

罗氏沼虾与三角帆蚌、鲢和鳙混养模式优化

刘其根*, 杨洋, 唐永涛, 俞震颀, 钟国防

(上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306)

摘要: 研究了罗氏沼虾、三角帆蚌、鲢和鳙不同混养系统的养殖产量、饲料系数、增长率、总氮(TN)/总磷(TP)利用率和综合养殖效果,以期获得最优养殖模式。采用基于陆基围隔的比较实验方法,设6个实验组,分别为罗氏沼虾单养(G),罗氏沼虾与三角帆蚌二元混养(GH2)、罗氏沼虾、鲢和鳙三元混养(GSB),罗氏沼虾、鲢、鳙和三角帆蚌按照不同密度放养的四元混养(GSBH1、GSBH2和GSBH3),各实验组设置4个重复。结果表明:GSBH2组罗氏沼虾产量最高 $[(14.71 \pm 0.33) \text{ kg}/32 \text{ m}^2]$,显著高于G组 $[(12.44 \pm 0.60) \text{ kg}/32 \text{ m}^2, P < 0.01]$;GSBH1组饲料系数最低 (1.43 ± 0.04) ;GSBH1组增重率最高 $(4.66\% \pm 0.12\%)$,G组最低 $(3.80\% \pm 0.23\%)$;TN平均相对利用率在 $(0.92 \pm 0.09) \sim (1.60 \pm 0.23)$ 之间,GSB组最高,G组最低;TP平均相对利用率为 $(0.23 \pm 0.03) \sim (1.46 \pm 0.32)$,GSBH3组最高,G组最低;综合养殖效果指数在 $(0.91 \pm 0.02) \sim (1.25 \pm 0.05)$ 之间,GSB组最高,GSBH1组次之,G组最低,且三元、四元混养组显著大于G组和GH2组 $(P < 0.05)$ 。研究表明,混养组能显著提高罗氏沼虾养殖的经济效益和生态效益。

关键词: 罗氏沼虾; 结构优化; 经济效益; 生态效益; 混养

中图分类号: S 965

文献标志码: A

我国水产养殖尤其是淡水养殖已经取得了举世瞩目的巨大成就,对改善我国人民膳食结构和生活水平做出了巨大贡献^[1]。但由于工程装备的欠缺,导致现有的养殖水平无法与养殖的高密度、集约化要求相匹配,从而导致养殖负载量超过池塘自身的养殖容量,此外,为获得利益最大化,池塘养殖结构日趋单一化和高密度化,加剧了池塘养殖的富营养化程度,致使水质恶化严重,不但直接增加了池塘养殖生物病害发生率,加大养殖风险,导致池塘养殖产品品质差,效益降低,同时影响了产业的可持续发展^[2]。罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)是世界性的优良淡水虾种,因其个体大、生长快、食性广,易养殖,病害少,具有较高的经济效益,受到广大养殖户的青睐^[3]。有关虾类、贝类及鱼类不同混养模式的研究结果显示,同池混养在解决单一养殖品种带来的病害及环境问题和提

高经济、生态效益方面具有显著的作用,如宋欣等^[4]对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)不同混养池塘的结构优化实验研究中得出,混养组能显著提高养殖系统的产量,降低饲料系数,提高草鱼的经济与生态效益;Wang等^[5]对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)养殖系统的研究结果同样表明,混养尼罗罗非鱼的养殖系统内中国对虾的成活率(96.67%)、收获体长(10.40 cm)与最终产量(585.5 kg/ha)均较高;Tian等^[6]在对中国对虾、台湾红罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*)和缙蛭(*Sinonovacula constricta*)养殖系统进行研究时表明,适当的混养密度可有效提高系统的经济与生态效益;还有许多学者利用不同养殖

收稿日期:2014-03-21 修回日期:2014-05-26

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201203083);上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心专项(ZF1206)

通信作者:刘其根,E-mail:qgliu@shou.edu.cn

种类在水体中的生态位、食性等方面的互补作用进行了合理的搭配研究,也取得了显著的成效^[7-10]。但是有关罗氏沼虾混养的相关研究较少,也没有实验研究同时采用并比较鲢、鳙(*Aristichthys nobilis*)与三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)3种滤食性生物对养殖效果的影响。本文采用陆基围隔方式,研究罗氏沼虾、鲢、鳙及三角帆蚌在不同混养方式及不同混养密度条件下,罗氏沼虾的产量、成活率、增长率、饲料利用率、总氮(TN)和总磷(TP)利用率,并从经济效益、生态效益和综合养殖效益方面对不同养殖模式进行评价,以期在尽可能减少对生态环境影响的前提下获得更高产量、更优养殖品质、更高经济效益的养殖模式。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验在上海市浦东新区老港镇沈富水产养殖专业合作社进行,池塘面积 0.4 hm²,围绕池塘四周平坦区域设置 24 个双面防水帆布围隔(8 m × 4 m × 1.8 m),养殖期间平均水深为 1.0 ~ 1.1 m。在池塘岸边安装一台功率 3 kW 的罗茨鼓风机,使用 PVC 管铺设在池塘四周,为保证供氧均衡,管道由直径 40 mm、50 mm 和 63 mm 3 种规格组成,每个围隔配有一个进气调节阀,在围隔中央距离池底 20 ~ 30 cm 高度处悬吊一个直径为 80 cm

的纳米微孔增氧曝气平盘。实验用罗氏沼虾购于上海金山,三角帆蚌购于浙江金华,鲢和鳙购于上海新场镇。

1.2 实验设计

实验从 2013 年 6 月 21 日开始至 2013 年 10 月 8 日结束,时长为 108 d。实验共设 6 个实验组,分别为罗氏沼虾单养(G 组),罗氏沼虾与三角帆蚌二元混养(GH2 组),罗氏沼虾、鲢和鳙三元混养(GSB 组),罗氏沼虾、鲢、鳙和三角帆蚌按照不同密度放养的四元混养(GSBH1、GSBH2 和 GSBH3 组),各实验组设置 4 个重复。实验初期,通过多次取样确定每千克罗氏沼虾个体数,投放根据称量体质量投放,平均投放密度为 25.98 个/m²;鲢、鳙投放比例为 3:7,投放前对每尾鱼进行体质量、体长及全长测定,其中鲢平均放养密度为 15.44 g/m²,鳙平均放养密度为 5.99 g/m²;三角帆蚌从 8 000 只中挑选出 4 200 只大小基本一致且无破损个体,放入 20 cm × 20 cm × 10 cm 网笼中,每个围隔悬挂 15 只网笼,网笼通过 5 根竹竿平均分布在围隔中,固定后将网笼悬挂在距离表层水体 20 ~ 30 cm 处,三角帆蚌平均大小为 70.22 g,放养密度分别为低密度围隔 4.69 个/m²(H1),中密度围隔 9.38 个/m²(H2),高密度围隔 14.06 个/m²(H3)(表 1)。

表 1 各试实验组养殖种类及其放养情况

Tab. 1 Stocking information and aquaculture species in different experimental treatments

实验组 treatments	围隔 面积/ m ² area	罗氏沼虾 <i>M. rosenbergii</i>		鲢 <i>H. molitrix</i>		鳙 <i>A. nobilis</i>		三角帆蚌 <i>H. cumingii</i>	
		数量/ (ind/m ²) number	重量/ (g/m ²) biomass	数量/ 尾 number	重量/ (g/m ²) biomass	数量/ 尾 number	重量/ (g/m ²) biomass	数量/ 只 number	重量/ (g/m ²) biomass
G	32	25.97 ± 0.02	81.15 ± 0.07	—	—	—	—	—	—
GSB	32	25.97 ± 0.01	81.16 ± 0.04	14	15.65 ± 0.45	6	5.98 ± 0.60	—	—
GSBH1	32	25.98 ± 0.03	81.19 ± 0.08	14	15.33 ± 0.80	6	6.24 ± 0.44	150	335.46 ± 2.84 ^a
GSBH2	32	25.98 ± 0.03	81.20 ± 0.10	14	15.26 ± 0.41	6	5.87 ± 0.56	300	665.40 ± 5.53 ^b
GSBH3	32	25.98 ± 0.02	81.20 ± 0.05	14	15.52 ± 0.69	6	5.86 ± 0.37	450	957.81 ± 40.08 ^c
GH2	32	25.99 ± 0.00	81.23 ± 0.00	—	—	—	—	300	656.61 ± 22.16 ^b

注:表中同一列或同一行中标有不同字母的数据表示相互之间差异显著($P < 0.05$);下同

Notes: Data in the same column or the row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); the same as below

罗氏沼虾养殖初期按其总重的 3% 投喂饲料(苏州通威特种饲料有限公司),后期饲养根据具体摄食情况逐渐增加或减少投喂量,并记

录每次饲料投喂量。投喂时间为每天 8:00 ~ 9:00, 17:00 ~ 18:00, 投喂饲料按照投喂次序依次为 0 号、1 号、2P 号和 2L 号颗粒饲料,饲料总

投喂量将作为罗氏沼虾对饲料的总摄食量。增氧机打开时间为每天 20:00 ~ 次日 7:00 及 13:00 ~ 15:00, 实验期间根据天气情况适当调整增氧机开关时间。养殖期间无水体交换, 水深维持在 1.0 ~ 1.1 m。

1.3 测定及分析方法

在放养前与收获后随机抽样, 测定各养殖种类基本生物学指标(体质量、体长、体高等)。采集饲料和养殖生物后, 在 60 °C 烘箱中烘干至恒重, 称重、粉碎, 装瓶待测; 养殖生物均测定全个体 TN、TP 含量。所有样品 TP 含量测定在上海交通大学分析测试中心完成, 采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP 6300, 美国 Thermofisher 公司生产)进行测定^[11]。所有样品 TN 测定在上海海洋大学公共实验室完成, 采用 vario MAX CNS 元素分析仪(德国 Elementer 公司生产)进行测定。

养殖期间每隔 15 ~ 20 d 对养殖围隔水体进行溶解氧与叶绿素 *a* 测定, 测定时间为 9:00 ~ 11:00。使用溶氧仪(维赛 YSI 550A)测定溶氧; 叶绿素 *a* 测定采用三色法进行测定^[12-13]。

1.4 数据处理与分析

饲料系数(feed conversion rate, FCR, %) = 饲料摄食量 / (W - W₀) × 100。

增重率(weight growth rate, %) = (W - W₀) / W₀ × 100。

相对综合产量 = 某系统的综合产量 / 所有系统平均综合产量。

TN(或 TP) 相对利用率 = 某系统 TN(或 TP) 的绝对利用率 / 所有系统 TN(或 TP) 的平均绝对利用率。

TN(或 TP) 绝对利用率 = 养殖生物净产量所含的 TN(或 TP) 总量 / 投入 TN(或 TP) 的总量。

综合效果指数 = [相对综合产量 × TN(或 TP) 的平均相对利用率 × 相对收入 × 相对投入产出比]^{1/4}。

式中 W 为养殖收获时体重, W₀ 为养殖开始时体重, t 为养殖天数, 饲料摄食量及增重量均为湿重重量, 综合产量为按照当年养殖生物的市场价格, 将混养生物产量折算的主养生物产量。

数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA) 及多重比较(Duncan 检验) 进行分析处理, 以 P < 0.05 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 总产量和收获规格

各实验组罗氏沼虾平均产量和收获规格的变化范围分别为 (12.43 ± 2.34) ~ (14.71 ± 0.33) kg/32 m² 和 (23.35 ± 0.90) ~ (27.22 ± 2.83) g/个, 其中 GSBH1 组产量最高且规格最大, GH2 产量最小, GSB 组规格最小。GSBH1 组罗氏沼虾产量和收获规格大小均显著大于 G 和 GH2 组 (P < 0.05)。

鲢和鳙收获产量的变化范围分别为 (1.92 ± 0.28) ~ (2.70 ± 0.78) kg/32 m² 和 (1.24 ± 0.51) ~ (1.78 ± 0.70) kg/32 m², 规格分别为 (162.3 ± 38.13) ~ (232.99 ± 37.06) g/个和 (295.58 ± 47.30) ~ (398.11 ± 50.09) g/个。GSB 组鲢和鳙总产量和规格最大, GSBH1 组鲢产量和规格最小, GSBH3 组鳙产量最小, GSBH1 组鳙规格最小, 但各实验组鲢和鳙总产量和规格大小均无显著差异 (P > 0.05)。

各实验组三角帆蚌收获总重量和规格均无显著差异 (P > 0.05), 规格上均有增长, GSBH1 组增重最多, 与实验初 [(71.57 ± 0.61) g/个] 相比增重 (7.03 ± 1.21) g/个。收获总重量与实验初总重量相比有所下降, GSBH3 组总重量与实验初 [(30.65 ± 1.28) kg/32 m²] 相比减少最多 (13.93 kg/32 m²) (表 2)。

2.2 增重率和成活率

各实验组罗氏沼虾成活率变化于 (58.07% ± 6.87%) ~ (70.38% ± 1.99%) 之间, GSB 组成活率最高, GH2 组成活率最低, 各实验组罗氏沼虾成活率无显著差异 (P > 0.05)。增重率为 (3.80% ± 0.23%) ~ (4.66% ± 0.12%), GSBH1 组显著大于 G 组 (3.80% ± 0.23%) 和 GH2 组 (3.82% ± 0.91%) (P < 0.05)。

鲢和鳙的成活率变化范围分别为 (75.00% ± 9.12%) ~ (91.07% ± 6.84%) 和 (58.33% ± 21.52%) ~ (87.50% ± 8.34%), 鲢和鳙成活率较高的实验组分别出现在 GSBH2 和 GSBH1, 成活率最低的实验组均出现在 GSBH3 组; 鲢增重率变化为 (2.93% ± 0.71%) ~ (4.37% ± 1.44%), GSB 组增重率最大, GSBH1 组增重率最小; 鳙增重率 GSB 组 (8.34% ± 3.77%) 最大, GSBH3 组 (5.59% ± 2.47%) 最小; 但无论鲢还是

鳙各实验组间成活率和增重率均无显著差异 ($P > 0.05$)。

三角帆蚌成活率的变化范围为 ($81.93\% \pm 1.61\%$) ~ ($91.67\% \pm 3.30\%$), GH2 组三角帆蚌成活率最高, 显著高于 GSBH2 组 ($82.56\% \pm 1.83\%$) 和 GSBH3 组 ($81.93\% \pm 1.61\%$) 三角帆蚌成活率, 其中 GSBH3 组成活率最低。因三角帆蚌成活率较低, 其收获总重小于实验初放养三角帆蚌总重量, 各实验组增重率的变化范围为 ($-27.9\% \pm 31.47\%$) ~ ($-3.66\% \pm 10.21\%$),

GSBH1 组增重率最高, GH2 组最低, 但各实验组三角帆蚌增重率无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。

2.3 饲料系数

虽然罗氏沼虾在产量、规格和增重率上四元混养组 (GSBH1) 显著大于一元组 (G) 和二元混养组 (GH2) ($P < 0.05$), 但各实验组罗氏沼虾饲料系数无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2), GSBH1 组饲料系数最低, 为 (1.43 ± 0.04), 其次为 GSB 组 (1.56 ± 0.03), GH2 组饲料系数最高 (1.76 ± 0.36)。

表 2 各实验组收获情况
Tab. 2 Harvest in different experimental treatments

养殖种类 stocking species	指标 index	实验组 treatments					
		G	GSB	GSBH1	GSBH2	GSBH3	GH2
罗氏沼虾 <i>M. rosenbergii</i>	饲料系数 FCR	1.65 ± 0.06	1.56 ± 0.03	1.43 ± 0.04	1.61 ± 0.04	1.69 ± 0.18	1.76 ± 0.36
	收获规格/(g/个) harvest size	24.37 ± 3.11 ^a	23.35 ± 0.90 ^{ab}	27.22 ± 2.83 ^b	26.72 ± 4.28 ^{ab}	26.71 ± 3.08 ^{ab}	25.67 ± 1.82 ^a
	成活率/% survival rate	62.24 ± 8.87	70.38 ± 1.99	65.46 ± 6.30	61.13 ± 11.56	59.83 ± 13.36	58.07 ± 6.87
	增重率/% weight growth rate	3.80 ± 0.23 ^a	4.25 ± 0.07 ^{ab}	4.66 ± 0.12 ^b	4.12 ± 0.11 ^{ab}	4.02 ± 0.66 ^{ab}	3.82 ± 0.91 ^a
	产量/(kg/32 m ²) output	12.44 ± 0.60 ^a	13.65 ± 0.18 ^{ab}	14.71 ± 0.33 ^b	13.30 ± 0.28 ^{ab}	13.05 ± 1.71 ^{ab}	12.43 ± 2.34 ^a
鲢 <i>H. molitrix</i>	收获规格/(g/个) harvest size	—	232.99 ± 37.06	162.30 ± 38.13	181.86 ± 65.03	211.93 ± 125.97	—
	成活率/% survival rate	—	82.14 ± 13.68	85.72 ± 10.10	91.07 ± 6.84	75.00 ± 9.12	—
	增重率/% weight growth rate	—	4.37 ± 1.44	2.93 ± 0.71	3.80 ± 1.93	3.29 ± 2.09	—
	产量/(kg/32 m ²) output	—	2.70 ± 0.78	1.92 ± 0.28	2.36 ± 1.00	2.12 ± 0.99	—
鳙 <i>A. nobilis</i>	收获规格/(g/个) harvest size	—	398.11 ± 50.09	295.58 ± 47.30	385.02 ± 55.35	363.53 ± 97.42	—
	成活率/% survival rate	—	75.00 ± 31.92	87.50 ± 8.34	58.34 ± 9.62	58.33 ± 21.52	—
	增重率/% weight growth rate	—	8.34 ± 3.77	6.77 ± 1.31	6.13 ± 1.09	5.59 ± 2.47	—
	产量/(kg/32 m ²) output	—	1.78 ± 0.70	1.54 ± 0.20	1.33 ± 0.12	1.24 ± 0.51	—
三角帆蚌 <i>H. cumingii</i>	收获规格/(g/个) harvest size	—	—	78.60 ± 1.82	74.50 ± 0.72	72.94 ± 2.55	74.14 ± 2.73
	成活率/% survival rate	—	—	87.67 ± 8.01 ^{ab}	82.56 ± 1.83 ^a	81.93 ± 1.61 ^a	91.67 ± 3.30 ^b
	增重率/% weight growth rate	—	—	-3.66 ± 10.21	-13.35 ± 1.89	-12.26 ± 1.31	-27.9 ± 31.47
	产量/(kg/32 m ²) output	—	—	6.44 ± 0.74 ^a	11.48 ± 0.27 ^b	16.72 ± 0.58 ^c	9.36 ± 3.80 ^{ab}

2.4 经济效益评估

各实验组经济效益评估指标包括综合产量、相对综合产量、纯收入、相对纯收入、投入产出比和相对投入产出比 (表 3)。结果显示, 各实验组综合产量存在极显著差异 ($F = 33.697, P < 0.01$), 其中 GSBH3 组最高, G 组最低, 分别为 (18.20 ± 0.90) kg/32 m² 和 (12.44 ± 0.60) kg/32 m², 四元混养组综合产量显著高于一元、二元和三元混养组 ($P < 0.01$), 三元混养组综合产量高于二元混养

组, 两者显著高于一元实验组 ($P < 0.01$)。

各实验组纯收入在 (115.39 ± 124.39) ~ (254.71 ± 19.19) 元/32 m² 之间, 并存在显著差异 ($F = 5.164, P < 0.01$)。其中三角帆蚌放养密度最低的 GSBH1 组纯收入最高 [(254.71 ± 19.19) 元/32 m²], 显著高于其他混养三角帆蚌及单养实验组 ($P < 0.05$), G 组和 GH2 组较低, 分别为 (137.45 ± 26.83) 元/32 m² 和 (115.39 ± 124.39) 元/32 m²。

表 3 各实验组养殖效果评估
Tab.3 Evaluation of cultural efficiency in different experimental treatments

指标 index	实验组 treatments						
	G	GSB	GSBH1	GSBH2	GSBH3	GH2	
经济效益评估指标 evaluation index of economic benefit	综合产量/(kg/32 m ²) comprehensive yield	12.44 ± 0.60 ^a	14.96 ± 0.06 ^b	16.92 ± 0.39 ^c	16.70 ± 0.28 ^c	18.20 ± 0.90 ^d	14.38 ± 1.57 ^b
	相对综合产量 relative comprehensive yield	0.86 ± 0.04 ^a	1.03 ± 0.00 ^b	1.17 ± 0.03 ^c	1.15 ± 0.02 ^c	1.26 ± 0.06 ^d	0.99 ± 0.11 ^b
	纯收入/(元/32 m ²) net income	137.45 ± 26.83 ^a	231.55 ± 3.03 ^{bc}	254.71 ± 19.19 ^c	168.95 ± 14.49 ^{ab}	168.78 ± 45.3 ^{ab}	115.39 ± 124.39 ^a
	相对纯收入 relative net income	1.10 ± 0.21 ^a	1.85 ± 0.02 ^b	2.03 ± 0.15 ^c	1.35 ± 0.12 ^{ab}	1.35 ± 0.36 ^{ab}	0.92 ± 0.99 ^a
	投入产出比 input-output ratio	0.78 ± 0.03 ^{ab}	0.69 ± 0.00 ^a	0.70 ± 0.02 ^a	0.80 ± 0.01 ^b	0.82 ± 0.04 ^b	0.85 ± 0.16 ^b
	相对投入产出比 relative input-output ratio	0.90 ± 0.04 ^{ab}	0.80 ± 0.00 ^a	0.81 ± 0.02 ^a	0.92 ± 0.02 ^b	0.94 ± 0.05 ^b	0.98 ± 0.18 ^b
	生态效益评估指标 evaluation index of ecological benefit	TN 平均相对利用率 average relative utilization rate of TN	0.92 ± 0.09 ^a	1.60 ± 0.23 ^c	1.22 ± 0.13 ^{ab}	1.50 ± 0.05 ^{bc}	1.20 ± 0.19 ^{ab}
TP 平均相对利用率 average relative utilization rate of TP		0.23 ± 0.03 ^a	1.26 ± 0.24 ^{bc}	1.11 ± 0.09 ^{bc}	1.05 ± 0.28 ^b	1.46 ± 0.32 ^c	0.54 ± 0.15 ^a
综合效益评估指标 evaluation of comprehensive benefit index	0.91 ± 0.02 ^a	1.25 ± 0.05 ^b	1.23 ± 0.05 ^b	1.21 ± 0.04 ^b	1.17 ± 0.09 ^b	0.98 ± 0.29 ^a	

投入产出比以 GH2 组最大,达到(0.85 ± 0.16),显著高于纯收入最高的 GSBH1 和 GSB 组($P < 0.01$),分别为(0.70 ± 0.02)和(0.69 ± 0.00)。

2.5 生态效益评估

以投入饲料 TN、TP 含量为总投入量,投入的 TN 含量在(874.35 ± 8.53) ~ (960.40 ± 0.76) g/32 m²,投入 TP 含量在(200.00 ± 1.87) ~ (217.75 ± 0.16) g/32 m² 之间;其中 G 组和 GH2 组 TN 和 TP 投入量较少,TN 分别为(874.35 ± 8.53) g/32 m² 和(880.46 ± 20.54) g/32 m²,TP 分别为(200.00 ± 1.87) g/32 m² 和(212.97 ± 11.92) g/32 m²(表 4)。各实验组罗氏沼虾 TN 绝对利用率和相对利用率分别为(22.83% ± 3.12%) ~ (19.53% ± 1.81%)和(0.92 ± 0.09) ~ (1.08 ± 0.15)。G 组 TN 利用率低于其他各实验组,GSB 组最高,各组之间无显著差异。TP 绝对利用率和相对利用率分别为(13.30% ± 1.14%) ~ (18.38% ± 3.95%)和(0.85 ± 0.26) ~ (1.17 ± 0.25),GSB 组 TP 绝对利用率和相对利用率最高,GH2 组最低,各组之间无显著差异($P > 0.05$)。

鳙对 TN 的绝对利用率低于鲢对 TN 的绝对

利用率,鳙对 TN 绝对利用率最高组为 GSB 组[(36.63 ± 11.03)],且显著高于 GSBH2 和 GSBH3 组($P < 0.05$)。

三角帆蚌 TN 相对利用率 GSBH2 组最高,为(2.25 ± 0.70),GSBH3 组最低,为(0.96 ± 1.18)。

全部养殖生物总的 TN 绝对利用率和 TP 绝对利用率分别在(12.15% ± 0.44%) ~ (30.53% ± 2.13%)和(13.50% ± 0.08%) ~ (35.06% ± 3.10%)之间,GSB 组和 GSBH1 2 组 TN、TP 绝对利用率均较高,且显著高于其他各组($P < 0.05$),G 组和 GH2 组 TN、TP 绝对利用率较低。

2.6 综合效益评估

综合考虑各实验组相对综合产量、TN、TP 平均相对利用率、相对纯收入和相对投入产出比之后,对各实验组进行综合效益评价(表 4)。结果显示,各实验组综合效益评价价值之间有显著差异($F = 36.094, P < 0.01$),以 GSB 组最高,为(1.25 ± 0.05),GSBH1 次之,为(1.23 ± 0.05),G 组和 GH2 组较低,分别为(0.91 ± 0.02)和(0.98 ± 0.29),且 G 组和 GH2 组显著低于其余各组($P < 0.05$)。

表4 各实验组 TN、TP 利用率
 Tab.4 Utilization rates of nitrogen and phosphorus in different experimental treatments

养殖生物 stocking species	指标 index	实验组 treatments					
		G	GSB	GSBH1	GSBH2	GSBH3	GH2
	投入饲料 TN/(g/32 m ²) total nitrogen content in feed	874.35 ± 8.53	959.60 ± 2.42	960.40 ± 0.76	959.63 ± 2.37	960.01 ± 1.96	880.46 ± 20.54
	投入饲料 TP/(g/32 m ²) total phosphorus content in feed	200.00 ± 1.87 ^a	217.58 ± 0.53 ^b	217.75 ± 0.16 ^b	217.58 ± 0.52 ^b	217.67 ± 0.43 ^b	212.97 ± 11.92 ^a
罗氏沼虾 <i>M. rosenbergii</i>	TN 绝对利用率/% conversion efficiencies of TN	19.53 ± 1.81	22.83 ± 3.12	21.77 ± 1.51	21.32 ± 1.5	20.41 ± 4.14	21.76 ± 9.73
	TN 相对利用率 relative utilization of TN	0.92 ± 0.09	1.08 ± 0.15	1.03 ± 0.07	1.00 ± 0.07	0.96 ± 0.20	1.03 ± 0.46
	TP 绝对利用率/% conversion efficiencies of TP	14.63 ± 1.96	18.38 ± 3.95	14.84 ± 0.73	15.22 ± 1.81	16.72 ± 6.09	13.30 ± 1.14
	TP 相对利用率 relative utilization of TP	0.93 ± 0.13	1.17 ± 0.25	0.95 ± 0.05	0.97 ± 0.12	1.07 ± 0.39	0.85 ± 0.26
	TN 绝对利用率/% conversion efficiencies of TN	—	58.48 ± 29.36	40.11 ± 10.03	54.06 ± 28.82	43.62 ± 24.66	—
	TN 相对利用率 relative utilization of TN	—	1.65 ± 0.83	1.13 ± 0.28	1.53 ± 0.81	1.23 ± 0.70	—
鲢 <i>H. molitrix</i>	TP 绝对利用率/% conversion efficiencies of TP	—	12.08 ± 8.69	5.89 ± 1.94	5.36 ± 2.88	7.38 ± 3.51	—
	TP 相对利用率 relative utilization of TP	—	2.18 ± 1.57	1.06 ± 0.35	0.97 ± 0.52	1.33 ± 0.63	—
	TN 绝对利用率/% conversion efficiencies of TN	—	36.63 ± 11.03 ^b	25.61 ± 8.10 ^{ab}	19.69 ± 2.01 ^a	19.51 ± 7.70 ^a	—
	TN 相对利用率 relative utilization of TN	—	2.23 ± 0.67 ^b	1.56 ± 0.49 ^{ab}	1.20 ± 0.12 ^a	1.19 ± 0.47 ^a	—
鳙 <i>A. nobilis</i>	TP 绝对利用率/% conversion efficiencies of TP	—	6.90 ± 2.46 ^b	4.59 ± 0.98 ^{ab}	2.44 ± 0.71 ^a	3.10 ± 1.81 ^a	—
	TP 相对利用率 relative utilization of TP	—	2.53 ± 0.90 ^b	1.68 ± 0.36 ^{ab}	0.89 ± 0.26 ^a	1.13 ± 0.66 ^a	—
	TN 绝对利用率/% conversion efficiencies of TN	—	—	-41.8 ± 4.77	-82.01 ± 25.51	-34.89 ± 42.94	-69.13 ± 32.2
	TN 相对利用率 relative utilization of TN	—	—	1.15 ± 0.13	2.25 ± 0.70	0.96 ± 1.18	1.90 ± 0.89
三角帆蚌 <i>H. cumingii</i>	TP 绝对利用率/% conversion efficiencies of TP	—	—	-2.32 ± 0.62 ^b	-4.11 ± 1.54 ^b	-7.06 ± 0.48 ^a	-4.04 ± 2.60 ^b
	TP 相对利用率 relative utilization of TP	—	—	0.76 ± 0.20 ^a	1.35 ± 0.51 ^a	2.32 ± 0.16 ^b	1.33 ± 0.85 ^a
	全部养殖生物 TN 绝对利用率/% total conversion efficiencies of TN	18.49 ± 0.40 ^c	30.53 ± 2.13 ^e	24.11 ± 1.07 ^d	19.13 ± 0.70 ^c	15.83 ± 1.31 ^b	12.15 ± 0.44 ^a
	全部养殖生物 TN 相对利用率 total relative utilization of TN	0.87 ± 0.02 ^c	1.43 ± 0.10 ^e	1.13 ± 0.05 ^d	0.90 ± 0.03 ^c	0.74 ± 0.06 ^b	0.57 ± 0.02 ^a
全部养殖生物 TP 绝对利用率/% total conversion efficiencies of TP	13.50 ± 0.08 ^a	35.06 ± 3.10 ^c	23.00 ± 2.79 ^b	19.84 ± 2.07 ^{ab}	22.69 ± 4.77 ^b	14.14 ± 0.17 ^a	
全部养殖生物 TP 相对利用率 total relative utilization of TP	0.62 ± 0.00 ^a	1.60 ± 0.14 ^c	1.05 ± 0.13 ^b	0.91 ± 0.09 ^{ab}	1.04 ± 0.22 ^b	0.65 ± 0.01 ^a	

3 讨论

3.1 鲢、鳙对养殖效果的影响

水质恶化是影响水生生物存活率和生长发育

的主要障碍,是决定水产养殖产量和养殖效益的关键因素^[14-15]。鲢、鳙作为滤食性鱼类,能有效抑制导致水华的藻类生长,从而达到改善水质的作用^[16],本研究通过合理配比,将鲢和鳙的放养比例

调整为7:3^[17-18],研究混养鲢、鳙实验组对罗氏沼虾产量、存活率、经济效益等方面的影响。与非混养鲢、鳙的G组和GH2组相比,同时混养了鲢、鳙和三角帆蚌的实验组罗氏沼虾产量高出1.2 kg/32 m²,纯收入高出116元/32 m²,TN平均相对利用率高出0.58,综合效益指数高出0.34,虾的成活率提高了12.31%,可见罗氏沼虾饲养过程中混养鲢、鳙可以有效利用养殖空间,充分利用投入饵料,提高罗氏沼虾产量,增加经济收入。王吉桥等^[19]在研究低盐水体南美白对虾与鲢、鳙混养的实验中发现,混养池中的对虾成活率和产量分别为单养池的2.7倍和3.2倍,此结果与本实验得出结果有一定差距,可能与养殖品种、养殖环境、管理条件等的不同相关。此外,有研究表明^[20-21],鲢、鳙在水体中搅动,不仅可活化水体,增加水体溶氧量,更有利于将底部的残饵、排泄物带入溶氧丰富的水层,增加水体的营养盐含量。丰富的营养盐有利于增加水体中溶氧和浮游生物含量,增加鱼虾等养殖生物的饵料来源,从而提高养殖品种的产量^[22-23]。但是,混养鲢、鳙除了具有上述作用外,还可以直接吞食人工投喂饲料,提高饲料系数,增大饲料投入量,本实验各实验组饲料系数没有显著差异,最大值出现在GH2组,达到(1.76±0.36),其次是GSBH3组,为(1.69±0.18),GSBH1组最小,仅为(1.43±0.04)。本研究结果的饲料系数偏高,这可能与在实验过程中无法对饲料投喂后最终残饵进行收集计算,并最终导致饲料摄食量偏大有关,因此本文得出结果为粗略的饲料系数。综合效益评估结果显示,混养组综合效益显著高于单养G组和GH2组,进一步证实了鲢、鳙在养殖过程中的关键作用。

3.2 三角帆蚌对养殖效果的影响及最适混养密度

三角帆蚌作为我国特有物种,可产生质量极佳的珍珠,其肉质鲜美,蛋白质、无机盐和各类维生素含量丰富,具有重要经济价值。同时,三角帆蚌对水体中的藻类具有滤食和消化能力^[24]。本实验结果显示混养三角帆蚌实验组能有效提高罗氏沼虾综合产量、增重率和饲料系数,增加经济收入,与单养组相比综合产量高出5.76 kg/32 m²,纯收入高出117.26元/32 m²,相当于每亩水面将增收2 442.92元。但本研究中三角帆蚌的成活率普遍偏低,增重率小于零,这可能是因为在饲养罗氏沼虾的过程中,三角帆蚌作为罗氏沼虾的额外饵料,被罗氏沼虾摄食所致,但国内外并没有对

罗氏沼虾摄食三角帆蚌得出明确结论,该论点有待进一步研究。

本实验共设置了3种三角帆蚌放养密度,分别为(335.46±2.84)、(665.40±5.53)和(957.81±40.08)g/m²。实验结果表明随着三角帆蚌密度的增加,养殖纯收入、综合效益评价、虾收获规格、虾增重率、虾成活率、虾产量及TN、TP利用率均呈下降趋势,并且导致饲料系数偏高,可见高密度混养三角帆蚌不利于罗氏沼虾养殖。一方面可能由于放养方式的不同,使得高密度放养的三角帆蚌不能有效滤食水体中的藻类,如果选择同一网笼放养同样密度三角帆蚌,采取增加网笼数量的方式调节三角帆蚌放养密度,其效果可能会有所改善;另一方面随着三角帆蚌密度的增加,同时提高了水体耗氧量^[25],导致水体溶氧降低,使得罗氏沼虾养殖期间出现窒息死亡。

3.3 不同养殖模式养殖效果比较

综合考虑本实验的6种不同养殖模式,结果显示虾、鱼、蚌混养组在经济、生态和综合效益上均优于虾鱼和虾蚌混养实验组,养殖效果最差的为虾单养实验组。但是高密度混养三角帆蚌的实验组甚至比虾、鱼混养实验组养殖效果更差,可见在选择混养方式时应当合理搭配混养生物比例。从经济效益角度考虑,GSBH1组纯收入最高,达到254.71元/32 m²,其次是GSB组,纯收入达到231.55元/32 m²,与GSBH1组并无显著差异,但是这两组纯收入却显著高于三角帆蚌放养密度最高的GSBH3组和虾、蚌混养实验组GH2以及虾单养的G组。从生态效益角度考虑,6个实验组之间的TN绝对利用率并无显著差异,其中TN利用率最高的是GSB组,达到22.83%,最低的是G组,为19.53%。与Rosenthal等^[26]1995年对精养海水虾池的TN、TP利用率结果24%和13%相比,本研究结果并没有达到如此高效的利用率,但与常杰等^[27]在对虾、青蛤和江蓠混养系统氮、磷收支的研究结果和齐振雄等^[28]在对虾养殖池塘氮、磷收支研究结果基本一致。一般在鱼虾养殖过程中,养殖生物对氮的利用率多为20%~30%,很少超过40%^[29-30],未被利用的氮将被排放到自然环境中,造成严重的水体污染,应该得到水产业的高度重视。以上是单独考虑罗氏沼虾的TN绝对利用率,各实验组之间虽然有差别,但其差异不显著,综合分析各实验组的TN平均相对利用率后结果显示,混养组能有效提高

TN 利用率,但是单养实验组中 TN 平均相对利用率较低。可见,有效利用养殖水体空间,合理搭配混养养殖品种,可有效提高系统生态效益。

4 结论

本实验通过分析多种养殖指标,试图寻找最佳的养殖模式。结果表明,从罗氏沼虾饲料系数、收获规格、相对综合产量、相对纯收入和 TN、TP 平均相对利用率分析,虾鱼(GSB)、虾鱼蚌混养组(GSBH)明显优于虾单养(G)和虾蚌混养模式(GH2),但从相对投入产出分析,虾单养组(G)和虾蚌混养组(GH2)具有一定的优势。虾鱼(GSB)和虾鱼蚌(GSBH)相比较而言,三角帆蚌密度最低的 GSBH1 组在经济效益上优于虾鱼混养组(GSB),鱼类成活率也更高^[31],但从生态效益角度考虑,虾鱼混养组比虾鱼蚌混养组有明显优势。

参考文献:

- [1] Brown L R. Who will feed China [M]. Washington DC: World Watch Institute, 1995.
- [2] Ding Y W, Ai H. The application of microorganisms in aquaculture [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2000, 20(1): 68 - 73. [丁彦文, 艾红. 微生物在水产养殖中的应用. 湛江海洋大学学报, 2000, 20(1): 68 - 73.]
- [3] Liu E S, Wan Q. Status and prospects for the development of aquaculture *Macrobrachium rosenbergii* (Review) [J]. Journal of Anhui Agricultural University. 1997, 24(2): 189 - 192. [刘恩生, 万全. 罗氏沼虾的养殖现状与发展前景(综述). 安徽农业大学学报, 1997, 24(2): 189 - 192.]
- [4] Song Q, Tian X L, Wang F, Dong S L, et al. An experimental study on structure optimization for polyculture of grass carp with different species [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(4): 704 - 714. [宋硕, 田相利, 王芳, 等. 不同草鱼池塘混养系统结构优化的实验研究. 水生生物学报, 2012, 36(4): 704 - 714.]
- [5] Wang J Q, Li D, Dong S, et al. Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds: I. Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids [J]. Aquaculture, 1998, 163(1 - 2): 11 - 27.
- [6] Tian X, Li D, Dong S, et al. An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus [J]. Aquaculture, 2001, 202(1 - 2): 57 - 71.
- [7] Feng C M, Tian X L, Dong S L, et al. Comparative studies on two integrated culture patterns of shrimp with oyster and seaweeds [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2007, 37(1): 69 - 74. [冯翠梅, 田相利, 董双林, 等. 两种虾、贝、藻综合养殖模式的初步比较. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2007, 37(1): 69 - 74.]
- [8] Chen J C, He Y P, Meng S L, et al. Purification effect of polyculture of fish-mussel in pond, a mode of circular economy [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(2): 41 - 46. [陈家长, 何尧平, 孟顺龙, 等. 蚌、鱼混养在池塘养殖循环经济模式中的净化效能. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 41 - 46.]
- [9] Zhang G F, Deng M Z, Fang A P. The role of co-cultivation of pearl mussels and fishes in the control of eutrophication [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2005, 35(3): 491 - 495. [张根芳, 邓闽中, 方爱萍. 蚌、鱼养殖模式对水体富营养化控制作用的研究. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(3): 491 - 495.]
- [10] Qian P Y, Wu C Y, Wu M, et al. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi* [J]. Aquaculture, 1996, 147(1 - 2): 21 - 35.
- [11] Li P P. Ecological stoichiometry of silver and bighead carps and their driven nutrient recycling in Lake Qiandao [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. [李培培. 千岛湖鲢、鳙的生态化学计量学及其驱动的养分再循环 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.]
- [12] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll and pheopigments spectrophotometric equations [J]. Limnology and Oceanography, 1967, 12(2): 343 - 346.
- [13] Moss B. A spectrophotometric method for the estimation of percentage degradation of chlorophylls to pheopigments in extracts of algae [J]. Limnology and Oceanography, 1967, 12(2): 335 - 340.
- [14] He Z Q, He X H, Gao F R. Color change and control techniques of different water quality [J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(1): 51 - 51. [何志强, 何雪红, 高福荣. 不同水质的水色变化及调控技术. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(1): 51.]
- [15] Wang L, Liao L H. Separation and identification of photosynthetic bacteria (PSB) and purifying effect

- aquiculture water[J]. *Journal of Microbiology*, 2004, 24(2):7-9. [王兰,廖丽华. 光合细菌的分离鉴定及对养殖水的净化研究. *微生物学杂志*, 2004, 24(2):7-9.]
- [16] Liu J K, Xie P. Unraveling the enigma of the disappearance of water bloom from the east lake(Lake Donghu) of Wuhan[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(3):312-319. [刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(3):312-319.]
- [17] Shen Y C, Yang J F, Qi B X, *et al.* Growth of the Silver Carp *Hypophthalmichthys molitrix* and the Bighead Carp *Aristichthys nobilis* in Mengjiaduan Reservoir and Measurements for Increasing Fish Yields[J]. *Reservoir Fisheries*, 2001, 21(5):26-28. [申玉春, 杨景峰, 祁保霞, 等. 孟家段水库鲢、鳙的生长及提高鱼产量措施. *水利渔业*, 2001, 21(5):26-28.]
- [18] Liu M, Xu M X, Xu D L, *et al.* Status quo and progress in research and application on nonclassical biomanipulation of silver carp and bighead carp[J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(3):99-103. [刘敏, 徐敏娟, 许迪亮, 等. 鲢、鳙非经典生物操纵作用的研究进展与应用现状. *水生态学杂志*, 2010, 3(3):99-103.]
- [19] Wang J Q, Luo M, Ma C X, *et al.* Polyculture of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) with silver carp and bighead carp in low saline waters [J]. *Fisheries Science*, 2004, 22(6):21-24. [王吉桥, 罗鸣, 马成学, 等. 低盐水体南美白对虾与鲢鳙鱼混养的试验. *水产科学*, 2004, 22(6):21-24.]
- [20] Avnimelech Y, Kochva M, Hargreaves J A. Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1999, 30(4):401-409.
- [21] Sumagaysay-Chavoso N S, San Diego-McGlone M L. Water quality and holding capacity of intensive and semi-intensive milkfish (*Chanos chanos*) ponds [J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1-4):413-429.
- [22] Poxton M G. Water quality fluctuations and monitoring in intensive fish culture [J]. *Special Publication, European Aquaculture Society*, 1992, 16(1):121-143.
- [23] Milstein A, Svirsky F. Effect of fish species combinations on water chemistry and plankton composition in earthen fish ponds [J]. *Aquaculture Research*, 1996, 27(2):79-90.
- [24] Fei Z L, Wu J, Zhao Q, *et al.* Effect of filtration and digestion of *Hyriopsis cumingii* to algae [J]. *Freshwater Fisheries*. [费志良, 吴军, 赵钦, 等. 三角帆蚌对藻类滤食及消化的研究. *淡水渔业*, 2006, 36(5):24-27.]
- [25] Xu H J, Ling Q F, Yang C G, *et al.* Preliminary studies on the elimination effect of algae by three species of freshwater bivalve [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(1):72-73. [徐海军, 凌去非, 杨彩根, 等. 3种淡水贝类对藻类消除作用的初步研究. *水生态学杂志*, 2010, 3(1):72-73.]
- [26] Rosenthal H, Bradburg N B. *International aquaculture: trends and perspective* [M]. Ghent: European Aquaculture Society Special Publication, 1995:876-889.
- [27] Chang J, Tian X L, Dong S L, *et al.* An experimental study on nitrogen and phosphorus budgets in polyculture of shrimp, bivalve and seaweed [J]. *Periodical of Ocean University of China: Natural Science*, 2006, 36(suppl.):33-39. [常杰, 田相利, 董双林, 等. 对虾、青蛤和江蓠混养系统氮磷收支的实验研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(增刊):33-39.]
- [28] Qi Z X, Li D S, Zhang M P, *et al.* Experimental studys on nitrogen and phosphorus budgets of shrimp culture pond [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, 22(2):124-128. [齐振雄, 李德尚, 张曼平, 等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究. *水产学报*, 1998, 22(2):124-128.]
- [29] Green B W, Boyd C E. Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1995, 26(3):284-296.
- [30] Acosta-Nassar M V, Morell J M, Corredor J E. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1994, 25(2):261-270.
- [31] Wu J, Ma N, Shi L L, *et al.* Freshwater mussel, *Hyriopsis cumingii* Lea as a biocontrol tool to regulate eutrophical farming water [J]. *Journal of Nanjing Normal University: Natural Science*, 2005, 28(3):92-96. [吴军, 马楠, 施丽丽, 等. 三角帆蚌对精养鱼塘水体主要水质因子的调控. *南京师范大学学报: 自然科学版*, 2005, 28(3):92-96.]

Experimental study on structure optimization for polyculture of giant freshwater prawn with triangle sail mussel, silver carp and bighead carp

LIU Qigen^{*}, YANG Yang, TANG Yongtao, YU Zhenjie, ZHONG Guofang

(Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This investigation was designed to find out the best polyculture mode of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*, GFP) pond. The culture output, feed coefficient (FC), growth rate, use efficiency of total nitrogen and total phosphorus, and integrated farming effect in land-based enclosures, with different culturing combinations of *M. rosenbergii*, triangle sail mussel (*Hyriopsis cumingii*), silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) were studied. There were six treatments, i. e., GFP monoculture enclosure (G), GFP polyculture enclosure with silver carp and bighead carp (GSB); GFP polyculture enclosure with triangle sail mussel (GH2); and three other GFP polyculture treatments with different proportion of stock density of giant freshwater prawn, silver carp, bighead carp treatment and triangle sail mussel (GSBH1, GSBH2 and GSBH3). Four replicates of enclosure were applied for each treatment. The results indicated that the culture output of giant freshwater prawn ranged from $(14.71 \pm 0.33) \text{ kg}/32 \text{ m}^2$ to $(12.44 \pm 0.60) \text{ kg}/32 \text{ m}^2$ with the highest yield for treatment GSBH1, which was significantly higher than that for treatment G ($P < 0.01$). Growth rate ranged from $(3.80\% \pm 0.23\%)$ to $(4.66\% \pm 0.12\%)$, with the highest growth rate for treatment GSBH1 and the lowest growth rate for treatment G. The mean use efficiency of total nitrogen ranged from (0.92 ± 0.09) to (0.09 ± 1.60) , with the highest for treatment GSB and the lowest for treatment G. The synthetic efficiency index used for assessing integrated farming effect ranged from (0.91 ± 0.02) to (1.25 ± 0.05) , with the lowest for treatment G and the highest for treatment GSB, and with significant difference between treatment G and treatment GH2. In summary, the polyculture treatments obviously improve economic profits and ecological benefits of culture of the giant freshwater prawn compared with monoculture treatment.

Key words: triangle sail mussel; structure optimization; economic profits; ecological benefits; polyculture

Corresponding author: LIU Qigen. E-mail: qgliu@shou.edu.cn