

DOI: 10.11964/jfc.20220913673

两种育肥方式与湖泊养殖中华绒螯蟹营养品质的比较

肖昌伦^{1,2}, 孙云飞^{1,3,4*}, 鹿珍珍¹, 成永旭^{1,3,4*}

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. 宜宾市农业科学院, 四川 宜宾 644000; 3. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程中心, 上海 201306

摘要:

【目的】了解育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹营养品质。

【方法】采用配合饲料(CF)和冰鲜鱼(CTF)分别对中华绒螯蟹进行为期1个月的育肥实验, 并与湖泊养殖中华绒螯蟹(LC)比较可食率、常规营养物质、脂肪酸和游离氨基酸。

【结果】①冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹性腺指数(GSI)显著高于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 而肝胰腺指数(HSI)显著低于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 出肉率和总可食率在3种中华绒螯蟹间无显著性差异。②配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹肝胰腺总脂含量显著高于冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹, 而水分和粗蛋白含量显著低于冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹; 对于性腺, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹水分和总脂含量显著低于湖泊养殖中华绒螯蟹, 而粗蛋白含量显著高于湖泊养殖中华绒螯蟹, 卵巢营养物质无显著差异; 雌性湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉粗蛋白含量显著高于配合饲料育肥和冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹, 其余营养物质无显著差异。③配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织C18:2n6(LA)、 \sum PUFA和 \sum n-6PUFA含量显著高于冰鲜鱼育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢EPA、DHA含量显著高于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹。④湖泊养殖中华绒螯蟹的天冬氨酸(Asp)和谷氨酸(Glu)含量显著高于2种育肥中华绒螯蟹, 而丝氨酸(Ser)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)和赖氨酸(Lys)含量低于育肥中华绒螯蟹, 湖泊养殖中华绒螯蟹性腺鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量显著高于2种育肥中华绒螯蟹。

【结论】冰鲜鱼能够促进中华绒螯蟹性腺发育, 性腺指数最高, 3种中华绒螯蟹肝胰腺和精巢常规营养物质存在一定差异, 2种育肥中华绒螯蟹脂肪酸组成优于湖泊养殖中华绒螯蟹, 而湖泊养殖中华绒螯蟹的鲜味和甜味氨基酸含量显著高于2种育肥中华绒螯蟹。

关键词: 中华绒螯蟹; 育肥方式; 性腺; 肝胰腺

第一作者: 肖昌伦, 从事河蟹营养品质研究, E-mail: changlunxiao@163.com



通信作者: 孙云飞, 从事甲壳动物养殖生态学, 现任中国水产学会第十届理事会水产动物行为学专业委员会委员。先后主持国家自然科学基金青年基金、中国博士后基金(2019年)和重点研发计划项目子课题(2023年), E-mail: yfsun@shou.edu.cn;



成永旭, 从事甲壳动物营养繁殖学研究, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

资助项目: 国家现代农业技术体系专项(CARS-48); 黄河三角洲人才工程(DYRC20190210)

收稿日期: 2022-09-05

修回日期: 2023-07-06

文章编号:

1000-0615(2025)01-019615-16

中图分类号: S 963

文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)



中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 又称河蟹, 是我国重要的经济养殖蟹类之一, 营养丰富、风味独特, 具有很高的经济价值和食用价值^[1-2], 广泛分布于中国沿海及通海的河流湖泊中, 养殖面积约 70 万 hm^2 , 2020 年我国中华绒螯蟹养殖产量达 $7.76 \times 10^5 \text{ t}$, 占经济甲壳动物的 18.22%^[3]。随着生活水平的提高, 人们对于中华绒螯蟹品质的要求越来越高^[4], 高品质中华绒螯蟹是一般中华绒螯蟹价格的 2~3 倍甚至更高。绝大部分中华绒螯蟹在每年 10 月左右上市, 但此时中华绒螯蟹刚完成生殖蜕壳, 营养以及风味都差强人意, 因此, 在中华绒螯蟹上市前需要经过 1 个月左右的育肥^[5-6], 以提高中华绒螯蟹的饱满度和营养品质。

中华绒螯蟹育肥饵料主要为配合饲料和冰鲜鱼, 虽然使用冰鲜鱼容易带来致病菌并恶化水质, 但配合饲料的使用一直不尽人意, 因此很多养殖户认为投喂冰鲜鱼的中华绒螯蟹更加鲜美^[7]。关于配合饲料代替冰鲜鱼一直是中华绒螯蟹养殖业的热门研究^[8-12], 唐永凯等^[13]研究配合饲料和冰鲜鱼对中华绒螯蟹养殖效益时发现, 饲喂冰鲜鱼对中华绒螯蟹成活率更高、产量更高、成蟹规格也更大。阙有清等^[14]研究发现, 适量的配合饲料代替杂鱼投喂养殖中华绒螯蟹对其生长发育无显著性负面影响。冯伟等^[15]研究配合饲料和冰鲜鱼对中华绒螯蟹性腺发育和肌肉品质时发现, 配合饲料对中华绒螯蟹性腺发育更好, 同时肌肉花生四烯酸 (ARA) 和 DHA 含量显著高于冰鲜鱼。目前研究发现, 湖泊养殖中华绒螯蟹蛋白质含量较池塘养殖中华绒螯蟹更高, 脂肪含量更低, 可食组织高度不饱和脂肪酸含量更高^[16]。Wang 等^[17]研究 4 种来源中华绒螯蟹时发现, 湖泊养殖中华绒螯蟹含有较高的 EPA 和 HUFA, 品质优于池塘养殖中华绒螯蟹。因此认为湖泊养殖中华绒螯蟹品质优于池塘养殖中华绒螯蟹, 然而随着养殖方式的改变和饲料工艺的改进, 营养强化后再育肥的中华绒螯蟹营养品质是否优于湖泊养殖中华绒螯蟹未见报道。

本实验分别采用配合饲料和冰鲜鱼对中华绒螯蟹投喂, 进行为期 1 个月的育肥, 和同时期湖泊养殖中华绒螯蟹进行可食率、常规营养物质、脂肪酸和氨基酸组成比较, 探究对中华绒螯蟹的育肥效果, 以期能够完善中华绒螯蟹

的育肥方式, 提高育肥中华绒螯蟹的品质, 促进育肥配合饲料发展、改进和应用。

1 材料与方法

1.1 实验蟹及样品采集

2 种育肥中华绒螯蟹来自于江苏省宿迁市台优生态循环农创园, 在 2019 年 10 月初选择 6 个面积为 500 m^2 的池塘, 池塘四周设置高为 30 cm 的防逃网, 防逃网底端埋入土下 30 cm, 池壁周围用土工膜覆盖, 放中华绒螯蟹之前对池塘整体进行消毒, 消毒过后种植伊乐藻 (*Elodea nuttallii*)。实验将育肥中华绒螯蟹分为配合饲料组 (CF) 和冰鲜鱼组 (CTF), 每个处理 3 个平行, 每个池塘为 1 个平行, 每个池塘放入雌雄中华绒螯蟹各 150 只。育肥期为 1 个月, 期间将水位保持在约 0.80 m, 每天下午 5:00 分别投喂配合饲料和冰鲜鱼。育肥期间定期检查池塘水质, pH 为 7.0~8.5, 亚硝酸盐 $< 0.05 \text{ mg/L}$, 氨氮 $< 0.4 \text{ mg/L}$ 。实验过程中操作人员严格遵守实验动物福利伦理和动物实验安全规范, 并按照上海海洋大学动物实验伦理委员会制定的规章制度执行。

2019 年 11 月 10 日从每个池塘随机选择雌雄中华绒螯蟹各 3 只, 共采集雌蟹和雄蟹各 9 只。湖泊养殖中华绒螯蟹 (LC) 来自于江苏省宿迁市骆马湖, 主要以摄食水草和螺蛳等天然饵料为生, 采集雌蟹和雄蟹各 9 只。用干毛巾擦干蟹体表面水分, 用电子天平 (精确度 0.01 g) 精确称量雌、雄蟹体重。用游标卡尺 (精确度 0.01 mm) 测量中华绒螯蟹的头胸甲长和头胸甲宽 (表 1)。2 种育肥中华绒螯蟹体重、壳长、壳宽显著高于湖泊中华绒螯蟹 ($P < 0.05$)。

1.2 总可食率测定及肥满度

活体解剖取出肝胰腺和性腺并精确称重, 用于计算肝胰腺指数 (hepatosomatic index, HSI, %) 和性腺指数 (gonads index, GSI, %)。用剪刀和镊子准确刮取育肥蟹和湖泊蟹肌肉, 精确称重, 用于计算出肉率 (meat yield, MY, %)。HSI、GSI 和 MY 三者之和为总可食率 (total edible yield, TEY, %)。根据体重和头胸甲长的关系, 计算中华绒螯蟹的肥满度 (condition factor, CF, g/cm^3), 计算公式^[18]:

$$\text{HSI} (\%) = W_H / W \times 100\%$$

表 1 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹体重和形态学参数

Tab. 1 Weight and morphological parameters of two fattened and lake-cultured *E. sinensis*

项目 item	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
体重/g body weight	162.98±14.34 ^b	156.74±10.78 ^b	129.19±17.76 ^a	222.53±10.33 ^b	219.41±7.37 ^b	150.48±21.42 ^a
头胸甲长/mm carapace length	66.47±1.51 ^b	66.16±1.12 ^b	61.79±3.20 ^a	67.6±1.46 ^b	68.29±0.94 ^b	61.61±3.27 ^a
头胸甲宽/mm carapace width	68.78±2.14 ^b	69.63±1.17 ^b	64.3±3.59 ^a	72.32±1.68 ^b	73.44±2.25 ^b	65.51±3.19 ^a

注: CF. 配合饲料组, CTF. 冰鲜杂鱼组, LC. 湖泊养殖组; 不同字母表示同一性别不同组间差异显著($P<0.05$), 下同。

Notes: CF. compound feed group, CTF. chilled trash fish group, LC. lake aquaculture group; different letters indicate significant differences between different groups of the same sex ($P<0.05$), the same below.

$$GSI = W_G/W \times 100\%$$

$$MY (\%) = W_M/W \times 100\%$$

$$TEY (\%) = HSI + GSI + MY$$

$$CF (g/cm^3) = W/L^3 \times 100$$

式中, W_H 为肝胰腺重 (g), W 为体重 (g), W_G 为性腺重 (g), W_M 为肌肉重 (g), L 为头胸甲长 (cm)。

1.3 常规营养成分测定

采用真空干燥法测定各可食组织 (肝胰腺、性腺以及肌肉) 的水分含量^[19]; 采用 AOAC 的方法测定各组织中粗蛋白含量 (凯氏定氮法) 和灰分含量 (550 °C 灼烧至恒重)^[20]; 采用 Folch 等^[21] 的方法 ($V_{\text{氯仿}} : V_{\text{甲醇}} = 2 : 1$, 体积比) 测定各组织中粗脂肪含量。

1.4 脂肪酸组成测定

根据 Wu 等^[22] 方法分析可食组织脂肪酸组成及百分比。采用 Folch 等^[21] 方法提取脂肪, 取约 0.07 g 脂肪使用 14% 三氟化硼-甲醇溶液 (BF_3-CH_3OH) 2 mL 溶解, 充入氮气保护, 在 95 °C 的环境下水浴 30 min。取出加入 2 mL 苯 (C_6H_6) 和 2 mL 甲醇 (CH_3OH) 充入氮气保护, 再次放入 95 °C 水浴 30 min。取出样品加入 1 mL 正己烷, 再加入 H_2O 定容到 9 mL, 旋转振荡仪充分振荡, 4000 r/min 离心 5 min。用胶头滴管吸取上清液和杂质, 再次加入 H_2O 定容到 8 mL, 充分振荡, 4000 r/min 离心 5 min。吸取上清液和杂质后, 将下层液体放入烧杯进行干燥, 然后加入 1 mL 正己烷溶解, 将溶液用 0.22 μm 滤膜过滤, 装入进样瓶待测。使用 Agilent 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS)。

1.5 游离氨基酸组成测定

根据 Tsai 等^[23] 方法分析测定育肥蟹与湖泊蟹肌肉和性腺游离氨基酸组成。称量冷冻干燥后样品粉末 0.01 g, 加入 15 mL 质量分数为 5% 的三氯乙酸 (TCA) 溶液, 匀浆后超声 5 min, 然后静置 2 h。4 °C 下 15 000 r/min 离心 10 min。取上清液 5 mL, 用 6 mol/L 的氢氧化钠 (NaOH) 溶液调节 pH 至 2.0, ddH_2O 定容至 10 mL, 混匀后用注射器吸取 1.5 mL 溶液, 过 0.22 μm 滤膜后装入进样瓶中待测。所用仪器为 Hitachi L-8800 氨基酸自动分析仪。

1.6 数据分析

用 SPSS 22.0 软件处理实验数据并统计分析, 所有实验数据采用平均值±标准差表示。采用 Levene 法进行方差齐性检验, 当不满足方差齐性时对百分比数据进行反正弦或平方根处理, 然后进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 当数据转换后不满足方差齐性时, 采用 Games-Howell 非参数检验法进行多重比较, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 总可食率及肥满度比较

雌雄中华绒螯蟹 LC 组的 HSI 显著高于 CTF 组 ($P<0.05$); 雌蟹中, CF 组和 CTF 组的 HSI 无显著差异 ($P>0.05$); 雄蟹 CF 组的 HSI 显著高于 CTF 组 ($P<0.05$)。雌雄中华绒螯蟹 CTF 组 GSI 显著高于 CF 组和 LC 组 ($P<0.05$), LC 组中华绒螯蟹 GSI 最低。雄性 CF 组和 CTF 组的肥满度显著高于 LC 组中华绒螯蟹 ($P<0.05$), 雌蟹各组间无显著差异 ($P>0.05$)。MY 和 TEY 各组之间无显著差异 ($P>0.05$) (表 2)。

表 2 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹可食组织比例和肥满度比较

Tab. 2 Comparison of the proportion of edible tissues and the plumpness of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* μm

项目 item	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
肝胰腺指数/% HSI	7.00±0.99 ^{ab}	5.98±0.92 ^a	7.63±0.33 ^b	7.71±0.50 ^b	6.72±0.43 ^a	7.47±0.15 ^b
性腺指数/% GSI	11.36±0.83 ^a	12.69±0.61 ^b	10.96±0.35 ^a	2.91±0.24 ^a	3.13±0.32 ^b	2.43±0.40 ^a
出肉率/% MY	28.86±1.32	28.60±1.31	30.08±2.24	31.66±1.31	32.77±1.41	34.75±2.06
总可食率/% TEY	47.22±1.35	47.26±0.67	48.67±1.94	42.28±1.65	42.61±1.68	44.64±1.75
肥满度/(g/cm ³) CF	0.55±0.01	0.54±0.02	0.55±0.02	0.72±0.04 ^b	0.69±0.01 ^b	0.64±0.02 ^a

2.2 常规营养成分比较

雌性中华绒螯蟹 LC 组肌肉中的粗蛋白含量显著高于 CF 组和 CTF 组 ($P<0.05$), 其余常规营养物质无显著差异 ($P>0.05$)。雄性中华绒螯蟹 LC 组与 CF 组和 CTF 组各营养成分之间无显著差异 ($P>0.05$)。肝胰腺中, 雌性中华绒螯蟹 CTF 组水分和粗蛋白含量显著高于 CF 组和 LC 组 ($P<0.05$), 雄性中华绒螯蟹 CTF 组水分和粗蛋白含量显著高于 LC 组, 而与 CF 组无显著差异 ($P>0.05$); 雄性 CTF 组总脂含量显著低于 CF 组和 LC 组 ($P<0.05$); 灰分含量各组间无显著差异 ($P>0.05$)。性腺中, 雄性中华绒螯

蟹 LC 组水分和总脂含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), 与 CF 组含量无显著差异 ($P>0.05$), CTF 组粗蛋白含量显著高于 CF 组和 LC 组 ($P<0.05$); 雌性中华绒螯蟹各营养物质含量之间无显著差异 ($P>0.05$) (表 3)。

2.3 脂肪酸组成比较

中华绒螯蟹 LC 组和 CTF 组的 C14:0 含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), CF 组和 CTF 组 C18:0、C20:0 含量显著高于 LC 组 ($P<0.05$)。整体来看, 不论育肥中华绒螯蟹还是湖泊养殖中华绒螯蟹, 总饱和脂肪酸 (Σ SFA) 含量占比约为 20%, 主

表 3 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹可食组织常规营养成分比较 (湿重)

Tab. 3 Comparison of the regular nutrient composition of edible tissues of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* (wet weight) %

项目 item	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
肌肉 muscle						
水分 moisture	79.17±0.54	78.09±0.94	78.05±0.59	79.68±0.67	78.38±0.27	79.60±1.30
粗蛋白 crude protein	17.26±0.56 ^a	17.25±0.45 ^a	18.86±0.8 ^b	17.21±0.64	17.81±0.77	18.15±0.46
总脂 total lipid	1.28±0.09	1.27±0.06	1.34±0.14	1.26±0.03	1.18±0.08	1.24±0.07
灰分 ash	1.59±0.02	1.5±0.24	1.56±0.06	1.55±0.07	1.56±0.22	1.58±0.13
肝胰腺 hepatopancreas						
水分 moisture	44.89±2.78 ^a	50.95±4.16 ^b	42.92±4.43 ^a	49.86±2.84 ^{ab}	53.05±3.38 ^b	46.93±1.64 ^a
粗蛋白 crude protein	7.29±0.34 ^a	8.38±0.41 ^b	6.62±0.58 ^a	6.78±0.55 ^{ab}	7.64±0.53 ^b	6.31±1.02 ^a
总脂 total lipid	45.48±0.52 ^b	40.4±1.45 ^a	46.05±5.34 ^b	40.49±0.68 ^b	37.09±1.71 ^a	41.73±1.23 ^b
灰分 ash	0.86±0.04	0.90±0.11	0.92±0.15	0.89±0.09	0.95±0.17	0.94±0.11
性腺 gonad						
水分 moisture	50.05±1.01	50.71±0.14	50.05±0.73	71.1±0.26 ^{ab}	70.61±0.97 ^a	72.46±1.51 ^b
粗蛋白 crude protein	31.05±0.48	31.65±0.53	31.46±0.64	18.32±0.68 ^a	19.89±0.58 ^b	17.47±0.92 ^a
总脂 total lipid	16.92±0.60	16.84±0.09	16.78±0.36	0.83±0.08 ^{ab}	0.73±0.03 ^a	1.01±0.16 ^b
灰分 ash	2.11±0.22	2.09±0.06	2.13±0.10	2.16±0.09	2.17±0.10	2.12±0.06

要成分为 C16:0、C18:0。LC 组 C16:1n7 和 C17:1n7 含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), CTF 组与 LC 组的 C17:1n7 含量无显著差异 ($P>0.05$), CTF 组雄蟹 C20:1n9 含量显著高于其他两组, 总单不饱和脂肪酸 (Σ MUFA) 含量不存在显著差异 ($P>0.05$), 占比约 25%, 主要成分为 C18:1n9、C18:1n7 和 C16:1n7。CF 组中华绒螯蟹 C18:2n6 (LA)、 Σ n-6PUFA 和总多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 含量显著高于 CTF 组和 LC 组, 而 n-3/n-6PUFA

含量显著低于 CTF 组和 LC 组 ($P<0.05$)。LC 组和 CF 组 C18:3n3 (LNA) 含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), LC 组 C22:5n6 和 C22:5n3 含量显著高于育肥中华绒螯蟹 ($P<0.05$) (表 4)。

中华绒螯蟹 LC 组 C14:0、C15:0 和 Σ SFA 含量显著高于 CF 和 CTF 组 ($P<0.05$), 而 CTF 组 C18:0 含量显著高于 LC 组和 CF 组 ($P<0.05$), Σ SFA 含量在肝胰腺中约占 20%, 其主要的成分为 C16:0、C18:0 (表 5)。CF 组 C14:1n5 含量显著低于 CTF 组和 LC 组 ($P<0.05$), LC 组

表 4 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉中脂肪酸组成比较

Tab. 4 Comparison of fatty acids composition in the muscle of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
C14:0	0.24±0.02 ^a	0.37±0.03 ^b	0.36±0.06 ^b	0.19±0.05 ^a	0.26±0.04 ^b	0.30±0.08 ^b
C15:0	0.26±0.03	0.27±0.05	0.32±0.03	0.25±0.01	0.27±0.03	0.27±0.03
C16:0	10.95±0.39	10.22±1.10	10.73±0.44	10.41±0.26	9.99±0.86	11.08±0.70
C17:0	0.61±0.08	0.76±0.10	0.69±0.05	0.63±0.04 ^a	0.80±0.08 ^b	0.78±0.08 ^b
C18:0	6.53±0.32 ^b	6.65±0.55 ^b	5.86±0.26 ^a	7.45±0.79 ^b	6.90±0.33 ^b	6.32±0.26 ^a
C20:0	0.96±0.10 ^b	1.03±0.07 ^b	0.67±0.14 ^a	0.99±0.04 ^b	0.84±0.06 ^a	0.77±0.07 ^a
C22:0	0.78±0.09 ^b	0.56±0.04 ^a	0.65±0.03 ^a	0.69±0.09 ^a	0.66±0.09 ^a	0.83±0.04 ^b
Σ SFA	20.33±0.27	19.85±1.34	19.29±0.67	20.61±0.92	19.72±1.01	20.35±0.72
C16:1n7	3.16±0.51 ^a	3.42±0.07 ^a	4.94±0.93 ^b	2.57±0.32 ^a	3.11±0.56 ^{ab}	3.71±0.49 ^b
C17:1n7	0.47±0.10 ^a	0.68±0.08 ^b	0.70±0.06 ^b	0.36±0.05 ^a	0.65±0.15 ^b	0.71±0.05 ^b
C18:1n9	17.03±0.80	17.08±0.66	16.47±0.33	16.78±1.15	15.93±0.44	15.67±1.02
C18:1n7	3.34±0.14	3.76±0.52	3.64±0.20	3.31±0.25	3.45±0.16	3.68±0.29
C20:1n9	1.77±0.10	1.82±0.14	1.86±0.08	1.26±0.08 ^a	1.71±0.15 ^b	1.38±0.14 ^a
Σ MUFA	25.76±1.28	26.75±0.95	27.62±0.75	24.28±1.51	24.84±0.83	25.14±1.2
C18:2n6 (LA)	7.92±0.31 ^c	4.31±0.51 ^b	3.66±0.24 ^a	9.14±0.61 ^b	4.32±0.65 ^a	4.53±0.41 ^a
C18:3n3 (LNA)	1.65±0.30 ^b	1.13±0.08 ^a	2.38±0.19 ^c	1.74±0.07 ^b	1.16±0.18 ^a	2.75±0.43 ^c
C20:2n6	2.23±0.21 ^b	2.15±0.49 ^b	1.45±0.26 ^a	2.40±0.11	2.26±0.20	2.23±0.27
C20:4n6 (ARA)	6.23±0.39	6.52±0.52	6.76±0.62	6.83±0.27	6.97±0.18	7.19±0.54
C20:5n3 (EPA)	14.89±0.73	15.65±0.52	14.55±0.60	14.4±0.43	15.63±0.97	15.18±0.39
C22:5n6	0.62±0.06 ^a	0.53±0.12 ^a	1.22±0.32 ^b	0.51±0.06 ^a	0.50±0.04 ^a	0.62±0.06 ^b
C22:5n3	0.85±0.10 ^a	0.79±0.10 ^a	1.31±0.05 ^b	0.73±0.02 ^a	0.80±0.04 ^a	1.10±0.14 ^b
C22:6n3 (DHA)	13.45±0.69	13.38±1.02	12.30±1.18	13.41±1.03	12.95±0.48	12.13±0.34
Σ PUFA	47.82±0.32 ^b	44.45±1.45 ^a	43.64±1.01 ^a	49.15±0.57 ^b	44.59±1.63 ^a	45.72±1.06 ^a
Σ n-3PUFA	30.84±0.83	30.94±0.68	30.54±1.37	30.28±0.57	30.54±1.25	31.16±0.84
Σ n-6PUFA	16.99±0.72 ^b	13.5±0.96 ^a	13.1±0.85 ^a	18.87±0.48 ^b	14.05±0.72 ^a	14.56±0.48 ^a
n-3/n-6PUFA	1.82±0.12 ^a	2.30±0.15 ^b	2.34±0.25 ^b	1.61±0.06 ^a	2.18±0.12 ^b	2.14±0.08 ^b
Σ HUFA	36.03±0.82	36.87±1.07	36.14±1.25	35.88±0.36	36.85±1.28	36.21±0.93
DHA/EPA	0.91±0.08	0.86±0.09	0.85±0.07	0.93±0.08 ^b	0.83±0.05 ^{ab}	0.80±0.04 ^a

注: LA. 亚油酸, LNA. 亚麻酸, ARA. 花生四烯酸, EPA. 二十碳五烯酸, DHA. 二十二碳六烯酸; 下同。

Notes: LA. linoleic acid, LNA. linolenic acid, ARA. arachidonic acid, EPA. eicosapentaenoic acid, DHA. docosahexaenoic acid; the same below.

C16:1n7、C17:1n7 含量显著高于育肥中华绒螯蟹 ($P<0.05$), CTF 组雄蟹 C18:1n7 和雌蟹 C20:1n9 含量分别显著高于 CF 组和 LC 组 ($P<0.05$), CF 组雌蟹和 LC 组雌蟹 Σ MUFA 含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), 而雄蟹 Σ MUFA 含量各组间无显著差异。总单不饱和脂肪酸 (Σ MUFA) 含量占比约 40%, 其中主要成分为

C18:1n9、C16:1n7、C18:1n7 和 C20:1n9。CF 组和 CTF 组 C18:2n6 (LA) 含量显著高于 LC 组 ($P<0.05$), CTF 组雌蟹 C18:2n6 约占 CF 组的 60%, 雄蟹约占 55%。CF 组和 LC 组 C18:3n3 (LNA) 含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), 而 CTF 组雌蟹 C20:5n3 (EPA) 和 CTF 组雄蟹 C20:4n6 含量显著高于其他两组 ($P<0.05$), CF 组和 CTF

表 5 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹肝胰腺中脂肪酸组成比较

Tab. 5 Comparison of fatty acids composition in hepatopancreas of two fattened and lake-cultured *E. sinensis*

脂肪酸 fatty acids	雌性 female			雄性 male			%
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC	
C14:0	1.13±0.05 ^a	1.60±0.16 ^b	1.75±0.11 ^b	0.92±0.09 ^a	1.50±0.09 ^b	2.08±0.06 ^c	
C15:0	0.66±0.04 ^a	0.62±0.03 ^a	0.80±0.08 ^b	0.59±0.04 ^a	0.65±0.06 ^a	0.82±0.10 ^b	
C16:0	16.92±0.59 ^b	15.50±0.35 ^a	17.54±0.26 ^b	15.89±0.68	15.52±0.41	16.3±0.24	
C17:0	0.83±0.06 ^a	0.85±0.09 ^a	1.12±0.06 ^b	0.74±0.06 ^a	0.85±0.10 ^a	1.23±0.11 ^b	
C18:0	2.52±0.20 ^a	3.10±0.25 ^b	2.61±0.20 ^a	2.27±0.12 ^a	3.17±0.22 ^b	2.22±0.14 ^a	
C20:0	0.22±0.02	0.21±0.01	0.20±0.01	0.21±0.02	0.20±0.02	0.20±0.01	
Σ SFA	22.28±0.67 ^a	21.89±0.75 ^a	24.02±0.41 ^b	20.63±0.69 ^a	21.87±0.58 ^b	23.27±0.56 ^c	
C14:1n5	0.24±0.02 ^a	0.37±0.01 ^b	0.45±0.03 ^c	0.19±0.01 ^a	0.33±0.02 ^b	0.38±0.06 ^b	
C16:1n7	9.29±0.29 ^a	9.60±0.48 ^a	15.26±1.13 ^b	8.48±0.42 ^a	9.47±0.41 ^a	12.59±0.93 ^b	
C17:1n7	0.73±0.04 ^a	0.78±0.05 ^a	0.98±0.10 ^b	0.69±0.08 ^a	0.81±0.09 ^a	1.32±0.06 ^b	
C18:1n9	27.80±0.84 ^c	22.67±0.57 ^a	25.49±0.23 ^b	27.83±0.57 ^b	22.10±1.03 ^a	22.58±0.78 ^a	
C18:1n7	3.59±0.38	3.48±0.38	3.88±0.23	2.46±0.22 ^a	3.08±0.12 ^b	3.24±0.23 ^b	
C20:1n9	2.33±0.27 ^a	3.43±0.51 ^b	2.50±0.20 ^a	2.01±0.24 ^a	3.71±0.46 ^b	1.67±0.20 ^a	
C22:1n9	0.67±0.11 ^b	0.65±0.07 ^b	0.34±0.04 ^a	0.62±0.01	0.66±0.10	0.53±0.10	
Σ MUFA	44.65±1.26 ^b	40.99±0.75 ^a	48.90±0.43 ^c	42.26±0.82	40.45±0.85	42.32±1.16	
C18:2n6 (LA)	14.43±0.66 ^c	9.06±0.64 ^b	6.08±0.52 ^a	18.05±0.70 ^c	9.86±0.55 ^b	6.37±0.63 ^a	
C18:3n3 (LNA)	2.64±0.25 ^b	1.60±0.20 ^a	3.92±0.23 ^c	2.77±0.25 ^b	1.82±0.31 ^a	5.36±0.92 ^c	
C18:4n3	0.29±0.05 ^a	0.25±0.04 ^a	0.67±0.06 ^b	0.22±0.02 ^a	0.27±0.03 ^a	0.80±0.07 ^b	
C20:2n6	1.49±0.16	1.28±0.13	1.48±0.11	1.43±0.20	1.16±0.11	1.22±0.08	
C20:4n6 (ARA)	2.14±0.11	2.73±0.47	2.19±0.01	2.04±0.27 ^a	2.86±0.22 ^b	2.40±0.25 ^a	
C20:4n3	0.45±0.04 ^a	0.50±0.04 ^a	1.05±0.06 ^b	0.45±0.03 ^a	0.55±0.02 ^a	1.08±0.05 ^b	
C20:5n3 (EPA)	2.51±0.29 ^a	3.25±0.31 ^b	2.44±0.38 ^a	2.16±0.11 ^a	3.34±0.28 ^b	3.19±0.80 ^b	
C22:5n6	0.48±0.07 ^a	0.66±0.02 ^b	0.82±0.06 ^c	0.41±0.05 ^a	0.78±0.06 ^b	0.84±0.10 ^b	
C22:5n3	0.88±0.12 ^a	1.23±0.07 ^b	1.15±0.01 ^b	0.76±0.10 ^a	1.16±0.10 ^b	1.29±0.05 ^b	
C22:6n3 (DHA)	4.45±0.26 ^b	7.88±0.51 ^c	2.84±0.16 ^a	4.37±0.43 ^b	8.31±0.86 ^c	3.86±0.28 ^a	
Σ PUFA	29.76±1.13 ^b	28.44±0.37 ^b	22.65±0.57 ^a	32.68±0.51 ^c	30.13±10 ^b	26.41±1.69 ^a	
Σ n-3PUFA	11.23±0.35 ^a	14.72±0.16 ^c	12.07±0.35 ^b	10.74±0.35 ^a	15.45±0.65 ^b	15.58±1.94 ^b	
Σ n-6PUFA	18.53±0.80 ^c	13.73±0.47 ^b	10.58±0.41 ^a	21.94±0.58 ^c	14.66±0.72 ^b	10.83±0.32 ^a	
n-3/n-6PUFA	0.61±0.01 ^a	1.07±0.05 ^b	1.14±0.06 ^b	0.49±0.02 ^a	1.06±0.07 ^b	1.44±0.21 ^c	
Σ HUFA	10.91±0.42 ^a	16.26±0.59 ^b	10.5±0.13 ^a	10.19±0.57 ^a	17.00±0.46 ^c	12.65±1.32 ^b	
DHA/EPA	1.80±0.26 ^b	2.45±0.35 ^c	1.18±0.20 ^a	2.02±0.23 ^b	2.52±0.43 ^c	1.26±0.29 ^a	

组 C22:6n3 (DHA) 和 Σ PUFA 含量显著高于 LC 组 ($P<0.05$), CF 组 DHA 含量约占 CTF 组的 50%。CTF 组和 LC 组 Σ n-3PUFA 和 n-3/n-6PUFA 含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), 而 CF 组和 CTF 组 Σ n-6PUFA 和 DHA/EPA 含量显著高于 LC 组 ($P<0.05$) (表 5)。

中华绒螯蟹卵巢 CTF 组和 LC 组 C14:0 含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), LC 组 C18:0 含量显著低于 CF 组和 CTF 组 ($P<0.05$)。雄性精巢 LC 组 C14:0、C17:0 含量显著高于 CTF 组和

CF 组 ($P<0.05$), CF 组和 LC 组 C16:0、 Σ SFA 含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), 整体而言性腺饱和脂肪酸主要成分为 C16:0 和 C18:0 (表 6)。雌性中华绒螯蟹 LC 组的 C16:1n7 和 Σ MUFA 含量显著高于其他两组 ($P<0.05$), CF 组和 LC 组 C18:1n9 含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), 卵巢中 Σ MUFA 约占 40%, 其主要成分为 C18:1n9、C16:1n7 和 C18:1n7。雄性中华绒螯蟹 LC 组和 CF 组 C16:1n7、C18:1n9 含量分别显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), LC 组 Σ MUFA 含量显著高于

表 6 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹性腺中脂肪酸组成比较

Tab. 6 Comparison of fatty acids composition in the gonads of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
C14:0	0.65±0.05 ^a	0.91±0.03 ^b	0.82±0.10 ^b	0.30±0.03 ^a	0.28±0.02 ^a	0.55±0.05 ^b
C15:0	0.44±0.03	0.47±0.01	0.50±0.11	0.27±0.02 ^{ab}	0.24±0.03 ^a	0.31±0.04 ^b
C16:0	12.39±0.46	11.94±0.2	11.92±0.29	10.12±0.81 ^b	7.58±0.35 ^a	9.48±0.43 ^b
C17:0	0.50±0.04 ^a	0.72±0.03 ^b	0.58±0.08 ^a	0.59±0.04 ^a	0.60±0.09 ^a	0.79±0.03 ^b
C18:0	3.74±0.12 ^b	3.51±0.22 ^b	3.21±0.17 ^a	6.40±0.21	6.07±0.45	6.68±0.08
C20:0	1.00±0.10	1.00±0.02	1.01±0.06	1.04±0.05	0.92±0.08	0.92±0.07
Σ SFA	18.72±0.59	18.55±0.42	18.04±0.56	18.72±0.72 ^b	15.69±0.55 ^a	18.74±0.2 ^b
C16:1n7	10.20±0.20 ^a	10.12±0.57 ^a	14.81±0.64 ^b	3.13±0.22 ^b	2.38±0.12 ^a	3.91±0.49 ^c
C17:1n7	0.82±0.03	0.95±0.05	0.91±0.11	0.32±0.02 ^a	0.34±0.01 ^a	0.44±0.03 ^b
C18:1n9	22.26±0.30 ^c	20.53±0.55 ^a	21.33±0.21 ^b	16.15±0.31 ^b	14.27±0.84 ^a	15.23±0.17 ^b
C18:1n7	4.19±0.16	4.41±0.19	4.29±0.42	3.55±0.48	3.85±0.43	4.30±0.31
C20:1n9	1.61±0.38	1.84±0.28	1.44±0.44	1.92±0.24 ^a	1.74±0.07 ^a	2.48±0.42 ^b
C22:1n9	—	—	—	1.77±0.22 ^a	2.46±0.35 ^b	1.37±0.21 ^a
Σ MUFA	39.08±0.52 ^a	37.84±0.92 ^a	42.79±1.04 ^b	26.83±0.83 ^{ab}	25.04±1.59 ^a	27.73±0.61 ^b
C18:2n6 (LA)	9.78±0.36 ^c	3.96±0.27 ^a	4.80±0.36 ^b	8.65±0.28 ^b	3.27±0.64 ^a	3.36±0.43 ^a
C18:3n3 (LNA)	2.56±0.28 ^a	2.27±0.12 ^a	4.27±0.36 ^b	1.35±0.05 ^b	0.81±0.13 ^a	2.41±0.30 ^c
C20:2n6	1.06±0.06	1.02±0.09	1.07±0.03	2.60±0.45	2.98±0.59	2.32±0.27
C20:4n6 (ARA)	4.26±0.34	4.49±0.20	4.16±0.54	13.73±0.35 ^a	16.51±0.25 ^b	13.82±0.99 ^a
C20:5n3 (EPA)	7.02±0.23 ^a	8.67±0.37 ^c	7.70±0.42 ^b	11.47±0.41 ^{ab}	10.74±0.90 ^a	12.30±0.35 ^b
C22:5n6	0.43±0.04 ^a	0.57±0.04 ^b	0.90±0.07 ^c	0.73±0.11 ^a	0.92±0.02 ^b	1.11±0.04 ^c
C22:5n3	1.01±0.04 ^a	1.36±0.07 ^b	1.70±0.04 ^c	0.62±0.04 ^a	0.83±0.11 ^b	1.18±0.04 ^c
C22:6n3 (DHA)	9.11±0.74 ^b	11.18±0.72 ^c	6.45±0.79 ^a	6.63±0.55 ^b	7.76±0.80 ^b	5.87±0.38 ^a
Σ PUFA	35.23±0.91 ^c	33.52±0.92 ^b	31.04±1.06 ^a	45.77±1.20 ^b	43.83±1.58 ^{ab}	42.38±0.92 ^a
Σ n-3PUFA	19.7±0.85 ^a	23.48±0.59 ^b	20.12±0.75 ^a	20.06±0.66	20.14±1.21	21.75±0.71
Σ n-6PUFA	15.53±0.57 ^c	10.04±0.38 ^a	10.92±0.37 ^b	25.72±0.74 ^c	23.69±0.46 ^b	20.63±1.14 ^a
n-3/n-6PUFA	1.27±0.08 ^a	2.34±0.06 ^c	1.84±0.05 ^b	0.78±0.02 ^a	0.85±0.04 ^a	1.06±0.08 ^b
Σ HUFA	21.83±0.84 ^a	26.27±0.76 ^b	20.91±1.29 ^a	33.17±0.94 ^a	36.76±1.20 ^b	34.28±0.92 ^a
DHA/EPA	1.30±0.09 ^b	1.29±0.13 ^b	0.84±0.12 ^a	0.58±0.05 ^a	0.73±0.08 ^b	0.48±0.03 ^a

注: “—”表示数值未检出, 下同。

Notes: “—” indicates that the value is not detected, the same below.

CTF组, 而与CF组无显著差异 ($P>0.05$)。雄蟹精巢中 Σ MUFA含量约占25%, 其主要组成为C18:1n9、C16:1n7、C18:1n7。雌蟹卵巢多不饱和脂肪酸CF组C18:2n6和 Σ PUFA含量显著高于CTF组和LC组 ($P<0.05$), LC组C18:3n3、C22:5n6和C22:5n3含量显著高于育肥中华绒螯蟹, CTF组C20:5n3 (EPA)和C22:6n3 (DHA)含量显著高于CF组和LC组 ($P<0.05$)。雄性精巢CF组C18:2n6和 Σ PUFA含量显著高于LC组 ($P<0.05$), C18:3n3含量LC组显著高于育肥中华绒螯蟹组 ($P<0.05$), CTF组ARA和DHA含量显著高于LC组, LC组EPA含量显著高于CTF组 ($P<0.05$)。CTF组卵巢中 Σ n-3PUFA、 Σ n-3PUFA/n-6PUFA以及 Σ HUFA含量显著高于其他两组 ($P<0.05$), 精巢中CTF组 Σ PUFA和DHA/

EPA含量显著高于CF组和LC组 ($P<0.05$), 不论卵巢还是精巢中, CF组 Σ n-6PUFA含量显著高于CTF组和LC组 ($P<0.05$) (表6)。

2.4 游离氨基酸比较

2种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉中游离氨基酸组成及其含量如表7所示, 共检测出18种氨基酸, CF和CTF组未检测出半胱氨酸。就雌性而言, LC组牛磺酸、谷氨酸含量显著高于2种育肥蟹组 ($P<0.05$), 天冬氨酸含量显著高于CF组 ($P<0.05$), 而CTF组差异不显著 ($P>0.05$)。CF组和LC组甘氨酸和总氨基酸含量显著高于CTF组 ($P<0.05$)。CF组丝氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸含量显著高于CTF组和LC组 ($P<0.05$), CF组

表7 2种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉中游离氨基酸组成及其含量

Tab. 7 Composition and content of free amino acids in the muscle of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* %

游离氨基酸 free amino acids	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
牛磺酸 Thu	167.96±7.47 ^a	174.57±8.64 ^a	207.72±2.11 ^b	179.63±7.87 ^a	206.83±0.59 ^b	223.96±3.53 ^c
天冬氨酸 Asp	2.30±0.33 ^a	2.64±0.09 ^{ab}	2.89±0.11 ^b	1.65±0.01 ^b	1.58±0.05 ^a	2.03±0.02 ^c
苏氨酸 Thr	76.65±2.56 ^a	105.84±2.11 ^b	104.94±4.30 ^b	112.18±7.58	98.32±5.05	95.31±7.44
丝氨酸 Ser	27.21±0.38 ^c	22.75±1.02 ^b	14.48±1.07 ^a	27.10±0.72 ^b	29.53±1.28 ^c	23.26±0.58 ^a
谷氨酸 Glu	29.21±1.15 ^a	42.78±1.71 ^b	53.01±1.01 ^c	39.94±1.71 ^a	46.40±0.06 ^b	50.57±1.87 ^c
甘氨酸 Gly	510.17±11.25 ^b	420.28±8.94 ^a	484.52±24.23 ^b	592.98±13.33 ^b	535.62±13.57 ^a	587.35±13.22 ^b
丙氨酸 Ala	521.91±25.33	529.61±6.30	522.94±16.37	508.14±17.47 ^a	571.48±4.99 ^b	568.66±10.89 ^b
半胱氨酸 Cys	—	—	5.20±0.21	—	—	6.02±0.63
缬氨酸 Val	29.94±0.88	27.12±1.69	28.64±1.22	25.48±0.44	26.54±1.23	27.72±1.13
蛋氨酸 Met	30.74±1.02 ^b	22.03±0.73 ^a	23.32±1.23 ^a	16.73±0.48 ^a	21.70±1.82 ^b	21.50±1.93 ^b
异亮氨酸 Ile	18.26±1.03 ^b	12.40±0.26 ^a	11.79±1.07 ^a	11.86±0.46	11.44±0.39	11.57±0.38
亮氨酸 Leu	31.75±1.12 ^b	28.84±1.79 ^b	23.13±1.44 ^a	25.59±0.5 ^b	27.52±0.37 ^c	22.88±0.26 ^a
酪氨酸 Tyr	20.28±1.93 ^b	182.62±1.27 ^{ab}	15.97±0.17 ^a	15.93±0.75 ^b	17.12±0.69 ^b	14.41±0.31 ^a
苯丙氨酸 Phe	46.87±1.29 ^b	41.66±1.96 ^a	43.61±0.86 ^a	37.44±0.32 ^a	45.16±0.60 ^c	43.73±0.21 ^b
赖氨酸 Lys	53.07±0.20 ^c	42.69±3.09 ^b	30.27±1.39 ^a	39.35±0.12 ^b	40.11±1.17 ^b	28.66±0.37 ^a
组氨酸 His	22.31±1.89	22.18±2.53	22.06±1.60	19.57±0.51	20.67±1.01	21.05±0.08
精氨酸 Arg	439.72±12.9	421.55±16.61	414.84±13.82	475.7±19.26	513.57±31.54	505.05±4.34
脯氨酸 Pro	378.39±23.73	376.37±6.51	373.73±10.29	336±34.37 ^a	337.38±50.53 ^a	464.08±0.84 ^b
总氨基酸 TAA	2406.76±48.83 ^b	2311.93±11.82 ^a	2383.07±13.55 ^b	2465.29±57.42 ^a	2550.98±59.10 ^a	2717.81±13.39 ^b
必需氨基酸百分比 PETFAA	11.94±0.19 ^b	12.14±0.46 ^b	11.15±0.21 ^a	10.90±0.50 ^b	10.62±0.36 ^b	9.25±0.38 ^a

和 CTF 组亮氨酸含量和必需氨基酸比例显著高于 LC 组 ($P<0.05$)。就雄蟹肌肉而言, LC 组牛磺酸、天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和总氨基酸含量显著高于 2 种育肥蟹组 ($P<0.05$), LC 组和 CTF 组丙氨酸、蛋氨酸和苯丙氨酸含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$)。CF 组和 LC 组甘氨酸含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), CF 和 CTF 组丝氨酸、亮氨酸、酪氨酸、赖氨酸和必需氨基酸比例显著高于 LC 组 ($P<0.05$)。

2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸组成及含量如表 8 所示。就雌蟹卵巢而言, LC 组牛磺酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸和总氨基酸含量显著高于 2 种育肥蟹组 ($P<0.05$), LC 组和 CTF 组天冬氨酸、蛋氨酸、

异亮氨酸和苯丙氨酸含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), LC 组和 CF 组苏氨酸和脯氨酸含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), CF 和 CTF 组酪氨酸含量和必需氨基酸比例显著高于 LC 组 ($P<0.05$)。就雄蟹精巢而言, LC 组天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、脯氨酸和总氨基酸含量显著高于 2 种育肥蟹组 ($P<0.05$), LC 组和 CTF 组组氨酸含量显著高于 CF 组 ($P<0.05$), CF 组谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸含量显著高于 CTF 组 ($P<0.05$), CTF 组酪氨酸、赖氨酸含量和必需氨基酸百分比显著高于 LC 组 ($P<0.05$)。

就雌蟹而言, 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹 TAV 值都大于 1 的甘氨酸、丙

表 8 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸组成及其含量

Tab. 8 Composition and content of free amino acids in the gonads of two fattened and lake-cultured *E. sinensis* %

游离氨基酸 free amino acids	雌性 female			雄性 male		
	CF	CTF	LC	CF	CTF	LC
牛磺酸 Tau	252.40±10.39 ^a	248.79±24.62 ^a	437.82±6.88 ^b	133.03±9.12	134.42±1.27	124.92±3.38
天冬氨酸 Asp	1.57±0.18 ^a	2.16±0.36 ^b	2.32±0.03 ^b	3.83±0.43 ^a	5.91±0.08 ^a	23.46±2.00 ^b
苏氨酸 Thr	8.00±0.56 ^b	6.95±0.37 ^a	16.69±0.06 ^c	3.53±0.05 ^a	3.78±0.72 ^a	11.51±0.38 ^b
丝氨酸 Ser	6.02±0.48 ^a	5.51±0.40 ^a	12.56±0.78 ^b	3.73±0.31 ^a	4.57±0.05 ^a	7.76±1.40 ^b
谷氨酸 Glu	32.74±0.68 ^a	34.27±4.44 ^a	47.42±1.08 ^b	22.60±2.1 ^b	15.37±1.86 ^a	77.31±3.16 ^c
甘氨酸 Gly	30.56±0.88 ^a	25.67±2.29 ^a	39.44±3.73 ^b	32.27±0.77 ^b	23.04±0.85 ^a	58.21±0.61 ^c
丙氨酸 Ala	63.45±3.11 ^a	53.01±4.02 ^a	92.50±3.12 ^b	73.95±6.71 ^b	62.73±3.24 ^a	136.42±0.84 ^c
半胱氨酸 Cys	1.54±0.32 ^a	1.80±0.20 ^{ab}	2.30±0.25 ^b	2.30±0.29 ^a	2.04±0.13 ^a	4.56±0.43 ^b
缬氨酸 Val	8.67±0.65 ^a	9.60±0.02 ^{ab}	10.09±0.56 ^b	4.61±0.48 ^a	5.82±0.40 ^a	10.30±0.86 ^b
蛋氨酸 Met	6.91±0.06 ^a	10.73±0.20 ^b	10.60±0.10 ^b	4.05±0.08 ^a	4.61±0.04 ^a	15.38±1.34 ^b
异亮氨酸 Ile	4.68±0.28 ^a	6.84±0.46 ^b	6.98±0.81 ^b	6.40±0.11	6.58±0.38	6.12±0.85
亮氨酸 Leu	6.41±0.50	7.88±0.68	7.96±1.04	5.68±1.31 ^a	6.98±1.07 ^{ab}	8.67±1.14 ^b
酪氨酸 Tyr	7.65±0.54 ^b	11.03±0.59 ^c	5.00±0.75 ^a	8.70±0.71 ^{ab}	9.78±0.72 ^b	8.14±0.43 ^a
苯丙氨酸 Phe	6.33±0.02 ^a	8.99±0.16 ^b	12.92±0.15 ^c	4.98±0.69 ^a	4.49±0.50 ^a	6.52±0.59 ^b
赖氨酸 Lys	42.01±1.28	43.33±3.94	46.97±4.88	12.09±1.02 ^{ab}	12.54±0.31 ^b	10.72±0.58 ^a
组氨酸 His	13.93±0.66 ^a	15.84±1.38 ^a	34.89±3.32 ^b	3.76±0.73 ^a	8.34±1.09 ^b	8.63±0.24 ^b
精氨酸 Ary	153.78±5.60 ^a	170.78±4.29 ^a	264.88±15.39 ^b	35.75±3.80 ^a	34.59±0.26 ^a	66.28±1.47 ^b
脯氨酸 Pro	131.66±12.65 ^b	88.92±7.58 ^a	209.56±14.57 ^c	61.83±6.06 ^b	32.59±2.11 ^a	153.36±13.97 ^c
总氨基酸 TAA	818.35±75.93 ^a	752.09±37.34 ^a	1260.89±28.79 ^b	423.09±26.02 ^a	378.18±4.65 ^a	738.26±23.78 ^b
必需氨基酸百分比 PETFAA	10.19±0.83 ^b	12.55±0.47 ^c	8.90±0.26 ^a	9.79±0.49 ^a	11.85±0.21 ^b	9.37±0.58 ^a

氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸 5 种氨基酸分别呈现甜味、甜味、苦味、苦味和甜味。CTF 组和 LC 组中华绒螯蟹呈现甜味的谷氨酸 TAV 值大于 1, CF 组 TAV 值未达到 1, 而 CF 组中华绒螯蟹呈现苦味的赖氨酸 TAV 值大于 1, CTF 组和 LC 组未达到 1。就雄蟹而言, TAV 值都大于 1 的有 5 种氨基酸: 谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸, LC 组中华绒螯蟹和 CTF 组中华绒螯蟹呈苦味的组氨酸 TAV 值大于 1, 而 CF 中华绒螯蟹没有达到 1 (表 9)。2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸的呈味强度值 (TAV) 和阈值比较如表 10 所示。就雌性卵巢而言, 3 种中华绒螯蟹 TAV 值差异很大, LC 中华绒螯蟹呈现鲜味的谷氨酸和甜味的丙氨酸高于 2 种育肥中华绒螯蟹, 而呈现苦味的组氨酸和精氨酸高于 2 种

育肥蟹一倍。就雄性精巢而言, LC 河蟹谷氨酸、丙氨酸和精氨酸 TAV 值远高于 2 种育肥中华绒螯蟹。

3 讨论

3.1 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹可食组织和常规营养物质比较

肝胰腺 (蟹黄)、性腺 (蟹膏) 和肌肉是中华绒螯蟹的可食组织, 各可食组织重量与它们体重的比值是衡量其经济价值和食用价值的主要指标^[22, 24]。本研究发现, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹 HSI 显著低于配合饲料育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹, 而 GSI 显著高于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 湖泊养殖中华绒螯蟹的 MY 和 TEY 略高于 2 种育肥中华绒螯蟹。

表 9 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉中游离氨基酸的呈味强度值 (TAV) 和阈值比较

Tab. 9 Comparison of the flavor intensity (TAV) and threshold values of free amino acids in the muscles of two fattened and lake cultured *E. sinensis*

游离氨基酸 free amino acids	呈味情况 flavor characteristic	雌性 female			雄性 male			阈值 threshold
		CF	CTF	LC	CF	CTF	LC	mg/100 mL
天冬氨酸 Asp	鲜(+) umami	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	100
苏氨酸 Thr	甜(+) sweetness	0.29	0.41	0.40	0.43	0.38	0.37	260
丝氨酸 Ser	甜(+) sweetness	0.18	0.15	0.10	0.18	0.20	0.16	150
谷氨酸 Glu	鲜(+) umami	0.97	1.43	1.77	1.33	1.55	1.69	30
甘氨酸 Gly	甜(+) sweetness	3.92	3.23	3.73	4.56	4.12	4.52	130
丙氨酸 Ala	甜(+) Sweetness	8.70	8.83	8.72	8.47	9.52	9.48	60
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫(-) bitterness/sweetness/sulphur	—	—	—	—	—	—	—
缬氨酸 Val	甜/苦(-) bitterness/sweetness	0.75	0.68	0.72	0.64	0.66	0.69	40
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫(-) bitterness/sweetness/sulphur	1.02	0.73	0.78	0.56	0.72	0.72	30
异亮氨酸 Ile	苦(-) bitterness	0.20	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	90
亮氨酸 Leu	苦(-) bitterness	0.17	0.15	0.12	0.13	0.14	0.12	190
酪氨酸 Tyr	苦(-) bitterness	—	—	—	—	—	—	—
苯丙氨酸 Phe	苦(-) bitterness	0.52	0.46	0.48	0.42	0.50	0.49	90
赖氨酸 Lys	甜/苦(-) sweetness/bitterness	1.06	0.85	0.61	0.79	0.80	0.57	50
组氨酸 His	苦(-) bitterness	1.12	1.11	1.10	0.98	1.03	1.05	20
精氨酸 Arg	甜/苦(-) sweetness/bitterness	8.79	8.43	8.30	9.51	10.27	10.10	50
脯氨酸 Pro	甜/苦(+) sweetness/bitterness	1.26	1.25	1.25	1.12	1.12	1.55	300

表 10 2 种育肥中华绒螯蟹与湖泊养殖中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸的呈味强度值 (TAV) 和阈值比较

Tab. 10 Comparison of the taste intensity (TAV) and threshold values of free amino acids in the gonads of two fattened and lake-cultured *E. sinensis*

游离氨基酸 free amino acid	呈味情况 flavor characteristic	雌性 female			雄性 male			阈值 threshold mg/100 mL
		CF	CTF	LC	CF	CTF	LC	
天冬氨酸 Asp	鲜(+) umami	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.23	100
苏氨酸 Thr	甜(+) sweetness	0.03	0.03	0.06	0.01	0.01	0.04	260
丝氨酸 Ser	甜(+) sweetness	0.04	0.04	0.08	0.02	0.03	0.05	150
谷氨酸 Glu	鲜(+) umami	1.09	1.14	1.58	0.75	0.51	2.58	30
甘氨酸 Gly	甜(+) sweetness	0.24	0.20	0.30	0.25	0.18	0.45	130
丙氨酸 Ala	甜(+) sweetness	1.06	0.88	1.54	1.23	1.05	2.27	60
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫(-) bitterness/sweetness/sulphur	—	—	—	—	—	—	—
缬氨酸 Val	甜/苦(-) bitterness/sweetness	0.22	0.24	0.25	0.12	0.15	0.26	40
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫(-) bitterness/sweetness/sulphur	0.23	0.36	0.35	0.13	0.15	0.51	30
异亮氨酸 Ile	苦(-) bitterness	0.05	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	90
亮氨酸 Leu	苦(-) bitterness	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	190
酪氨酸 Tyr	苦(-) bitterness	—	—	—	—	—	—	—
苯丙氨酸 Phe	苦(-) bitterness	0.07	0.10	0.14	0.06	0.05	0.07	90
赖氨酸 Lys	甜/苦(-) sweetness/bitterness	0.84	0.87	0.94	0.24	0.25	0.21	50
组氨酸 His	苦(-) bitterness	0.70	0.79	1.74	0.19	0.42	0.43	20
精氨酸 Arg	甜/苦(-) sweetness/bitterness	3.08	3.42	5.30	0.72	0.69	1.33	50
脯氨酸 Pro	甜/苦(+) sweetness/bitterness	0.44	0.30	0.70	0.21	0.11	0.51	300

在性腺发育过程中, 肝胰腺中存储的营养物质向性腺转移, 提供性腺发育的能量^[25-26], 因此 GSI 和 HSI 呈负相关^[27], 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹 GSI 最高而 HSI 最低的原因可能是冰鲜鱼作为饵料能够促进中华绒螯蟹性腺的发育, 但具体原因有待深入研究。从 MY 和 TEY 来看, 雄蟹 MY 显著高于雌蟹, 但是由于雌蟹 GSI 显著高于雄蟹, 因此雌蟹 TEY 显著高于雄蟹, 本结果与先前研究结果一致^[17]。

可食组织的常规营养成分是评价水产动物营养价值的重要指标, 中华绒螯蟹营养品质受养殖环境和饵料等的影响^[9, 28-29]。本研究发现, 3 种中华绒螯蟹肌肉常规营养成分差异不显著, 肌肉作为运动的器官, 具有较高的蛋白质和少量的脂肪, 生化组成相对稳定^[8]。肝胰腺主要成分为总脂, 可能因为肝胰腺是甲壳动物脂质存储和代谢的重要器官^[30], 研究表明, 不论雌性还是雄性, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹水分和粗

蛋白含量显著高于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 而脂肪显著低于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹。其原因主要是配合饲料脂肪含量显著高于冰鲜鱼, 其次可能是动物性饵料可以促进性腺发育^[31], 在性腺发育过程中肝胰腺会将脂质等营养物质转移到性腺^[25]。就性腺而言, 3 种中华绒螯蟹卵巢常规生化成分无显著差异, 这可能是卵巢和肌肉一样组成稳定^[16, 18], 雌蟹卵巢主要成分为粗蛋白质和总脂, 其可能与卵黄物质的组成和胚胎细胞发育相关^[32]。冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹精巢蛋白质含量最高, 水分和总脂含量显著低于湖泊养殖中华绒螯蟹, 其原因可能与饵料相关。

3.2 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹脂肪酸比较

可食组织中必需脂肪酸含量是评价水产品营养价值的重要指标, 其含量受环境和饵料等

因素的影响^[33-34]。本研究发现, 配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织中 LA 和 Σ PUHA 含量最高, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢中 EPA 和 DHA 含量最高, 湖泊养殖和配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织中 LNA 含量显著高于冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹, 与饵料的脂肪酸组成相关, 配合饲料由含 LA 和 LNA 较高的豆粕、菜粕和植物油等构成, 冰鲜鱼 DHA 和 EPA 含量较高, 湖泊养殖中华绒螯蟹在湖泊中摄食各种水草等, 因此导致中华绒螯蟹体内脂肪酸组成不同。冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢中 EPA 和 DHA 含量显著高于配合饲料育肥和湖泊养殖中华绒螯蟹, 而肌肉中 3 种中华绒螯蟹 EPA 和 DHA 含量无显著性差异, 主要因为肝胰腺是脂类储存和加工器官, 肝胰腺先吸收脂类, 再选择的被转运到其他器官, 所以肝胰腺的脂肪酸成分更加容易受到饵料的影响^[16, 24, 35]。高不饱和脂肪酸对人类健康有十分重要的影响, 如 ARA、EPA 和 DHA。食用 DHA 和 EPA 含量高的食物可以有效防止心血管疾病的发生和炎症^[36-38], DHA 和 ARA 可以促进胚胎和婴儿的神经系统发育^[39-40]。育肥中华绒螯蟹肝胰腺和性腺 DHA 和 Σ PUFA 含量显著高于湖泊养殖中华绒螯蟹, 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢中 EPA 和 DHA 含量最高, 配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织中多不饱和脂肪酸含量最高, 因此认为育肥中华绒螯蟹相比于湖泊养殖中华绒螯蟹更有利于人体健康。

n-3PUFA、n-6PUFA 和 n-3/n-6PUFAs 比值是评价食品营养品质和风味的重要指标^[41]。根据世界粮农组织 (FAO) 建议, 食物中 n-3/n-6PUFAs 比值应在 0.1~0.2 以上^[42], n-3PUFAs 含量越高营养价值越高。本研究发现, 配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织中 Σ n-6PUFA 含量最高, 与配合饲料中 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量高有关; 冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢中 Σ n-3PUFA、 Σ HUFA 和 DHA/EPA 含量最高, 与冰鲜鱼含有较高的 DHA 和 EPA 相关; 湖泊养殖中华绒螯蟹可食组织中 n-3/n-6 含量较高, 肝胰腺 Σ n-3PUFA 含量较高。C18:1n9 被称为“安全脂肪酸”, 含量多少是评价食品品质的重要指标之一^[43], 具有降低血液总胆固醇和有害胆固醇的功能^[44-45]。配合饲料育肥中华绒螯蟹肝胰腺和性腺 C18:1n9 的含量最高, 所以配合饲料育肥中华绒螯蟹对人体健康更有益。

3.3 2 种育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹氨基酸比较

中华绒螯蟹味道鲜美, 主要是由于体内富含丰富的游离氨基酸, 游离氨基酸是水产动物非常重要的呈味物质之一^[9, 46]。本次实验共检测 18 种游离氨基酸, 育肥中华绒螯蟹肌肉中未检出半胱氨酸, 可能由于半胱氨酸含量微量导致仪器未检出^[47]。3 种中华绒螯蟹肌肉中主要的游离氨基酸为甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸, 卵巢中主要为牛磺酸、精氨酸和脯氨酸, 精巢主要为牛磺酸、丙氨酸和脯氨酸, 这与先前的研究结果一致^[17, 48-49]。不同游离氨基酸呈现出不同的风味^[47], 本研究发现, 湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉中天冬氨酸和谷氨酸显著高于 2 种育肥中华绒螯蟹, 而育肥中华绒螯蟹丝氨酸、亮氨酸、络氨酸和赖氨酸含量显著高于湖泊养殖中华绒螯蟹, 谷氨酸和天冬氨酸为主要的鲜味氨基酸, 甘氨酸、苏氨酸、丝氨酸和脯氨酸为主要的甜味氨基酸, 精氨酸增加鲜味和口感持续性^[50], 由此可以看出湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉比育肥中华绒螯蟹更加鲜美。湖泊养殖雌性中华绒螯蟹卵巢中牛磺酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸远高于 2 种育肥中华绒螯蟹, 精巢中天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸也远高于育肥中华绒螯蟹。由此可以看出湖泊养殖中华绒螯蟹性腺比育肥蟹加鲜美。推测其原因, 湖泊水质比池塘水质更好, 同时湖泊养殖中华绒螯蟹食物来源更加多样性, 因此中华绒螯蟹品质更优质。

本研究分析了配合饲料、冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹和湖泊养殖中华绒螯蟹可食率、常规营养成分、脂肪酸和游离氨基酸含量。结果表明冰鲜鱼能够促进中华绒螯蟹性腺快速发育, 因此性腺指数最高, 而肝胰腺指数最低, 配合饲料育肥中华绒螯蟹可食组织 C18:2n6 和 Σ PUFA 含量最高, 而冰鲜鱼育肥中华绒螯蟹肝胰腺和卵巢 EPA 和 DHA 含量最高。育肥中华绒螯蟹脂肪酸组成及含量优于湖泊养殖中华绒螯蟹; 湖泊养殖中华绒螯蟹肌肉谷氨酸和天冬氨酸高于育肥中华绒螯蟹, 而且性腺中苏氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量远高于育肥中华绒螯蟹, 由此表明, 湖泊养殖中华绒螯蟹比育肥中华绒螯蟹更加鲜美。

参考文献 (References):

- [1] Wang S, He Y, Wang Y Y, *et al.* Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis*[J]. *Food Chemistry*, 2016, 200: 24-31.
- [2] Zhang Z X, Capinha C, Weterings R, *et al.* Ensemble forecasting of the global potential distribution of the invasive Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Hydrobiologia*, 2019, 826(1): 367-377.
- [3] 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. 中国渔业统计年鉴-2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 24.
Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Aquatic Society. 2021 China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 40 (in Chinese).
- [4] Cui W N, Ning B. Development and application of crab culture in the development of Chinese mitten crab industry of Shanghai[J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(2): 367-375.
- [5] 石婧, 王帅, 龚骏, 等. 不同育肥方式对中华绒螯蟹雄蟹肌肉呈味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 347-351.
Shi J, Wang S, Gong J, *et al.* Effect of different fattening models on non-volatile taste active compounds of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(15): 347-351(in Chinese).
- [6] 从娇娇, 韩昕苑, 于立志, 等. 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹滋味品质的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 938-949.
Cong J J, Han X W, Yu L Z, *et al.* Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the taste quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(6): 938-949 (in Chinese).
- [7] 华皓坤, 刘文斌, 刘婷燕, 等. 投喂配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长、氨基酸代谢和胺类物质沉积的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(5): 943-950.
Hua H K, Liu W B, Liu T Y, *et al.* Effects of compound feed and trash fish on growth, amino acid metabolism and deposition of amines of *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2021, 44(5): 943-950 (in Chinese).
- [8] 杨丽丽, 杨筱珍, 赵柳兰, 等. 冰鲜野杂鱼和配合饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力及血细胞的影响研究 [J]. 复旦学报 (自然科学版), 2011, 50(5): 619-624.
Yang L L, Yang X Z, Zhao L L, *et al.* Effects of two different diets on the growth, digestive enzyme activity and haemocytes in juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Journal of Fudan University (Natural Science Edition)*, 2011, 50(5): 619-624 (in Chinese).
- [9] Shao L C, Wang C, He J, *et al.* Hepatopancreas and gonad quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(3): 217-227.
- [10] Shao L C, Wang C, He J, *et al.* Meat quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(1): 59-72.
- [11] 潘杰, 吴旭干, 赵恒亮, 等. 三种投喂模式对河蟹二龄成蟹养殖性能的影响 [J]. 淡水渔业, 2016, 46(2): 87-93.
Pan J, Wu X G, Zhao H L, *et al.* Effects of three feeding modes on the culture performance of adult pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during the second year culture[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(2): 87-93 (in Chinese).
- [12] 石婧. 配合饲料和野杂鱼育肥对中华绒螯蟹风味品质的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
Shi J. Effects of formulated diet and trash fish fattening models on flavour of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [13] 唐永凯, 丁惠明, 李建林, 等. 冰鲜鱼和配合饲料养殖河蟹的效益分析 [J]. 科学养鱼, 2019(6): 63.
Tang Y K, Ding H M, Li J L, *et al.* Benefit analysis of culture on Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* with frozen fresh trash fish and formula feed[J]. *Scientific Fish Farming*, 2019(6): 63 (in Chinese).
- [14] 阙有清, 杨志刚, 纪连元, 等. 配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长发育、体成分及脂肪酸组成的影响 [J]. 水产学报, 2012, 36(10): 1612-1623.
Que Y Q, Yang Z G, Ji L Y, *et al.* Effects of formulated dietary replacement of trash fish on growth performance, body composition and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(10): 1612-1623 (in Chinese).
- [15] 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.
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 (in Chinese).
- [16] Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, *et al.* Biochemical composition of pond-reared and lake-tocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-dwards) broodstock[J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38(14): 1459-1467.
- [17] Wang S H, Wang Y Z, Wu X G, *et al.* Gonadal development and biochemical composition of Chinese mitten crabs

- (*Eriocheir sinensis*) from four sources[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(3): 1066-1080.
- [18] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 中华绒螯蟹野生和养殖蟹种对池塘养殖成蟹可食率和营养品质的影响研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2016, 47(1): 140-150.
- He J, Wu X G, Long X W, *et al.* Comparison in edible yield and nutritional quality of pond-cultured adult *Eriocheir sinensis* from wild-caught and pond-reared crabseeds[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(1): 140-150 (in Chinese).
- [19] 赵恒亮. 池塘养殖条件下中华绒螯蟹长江、黄河和辽河 3 个地理种群成蟹形态学、养殖性能和营养品质的比较研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Zhao H L. Comparative studies on morphology, culture performance and biochemical composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult *Eriocheir sinensis* reared in ponds[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016(in Chinese).
- [20] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 16th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [21] Folch J, Lees M, Stanley G H S. 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] 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[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(2): 154-159.
- [23] Tsai S Y, Wu T P, Huang S J, *et al.* Nonvolatile taste components of agaricus bisporus harvested at different stages of maturity[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1457-1464.
- [24] Wu X G, Cheng Y X, Sui L, *et al.* Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 602-613.
- [25] 成永旭, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹卵巢和胚胎发育期脂类在卵黄物质中存在的形态及其变化 [J]. *动物学杂志*, 1999, 34(1): 51-56.
- Cheng Y X, Du N S, Lai W. On the ultrastructure of yolk lipid distribution and its changes during the Chinese crab, *Eriocheir sinensis* ovarian maturation and embryonic development[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1999, 34(1): 51-56 (in Chinese).
- [26] Li S F, Wang C H, Zhao N G. Studies on gonad developmental rule of lake stocked mitten crab of Yangtze population[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(4): 350-356.
- [27] 王世会, 赵金山, 吴旭干, 等. 东营池塘养殖中华绒螯蟹生长性能、性腺发育及营养品质 [J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(1): 17-26.
- Wang S H, Zhao J S, Wu X G, *et al.* Growth performance, gonadal development and nutritional composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(1): 17-26 (in Chinese).
- [28] Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, *et al.* Effects of dietary phospholipids and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival, growth and hepatic lipid composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(3): 457-468.
- [29] Kause A, Ritola O, Paananen T, *et al.* Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 2002, 211(1-4): 65-79.
- [30] Wang Q J, Wu X G, Long X W, *et al.* Nutritional quality of different grades of adult male chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(3): 944-955.
- [31] 周宏轩. Ca²⁺和饵料脂肪对中华绒螯蟹性早熟能量学研究 [D]. 保定: 河北大学, 2010.
- Zhou H X. Effects of Ca²⁺ and dietary fat stress on energy metabolism and premature of *Eriocheir sinensis*[D]. Baoding: Hebei University, 2010 (in Chinese).
- [32] Liu Z J, Wu X G, Cheng Y X, *et al.* Ovarian re-maturation following the first spawning in the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(3): 417-426.
- [33] Romano N, Wu X G, Zeng C S, *et al.* Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range[J]. *Marine Biology Research*, 2014, 10(5): 460-471.
- [34] Wu X G, Chang G, Cheng Y X, *et al.* Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 25-36.
- [35] 常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 不同脂类营养对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化成分的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2008, 39(3): 276-283.
- Chang G L, Wu X G, Cheng Y X, *et al.* Effect of lipid nutrition on hepatosomatic index and biochemical composition of juvenile *Eriocheir sinensis*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(3): 276-283 (in Chinese).
- [36] Hall W L. Dietary saturated and unsaturated fats as determin-

- ants of blood pressure and vascular function[J]. *Nutrition Research Reviews*, 2009, 22(1): 18-38.
- [37] Capel F, Acquaviva C, Pitois E, *et al.* DHA at nutritional doses restores insulin sensitivity in skeletal muscle by preventing lipotoxicity and inflammation[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2015, 26(9): 949-959.
- [38] Harper C R, Jacobson T A. Usefulness of omega-3 fatty acids and the prevention of coronary heart disease[J]. *The American Journal of Cardiology*, 2005, 96(11): 1521-1529.
- [39] Innis S M. The role of dietary n-6 and n-3 fatty acids in the developing brain[J]. *Developmental Neuroscience*, 2000, 22(5-6): 474-480.
- [40] Muskiet F A J, Kemperman R F J. Folate and long-chain polyunsaturated fatty acids in psychiatric disease[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2006, 17(11): 717-727.
- [41] Coetzee G J M, Hoffman L C. Effects of various dietary n-3/n-6 fatty acid ratios on the performance and body composition of broilers[J]. *South African Journal of Animal Science*, 2002, 32(3): 175-184.
- [42] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.
- [43] Bhouri A M, Harzallah H J, Dhibi M, *et al.* Nutritional fatty acid quality of raw and cooked farmed and wild sea bream (*Sparus aurata*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(1): 507-512.
- [44] 彭静文, 张艳霞, 从娇娇, 等. 不同围养阶段雌性中华绒螯蟹体肉脂含量和脂肪酸组成的比较 [J]. *现代食品科技*, 2018, 34(12): 96-103.
- Peng J W, Zhang Y X, Cong J J, *et al.* Effects of different hoarding stages on lipid content and fatty acids of female Chinese mitten crab body meat[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(12): 96-103 (in Chinese).
- [45] 陈忠周, 李艳梅, 赵刚, 等. 共轭亚油酸的性质及合成 [J]. *中国油脂*, 2000, 25(5): 41-45.
- Chen Z Z, Li Y M, Zhao G, *et al.* Properties and synthesis of conjugated linoleic acid[J]. *China Oils and Fats*, 2000, 25(5): 41-45 (in Chinese).
- [46] 霍尔 G M. 水产品加工技术 [M]. 夏文水, 陈洁, 吕兵, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2002.
- Hall G M. Fish processing technology[M]. Xia W S, Chen J, Lv B, trans. Beijing: China Light Industry Press, 2002 (in Chinese).
- [47] 邵路畅. 配合饲料和野杂鱼育肥对中华绒螯蟹品质及感官评价的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Shao L C. Nutritional quality and sensory evaluation of fattening empty Chinese mitten crab with formulated diet and trash fish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012 (in Chinese).
- [48] 王世会, 成永旭, 石连玉, 等. 秋季不同时期上市中华绒螯蟹可食率和品质比较 [J]. *中国水产科学*, 2020, 27(10): 1196-1209.
- Wang S H, Cheng Y X, Shi L Y, *et al.* A comparative study of edible yield and quality in adult Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in different periods of autumn[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(10): 1196-1209 (in Chinese).
- [49] Wang Y Z, Li J H, Wang S H, *et al.* Composition and nutritional qualities of edible tissues of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from Ya Lake over different months[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 105: 104199.
- [50] 夏延斌. 食品风味化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- Xia Y B. Food flavor chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008 (in Chinese).

Comparison of nutritional quality between two fattening methods and lake-cultured *Eriocheir sinensis*

XIAO Changlun^{1,2}, SUN Yunfei^{1,3,4*}, LU Zhenzhen¹, CHENG Yongxu^{1,3,4*}

1. Key Laboratory of Integrated Rice-fishery Cultivation and Ecology,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Yibin Academy of Agricultural Sciences, Yibin 644000, China;

3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Aquatic Sciences,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: To assess the nutritional quality of pond-reared and lake-cultured *Eriocheir sinensis*, this study utilized compound feed (CF) and chilled fish (CTF) to fatten *E. sinensis* for one month and compared their edible rate, conventional nutrients, fatty acids, and free amino acids with lake-cultured *E. sinensis* (LC). The findings are as follows: (1) The gonadosomatic index (GSI) of fattened *E. sinensis* with chilled fish was significantly higher than those fattened with compound feed and lake-cultured *E. sinensis*, while the hepatosomatic index (HSI) was significantly lower compared to those with compound feed and lake-cultured *E. sinensis* ($P < 0.05$). No significant differences in meat yield and edible rate were observed among the three groups of *E. sinensis* ($P > 0.05$). (2) The total lipid content in hepatopancreas of *E. sinensis* fattened with compound feed and lake-cultured were significantly higher than those fattened with chilled fish, while the water and crude protein contents in hepatopancreas were significantly lower than those of *E. sinensis* fattened with chilled fish ($P < 0.05$). The fattened *E. sinensis* with CTF had significantly lower water and total lipid contents in gonads than lake-cultured *E. sinensis*, while crude protein content was significantly higher than that of lake-cultured *E. sinensis* ($P < 0.05$), and there was no significant difference in ovarian nutrients ($P > 0.05$). Crude protein content in meat of female lake-cultured *E. sinensis* was significantly higher than those of *E. sinensis* fattened with CF and CTF ($P < 0.05$), with no significant difference in other nutrients ($P > 0.05$). (3) The content of C18:2n6 (LA), \sum PUFA and \sum n-6PUFA in the edible tissues of *E. sinensis* fattened with CF was significantly higher than those fattened with CTF and lake-cultured *E. sinensis*, and the contents of EPA and DHA in the hepatopancreas and ovary of *E. sinensis* fattened with CTF were significantly higher than those of *E. sinensis* fattened with CF and lake-cultured *E. sinensis* ($P < 0.05$). (4) The content of glutamic acid (Glu) and aspartic acid (Asp) in lake-cultured *E. sinensis* were significantly higher than those of CF and CTF fattened *E. sinensis*, while serine (Ser), leucine (Leu), tyrosine (Tyr) and lysine (Lys) content was lower in those of CF and CTF fattened *E. sinensis*, and the contents of umami and sweet amino acids in the gonads of lake-cultured *E. sinensis* were significantly higher than those of the two fattened *E. sinensis* ($P < 0.05$). In conclusion, CF can enhance gonadal development in *E. sinensis*, yielding the highest GSI. There are notable differences in conventional nutrients in the hepatopancreas and testis among the three types of *E. sinensis*. The fatty acid composition of the two types of fattened *E. sinensis* is superior to that of lake-cultured *E. sinensis*, while lake-cultured *E. sinensis* exhibit the highest umami taste and sweet amino acid content.

Key words: *Eriocheir sinensis*; fattening method; gonads; hepatopancreas

Corresponding authors: SUN Yunfei. E-mail: yfsun@shou.edu.cn;

CHENG Yongxu. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-48); Industry Leading Talent Project of Yellow River Delta (DYRC20190210)