
- [19] Li S, Zhao W X. Structural changes of mandibular organ during the ovary developing cycle in crayfish [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, **8**(1): 12-18. [李胜, 赵维信. 克氏原螯虾大颚器在卵巢发育周期中的组织结构变化 [J]. *上海水产大学学报*, 1999, **8**(1): 12-18.]
- [20] Li S, Yang Z, Tian H, *et al.* Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, intestinal digestion, lipid and carbohydrate metabolism of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2022(24): 101117.
- [21] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, **226**(1): 497-509.
- [22] Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists [M]. The Association, 2000.
- [23] Xu D G, Guo K Y, Wang Y C, *et al.* Comparison of growth characteristics and muscle quality of *Procambarus clarkii* cultured in ponds across different regions [J/OL]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025: 1-11. [徐登歌, 郭凯莹, 王宇驰, 等. 不同地区池塘养殖克氏原螯虾的生长特征及肌肉品质比较 [J/OL]. *水生生物学报*, 2025: 1-11.]
- [24] Tian Z H, Cheng Y X, Wu X G, *et al.* Changes of histology, ultrastructure and main protein in muscles of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* during the molt cycle [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(5): 1036-1041. [田志环, 成永旭, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹蜕壳过程中肌肉的组织学超微结构及主要蛋白质含量的变化 [J]. *水生生物学报*, 2017, **41**(5): 1036-1041.]
- [25] Zhang Y Y, Liu B, Ge X P, *et al.* Effect of dietary oil sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and lipid metabolism of *Carassius auratus gibelio* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(7): 1111-1118. [张媛媛, 刘波, 戈贤平, 等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响 [J]. *水产学报*, 2012, **36**(7): 1111-1118.]
- [26] Lu Y, Jin M, Yuan Y, *et al.* Effects of different lipid sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and antioxidant capacity in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, **42**(7): 1094-1110. [陆游, 金敏, 袁野, 等. 不同脂肪源对黄颡鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2018, **42**(7): 1094-1110.]
- [27] Lin H F. Effects of three vegetable oils as substitutes for fish oil on the growth, serum biochemical indices and fatty acid composition of juvenile black king fish, *Rachycentron canadum* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012. [林华锋. 3 种植物油替代鱼油对军曹鱼幼鱼生长、血清生化指标和脂肪酸组成的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.]
- [28] Brousseau M E, Ordovas J M, Osada J, *et al.* Dietary monounsaturated and polyunsaturated fatty acids are comparable in their effects on hepatic apolipoprotein mRNA abundance and liver lipid concentrations when substituted for saturated fatty acids in cynomolgus monkeys [J]. *The Journal of Nutrition*, 1995, **125**(3): 425-436.
- [29] Zhang N N. Study on suitable protein and fat sources for *Macrobrachium nipponense* based on appropriate feed protein and energy levels [D]. Shanghai: East China Normal University, 2016. [张南南. 基于适宜饲料蛋白和能量水平下的日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)适宜蛋白源和脂肪源研究 [D]. 上海: 华东师范大学,

- 2016.]
- [30] Ying X P, Yang W X, Zhang Y P. Comparative studies on fatty acid composition of the ovaries and hepatopancreas at different physiological stages of the Chinese mitten crab [J]. *Aquaculture*, 2006, **256**(1/2/3/4): 617-623.
- [31] Mourente G, Medina A, González S, *et al.* Changes in lipid class and fatty acid contents in the ovary and midgut gland of the female fiddler crab *Uca tangeri* (Decapoda, Ocypodiidae) during maturation [J]. *Marine Biology*, 1994, **121**(1): 187-197.
- [32] Tibbetts S M, Lall S P, Anderson D M. Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2000, **186**(1/2): 145-155.
- [33] Lu X, Wen H, Li Q, *et al.* Comparative analysis of growth performance and liver transcriptome response of juvenile *Ancherythroculter nigrocauda* fed diets with different protein levels [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 2019(31): 100592.
- [34] Liu H Y, Wu Z W, Gao Q P, *et al.* Comparison of the effects of feeding floating puffed feed and chilled fish on the culture of *Silurus meridionalis* [J]. *China Fisheries*, 2009(11): 58-60. [刘汉元, 吴宗文, 高启平, 等. 投喂浮性膨化饲料与冰鲜鱼养殖南方大口鲶的效果对比 [J]. *中国水产*, 2009(11): 58-60.]
- [35] Cong J J, Han X Y, Yu T C, *et al.* Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on odor of hepatopancreas and gonads of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, **41**(24): 55-63. [从娇娇, 韩昕苑, 庾庭驰, 等. 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺气味的影响 [J]. *食品工业科技*, 2020, **41**(24): 55-63.]
- [36] 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]. *Aquaculture Research*, 2007, **38**(14): 1459-1467.
- [37] Yang J W, Sun L S, Wang H, *et al.* Effect of different lipid sources on fatty acid composition in body tissues of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Journal of Aquaculture*, 2013, **34**(4): 8-13. [杨家威, 孙龙生, 王恒, 等. 不同脂肪源对罗氏沼虾脂肪酸组成的影响 [J]. *水产养殖*, 2013, **34**(4): 8-13.]
- [38] Feng W, Li H, Tang Y K, *et al.* Effects of formula feed and frozen fish on the growth, gonadal development and muscle quality of *Eriocheir sinensis* in the monomer culture [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, **45**(5): 748-759. [冯伟, 李辉, 唐永凯, 等. 配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响 [J]. *水产学报*, 2021, **45**(5): 748-759.]
- [39] Xiao C L, Sun Y F, Lu Z Z, *et al.* Comparison of nutritional quality of Chinese mitten crab cultured from compound feed and chilled fish during hoarding [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, **33**(3): 590-605. [肖昌伦, 孙云飞, 鹿珍珍, 等. 配合饲料和冰鲜鱼养殖的中华绒螯蟹囤养期间营养品质的比较 [J]. *上海海洋大学学报*, 2024, **33**(3): 590-605.]
- [40] Tan Q S, Wu F, Du H, *et al.* Effects of broodstock nutrition on reproductive performance of fish: a review [J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, **37**(4): 1-9. [谭青松, 吴凡, 杜浩, 等. 饲料营养对亲鱼生殖性能的影响研究进展 [J]. *水生生态学杂志*, 2016, **37**(4): 1-9.]
- [41] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, *et al.* Variation in lipid composition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* during ovarian maturation [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2001, **130**(1): 95-104.
- [42] Zhang X T, Du C H, Ding X J, *et al.* Biological functions of polyunsaturated fatty acids and its application in animal production [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, **29**(9): 3059-3067. [张晓图, 杜晨红, 丁小娟, 等. 多不饱和脂肪酸的生物学功能及其在动物生产中的应用 [J]. *动物营养学报*, 2017, **29**(9): 3059-3067.]
- [43] Bischoff A A, Kubitz M, Ballesteros-Redondo L, *et al.* Dynamics of fatty acids in pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae and juveniles during early rearing and weaning in a commercial RAS-implications for dietary refinement [J]. *Fishes*, 2023, **8**(9): 444.
- [44] Ye H H, Ai C H, Huang H Y, *et al.* Advances on reproductive physiology of crabs [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2006, **45**(S2): 170-175. [叶海辉, 艾春香, 黄辉洋, 等. 蟹类生殖生理学研究进展 [J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2006, **45**(S2): 170-175.]
- [45] Levine D M, Sulkin S D. Nutritional significance of long-chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development of the brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus* (Smith) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1984, **81**(3): 211-223.
- [46] Zuo R T, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, **32**(2): 249-258.

THREE BAIT FEEDING MODES ON NUTRIENT COMPOSITION OF ADULT CRAYFISH *PROCAMBARUS CLARKII*

DING Yu¹, SUN Yun-Fei^{1, 2, 3, 4} and CHENG Yong-Xu^{1, 2, 3, 4}

(1. Key Laboratory of Integrated Rice-Fish Farming Ecosystem, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Aquaculture Engineering and Technology Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) is a significant crustacean aquaculture species in China, renowned for its high economic and nutritional value. Currently, crayfish aquaculture utilizes three distinct feeding modes: traditional feeding (TF), chilled fish (CF), and famulated diet (FD). This study differentiated adult crayfish into commercial crayfish and parental crayfish, conducting stratified sampling on days 60, 103, and 126 to investigate the optimal feeding mode for adult crayfish under different culture objectives. The results demonstrated that: (1) Moisture and total lipid content in various tissues showed no significant differences among the three feeding modes ($P>0.05$). Crude protein was significantly higher only in the ovaries of the FD group compared to the TF and CF groups ($P<0.05$). Ash content was the highest in hepatopancreas and ovaries of the TF group and the lowest in CF group, while the CF group exhibited the highest ash content in embryos, with the FD group showing the lowest. (2) The TF group had significantly the highest levels of C18:2n-6 (LA) and $\sum$ n-3 PUFA in all tissues ($P<0.05$), whereas the CF group showed significantly the highest levels of C20:5n-3 (EPA), C22:6n-3 (DHA), $\sum$ n-6 PUFA, and the n-3/n-6 PUFA ratio ($P<0.05$). The higher $\sum$ HUFA and $\sum$ n-3 PUFA content observed in the ovaries and embryos of the CF group may enhance the reproductive performance of parental crayfish. In conclusion, the three feeding modes had limited effects on the basic nutritional composition of adult crayfish. For commercial crayfish, traditional feeding is recommended to improve economic efficiency. Feedings directly influence the fatty acid composition of adult crayfish, and chilled fish is recommended for parental crayfish to enhance reproductive performance. These findings refine the feeding strategies for adult crayfish and provide a theoretical basis for improved aquaculture management practices.

Key words: Bait feeding mode; Basic nutrition; Fatty acids; *Procambarus clarkii*