

文章编号: 1674-5566(2013)05-0713-07

对虾-金钱鱼-蔬菜综合养殖的产出效果和氮磷利用的研究

胡振雄^{1,2}, 何学军³, 刘利平^{1,2}

(1. 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; 2. 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, 上海 201306; 3. 海南水产科技有限公司, 海南 海口 571100)

摘要: 为探究凡纳滨对虾-金钱鱼-蔬菜综合养殖模式中不同金钱鱼规格和密度对养殖效果和氮磷利用的影响, 在21个室外水泥池(5 m×3 m×1.2 m)中, 开展3×2的双因素实验, 即设置3种金钱鱼放养密度(1、2和3尾/m²)与2种金钱鱼规格(10.0与30.0 g/尾)组合的组为实验组, 对虾单养组作为对照。实验过程中保持不换水以及相同饲料投喂量。结果表明, 与对虾单养组相比, 该养殖模式可将对虾的存活率提高1.9%~13.6%, 养殖总产量和总饵料系数均显著改善($P < 0.05$); 综合养殖系统对饲料中氮和磷的利用率范围分别为44.4%~62.5%和19.4%~29.1%, 显著高于单养池的26.7%和8.2% ($P < 0.05$)。最佳的金钱鱼养殖规格和密度为30.0 g/尾、2尾/m²或3尾/m²。

研究亮点: 多营养级综合养殖是一种高效低碳的养殖模式, 本文将其用于凡纳滨对虾的养殖, 构建对虾-金钱鱼-蔬菜养殖模式。相对传统的对虾养殖方式, 该模式不仅改善了养殖效果, 而且提高了饲料氮磷利用率, 为对虾的养殖生产提供了一种健康可持续的模式。

关键词: 凡纳滨对虾; 金钱鱼; 综合养殖; 氮磷利用

中图分类号: S 965.125

文献标志码: A

目前, 凡纳滨对虾的集约化养殖方式带来了日益严重的环境问题。大量残饵和对虾的代谢废物都留在虾池内, 不仅造成了水质恶化, 也影响了对虾的生长, 同时增大了病害爆发的风险。养殖中一般通过换水的方式来改善虾池水质, 大量富含营养物的养殖废水被排放到周围水域中, 容易造成水体富营养化^[1-2]; 另外, 较低的氮磷利用率和大量营养物的流失也减少了养殖经济效益。研究表明, 饲料中仅有21%~22%的氮和6%左右的磷被虾利用, 剩余的残留在养殖水体和底泥中^[3-4], 其中, 约有57%的氮残留在养殖废水中, 14%残留在底泥中^[4]。

多营养层次综合养殖(integrated multi-trophic aquaculture, IMTA)是养殖品种(如虾类), 吸收无机物的物种(如海藻), 吸收有机物的物种(如以悬浮和沉淀物为食的物种)在同一水体中进行

养殖的一种生产形式^[5], 是一种健康可持续的养殖方式。它利用不同营养层次的养殖生物占据的不同的生态位以及摄食习性的互补, 达到充分利用食物资源和养殖水体的目的, 同时也提高了氮磷利用率^[6]。

金钱鱼(*Scatophagus argus*)与罗非鱼食性相似, 属杂食性和底食性鱼, 耐受性和抗病力强, 易于饲养和驯化^[7], 适合与其他养殖种类混养^[8-9]; 蔬菜(*Ipomoea aquatica*)生长迅速, 产量高, 它能作为浮床植物在水中生长, 被应用于工业和生活废水、养殖池塘等水体的净化, 取得了良好的效果^[10-12]。为此, 本文引进这两种养殖生物, 探究不同金钱鱼密度和规格下, 凡纳滨对虾-金钱鱼-蔬菜养殖模式的养殖效果和对饲料中氮磷的利用情况。

收稿日期: 2013-04-19 修回日期: 2013-06-05

基金项目: 欧盟委员会第七框架协议项目(222889); 国家自然科学基金青年基金(31101914); 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(ZF1206); “十二五”科技部科技支撑计划项目(2011BAD13B01)

作者简介: 胡振雄(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为可持续的水产养殖模式。E-mail: huzhenxiong1988@163.com

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

1 材料与amp;方法

1.1 实验设计

本实验采用 3 × 2 双因素设计,即设置不同水平的金钱鱼密度和规格两个因素的处理组。所有处理组中凡纳滨对虾的放养密度均为 80 尾

/m², A1, A2, A3 组金钱鱼的规格均为 10.0 g/尾,放养密度分别为 1、2、3 尾/m²; B1, B2, B3 组金钱鱼的规格均为 30.0 g/尾,放养密度分别为 1、2、3 尾/m²,以上 6 个实验组均放入莼菜。对照组 C 为对虾单养,所有组均设 3 个平行组,共 21 个虾池。如表 1 所示。

表 1 本实验各处理分组情况
Tab. 1 Experimental design scheme

处理组	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
对虾密度/(尾/m ²)	80	80	80	80	80	80	80
金钱鱼规格/(g/尾)	10.0	10.0	10.0	30.0	30.0	30.0	-
金钱鱼密度/(尾/m ²)	1	2	3	1	2	3	0
莼菜种养量/(g/m ²)	153.3	153.3	153.3	153.3	153.3	153.3	0

1.2 实验条件与投饵管理

本实验在上海海洋大学特种水产养殖场进行,共进行 8 周。养殖池为 5 m × 3 m × 1.2 m 的室外水泥池,养殖用水来自养殖场附近河道,盐度为 1。供气设备为罗茨鼓风机,通过纳米微孔曝气盘充气。所有养殖池设置料槽,用来观察对虾的摄食与生长状况。实验虾苗为 SPF 第一代南美白对虾苗,由厦门新荣腾水产技术开发有限公司提供;所用商品虾料由广东海大集团股份有限公司提供;莼菜购自当地菜市场;金钱鱼由上海呈浩贸易有限公司提供。

所有养殖池在使用前曝晒 3 d,然后用高浓度的二氧化氯消毒,浸泡 24 h,用清水冲刷干净后注入养殖用水。实验幼虾初始规格每尾为 0.05 g,金钱鱼购入后集中暂养 3 d,在幼虾入池两周后放入虾池,同时种入莼菜,用带孔的聚苯乙烯泡沫板作为莼菜载体。整个实验期间不换水,只在养殖后期补充少量由于蒸发所丧失的水分,所有养殖池 24 h 不间断充气(投饵时除外)。

每天投饵 3 次,时间分别为 8:30、13:30、18:30,每天投喂量为虾总重的 3% ~ 10%,并根据天气、摄食、水质等状况适当调整。实验期间所用饲料规格分别为 0[#](粉状)和 1[#](粒径约为 1 mm)。实验期间仅投喂虾料,不另投鱼料,每天记录各虾池饲料总投喂量。

1.3 实验指标的测定与分析

1.3.1 现场水质指标的测定

实验期间,每周 9:00 现场测定一次各池溶氧(DO)、温度(T)、pH 和透明度。其中 DO 和 T

采用 SevenGo Pro-SC6 便携溶氧仪进行测定,pH 用 HANNA HI98128 防水型 pH/温度测试笔测量,透明度用塞氏盘测定。

1.3.2 生长指标的测定

实验结束时,统计并称量每池对虾和金钱鱼的尾数和总重,以及莼菜的产量;同时每池随机取 30 尾对虾和 10 尾金钱鱼称重,计算出对虾和金钱鱼终末均重、净产量、存活率、饵料系数 R_{FC} (每增重单位重量的对虾所需饲料的量)以及总饵料系数(每增重单位重量的对虾和金钱鱼所需饲料的量),特定生长率 R_{SG} ,计算公式如下:

$$W_t = W_n/n \quad (1)$$

$$B_n = B_t - B_0 \quad (2)$$

$$S = 100 \times N_t/N_0 \quad (3)$$

$$R_{FC} = F_n/B_n \quad (4)$$

$$R_{SG} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100/t \quad (5)$$

式中: W_0 、 W_t 分别为对虾(金钱鱼)初始和终末均重(g); t 为养殖时间(d); W_n 为对虾(金钱鱼)重(g); B_n 为对虾(金钱鱼)净产量(g); B_0 、 B_t 为对虾(金钱鱼)初始和终末总重(g); S 为对虾(金钱鱼)存活率(%); N_0 、 N_t 为养殖初始和终末对虾(金钱鱼)尾数(尾); F_n 为实验中投喂的饲料总量(g)。

1.3.3 饲料中氮磷利用率的测定

实验初始和结束时,采集对虾、金钱鱼和莼菜样品,测定各样品总氮和总磷含量;同时测定养殖中所用两种规格的饲料中总氮和总磷的含量。测定方法参考国际标准^[13]。氮(磷)总量通过总重量与氮(磷)含量计算,饲料中氮(磷)转化

率通过如下公式计算:

$$\text{氮(磷)转化率}(\%) = (A - B) \times 100 / C$$

式中:A 为实验结束时的氮(磷)总量;B 为实验初始的氮(磷)总量;C 为投入饲料的氮(磷)总量。

1.4 统计与分析

实验数据用平均值 \pm 标准误表示,采用 SPSS 17.0 软件进行 ANOVA 单因素方差分析,若组间有显著性差异,则采用 Duncan 氏法进行多重比较,显著性水平设为 0.05。用 Excel 进行图表处理。

2 结果

2.1 水质指标

实验期间,各池平均水温变化范围为 27.9 ~ 30.9 $^{\circ}\text{C}$ (图 1)。溶氧变化范围为 5.84 ~ 9.38 mg/L,且随实验进行不断下降,单养组 C 相对其他各组下降更快。实验期间各组 pH 变化大致相同,先逐渐升高而在后期下降较快。各组透明度均随实验进行持续减小,实验后期,单养组透明度低于其他组。实验结束时,各组间以上所有指

标均无显著性差异。

2.2 产出效果

实验产出效果如表 2 和图 2 所示,所有综合养殖组对虾存活率均高于单养组 C,其中 A1、A2、B1、B2 与单养组差异显著($P < 0.05$),A1 组对虾存活率最高,达到 65.7%;对虾存活率随金钱鱼密度的升高呈现出下降的趋势(除 B2 外)。对照组 C 的对虾生长最快,特定生长率达到 7.46%,显著高于其他各组($P < 0.05$)。A1 组的对虾产量和饵料系数最佳,其次是 B1 组,且随金钱鱼养殖密度的升高,对虾产量和饵料系数分别表现出下降和升高的趋势。

各组金钱鱼的存活率均为 100%。通过比较金钱鱼的特定生长率可知,大规格金钱鱼组金钱鱼的生长显著快于小规格金钱鱼组($P < 0.05$)。在金钱鱼密度相同的条件下,大规格金钱鱼组金钱鱼的净产量均高于小规格组。养殖结束时,A1 组蔬菜产量最高,达到 0.325 kg/m^3 ,但各组间差异不显著。

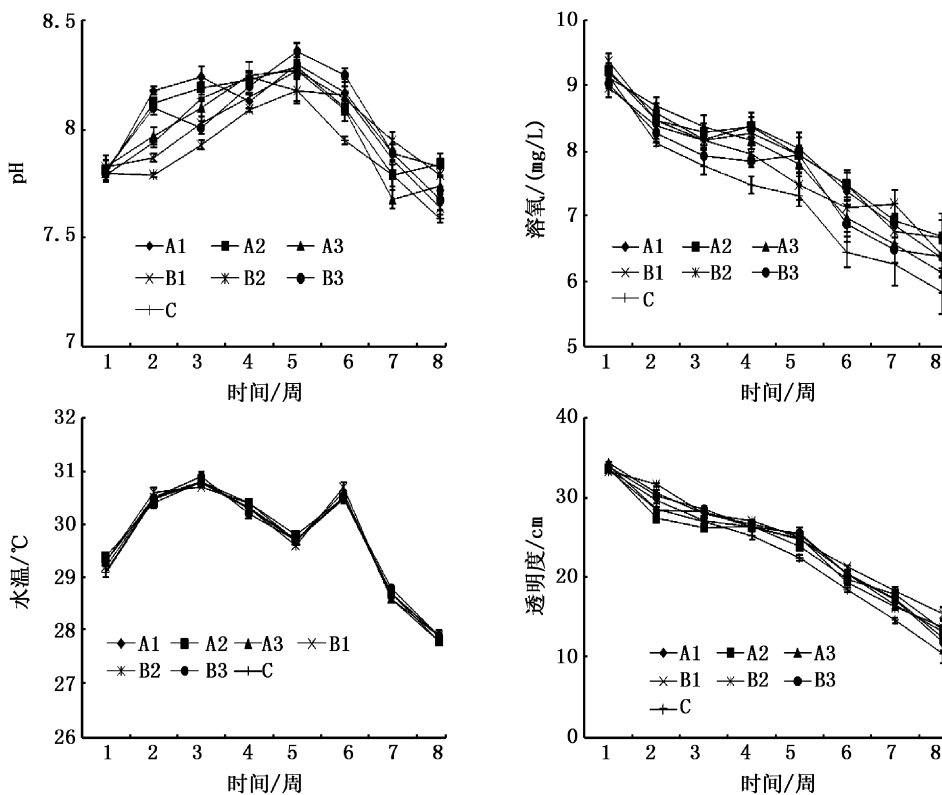


图 1 实验中水温、pH、溶氧和透明度变化趋势

Fig.1 Variations of water temperature, pH, DO and transparency during the experiment

表 2 实验中各处理组养殖生物的生长情况

Tab. 2 Growth performance of culture species in each treatment during the experiment

指标	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
对虾特定生长率/%	7.26 ± 0.02 ^b	7.20 ± 0.06 ^{bc}	7.13 ± 0.09 ^{bc}	7.23 ± 0.14 ^b	7.12 ± 0.11 ^{bc}	7.05 ± 0.03 ^c	7.46 ± 0.01 ^a
存活率/%	65.7 ± 1.3 ^a	58.4 ± 0.8 ^{bc}	56.5 ± 0.7 ^{cd}	61.8 ± 1.4 ^{ab}	63.5 ± 0.9 ^a	54.0 ± 0.7 ^{cd}	52.1 ± 2.6 ^d
饵料系数	1.73 ± 0.09 ^c	2.02 ± 0.15 ^{abc}	2.17 ± 0.13 ^{ab}	1.87 ± 0.11 ^{bc}	1.93 ± 0.09 ^{bc}	2.39 ± 0.22 ^a	1.95 ± 0.16 ^{bc}
金钱鱼存活率/%	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0
特定生长率/%	1.45 ± 0.04 ^b	1.41 ± 0.06 ^b	1.32 ± 0.26 ^b	1.74 ± 0.17 ^a	1.64 ± 0.09 ^a	1.61 ± 0.14 ^a	
鱼虾总计总饵料系数	1.68 ± 0.06 ^b	1.83 ± 0.02 ^{ab}	1.79 ± 0.03 ^b	1.67 ± 0.12 ^b	1.34 ± 0.02 ^c	1.33 ± 0.06 ^c	1.95 ± 0.16 ^a

注: 同行中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

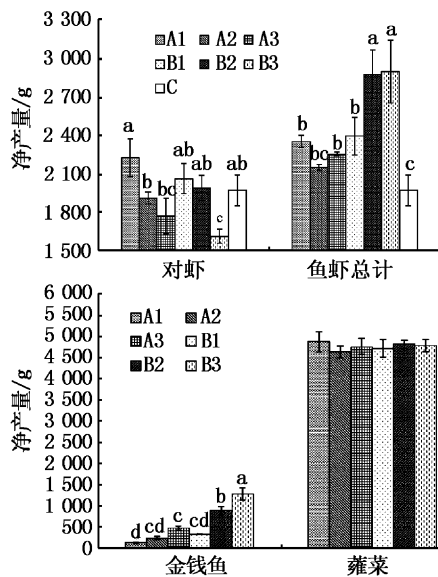


图 2 养殖结束后综合养殖组养殖生物产出情况
Fig. 2 Production performance of culture species in IMTA treatments at harvest

图中标有不同小写字母者表示组间差异显著 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

养殖结束时, B3 组总产量 (对虾和金钱鱼) 和总饵料系数 (对虾和金钱鱼) 均最佳, 与 B2 组

差异不显著, 但显著优于其他各组 ($P < 0.05$); 单养组总产量最低, 总饵料系数最高。

2.3 氮磷利用率

实验中各组对饲料中氮磷利用情况如表 3 所示。各组对虾对氮的利用率范围为 20.4% ~ 30.6%, 其中, A1 组对虾对氮的利用率 (30.6%) 最高, 显著高于 A2, A3, B3 组 ($P < 0.05$), 但与对照组 C 无显著差异。除 A2 与 B1 组, 各组金钱鱼对氮的利用率均差异显著 ($P < 0.05$), 且随金钱鱼规格和密度的增大, 其对氮的利用率均显著升高。各综合养殖组中蔬菜对氮的利用差异均不显著。各综合养殖组中生物 (包括对虾、金钱鱼和蔬菜) 对氮的总利用率范围为: 44.4% ~ 62.5%, 均显著高于单养组 ($P < 0.05$); B2 组对氮的总利用率最高, 达到 62.5%, 且与其他组 (B3 除外) 均差异显著 ($P < 0.05$)。

各组对虾、金钱鱼、蔬菜对磷的利用率范围分别为: 6.0% ~ 9.7%、3.6% ~ 17.3% 和 5.1% ~ 6.3%, 各组生物对磷总的利用率范围为 8.2% ~ 29.1%。各组之间生物对磷的利用情况与对氮的利用表现出相似的差异性。

表 3 实验中各处理组对氮磷的利用情况

Tab. 3 The efficiency of nutrient recovery in all treatments during the experiment period

指标	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
氮							
对虾利用率/%	30.6 ± 1.7 ^a	22.8 ± 0.6 ^{bc}	21.2 ± 0.6 ^c	28.4 ± 1.6 ^a	27.8 ± 0.7 ^a	20.4 ± 0.1 ^c	26.7 ± 3.4 ^{ab}
鱼利用率/%	6.2 ± 0.3 ^c	12.7 ± 0.9 ^d	18.5 ± 2.5 ^c	11.6 ± 0.6 ^d	23.7 ± 1.7 ^b	29.5 ± 3.4 ^a	
蔬菜利用率/%	11.4 ± 2.6	8.9 ± 2.0	9.4 ± 1.3	9.1 ± 2.2	11.0 ± 0.9	9.6 ± 1.0	
总利用率/%	48.2 ± 1.8 ^b	44.4 ± 2.2 ^b	49.1 ± 1.5 ^b	49.1 ± 2.4 ^b	62.5 ± 3.1 ^a	59.5 ± 2.7 ^a	26.7 ± 3.4 ^c
磷							
对虾利用率/%	9.7 ± 0.2 ^a	6.7 ± 0.4 ^{bc}	6.2 ± 0.7 ^c	9.2 ± 0.7 ^a	8.9 ± 0.4 ^a	6.0 ± 0.2 ^c	8.2 ± 0.3 ^{ab}
鱼利用率/%	3.6 ± 0.1 ^c	7.6 ± 0.4 ^d	10.5 ± 0.3 ^c	7.0 ± 0.3 ^d	13.8 ± 0.5 ^b	17.3 ± 0.7 ^a	
蔬菜利用率/%	6.3 ± 1.2	5.1 ± 0.7	5.6 ± 0.8	5.3 ± 1.0	6.1 ± 0.4	5.8 ± 0.5	
总利用率/%	19.6 ± 1.0 ^b	19.4 ± 0.5 ^b	22.3 ± 0.8 ^b	21.5 ± 2.5 ^b	28.8 ± 1.6 ^a	29.1 ± 1.1 ^a	8.2 ± 0.3 ^c

注: 同行中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同养殖模式对水体 pH、溶氧和透明度的影响

实验期间平均水温为 29.7℃,且变化幅度较小,在对虾和金钱鱼的适温范围内。实验过程中,各养殖池水体 DO 均呈现出明显的下降趋势,原因可能是随着实验进行,养殖池内对虾和金钱鱼生物量逐步增大,耗氧量增加;另外,由于实验期间未换水,会造成养殖池有机质大量累积而消耗大量溶解氧^[14]。实验结束时,各养殖池溶氧均达到各自的最低,其中单养组最低(5.84 mg/L),均达到我国渔业水质标准养殖水体的 DO 含量。有研究表明,通过鱼虾混养能明显改善养殖池溶氧状况^[15],本实验中虽综合养殖组溶氧状况好于单养组,但无显著差异,可能是由于本实验持续使用增氧设备,使得水体溶氧量受人工调节影响更大。

研究表明,凡纳滨对虾最适 pH 范围为 7.8 ~ 8.6,耐受范围为 7 ~ 9,低于 7 时,对虾个体生长不齐,活动受影响^[16]。养殖中残饵、排泄物等有机物的氧化分解能产生有机酸,降低水体 pH^[17]。本实验中,各组 pH 在对虾耐受范围内,在养殖后期明显下降,可能由于后期有机物累积导致有机酸增多造成。综合养殖组水体 pH 略高于单养组,可能是在相同饵料投喂量的条件下,由于金钱鱼对残饵等有机颗粒的摄食,综合养殖组残饵量更少,从而产生的有机酸减少所致。各组的透明度随时间推移持续下降,这与李世凯等^[18]的研究结果相同;而综合养殖组的透明度均高于单养组,原因可能与金钱鱼的摄食作用造成水中悬浮颗粒的累积相对单养组较少有关。

3.2 不同养殖模式对对虾存活率的影响

本实验中,相对单养组,综合养殖组对虾存活率提高了 1.9% ~ 13.6%。YUAN 等^[6]将不同密度和规格的红罗非鱼和凡纳滨对虾混养,也得到了类似的结果。综合养殖组能改善对虾存活率,原因可能是金钱鱼对残饵和天然饵料的摄食利用以及蔬菜对水体中氮磷营养物的利用,加速了综合养殖池中营养物流动,减少了废物累积,从而使对虾生长环境相对单养组更好。此外,TENDENCIA 等^[19]研究发现,在对虾-罗非鱼混养池中,罗非鱼生物量超过 300 g/m³ 时,能抑制造

成对虾死亡的发光弧菌的增长。本实验中采用的金钱鱼与罗非鱼有相似的生理习性,可能发挥相似的作用,对致病微生物的增长产生抑制。

3.3 不同养殖模式对产出效果的影响

本实验中,单养组对虾的生长显著快于各综合养殖组,由于各组饵料投喂量相同以及综合养殖组对虾存活率更高,因此,造成综合养殖组对虾生长慢于单养组的原因可能是综合养殖池中的食物竞争更激烈。本研究中,除 B3 组外,各综合养殖组对虾生长随金钱鱼规格和密度的不同差异并不显著,这表明,当金钱鱼的生物量更高时,对虾可能通过摄食水体中更多的天然饵料来弥补食物不足。

养殖结束时,大规格金钱鱼组金钱鱼的生长显著快于小规格金钱鱼组,这可能与不同规格金钱鱼的抢食能力有关。A1 组相比单养组 C 对虾净产量提高了 12.8%,对虾饵料系数降低了 11.3%,均为所有综合养殖组中的最高值。由于综合养殖养殖池中金钱鱼的存在,对虾和金钱鱼的总净产量和总饵料系数均优于单养组,这可能是金钱鱼通过对水体中残饵和天然饵料的利用,提高了饲料利用率。YUAN 等^[6]的相关研究也得到了上述类似结果。

3.4 不同养殖模式对氮磷利用率的影响

本研究中,对虾对饲料中氮和磷的利用率范围分别为 20.4% ~ 30.6% 和 6.0% ~ 9.7%。同类研究中,BRIGGS 和 FUNGE-SMITH^[3]研究发现,在草虾集约化养殖池中,草虾对氮和磷的利用率分别为 21% 和 6%;而 TEICHERT-CODDINGTON 等^[20]研究表明,南美白对虾在半集约化养殖池中对氮的利用率为 28%。上述研究值虽然与本研究中对虾的氮磷利用率相似,但均明显低于养殖系统生物(即对虾、金钱鱼和蔬菜)对氮和磷的总利用率。相比单养池而言,凡纳滨对虾-金钱鱼-蔬菜养殖系统对氮磷营养物明显提高的利用率表明,这种养殖模式能有效减少养殖水体中氮磷营养物含量,从而一定程度上缓解由此带来的环境污染问题。

3.5 最佳金钱鱼养殖规格和密度

本研究从产出效益和环境效益两个方面来评估最佳的金钱鱼养殖规格和密度,具体表现为净产量和氮磷利用率参数。养殖结束时,金钱鱼规格为 30 g/尾,密度为 2 尾或 3 尾/m²,B₂ 和 B₃

组的对虾和金钱鱼的总净产量和氮磷利用率均较高,二者无显著差异,而 B3 组对虾净产量显著低于 B2。因此,当对虾市场价格较低或对虾养殖效果较差时,可采用 B2 或 B3 组的金钱鱼密度和规格,通过金钱鱼的引入来减小养殖风险,保证养殖效益;当对虾市场价格较高或对虾养殖效果较好时,则应考虑到对虾的净产量因素,采用金钱鱼规格为 30 g/尾,密度为 2 尾/m² 的养殖模式综合养殖效益最佳。

参考文献:

- [1] 成芳,凌去非,徐海军,等. 太湖水质现状与主要污染物分析[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(1): 105-110.
- [2] 韩芳,霍元子,杜霞,等. 象山港网箱养殖对水域环境的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 825-830.
- [3] BRIGGS M R P, FUNGE-SMITH S J. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand [J]. *Aquaculture and Fisheries Management*, 1994, 25(8): 789-811.
- [4] JACKSON C, PRESTON N, THOMPSON P J, et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm [J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1/4): 397-411.
- [5] TROELL M, JOYCE A, CHOPIN T, et al. Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems [J]. *Aquaculture*, 2009, 297(1/2): 1-9.
- [6] YUAN D, YI Y, YAKUPITIYAGE A, et al. Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis spp.*) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks [J]. *Aquaculture*, 2010, 298(3/4): 226-238.
- [7] 宋郁,苏冒亮,刘南希,等. 金钱鱼幼鱼低温耐受能力和饵料营养需求的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 715-719.
- [8] BARRY T P, FAST A W. Biology of the spotted scat (*Scatophagus argus*) in the Philippines [J]. *Asian Fisheries Science*, 1992, 5: 163-179.
- [9] 裴宇,黎东,朱春华. 凡纳滨对虾与金钱鱼混养模式水质理化因子及浮游生物群落结构的变化 [J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(1): 68-73.
- [10] LI M, WU Y J, YU Z L, et al. Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) with ion implantation [J]. *Water Research*, 2007, 41(14): 3152-3158.
- [11] XIN J, HUANG B, YANG Z, et al. Responses of different water spinach cultivars and their hybrid to Cd, Pb and Cd-Pb exposures [J]. *Journal of hazardous materials*, 2010, 175(1/3): 468-476.
- [12] YANG U J, YOON S R, CHUNG J H, et al. Water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) reduced the absorption of heavy metals in an in vitro bio-mimicking model system [J]. *Food Chemical Toxicology*, 2012, 50(10): 3862-3866.
- [13] AOAC. Official Methods of Analysis [M]. 18th ed. Gaithersburg, Maryland, USA: Association of official Analytical chemists, 2005.
- [14] 李彦,刘利平,赵广学,等. 基于因子分析法的罗非鱼养殖池水质影响要素的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 794-799.
- [15] 李秋芬,陈碧鹃,曲克明,等. 鱼虾混养生态系中细菌动态变化的研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 731-734.
- [16] 张才学,劳赞,廖宝娇,等. 珠海地区凡纳滨对虾淡水养殖池浮游植物群落的演替 [J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(4): 35-41.
- [17] 李贵生,何建国,李桂峰,等. 水体理化因子对斑节对虾生长影响的研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2000, 39(s): 107-114.
- [18] 李世凯,江敏,戴习林,等. 凡纳滨对虾池塘水质及对虾肌肉品质的对比分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(6): 955-964.
- [19] TENDENCIA E A, FERMIN A C, LIO-PO G, et al. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi* [J]. *Aquaculture*, 2004, 232(1/4): 145-152.
- [20] TEICHERT-CODDINGTON D R, MARTINEZ D, RAMÍREZ E, et al. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras [J]. *Aquaculture*, 2000, 190(1/2): 139-154.

A study on production and nutrient recovery in an integrated culture system of *Litopenaeus vannamei*, *Scatophagus argus* and *Ipomoea aquatica*

HU Zhen-xiong^{1,2}, HE Xue-jun³, LIU Li-ping^{1,2}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University Aquatic Animal Breeding Center, Shanghai 201306, China; 3. Hainan xinji Aquaculture Science&Technology Co. Ltd, Haikou 571100, Hainan, China)

Abstract: To investigate the effects of different densities and sizes of spotted scat (*Scatophagus argus*) on production and nutrient recovery in integrated culture (IMTA) system of white shrimp, spotted scat and water spinach, an experiment was conducted using a 3 × 2 factorial design in 21 outdoor cement tanks (5 m × 3 m × 1.2 m). Combinations of two kinds of sizes (10.0, 30.0 g/ind) and three kinds of densities (1, 2 and 3 ind/m²) of spotted scat were set, while three additional tanks with shrimp monoculture were used as a control. There was no water exchange and feed input to all treatments was limited to the same amount. In comparison with monoculture, IMTA model increased the shrimp survival rate, total biomass and combined overall FCR remarkably. The combined nutrient recovery in IMTA tanks was significantly higher than in single shrimp tanks ($P < 0.05$), ranging from 44.4% to 62.5% for total nitrogen and from 19.4% to 29.1% for total phosphorous. The optimal stocking density and size of spotted scat were 2 or 3 ind/m² and 30.0 g/ind.

Key words: white shrimp; spotted scat; integrated culture; nutrient recovery