



盐碱水池塘不同饵料投喂条件下拟穴青蟹生长、营养及血清生化指标的比较

周冬平¹, 刘磊^{1*}, 付媛媛², 方伟¹, 王超越¹, 王春琳¹

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315832;

2. 宁波海洋研究院, 浙江 宁波 315832)

摘要: 为探究盐碱水池塘养殖条件下投喂不同饵料对池塘水质及拟穴青蟹生长、营养品质及血清生化指标的影响, 实验设置青柳蛤、矛尾复虾虎鱼、鹰爪虾 3 种生物饵料组和 1 种人工配合饲料组, 各组设置 3 个重复, 实验周期 4 个月, 分析各组池塘水质变化, 并采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 方法比较各组蟹的生长、营养及血清生化指标。结果显示, 各组水温、盐度与 pH 差异较小, 而溶解氧、氨氮、亚硝酸盐氮差异较大, 其中, 矛尾复虾虎鱼组溶解氧从 11.5 降至 9.2 mg/L, 而氨氮、亚硝酸盐氮分别从养殖初期 0.44、0.022 mg/L 上升到养殖末期的 0.89、0.050 mg/L。青柳蛤组的体重 (334 g)、增重率 (332.7%) 和特定生长率 (0.076 %/d) 显著高于其他组, 人工配合饲料组存活率最高, 达到 66.67%, 矛尾复虾虎鱼组的肥满度 (0.221 g/cm³) 显著高于其他组; 青柳蛤组的肌肉必需氨基酸中的缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸含量及肝胰腺呈味氨基酸总量和鲜味氨基酸总量在各组中最高, 人工配合饲料组肝胰腺必需氨基酸中的苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、组氨酸含量在各组中最高, 鹰爪虾组的肌肉呈味氨基酸总量和鲜味氨基酸总量在各组中最高, 青柳蛤组的肌肉与肝胰腺饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、脂肪酸含量均为最高; 青柳蛤组的总蛋白含量显著高于其他组, 矛尾复虾虎鱼组的总胆固醇显著高于其他组, 人工配合饲料组的谷草转氨酶、甘油三酯、葡萄糖显著高于其他组, 相关性分析显示青柳蛤等生物饵料常规营养与拟穴青蟹各生长指标存在显著正相关。研究表明, 青柳蛤组拟穴青蟹在生长、营养及血清蛋白质指标上具有显著优势, 可以作为盐碱水池塘养殖拟穴青蟹的适口饵料。本研究将为拟穴青蟹北方盐碱水池塘养殖和推广提供数据参考。

关键词: 拟穴青蟹; 水质; 生长; 营养; 血清生化指标; 饵料; 盐碱水池塘

中图分类号: S 968.25⁺¹

文献标志码: A

拟穴青蟹 (*Scylla paramamosain*) 隶属于十足目 (Decapoda) 梭子蟹科 (Portunidae) 青蟹属 (*Scylla*), 主要分布在我国长江口以南沿海地区^[1-2], 具有生长快、适应性强、个体大及经济价值高等特点, 是我国主要养殖经济蟹类^[3], 被誉为“海上

人参”, 深受消费者喜爱^[4]。近年来, 为顺应我国海水养殖绿色高质量发展和海洋战略需求, 南方沿海多个省份缩减了青蟹池塘养殖面积, 导致青蟹养殖规模逐渐萎缩。据报道, 2019 年我国青蟹的养殖产量为 16.06 万 t, 而 2020 年养殖产量略有

收稿日期: 2022-07-04 修回日期: 2023-03-20

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0900405); 浙江省农业重大技术协同推广计划 (2020XTTGSC03)

第一作者: 周冬平 (照片), 从事海水蟹繁育与养殖研究, E-mail: 1871236773@qq.com

通信作者: 刘磊, 从事甲壳类新品种培育、健康养殖、遗传发育等研究, E-mail: 769368829@qq.com



下降, 为 15.94 万 t, 较 2019 年减少了 0.12 万 t, 这是近十年来青蟹养殖产量首次出现下降^[5-6]。由于养殖容量已接近极限, 青蟹产量供不应求。因此, 亟需开拓新的养殖区域, 以提升青蟹产能。

我国盐碱地资源丰富^[7], 仅黄河三角洲地区约有盐碱地面积 43 万 hm^2 ^[8]。黄河三角洲地区盐碱水资源充足、气候适宜及饵料丰富, 具有较好的拟穴青蟹养殖条件。黄河三角洲地区拟穴青蟹繁育和养殖已有报道^[9-10], 研究表明盐碱水青蟹养殖成活率较高, 但是发现盐碱水池塘养成的青蟹个体大小和肥满度等差别较大, 除温度等环境条件外, 南北方主要投喂饵料种类的差异可能是造成生长不均匀的重要因素。因此, 根据北方主产的饵料种类, 选择合适的饵料投喂策略是解决上述问题的一个突破口。

我国南方沿海地区拟穴青蟹饵料以菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、小杂鱼及人工配合饲料为主^[11-12]。生物饵料和人工配合饲料对拟穴青蟹生长与育肥影响研究尚缺乏理论支撑, 仍需不断探索。另外, 南方地区与北方地区水产养殖饵料种类差异显著, 如何因地制宜地选择合适的饵料是实现北方盐碱水池塘拟穴青蟹养殖的关键所在。目前, 北方地区主要水产饵料包括青柳蛤(*Macra chinensis*)、矛尾复虾虎鱼(*Synechogobius hasta*)、鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostris*)和人工配合饲料, 其中, 青柳蛤在黄海分布广泛, 壳薄肉多、营养价值高且价格低廉, 是作为虾蟹养殖的优质饵料^[13]; 矛尾复虾虎鱼生长于黄海海域, 具有肉细微、味鲜美、蛋白质与脂肪含量高等特点^[14]; 鹰爪虾主要分布于威海、烟台海域, 出肉率高、肉味鲜美、营养丰富^[15]且价格低廉; 人工

配合饲料近年推广应用较快, 具有营养均衡、易于储存和运输、不易携带病菌且对水体污染小的特点^[16]。

目前, 已有针对南方地区海水池塘青蟹养殖饵料投喂的研究^[17-19], 但对北方盐碱水池塘不同饵料投喂对青蟹生长、营养及血清生化指标影响的研究尚未见报道。本研究选用青柳蛤、矛尾复虾虎鱼、鹰爪虾与人工配合饲料等 4 种饵料进行投喂实验, 分析盐碱水池塘水质变化规律, 比较不同饵料对拟穴青蟹生长性能、营养品质及血清生长指标的影响, 为建立北方盐碱水池塘拟穴青蟹养殖技术提供数据支持。

1 材料与方 法

1.1 实验池塘

本研究于 2021 年 5 月 10 日—9 月 15 日在山东省东营市正大桑田(东营)农业发展有限公司盐碱水池塘进行, 选用 12 个盐碱水池塘, 每个池塘面积为 0.333 hm^2 。池塘四周设置高为 1 m 塑料薄膜围挡, 以防青蟹逃逸, 每个池塘投放拟穴青蟹 C3 期苗 2 000 只。

1.2 实验设计

实验设置 4 个饵料组, 分别为青柳蛤组、矛尾复虾虎鱼组、鹰爪虾组、人工配合饲料组(购买于宁波海鼎水产饲料有限公司), 每个饵料组分别设置 3 个平行, 一个池塘为一个平行。人工配合饲料的成分组成: 鱼粉、乌贼膏、豆粕、虾粉、啤酒酱母、磷脂、精制鱼油、高筋面粉、矿物质及微量元素、维生素、多糖类。4 种饵料的营养成分组成如表 1 所示。

表 1 4 种饵料常规营养成分分析

指标 indexes	青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group
水分 moisture	83.223±0.015 ^a	77.467±0.015 ^c	80.670±0.020 ^b	8.800±0.100 ^d
灰分 ash	3.737±0.025 ^b	1.777±0.015 ^c	1.477±0.006 ^d	6.733±0.058 ^a
粗蛋白 crude protein	13.643±0.025 ^d	18.767±0.021 ^b	17.590±0.020 ^c	41.273±0.040 ^a
粗脂肪 crude lipid	4.190±0.020 ^b	1.643±0.021 ^c	1.267±0.015 ^d	10.343±0.015 ^a

注: 同一行不同上标字母表示组间差异显著($P<0.05$); 下同。

Notes: Different superscript letters in the same line indicate significant differences between groups ($P<0.05$); the same below.

1.3 养殖管理

养殖前 2 个月对池塘进行清塘与消毒, 实验所用 C3 期拟穴青蟹苗由本团队在东营市三角洲养

殖繁育有限公司繁育所得^[9]。养殖期间, 每天早上 8:00 和下午 5:00 各投喂饵料 1 次, 幼蟹 C3~C7 阶段每次投喂量占拟穴青蟹总体重的 2%,

成蟹阶段每次投喂量占拟穴青蟹总体重的4%~5%, 各组每次投喂量均保持一致, 投喂前需用复合碘溶液消毒清洗后投喂。设置3个0.333 hm²的池塘用作蓄水池, 所有养殖池塘每星期换水1次, 换水量为池水的三分之一, 每天早晚各巡塘1次。

1.4 样品采集

9月15日, 使用吊笼法从每个池塘随机捕捞30只拟穴青蟹进行取样分析。首先使用电子天平称重(精确到0.01 g), 称重前用干毛巾轻轻擦去体表水分, 然后使用游标卡尺测量其生长指标, 生长指标测量完成后将青蟹放在冰上麻醉, 使用抗凝剂润洗过的2.0 mL一次性使用无菌注射器从甲壳背部基部进入到心脏抽取1.5 mL血淋巴样品, 将血淋巴与抗凝剂1:1(体积比)混匀, 4℃下8 000 r/min离心10 min, 取上清液用于血清生化指标测定。然后解剖获得肌肉与肝胰腺, 液氮速冻后收集于-80℃冰箱保存, 用于检测营养指标。养殖期间每月15号对各饵料组池塘进行水体采样分析。本研究获得了宁波大学实验动物中心批准, 实验过程中操作人员严格遵守GB 35892—2018伦理规范, 并按照宁波大学实验动物中心制定的规章制度执行。

1.5 指标测定

测量捕捞样品生长指标, 包括体重、全甲宽、甲宽、甲长与体高。存活率(survival rate, SR)、增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(special weight gain rate, SGR)、肥满度(condition factor, CF)及饲料系数(feed conversion ratio, FCR)的计算公式^[20]:

$$SR(\%) = N_t/N_0 \times 100\%$$

$$WGR(\%) = (W_t - W_0)/W_0 \times 100\%$$

$$SGR(\%) = (\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100\%$$

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

$$FCR = F/(W_t - W_i)$$

式中, N_t 为实验结束时青蟹数量(只), N_0 为实验初始青蟹数量(只), W_t 为实验青蟹终末均重(g), W_0 为实验青蟹初始均重(g), t 为实验天数(d), W 为青蟹体重(g), L 为青蟹甲宽(cm), F 为饲料摄入量(g), W_t 为实验青蟹终末总体重(g), W_i 为实验青蟹初始总体重(g)。

拟穴青蟹肌肉和肝胰腺的水分含量测定参照

GB 5009.3—2016^[21]; 灰分含量测定参照GB 5009.4—2016^[22]; 粗蛋白含量测定参照GB 5009.5—2016^[23]; 粗脂肪含量测定参照GB 5009.6—2016^[24]; 脂肪酸含量测定参照GB 5009.168—2016^[25]; 氨基酸含量的测定参照GB 5009.124—2016^[26]。血清生化指标采用CHEMIX-800全自动生化分析仪[CHEMIX-800, 日本SYSMEX(希森美康)株式会社]测定。

养殖池塘水温、pH、溶解氧与盐度等常规水质指标利用多功能水质检测仪(YSI-6600)测定, 水体的氨氮(NH₄⁺-N)检测参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002), 亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)测定采用重氮偶合分光光度法, 分别在池塘具有代表性的点位(进水口、池塘中间及出水口)取样, 所有水质指标在池塘每个点位均取3个平行。

1.6 数据分析

采用Excel 2010和SPSS 22.0软件对实验数据进行统计分析, 以单因素方差分析(One-Way ANOVA)方法检验不同饵料投喂对拟穴青蟹生长、营养及生化等指标的差异显著性, 并采用Duncan氏进行多重比较, 以Pearson方法分析相关性, 取 $P < 0.05$ 为差异显著, 实验数据表示为平均值±标准差(mean ± SD)。

2 结果

2.1 不同饵料对拟穴青蟹盐碱水池塘水质指标的影响

池塘水质指标变化结果显示, 各组池塘水温随季节变化, 5—8月水温上升, 9月水温开始下降(图1)。各组水体盐度在5—9月从4.0上升至7.0以上。各组水体pH在养殖期间也呈上升趋势。矛尾复虾虎鱼组水体溶解氧下降速率最快, 从养殖初期11.5 mg/L下降至养殖末期9.2 mg/L, 且各组水体溶解氧在养殖期间都呈下降趋势。矛尾复虾虎鱼组水体氨氮从养殖初期0.44 mg/L上升到养殖末期0.89 mg/L, 在各组中上升最快。人工配合饲料组水体氨氮从养殖初期0.43 mg/L上升到养殖末期0.74 mg/L, 在各组中上升最慢。矛尾复虾虎鱼组水体亚硝酸盐氮从养殖初期0.022 mg/L上升到养殖末期0.050 mg/L, 在各组中上升最高。人工配合饲料组水体亚硝酸盐氮从养殖初期0.02 mg/L上升到养殖末期0.033 mg/L, 在各组中上升最低。

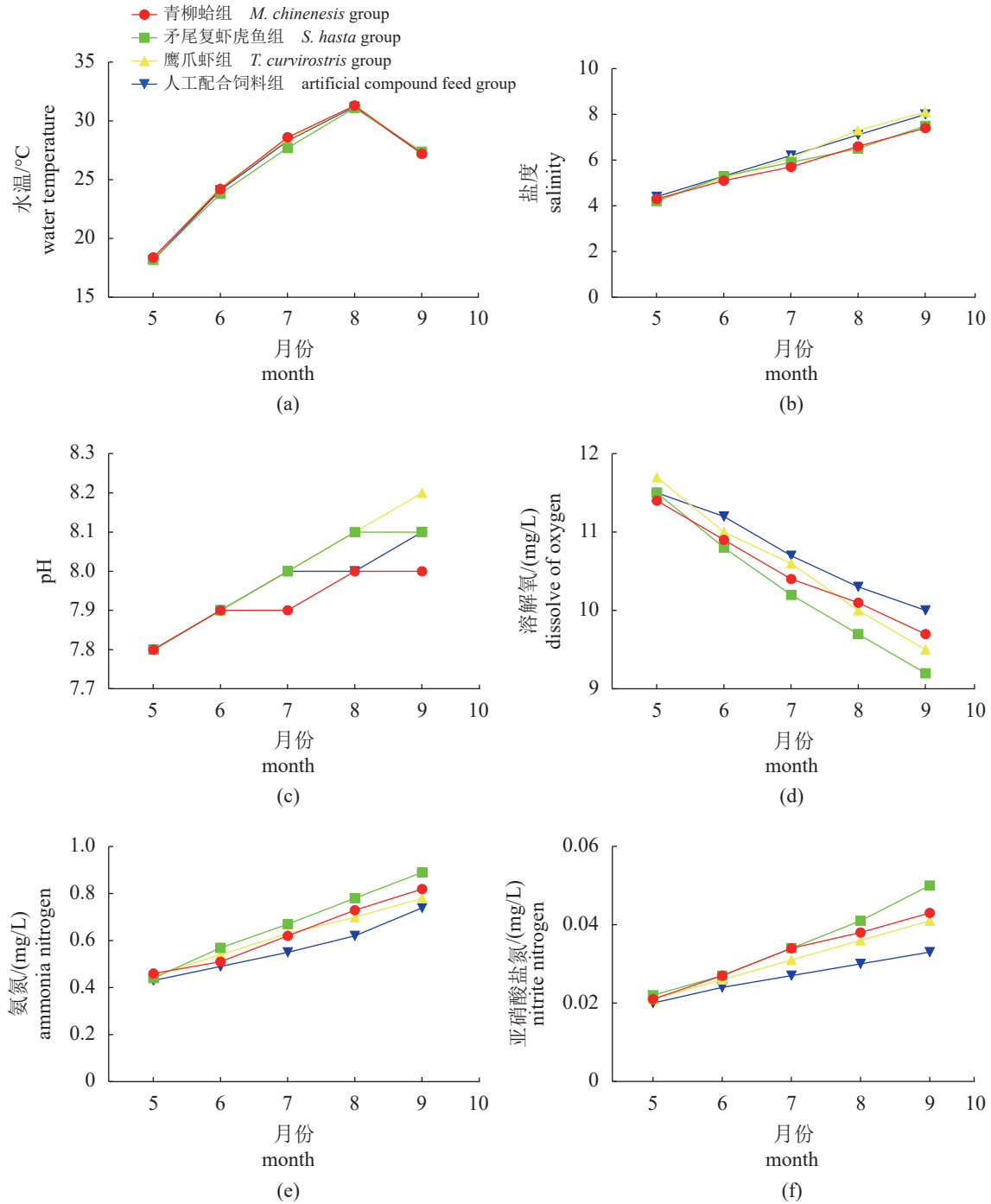


图 1 各组池塘每月水质指标变化

(a) 养殖期间池塘水温变化, (b) 养殖期间池塘水体盐度变化, (c) 养殖期间池塘水体 pH 变化, (d) 养殖期间池塘水体氨氮变化, (e) 养殖期间池塘水体溶解氧变化, (f) 养殖期间池塘水体亚硝酸盐氮变化。

Fig. 1 Changes of monthly water quality indexes of ponds in each group

(a) changes in water temperature, (b) changes in salinity, (c) changes in pH, (d) changes in ammonia nitrogen, (e) changes of dissolved oxygen, (f) changes in nitrite nitrogen.

2.2 不同饵料对盐碱水池塘拟穴青蟹生长指标的影响

各组拟穴青蟹生长指标结果显示, 青柳蛤组

青蟹体重最高, 其次是矛尾复虾虎鱼组, 而鹰爪虾组青蟹体重最低, 且各组拟穴青蟹体重存在显著差异 ($P < 0.05$) (图 2)。同时发现青柳蛤组在拟穴

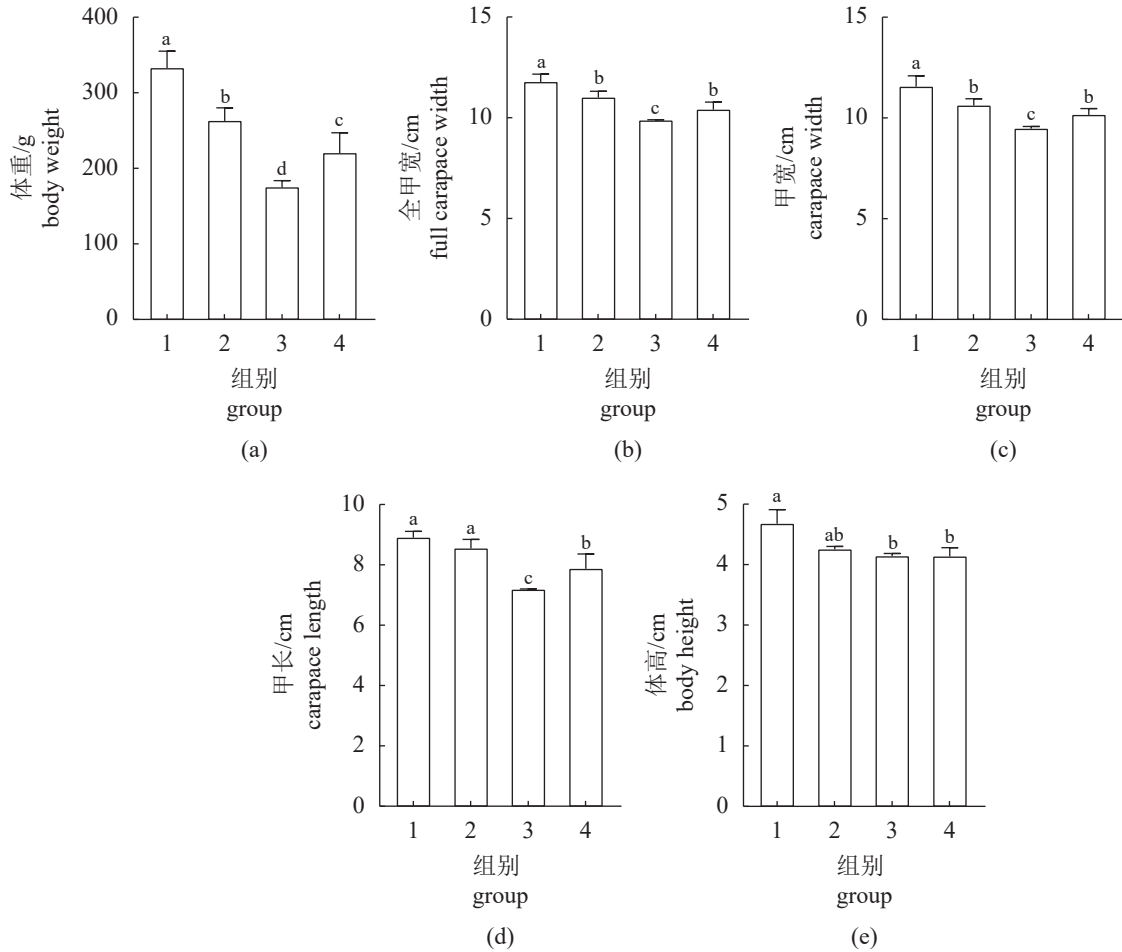


图2 各组拟穴青蟹生长指标分析

(a) 各组拟穴青蟹体重, (b) 各组拟穴青蟹全甲宽, (c) 各组拟穴青蟹甲宽, (d) 各组拟穴青蟹甲长, (e) 各组拟穴青蟹体高; 1. 青柳蛤组, 2. 矛尾复虾虎鱼组, 3. 鹰爪虾组, 4. 人工配合饲料组; 不同字母表示各指标在不同饵料投喂下有显著差异, $P < 0.05$; 下同。

Fig. 2 Analysis of growth index of *S. paramamosain* in each group

(a) the body weight of each group of *S. paramamosain*, (b) the full carapace width of each group of *S. paramamosain*, (c) the carapace width of each group of *S. paramamosain*, (d) the carapace length of each group of *S. paramamosain*, (e) the body height of each group of *S. paramamosain*; 1. *M. chinensis* group, 2. *S. hasta* group, 3. *T. curvirostris* group, 4. artificial compound feed group; different letters indicate that there are significant differences in each index under different feeding modes, $P < 0.05$; the same below.

青蟹形体学指标(全甲宽、甲宽、甲长、体高)上显著高于其他组 ($P < 0.05$), 综合体重与形体学指标分析得出, 投喂青柳蛤有利于拟穴青蟹的生长蜕壳。

各组拟穴青蟹存活率、增重率等结果显示, 人工配合饲料组拟穴青蟹存活率最高, 达到 66.67%, 青柳蛤组次之, 达到 62.67%, 鹰爪虾组拟穴青蟹存活率最低, 仅有 55.33%, 且各组拟穴青蟹存活率存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。青柳蛤组拟穴青蟹增重率和特定生长率显著高于其他组 ($P < 0.05$), 矛尾复虾虎鱼组次之。矛尾复虾虎鱼组拟穴青蟹肥满度最高, 且各组存在显著差异 ($P < 0.05$)。青柳蛤组在饲料系数指标上最优, 且各组存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3 不同饵料对盐碱水池塘拟穴青蟹营养品质的影响

各组拟穴青蟹肌肉和肝胰腺常规营养成分如图 3、图 4 所示, 拟穴青蟹肌肉常规营养中, 青柳蛤组水分含量最高, 其他组间无显著差异。青柳蛤组和矛尾复虾虎鱼组灰分含量较高, 且青柳蛤组与矛尾复虾虎鱼组无显著差异。青柳蛤组粗蛋白含量最高, 且各组间存在显著差异 ($P < 0.05$)。人工配合饲料组粗脂肪含量最高, 但各组间差异较小。拟穴青蟹肝胰腺常规营养中, 青柳蛤组肝胰腺水分含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), 其中鹰爪虾组水分含量最低。青柳蛤组与人工配合饲料组灰分含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), 矛尾复虾

表 2 不同饵料对盐碱水池塘拟穴青蟹存活率、增重率等指标的影响 (n=30)

Tab. 2 Effects of different diets on survival rate and weight gain rate of *S. paramamosain* in saline-alkali water ponds

指标 indexes	青柳蛤组 <i>M.chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group
存活率/% SR	62.667±5.132 ^{ab}	56.667±6.658 ^b	55.333±4.933 ^b	66.667±1.528 ^a
增重率/% WGR	332.7±0.026 ^a	262.74±0.010 ^b	174.753±0.006 ^d	220.16±0.010 ^c
特定生长率/(%/d) SGR	0.076±0.001 ^a	0.074±0.001 ^{ab}	0.072±0.001 ^b	0.073±0.001 ^b
肥满度/(g/cm ³) CF	0.219±0.001 ^b	0.221±0.001 ^a	0.211±0.001 ^d	0.214±0.001 ^c
饲料系数 FCR	1.098±0.001 ^d	1.385±0.003 ^c	2.028±0.003 ^a	1.696±0.002 ^b

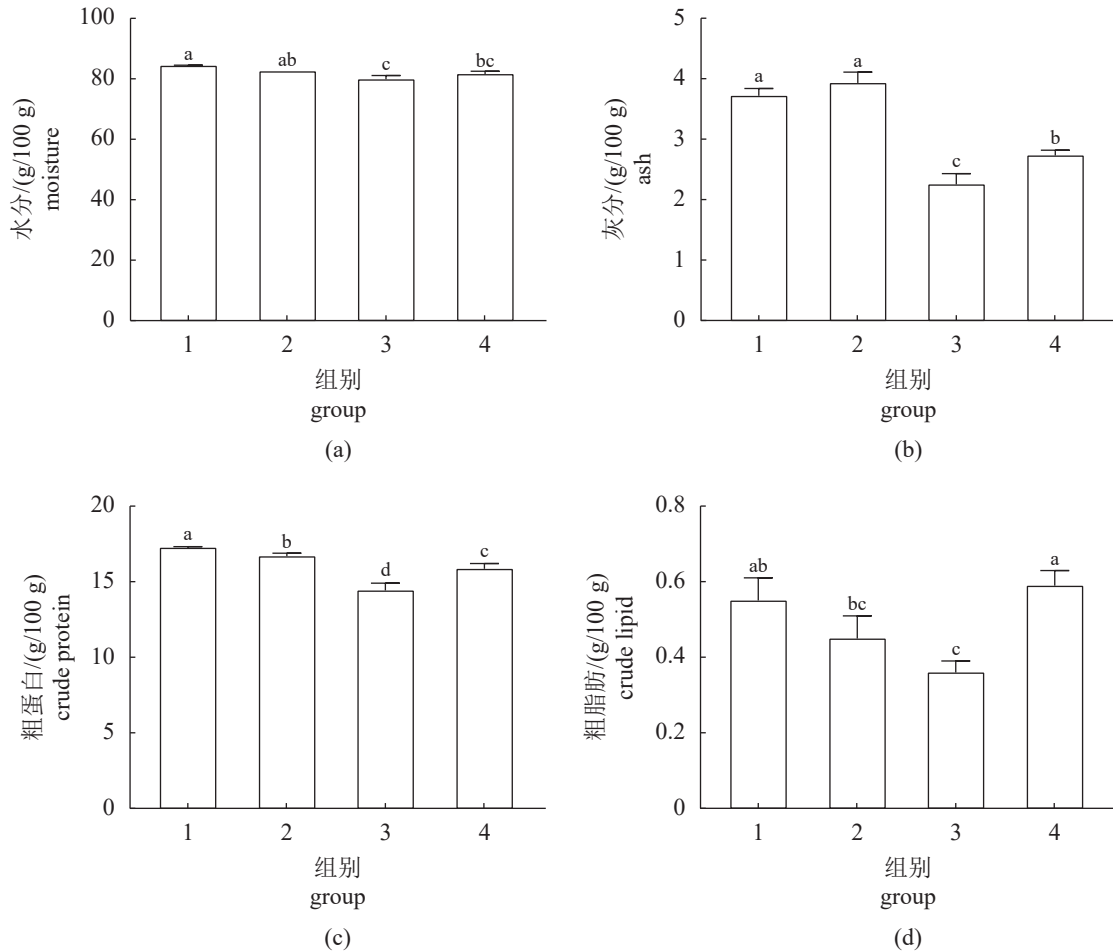


图 3 各组拟穴青蟹肌肉常规营养的分析

(a) 各组拟穴青蟹肌肉水分含量, (b) 各组拟穴青蟹肌肉灰分含量, (c) 各组拟穴青蟹肌肉粗蛋白含量, (d) 各组拟穴青蟹肌肉粗脂肪含量。

Fig. 3 Analysis of routine nutrients of muscle of *S. paramamosain* in each group

(a) water content in muscle of *S. paramamosain* in each group, (b) ash content in muscle of *S. paramamosain* in each group, (c) crude protein content in muscle of *S. paramamosain* in each group, (d) crude lipid content in muscle of *S. paramamosain* in each group.

虎鱼组次之, 鹰爪虾组最低。青柳蛤组肝胰腺粗蛋白含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), 其中矛尾复虾虎鱼组和人工配合饲料组无显著差异, 而鹰爪虾组最低。各组肝胰腺粗脂肪含量无显著差异。

拟穴青蟹肌肉和肝胰腺中 16 种氨基酸检测结果显示, 青柳蛤组肌肉必需氨基酸中的缬氨酸、

蛋氨酸、异亮氨酸与苯丙氨酸含量在各组中最高, 且各组肌肉必需氨基酸含量存在显著差异 ($P < 0.05$)。人工配合饲料组肝胰腺必需氨基酸中的苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸与组氨酸含量在各组中最高, 且各组肝胰腺必需氨基酸含量存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 3)。鹰爪虾组肌肉呈味氨基酸总量与

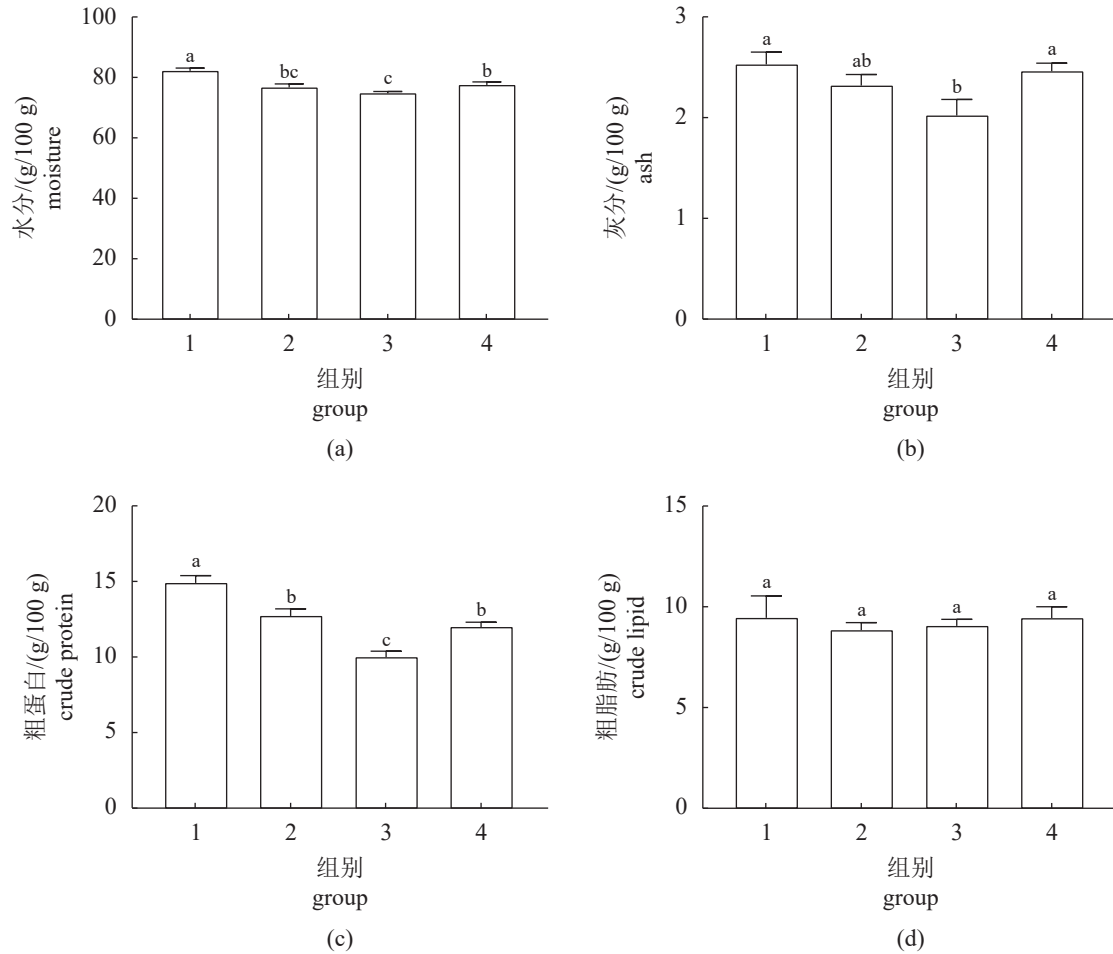


图 4 各组拟穴青蟹肝胰腺常规营养的分析

(a) 各组拟穴青蟹肝胰腺水分含量, (b) 各组拟穴青蟹肝胰腺灰分含量, (c) 各组拟穴青蟹肝胰腺粗蛋白含量, (d) 各组拟穴青蟹肝胰腺粗脂肪含量。

Fig. 4 Analysis of routine nutrients of hepatopancreas of *S. paramamosain* in each group

(a) water content in hepatopancreas of *S. paramamosain* in each group, (b) ash content in hepatopancreas of *S. paramamosain* in each group, (c) content of crude protein in hepatopancreas of *S. paramamosain* in each group (d) content of crude fat in hepatopancreas of *S. paramamosain* in each group.

鲜味氨基酸总量在各组中最高, 青柳蛤组肝胰腺呈味氨基酸总量与鲜味氨基酸总量在各组中最高。

由表 4 可知, 各组共检测出 23 种肌肉脂肪酸与 26 种肝胰腺脂肪酸。拟穴青蟹肌肉脂肪酸中, 青柳蛤组的饱和脂肪酸总量、多不饱和脂肪酸总量与脂肪酸总量均为最高, 并且在拟穴青蟹肝胰腺脂肪酸中, 青柳蛤组的饱和脂肪酸总量、多不饱和脂肪酸总量与脂肪酸总量也均为最高。

2.4 不同饵料对拟穴青蟹血清生化指标的影响

各组拟穴青蟹血清生化指标结果显示, 人工配合饲料组谷草转氨酶、甘油三酯与葡萄糖含量显著高于其他组 ($P < 0.05$)。青柳蛤组总蛋白含量显著高于其他组 ($P < 0.05$)。鹰爪虾组谷丙转氨酶含量显著高于其他组 ($P < 0.05$)。矛尾复虾虎鱼组

的总胆固醇含量显著高于其他组 ($P < 0.05$)。青柳蛤组与人工配合饲料组中的白蛋白与球蛋白含量显著高于其他组 ($P < 0.05$) (表 5)。

2.5 相关性分析

四种饵料常规营养成分与拟穴青蟹各生长指标存在显著的相关性, 其中青柳蛤常规营养与拟穴青蟹体高 ($r=0.85$, $P < 0.001$)、体重 ($r=0.75$, $P < 0.01$)、增重率 ($r=0.78$, $P < 0.01$)、特定生长率 ($r=0.70$, $P < 0.05$)、全甲宽 ($r=0.71$, $P < 0.01$) 及甲宽 ($r=0.72$, $P < 0.01$) 等指标呈正相关 (图 5)。矛尾复虾虎鱼常规营养与拟穴青蟹体高 ($r=0.82$, $P < 0.001$)、体重 ($r=0.69$, $P < 0.05$)、增重率 ($r=0.71$, $P < 0.01$)、特定生长率 ($r=0.65$, $P < 0.05$)、全甲宽 ($r=0.65$, $P < 0.05$) 及甲宽 ($r=0.66$, $P < 0.05$) 等指标也呈正相关。

表 3 各组拟穴青蟹肌肉氨基酸与肝胰腺氨基酸组成与含量 ($n=6$)Tab. 3 Amino acid composition and content of muscle, hepatopancreas of *S. paramamosain* in each groups

氨基酸 amino acids	肌肉氨基酸含量/(g/100 g) amino acid content in muscle				肝胰腺氨基酸含量/(g/100 g) amino acid content in hepatopancreas			
	青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group	青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group
天冬氨酸 Asp ¹⁾²⁾	0.06±0.01 ^b	0.04±0.00 ^b	0.48±0.03 ^a	0.02±0.00 ^c	0.31±0.02 ^a	0.22±0.01 ^b	0.14±0.01 ^c	0.19±0.05 ^b
苏氨酸 Thr ³⁾	0.36±0.03 ^{ab}	0.43±0.02 ^a	0.29±0.07 ^{bc}	0.23±0.02 ^c	0.25±0.02 ^b	0.18±0.01 ^c	0.16±0.02 ^c	0.33±0.05 ^a
丝氨酸 Ser	0.79±0.04 ^a	0.74±0.03 ^a	0.64±0.03 ^b	0.53±0.02 ^c	0.14±0.01 ^b	0.20±0.01 ^a	0.13±0.04 ^b	0.34±0.05 ^a
谷氨酸 Glu ¹⁾²⁾	0.42±0.05 ^a	0.23±0.01 ^b	0.35±0.03 ^a	0.08±0.00 ^c	0.42±0.01 ^a	0.35±0.02 ^b	0.18±0.02 ^d	0.27±0.02 ^c
甘氨酸 Gly ¹⁾	0.86±0.02 ^a	0.74±0.03 ^c	0.77±0.02 ^b	0.65±0.01 ^d	0.26±0.04 ^a	0.18±0.01 ^b	0.16±0.02 ^b	0.34±0.06 ^a
丙氨酸 Ala ¹⁾	0.55±0.02 ^a	0.40±0.02 ^b	0.57±0.02 ^a	0.35±0.02 ^c	0.36±0.02 ^a	0.24±0.02 ^b	0.22±0.02 ^b	0.33±0.02 ^a
缬氨酸 Val ³⁾	0.33±0.11 ^a	0.13±0.01 ^c	0.16±0.02 ^b	0.07±0.00 ^d	0.42±0.01 ^a	0.28±0.02 ^{ab}	0.25±0.02 ^b	0.26±0.02 ^b
蛋氨酸 Met ³⁾	0.09±0.01 ^a	0.08±0.00 ^b	0.07±0.00 ^c	0.04±0.00 ^d	0.14±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	0.15±0.02 ^a	0.17±0.02 ^a
异亮氨酸 Ile ³⁾	0.13±0.00 ^a	0.09±0.00 ^b	0.02±0.00 ^d	0.04±0.00 ^c	0.38±0.01 ^a	0.16±0.01 ^c	0.17±0.02 ^c	0.25±0.06 ^b
亮氨酸 Leu ³⁾	0.35±0.02 ^b	0.42±0.01 ^a	0.25±0.02 ^c	0.08±0.00 ^d	0.25±0.02 ^c	0.33±0.02 ^b	0.34±0.02 ^b	0.43±0.05 ^a
酪氨酸 Tyr	0.29±0.02 ^a	0.15±0.01 ^c	0.23±0.03 ^b	0.07±0.00 ^d	0.46±0.01 ^a	0.26±0.01 ^c	0.20±0.02 ^d	0.35±0.03 ^b
苯丙氨酸 Phe ³⁾	0.09±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.04±0.01 ^c	0.02±0.00 ^d	0.34±0.02 ^a	0.14±0.01 ^b	0.13±0.02 ^b	0.10±0.00 ^c
赖氨酸 Lys ³⁾	0.18±0.04 ^c	0.26±0.02 ^b	0.15±0.02 ^c	0.34±0.02 ^a	0.15±0.02 ^c	0.27±0.02 ^b	0.26±0.01 ^b	0.35±0.03 ^a
组氨酸 His ³⁾	0.04±0.00 ^b	0.05±0.01 ^a	0.04±0.00 ^b	0.05±0.00 ^{ab}	0.23±0.02 ^b	0.09±0.00 ^c	0.08±0.00 ^d	0.33±0.03 ^a
精氨酸 Arg ¹⁾³⁾	0.76±0.04 ^a	0.68±0.03 ^b	0.58±0.03 ^c	0.46±0.02 ^d	0.47±0.02 ^a	0.39±0.01 ^b	0.37±0.02 ^b	0.09±0.00 ^c
脯氨酸 Pro	0.14±0.01 ^c	0.16±0.01 ^b	0.12±0.01 ^d	0.26±0.01 ^a	0.33±0.02 ^a	0.24±0.02 ^b	0.13±0.00 ^c	0.26±0.02 ^b
∑EAA	2.33±0.26	2.21±0.1	1.6±0.17	1.33±0.06	2.63±0.16	2.02±0.12	1.91±0.14	2.31±0.26
∑TAA	2.65±0.14	2.09±0.09	2.75±0.13	1.56±0.07	1.82±0.11	1.74±0.07	1.07±0.09	1.22±0.15
∑FAA	0.48±0.06	0.27±0.01	0.83±0.06	0.1±0.00	0.73±0.03	0.57±0.03	0.32±0.03	0.46±0.07

注: ∑EAA. 必需氨基酸总量, ∑TAA. 呈味氨基酸总量, ∑FAA. 鲜味氨基酸总量, 1) 呈味氨基酸, 2) 鲜味氨基酸, 3) 必需氨基酸。
Notes: ∑EAA. the total amount of essential amino acids, ∑TAA. the total amount of taste amino acids, ∑FAA. the total amount of flavor amino acids, 1) taste amino acids, 2) flavor amino acids, 3) essential amino acids.

同样, 鹰爪虾常规营养与拟穴青蟹各生长指标也呈正相关。人工配合饲料常规营养与饵料系数 ($r=0.81$, $P<0.01$) 呈正相关, 且除体高外, 人工配合饲料常规营养与拟穴青蟹其他相关生长指标均为负相关。

3 讨论

3.1 不同饵料对拟穴青蟹盐碱水池塘水质指标的影响

藻类繁殖生长和池塘水体污染程度上升, 导

致水体 pH 值也随之上升^[27-29], 矛尾复虾虎鱼组和鹰爪虾组水体中的 pH 值上升较快, 可能是饵料残渣和排泄物污染水体较严重所致, 而青柳蛤组池塘水体 pH 值上升较慢, 可能是贝类具有净化水体的功能^[30]。养殖过程中, 饵料残渣与排泄物长期积累会导致养殖水体氨氮和亚硝酸盐氮含量上升, 进而造成水体污染^[31]。本研究中, 矛尾复虾虎鱼组水体氨氮和亚硝酸盐氮从养殖初期 0.44、0.022 mg/L 上升到养殖末期 0.89、0.050 mg/L, 在各组中最高, 说明投喂矛尾复虾虎鱼对水体污染

表 4 各组拟穴青蟹肌肉与肝胰腺脂肪酸组成与含量 (n=6)

Tab. 4 Composition and content of fatty acids in muscle and hepatopancreas of *S. paramamosain* in each groups %

脂肪酸 fatty acids	肌肉脂肪酸含量/% fatty acid content in muscle				肝胰腺脂肪酸含量/% fatty acid content in hepatopancreas			
	青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group	青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group
C10:0	0.54±0.01 ^b	0.63±0.01 ^a	0.54±0.01 ^b	0.45±0.02 ^e	1.55±0.02 ^a	1.25±0.02 ^b	1.26±0.02 ^b	0.80±0.02 ^c
C11:0					0.80±0.02 ^b	0.75±0.02 ^c	0.77±0.02 ^{bc}	1.37±0.04 ^a
C12:0	1.37±0.04 ^a	1.26±0.03 ^b	0.78±0.03 ^d	0.94±0.02 ^e	11.49±0.04 ^a	8.80±0.02 ^c	6.81±0.03 ^d	9.42±0.04 ^b
C14:0					2.44±0.10 ^a	1.70±0.03 ^b	1.52±0.03 ^b	2.38±0.03 ^a
C15:0	1.67±0.07 ^b	1.46±0.06 ^c	1.34±0.04 ^d	2.46±0.06 ^a	3.45±0.04 ^a	2.83±0.04 ^b	2.45±0.06 ^c	2.85±0.05 ^b
C16:0	21.66±0.59 ^a	18.70±0.03 ^b	16.51±0.24 ^d	17.36±0.12 ^e	24.50±0.19 ^a	22.57±0.11 ^b	22.25±0.12 ^c	21.71±0.04 ^d
C17:0	1.74±0.04 ^b	1.55±0.20 ^b	1.23±0.03 ^c	2.26±0.08 ^a	2.34±0.04 ^a	2.19±0.12 ^a	1.99±0.02 ^b	1.86±0.02 ^c
C17:1	1.46±0.06 ^a	1.25±0.06 ^b	1.18±0.12 ^b	1.53±0.04 ^a	0.86±0.04 ^d	1.33±0.02 ^a	1.15±0.05 ^b	0.91±0.03 ^c
C20:1	1.35±0.02 ^d	1.47±0.02 ^c	1.55±0.03 ^b	1.79±0.02 ^a	1.35±0.03 ^d	1.45±0.03 ^c	1.56±0.03 ^b	1.85±0.04 ^a
C20:2	0.58±0.02 ^a	0.47±0.02 ^b	0.35±0.03 ^c	0.38±0.02 ^e	1.34±0.04 ^d	1.65±0.07 ^c	1.94±0.04 ^b	2.42±0.12 ^a
C24:0	0.43±0.02 ^a	0.34±0.03 ^b	0.34±0.03 ^b	0.25±0.05 ^e	1.66±0.03 ^c	1.90±0.03 ^b	1.54±0.02 ^d	2.34±0.03 ^a
C18:2n6t	0.64±0.05 ^b	0.46±0.04 ^c	0.34±0.02 ^d	1.25±0.02 ^a	0.42±0.04 ^{ab}	0.43±0.01 ^{ab}	0.42±0.01 ^b	0.71±0.03 ^a
C18:2n6c	5.38±0.04 ^b	4.78±0.09 ^c	4.32±0.03 ^d	6.17±0.04 ^a	8.40±0.06 ^b	7.56±0.11 ^c	7.51±0.05 ^c	10.23±0.11 ^a
C18:3n6	0.48±0.03 ^a	0.36±0.02 ^b	0.34±0.01 ^b	0.25±0.02 ^e	0.54±0.02 ^a	0.54±0.03 ^a	0.49±0.02 ^b	0.36±0.02 ^b
C18:3n3	1.66±0.02 ^a	1.36±0.02 ^b	1.25±0.02 ^c	1.14±0.03 ^d	1.81±0.03 ^a	1.45±0.03 ^b	1.35±0.03 ^c	1.26±0.03 ^d
C20:3n6c	1.48±0.12 ^a	1.32±0.05 ^a	1.46±0.03 ^a	1.28±0.06 ^a	3.78±0.07 ^a	3.53±0.03 ^a	3.35±0.06 ^b	3.27±0.21 ^b
C20:4n6	4.61±0.07 ^a	3.73±0.05 ^c	3.22±0.03 ^d	4.44±0.03 ^b	1.64±0.04 ^a	1.43±0.02 ^c	1.26±0.02 ^d	1.57±0.02 ^b
C22:6n3	3.69±0.02 ^b	3.79±0.02 ^a	3.32±0.02 ^c	2.65±0.02 ^d	0.41±0.49 ^a	0.91±0.04 ^a	0.64±0.03 ^a	0.56±0.03 ^a
C20:5n3c	10.31±0.20 ^a	9.59±0.15 ^b	8.62±0.05 ^c	8.38±0.07 ^d	1.70±0.03 ^a	1.43±0.02 ^b	1.31±0.02 ^c	1.13±0.02 ^d
C22:6n3c	12.37±0.03	11.61±0.03	11.31±0.06	9.66±0.12	2.56±0.10 ^a	2.21±0.03 ^b	1.86±0.04 ^c	1.75±0.02 ^d
ΣSFA	30.8±0.87	27.13±0.64	23.28±0.56	27.42±0.43	51.78±0.59	46.42±0.51	43.24±0.44	47.91±0.46
ΣPUFA	40.62±0.58	37.18±0.47	34.18±0.27	35.22±0.41	21.26±0.88	19.49±0.32	18.19±0.28	20.84±0.49
ΣFA	71.42±1.45	64.31±1.11	57.46±0.83	62.64±0.84	73.04±1.47	65.91±0.83	61.43±0.72	68.75±0.95

注: ΣSFA. 总饱和脂肪酸, ΣPUFA. 总多不饱和脂肪酸, ΣFA. 总脂肪酸。

Notes: ΣSFA. total saturated fatty acids, ΣPUFA. total polyunsaturated fatty acids, ΣFA. total fatty acids.

表 5 各组拟穴青蟹血清生化指标分析 (n=6)

Tab. 5 Analysis of serum biochemical indexes of *S. paramamosain* in each group

指标 indexes		青柳蛤组 <i>M. chinensis</i> group	矛尾复虾虎鱼组 <i>S. hasta</i> group	鹰爪虾组 <i>T. curvirostris</i> group	人工配合饲料组 artificial compound feed group
谷草转氨酶(U/L) AST		3.67±0.58 ^b	5.67±0.58 ^{ab}	4.33±1.53 ^b	10.67±1.53 ^a
总蛋白(g/L) TP		33.30±0.10 ^a	30.50±0.20 ^c	27.30±0.20 ^d	31.47±0.15 ^b
谷丙转氨酶(U/L) ALT		2.56±0.02 ^c	3.11±0.03 ^b	3.19±0.03 ^a	2.14±0.02 ^d
总胆固醇(mmol/L) TC		0.23±0.06 ^c	0.57±0.06 ^a	0.34±0.01 ^b	0.37±0.06 ^b
甘油三酯(mmol/L) TG		1.43±0.02 ^b	0.78±0.01 ^c	0.76±0.01 ^d	1.55±0.02 ^a
葡萄糖(mmol/L) Glu		4.47±0.15 ^b	3.43±0.12 ^c	3.10±0.10 ^d	7.23±0.12 ^a
白蛋白(g/L) ALB		2.71±0.01 ^a	2.24±0.03 ^b	2.23±0.01 ^b	2.35±0.02 ^a
球蛋白(g/L) GLOB		27.40±0.10 ^a	22.57±0.15 ^b	22.53±0.06 ^b	24.40±0.10 ^a

较大。随着养殖周期延长, 水体中会产生大量有机物与无机物, 有机物与无机物数量增加需要消

耗水体中大量氧气, 从而导致水体溶解氧含量降低^[32]。因此, 各组池塘水体溶解氧随养殖时间增

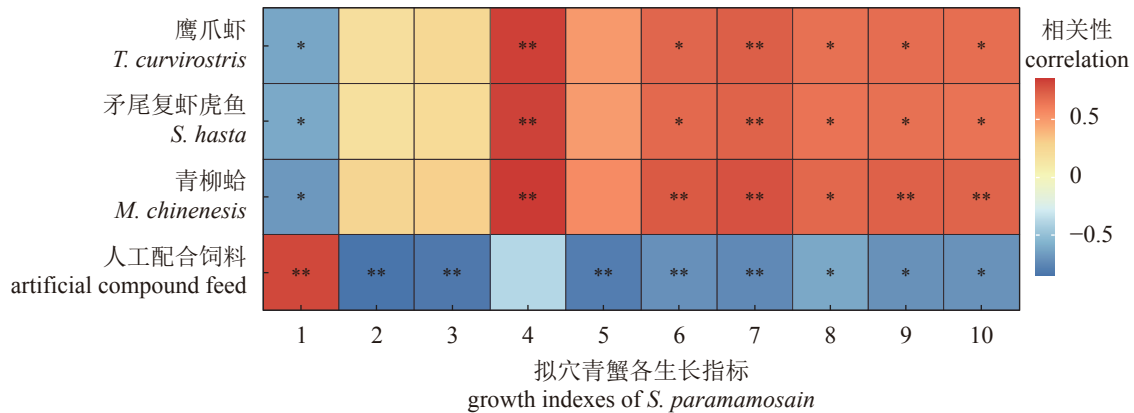


图 5 四种饵料常规营养成分与拟穴青蟹各生长指标的相关性分析

1. 饵料系数, 2. 存活率, 3. 肥满度, 4. 体高, 5. 甲长, 6. 体重, 7. 增重率, 8. 特定生长率, 9. 甲宽, 10. 全甲宽。* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

Fig. 5 Correlation analysis between routine nutrients of four diets and growth indexes of *S. paramamosain*

1. feed conversion ratio, 2. survival rate, 3. condition factor, 4. body height, 5. carapace length, 6. body weight, 7. weight gain rate, 8. special weight gain rate, 9. carapace width, 10. full carapace width. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

加而降低。相关研究也发现池塘水质环境状况对拟穴青蟹的生长与健康有重要影响^[33], 而在养殖过程中保持水质清新的有效方法是合理选用饵料、控制饵料投喂量和定期换水^[34]。从养殖池塘水质指标分析, 人工配合饲料组对水体污染最小, 青柳蛤组次之。

3.2 不同饵料对拟穴青蟹生长指标的影响

生长指标是用来评价饵料中营养成分引起养殖动物机体变化的常用指标^[35], 在拟穴青蟹生长指标(体重、全甲宽、甲宽、甲长与体高)中, 青柳蛤组均优于其他组, 说明青柳蛤的适口性与营养成分有利于拟穴青蟹蜕壳生长。人工配合饲料组在存活率上优于其他组, 可能有两方面原因, 一是人工配合饲料清洁无污染, 不宜携带病菌进入池塘^[36], 另一方面是营养成分丰富, 涵盖拟穴青蟹蜕壳生长所需要的营养成分。青柳蛤组在增重率和特定生长率上优于其他组, 说明在相同的养殖期内, 青柳蛤的适口性和营养成分对拟穴青蟹蜕壳更加有利。肥满度指标反映了拟穴青蟹的胖瘦程度, 本研究发现矛尾复虾虎鱼组肥满度优于其他组, 可能矛尾复虾虎鱼营养成分较为丰富, 有利于青蟹育肥。本研究还发现青柳蛤组在饵料系数上优于其他组, 饵料系数越低说明该饵料的转化效率越高, 使用效果越好^[37]。综合各项生长指标分析发现, 青柳蛤组在体重、形体学指标、增重率与特定生长率上占据优势, 人工配合饲料组在存活率指标上更有优势, 矛尾复虾虎鱼组在

肥满度指标上更具优势。

3.3 不同饵料对拟穴青蟹营养品质的影响

常规营养是衡量水产动物营养摄入和健康状况的一个重要指标^[38]。本研究比较了4种饵料对拟穴青蟹肌肉和肝胰腺常规营养的影响, 发现投喂青柳蛤有利于拟穴青蟹肌肉与肝胰腺水分、粗蛋白等营养物质的增加, 而投喂人工配合饲料则有利于拟穴青蟹肌肉粗脂肪的增加, 说明投喂不同的饵料对拟穴青蟹的营养品质是存在差异的, 与黄爱霞等^[39]的研究一致。必需氨基酸是指人体需要但自身无法合成或合成速率不能满足机体需要的氨基酸^[40], 本研究比较发现, 青柳蛤组中的肌肉与肝胰腺必需氨基酸最高, 说明投喂青柳蛤能满足拟穴青蟹对必需氨基酸的要求。Tabakaeva等^[41]研究同样发现青柳蛤的必需氨基酸含量较高, 蛋白质含量丰富, 可加快新陈代谢并促进青蟹蜕壳生长。各组拟穴青蟹肌肉与肝胰腺的呈味氨基酸(精氨酸、丙氨酸、谷氨酸、甘氨酸与天冬氨酸)和鲜味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸)含量各有优势, 说明各种饵料在风味营养层面较为均衡。脂肪酸的组成可以反映养殖动物的摄食情况和健康及营养水平^[42-43], 多不饱和脂肪酸(PUFA)是维持细胞膜结构和机能完整性的重要成分, 也是评价食物中营养价值的主要指标, 同时对疾病也有较好的免疫调节功能^[44]。本研究发现青柳蛤组在肌肉与肝胰腺中PUFA的含量都比其他饵料组高, 说明投喂青柳蛤可提高拟穴青蟹的营养品质和免

疫力。综合各营养成分分析发现, 投喂青柳蛤等生物饵料与人工配合饲料各有优势, 与徐梦谦等^[45]的研究结果相似, 而现阶段人工配合饲料仍无法完全替代贝类等生物饵料^[46]。

3.4 不同饵料对拟穴青蟹血清生化指标的影响

养殖动物血液经常用来评估其营养、健康状况, 是重要的生理和病理学指标^[47], 相关研究发现饵料种类会对养殖动物的血清生化指标造成不同影响^[48]。姜爱兰等^[49]发现, 血液中蛋白质具有维持血液渗透压、修补机体等功能, 且与养殖动物的免疫功能相关。本研究中青柳蛤组的总蛋白、白蛋白与球蛋白在各组间含量最高, 说明投喂青柳蛤可以使拟穴青蟹将更多蛋白质用于能量代谢, 促进自身生长。谷丙转氨酶和谷草转氨酶在蛋白质、脂肪与糖类转化的过程中起重要作用, 其活性常用来作为养殖动物心脏与肝脏功能的评估因子^[50], 人工配合饲料组和鹰爪虾组在谷草转氨酶和谷丙转氨酶中含量较高, 当含量超过警戒线时可能对肝脏起损害作用。甘油三酯及总胆固醇含量可反映脂类的吸收状况^[51], 人工配合饲料组甘油三酯含量较高, 说明肝脏内脂肪堆积较多, 具有储存能量和保护内脏等功能, 研究结果与苏贵森等^[18]研究一致。葡萄糖是反映养殖动物糖代谢和机体组织细胞活动状态以及内分泌机能的一个重要指标^[52], 人工配合饲料组的葡萄糖含量较高, 青柳蛤组次之, 说明人工配合饲料和青柳蛤有利于拟穴青蟹对糖原吸收。从血清生化指标上来说, 青柳蛤与人工配合饲料各有优势。

3.5 各饵料常规营养与拟穴青蟹各生长指标的相关性分析

本研究发现, 青柳蛤与拟穴青蟹体重等生长指标相关性最高, 且为正相关; 矛尾复虾虎鱼、鹰爪虾与拟穴青蟹的生长指标也为正相关; 而人工配合饲料与拟穴青蟹的生长指标为负相关, 进一步证实投喂青柳蛤对拟穴青蟹的生长效果最佳, 而投喂人工配合饲料对拟穴青蟹生长并不占据优势。拟穴青蟹的生长表明青柳蛤等生物饵料能够较好地满足其生长需求, 可能是天然环境中青蟹以甲壳类、鱼虾类为主要饵料的原因之一^[53]。从拟穴青蟹生长指标分析得出, 人工配合饲料仍然有较大改进空间, 如适口性方面, 研发人员可以从贝类等生物饵料的角度去开发人工配合饲料。

4 结论

北方盐碱水池塘养殖拟穴青蟹, 除了受地理环境特征影响外, 饵料种类对其蜕壳生长与营养品质也具有重要影响。本研究因地制宜地选择了青柳蛤、矛尾复虾虎鱼、鹰爪虾等生物饵料和人工配合饲料, 探究其对池塘水质及拟穴青蟹生长性能、营养品质等影响, 发现青柳蛤在拟穴青蟹生长指标、肌肉水分与粗蛋白、肌肉必需氨基酸、肌肉与肝胰腺脂肪酸及血液蛋白质等方面占据优势, 矛尾复虾虎鱼在拟穴青蟹肥满度、肌肉必需氨基酸、肝胰腺脂肪酸及血液蛋白质等方面占据优势, 人工配合饲料在拟穴青蟹存活率、肌肉粗脂肪、肝胰腺必需氨基酸及血液葡萄糖等方面占据优势。从养殖效果和经济效益来看, 投喂青柳蛤养成的拟穴青蟹具有个体大、营养价值高等特点, 是目前较佳的青蟹饵料; 人工配合饲料是未来发展的趋势, 但仍需对其适口性、营养成分与疾病免疫等方面加以改进, 未来可根据本研究结果继续探究对青蟹盐碱水养殖水体最小影响下的生物饵料与人工配合饲料搭配组合投喂模式。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 刘晓, 陆智斌, 刘磊, 等. 拟穴青蟹软壳蟹与硬壳蟹营养品质和风味差异综合比较分析 [J]. 核农学报, 2021, 35(7): 1627-1638.
Liu X, Lu Z B, Liu L, et al. Comparative analysis of flavor and nutritional qualities between soft shell crab and hard shell crab from *Scylla paramamosain*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(7): 1627-1638 (in Chinese).
- [2] 王桂忠, 李少菁, 陈志刚. 青蟹 (*Scylla* spp.) 养殖现状及拟穴青蟹 (*S. paramamosain*) 种群生物学研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2016, 55(5): 617-623.
Wang G Z, Li S J, Chen Z G. Status of mud crabs (*Scylla* spp.) farming and studies on the population biology of *S. paramamosain*[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 2016, 55(5): 617-623 (in Chinese).
- [3] 林琪. 中国青蟹属种类组成和拟穴青蟹群体遗传多样性的研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
Lin Q. Species composition of genus *Scylla* and genetic diversity of *Scylla paramamosain* (estampador, 1949)

- populations in China[D]. Xiamen: Xiamen University, 2008 (in Chinese).
- [4] 宋振荣. 水产动物病理学研究 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.
- Song Z R. Research on pathology of aquatic animals[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2011 (in Chinese).
- [5] 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. 2020 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- Fishery and Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese).
- [6] 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. 2021 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- Fishery and Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2021[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [7] 毛庆莲, 王胜. 国内盐碱地治理趋势探究浅析 [J]. 湖北农业科学, 2020, 59(S1): 302-306.
- Mao Q L, Wang S. Brief analysis on the trend of improve saline alkali soil in China[J]. Hubei Agricultural Science, 2020, 59(S1): 302-306 (in Chinese).
- [8] 王兴军, 侯蕾, 厉广辉, 等. 黄河三角洲盐碱地高效生态利用新模式 [J]. 山东农业科学, 2020, 52(8): 128-135.
- Wang X J, Hou L, Li G H, *et al.* New models of high-efficient utilization of the Yellow River Delta saline-alkali land[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(8): 128-135 (in Chinese).
- [9] 周冬平, 方伟, 刘磊, 等. 拟穴青蟹北方室内人工育苗技术研究 [J]. 科学养鱼, 2022, 38(1): 66-67.
- Zhou D P, Fang W, Liu L, *et al.* Study on indoor artificial breeding technology of *Scylla paramamosain* in northern China[J]. Scientific Fish Farming, 2022, 38(1): 66-67 (in Chinese).
- [10] 方伟, 刘磊, 常雯, 等. 盐碱水和海水养殖条件下的拟穴青蟹生长和营养成分比较分析 [J]. 水产学报, 2022, 46(11): 2143-2157.
- Fang W, Liu L, Chang W, *et al.* Comparative analysis of growth and nutritional components of *Scylla paramamosain* cultured in saline-alkali water and marine water[J]. Journal of fisheries of China, 2022, 46(11): 2143-2157 (in Chinese).
- [11] 周凡, 彭建, 陈丽芝, 等. 配合饲料和冰鲜饵料对拟穴青蟹养殖的影响 [J]. 渔业研究, 2020, 42(4): 356-365.
- Zhou F, Peng J, Chen L Z, *et al.* Evaluation of the effects of formulated diet and trash fish diet on the aquaculture of mud crab, *Scylla paramamosain*[J]. Journal of Fisheries Research, 2020, 42(4): 356-365 (in Chinese).
- [12] Xu H Y, Wang J T, Han T, *et al.* Effects of dietary phospholipids levels on growth performance, lipid metabolism, and antioxidant capacity of the early juvenile green mud crab, *Scylla paramamosain* (*Estampador*)[J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(2): 513-520.
- [13] 宋扬. 贝类肌肉副肌球蛋白的分布及理化性质 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.
- Song Y. Paramyosin distribution of mollusks muscle protein in different commercial species[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [14] 刘姝, 余勃, 王淑军, 等. 矛尾复虾虎鱼肌肉营养成分分析及营养学评价 [J]. 食品科学, 2010, 31(17): 381-384.
- Liu S, Yu B, Wang S J, *et al.* Composition analysis and nutritional evaluation of *Acanthogobius hasta* muscle[J]. Food Science, 2010, 31(17): 381-384 (in Chinese).
- [15] 张树德. 渤、黄海鹰爪虾生物学的初步研究 [J]. 海洋科学, 1983, 7(5): 33-36.
- Zhang S D. Preliminary study on biology of *Trachypenaeus curvirostris* in Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Ocean Science, 1983, 7(5): 33-36 (in Chinese).
- [16] 黄莹, 李长举, 林志财, 等. 膨化配合饲料和天然饵料对拟穴青蟹育肥的影响 [J]. 当代水产, 2019, 44(7): 90-91.
- Huang Y, Li C J, Lin Z C, *et al.* Effects of expanded compound feed and natural bait on fattening of *Scylla paramamosain*[J]. *Current Fisheries*, 2019, 44(7): 90-91 (in Chinese).
- [17] 黄伟卿, 林小金, 钟传明, 等. 软颗粒饲料对拟穴青蟹成活、生长和肌肉氨基酸组分的影响 [J]. 水产学杂志, 2020, 33(6): 44-49.
- Huang W Q, Lin X J, Zhong C M, *et al.* Effects of soft pelleted diet on survival, growth and muscular amino acid composition of mud crab *Scylla paramamosain*[J]. *中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries*

- Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(6): 44-49 (in Chinese).
- [18] 苏贵森, 肖国强, 蔡景波, 等. 不同饵料对拟穴青蟹生长、酶活性及生化指标的影响 [J]. 海洋湖沼通报, 2022, 44(2): 41-48.
Su G S, Xiao G Q, Cai J B, *et al.* Effects of different diets on growth performance, enzyme activities and biochemical indexes of *Scylla paramamosain*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2022, 44(2): 41-48 (in Chinese).
- [19] Luo J X, Zhou Q C, Zhang X S, *et al.* Dietary zinc levels affects lipid and fatty acid metabolism in hepatopancreas of mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 545: 737274.
- [20] 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.
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 (in Chinese).
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standards determination of moisture in food: GB 5009.3-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standards: determination of ash in food: GB 5009.4-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [23] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of protein in food: GB 5009.5-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [24] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of fat in food: GB 5009.6-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [25] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of fatty acids in food: GB 5009.168-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [26] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of amino acids in food: GB 5009.124-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2017 (in Chinese).
- [27] 苏发文, 高鹏程, 来琦芳, 等. 铜绿微囊藻和小球藻对水环境 pH 的影响 [J]. 中国水产科学, 2016, 23(6): 1380-1388.
Su F W, Gao P C, Lai Y F, *et al.* Effects of *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella pyrenoidosa* on water environment pH[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(6): 1380-1388 (in Chinese).
- [28] Saraswat R, Kouthanker M, Kurtarkar S R, *et al.* Effect of salinity induced pH/alkalinity changes on benthic foraminifera: a laboratory culture experiment[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, 153: 96-107.
- [29] Turner R E. Declining bacteria, lead, and sulphate, and rising pH and oxygen in the lower Mississippi River[J]. *Ambio*, 2021, 50(9): 1731-1738.
- [30] 储忝江, 郭炜, 黄辉, 等. 不同贝类对富营养化水体净化效果的比较 [J]. 浙江农业科学, 2020, 61(11): 2382-

- 2384.
- Chu T J, Guo W, Huang H, *et al.* Comparison of purification effects of different shellfish on eutrophic water[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(11): 2382-2384 (in Chinese).
- [31] Tovar A, Moreno C, Mánuel-Vez M P, *et al.* Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters[J]. *Water Research*, 2000, 34(1): 334-342.
- [32] Sun X H, Sun X Y, Zhu L X, *et al.* Seasonal and spatial variation in abundance of the copepod *Calanus sinicus*: effects of decreasing dissolved oxygen and small jellyfish bloom in northern Yellow Sea, China, nearshore waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 161: 111653.
- [33] 宋立民, 张韦, 孙晓旺, 等. 水产动物养殖尾水管控策略 [J]. *农学学报*, 2019, 9(10): 59-64.
- Song L M, Zhang W, Sun X W, *et al.* Tail water of aquatic animal culture: control strategy[J]. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(10): 59-64 (in Chinese).
- [34] 刘汉堤, 李晓东, 曹萌, 等. 饵料种类对中华绒螯蟹脂肪酸组成及打斗行为的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2020, 35(3): 392-398.
- Liu H D, Li X D, Cao M, *et al.* Effects of different diets on fatty acid composition and fighting behavior of Chinese mitten handed crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2020, 35(3): 392-398 (in Chinese).
- [35] Zuo Z H, Shang B J, Shao Y C, *et al.* Screening of intestinal probiotics and the effects of feeding probiotics on the growth, immune, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fish & shellfish immunology*, 2019, 86: 160-168.
- [36] 杨代勤, 陈芳, 方长琰, 等. 人工配合饲料饲养黄鳝试验 [J]. *淡水渔业*, 2000, 30(6): 34-35.
- Yang D Q, Chen F, Fang C Y, *et al.* Test of culturing *Monopterus albus* with formulated feed[J]. *Freshwater Fisheries*, 2000, 30(6): 34-35 (in Chinese).
- [37] 夏腾, 曲乐天, 陈祥顺, 等. 饵料中不同脂肪源对 3 种食性鱼类生长及肌肉脂肪酸组成的影响 [J]. *饲料研究*, 2022, 45(6): 60-66.
- Xia T, Qu L T, Chen X S, *et al.* Effect of different lipid sources in diet on growth performance and muscle fatty acid composition of three feeding habits fishes[J]. *Feed Research*, 2022, 45(6): 60-66 (in Chinese).
- [38] Jin M, Wang M Q, Huo Y W, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*[J]. *Aquaculture*, 2015, 448: 1-7.
- [39] 黄爱霞, 林锋, 孙丽慧, 等. 野生和养殖拟穴青蟹营养品质比较分析 [J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(6): 139-142.
- Huang A X, Lin F, Sun L H, *et al.* Comparison of nutrient quality of wild and cultured *Scylla paramamosain*[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(6): 139-142(in Chinese).
- [40] 纵伟. 食品科学概论 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2015.
- Zong W. Introduction to food science[M]. Beijing: China Textile Publishing House, 2015 (in Chinese).
- [41] Tabakaeva O V, Tabakaev A V, Piekoszewski W. Nutritional composition and total collagen content of two commercially important edible bivalve molluscs from the Sea of Japan coast[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(12): 4877-4886.
- [42] Jana S N, Garg S K, Patra B C. Effect of inland water salinity on growth performance and nutritional physiology in growing milkfish, *Chanos chanos (Forsskal)*: field and laboratory studies[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, 22(1): 25-34.
- [43] 孔祥会, 王桂忠, 李少青. 低温适应下锯缘青蟹肌肉及其细胞膜脂肪酸组成的变化 [J]. *水产学报*, 2006, 30(5): 603-610.
- Kong X H, Wang G Z, Li S J. Changes of fatty acid composition in muscle and muscle cell membrane of *Scylla serrata* under low temperature adaptation[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(5): 603-610 (in Chinese).
- [44] 孙翔宇, 高贵田, 段爱莉, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(7): 418-423.
- Sun X Y, Gao G T, Duan A L, *et al.* Research progress in polyunsaturated fatty acids[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(7): 418-423 (in Chinese).
- [45] 徐梦谦, 鄂伊田, 张丽, 等. 饵料种类对青蟹生长和营养品质的影响 [J]. *饲料工业*, 2021, 42(6): 41-45.
- Xu M Q, Wu Y T, Zhang L, *et al.* Effects of feed types on growth and nutrient quality of *Scylla paramamosain* [J]. *Feed Industry*, 2021, 42(6): 41-45 (in Chinese).
- [46] 黄莹, 何亮华, 黄贞胜, 等. 青蟹人工配合饲料的营养需求初探 [J]. *当代水产*, 2018, 43(9): 96-97.

- Huang Y, He L H, Huang Z S, *et al.* Preliminary study on nutritional requirements of artificial compound feed for mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. *Current Fisheries*, 2018, 43(9): 96-97 (in Chinese).
- [47] 李弋, 张稳, 金敏, 等. 饲料中维生素 E 水平对三疣梭子蟹幼蟹生长性能、血清非特异性免疫及抗氧化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2015, 27(5): 1431-1439.
- Li Y, Zhang W, Jin M, *et al.* Effects of dietary vitamin E level on growth performance, serum non-specific immune and anti-oxidant indices of juvenile swimming crab (*Portunus tribueculatus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(5): 1431-1439 (in Chinese).
- [48] 夏晓杰, 邬应龙, 冯姣, 等. 两种多糖对齐口裂腹鱼生长、体组成及血清生化指标的影响 [J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 240-246.
- Xia X J, Wu Y L, Feng J, *et al.* Effect of two kinds of polysaccharides on growth performance, body compositions and serum biochemical indices of *Schizothorax prenanti* tchang[J]. *Food Science*, 2015, 36(17): 240-246 (in Chinese).
- [49] 姜爱兰, 王信海, 金倩, 等. 不同底栖饵料对克氏原螯虾生长、消化酶活性、血清生化指标及肌肉营养成分的影响 [J]. *江西农业学报*, 2020, 32(1): 97-101.
- Jiang A L, Wang X H, Jin Q, *et al.* Effects of different benthos baits on growth, activities of digestive enzyme, serum biochemical indicators and muscle compositions of *Procambarus clarkii*[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(1): 97-101 (in Chinese).
- [50] Chaplin A E, Huggins A K, Munday K A. The distribution of L- α -aminotransferases in *Carcinus maenas*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1967, 20(1): 195-198.
- [51] 于海罗, 胡毅, 何艳林, 等. 不同饵料比对黄鳝生长及生理生化指标的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(6): 121-124.
- Yu H L, Hu Y, He Y L, *et al.* Effects of different fish bait on growth and physiological-biochemical index of *Monopterus albus*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(6): 121-124 (in Chinese).
- [52] 王萍, 娄宇栋, 冯建, 等. 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长、血清生化指标及抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2018, 42(5): 733-743.
- Wang P, Lou Y D, Feng J, *et al.* Effect of replacing fish meal with wheat gluten meal on growth, serum biochemical indexes and antioxidant enzyme activity of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 733-743 (in Chinese).
- [53] 黄国强, 曹素会, 刘旭佳, 等. 拟穴青蟹对饵料中稳定同位素富集效应的初步研究 [J]. *南方水产科学*, 2021, 17(3): 19-26.
- Huang G Q, Cao S H, Liu X J, *et al.* A preliminary study on enrichment of stable isotope from diets by mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(3): 19-26 (in Chinese).

Comparative analysis of growth, nutrition and serum biochemical indexes of *Scylla paramamosain* under different feeding conditions in saline-alkali pond

ZHOU Dongping¹, LIU Lei^{1*}, FU Yuanyuan², FANG Wei¹, WANG Chaoyue¹, WANG Chunlin¹

(1. Ocean College, Ningbo University, Ningbo 315832;

2. Ningbo Ocean Research Institute, Ningbo 315832)

Abstract: In order to explore the effects of feeding different diets on pond water quality, growth, nutritional quality and serum biochemical indexes of *Scylla paramamosain* in saline-alkali water pond, this experiment was set up with three biological bait groups and one artificial compound feed group, namely, *Mactra chinensis*, *Synechogobius hasta* and *Trachypenaeus curvirostris*. Three replicates were set in each group, and the experimental period was 4 months. The changes of pond water quality in each group were analyzed, and the growth, nutrition and serum biochemical indexes of crabs in each group were compared by One-Way ANOVA. The results show the following. The differences of water temperature, salinity and pH in each group were small, but the differences of dissolved oxygen, ammonia nitrogen and nitrite nitrogen were large. Among them, dissolved oxygen in the *S. hasta* group decreased from 11.5 to 9.2 mg/L, while ammonia nitrogen and nitrite nitrogen increased from 0.44 mg/L and 0.022 mg/L at the beginning of culture to 0.89 mg/L and 0.050 mg/L at the end of culture, respectively. The crab weight (334 g), weight gain rate (332.7%) and specific growth rate (0.076%/d) were significantly higher in the *M. chinensis* group than in the other groups. The survival rate of artificial compound feed group was the highest, reaching 66.67%. The fatness (0.221 g/cm³) in the group of *S. hasta* was significantly higher than that in other groups. The content of valine, methionine, isoleucine and phenylalanine in the essential amino acids of crab muscles and the total hepatopancreas taste-presenting amino acids and total fresh taste amino acids in the *M. chinensis* group were the highest among all groups. The contents of threonine, leucine, lysine and histidine in the essential amino acids of hepatopancreas in the artificial diet group were the highest among the three groups. The total amount of savory amino acids and umami amino acids in muscle of *T. curvirostris* group were the highest among all groups. The contents of saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids and fatty acids in muscle and hepatopancreas were the highest in the *M. chinensis* group. The total protein content in the *M. chinensis* group was significantly higher than that in other groups. The total cholesterol in the *S. hasta* group was significantly higher than that in other groups. The aspartate aminotransferase, triglyceride and glucose in the artificial compound feed group were significantly higher than those in other groups. Correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between the routine nutrients of biological diets such as *M. chinensis* and the growth indexes of *S. paramamosain*. The results of the study showed that the *M. chinensis* group had significant advantages in growth, nutrition and serum protein indexes, which could be used as palatable diet for breeding *S. paramamosain* in saline-alkali ponds. This study provides data reference for the cultivation and popularization of *S. paramamosain* in saline-alkali water ponds in northern China.

Key words: *Scylla paramamosain*; water quality; growth; nutrition; serum biochemical indexes; bait; saline-alkali pond

Corresponding author: LIU Lei. E-mail: 769368829@qq.com

Funding projects: National Key R & D Program of China (2019YFD0900405); Zhejiang Agricultural Major Technology Collaborative Promotion Plan (2020XTTGSC03)