

郭晓奇, 周发林, 马志洲, 姜松, 罗国武. 斑节对虾南海 2 号混养黄鳍鲷和褐篮子鱼对池塘水质和生长性能的影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(5): 121-127.

## 斑节对虾南海 2 号混养黄鳍鲷和褐篮子鱼 对池塘水质和生长性能的影响

郭晓奇<sup>1</sup>, 周发林<sup>2</sup>, 马志洲<sup>1</sup>, 姜松<sup>2</sup>, 罗国武<sup>1</sup>

(1. 广东省渔业技术推广总站, 广东 广州 511453

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地, 广东 深圳 518121)

**摘要:**【目的】为了提高黄鳍鲷、褐篮子鱼在 1 000 m<sup>2</sup> 斑节对虾南海 2 号养殖池塘内的生态效益。【方法】试验比较了斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 南海 2 号 - 黄鳍鲷 (*Sparuslatus*) (混养黄鳍鲷处理)、斑节对虾南海 2 号 - 褐篮子鱼 (*Siganus fuscenssens*) (混养褐篮子鱼处理) 混养池塘内营养盐变化、颗粒物含量、浮游藻类、浮游动物以及养殖生物生长性能等指标在 105d 的变化。【结果】整个实验期间混养黄鳍鲷处理和混养褐篮子鱼处理池塘水体中氨氮 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、溶解性活性磷 (SRP)、颗粒物 (TPM) 等均表现出增加的趋势; 在实验中后期, 混养黄鳍鲷处理池塘水体中的溶解态氮低于混养褐篮子鱼处理, 然而 TN 含量却高于混养褐篮子鱼处理, 至试验后期表现出显著差异; 同时, 混养黄鳍鲷处理池塘水体中的颗粒物含量高于混养褐篮子鱼处理, 表明混养黄鳍鲷处理池塘水体中较高的 TN 含量是源于悬浮颗粒物。两口混养池塘内浮游生物和叶绿素 a 含量变化范围分别为 6.83~18.65 μg/L 和 5.34~16.24 μg/L, 二者之间无显著性差异。【结论】试验结果表明, 黄鳍鲷的扰动作用可以促进池塘底部有机质向上层水体迁移, 有利于降低 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 等物质的积累和促进池塘养殖系统内物质循环; 斑节对虾南海 2 号存塘率和鱼类取样结果表明, 黄鳍鲷和褐篮子鱼可以与对虾直接混养, 取得更高的经济效益。黄鳍鲷和褐篮子鱼对养殖池塘不同粒径浮游植物的滤食能力需要进一步研究。

**关键词:** 斑节对虾; 南海 2 号对虾; 黄鳍鲷; 褐篮子鱼; 混合养殖

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2019) 05-0121-07

## Effects of Polyculture of *Penaeus monodon* “Nanhai No.2” with *Sparuslatus* and *Siganus fuscenssens* on the Water Quality and Growth of Shrimp in Ponds

GUO Xiaoqi<sup>1</sup>, ZHOU Falin<sup>2</sup>, MA Zhizhou<sup>1</sup>, JIANG Song<sup>2</sup>, LUO Guowu<sup>1</sup>

(1. Guangdong Fishery Technology Extension Center, Guangzhou 511453 China; 2 Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shenzhen 518121, China)

**Abstract:** 【Objective】The objective of the study was to explore the ecological benefits of *Sparuslatus* and *Siganus fuscenssens* in two 1 000 m<sup>2</sup> aquaculture ponds for *Penaeus monodon*. 【Method】A test was conducted to compare the change of nutritive salt, content of particulate material, growth performance of phytoplankton, zooplankton and other indexes

收稿日期: 2019-02-14

基金项目: 广东省 2018 年促进经济发展专项 (SDYY-2018-02); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-48); 深圳市现代农业和海洋生物产业扶持计划 (生物产业类) 项目 (20170428152352908); 广东省海洋和渔业发展专项 (2017A0014)

作者简介: 郭晓奇 (1983—), 男, 工程师, 研究方向为水产养殖与渔业资源, E-mail: xqguo2006@163.com

通信作者: 罗国武 (1973—), 男, 高级工程师, 研究方向为水产养殖与渔业资源, E-mail: gwluo@163.com

in *P. monodon* “Nanhai No.2” – *Sparuslatus* (*Sparuslatus* polyculture treatment, XZ pond) polyculture pond and the change of such indexes in *P. monodon* “Nanhai No.2” – *S. fuscenssens* (*S. fuscenssens* polyculture treatment, XL pond) polyculture pond in 105 days. 【Results】 The results showed that the contents of ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), soluble reactive phosphorus (SRP) and particulate matter in XZ pond and XL pond were increased during the entire experiment. At the middle and later experiment period, the dissolved nitrogen in the XZ pond was lower than that in the XL pond while the TN content in the XZ pond was higher than that in the XL pond and the difference became more significant in the late experiment period. Meanwhile, the particulate matter content in XZ pond was higher than that in the XL pond, which indicated that the higher TN content in XZ pond was from suspended particulate matters. The ranges of variation of plankton and chlorophyll a content in the two ponds were 6.83–18.65  $\mu\text{g/L}$  and 5.34–16.24  $\mu\text{g/L}$ , respectively, showing no significant difference. 【Conclusion】 The experimental results indicated that the bioturbation of *Sparuslatus* could boost the transportation of organic matter from the bottom to the upper body of the pond, which was beneficial to reduce the accumulation of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  and other substances, and promote the material circulation in the pond culture system. The survival rate of *P. monodon* “Nanhai No.2” and fish sampling results indicated that the *Sparuslatus* and *S. fuscenssens* could be cultured with *P. monodon* “Nanhai No.2” directly to achieve higher economic benefits. Further study needs to be conducted on the feed filtration capacity of *Sparuslatus* and *S. fuscenssens* on different phytoplankton with different particle sizes in culture ponds because of the importance of phytoplankton in the water.

**Key words:** *Penaeus monodon*; Nanhai No.2; *Sparuslatus*; *Siganus fuscenssens*; polyculture

【研究意义】斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 是我国南方地区以及东南亚等国家的主要养殖品种之一<sup>[1]</sup>, 但近年由于对虾苗种质量良莠不齐、疾病以及环境恶化等原因, 造成许多虾塘空置或者转养其他品种<sup>[2]</sup>。2018年, 中国水产科学研究院南海水产研究所培育的斑节对虾南海2号(品种登记号: GS-02-002-2017) 具有生长快、养殖成活率高的特点, 确保了斑节对虾养殖业的苗种质量。但目前该品种配套的养殖技术和模式还不够完善, 限制其在对虾养殖业中大规模的推广应用。

【前人研究进展】混养可以最大程度地利用水体的生态位, 增加养殖池塘的生物多样性<sup>[3-4]</sup>。对虾和滤食性或杂食性鱼类混养, 可以充分利用不同水层的生态空间, 提高饵料的综合利用<sup>[5-6]</sup>。

【本研究切入点】黄鳍鲷和褐篮子鱼是热带、亚热带地区广泛养殖的鱼类品种, 其养殖的温度、盐度要求都与斑节对虾相近, 可以作为斑节对虾的混养鱼类品种<sup>[7-8]</sup>。黄鳍鲷在幼鱼阶段主要以滤食性为主, 成长至成鱼后则转变成杂食性, 可以有效利用对虾养殖池塘的有机碎屑及虾类残饵等, 对于提高养殖系统内有机物利用率及改善营养物质循环具有积极的促进作用<sup>[7]</sup>。褐篮子鱼属于杂食性鱼类, 以摄食海藻为主, 也可以摄食虾类残饵及消化不良的粪便<sup>[9]</sup>。有研究表明, 褐

篮子鱼可以摄食对虾养殖池塘的大型藻类, 提高单胞藻类的生物量<sup>[8]</sup>。

【拟解决的关键问题】有关黄鳍鲷和褐篮子鱼在对虾养殖池塘内混养的比较研究较少, 因此, 本研究对黄鳍鲷、褐篮子鱼与斑节对虾南海2号的混养池塘进行了取样研究, 通过对养殖池塘内水质指标监测、斑节对虾南海2号生长存活等指标的测定分析, 比较两种混养模式对养殖池塘水质指标和对虾生长性能的影响, 为建立斑节对虾南海2号配套的健康、生态养殖模式提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2018年5月20日至9月2日在广东省阳江市东泰水产发展有限公司进行, 养殖试验期为105 d。供试池塘两口, 为1 000  $\text{m}^2$  的高位池塘, 蓄水深度为1.5 m, 池塘4个角落各有1台水车式增氧机, 池塘底部设置有纳米管微孔曝气装置, 纳米管与罗茨鼓风机相连接, 除喂料时间外, 每天水车式增氧机和纳米曝气系统轮流开启, 以保证水体溶解氧高于5.0  $\text{mg/L}$ 。试验期间定期加入新鲜海水以补偿因蒸发等引起的池塘水位下降。斑节对虾南海2号混养黄鳍鲷或褐篮子鱼的处理见表1。

表 1 斑节对虾南海 2 号混养黄鳍鲷或褐篮子鱼的处理

Table 1 Polyculture treatment of *Penaeus monodon* "Nanhai No.2", *Sparus latus* and *Siganus fuscessens*

处理 Treatment	实验动物投喂时间 Date of cultivation	规格 Size (g)	密度 (尾/667 m <sup>2</sup> ) Stocking density (tail/667 m <sup>2</sup> )	投苗总量 (尾) Total number (tail)
混养黄鳍鲷 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Sparus latus</i>	斑节对虾南海 2 号养殖第 1 天 黄鳍鲷养殖第 22 天	0.77 ± 0.06 11.50 ± 3.81	50000 333	75000 500
混养褐篮子鱼 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Siganus fuscessens</i>	斑节对虾南海 2 号养殖第 1 天 褐篮子鱼养殖第 22 天	0.77 ± 0.06 35.62 ± 5.02	50000 666	75000 1000

## 1.2 饲养管理

试验期间, 给斑节对虾南海 2 号投喂粤海牌斑节对虾饲料 (粗蛋白 38%), 6:00、12:00、18:00 和 22:00 各投喂 1 次, 每天的投喂总量约为对虾体质量的 10%; 每次投喂 1 h 后观察喂料框, 根据残饵情况适当调整投喂量。黄鳍鲷和褐篮子鱼不投喂饵料。试验期间, 两口池塘的进水、培水等工作同步进行。

## 1.3 样品采集与指标测定

每口试验池塘设置 5 个采样点, 分别在 4 个角落和中心位置, 每隔 21 d 取水样、底泥样和生物样品 1 次, 每种样品采样 3 次, 取水深度为水面下 20 cm。水温、溶解氧、盐度和 pH 采用多参数水质分析仪 (美国维赛 YSI Pro2030) 于取样日期的 16:00 进行现场测定。对取得的水样立即进行氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、总氮、总磷、溶解性活性磷、总颗粒物含量及叶绿素 a 测试, 测试方法参照文献 [10] 进行。浮游动植物的采集方法参照《海洋规范调查》[11]。颗粒物质和颗粒

有机物质的含量采用烘干和灼烧的方法测定。样品在 60℃ 烘箱里烘干至平衡重, 有机质含量通过马弗炉焚烧 (600℃) 的方法测定。

试验结束时调查斑节对虾南海 2 号的成活率, 采用下列公式计算:

$$\text{成活率} (\%) = W_1 / (W_2 / 1000) / 75000 \times 100$$

式中,  $W_1$  为收获虾的总质量;  $W_2$  为随机抽取 1 000 尾虾的总质量。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 对数据进行样本频率的假设检验, 采用 SPSS19.0 软件的 One-way ANOVA 分析进行差异性比较, 并利用 Duncan's 多重比较法分析组间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 养殖水体水温和盐度变化

从图 1 可知, 养殖试验期间, 池塘水温呈升高趋势, 变化范围为 30.5~33.1℃, 平均水温为 32.07℃; 盐度呈下降趋势, 变化范围为

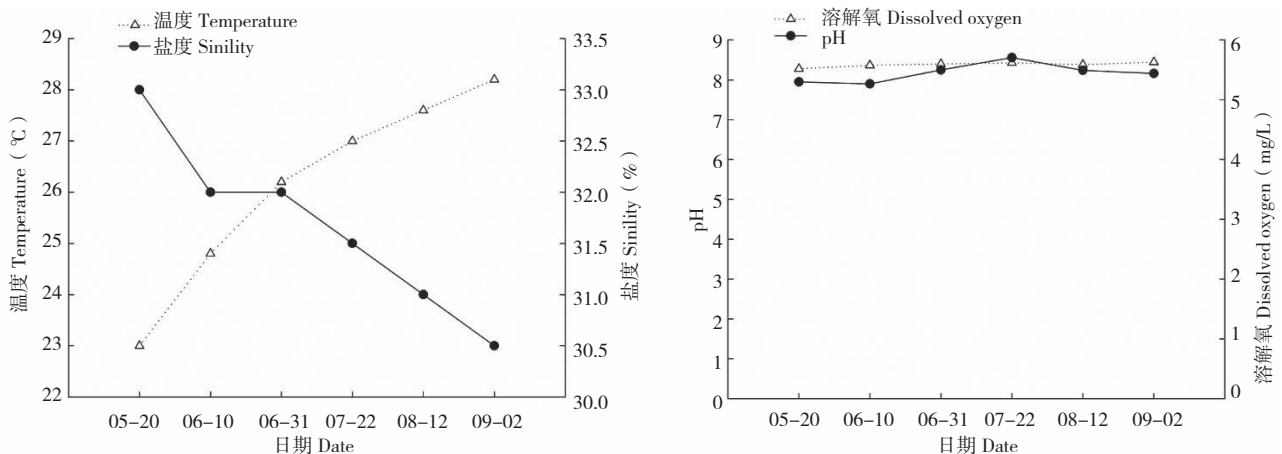


图 1 养殖水体水温、盐度、溶解氧和 pH 变化

Fig. 1 Changes of water temperature, salinity, dissolved oxygen and pH in aquaculture water

28.0~23.0, 平均盐度为 25.33; 溶解氧和 pH 相对稳定, 变化不大, 溶解氧变化范围为 5.52~5.63 mg/L, pH 变化范围为 7.9~8.6。

## 2.2 水体浮游生物生物量的变化

养殖试验期间混养黄鳍鲷处理和混养褐篮子鱼处理浮游动植物组成和变化趋势相近。试验前期, 两口池塘内挠足类和轮虫较为丰富, 为优势浮游动物; 随着试验进行, 优势浮游动物变成挠足类和枝角类。浮游植物方面, 试验期间两口塘优势种类均为小球藻和扁藻, 且浮游植物组成变化不大。混养黄鳍鲷处理和混养褐篮子鱼处理叶绿素 a 变化范围分别为 6.83~18.65  $\mu\text{g/L}$  和 5.34~16.24  $\mu\text{g/L}$ , 两者之间无显著差异。

## 2.3 水体营养盐和悬浮颗粒物质的变化

由图 2 可知, 混养黄鳍鲷处理和混养褐篮子鱼处理氨氮含量均随着试验的进行呈现升高趋势, 在试验中后期, 混养黄鳍鲷处理氨氮含量比

混养褐篮子鱼处理低, 且在第 3~5 次采集的水样中呈显著差异。两口塘硝态氮变化趋势相近, 混养黄鳍鲷处理硝态氮含量低于混养褐篮子鱼处理, 但两者间差异不显著。试验期间, 两口塘亚硝态氮含量均处于较低水平, 差异不显著。在试验中后期, 混养黄鳍鲷处理的总氮含量显著高于混养褐篮子鱼处理, 两处理水体溶解性活性磷和总磷均表现出陡然增加的趋势。试验后期, 混养黄鳍鲷处理的溶解性活性磷和总磷含量显著高于混养褐篮子鱼处理。

两口试验池塘的总颗粒物质和颗粒有机物质均随着试验时间的延长表现出增加的趋势 (图 2)。在试验后期, 混养褐篮子鱼处理总颗粒物质和颗粒有机物质显著低于混养黄鳍鲷处理; 至试验结束时, 混养褐篮子鱼处理总颗粒物质和颗粒有机物质比混养黄鳍鲷处理分别低 25.88% 和 29.31%。

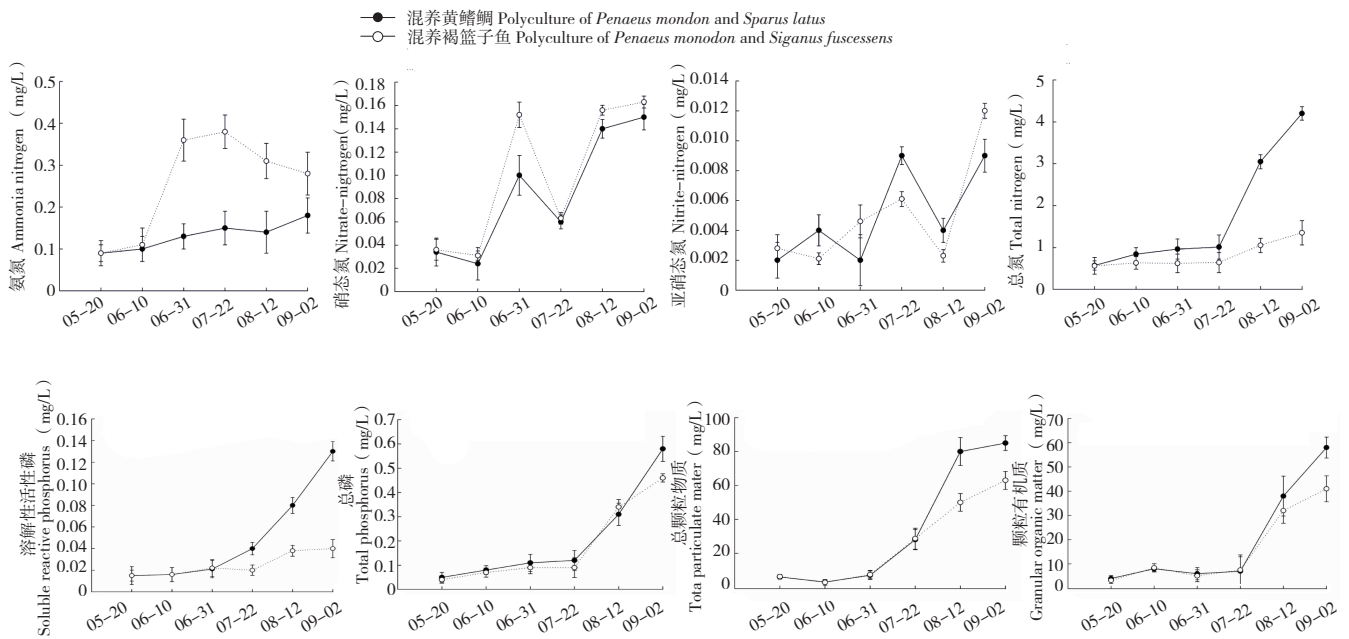


图 2 不同混养池塘水体中营养盐和悬浮颗粒物质的变化

Fig. 2 Changes of nutrients and suspended particulate matter in water of different polyculture ponds

## 2.4 混养生物的生长性能比较

试验结束时, 混养黄鳍鲷处理斑节对虾南海 2 号存活率为 76.5%, 显著高于混养褐篮子鱼处理的 64.9% (表 2), 但前者的体质量显著低

于后者; 黄鳍鲷和褐篮子鱼成活率均处于较高水平, 至试验结束时, 分别达到 91.5% 和 84.3%, 前者均重显著高于后者, 但总生物量显著低于后者 (表 3)。



表 2 斑节对虾南海 2 号生长性能比较

Table 2 The growth performance of *Penaeus monodon* "Nanhai No.2" during the experiment

处理 Treatment	试验前期 Early stage		试验中期 Middle stage			试验后期 Late stage		
	体长 Body length (cm)	体质量 Body weight (g)	体长 Body length (cm)	体质量 Body weight (g)	成活率 Survival rate (%)	体长 Body length (cm)	体质量 Body weight (g)	成活率 Survival rate (%)
混养黄鳍鲷 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Sparus latus</i>	0.65 ± 0.07	0.77 ± 0.06	6.68 ± 1.35	2.84 ± 0.54	84.6 ± 20.54	9.54 ± 3.14	8.54 ± 1.35	76.5 ± 14.84
混养褐篮子鱼 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Siganus fuscus</i>	0.65 ± 0.05	0.77 ± 0.06	7.24 ± 2.03	3.49 ± 1.32	78.4 ± 18.36	10.68 ± 2.84	9.61 ± 2.41	64.9 ± 13.25

表 3 混养池塘内鱼类的生长性能比较

Table 3 Growth performance of the fish in the polyculture ponds

处理 Treatment	成活率 Survival rate (%)	均重 Average weight (g)	生物量 Biomass (kg)
混养黄鳍鲷处理 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Sparus latus</i>	91.50 ± 20.16	142.03 ± 28.36	64.96 ± 14.67
混养褐篮子鱼处理 Polyculture of <i>Penaeus monodon</i> and <i>Siganus fuscus</i>	84.30 ± 24.36	108.14 ± 31.47	91.04 ± 20.33

### 3 讨论

#### 3.1 斑节对虾南海 2 号混养黄鳍鲷和褐篮子鱼对养殖水体水质的影响分析

近年来,许多国内外学者对对虾与不同种类的鱼类混养展开了较为深入的研究。研究表明,黄鳍鲷和褐篮子鱼作为杂食、滤食性鱼类,对提高水体空间、饵料等利用率以及改善水体环境具有积极的意义[7-8,12]。但之前的研究多以凡纳滨对虾为研究对象,且以往的混养模式多以围网养殖为主[13],本试验在正常养殖斑节对虾南海 2 号的池塘中,混养黄鳍鲷或褐篮子鱼,结果表明,在试验初期两口池塘的水质指标无显著性差异,而在试验中后期,混养黄鳍鲷处理的溶解态氮和磷均显著低于混养褐篮子鱼处理,总氮和总磷含量高于混养褐篮子鱼处理,表明混养黄鳍鲷处理水体中含有较高水平的颗粒态氮和磷。而试验也表明斑节对虾南海 2 号与黄鳍鲷混养的池塘含有较高水平的颗粒态氮和磷。黄鳍鲷的游泳能力强于褐篮子鱼,其在水体中上下游动产生的扰动作用可以促进池塘底部的颗粒物质向水体中上层移动,使得中上层也含有较大量的颗粒物质。生物扰动作用还可以加速营养盐之间的化学转化与循环,降低氨氮和亚硝态氮在水体中的积累[14-15]。研究表明,黄鳍鲷喜欢摄食水体底部的沉积物,其摄食活动也能促进生物扰动作用,促进水体底部沉积物质的二次悬浮[16]。另外,黄鳍鲷在摄

食底部沉积物的同时,会摄食沉积在水体底部的残饵及虾粪便,这样就减少了底部有机物质的堆积,减少了饵料的溶失,这对控制养殖水体营养物质的累积和减少水体溶解态氮磷含量都有重要影响[17-18]。而褐篮子鱼除了摄食斑节对虾饲料外,主要啃食附着的藻类及池壁上的附着物,摄食底部沉积物的行为相对较少[19],这样就降低了生物扰动作用。研究表明,对虾养殖池塘内混养鱼类可以增加养殖水体浮游植物的丰度和生物量,罗非鱼和褐篮子鱼喜食大型藻类,会造成养殖池塘浮游植物生物量增加[8,20];黄鳍鲷对浮游植物滤食性较强,能够提高养殖池塘浮游植物的丰度。鲷科鱼类与中国对虾的混养也会使混养水体中浮游植物的丰度增加,其主要原因为混养鱼类主要摄食特定粒径的浮游植物,从而影响了水体浮游植物的丰度[21]。另有研究表明,鱼虾混养池塘的水体叶绿素 a 含量低于单一的养虾池塘,这可能与混养鱼类的数量、规格、摄食性和摄食量有关[22]。本研究中,两口混养池塘的浮游植物丰度、含量、变化趋势及叶绿素 a 含量均较为相近,两口池塘浮游植物种类均以小球藻和扁藻等小型藻类为主,表明黄鳍鲷和褐篮子鱼可以在一定程度上摄食大型藻类,使养殖池塘藻类趋于小型化,黄鳍鲷和褐篮子鱼对于不同粒径的浮游植物及有机颗粒的滤食影响尚待进一步深入研究。

#### 3.2 斑节对虾南海 2 号混养黄鳍鲷和褐篮子鱼的养殖方式分析

黄鳍鲷与褐篮子鱼的食性均为杂食性,可摄食或滤食有机颗粒、浮游动物、藻类、残饵及大型藻类等,这种食性对混养生态系统能量利用具有积极影响<sup>[19,23]</sup>。在本试验中,两口混养池塘黄鳍鲷和褐篮子鱼产量分别为64.96、91.04 kg,由于两口池塘均不投喂鱼料,因此,混养鱼类除摄食斑节对虾商品饲料外,还大量摄食了斑节对虾南海2号养殖过程中的残饵粪便和池塘内的有机颗粒、浮游生物及大型藻类,表明斑节对虾南海2号养殖池塘内混养这两种鱼类对于养殖系统能量利用具有重要意义。

试验期间,斑节对虾南海2号长势良好,未发现病虾。有研究表明,对虾和革胡子鲶混养时,池塘内革胡子鲶密度不宜过大,且在投放鱼苗时,鱼苗和对虾的规格均需要一个合适比例<sup>[24]</sup>。本试验通过对褐篮子鱼解剖发现,褐篮子鱼肠道中有未消化的斑节对虾南海2号残体,结合试验结束时对虾的存活率分析,推测褐篮子鱼对于规格较小、蜕壳期或活力较差的斑节对虾南海2号具有一定的捕食,说明在斑节对虾南海2号混养池塘内,不适宜投放规格较大的褐篮子鱼,且放养鱼苗密度不宜过高。黄鳍鲷在幼鱼阶段主要以滤食食性为主,在取样解剖时也未发现其消化道内有对虾残体,结合黄鳍鲷-斑节对虾南海2号混养池塘的对虾存活率可知,投放黄鳍鲷鱼苗的密度可以大于褐篮子鱼混养密度。试验中后期,黄鳍鲷混养池塘内斑节对虾南海2号的增重较慢,这可能与黄鳍鲷与斑节对虾南海2号抢食有关。因此,黄鳍鲷与斑节对虾南海2号混养时,也需要掌握合适的放养密度,在实际生产中如若发现对虾长速变慢,可抓捕部分黄鳍鲷以调整放养密度。

#### 4 结论

本试验结果表明,黄鳍鲷和褐篮子鱼均可以作为斑节对虾南海2号养殖池塘的混养品种,这种混养模式对于提高养殖生态系统内部物质利用率、空间利用率和经济效益均具有重要作用。黄鳍鲷在幼鱼阶段食性为滤食性,且黄鳍鲷对于池塘底部残饵和粪便的利用率优于褐篮子鱼,且黄鳍鲷极少捕食斑节对虾南海2号,因此,在黄鳍鲷-斑节对虾南海2号混养模式下,可适当增加黄鳍鲷的投放量;养殖中后期,由于黄鳍鲷食性

的转变及个体的增大,要通过抓捕等方式降低黄鳍鲷养殖密度。褐篮子鱼会对幼虾造成一定的捕食压力,影响虾的成活率,可以考虑在斑节对虾南海2号养殖池塘内将褐篮子鱼进行围网养殖,以减少褐篮子鱼对斑节对虾南海2号的捕食。因此,在斑节对虾南海2号池塘内混养鱼类,需要考虑鱼类的摄食习性、投放密度、投放规格以及混养方式,以提高斑节对虾南海2号养殖系统内的营养物质利用率,以取得最大的生态效益和经济效益。

#### 参考文献 (References) :

- [1] 刘栋梁,黄建华,周发林,杨其彬,姜松,杨丽诗,朱彩艳,江世贵. 维生素E和裂壶藻对斑节对虾精荚再生的协同作用[J]. 南方水产科学, 2018, 14(1): 20-26. doi:10.3969/j.issn.2095-0780.2018.01.003. LIU D L, HUANG J H, ZHOU F L, YANG Q B, JIANG S, YANG L S, ZHU C Y, JIANG S G. Synergistic effect of vitamin E and *Schizochytrium* sp. on spermatophore regeneration in *Penaeus monodon* [J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(1): 20-26. doi:10.3969/j.issn.2095-0780.2018.01.003.
- [2] 陈学洲,李苗,李健,曲克明,何玉英. 渔业主推品种“凡纳滨对虾”的推广应用情况研究[J]. 中国水产, 2016(7): 51-54. CHEN X Z, LI M, LI J, QU K M, HE Y Y. Study on the extension and application of the main fishery species "*Penaeus vannamei*" [J]. *China Fisheries*, 2016(7): 51-54.
- [3] 滕炜鸣,王志庆,周遵春,迟进坤,张明,刘项峰,刘思昱,张刚. 刺参与红鳍东方鲀的生态混养效果[J]. 水产学报, 2017, 41(3): 90-97. doi: 10.11964/jfc.20151110140. TENG W M, WANG Z Q, ZHOU Z C, CHI J K, ZHANG M, LIU X F, LIU S Y, ZHANG G. Growth of sea cucumbers *Apostichopus japonicus* cultivated with tiger puffer *Takifugu rubripes* in an integrated multi-trophic aquaculture experiment [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(3): 90-97. doi: 10.11964/jfc.20151110140.
- [4] 蔡志龙,秦美川,赵文,郭凯,张晨,李黎,张家卫. 两种混养模式海水池塘浮游生物的群落结构及其粒径特征[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(6): 663-672. doi: 10.16535/j.cnki.dlhyxb.2016.06.014. CAI Z L, QIN M C, ZHAO W, GUO K, ZHANG C, LI L, ZHANG J W. Community structure and particle sizes of plankton in marine ponds with two polyculture models [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(6): 663-672. doi: 10.16535/j.cnki.dlhyxb.2016.06.014.
- [5] WANG J Q, LI D S, DONG S L, WANG K X, TIAN X L. 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. doi:org/10.1016/S0044-8486(98)00165-3.
- [6] MARCEL M P, LUIS R, MARCO A. Shrimp polyculture: a potentially profitable, sustainable, but uncommon aquacultural practice [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2010, 2(2): 73-85. doi:org/10.1111/j.1753-

- 5131.2010.01023.x
- [7] 王红勇. 斑节对虾与黄鳍鲷混养技术[J]. 科学养鱼, 2016(5): 42-42. doi:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2016.05.024.  
WANG H Y. Mixed culture technology of *Penaeus monodon* and *Sparus flavipectus* [J]. *Scientific Fish Farming*, 2016(5): 42-42. doi:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2016.05.024.
- [8] 杨圣云, 陈明茹, 王磊, 曹文清, 陈宝红. 褐篮子鱼在虾池生态系统中的作用[C]. 中国海洋与湖沼学会生态分会学术研讨会. 2000.  
YANG S Y, CHEN M R, WANG L, CAO W Q, CHEN B H. The role of *Siganus fuscescens* in shrimp pond ecosystem// Symposium on Ecology Society of China Society of Oceanography and Limnology. [C]. 2000.
- [9] PILLANS R D, FRANKLIN C E, TIBBETTS I R. Food choice in *Siganus Fuscescens*: influence of macrophyte nutrient content and availability [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010. 64(2): 297-309. doi:org/10.1111/j.0022-1112.2004.00261.x.
- [10] 陈有君, 李淑圆, 吕志华. 冬季洱海水体叶绿素 a 丰度变化分析[J]. 环境与发展, 2018(4): 150-153. doi:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.04.088.  
CHEN Y J, LI S Y, LV Z H. Analysis of chlorophyll a abundance in winter boiling seawater [J]. *Environment and development*, 2018(4): 150-153. doi:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.04.088.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 GB17378.7-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 3-10.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Management Committee of China. Marine Monitoring Code, GB17378.7-2007 [S]. Beijing: China Standards Publishing, 2008: 3-10.
- [12] 胡则辉, 徐君卓, 柴学军, 石建高, 吴祖杰. 海水网箱单养及混养褐篮子鱼试验效果初探[J]. 渔业现代化, 2008(6): 26-28.  
HU Z H, XU J Z, CHAI X J, SHI J G, WU Z J. Preliminary study on monoculture and polyculture modes for *Siganus fuscescens* in sea net cage [J]. *Modernization of Fisheries*, 2008(6): 26-28.
- [13] SAMIDJAN I, RACHMAWATI D. Polyculture engineering technology of larasati red tilapia (*Oreochromis niloticus*) and white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) based for protease enzyme// IOP Conference Series: Earth & Environmental Science, 2018.
- [14] RITVO G, KOCHBA M, AVNIMELECH Y. The effects of common carp bioturbation on fishpond bottom soil [J]. *Aquaculture*, 2004, 242(1): 345-356. doi:org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.013
- [15] 孙刚, 房岩, 安永辉, 杨校园. 泥鳅对水田上覆水中氮素动态的生物扰动效应[J]. 生态与农村环境学报, 2009. 25(2): 39-43.  
SUN G, FANG Y, AN Y H, YANG X Y. Bioturbation effect of *Misgurnus anguillicaudatus* on nitrogen dynamic in surface water of paddy field [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(2): 39-43.
- [16] 严天鹏. 黄鳍鲷与南美白对虾混养技术[J]. 渔业致富指南, 2011(24): 47-49.  
YAN T P. Polyculture of *Sparuslatus* and *Penaeus vannamei* [J]. *Guidelines for Fisheries to Get Rich*, 2011(24): 47-49.
- [17] 王丽卿. 海水池塘鱼虾贝蟹生态混养模式[J]. 科学养鱼, 2011(7): 37-38.  
WANG L Q. Ecological mixed culture model of fish, shrimp, shellfish and crab in seawater ponds [J]. *Scientific Fish Farming*, 2011(7): 37-38.
- [18] 鄢朝. 2015 粤西区域鱼虾混养市场与技术要点分析[J]. 当代水产, 2015(8): 92-93.  
YAN C. Analysis of fish and shrimp mixed culture market and technical points in western Guangdong in 2015 [J]. *Modern Fisheries*, 2015(8): 92-93.
- [19] 胡则辉, 徐君卓, 柴学军, 吴祖杰, 陈似莉. 褐篮子鱼 *Siganus fuscescens*(Houttuyn) 的生物学特性及浙江沿海分布[J]. 渔业信息与战略, 2008. 23(12): 13-15.  
HU Z H, XU J Z, CHAI X J, WU Z J, CHEN S L. Study on biological characteristics and distribution of *Siganus fuscescens* (Houttuyn) along the coastal waters of Zhejiang Province [J]. *Fisheries Information and Strategy*, 2008. 23(12): 13-15.
- [20] 李卓佳, 虞为, 朱长波, 文国樑, 马广智. 对虾单养和对虾-罗非鱼混养试验围隔氮磷收支的研究[J]. 安全与环境学报, 2012(4): 50-55.  
LI Z J, YU W, ZHU C B, WEN G L, MA G Z. Study on nitrogen and phosphorus budgets of experimental enclosures with shrimp monoculture and shrimp-tilapia polyculture [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2012(4): 50-55.
- [21] 李秋芬, 陈碧鹃, 曲克明, 袁有宪, 李健, 孙修涛, 赵法箴. 鱼虾混养生态系统中细菌动态变化的研究[J]. 应用生态学报, 2002. 13(6): 731-734. doi:10.13287/j.1001-9332.2002.0173.  
LI Q F, CHEN B J, QU K M, YUAN Y X, LI J, SUN X T, ZHAO F Z. Variation of bacteria numbers in fish-shrimp mix-culturing ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6): 731-734. doi:10.13287/j.1001-9332.2002.0173.
- [22] UDDIN S, MOHD E, ABDUL W, MARC C J. The potential of mixed culture of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in periphyton-based systems [J]. *Aquaculture Research*, 2010. 37(3): 241-247. doi:org/10.1111/j.1365-2109.2005.01424.x
- [23] 李加儿, 区又君, 丁彦文, 郑建民. 广东池养鲮鱼的繁殖生物学[J]. 中国水产科学, 1998(3): 38-42.  
LI J E, OU Y J, DING Y W, ZHENG J M. The reproductive biology of grey mullet pond culture in Guangdong Province [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998(3): 38-42.
- [24] 余开, 周燕侠. 生物防控提高南美白对虾养殖成功率[J]. 科学养鱼, 2014(3): 13-17. doi:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2014.03.009.  
YU K, ZHOU Y X. Improving the success rate of white shrimp culture by biological control [J]. *Scientific Fish Farming*, 2014(3): 13-17. doi:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2014.03.009.

(责任编辑 崔建勋)