

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2023.0109

不同池塘混养品种对拟穴青蟹生长、体成分和免疫性能的影响

周冬平¹, 刘磊^{1*}, 方伟¹, 黄辛联¹, 付媛媛², 徐永健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: 为探讨不同混养品种对拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)生长、体成分、免疫性能及水质的影响, 分别设置拟穴青蟹单养、拟穴青蟹-日本对虾(*Penaeus japonicus*)、拟穴青蟹-日本真鲷(*Lateolabrax japonicus*)和拟穴青蟹-方形马珂蛤(*Macrura veneriformis*) 4种养殖方式, 开展90 d的养殖试验。结果显示: 各组盐度在同一采样时间点均无显著差异; 拟穴青蟹-日本对虾组和拟穴青蟹-日本真鲷组的池塘水体 pH 在第60、90 d显著高于其他组($P<0.05$), 氨氮在同一采样时间点均显著高于其他组($P<0.05$); 拟穴青蟹单养组溶解氧在所有时间点均显著高于其他组($P<0.05$); 拟穴青蟹-日本真鲷组亚硝酸盐氮、硫化物在所有时间点均显著高于其他组($P<0.05$); 拟穴青蟹-方形马珂蛤组和拟穴青蟹单养组体质量、甲宽在第90 d显著高于其他组($P<0.05$), 甲长、体高在第60、90 d显著高于其他组($P<0.05$), 增重率、特定生长率在第60、90 d显著高于其他组($P<0.05$), 肌肉水分、灰分、粗蛋白在各采样时间点均显著高于其他组($P<0.05$), 且存活率、平均产量均显著高于其他组($P<0.05$); 拟穴青蟹-方形马珂蛤组肝胰腺粗蛋白在各采样时间点显著高于其他组($P<0.05$), 肝胰腺粗脂肪在第60、90 d显著高于其他组($P<0.05$), 血淋巴酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)在各采样时间点均显著高于其他组($P<0.05$); 拟穴青蟹-日本真鲷组血淋巴谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)在第30 d显著高于其他组($P<0.05$)。表明从拟穴青蟹生长、营养品质、免疫性能综合考虑, 拟穴青蟹与方形马珂蛤混养效果最佳。

关键词: 拟穴青蟹; 混养; 水质; 生长; 体成分; 免疫功能

中图分类号: S968.25

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 05-0097-10

拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)隶属于甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、梭子蟹科(Portunidae)、青蟹属(*Scylla*), 主要分布于印度洋、日本、南非、东南亚各国和我国东南沿海等地区^[1-4]。近30年来, 拟穴青蟹养殖在我国南方沿海地区发展迅猛^[5], 但是产量仍无法满足日益增长的市场需求, 价格居高不下^[6]。鉴于南方沿海地区拟穴青蟹养殖容量接近饱和, 急需开拓新的养殖区域。江苏、山东等长江以北沿海地区水源充沛、气候适宜、饵料充足, 适合拟穴青蟹的养殖^[7-8]。其中山东东营市的黄河三角洲东临渤海, 是中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)

和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)的重要养殖区域^[9-12], 也是拟穴青蟹推广养殖的首选地^[13-14]。但是目前尚缺乏适用于北方环境条件下的拟穴青蟹养殖技术与模式。

目前, 拟穴青蟹的养殖方式包括池塘养殖(混养、单养)、笼养以及室内工厂化养殖等^[15-16], 其中池塘混养是我国拟穴青蟹的主要养殖方式^[17]。有研究表明^[18-22], 养殖方式会影响水产动物的生长、营养品质与免疫功能, 进而影响水产动物的健康状况。因此, 探讨不同养殖方式对拟穴青蟹生长、体成分与免疫性能的影响具有重要意义。

收稿日期: 2023-01-27.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家重点研发计划课题(2019YFD0900405)。

第一作者: 周冬平(1992-), 男, 江西赣州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海水蟹繁育与健康养殖。E-mail: 1871236773@qq.com

*通信作者: 刘磊(1984-), 男, 山东泰安人, 特聘研究员, 主要研究方向: 海水蟹繁育与健康养殖。E-mail: liulei1@nbu.edu.cn

本研究以黄河三角洲地区池塘为养殖实验场地,选用池塘混养方式,分别设置了适应北方地区养殖的日本对虾(*P. japonicus*)、日本真鲈(*L. japonicus*)和方形马珂蛤(*M. veneriformis*)与拟穴青蟹混养,比较分析4种养殖方式对拟穴青蟹生长、体成分及免疫性能的影响,以期为黄河三角洲地区拟穴青蟹的养殖提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验池塘

试验于2021年5月1日至7月29日在东营市海跃水产科技有限公司室外养殖土池进行。试验海水池塘共12口,呈长方形,每口池塘面积为3335 m²,水深1.6 m。池塘呈南北走向,一字型排列,南边为进水口,北边为排水口,进排水口围网使用120目过滤筛网。

1.2 苗种来源

拟穴青蟹幼蟹一期(C1期)苗和日本对虾苗购自东营市三角洲养殖繁育有限公司,日本真鲈苗购自山东稷鑫水产养殖有限公司,方形马珂蛤苗购自山东华春渔业有限公司。

1.3 试验设置与样品采集

试验共设置4种养殖方式:拟穴青蟹单养(A组)、拟穴青蟹-日本对虾混养(B组)、拟穴青蟹-日本真鲈混养(C组)、拟穴青蟹-方形马珂蛤混养(D组)。每组设3个重复(一口池塘为一个重复)。放苗前使用漂白粉对池塘消毒,并设置塑料薄膜围挡,以防拟穴青蟹逃逸。选取肢体完整、活力好、健康的C1期拟穴青蟹幼蟹(0.18±0.01)g、日本对虾苗(0.90±0.15)cm、日本真鲈苗(6.30±0.57)cm和方形马珂蛤苗(1.80±0.05)cm。设置拟穴青蟹单养的放养密度1.5 ind·m⁻²,蟹虾、蟹鱼与蟹贝混养的放养密度3 ind·m⁻²。放苗时间2021年5月1日,放苗时各池塘水体盐度27‰、水温18℃、pH 7.6。拟穴青蟹饵料为宁波天邦饲料科技有限公司生产的人工配合饲料,各组拟穴青蟹的日投喂量按拟穴青蟹体质量的10%~15%投喂,并随拟穴青蟹生长状态及时调整,每天8:00和17:00各投喂1次;日本对虾的配合饵料为江门市新健饲料有限公司生产,日投喂量为虾体质量的5%,每天8:00和17:00各投喂1次;日本真鲈配合饵料为福建天马科技集团

有限公司生产,日投喂量为鱼体质量的20%,每天8:00、12:00、17:00各投喂1次;方形马珂蛤主要摄食水体和底泥中的有机碎屑,养殖期间不投喂。

试验期间每隔30 d采集水样和拟穴青蟹样本,分别在池塘进水口、中部及出水口取样,每个点位取6个平行。每隔30 d在各试验池塘随机捞取30只拟穴青蟹。将拟穴青蟹放于冰上麻醉,待拟穴青蟹失去知觉后,使用抗凝剂润洗过的2.0 mL一次性无菌注射器从拟穴青蟹甲壳背部基部刺入心脏,抽取1.5 mL血淋巴样品。将血淋巴与抗凝剂1:1混匀,4℃下8000 r·min⁻¹离心10 min,取上清液用于免疫酶活性指标测定。解剖获得肌肉与肝胰腺,经液氮速冻后置于-80℃冰箱保存,用于体成分分析。

1.4 水质调控

每隔7~10 d更换1/3池水,定期使用少量生石灰净化水质,调节pH。根据天气和养殖动物的摄食和活动情况适时增氧。使用微生态制剂调节水质,如EM菌、芽孢杆菌改进剂。

1.5 蟹贝混养布局

池塘消毒半月后,暂不进水,将贝苗与底泥混合,再均匀投向池塘底部,贝苗投放后在池底铺设一层0.8 cm×0.8 cm隔网。隔网由若干块子网拼接而成,每个子网通过柱桩固定在池塘底部。隔网铺设后再进水,最后投放拟穴青蟹苗。

1.6 水质指标测定

采用多功能水质检测仪(山东霍尔德电子科技有限公司)测定养殖水体的盐度、pH和溶解氧(DO),水体的氨氮(NH₄⁺-N)检测参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)测定,亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)测定采用分光光度法^[23-24],硫化物检测采用亚甲基蓝分光光度法^[25]。

1.7 生长、体成分与免疫指标测定

用电子天平(广东香山衡器集团股份有限公司)称拟穴青蟹的体质量(精确到0.01 g),用游标卡尺(宁波得力工具有限公司)测量拟穴青蟹的甲宽、甲长、体高等指标。计算拟穴青蟹的增重率、特定生长率和肥满度^[26-28],计算公式为:

$$R_{WGR} = (W_f - W_i) / W_i \times 100\%,$$

$$R_{SGR} = (\ln W_f - \ln W_i) / T \times 100\%,$$

$$R_{CF} = W_f / L^3 \times 100,$$

式中: R_{WGR} 为拟穴青蟹增重率, %; W_f 为拟穴青蟹最终体质量, g; W_i 为拟穴青蟹初始体质量, g; R_{SGR} 为拟穴青蟹特定生长率, $\% \cdot d^{-1}$; T 为养殖时间, d; R_{CF} 为拟穴青蟹肥满度, $g \cdot cm^{-3}$; L 为拟穴青蟹甲宽, cm.

拟穴青蟹肌肉和肝胰腺的水分含量测定参照 GB5009.3—2016^[29], 灰分含量测定参照 GB5009.4—2016^[30], 粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5—2016^[31], 粗脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016^[32]. 血淋巴碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、谷草转氨酶(GOT)以及谷丙转氨酶(GPT)分别采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定(按说明书进行操作).

1.8 数据分析

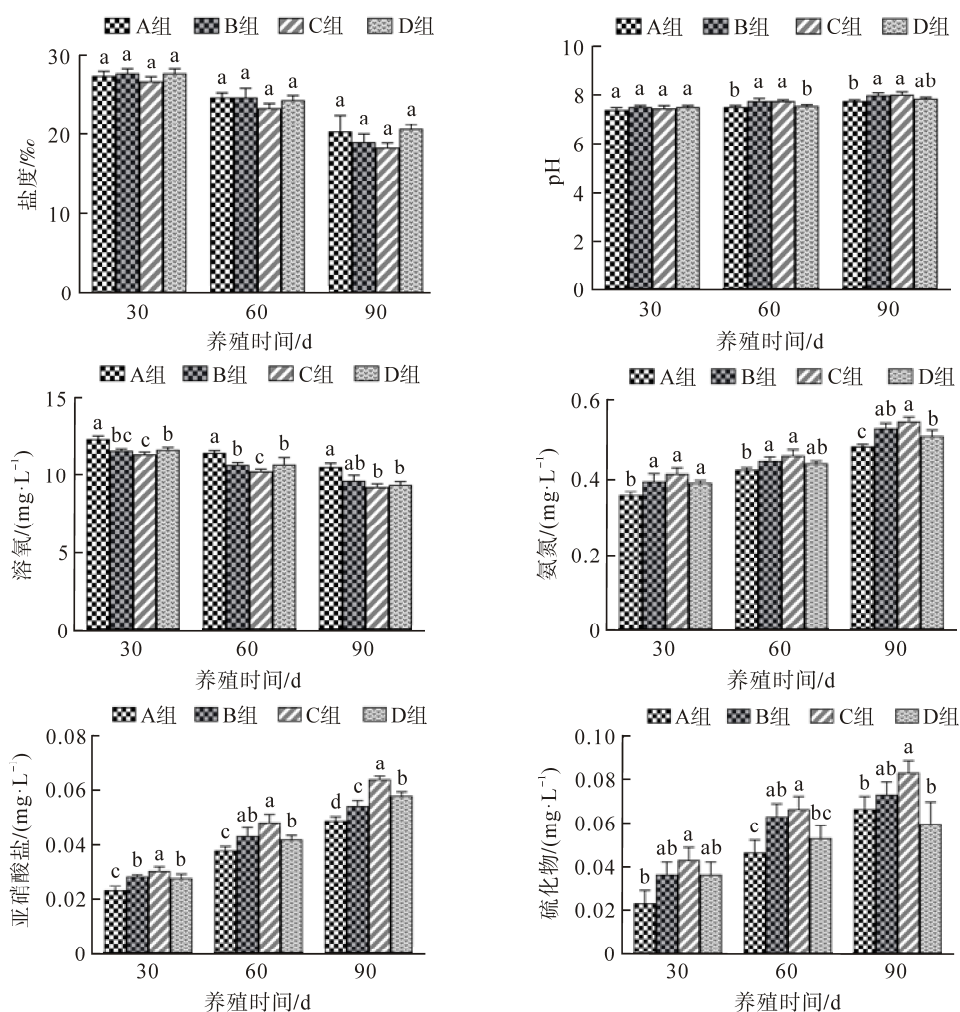
采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析, 用平均值 $\pm$ 标准误表示. 用单因素方差分析(one-way ANOVA)

以及 Duncan's 多重比较进行数据差异的显著性分析, $P < 0.05$ 为显著差异. 采用 GraphPad Prism 9.3.0 软件制图.

2 结果

2.1 混养品种对养殖水体水质的影响

试验结果表明, 不同池塘养殖方式不会显著影响水体盐度, 但对其他水质指标影响显著(图 1). 拟穴青蟹与日本对虾和日本真鲈混养 60 d 后会显著导致水体 pH 显著升高($P < 0.05$), 但与方形马珂蛤混养不会显著改变水体的 pH. 除了与日本对虾混养第 90 d 水体的 DO 水平恢复到拟穴青蟹单养水平, 其他 3 种混养方式都显著降低水体的 DO 水平($P < 0.05$). 同样, 除了方形马珂蛤与拟穴青蟹混养第 60 d 与拟穴青蟹单养的水质氨氮水平无显著差异外,



注: 不同的小写字母表示同一时间点不同试验组之间差异显著($P < 0.05$), 下同.

图1 不同混养品种对池塘水质指标的影响

其他 3 种混养方式都显著提高了水体的氨氮和亚硝酸盐氮水平($P<0.05$). 此外, 日本对虾或日本真鲈混养会显著提高水体的硫化物水平($P<0.05$), 但与方形马珂蛤混养水体的硫化物水平未见显著提高.

2.2 混养品种对拟穴青蟹生长指标的影响

混养品种对拟穴青蟹生长指标的影响结果见图 2 和表 1. 从图 2 可知, 各组拟穴青蟹体质量、甲宽、甲长与体高在第 30 d 无显著差异, D 组拟穴青蟹体质量、体高在第 90 d 显著高于其他组($P<0.05$). D 组与 A 组拟穴青蟹的甲宽、甲长在第 60、90 d 显著高于其他组($P<0.05$). 从表 1 可知, D 组拟

穴青蟹的增重率、特定生长率在第 30 d 显著高于其他组($P<0.05$), 同时肥满度在第 60、90 d 显著高于其他组($P<0.05$). D 组与 A 组的增重率、特定生长率在第 60、90 d 显著高于其他组($P<0.05$).

2.3 混养品种对拟穴青蟹体成分的影响

图 3 和图 4 为不同混养品种对拟穴青蟹肌肉体成分和肝胰腺体成分的影响. 从图 3 可知, D 组拟穴青蟹肌肉水分在同一采样时间点显著高于其他组($P<0.05$), 该组拟穴青蟹水分含量最高, A 组拟穴青蟹次之, B 组和 C 组拟穴青蟹水分含量较低. 同时, D 组拟穴青蟹与 A 组拟穴青蟹肌肉灰分、粗蛋

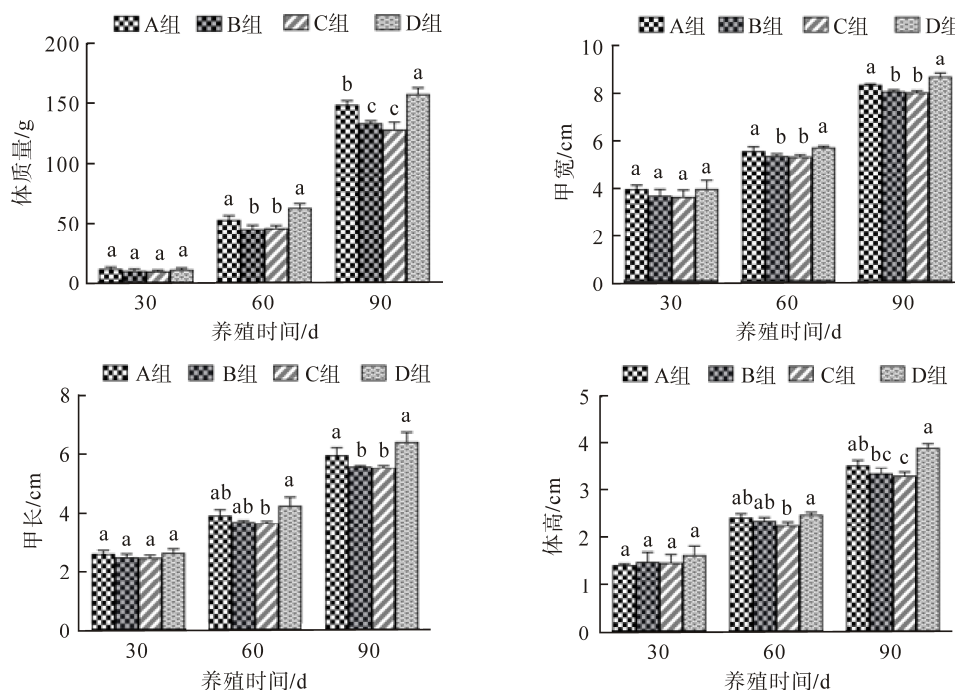


图 2 不同混养品种对拟穴青蟹形体学指标的影响

表 1 不同混养品种对拟穴青蟹增重率、特定生长率与肥满度的影响

指标	时间/d	A 组	B 组	C 组	D 组
增重率/%	30	62.67±1.53 ^a	60.67±1.53 ^a	59.00±1.00 ^a	62.33±1.53 ^a
	60	312.67±1.15 ^b	256.33±1.15 ^c	251.67±1.53 ^d	314.67±1.15 ^a
	90	856.33±3.06 ^b	814.33±2.52 ^c	789.00±2.65 ^d	881.33±4.04 ^a
特定生长率/%	30	0.136±0.002 ^a	0.136±0.001 ^a	0.136±0.001 ^a	0.136±0.002 ^a
	60	0.092±0.001 ^b	0.087±0.002 ^c	0.084±0.001 ^d	0.097±0.001 ^a
	90	0.074±0.001 ^b	0.072±0.001 ^c	0.071±0.001 ^d	0.079±0.002 ^a
肥满度/(g·cm ⁻³)	30	23.033±0.404 ^a	20.733±0.981 ^b	19.067±0.577 ^c	23.470±0.548 ^a
	60	22.800±0.872 ^b	20.500±0.819 ^c	18.867±0.306 ^d	24.500±0.520 ^a
	90	20.923±0.317 ^b	19.790±0.106 ^c	17.940±0.239 ^d	23.067±0.465 ^a

注: 同一行不同上标字母表示组间有显著性差异($P<0.05$), 下同.

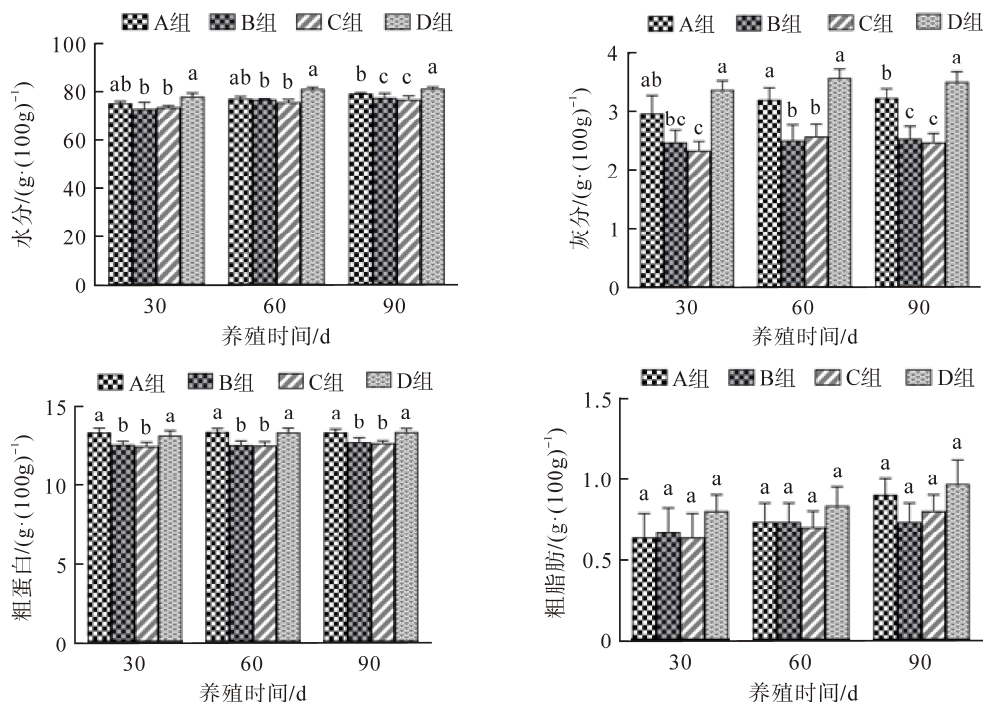


图3 不同混养品种对拟穴青蟹肌肉体成分的影响

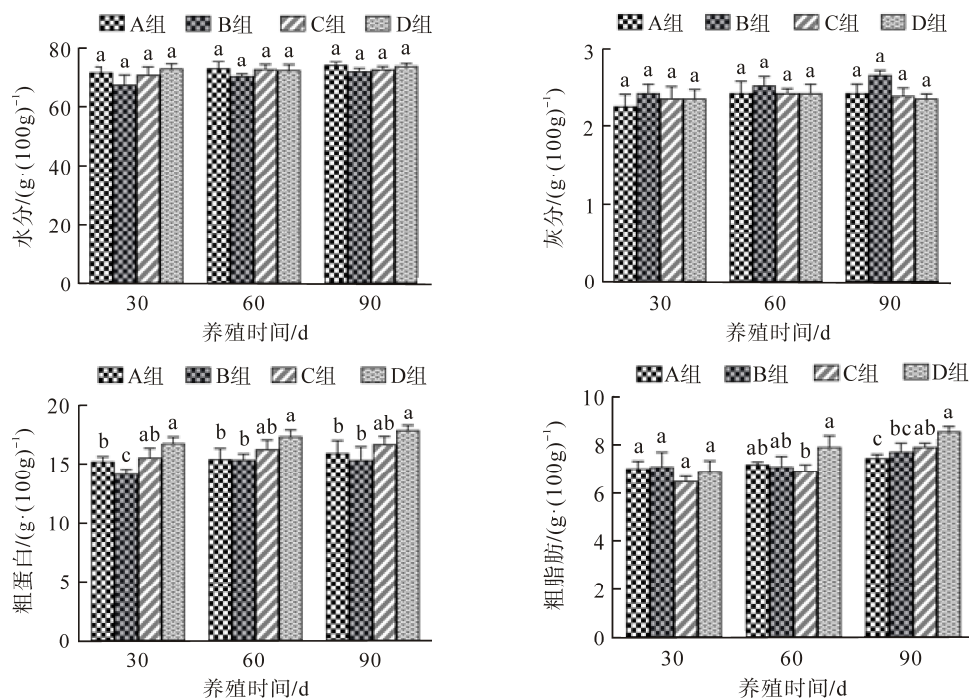


图4 不同混养品种对拟穴青蟹肝胰腺体成分的影响

白在同一采样时间点显著高于其他组($P<0.05$). 各组肌肉粗脂肪在同一采样时间点无显著差异. 从图4可知, 各组肝胰腺水分、灰分在同一采样时间点均无显著差异. D组拟穴青蟹肝胰腺粗蛋白在同一采样时间点显著高于其他组($P<0.05$). 各组肝胰

腺粗脂肪在第30d无显著差异, D组拟穴青蟹肝胰腺粗脂肪在第60、90d显著高于其他组($P<0.05$).

2.4 混养品种对拟穴青蟹免疫性能的影响

表2为不同混养品种对拟穴青蟹血淋巴免疫性能的影响. 从表2可知, D组拟穴青蟹血淋巴

ACP 在同一采样时间点显著高于其他组($P<0.05$), AKP 在第 30 d 显著高于其他组($P<0.05$); B 组和 D 组拟穴青蟹血淋巴 AKP 在第 60 d 显著高于其他组($P<0.05$), 而在第 90 d 各组无显著差异. C 组拟穴青蟹血淋巴 GOT 在第 30、60 d 显著高于其他组($P<0.05$), A 组和 C 组拟穴青蟹血淋巴 GOT 第 90 d 显著高于其他组($P<0.05$). C 组拟穴青蟹血淋巴 GPT 第 30、90 d 显著高于其他组($P<0.05$), A 组和 C 组拟穴青蟹血淋巴 GPT 第 60 d 显著高于其他组($P<0.05$).

2.5 各混养品种存活率与产量分析

表 3 为各组拟穴青蟹放苗数量、存活率与平均产量. 从表 3 可知, 拟穴青蟹与日本对虾和日本真鲈混养会显著降低其存活率和产量($P<0.05$), 但与方形马珂蛤混养不仅不影响拟穴青蟹的存活率,

而且显著提高拟穴青蟹的产量($P<0.05$). 此外, 在混养物种中, 拟穴青蟹与日本真鲈混养的存活率和产量均显著高于其他混养物种(表 4).

3 讨论

文献[33]研究发现, 水体理化指标影响甲壳类动物的存活、生长、代谢及免疫性能. 养殖中后期, B 组和 C 组产生的饵料残渣和排泄物造成池塘底部恶化, 有机质含量增多, 进而引发大量藻类等植物繁殖, 消耗池水中二氧化碳, 导致池塘 pH 上升^[34-35]. 氨氮与亚硝酸盐氮是养殖水体的重要污染物^[36], 养殖期间 C 组氨氮与亚硝酸盐氮含量在 4 种养殖模式中最高, 超过我国《渔业水质标准》(GB 11607—1989)中规定的养殖水体氨氮质量浓度 $0.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和亚硝酸盐氮质量浓度 $0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 标准.

表 2 不同混养品种对拟穴青蟹血淋巴免疫性能的影响

指标/($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	时间/d	A 组	B 组	C 组	D 组
酸性磷酸酶	30	7.96 ± 0.54^c	9.23 ± 0.11^b	7.33 ± 0.28^c	10.73 ± 0.25^a
	60	8.40 ± 0.21^c	9.81 ± 0.12^b	8.14 ± 0.17^c	11.03 ± 0.17^a
	90	8.59 ± 0.06^d	9.99 ± 0.12^b	8.70 ± 0.06^c	10.88 ± 0.02^a
碱性磷酸酶	30	11.15 ± 0.81^c	12.69 ± 0.22^b	10.32 ± 0.56^c	13.07 ± 0.24^a
	60	11.89 ± 0.11^b	12.95 ± 0.07^a	11.60 ± 0.39^b	13.29 ± 0.33^a
	90	12.13 ± 0.49^a	12.78 ± 0.39^a	12.46 ± 0.41^a	13.00 ± 0.12^a
谷草转氨酶	30	10.21 ± 0.12^b	7.08 ± 1.01^c	12.27 ± 0.25^a	7.92 ± 0.88^c
	60	10.97 ± 0.17^b	8.08 ± 0.17^d	12.63 ± 0.15^a	8.47 ± 0.15^c
	90	11.77 ± 0.28^a	8.76 ± 0.10^b	12.90 ± 0.10^a	8.80 ± 0.10^b
谷丙转氨酶	30	2.70 ± 0.10^b	2.40 ± 0.10^c	3.67 ± 0.15^a	2.37 ± 0.12^c
	60	2.83 ± 0.06^a	2.53 ± 0.06^b	3.47 ± 0.15^a	2.57 ± 0.21^b
	90	2.93 ± 0.06^b	2.63 ± 0.06^c	3.67 ± 0.06^a	2.60 ± 0.20^c

表 3 各组拟穴青蟹放苗数量、存活率与平均产量

指标	A 组	B 组	C 组	D 组
放苗量/只	5 000	5 000	5 000	5 000
存活率/%	45 ± 1.53^a	39 ± 1.73^b	37 ± 1.15^b	46 ± 0.58^a
平均产量/kg	337.09 ± 7.93^b	260.98 ± 8.42^c	241.15 ± 6.15^d	365.13 ± 7.35^a

表 4 日本对虾、日本真鲈与方形马珂蛤放苗数量、存活率与平均产量

指标	物种		
	日本对虾	日本真鲈	方形马珂蛤
放苗量/只	5 000	5 000	5 000
存活率/%	58 ± 4^c	85.7 ± 1.53^a	80.7 ± 1.53^b
平均产量/kg	59.3 ± 1.15^b	1459.3 ± 12.7^a	35.4 ± 0.2^c

导致C组氨氮与亚硝酸盐氮含量过高的原因可能是养殖期间鱼蟹的排泄物、残饵、鱼蟹的残骸分解所致。当氨氮与亚硝酸盐氮含量达到一定浓度后会影 响拟穴青蟹的生长及其免疫性能,严重时会造成拟穴青蟹的死亡^[37-38]。养殖期间,各组DO含量存在差异,原因可能与水生动物的活动有关,A组物种单一,且养殖数量较少,因此该组池塘水体耗氧量较低。虽然各组水体DO含量均在养殖水体的合理范围内,但随养殖期延续而下降。相关研究发现^[39-40],水体DO含量下降会使甲壳类动物存活率降低、生长减缓和饲料消耗减少。按照我国《渔业水质标准》(GB 11607—1989)规定:水体中硫化氢含量达 $0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 就可影响水产动物的生存和生长,水体硫化氢含量安全应在 $0.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。各组池塘水体硫化氢含量虽未达到 $0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,但在养殖后期C组水体硫化氢含量已经超过 $0.08\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且各组池塘水体硫化氢含量均已超过安全养殖范围,硫化物对水产动物具有较强的毒性。已有研究表明^[41-42],硫化物过量会导致养殖动物免疫力减弱,有致死风险。

养殖环境差异对动物生长有显著影响^[43],不同养殖方式各有优势,单养具有水体空间大、无竞争者与患病率低的优势,而混养可充分利用生物间的互补性与食物链的相互促进,最大限度利用系统中营养物质,从而实现养殖效益最大化^[44-45]。本研究拟穴青蟹体质量从高到低依次为D组、A组、B组、C组,其中D组拟穴青蟹体质量达 $(158\pm 5.29)\text{ g}$,说明拟穴青蟹与方形马珂蛤混养有利于拟穴青蟹的蜕壳生长,表明养殖方式的差异会显著影响青蟹的生长。方形马珂蛤为滤食习性动物,主要以浮游藻类及底栖有机碎屑为食^[46],能够有效防止池塘藻类大量繁殖,并及时清除剩余残饵,为养殖池塘提供生态健康的水体环境,进而促进拟穴青蟹蜕壳生长。而日本真鲈性情凶猛,以鱼虾为食^[47],存在与拟穴青蟹竞食,进而影响拟穴青蟹的进食与蜕壳生长。

水产动物体成分的变化受到多种环境因子的影响,其中养殖方式是影响因素之一^[48]。蛋白质和脂肪作为肌肉与肝胰腺中重要的营养成分,受到养殖动物的生长阶段、饲料与养殖环境等因素的影响^[49-50]。肌肉与肝胰腺是拟穴青蟹主要可食部位,

也是重要储存营养物质部位^[51]。本研究发现,养殖方式的差异显著影响拟穴青蟹肌肉与肝胰腺体成分,D组拟穴青蟹的肌肉水分、灰分、粗蛋白与粗脂肪均高于其他组,原因可能是拟穴青蟹和方形马珂蛤两者在摄食方面不存在竞争关系,拟穴青蟹有充足的饵料供应;同时方形马珂蛤主要摄食沉积物中的有机质与有机碎屑,有利于清除残饵,避免水体污染,由此形成一个共生互补、共同生长,进而达到生态平衡的健康养殖模式。B组和C组拟穴青蟹体成分含量低是由于鱼虾与拟穴青蟹在摄食与生存方面存在竞争关系,部分食物被鱼虾摄食,因此这2组拟穴青蟹的体成分含量普遍较低。

免疫指标通常反映动物的新陈代谢、健康状态及其对养殖环境的适应程度^[52]。ACP、AKP、GOT、GPT是衡量甲壳类动物免疫性能的4个重要指标^[53-55]。甲壳类动物通过体液中免疫因子或协助免疫细胞发挥免疫作用^[56]。ACP主要功能是释放动物血淋巴免疫系统,并对入侵物种进行吞噬与围堵^[57]。AKP能提高动物对体内物质的摄取与转运能力,破坏侵入体内的物质,提高有机体自我防御功能^[58]。本研究中D组拟穴青蟹ACP与AKP显著高于其他组,说明拟穴青蟹与方形马珂蛤混养有利于提高拟穴青蟹的耐受性和抗病能力。GOT与GPT广泛存在于动物组织与血液中,在机体蛋白质代谢中发挥着重要作用^[59]。C组拟穴青蟹中GOT与GPT显著高于其他组,GOT与GPT含量高的原因可能有两方面:(1)拟穴青蟹与日本真鲈混养状态下在摄食、抢占领地等方面存在竞争关系。(2)二者混养造成水体污染较重。综合4种免疫酶活性分析得出,D组拟穴青蟹的免疫力高于其他组。

从整体经济效益分析,C组拟穴青蟹效益最高,D组次之,B组最低。从拟穴青蟹单个物种分析,池塘面积和投放密度相同情况下,D组拟穴青蟹的存活率、产量均高于其他组,说明养殖方式的差异会显著影响拟穴青蟹的存活与产量,拟穴青蟹与方形马珂蛤混养在摄食、生存方面不存在相互竞争,有利于减少相互攻击与打斗,从而提高存活率与产量。拟穴青蟹与方形马珂蛤混养具有合理利用养殖水体空间、充分发挥混养物种共生互利的优势,降低成本,增加效益,保持生态平衡和水质稳定,从而降低发病率,为高产稳产奠定基础。

4 结语

拟穴青蟹与方形马珂蛤混养可控制水体氨氮、亚硝酸盐氮、硫化物等有害物质含量的快速上升,且有利于提高拟穴青蟹的生长、存活与产量,同时拟穴青蟹的肌肉灰分、粗蛋白与肝胰腺粗蛋白、粗脂肪含量也高于其他组,而且拟穴青蟹血淋巴ACP、AKP含量高于其他组。因此,与其他养殖方式相比,拟穴青蟹与方形马珂蛤混养在拟穴青蟹生长、营养品质及免疫功能方面占据优势,表明拟穴青蟹与方形马珂蛤混养效果最佳,优先推荐作为拟穴青蟹北方养殖推广模式。

参考文献:

- [1] Lin Z D, Hao M L, Huang Y S, et al. Cloning, tissue distribution and nutritional regulation of a fatty acyl Elov14-like elongase in mud crab, *Scylla paramamosain* (Estampador, 1949)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2018, 217:70-78.
- [2] Kong T T, Gong Y, Liu Y, et al. Scavenger receptor B promotes bacteria clearance by enhancing phagocytosis and attenuates white spot syndrome virus proliferation in *Scylla paramamosian*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 78:79-90.
- [3] 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.
- [4] Le Vay L. Ecology and management of mud crab *Scylla* spp.[J]. Asian Fisheries Science, 2001, 14(2):101-111.
- [5] Li Y Y, Ai C X, Liu L J. Mud crab, *Scylla paramamosain* China's leading maricultured crab[M]//Aquaculture in China. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2018: 226-233.
- [6] Ye H H, Tao Y, Wang G Z, et al. Experimental nursery culture of the mud crab *Scylla paramamosain* (Estampador) in China[J]. Aquaculture International, 2011, 19(2):313-321.
- [7] 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(1):66-67.
- [8] 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.
- [9] Li D L, Ding Y Q, Yuan Y, et al. Female tidal mudflat crabs represent a critical food resource for migratory Red-crowned Cranes in the Yellow River Delta, China[J]. Bird Conservation International, 2014, 24(4):416-428.
- [10] Wang C H, Li S F, Fu C Z, et al. Molecular genetic structure and evolution in native and colonized populations of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Biological Invasions, 2009, 11(2):389-399.
- [11] Liu Y, Liu G J, Yuan Z J, et al. Presence of arsenic, mercury and vanadium in aquatic organisms of Laizhou Bay and their potential health risk[J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 125(1/2):334-340.
- [12] Feng J X, Gao Q F, Dong S L, et al. Transference of heavy metals (Hg, Cu, Pb and Zn) with the trophic structure in a polyculture pond: Evidence from nitrogen stable isotope[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(6): 1996-2003.
- [13] Fan X, Pedrolí B, Liu G, et al. Soil salinity development in the Yellow River Delta in relation to groundwater dynamics[J]. Land Degradation & Development, 2012, 23(2):175-189.
- [14] Xue C T. Historical changes in the Yellow River Delta, China[J]. Marine Geology, 1993, 113(3/4):321-330.
- [15] 韩耀龙. 拟穴青蟹健康养殖模式研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2011.
- [16] 方怀义, 林海涵, 王秀娟, 等. 青蟹营养需求的研究进展[J]. 饲料研究, 2019, 42(10):101-104.
- [17] 朱小明, 邹清, 李少菁, 等. 我国南方沿海虾塘的青蟹养殖[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45(S2): 256-260.
- [18] 徐滨, 魏开金, 马宝珊, 等. 不同克氏原螯虾养殖模式下幼虾生长、体成分和血淋巴生化指标的比较[J]. 淡水渔业, 2021, 51(5):84-90.
- [19] Han W F, Sun Y F, Liu J, et al. Effect of different feeding modes on the growth, biochemical composition, and living environment of the juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2021, 541:736687.
- [20] 赵柳兰, 龙亚男, 罗杰, 等. 池塘和稻田两种养殖模式下建鲤肠道菌群、免疫酶活性及肌肉氨基酸比较分析[J]. 中国水产科学, 2021, 28(1):48-56.
- [21] 骆作勇, 王雷, 王宝杰, 等. 不同投喂模式对奥利亚罗非鱼血液生化指标与生长性能的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(5):743-748.
- [22] Deachamag P, Intaraphad U, Phongdara A, et al. Expression of a Phagocytosis Activating Protein (PAP) gene in immunized black tiger shrimp[J]. Aquaculture, 2006, 255(1/2/3/4):165-172.
- [23] 黄贞胜, 王寿昆, 林旋, 等. 大黄鱼膨化饲料对水中氨氮·硝酸盐氮和亚硝酸盐氮浓度的影响[J]. 安徽农业科

- 学, 2014, 42(32):11440-11442.
- [24] 韩嘉艺, 李晓明, 钱乐, 等. 微量分光光度法测定饮用水中亚硝酸盐氮检测结果的有效性评估[J]. 环境卫生学杂志, 2016, 6(5):360-364.
- [25] 关秀存, 彭红艳. 亚甲基蓝分光光度法测定水中硫化物[J]. 安阳工学院学报, 2012, 11(4):25-27.
- [26] 董兰芳, 张琴, 许明珠, 等. 饲料糖脂比对拟穴青蟹仔蟹生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(3):979-986.
- [27] 张志东, 陈爱华, 吴杨平, 等. 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长、消化酶、体成分及养殖水环境的影响[J]. 中国水产科学, 2020, 27(9):1075-1084.
- [28] 张凯军, 王静安, 倪康达, 等. 不同水温对个体养殖系统中华绒螯蟹幼蟹蜕壳生长和摄食率的影响[J]. 淡水渔业, 2021, 51(5):100-105.
- [29] GB 5009.3—2016. 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [30] GB 5009.4—2016. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
- [31] GB 5009.5—2016. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
- [32] GB 5009.6—2016. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
- [33] Le Moullac G, Haffner P. Environmental factors affecting immune responses in Crustacea[J]. Aquaculture, 2000, 191(1/2/3):121-131.
- [34] 陆羚子, 王岩, Hasan M M. pH水平和昼夜变化对池塘养殖凡纳滨对虾成活率的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(7):1086-1099.
- [35] 王大鹏, 何安尤, 谢达祥, 等. 凡纳滨对虾养殖池塘pH值、碱度、硬度和CO₂浓度作用机理与调控[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5):352-353.
- [36] 邹李昶, 任凤艺, 王志铮, 等. 氨氮急性胁迫对日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)死亡率、耗氧率及窒息点的影响[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(1):206-211.
- [37] Cheng C H, Ma H L, Su Y L, et al. Ammonia toxicity in the mud crab (*Scylla paramamosain*): The mechanistic insight from physiology to transcriptome analysis[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 179:9-16.
- [38] Cheng C H, Su Y L, Ma H L, et al. Effect of nitrite exposure on oxidative stress, DNA damage and apoptosis in mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. Chemosphere, 2020, 239:124668.
- [39] Teichert-Coddington D, Green B W. *Tilapia* yield improvement through maintenance of minimal oxygen concentrations in experimental grow-out ponds in Honduras[J]. Aquaculture, 1993, 118(1/2):63-71.
- [40] McGraw W, Teichert-Coddington D R, Rouse D B, et al. Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds[J]. Aquaculture, 2001, 199(3/4):311-321.
- [41] 汪蕾, 张秀霞, 洗健安. 硫化物胁迫对凡纳滨对虾血细胞的毒性影响[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(3):97-102.
- [42] Cheng S Y, Hsu S W, Chen J C. Effect of sulfide on the immune response and susceptibility to *Vibrio alginolyticus* in the kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2007, 22(1/2):16-26.
- [43] Periago M J, Ayala M D, López-Albors O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L[J]. Aquaculture, 2005, 249(1/2/3/4):175-188.
- [44] 赵艳飞, 钟声平, 王贤丰, 等. 拟穴青蟹-斑节对虾和缢蛏不同混养系统氮、磷收支的研究[J]. 水产科学, 2021, 40(4):483-491.
- [45] 周凡, 陈丽芝, 王鼎南, 等. 配合饲料在拟穴青蟹-脊尾白虾混养模式中的应用效果初探[J]. 水产科技情报, 2017, 44(5):248-251.
- [46] Li Y H, Liu H, Zhou H L, et al. Concentration distribution and potential health risk of heavy metals in *Macra veneriformis* from Bohai Bay, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 97(1/2):528-534.
- [47] Cai L Y, Wu X S, Li X X, et al. Effects of different freezing treatments on physicochemical responses and microbial characteristics of Japanese Sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets during refrigerated storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(1):122-129.
- [48] 万金娟, 陈友明, 邵俊杰, 等. 盱眙地区不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2020, 32(2):965-972.
- [49] Catacutan M R. Growth and body composition of juvenile mud crab, *Scylla serrata*, fed different dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios[J]. Aquaculture, 2002, 208(1/2):113-123.
- [50] Yuan Y, Wang X X, Jin M, et al. Modification of nutritional values and flavor qualities of muscle of swimming crab (*Portunus trituberculatus*): Application of a dietary lipid nutrition strategy[J]. Food Chemistry, 2020, 308:125607.
- [51] 孙丽慧, 林锋, 黄爱霞, 等. 拟穴青蟹雄蟹蜕壳周期肌肉与胰腺腺营养变化趋势[J]. 海洋渔业, 2019, 41(6):694-703.
- [52] Kulkarni A, Krishnan S, Anand D, et al. Immune responses and immunoprotection in crustaceans with special reference to shrimp[J]. Reviews in Aquaculture,

- 2021, 13(1):431-459.
- [53] 赵玉超, 逢颖, 崔晓宇, 等. 枯草芽孢杆菌对三疣梭子蟹免疫指标、生长性能及养殖水质的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(10):1899-1905.
- [54] 王博, 李加儿, 冯娟, 等. 番石榴叶水提物对拟穴青蟹抗病毒病能力及部分血清免疫因子的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(12):2196-2202.
- [55] 王玉, 柳森, 段健诚, 等. 饲料中 β -胡萝卜素添加量对脊尾白虾生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 海洋渔业, 2020, 42(4):427-434.
- [56] 杨玉姣, 王国良, 金珊, 等. 环境胁迫对对虾免疫系统的影响研究[J]. 水产科学, 2006, 25(12):652-655.
- [57] Henneberry M O, Engel G, Grayhack J T. Acid phosphatase [J]. Urologic Clinics of North America, 1979, 6(3):629-641.
- [58] Sharma U, Pal D, Prasad R. Alkaline phosphatase: An overview[J]. Indian Journal of Clinical Biochemistry, 2014, 29(3):269-278.
- [59] 汤鸿, 李少菁, 王桂忠, 等. 铜、锌、镉对锯缘青蟹仔蟹代谢酶活力影响的实验研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, 39(4):521-525.

Effects of different pond polycultures on growth, body composition and immune performance of mud crab (*Scylla paramamosain*)

ZHOU Dongping¹, LIU Lei^{1*}, FANG Wei¹, HUANG Xinlian¹, FU Yuanyuan², XU Yongjian¹, WANG Chunlin¹

(1.School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2.Ningbo Institute of Oceanography, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The present study was aimed to investigate the effects of different polycultures on the growth, body composition, immune performance and water quality of *Scylla paramamosain*. A total of four culture methods were set up, including monoculture of *S. paramamosain*, *S. paramamosain*-*Penaeus japonicus*, *S. paramamosain*-*Lateolabrax japonicus* and *S. paramamosain*-*Mactra veneriformis*. The duration of the experiment lasted 90 days. The results showed that there was no significant difference in salinity between each group at the same sampling time. On the 60th and 90th day, the pH of pond water in the groups of *S. paramamosain*-*P. japonicus* and *S. paramamosain*-*L. japonicus* was significantly higher than the other two groups ($P<0.05$). The ammonia nitrogen was significantly higher than the other groups at the same sampling time ($P<0.05$). The dissolved oxygen in the *S. paramamosain* monoculture group was significantly higher than that in any other groups across all time points ($P<0.05$). Nitrite nitrogen and sulfide in *S. paramamosain*-*L. japonicus* group were significantly higher than those in any other groups across all time points ($P<0.05$). The body weight, carapace width, carapace length and body height of *S. paramamosain*-*M. veneriformis* group and *S. paramamosain* single-cultured group were significantly higher than those of the other groups on the 90th day ($P<0.05$). The weight gain rate and specific growth rate were significantly higher than those of the other groups on the 60th and 90th days ($P<0.05$). The crude protein of hepatopancreas in *S. paramamosain*-*M. veneriformis* group was significantly higher than that in any other groups at each sampling time point ($P<0.05$). The crude fat of hepatopancreas was significantly higher than that of the other groups on the 60th and 90th day ($P<0.05$). The acid phosphatase (ACP) and alkaline phosphatase (AKP) in hemolymph were significantly higher than those in the other groups at each sampling time ($P<0.05$). On the 30th day, the levels of aspartate aminotransferase (GOT) and alanine aminotransferase (GPT) in hemolymph of *S. paramamosain*-*L. japonicus* group were significantly higher than those in the other groups ($P<0.05$). The results demonstrated that the polyculture model of *S. paramamosain* and *M. veneriformis* was the optimal one, with respect to growth, nutritional quality and immune performance.

Key words: *Scylla paramamosain*; polyculture; water quality; grow; body composition; immunologic function

(责任编辑 史小丽)