

高位虾池养殖后期浮游微藻群落结构特征

刘孝竹 曹煜成 李卓佳* 文国樑 李奕雯

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘 要 2008 年 7 月 1~15 日, 在广东省红海湾对虾养殖区域选取 3 口养殖 84~98 d 的高位池, 对养殖水体浮游微藻和常规水质因子进行每天 1 次采样分析。共检出浮游微藻 6 门 25 种, 其中绿藻 10 种, 硅藻两种, 甲藻 7 种, 裸藻 4 种, 蓝藻 1 种, 金藻 1 种。浮游微藻细胞数量介于 $5.13 \times 10^8 \sim 4.01 \times 10^9$ ind/L, 生物量为 42.92~181.73 mg/L, 数量多样性指数平均为 1.01~1.30, 生物量多样性指数平均为 1.83~2.27。优势种主要是蛋白核小球藻和绿色颤藻, 二者的优势度之和高达 90%, 控制着浮游微藻总数量的变动趋势。从各门藻类生物量对总生物量贡献多少来看, 对虾高位池养殖后期是以蓝藻门、绿藻门和硅藻门为优势类群而组成的浮游微藻群落结构。

关键词 对虾养殖 高位池 浮游微藻 优势种 多样性

中图分类号 Q178.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)03-0084-08

Study on microalgae community structure and its relationship with environment factors in the shrimp ponds during the later phases of culture period

LIU Xiao-zhu CAO Yu-cheng LI Zhuo-jia* WEN Guo-liang LI Yi-wen

(South China Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300)

ABSTRACT Investigations were conducted on the microalgae community in high-level prawn ponds of *Litopenaeus annamei*. A total of 26 microalgae species were identified during the period of investigation. Of these, 10 species were Chlorophyta, 7 were Pyrrophyta, 4 were Euglenophyta, 2 each were Bacillariophyta and Cyanophyta, and 1 was Chrysophyceae. In high-level prawn ponds, *Chlorella pyrenoidosa* and *Oscillatoria chlorine* were the dominant species in the later phases of the culture period, contributing more than 90% of the total microalgae. The number of microalgae was in the range of $5.13 \times 10^8 \sim 4.01 \times 10^9$ ind/L, biomass 42.92~181.73 mg/L. The averages of Shannon-Wiener index and biomass diversity index were 1.01~1.30 and 1.83~2.27, respectively. The three dominant groups of phytoplankton (Cyanophyta,

现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-46)、国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD13B10)、南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研专项(2010YD05)、公益性行业(农业)科研专项(201103034)、国家自然科学基金(30800851)、广东省自然科学基金(10151030002000008)、广东省海洋渔业科技推广专项(A200901B02)、广东省鱼病防治专项(2130108)和广东省科技计划(2010B02039001)共同资助

* 通讯作者。E-mail: zhuojiali609@163.com, Tel: (020)84453048

收稿日期:2010-09-07;接受日期:2010-11-15

作者简介:刘孝竹(1982-),男,研究实习生,主要从事对虾养殖生态环境调控。E-mail:Liuxiaozhu1976@163.com, Tel: (020)84451349

Chlorophyta and Bacillariophyta) consisted of phytoplankton community structure in the final culture phases.

KEY WORDS Prawn culture High-level pond Microalgae Dominant species Diversity

高位池养虾模式具有产量高、效益好、易于管理、便于投饵、防病治病、安全系数大和抗台风能力强等特点,现已成为对虾养殖的重要模式。由于此种模式是高密度集约化养殖,养殖过程中投入大量配合饲料及无机、有机复混营养素,到养殖后期大量的对虾排泄物和残饵,必然会造成浮游微藻群落结构和水体理化因子短期内的波动,从而有可能引发虾病。浮游微藻作为初级生产者在虾池的物质循环和能量流动中起着举足轻重的作用,能够保持水中充足的溶解氧含量,消除有毒、有害物质,维持适当的透明度,使虾安定生活及抑制底生丝藻的繁殖生长。因此,开展养殖后期高位池水体浮游微藻群落及主要理化因子的研究,对科学调控水质、减少养殖过程的自身污染、预防病害发生具有重要的理论和实践意义。近年来,许多学者全程周期性调查分析了虾池塘的浮游微藻群落结构组成、优势种群变动及多样性动态变化(刘孝竹等 2009;张才学等 2006;查广才等 2004),但每次采样间隔时间较长,未能详细阐述整个养殖周期虾池浮游微藻群落变动的情况。因而,作者以养殖后期的 15 d 为周期分析对虾养殖池塘浮游微藻结构和水环境指标变化规律,以期对对虾高位池养殖及水质调节提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样虾池

采样地点位于广东省汕尾市红海湾鸿泰对虾养殖试验场。养殖场的工程化程度较高,建设有砂滤进水系统、中央排水系统和机械增氧系统,养殖池塘底部和池壁铺设地膜。选取 3 口条件相近的养殖虾池,每口面积 0.43 hm²,水深 2.0 m,于 2008 年 4 月 9 日投放凡纳滨对虾苗进行养殖,虾苗规格为 0.8~1.0 cm,放养密度为 135 万尾/hm²。

1.2 浮游微藻样品的采集与处理

2008 年 7 月 1~15 日,每天上午 09:00,在每个池塘四周及中央各采水样 1 份,充分混匀,取 1 L 混合水样倒入塑料瓶,加入 5% 甲醛溶液固定,静置 24~48 h,浓缩后在浮游植物计数框镜检、计数。

1.3 浮游微藻样品分析

微藻种类鉴定主要参考《中国海洋浮游硅藻类》、《中国海洋底栖硅藻类》、《中国近海赤潮生物图谱》和《中国海藻志》等进行鉴定(金德祥等 1965、1982;郭皓 2004)。

Shannon-Weaver 指数(H'):种类和种类中个体分配上的均匀性的综合指标,反映群落结构复杂程度和稳定性。其计算公式为(沈国英等 2003):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

其中, $P_i = n_i/N$, n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数, P_i 为第 i 种个体数占总个体数的比例, S 为群落中物种数。

物种优势度 $Y = n_i/N \cdot f_i$,其中, n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数, f_i 为该种在该地区出现的频率。

生物量的计算用目微尺实测藻体大小,根据细胞的形状计算出藻体的体积,再乘以藻体的比重 1.1 换算为藻体的生物量(孙军等 1999)。把每次取样中个体总数量和总生物量占 10% 以上的定为优势种,在 1%~10% 范围内定为常见种,在 1% 以下或者只在个别水样中出现的定为稀有种。

1.4 相关理化因子测定

浮游微藻采样的同时,采样测试养殖水体的相关理化因子。氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)用次溴酸盐氧化法测定,硝氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)用镉柱还原法测定,亚硝氮($\text{NO}_2^-\text{-N}$)用萘乙二胺光度法测定,总无机氮(TIN)为硝氮、氨氮及亚硝氮之和,可溶性无机磷(DIP)用磷钼蓝分光光度法测定,化学需氧量(COD)采用碱性高锰酸钾法测定,pH值用玻璃电极法测定,盐度(S)采用盐度计测定,水温(WT)、溶解氧(DO)用溶氧仪进行现场测定,透明度(SD)用黑白盘法测定。

1.5 数据分析

采用线性回归方法分析藻类总数量、总生物量、绿藻生物量、蓝藻生物量、硅藻生物量与理化因子相关关系,并计算出线性相关系数 R (表4)。

2 结果与分析

2.1 虾池的基本情况及对虾生长状况

采样虾池的基本情况见表1。采样期间,水温日变化幅度均较小,分别为 $27.1\sim 31.6\text{ }^\circ\text{C}$ 。盐度变幅为 $17\sim 24$,pH在 $6.76\sim 8.66$ 之间波动,变幅较大。DO变动范围为 $2.61\sim 10.0\text{ mg/L}$,变动幅度较大,这主要与养殖过程中天气状况有关,天气晴朗时,DO普遍偏高($>6.0\text{ mg/L}$),阴天或下雨时,DO处于较低的水平,这表明藻类光合作用是虾池中溶解氧补充的主要来源。COD稳定在 $10.86\sim 11.75\text{ mg/L}$ 之间,水体富营养化严重。养殖后期,投饵量增大,代谢产物积累增多, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 积累效应明显,平均值分别为 $0.265\sim 0.386\text{ mg/L}$ 、 $0.180\sim 0.658\text{ mg/L}$ 、 $0.182\sim 0.668\text{ mg/L}$ 和 $0.208\sim 0.304\text{ mg/L}$ 。采样期间3个虾池均发生对虾死亡情况,15 d累计,1号虾池 40.5 kg ,2号虾池 74.5 kg ,3号虾池 26.0 kg 。

表1 虾池的基本情况

Table 1 Basic parameters of shrimp ponds

项目 Item	1号虾池 Pond 1	2号虾池 Pond 2	3号虾池 Pond 3
透明度 Transparency(cm)	24 ± 4	28 ± 4	29 ± 6
pH	7.74 ± 0.41	7.80 ± 0.30	7.56 ± 0.31
水温 Water temperature($^\circ\text{C}$)	29.5 ± 1.5	29.2 ± 1.6	29.2 ± 1.5
盐度 Salinity	22 ± 2	21 ± 2	21 ± 2
DO(mg/L)	6.31 ± 2.04	6.75 ± 1.86	6.35 ± 1.55
COD(mg/L)	11.21 ± 1.40	10.86 ± 1.97	11.75 ± 1.86
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	0.265 ± 0.109	0.296 ± 0.082	0.386 ± 0.223
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	0.180 ± 0.128	0.197 ± 0.109	0.658 ± 0.769
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	0.245 ± 0.174	0.182 ± 0.113	0.668 ± 1.09
TIN(mg/L)	0.689 ± 0.231	0.675 ± 0.157	1.712 ± 0.931
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/L)	0.269 ± 0.169	0.208 ± 0.100	0.304 ± 0.044

2.2 虾池浮游微藻的种类组成

3个虾池共鉴定浮游微藻6门22属25种。其中,绿藻门8属10种,硅藻门2属2种,甲藻门6属7种,裸藻门4属4种,蓝藻门1属1种,金藻门1属1种,结果见表2。绿藻门种类数最多,占浮游微藻总种数的

38.5%，依次是甲藻门占 23.1%，裸藻门占 15.4%，硅藻门和蓝藻门各占 7.7%，金藻门占 3.8%。绿藻和蓝藻主要是优势种和常见种，重要的种类有蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa*、绿色颤藻 *Oscillatoria chlorine* 和球衣藻 *Chlamydomonas globosa*。裸藻门的普蒂双鞭藻 *Eutreptia pertyi* 和尖细多形藻 *Distigma acutum* 在虾池中多以常见种的形式出现。甲藻门以真蓝裸甲藻 *Gymnodinium eucyaneum* 较为常见，其他种类均不多见。重要的硅藻为条纹小环藻 *Cyclotella striata*，波状石丝藻 *Lithodesmium undulatus* 为稀有种(表 2)。

表 2 对虾高位池养殖后期浮游微藻种类组成

Table 2 Composition of microalgae species in shrimp ponds

门 Phylum	种类组成 Species composition	丰富度 Abundance			体积(μm ³) Volume
		1 号虾池 Pond 1	2 号虾池 Pond 2	3 号虾池 Pond 3	
绿藻门 Chlorophyta	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+++	+++	+++	28.94
	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	+		++	267.90
	集球藻 <i>Palmellococcus miniatus</i>		++		285.07
	基片衣藻 <i>Chlamydomonas basimaculata</i>	+	+		267.95
	球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	++	++	++	239.61
	二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>			+	104.60
	心形四片藻 <i>Tetraselmis cordiformis</i>	+		++	205.00
	果状杜氏藻 <i>Dunaliella carpatica</i>		+	+	188.40
	波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	++	++	++	387.52
	椭圆被毛藻 <i>Hirtusochloris sellipsoidea</i>	+			536.68
硅藻门 Bacillariophyta	波状石丝藻 <i>Lithodesmium undulatus</i>	+	+	+	5 352.72
	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	++	++	++	2 508.57
甲藻门 Dinophyta	锥状施克里普藻 <i>Scrippsiella trochoidea</i>	+	+	+	7 212.19
	真蓝裸甲藻 <i>Gymnodinium eucyaneum</i>	++	++	++	3 866.12
	钟形裸甲藻 <i>Gymnodinium mitratum</i>	+	+	+	362.84
	米氏凯伦藻 <i>Karenia mikimotoi</i>		+		452.68
	微小原甲藻 <i>Prorocentrum minimum</i>		+		1 051.03
	春膝沟藻 <i>Gonyaulax verior</i>		+	+	438.23
	透明原甲藻 <i>Protoperidinium pellucidum</i>			+	7 121.24
裸藻门 Euglenophyta	普蒂双鞭藻 <i>Eutreptia pertyi</i>	++	++	++	3 002.47
	广卵异鞭藻 <i>Anisonema prosgeobium</i>		+		837.32
	鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	+		+	3 014.41
	尖细多形藻 <i>Distigma acutum</i>		++		428.54
蓝藻门 Cyanophyta	绿色颤藻 <i>Oscillatoria chlorine</i>	+++	+++	+++	28.26
金藻门 Chrysophyceae	丛粒藻 <i>Botryococcus braunii</i>		++		23.81

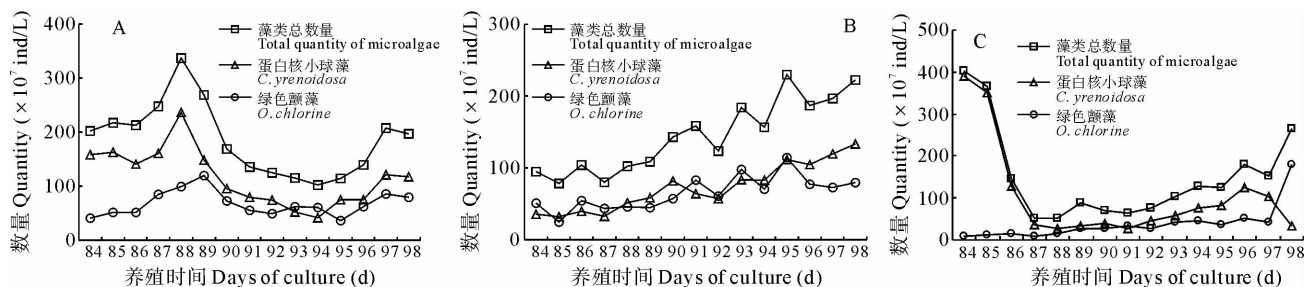
注: +代表稀有种; ++代表常见种; +++代表优势种. Note: +: rare species, ++: common species, +++: dominant species

2.3 虾池浮游微藻优势种及其变动

养殖后期,蛋白核小球藻和绿色颤藻优势度突出,平均值分别为 0.48~0.62、0.30~0.46,为虾塘中的绝对优势种群。整个调查过程中,1 号、2 号虾池蛋白核小球藻和绿色颤藻的变动趋势与浮游微藻总量的变动趋势近乎一致。调查初期(84~86 d),3 号虾池蛋白核小球藻占据绝对统治地位,优势度高达 87%~97%,随后种群数量有所下降,并与绿色颤藻一起决定浮游微藻总量变动趋势。这表明虾池中微藻总量是由较为单一的优势种所控制,即优势种可代表微藻群落的生物学特征。

2.4 虾池浮游微藻数量的动态变化

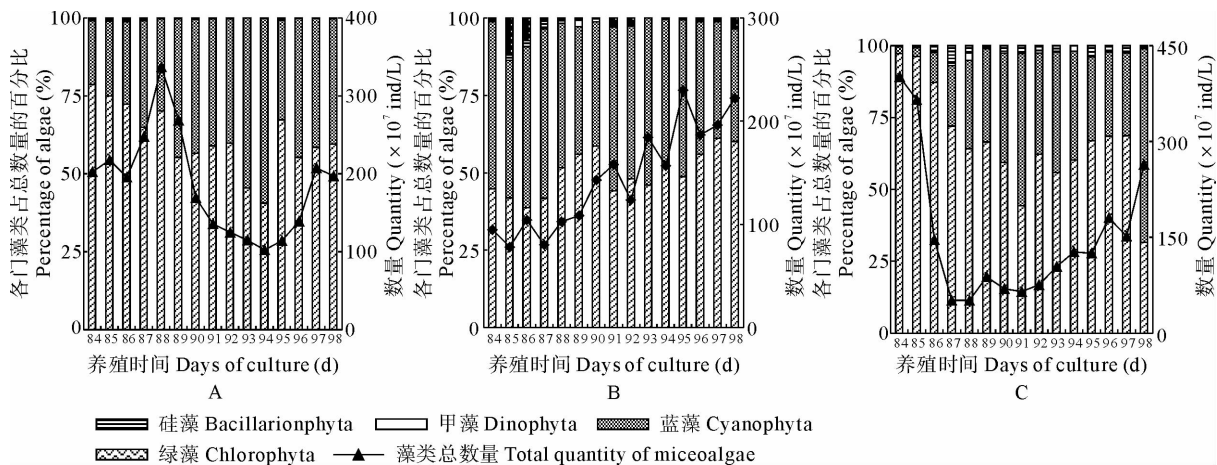
高位池养殖后期浮游微藻总细胞数量波动范围为 $5.1 \times 10^8 \sim 4.0 \times 10^9$ ind/L, 最高值比最低值高一个数量级, 变幅不大。其中, 1号虾池浮游微藻数量最大, 平均为 $184.9 \times 10^7 \pm 66.2 \times 10^7$ ind/L, 3号虾池次之, 平均为 $151.0 \times 10^7 \pm 106.2 \times 10^7$ ind/L, 2号虾池最小, 平均为 $144.6 \times 10^7 \pm 50.6 \times 10^7$ ind/L。从图2可见, 1、2、3号虾池绿藻占微藻总数量的百分比最高, 分别为61.1%、50.1%、66.8%, 其次是蓝藻, 分别为38.2%、46.8%、30.7%, 二者之和所占总数量的比例接近100%。由此可见, 绿藻和蓝藻在数量上占据绝对统治地位。



说明: A. 1号虾池; B. 2号虾池; C. 3号虾池。Note: A. Pond 1; B. Pond 2; C. Pond 3

图1 虾池浮游微藻优势种群的动态变化

Fig. 1 Variations of microalgae dominant populations in high-level prawn ponds



说明: A. 1号虾池; B. 2号虾池; C. 3号虾池。Note: A. Pond 1, B. Pond 2, C. Pond 3

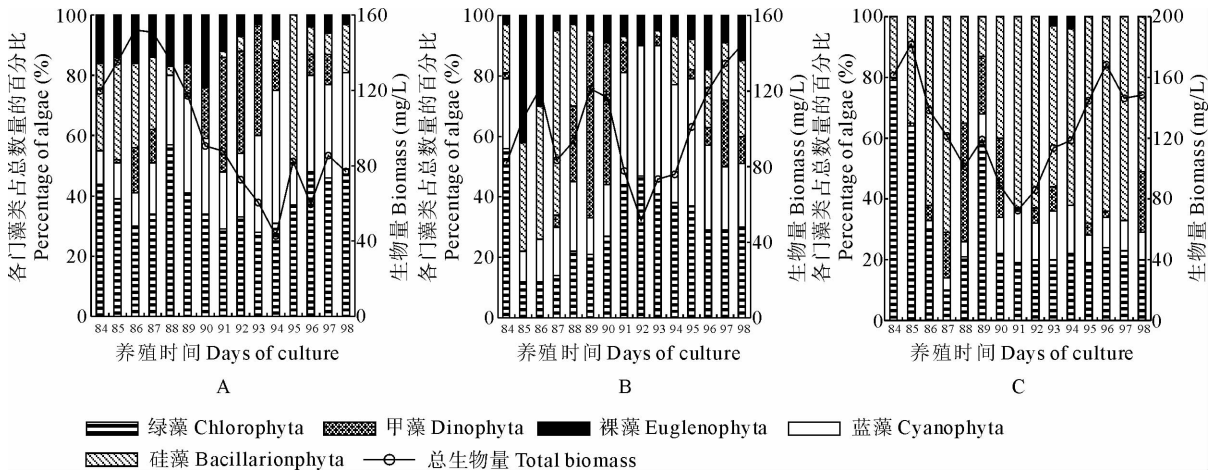
图2 高位虾池养殖后期浮游微藻细胞数量的变化

Fig. 2 Variations of microalgae cell number in high-level prawn ponds

2.5 虾池浮游微藻生物量的动态变化

3个虾池浮游微藻生物量如图3所示。3号虾池浮游微藻生物量最大, 波动范围为 $72.38 \sim 181.73$ mg/L, 平均为 127.38 ± 31.93 mg/L; 2号虾池次之, 介于 $51.47 \sim 144.56$ mg/L 之间, 平均为 100.15 ± 35.24 mg/L; 1号虾池最小, 波动幅度为 $42.92 \sim 152.12$ mg/L, 平均为 98.04 ± 39.09 mg/L。

从各门藻类占总生物量的比例来看, 1号虾池浮游微藻生物量中, 绿藻居首位, 平均为 38.35 ± 16.83 mg/L, 占总生物量的39.11%, 蓝藻次之, 平均为 20.95 ± 7.07 mg/L, 占总生物量的23.73%, 第三是硅藻, 平均为 18.97 ± 18.81 mg/L, 占总生物量的15.47%。这表明1号虾池浮游微藻群落结构主要由绿藻、蓝藻和硅藻组成, 并且绿藻一直保持较强的生物量优势地位, 较好地稳定了浮游微藻群落及养殖环境。2号虾池浮游微藻生物量中, 绿藻最高, 平均为 28.94 ± 10.35 mg/L, 占总生物量的30.61%, 蓝藻次之, 平均为 25.00 ± 9.04 mg/L,



说明: A. 1号虾池; B. 2号虾池; C. 3号虾池. Note: A. Pond 1, B. Pond 2, C. Pond 3

图3 对虾高位池浮游微藻生物量的变化

Fig. 3 Variations of microalgae biomass in high-level prawn ponds

占总生物量的 27.30%，第三是硅藻，平均为 $18.97 \pm 18.67 \text{ mg/L}$ ，占总生物量的 17.93%。调查初期，裸藻和硅藻共同占主导地位，在放苗后的第 87 天，裸藻和硅藻迅速消亡，其优势地位被甲藻所取代，在放苗后 91 d 起，绿藻和蓝藻取代甲藻的主导地位，基本控制着微藻群落结构和群落环境的形成。总体来讲，2 号虾池浮游微藻群落演替速度快，结构较不稳定。3 号池硅藻生物量最高，平均为 $64.19 \pm 27.87 \text{ mg/L}$ ，占总生物量的 50.39%，其次是绿藻，平均为 $40.84 \pm 34.52 \text{ mg/L}$ ，占总生物量的 32.06%，蓝藻次之，平均为 $10.66 \pm 5.39 \text{ mg/L}$ ，占总生物量的 9.07%。由此可见，3 号虾池绿藻和硅藻的生物量决定了总生物量曲线的走势，表示虾池浮游微藻群落结构主要由硅藻和绿藻组成。

2.6 虾池浮游微藻群落多样性

物种多样性指数作为一个评价环境污染程度的重要生物学指标，已经在国内外得到广泛应用。多样性指数可用于定量反映生物群落的异质性与稳定性，该指数越大，其代表的生态信息含量就越大，抗干扰能力就越高(孙耀等 1998)。物种多样性包括物种数量多样性和物种生物量多样性。通常把群落的物种数、每个物种的数量及其时空分布的概率，称为数量多样性，而把群落中每个物种的生物量及其时空分布的概率，称为生物量多样性。本文对 Shannon-Weaver 指数同时用数量和生物量作了统计，结果显示，养殖后期虾池浮游微藻数量多样性指数总体水平较低，介于 0.20~1.97 之间，平均为 1.01~1.30，虾池生物量多样性指数处于较高水平，波动范围为 1.01~2.75，平均为 1.83~2.27(表 3)。

表 3 虾池中浮游微藻多样性指数动态特征

Table 3 The diversity index of microalgae communities in high-level prawn ponds

养殖时间(d) Days of culture	1号虾池 Pond 1		2号虾池 Pond 2		3号虾池 Pond 3		养殖时间(d) Days of culture	1号虾池 Pond 1		2号虾池 Pond 2		3号虾池 Pond 3	
	Hd	Hb	Hd	Hb	Hd	Hb		Hd	Hb	Hd	Hb	Hd	Hb
84	0.84	2.00	1.48	2.35	0.20	0.95	92	1.05	2.05	1.38	2.09	1.23	1.71
85	0.92	1.97	1.60	1.85	0.26	1.19	93	1.04	1.74	1.13	2.06	1.35	2.40
86	0.99	2.43	1.47	1.93	0.67	1.40	94	1.01	1.95	1.17	2.45	1.22	1.91
87	1.02	2.23	1.26	1.71	1.20	1.33	95	1.08	1.78	1.15	2.32	1.14	1.74
88	0.93	1.71	1.34	2.58	1.74	2.39	96	1.11	2.17	1.20	2.57	1.04	1.54
89	1.03	1.98	1.36	2.06	1.97	2.75	97	1.02	1.94	1.14	2.67	1.04	1.27
90	1.06	2.03	1.20	2.08	1.43	2.41	98	1.00	1.68	1.13	2.59	1.05	2.51
91	1.05	2.37	1.51	2.68	1.38	1.66	均值 Average	1.01	2.00	1.30	2.27	1.13	1.83

注: Hd、Hb 分别代表数量多样性指数、生物量多样性指数

Note: Hd, Hb, Shannon-Wiener index and Biomass diversity index, respectively

2.7 虾池浮游微藻与理化因子的相关性分析

从表 4 相关性分析结果可以看出,水温、盐度、pH 与浮游微藻总数量、总生物量、各门藻类生物量的关系不显著,表明养殖后期藻类丰度消长不受水温、盐度和 pH 的影响。DO 与藻类生物量、数量的关系比较复杂,部分呈正相关,部分呈负相关。说明溶解氧除了与浮游微藻光合作用有关外,还与天气状况、养殖者所采取的应对性管理措施有关。回归结果表明,蓝藻和绿藻与透明度呈密切负相关关系,蓝藻、绿藻随透明度的升高而减少、降低而增加。

由表 4 可知,浮游微藻总数量、总生物量及各门藻类生物量与水中的营养盐的关系不明显,表明水体中的营养盐较丰富,基本上能满足浮游微藻及其主要优势种的正常生长。 PO_4^{3-} 与硅藻之间存在紧密负相关,其含量随硅藻数量的增加而减少。蓝藻和绿藻与 COD 存在一定程度的正相关关系,某种程度上,COD 的高低决定其丰度的消长。

表 4 高位池养殖后期浮游微藻与理化因子的关系

Table 4 The correlation coefficient of microalgae physical and chemical factors in high-level prawn ponds

项目 Item	池塘 Pond	WT	S	SD	pH	DO	COD	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	IN	PO_4^{3-}	N/P
藻类总数量 Total quantity	1#	0.51*	-0.22	-0.55*	0.32	0.46	0.67**	0.46	0.18	-0.41	0.01	-0.66*	0.63*
	2#	-0.41	0.34	-0.27	-0.12	-0.19	0.44	-0.05	0.17	0.61*	0.68	0.69*	-0.58*
	3#	0.05	0.15	-0.83**	-0.60*	0.41	0.27	-0.02	0.14	-0.01	0.11	-0.24	0.15
藻类总生物量 Total biomass	1#	0.57*	-0.39	-0.25	0.14	0.42	0.37	0.03	-0.08	-0.57*	-0.46	-0.64*	0.42
	2#	0.53*	0.46	-0.38	-0.07	0.26	0.54*	0.26	-0.16	0.29	0.24	0.41	0.44
	3#	0.27	0.22	-0.86**	-0.58*	0.42	0.52*	0.15	0.12	0.27	0.27	-0.25	0.39
绿藻生物量 Biomass of Chlorophyta	1#	0.72	-0.38	-0.46	0.31	0.51	0.52*	0.30	0.15	-0.43	-0.10	-0.62*	0.47
	2#	-0.46	0.05	-0.19	-0.18	0.01	0.30	0.37	0.02	0.60*	0.64	0.49	-0.43
	3#	0.22	-0.24	-0.60*	-0.60*	0.29	0.15	0.08	-0.23	-0.18	-0.26	-0.22	-0.12
蓝藻生物量 Biomass of Cyanophyta	1#	0.64*	0.29	-0.53*	0.29	0.12	0.78**	0.64*	0.26	-0.14	0.34	-0.46	0.56*
	2#	-0.62*	-0.08	-0.26	0.01	-0.18	0.26	-0.04	0.16	0.56*	0.64	0.60*	-0.68*
	3#	-0.60	0.22	-0.17	0.54	-0.17	0.17	0.15	0.28	0.54*	0.43	0.68*	-0.01
硅藻生物量 Biomass of Bacillarionphyta	1#	0.11	-0.40	0.77	-0.61*	-0.10	-0.51*	-0.55*	-0.70	-0.54*	-0.88	-0.55*	-0.04
	2#	0.62*	0.20	0.14	0.01	0.24	0.16	-0.54*	-0.19	-0.42	-0.61	-0.57*	0.59*
	3#	-0.09	0.42	-0.38	0.09	0.29	0.62	0.07	0.14	0.56*	0.42	-0.13	0.48

注: ** 表示显著水平在 0.01, * 表示显著水平在 0.05

Note: ** :Significant correlation at 0.01 level, * :Significant correlation at 0.05 level

3 讨论

3.1 浮游微藻群落特征与理化因子的关系

据报道(张才学等 2007),粤西地区对虾高位池养殖后期浮游微藻种类数相对较少,优势种单一且优势度较大,密度多样性指数较低,优势种与临近海域不一样,与作者的调查结果类似。这主要与养殖用水经过砂滤井过滤及养殖后期水体的严重富营养化有关(何建国等 2004)。从浮游微藻数量看,1、2 号虾池由绿藻和蓝藻作为数量优势种统治着浮游微藻群落,3 号虾池微藻总量由绿藻所控制,绿藻代表着浮游微藻群落的生物学特征。从浮游微藻生物量看,1、2 号虾池主要由绿藻、蓝藻和硅藻组成,但 1 号虾池绿藻一直保持较强的生物量优势地位,浮游微藻群落较稳定,而 2 号虾池绿藻生物量占总生物量的 30.61%,蓝藻占总生物量的 27.30%,硅藻占总生物量的 17.93%,浮游微藻优势种群演替比较频繁,藻相不稳定。3 号池硅藻占总生物量的 50.39%,绿藻占总生物量的 32.06%,蓝藻占总生物量的 9.07%,浮游微藻群落结构主要由硅藻和绿藻组成。

浮游微藻生物量与水温、pH、盐度、DO、营养盐(氮、磷)及其原子比这些因子之间关系不显著,这可能与浮游微藻的生长繁殖需要一定的时间积累、浮游微藻的波动滞后于理化因子的波动有关(张才学等 2006);同时,对虾高位池养殖是一种高密度的精养模式,养殖过程受到各种投饵、换水、消毒、施用益生菌等多种人工因子的调控,这可能也是浮游微藻与主要理化因子相关性不显著的原因。有研究报道,氮或磷营养盐是虾池浮游

植物生长的限制因子(孙耀等 1998),本研究的高位虾池内有大量的残饵积累并分解,水体营养盐丰富,浮游植物的生长不受营养盐绝对缺乏的限制,但养殖后期磷的积累幅度远远小于氮的积累,水体营养水平为磷中等限制潜在性富营养(李奕雯等 2009),浮游微藻的生长可能受磷缺乏的相对限制。

当浮游微藻数量多样性指数(H')低于 1.0 时,水质即不同程度出现变色、散发气味等恶化现象,对虾也不不同程度出现病症和死亡现象(郭皓等 1996)。但是,本研究发现,监测池塘浮游微藻数量多样性指数低于 1.0 时,并未出现上述现象,对虾健康安全生长。这主要因为对虾高位池浮游微藻群落中物种之间的个体大小差异较大,数量多样性与生物量多样性差异也较大,仅以数量多样性指数来量化物种多样性难以客观地反映群落结构的真实情况。因此,以物种生物量的大小作为多样性指数,既能从有机碳或有机氮等能量水平上去考虑群落的结构特点,又能为充分利用群落中的物种资源和环境容量提供理论基础(刘冬燕等 2005)。

3.2 浮游微藻群落特征与对虾生长的关系

以种群不稳定的微藻为优势种群的养殖环境,由于微藻数量的大幅度波动而影响养殖系统平衡,从而使养殖水质恶化;以具毒性的微藻为优势种群的养殖环境,由于微藻产生有毒物质而影响对虾的正常生长(黄翔鹤等 2005)。2号虾池对虾死亡现象严重,15 d 累计 74.5 kg,可能是因为微藻优势种群交替频繁,出现大量的死藻,其自身降解消耗大量氧气,同时还会产生大量羟胺、硫化物、有毒气体,易导致对虾因应激致病而死(Cremen *et al.* 2007)。再者,颤藻占总生物量的 27.30%,在浮游微藻群落结构中占据优势地位。颤藻呈丝状体,缺乏蛋白质、氨基酸和脂肪酸,不易被浮游动物摄食,在水生食物链上发挥较小的作用,阻碍了养殖生态系统物质循环和能量流动,并且产生鱼腥藻毒素-a 和微囊藻毒素,该毒素不仅可以阻止乙酰胆碱酯酶对乙酰胆碱的降解,使肌肉因过度兴奋而痉挛(李效宇 2007),而且散发难闻的气味,致使水质恶化,不利于对虾健康安全生长(Paerl *et al.* 1995)。采样期间 3 号虾池对虾死虾数量最少,15 d 累计 26 kg,未出现发病甚至大面积死亡的现象,可能是因为以绿藻和硅藻为优势类群的微藻群落,能降低水体中氨氮和亚硝酸氮等有害因子的浓度,消除胁迫因子,使水体环境长时间处于良好的动态平衡状态。

综上所述,浮游微藻藻相与对虾生长关系极为密切,优良的藻相使水体环境长时间处于良好的动态平衡状态,有利于对虾健康安全生长,而优势种群更替频繁且颤藻占主导的不良藻相极易导致对虾因应激而死亡。对虾高位池养殖后期构建以绿藻和硅藻为主的藻相,控制颤藻在 10% 以内,是确保对虾稳产、高产的关键所在。

参 考 文 献

- 孙军,刘东艳,钱树本. 1999. 浮游植物生物量研究 I: 浮游植物生物量细胞体积转化法. 海洋学报, 21(2): 75~85
- 孙耀,李锋,李健,王开晓. 1998. 虾塘水体中浮游植物群落特征及其与营养状况的关系. 海洋水产研究, 19(2): 45~51
- 李效宇. 2007. 微囊藻毒素及其毒理学研究. 北京: 科学出版社, 11~13
- 李奕雯. 2009. 对虾高位池生态环境与 3 种微藻氮、磷营养生态学. 见: 广东海洋大学硕士学位论文
- 刘孝竹,李卓佳,曹煜成,文国樑. 2009. 低盐度养殖池塘常见浮游微藻的种类组成、数量及优势种群变动. 南方水产, 5(1): 9~16
- 刘冬燕,赵建夫,张亚雷,杨永川. 2005. 富营养化水体生物修复中浮游植物的群落特征. 水生生物学报, 29(2): 177~183
- 张才学,劳赞,刘玉莲,区兆伟. 2007. 凡纳滨对虾常见养殖模式下养殖后期浮游植物及理化因子的变化. 广东海洋大学学报, 27(4): 38~44
- 张才学,劳赞,廖宝娇,黎运积. 2006. 珠海地区凡纳滨对虾淡水养殖池浮游植物群落的演替. 湛江海洋大学学报, 26(4): 35~41
- 沈国英,施并章. 2003. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 158~163
- 何建国,孙成波. 2004. 高位池对虾精养技术及病害防治 I. 高位池种类、结构. 中山大学学报(自然科学版), 43(6): 6~10, 16
- 金德祥,陈金环,黄凯歌. 1965. 中国海洋浮游硅藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 20~134, 156~231
- 金德祥,程兆第,林均民. 1982. 中国海洋底栖硅藻类(上卷). 北京: 海洋出版社, 17~34, 76~123
- 查广才,周昌清,黄建荣,何建国,麦雄伟. 2004. 凡纳对虾淡水养殖池微型浮游生物群落及多样性. 生态学报, 24(8): 1748~1755
- 郭皓. 2004. 中国近海赤潮生物图谱. 北京: 海洋出版社, 31~97
- 郭玉洁,钱树本. 2003. 中国海藻志. 北京: 科学出版社, 13~75, 324~429
- 郭皓,于占国. 1996. 虾池浮游植物群落特征及其与虾病的关系. 海洋科学, (1): 39~45
- 黄翔鹤,冯奕成,李长玲,刘楚吾. 2005. 虾池微藻定向培育及其对养殖环境因子的影响. 湛江海洋大学学报, 25(6): 25~31
- Cremen, M. C., Martinez-Goss, M. R., Corre Jr, V. L., and Azanza, R. V. 2007. Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology. J. Appl. Phycol. 19: 615~624
- Paerl, H. W., and Tucker, C. S. 1995. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. J. World Aquacult. Soc. 26: 109~131