

文章编号: 1674 - 5566(2014)02 - 0186 - 07

## 淡水池塘虾蚌混养对浮游甲壳动物群落结构的影响

黄 翠<sup>1,2</sup>, 胡忠军<sup>1,2</sup>, 刘其根<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业部水产种质资源与利用重点开放实验室, 上海 201306)

**摘 要:** 以浙江省海盐县百步镇 6 口罗氏沼虾养殖池塘为对象, 比较了罗氏沼虾单养与罗氏沼虾、三角帆蚌混养两种养殖模式池塘中浮游甲壳动物的种类组成、密度和生物量及养殖水化因子的差异。结果表明: 混养池塘中 TN、TP、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 DO 均显著低于单养池塘, 而其它水化因子无显著性差异; 养殖期间共鉴定出浮游甲壳动物 22 种, 其中枝角类 13 种, 占总种类数的 59.09%; 桡足类 9 种, 占 40.91%。混养池塘浮游甲壳动物 Shannon-Wiener 多样性指数显著高于单养池塘, 而 Pielou 均匀度指数无显著差异。单养池塘浮游甲壳动物密度和生物量均显著高于混养池塘。经逐步回归分析表明, 水温和总磷是影响浮游甲壳动物密度和生物量的主要因子。典型对应分析 (CCA) 显示, 浮游甲壳动物的时空分布主要受水温的影响。混养池塘罗氏沼虾产量 (866.70 ± 214.92 kg/m<sup>2</sup>) 极显著高于单养池塘 (533.30 ± 104.24 kg/m<sup>2</sup>)。结果表明, 虾蚌混养对池塘中水质指标有一定的改善, 虽然对浮游甲壳动物物种组成不造成影响, 但明显地降低了浮游甲壳动物的多样性、密度和生物量, 并且虾蚌混养可提高虾类产量。

**研究亮点:** 以往对浮游甲壳动物群落结构的研究都集中在湖泊、水库等水体方面, 而就池塘养殖尤其是虾蚌混养对浮游甲壳动物结构影响的研究甚少。本文以三角帆蚌与罗氏沼虾混养为例, 比较分析了虾类单养、虾蚌混养池塘浮游甲壳动物种类组成、多样性及数量差异, 探讨了三角帆蚌在虾类养殖中所起的作用, 进一步丰富了淡水虾类养殖生态学理论, 同时可为虾类新养殖模式 (虾蚌混养) 的构建提供理论依据。

**关键词:** 浮游甲壳动物; 罗氏沼虾; 三角帆蚌; 群落结构; 淡水池塘  
**中图分类号:** S 966.12  
**文献标志码:** A

目前, 罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 的养殖主要有单养、以虾为主的虾鱼混养和以鱼为主的鱼虾混养 3 种模式<sup>[1]</sup>。近年来, 随着罗氏沼虾养殖产业规模不断扩大, 水产养殖自身引起的污染问题也日益突出<sup>[2]</sup>, 如饵料过剩、有毒气体产生、水质的恶化及疾病的发生等, 从而严重影响到养殖的效益和可持续发展。为了解决这些问题, 国内已有一些学者开展了虾池混养搭配滤食性鱼类以控制藻类过量繁殖或调节水质和底质的研究<sup>[3-5]</sup>, 但由于混养的滤食性鱼类不摄食人工饵料, 因此就存在着虾饲料过剩而导致水质腐败等现象, 进而影响了混养的效果。为此, 本

实验室近年来提出了罗氏沼虾池塘混养滤食性贝类三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 的新模式: 虾塘中残饵、碎屑、虾代谢物等有机物质可以为三角帆蚌生长提供营养, 从而达到改善虾类养殖效益的目的。为了全面了解虾蚌混养的生态学效应, 本文研究了单养虾和虾蚌混养两种模式下养殖池塘中浮游甲壳动物种类组成和数量的变化及罗氏沼虾的产量情况, 并分析了三角帆蚌在混养池塘中所起到的作用, 旨在为建立虾蚌混养的高产理论提供更多的科学依据, 同时为丰富我国池塘养殖理论提供更多的基础资料。

收稿日期: 2013-06-21 修回日期: 2013-11-27

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903028); 上海市高校知识服务平台项目 (ZF1206)

作者简介: 黄 翠 (1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水域生态学。E-mail: angelhuangcui@163.com

通信作者: 刘其根, E-mail: qgliu@shou.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验条件

试验于 2011 年 6 - 10 月在浙江省海盐县百步镇罗氏沼虾养殖基地进行, 虾蚌放养基本情况见表 1。养殖池塘水深 2 m, 养殖罗氏沼虾所用的

三角帆蚌为 1 龄, 使用网袋吊养在离水面 0.4 ~ 0.5 m 处, 间隔为 1.5 m 左右, 每个网袋吊养 4 ~ 5 只。除常规投喂罗氏沼虾饲料外, 没有向水体中投放化肥以培肥水体, 整个养殖期间也未投喂抗生素。

表 1 各实验组虾蚌放养密度情况

Tab. 1 The stocking density of prawns and mussels for each treatment

模式	池塘号	池塘面积/m <sup>2</sup>	罗氏沼虾放养密度/(尾/m <sup>2</sup> )	蚌吊养量/(只/m <sup>2</sup> )	采样时间
单养	1#	2,000	89.96	-	于 2011 年 6 - 10 月每月中旬进行, 每月采集一次。
	2#	2,333	89.96	-	
	3#	2,467	89.96	-	
混养	1#	2,000	89.96	0.90	
	2#	2,333	89.96	0.90	
	3#	2,467	89.96	0.90	

### 1.2 样品采集与鉴定

浮游甲壳动物采集及样品处理方法主要参照张觉民和何志辉<sup>[6]</sup>。定性标本以浮游生物网(孔径 64 μm)在 0.5 m 水层呈“∞”字形捞取 3 ~ 5 min, 并将滤取的标本放入 4% 甲醛溶液中保存。枝角类、桡足类大型浮游动物定量样本采集方法如下: 用 10 L 采水器采取水样, 用浮游生物网(孔径 112 μm)过滤浓缩至 100 mL, 加入 4% 的甲醛溶液固定, 存入 100 mL 标本瓶中, 带回实验室对浮游甲壳动物种类进行鉴定计数。参照《中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类》、《中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水桡足类》进行种类鉴定<sup>[7-8]</sup>。

采用 YSI 550 对水温(WT)和溶氧(DO)、FG2-Fivego<sup>TM</sup>对 pH、Secchi 盘对透明度(SD)进行现场测定。用 5 L 采水器采取距表层、底层分别为 0.5 m 的不同水深处的混合水样 1 L, 带回实验室。在实验室, 按照中国国家地表水监测标准<sup>[9]</sup>对氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、亚硝态氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、活性磷(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)进行测定。6 月、10 月分别对罗氏沼虾的生长情况进行调查。

### 1.3 数据处理及分析

枝角类和桡足类生物量的测定方法: 对每个物种随机测量 30 个个体体长, 求得平均值。桡足类(不包括无节幼体)的生物量由相近的几何形状计算出体积, 再乘以密度加以换算。假设生物密度为 1, 根据体长体重回归方程<sup>[10-11]</sup>换算成

生物量。主要种类的回归方程如下:

桡足类:  $\log_2 W = 2.9505 \log_2 L + 1.4555$  ( $W$ : μg;  $L$ : mm 同下);

溞属:  $W = 0.075 L^{2.8501}$ ; 秀体溞属:  $W = 42.0 L^{1.7300}$ ;

裸腹溞属:  $W = 82.9 L^{2.3814}$ ; 象鼻溞属:  $W = 184.5 L^{2.6723}$

浮游动物的优势种根据每个种的优势度值( $Y$ )来确定<sup>[12]</sup>:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i \quad (1)$$

式中:  $n_i$  为第  $i$  种的个体数;  $N$  为所有种类总个体数;  $f_i$  为第  $i$  种的出现频率,  $Y > 0.02$  为优势种。

多样性指数( $H'$ )采用 Shannon-Wiener 公式进行计算<sup>[13]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

均匀度指数( $J$ )采用 Pielou evenness index 公式进行计算:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  种占总样品数量的个体比例, 如样品总个数为  $N$ , 第  $i$  种个体数为  $n_i$  则  $P_i = n_i / N$ <sup>[14]</sup>,  $S$  为样品中的物种个数。

在 SPSS 19.0 软件包中, 采用  $t$ -检验探讨浮游甲壳动物密度和生物量在单养和混养池塘间的差异。采用 Canoco for Windows 4.5 软件对浮游甲壳动物物种数据和环境数据进行 CCA 分析,

排序结果用物种-环境因子关系的双序图表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 水化学指标

混养池塘 TN、TP、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 DO 均显著低于单养池塘 ( $P < 0.05$ ), 其它水化因子在混养与单养池塘间差异不显著 ( $P > 0.05$ , 表 2)。

### 2.2 浮游甲壳动物的种类组成、优势种和多样性分析

通过对 6 个虾塘中浮游甲壳动物样品的定

性、定量分析, 共观察到浮游甲壳动物 22 种, 其中枝角类 13 种, 占总种类数的 59.09%; 桡足类 9 种, 占 40.91% (表 3)。单养池塘中 (1、2、3 号虾塘) 枝角类 7 属 13 种, 桡足类 8 属 8 种; 混养池塘中 (1、2、3 号虾塘) 枝角类 5 属 10 种, 桡足类 8 属 9 种。共发现 18 种相同种类 (包括 10 种枝角类和 8 种桡足类), 其中, 僧帽溞 (*Daphnia cucullata*)、透明溞 (*D. hyalina*) 和小栉溞 (*D. cristata*) 仅在单养池塘发现, 指状许水蚤 (*Schmackeria inopinus*) 则仅在混养池塘中发现。

表 2 不同养殖池塘水质参数的基本状况

Tab. 2 Parameters of water quality for two culture ponds

mg/L

	TN	TP	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	COD <sub>Mn</sub>	DO
单养	3.02 ± 0.69 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.17	1.59 ± 0.86	0.82 ± 0.71 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.11	11.59 ± 4.71	7.19 ± 0.22 <sup>a</sup>
混养	2.88 ± 1.16 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.35 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.22	1.49 ± 0.66	0.69 ± 0.51 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.17	11.52 ± 5.40	5.75 ± 1.19 <sup>b</sup>

注: 表中的数据为平均值 ± 标准差, 同一列数据后标注字母不相同者, 表示组间差异显著。

表 3 浮游甲壳动物种类组成及优势度池塘间比较

Tab. 3 Species composition and dominance of crustacean plankton for two culture modes

种类	体长/mm	优势度 ( $Y > 0.02$ )					
		单养			混养		
		1#	2#	3#	1#	2#	3#
<b>枝角类</b>							
Q1. 长肢秀体溞	0.92 ± 0.01	0.16	0.35	0.44	0.41	0.31	0.38
Q2. 僧帽溞	0.99 ± 0.01	-	-	-	+	-	-
Q3. 微型裸腹溞	0.67 ± 0.01	0.53	0.33	0.28	0.34	0.55	0.45
Q4. 颈沟基合溞	0.48 ± 0.08	0.09	0.07	0.04	0.02	+	+
Q5. 多刺秀体溞	0.82 ± 0.01	0.06	0.03	+	0.07	-	-
Q6. 直额裸腹溞	1.30 ± 0.01	0.03	0.06	0.04	0.23	0.10	0.11
Q7. 长刺溞	1.20 ± 0.02	+	-	-	+	-	-
Q8. 老年低额溞	1.30 ± 0.07	0.03	0.12	+	+	0.02	-
Q9. 寡刺秀体溞	0.94 ± 0.01	+	-	-	+	-	0.02
Q10. 长额象鼻溞	0.50 ± 0.08	+	0.05	-	-	+	+
Q11. 小栉溞	0.89 ± 0.01	-	+	-	-	-	-
Q12. 透明溞	1.40 ± 0.06	-	+	-	-	-	-
Q13. 棘爪网纹溞	0.61 ± 0.01	-	+	-	-	+	+
<b>桡足类</b>							
Q14. 短刺近剑水蚤	0.46 ± 0.06	0.12	-	-	+	+	+
Q15. 梳齿后剑水蚤	0.75 ± 0.03	0.08	0.05	0.06	0.06	0.09	0.11
Q16. 双齿许水蚤	1.23 ± 0.08	0.14	0.12	0.05	0.10	0.10	0.09
Q17. 中华窄腹剑水蚤	0.45 ± 0.07	0.26	0.41	0.29	0.35	0.31	0.23
Q18. 白色大剑水蚤	1.28 ± 0.09	0.09	0.03	0.07	0.10	0.03	0.03
Q19. 矮小刺剑水蚤	1.30 ± 0.07	0.23	0.21	0.19	0.18	0.09	0.11
Q20. 跨立小剑水蚤	0.75 ± 0.03	0.04	0.08	0.06	0.09	0.22	0.25
Q21. 中华哲水蚤	1.54 ± 0.09	0.23	0.08	0.07	0.07	0.14	0.12
Q22. 指状许水蚤	1.30 ± 0.07	-	-	-	-	+	+

注: 表格中“-”表示该物种未被检测出; “+”表示被检测出但物种的优势度值小于 0.02。

颈沟基合溞 (*Bosminopsis deitersi*) 和多刺秀体溞 (*Diaphanosoma sarsi*) 仅在单养池塘中形成优势种。两种养殖模式的共有优势种为:长肢秀体溞 (*Di. leuchtenbergianum*)、微型裸腹溞 (*Moina micrura*)、直额裸腹溞 (*M. rectirostris*)、梳齿后剑水蚤 (*Metacyclops pectiniatus*)、双齿许水蚤 (*S. dubia*)、中华窄腹剑水蚤 (*Limnithona sinensis*)、白色大剑水蚤 (*Macrocyclus albidus*)、跨立小剑水蚤 (*Microcyclus varicans*)、中华哲水蚤 (*Sinocalanus sinensis*) 和矮小刺剑水蚤 (*Acanthocyclops vernalis*)。单养池塘优势种类出现较多,混养池塘优势种类较少,基本上为秀体溞属和裸腹溞属两类(表 3)。从个体大小上来看,除了微型裸腹溞和中华窄腹剑水蚤体长在 0.80 mm 以下,其他种类体长都在 0.80 mm 以上。单养与混养池塘浮游甲壳动物个体大小不存在显著性差异 ( $t=1.41, P=0.17 > 0.05$ )。

浮游甲壳动物 Shannon-Wiener 多样性指数在单养和混养池塘间存在显著差异 ( $t=1.97, P=0.05$ , 图 1), 均匀度指数在单养和混养池塘间无显著差异 ( $t=-0.71, P=0.48 > 0.05$ , 图 2)。

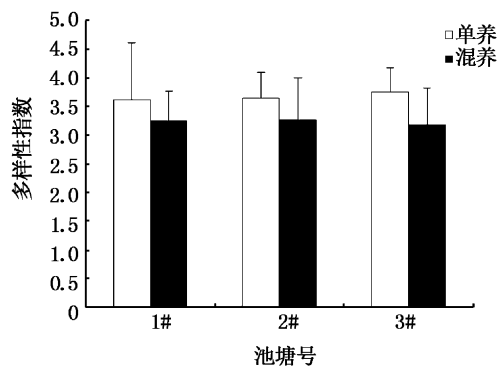


图 1 养殖模式对浮游甲壳动物多样性指数的影响  
Fig. 1 Effect of culture mode on diversity of crustacean plankton

### 2.3 不同虾塘中浮游甲壳动物密度与生物量比较

单养池塘浮游甲壳动物平均密度为  $(36.25 \pm 0.83)$  ind/L, 混养虾塘浮游动物平均密度为  $(16.28 \pm 2.23)$  ind/L(图 3、4), 前者极显著高于后者 ( $t=3.11, P=0.007 < 0.01$ )。单养虾塘浮游甲壳动物平均生物量为  $(1.60 \pm 0.09)$  mg/L, 混养池塘浮游甲壳动物平均生物量为  $(0.68 \pm 1.37)$  mg/L, 前者亦显著高于后者 ( $t=2.77, P=0.014 < 0.05$ )。

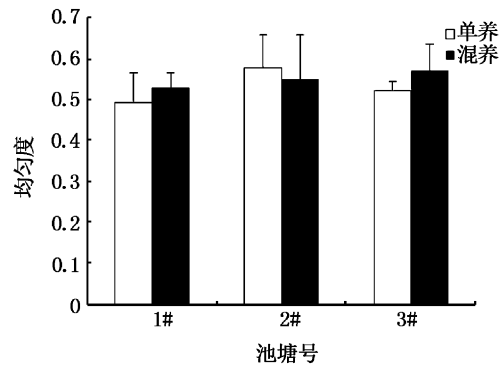


图 2 养殖模式对浮游甲壳动物均匀度的影响  
Fig. 2 Effect of culture mode on evenness of crustacean plankton

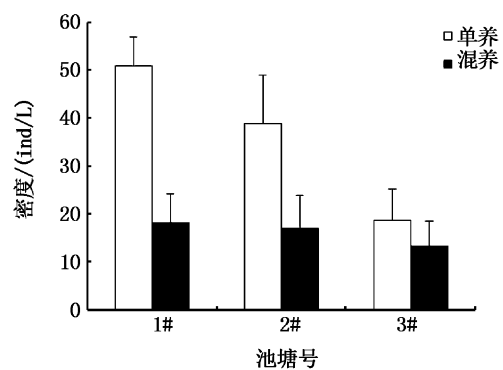


图 3 养殖模式对浮游甲壳动物密度的影响  
Fig. 3 Effect of culture mode on density of crustacean plankton

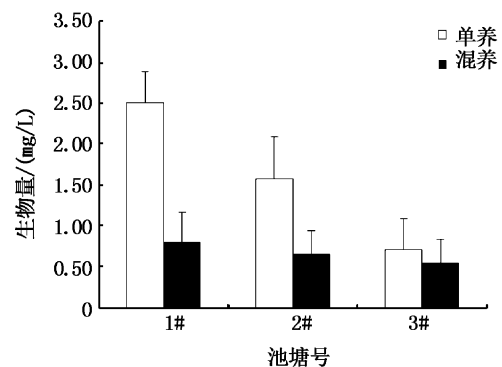


图 4 养殖模式对浮游甲壳动物生物量的影响  
Fig. 4 Effect of culture mode on biomass of crustacean plankton

### 2.4 浮游甲壳动物群落与环境因子分析

#### 2.4.1 浮游甲壳动物群落结构与环境因子的多变量分析

采用典范对应分析表明物种与环境因子的相关性(图 5), 图 5 给出了物种-环境变量之间的

二维排序图。第一、二轴特征值分别为 0.34 和 0.16,共解释了浮游甲壳动物数据 50.10% 的方差值。浮游植物生物量、水温和亚硝酸氮主要贡献于第一轴,透明度、水温主要贡献于第二轴,前两轴中属种与环境关系的方差累积百分比为 86.70%。

从图 5 可以看出,种组 I 主要生活在水温比较高的环境中,而种组 II 主要出现在总氮含量低和总磷含量高的地方。

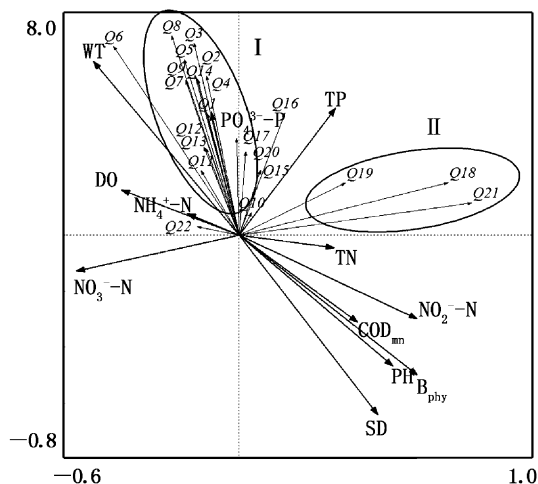


图 5 淡水虾、蚌混养池塘浮游甲壳动物物种和环境因子的 CCA 二维排序图

Fig.5 CCA biplot of species-environment of crustaceans community in the shrimp and mussel polyculture ponds

WT. 温度; SD. 透明度; DO. 溶解氧; TP. 总磷; TN. 总氮; COD<sub>mn</sub>. 高锰酸盐指数; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. 氨氮; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N. 硝酸盐氮; NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N. 亚硝酸盐氮; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P. 活性磷; Biomass of phytoplankton (B<sub>phy</sub>). 浮游植物生物量; 图中物种代号见表 2。

#### 2.4.2 浮游甲壳动物群落整体密度与生物量的主要影响因子分析

逐步回归分析表明,浮游甲壳动物群落整体密度(D)和生物量(B)分别与总磷(TP)、水温(WT)或浮游植物生物量(Biomass of phytoplankton, B<sub>phy</sub>)存在较高相关性:  $D = 27.04 \times TP + 0.83 \times WT - 8.76$  ( $R^2 = 0.31$ ,  $df = 29$ ,  $F = 5.93$ ,  $P = 0.007 < 0.01$ );  $B = 1.41 \times TP - 0.04 \times B_{phy} + 0.52$  ( $R^2 = 0.39$ ,  $df = 29$ ,  $F = 8.73$ ,  $P = 0.0001 < 0.01$ )。

#### 2.5 虾蚌混养下罗氏沼虾的生长情况

单养、混养池塘罗氏沼虾的产量分别为  $(533.30 \pm 104.24) \text{ kg/m}^2$  和  $(866.70 \pm 214.92) \text{ kg/m}^2$  (图 6)。混养池塘罗氏沼虾产量极显著性

高于单养池塘 ( $t = 3.71$ ,  $P = 0.004 < 0.01$ )。

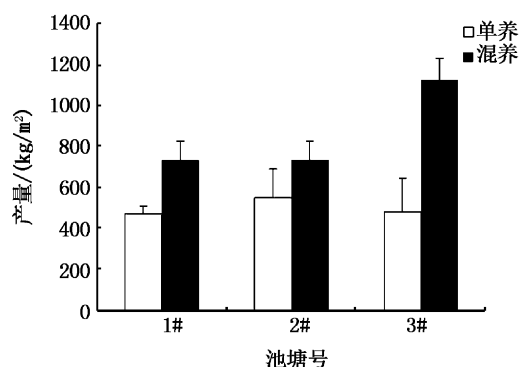


图 6 两种养殖模式对罗氏沼虾产量的影响

Fig.6 Effect of culture mode on output of prawn

### 3 讨论

本试验表明,单养与混养池塘浮游甲壳动物的种类大小组成无显著差异。试验期间,虾蚌混养池塘中枝角类大部分是大型的秀体溞属和裸腹溞属(个体大小均在 0.80 mm 以上),这两个属在各个池塘中出现较为频繁;桡足类主要由大型哲水蚤和剑水蚤组成。这与凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)养殖池塘及三江平原池塘中浮游动物常见种类一致<sup>[15-16]</sup>,但与滤食性鱼类养殖池塘中浮游甲壳动物种类不同<sup>[17]</sup>。在鲢鳙混养的围隔中<sup>[18]</sup>,微型裸腹溞、短尾秀体溞的数量很少,桡足类的数量也很少,而本试验中桡足类数量比鲢鳙鱼混养围隔中高,占浮游甲壳动物的 40.91%,可能与滤食性贝类、滤食性鱼类对食物的大小选择不同有关。单养池塘中浮游甲壳动物的密度与生物量均显著高于混养池塘,分析原因如下:其一,浮游动物一般主要以浮游植物为食,池塘中藻类种类组成的改变也会影响浮游动物的种类组成,因三角帆蚌倾向于选择滤食大小为 2.5~60 μm 的小型藻类<sup>[20-21]</sup>,从而有利于大型藻类的增长,导致浮游植物大型化<sup>[22]</sup>,但大型藻类群体或丝状藻类是不宜被浮游动物所取食和消化的<sup>[23-24]</sup>。因此,三角帆蚌混养导致浮游动物密度、生物量下降在情理之中。其二,本研究发现,混养池塘 TN、TP 低于单养池塘 TN、TP,回归分析进一步得出浮游动物密度、生物量与池塘中 TP 显著正相关。浮游植物密度、生物量随着水体 TN、TP 的降低而下降,浮游动物密度、生物量亦随之下降<sup>[25]</sup>。最后,混养池塘中三

角帆蚌和罗氏沼虾对枝角类幼体及桡足类无节幼体的共同捕食也可能对枝角类和桡足类的种群数量产生压制作用<sup>[26-27]</sup>。因此作者认为混养池塘浮游甲壳动物的数量降低可能受到食物、环境条件、捕食压力的综合影响。

本研究证明“虾蚌混养”这个理念具有可行性。三角帆蚌放养不仅提高了混养池塘罗氏沼虾的产量,而且可以稳定虾池的水质,虾蚌混养虽对浮游甲壳动物物种组成不造成影响,但明显降低了浮游甲壳动物的多样性、密度和生物量。本文从水质、蚌摄食角度分析了以上结果的原因,但浮游动物群落结构(如密度、生物量、种类组成等)与浮游植物的关系更为直接。因此,为更清楚地解释虾蚌混养对浮游动物的影响,需要利用浮游植物群落结构数据进行更为系统地分析。

#### 参考文献:

- [1] 王吉桥. 食用罗氏沼虾养殖中放养模式研究的进展[J]. 水产科学, 1996, 15(5): 18-25.
- [2] FUNGE-SMITH S J, BRIGGS M. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability [J]. Aquaculture, 1998, 164(1): 117-133.
- [3] 李卓佳, 陈永青, 杨莺莺, 等. 广东对虾养殖环境污染及防控对策[J]. 广东农业科学, 2006(6): 68-71.
- [4] 牛化欣, 马姓, 田相利, 等. 菊花心江蒿对中国明对虾养殖环境净化作用的研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(5): 45-48.
- [5] 郑杰民, 叶乐, 朱小明. 对虾池塘养殖生态系的研究进展[J]. 福建水产, 2006(3): 73-79.
- [6] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [7] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志 - 节肢动物门甲壳纲淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [8] 沈嘉瑞. 中国动物志 - 节肢动物门甲壳纲淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [9] 黄祥飞, 孙鸿烈, 刘光菘. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [10] 陈雪梅. 淡水桡足类生物量的测算[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 397-408.
- [11] 黄祥飞, 胡春英. 淡水常见枝角类体长 - 体重回归方程式[C]// 甲壳动物学论文集编辑委员会. 甲壳动物学论文集. 北京: 科学出版社, 1986: 147-157.
- [12] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 3版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
- [13] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2001, 5(1): 3-55.
- [14] 马克平. 生物多样性的测定[M]// 钱迎倩. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [15] 杨国亭, 周瑞昌, 刘云波, 等. 三江平原池塘浮游动物的生物量及种类组成的研究[J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(3): 240-244.
- [16] CARDOZO A P, BERSANO J, AMARAL W. Composition, density and biomass of zooplankton in culture ponds of *Litopenaeus vannamei* (DECAPODA: PENAEIDAE) in southern Brazil[J]. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 2008, 11(1): 13-20.
- [17] 李林春. 分区池塘中浮游生物的分析研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 104-108.
- [18] 杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响[J]. 湖泊科学, 1992, 3(4): 78-86.
- [19] SCHROEDER G L. Autotrophic and heterotrophic production of micro-organisms in intensely-manured fish ponds, and related fish yields[J]. Aquaculture, 1978, 14(4): 303-325.
- [20] 朱爱民, 陈文祥, 栾建等. 三角帆蚌食性及摄食率的初步研究[J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 244-246.
- [21] 费志良, 吴军, 赵钦. 三角帆蚌对藻类滤食及消化的研究[J]. 淡水渔业, 2006, 36(5): 24-27.
- [22] YAN L L, ZHANG G F, LIU Q G, et al. Optimization of culturing the freshwater pearl mussels, *Hyriopsis cumingii* with filter-feeding Chinese carps (bighead carp and silver carp) by orthogonal array design[J]. Aquaculture, 2009, 292(1): 60-66.
- [23] 刘建康, 谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学, 2003, 22(3): 193-198.
- [24] ROHRLACK T, DITTMANN E, HENNING M, et al. Role of microcystins in poisoning and food ingestion inhibition of *Daphnia galeata* caused by the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* [J]. Applied and environmental microbiology, 1999, 65(2): 737-739.
- [25] JEPPESEN E, PEDER J J, SANDERGAARD M, et al. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient[J]. Freshwater Biology, 2000, 45(2): 201-218.
- [26] 杨品红, 张胜强, 谢春华, 等. 春夏季三角帆蚌小蚌主要食物组成研究[J]. 湖南文理学院学报: 自然科学版, 2005, 17(4): 29-30.
- [27] DELBARE D, DHERT P. Cladocera, Nematodes and Trochophara Larvae[J]. Manual on The Production and Use of Live Food FAO Fisheries Technical Paper, 1996, 361: 283-295.

## Effect of prawn and pearl mussel polyculture on crustacean plankton community in freshwater ponds

HUANG Cui<sup>1,2</sup>, HU Zhong-jun<sup>1,2</sup>, LIU Qi-gen<sup>1,2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Utilization, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The crustacean plankton community structure and water quality were compared between freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergi*) monoculture ponds and prawn + pearl mussel (*M. rosenbergi* + *Hyriopsis cumingii*) polyculture ponds located in Baibu Town, Haiyan County, Zhejiang Province from June to October in 2011. This study aimed at understanding the ecological effects of prawn + pearl mussel polyculture. TN, TP, NO<sub>3</sub>-N and DO were significantly lower in polyculture ponds than those in monoculture ponds, and no differences in other parameters of water chemistry between two culturing modes were found. A total of 22 crustacean plankton species were identified, including 13 Cladoceran species and 9 Copepod species, accounting for 59.09% and 49.91% of the total species number of crustacean plankton, respectively. Significant difference between culture modes in Shannon-wiener diversity index of the crustacean plankton was found, but not detected in Pielou evenness index. Density and biomass in monoculture ponds were significantly higher than those in polyculture ponds. Stepwise regression analysis showed that water temperature and total phosphorus from 12 environmental factors were the main factors affecting density and biomass of crustacean plankton. Canonical correspondence analysis (CCA) indicated that water temperature was the key factor influencing the temporal and spatial distribution of crustacean plankton. The output of *M. rosenbergii* ( $533.30 \pm 104.24 \text{ kg/m}^2$ ) was significantly lower in monoculture ponds than that in polyculture ponds ( $866.70 \pm 214.92 \text{ kg/m}^2$ ) ( $P < 0.01$ ). Results suggest that prawn and pearl mussel polyculture can improve the water quality of the aquaculture ponds. Although the polyculture can't significantly change the species composition of crustacean plankton, it can significantly decrease the diversity, density and biomass of crustacean plankton. Meanwhile, prawn and mussel polyculture can also raise the output of prawn.

**Key words:** crustacean plankton; *Macrobrachium rosenbergii*; *Hyriopsis cumingii*; community structure; freshwater pond