

粤西凡纳滨对虾海水滩涂养殖池塘浮游微藻群落结构特征

彭聪聪^{1,2} 李卓佳^{1*} 曹煜成¹ 刘孝竹¹ 胡晓娟^{1,3}

(¹中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

(²上海海洋大学, 201306)

(³暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要 对 4 个凡纳滨对虾海水滩涂养殖池塘的浮游微藻进行定期跟踪调查, 并对其群落结构特征进行了分析。结果共检出浮游微藻 6 门 91 种, 其中蓝藻 30 种, 绿藻 15 种, 硅藻 37 种, 甲藻 5 种, 裸藻两种, 金藻两种。优势种有顿顶节旋藻 *Arthrospira platensis*、蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa*、显微蹄形藻 *Kirchneriella microscopica*、微小多甲藻 *Peridinium pusillum*、新月菱形藻 *Nitzschia closterium*、加德纳鞘丝藻 *Lyngbya gardneri*、绿色颤藻 *Oscillatoria chlorina*、盐泽颤藻 *Oscillatoria salina*、微小念珠藻 *Nostoc microscopicum*、易略颤藻 *Oscillatoria neglecta*、威利颤藻 *Oscillatoria willei* 等。在养殖前期浮游微藻的个体数量介于 $5.12 \times 10^4 \sim 95.41 \times 10^4$ ind/L 之间, 生物量为 1.95~118 $\mu\text{g/L}$, 多样性指数平均为 0.84~2.16, 绿藻类和硅藻类较为常见; 到养殖中后期浮游微藻的个体数量介于 $66.11 \times 10^4 \sim 1.28 \times 10^9$ ind/L 之间, 生物量为 13.3~11.87 $\times 10^3 \mu\text{g/L}$, 多样性指数平均为 1.64~2.87, 颤藻类逐渐演替为优势种。养殖期间浮游藻类的种类数、个体数量、生物量及多样性指数均总体表现为养殖前期低、后期高的变化规律, 但在养殖中期, 受台风等恶劣天气影响, 虾池水体理化因子和微藻密度出现波动。

关键词 凡纳滨对虾 海水滩涂养殖池塘 浮游微藻 群落结构 优势种
中图分类号 Q178.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)04-0117-09

Structure characteristics of planktonic microalgae community in *Litopenaeus vannamei* shoal water culture ponds in western Guangdong

PENG Cong-cong^{1,2} LI Zhuo-jia^{1*} CAO Yucheng¹
LIU Xiaozhu¹ HU Xiaojuan^{1,3}

(¹South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300)

(²Shanghai Ocean University, 201306)

(³Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-46)、国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD09A07; 2007BAD29B06)、南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研专项(2007ZD01; 2008YD01; 2010YD05)、国家自然科学基金(30800851)、公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-042; 200803012)、广东省科技计划(2009B020201001)、广东省鱼病防治专项(2130108)、广东省海洋渔业科技推广专项(A200899A06)共同资助

* 通讯作者。E-mail: zhuojiali609@163.com, Tel: 13609709718

收稿日期: 2010-10-11; 接受日期: 2011-01-21

作者简介: 彭聪聪(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事养殖生态环境调控研究。E-mail: congpeng430@163.com, Tel: 13560462790

ABSTRACT Planktonic microalgae in shrimp ponds play the role of primary producers, and have a major impact on material cycle and energy supply of the water ecosystem. The continual and regular surveys on the planktonic microalgae community were conducted in four *Litopenaeus vannamei* shoal water culture ponds at Guanlida Biotechnology Corporation in Dianbai, Maoming, Guangdong Province. Moreover, the community compositions of planktonic microalgae in shrimp ponds and their characteristics were analyzed. The results showed that a total of 91 planktonic microalgae species were identified during the culture period. Among them, 30 species were Cyanophyta, 15 were Chlorophyta, 37 were Bacillariophyta, 5 were Pyrrophyta, 2 were Euglenophyta, and 2 were Chrysophyceae. The dominant species were *Arthrospira platensis*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Kirchneriella microscopica*, *Peridinium pusillum*, *Nitzschia closterium*, *Lyngbya gardneri*, *Oscillatoria chlorina*, *Oscillatoria salina*, *Nostoc microscopium*, *Oscillatoria neglecta*, and *Oscillatoria willei*. During the early culture period, the range of the quantities of planktonic microalgae, the biomass and the diversity index averages were $5.12 \times 10^4 \sim 95.41 \times 10^4$ ind/L, $1.95 \sim 1.18 \times 10^2$ μ g/L, and 0.84~2.16, respectively. Chlorophyta and Bacillariophyta often appeared. However, in the middle and final phases, the average planktonic microalgae density, the averages of biomass and the diversity index ranged in $66.11 \times 10^4 \sim 1.28 \times 10^9$ ind/L, $13.3 \sim 11.87 \times 10^3$ μ g/L, and 1.64~2.87 respectively, and *Oscillatoria* gradually became the dominant species. The present study demonstrated that all the planktonic microalgae density, biomass and diversity index showed the same trend that they were generally low at the initial phase of the culture period and became high at the final phase. However, in mid-late July, the planktonic microalgae density and the physical and chemical factors in water fluctuated under the influence of severe weather conditions resulted from typhoon etc.

KEY WORDS *Litopenaeus vannamei* Shoal water culture ponds Microalgae
Community structure Dominant specie

浮游微藻是虾池水生生态系统中的初级生产者,对构建稳定的水环境发挥着重要作用。浮游微藻可吸收和转化水体中的氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、亚硝酸氮($\text{NO}_2\text{-N}$)等营养盐,有效地调节水质,其经光合作用合成的有机物,可再通过虾池食物链来影响水生生态系统,并可调节虾池水体的溶解氧(DO)含量。此外,在养殖前期,微藻还可以作为幼虾滤食所需的部分鲜活饵料。因此,阐明虾池中浮游微藻的组成、数量分布、优势种的演替规律及影响微藻群落结构的环境因子动态等具有重要意义。近年来,黄翔鸽等(2002)、李卓佳等(2005)研究了对虾海水养殖池浮游微藻群落组成及多样性的基本特征,查广才等(2006)、刘孝竹等(2009)对珠江三角洲地区低盐度虾池的浮游微藻群落结构组成、优势种群变动及多样性动态做了全面深入调查研究。对虾海水滩涂养殖在粤西地区最为常见(文国梁等 2004),许多养殖场、养殖户等都采用该模式进行对虾养殖,而目前针对粤西凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 海水滩涂养殖土池浮游微藻群落的调查与研究鲜见报道。为此,作者对广东省茂名市电白县凡纳滨对虾海水滩涂养殖池塘展开调查研究,分析了一个完整养殖周期内虾池浮游微藻的群落结构特征,以为建立浮游微藻的藻相调控技术和确保对虾养殖的高效、稳产效益等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及养殖模式

本研究的取样地点位于广东省茂名市电白县冠利达科技生物有限公司,选取条件基本相同的4个凡纳滨

对虾海水滩涂养殖土池, 分别编号为1、2、3、4号池。各池面积均为0.33 hm², 各池放苗密度均为75万/hm², 放苗时水深1.2m, 养殖期间水位逐渐升高, 中期约1.4m, 后期水深1.6m左右。各养殖池进水前皆清淤, 经过晒塘、消毒程序。养殖水源为鸡打港内湾海水与马店河河水的混合水, 养殖开始前涨潮时养殖池与蓄水池同时进水, 每20口池塘共用一口蓄水池, 储存养殖备用水。进水口、排水口位于池塘对侧的中央; 养殖水体盐度可调, 放苗时盐度为11~12。全人工均匀投饵, 每池设机械增氧机两台, 持续机械增氧。

1.2 浮游微藻样品的采集与处理

自2009年5月19日~8月25日, 每隔14d对选定的4个虾池进行浮游微藻的采样分析。采样时, 在每个池塘四周及中央水下1m处用2.5L采水器各采水样1份, 充分混匀, 取1L倒入聚乙烯塑料瓶, 加入5%甲醛溶液固定, 静置24~48h, 浓缩后, 在显微镜下进行微藻种属鉴定、细胞计数。

1.3 水质理化因子样品的采集与检测

浮游微藻采样的同时, 也于池塘四周及中央水下1m处用采水器各采集水样, 混匀后按不同的理化指标分装水样, 并迅速对样品进行2~5℃冷藏等处理。其中, 氨氮(NH₄-N)用次溴酸盐氧化法测定, 硝酸氮(NO₃-N)用镉柱还原法测定, 亚硝酸氮(NO₂-N)用萘乙二胺分光光度法测定, 无机氮(IN)指标是以上三氮之和。可溶性磷酸盐(PO₄-P)用磷钼蓝分光光度法测定。COD采用碱性高锰酸钾法测定。TN用碱性过硫酸钾消解, 紫外分光光度法测定。TP用钼酸铵分光光度法测定。

1.4 浮游微藻样品分析

对浮游微藻种类的鉴定, 主要是在光学显微镜下依照《中国淡水藻类》、《藻类学》、《中国海洋底栖硅藻类》(胡鸿钧等 1980; 福迪 1980; 金德祥等 1991)等资料进行定性鉴定。定量计数采用血球计数板在光学显微镜下进行浮游微藻细胞计数。

多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' (沈国英等 2003):

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

优势度分析: 优势度 $Y = n_i/N \cdot f$

式中, $P_i = n_i/N$, 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, f_i 为该种在该地区出现的频率。

生物量的计算是在显微镜检视中用目微尺实测藻体长度、宽度、厚度等, 然后依据微藻细胞的形状拟合模型计算出藻体的体积, 再乘以藻类的比重 1.1 换算为藻类的生物量(孙军等 2004)。

2 结果与分析

2.1 虾池的基本情况与理化因子组成

虾池的基本情况如表1所示。因市场需求和养殖收虾等原因, 各池采样时间不一致, 1号池共采样6次, 2、3号池均采样7次, 4号池采样8次。其中, 3号池养殖早期幼虾多有死亡现象, 1号池对虾在养殖后期有发病症状。

调查期间水温 28~32.4℃, 随养殖的进行逐渐升高。pH 变化范围 7.0~8.7。透明度变化范围 21~150 cm, 各池透明度总体随养殖时间延长而逐渐下降, 但 4 号池透明度在中期始终保持 80 cm 以上。水体 TN 变化范围 1.23~6.56 mg/L, TP 变化范围 0.04~0.47 mg/L, 到养殖后期浓度均较高。但 PO₄-P 水平较低, 最大值为 0.23 mg/L, 其中 3、4 号池 PO₄-P 含量大多低于检出限 0.01 mg/L。各池 COD 变化范围 4.12~12 mg/L。此外, 土池底泥中也含有丰富的 TN、TP 等营养。养殖过程中天气多变, 5 月 23 日~31 日多大雨, 至 7 月中下旬, 受强台风“莫拉菲”环流云系的影响, 又出现连日大雨, 各池有排放水处理。且电白县属酸雨高发区

(秦鹏等 2006), 降雨期间水体 pH 不稳, 出现多次下降。

2.2 虾池浮游微藻的种类组成

共鉴定出浮游微藻 6 门 91 种(表 2), 其中蓝藻 30 种, 绿藻 15 种, 硅藻 37 种, 甲藻 5 种, 裸藻两种, 金藻两种。其中绿藻、蓝藻和硅藻多为优势种和常见种, 甲藻 1 种为优势种, 其余几种为常见种和稀有种。裸藻及金藻的种类较稀有。其中, 微藻细胞体积的计算是在镜检过程中选取多个微藻细胞的基础上去除最大和最小值后取均值所得。

表 1 虾池的基本情况
Table 1 Basic condition of investigated ponds

项目 Item	1 号池 Pond 1	2 号池 Pond 2	3 号池 Pond 3	4 号池 Pond 4
放苗日期(年-月-日) Stocking date(Y-M-D)	2009-05-09	2009-05-15	2009-05-15	2009-05-09
养殖时间 Culture time (d)	91	96	100	116
收获量 Yield (kg)	2 000	2 115	1 400	1 500
饵料系数 FCR	1.15	1.70	1.37	1.67
pH	7.95±0.42	7.91±0.49	7.59±0.37	7.41±0.39
盐度 Salinity	10±1.53	9.93±1.94	8.5±2.43	9.06±1.72
透明度 Transparency (cm)	46.83±25.69	31.85±13.53	42.71±12.71	106.37±26.32
化学需氧量 COD(mg/L)	9.91±1.06	10.08±1.38	8.57±2.09	6.56±2.26
氨氮 NH ₄ ⁺ N(mg/L)	0.51±0.68	1.17±1.29	0.43±0.30	1.45±1.21
硝酸盐 NO ₃ ⁻ N(mg/L)	0.28±0.26	0.23±0.22	0.34±0.38	0.63±0.65
亚硝酸盐 NO ₂ ⁻ N(mg/L)	0.19±0.23	0.6±0.84	0.07±0.06	0.36±0.33
无机氮(IN)	0.89±1.10	2.14±2.94	0.84±0.65	2.3±2.23
磷酸盐 PO ₄ ⁻ P(mg/L)	0.05±0.05	0.1±0.07	0.01±0.00	20.04±0.04
总磷 TP(mg/L)	0.18±0.08	0.36±0.07	0.11±0.04	0.07±0.05
总氮 TN(mg/L)	3.06±1.4	43.88±1.81	1.89±0.50	3.29±1.49
底泥中总氮				
TN in sediment (mg/kg)	489.67±648.18	405.71±361.47	517.14±261.01	388.57±133.22
底泥中总磷				
TP in sediment (mg/kg)	386±211.57	377±145.79	303.86±104.79	333.14±93.39

注: 虾池水体、底泥理化因子的情况用平均值±标准差来表示

Note: Physical and chemical factors in water and sediment in shrimp ponds expressed in mean ± standard deviation

表 2 虾池的浮游微藻种类组成
Table 2 Composition of microalgae species in shrimp ponds

种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume (μm ³)	种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume (μm ³)
绿藻门 Chlorophyta			四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	++	37.69
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+++	14.14	螺旋纤维藻 <i>Ankistrodesmus spiralis</i>	+	65.44
显微蹄形藻 <i>Kirchneriella microscopica</i>	+++	56.55	波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	+	336.94
凯氏小球藻 <i>Chlorella kessleri</i>	+++	65.45	戴安娜蹄形藻 <i>Kirchneriella diana</i>	+	70.68
椭圆小球藻 <i>Chlorella ellipsoidea</i>	++	49.48	爪哇披刺藻 <i>Francia javanica</i>	+	54.36
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	++	65.45	小形卵囊藻 <i>Oocystis parva</i>	+	98.17
多瑙河蹄形藻 <i>Kirchneriella danubiana</i>	++	32.99	蓝藻门 Cyanophyta		
雷尼鼓藻 <i>Cosmarium regnellii</i>	++	809.94	栖藓柱孢藻 <i>Cylindropspermum muscicola</i>	+++	75
细小卵囊藻 <i>Oocystis pusilla</i>	++	161.99	威利颤藻 <i>Oscillatoria willei</i>	+++	6.38
扭曲蹄形藻 <i>Kirchneriella contorta</i>	++	31.81	拟短形颤藻 <i>Oscillatoria subbrevis</i>	+++	50.27

续表 2

种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume (μm^3)	种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume (μm^3)
顿顶节旋藻 <i>Arthrospira platensis</i>	+++	153.94	范赫尔克舟形藻 <i>Navicula vanheurckii</i>	++	309.35
弱细颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	+++	33.01	孟氏小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	++	495.39
水生集胞藻 <i>Synechocystis aquatilis</i>	+++	19.63	短小舟形藻 <i>Navicula exigua</i>	++	214.41
绿色颤藻 <i>Oscillatoria chlorina</i>	+++	16.96	具星小环藻 <i>Cyclotella stelligera</i>	++	84.82
加德纳鞘丝藻 <i>Lynbya gardneri</i>	+++	3.53	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	++	62.54
狭细颤藻 <i>Oscillatoria angustissima</i>	+++	0.25	近缘桥弯藻 <i>Cymbella aequalis</i>	++	336.91
盐泽颤藻 <i>Oscillatoria salina</i>	+++	6.54	线性舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>	++	546.64
等长鱼腥藻 <i>Nabaena aequalis</i>	+++	26.99	小形舟形藻 <i>Navicula minuscula</i>	++	84.82
易略颤藻 <i>Oscillatoria neglecta</i>	+++	3.53	狭轴舟形藻 <i>Navicula verecunda</i>	+	188.49
微小念珠藻 <i>Nostoc microscopium</i>	+++	0.91	简单舟形藻 <i>Navicula simplex</i>	+	114.86
粘连色球藻 <i>Chroococcus cohaerens</i>	++	14.14	盐生舟形藻 <i>Navicula salinarum</i>	+	547.82
点形平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	++	0.79	隐头舟形藻 <i>Navicula crytocephala</i>	+	91.89
微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>	++	32.72	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	+	235.62
附生色球藻 <i>Chroococcus epiphyticus</i>	++	0.79	胀大桥湾藻 <i>Cymbella turgida</i>	+	407.23
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	++	0.52	卵圆双壁藻 <i>Diploneis ovalis</i>	+	1 325.36
惠氏集胞藻 <i>Synechocystis willei</i>	++	17.16	系带菱形藻休弗变种 <i>Navicula cincta</i>	+	212.06
坚实微囊藻 <i>Microcystis firma</i>	++	0.27	小头桥湾藻 <i>Cymbella microcephala</i>	+	40.84
加斯文颤藻 <i>Oscillatoria jasarvensis</i>	++	9.82	意大利直链藻 <i>Melosira italica</i>	+	375
美丝鞘丝藻 <i>Lynbya perelegans</i>	++	8.64	瞳孔舟形藻矩形变种 <i>Navicula pupula</i> var. <i>rectangularia</i>	+	706.86
大螺旋藻 <i>Spirulina major</i>	++	6.68	披针形舟形藻 <i>Navicula lanceolata</i>	+	824.67
石栖色球藻 <i>Chroococcus lithophilus</i>	+	65.45	小角毛藻 <i>Chaetoceros minutissimus</i>	+	66.44
瑞士色球藻 <i>Chroococcus helveticus</i>	+	220.89	膨大桥湾藻 <i>Cymbella turgida</i>	+	176.6
不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	+	0.52	嗜盐舟形藻 <i>Navicula halophila</i>	+	895.35
栖霞鞘丝藻 <i>Lynbya digueti</i>	+	8.48	近头端羽纹藻 <i>Pinnularia subcapitata</i>	+	371.1
温声隐杆藻 <i>Aphanothece caldarium</i>	+	32.72	优美桥湾藻 <i>Cymbella delicatula</i>	+	328.03
栖石隐杆藻 <i>Aphanothece saxicola</i>	+	16.36	瞳孔舟形藻 <i>Navicula pupula</i>	+	589.05
极小集胞藻 <i>Synechocystis minuscula</i>	+	4.19	甲藻门 <i>Dinophyta</i>		
硅藻门 <i>Bacillariophyta</i>			微小多甲藻 <i>Peridinium pusillum</i>	+++	265.07
喙头舟形藻 <i>Navicula rhynchocephala</i>	+++	353.43	真蓝裸甲藻 <i>Gymnodinium eucyanum</i>	++	94.25
新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	+++	46.88	赤潮异弯藻 <i>Heterosigma akashiwo</i>	++	125.66
花环小环藻 <i>Cyclotella operculata</i>	+++	132.54	透明原多甲藻 <i>Protoperidinium pellucidum</i>	+	9 424.78
系带舟形藻 <i>Navicula cincta</i>	++	161.99	二角多甲藻 <i>Peridinium bipes</i>	+	235.62
平滑舟形藻 <i>Navicula laevissima</i>	++	1251.73	裸藻门 <i>Euglenophyta</i>		
舍恩菲尔德舟形藻 <i>Navicula schoenfeldii</i>	++	176.71	敏捷扁裸藻 <i>Phacus agilis</i>	+	205.25
斯塞潘布纹藻 <i>Gyrosigma spencerii</i>	++	375	颤动扁裸藻 <i>Phacus oscillans</i>	+	388.77
梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	++	845.79	金藻门 <i>Chrysophyceae</i>		
窗格平板藻 <i>Tabellaria fenestrata</i>	++	675	卵形色金藻 <i>Chromulina ovalis</i>	+	245.44
库津小环藻 <i>Cyclotella kuetzingiana</i>	++	285.09	157.08		
极小桥湾藻 <i>Cymbella perpusilla</i>	+++	52.45			

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

数量和生物量都是反映微藻群落结构特征的基础,本研究把每次取样中个体总数量和总生物量均占10%以上的确定为优势种,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(麦雄伟 2003)。各虾池的优势种演替情况如表3所示。

表3 各虾池浮游微藻优势种组成

Table 3 Composition of the dominant microalgae species in shrimp ponds

1号池 Pond 1	2号池 Pond 2	3号池 Pond 3	4号池 Pond 4
蛋白核小球藻	顿顶节旋藻	微小多甲藻	微小多甲藻
<i>C. pyrenoidosa</i> (0 68)	<i>A. platensis</i> (0 3)	<i>P. pusillum</i> (0 2)	<i>P. pusillum</i> (0 43)
加德纳鞘丝藻	蛋白核小球藻	蛋白核小球藻	蛋白核小球藻
<i>L. gardneri</i> (0 44)	<i>C. pyrenoidosa</i> (0 38)	<i>C. pyrenoidosa</i> (0 85)	<i>C. pyrenoidosa</i> (0 73)
绿色颤藻	新月菱形藻	新月菱形藻	显微蹄形藻
<i>O. chlorina</i> (0 36)	<i>N. closterium</i> (0 22)	<i>N. closterium</i> (0 13)	<i>K. microscopica</i> (0 23)
盐泽颤藻	显微蹄形藻	狭细颤藻	绿色颤藻
<i>O. salina</i> (0 11)	<i>K. microscopica</i> (0 32)	<i>O. angustissima</i> (0 68)	<i>O. chlorina</i> (0 27)
微小念珠藻	狭细颤藻	易略颤藻	新月菱形藻
<i>N. microscopicum</i> (0 22)	<i>O. angustissima</i> (0 5)	<i>O. neglecta</i> (0 29)	<i>N. closteriu</i> (0 14)
狭细颤藻	威利颤藻		
<i>O. angustissima</i> (0 63)	<i>O. willei</i> (0 75)		

注: 括号内数值代表微藻优势度

Note: The numbers in brackets represent the dominance of microalgae

2.4 虾池浮游微藻数量、生物量的变化

4个虾池浮游微藻的数量、生物量变动规律并不一致,但总体而言,表现为养殖前期较低,中期受天气影响出现波动,后期则微藻形成很高密度(图1)。其中,前期阶段微藻的数量介于 $5.12 \times 10^4 \sim 95.41 \times 10^4$ ind/L之间,生物量1.95~118 $\mu\text{g/L}$ 。养殖中、后期微藻的数量介于 $6.611 \times 10^5 \sim 1.28 \times 10^9$ ind/L之间,生物量1.33~ $1.187 \times 10^4 \mu\text{g/L}$ 。

1号池早期微藻种类较少,一些绿藻和硅藻类开始出现,但数量、生物量均较低,随着水体营养逐渐丰富,至放苗第47天TN达到 $4.83 \times 10^3 \mu\text{g/L}$,蓝藻类开始丰富,在第47天和第61天所采样品中,蓝藻在数量上均超过95%,生物量均超过50%。其中,第61天微藻总数量达到 6.78×10^7 ind/L,总生物量为210 $\mu\text{g/L}$ 。

2号池中期开始绿藻类逐渐丰富,其中蛋白核小球藻数量达到 7.6×10^6 ind/L,生物量达到120 $\mu\text{g/L}$,均超过总量的60%。但在中期微藻数量、生物量出现下降,同期台风、暴雨天气较多,营养盐、pH等波动较大,可能是环境因子的波动导致微藻生长不稳。同时该池周围泥土堆积,泥土随雨水冲刷入池而出现水体浑浊、透明度低的现象。后期养殖环境较稳定,微藻生物多样性增强,微藻数量、生物量也显著回升,并在末期达到高值。

3号池早期检出有甲藻优势种存在,同期部分幼虾出现黄鳃症状,多有死亡现象。中期水体pH波动较大,氮、磷浓度下降,浮游微藻生长缓慢,显然也受到恶劣天气影响,第53天微藻数量为 4.87×10^5 ind/L。后期蓝藻、绿藻、硅藻类均大量发生,使得微藻数量和生物量达到高值 1.27×10^9 ind/L。但此时绿藻类只是在生物量上占据优势地位,而一些蓝藻类如易略颤藻在数量和生物量上均有很大的优势度。

4号池在第67~81天,受天气影响,微藻密度出现下降,该池水体透明度明显升高,最高达到150 cm,DO较低。后期,微藻数量、生物量又开始恢复增长,其中舟形藻较常见。调查发现,此期该池硅酸盐含量在0.44~0.62 mg/L之间,远高于硅藻生长所需硅素最低限0.03~0.04 mg/L(查广才等 2006),Jorgense等(1957)证明硅藻对硅有着绝对的需求,此期硅酸盐含量较丰富,可能是硅藻得以丰富的原因之一。

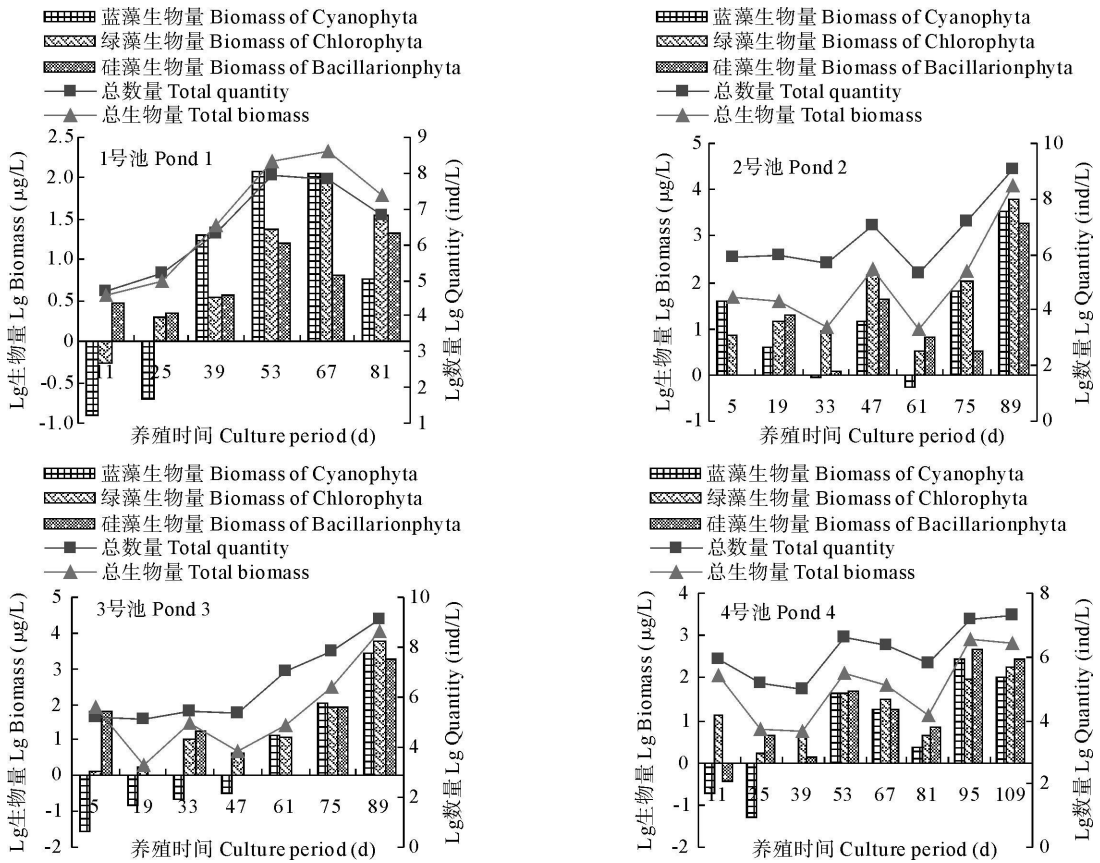


图 1 虾池浮游微藻数量和生物量的变动(以 10 为底对数作图)

Fig. 1 Changes of microalgae's quantities and biomass in shrimp ponds (Logarithmic mapping with the base 10)

2.5 虾池浮游藻类群落的多样性

各虾池浮游微藻多样性指数如表 4 所示。总体来看, 各池微藻多样性指数前期较低, 表现为微藻群落结构尚未完善, 后期多样性指数逐渐增高, 表现养殖生态系统稳定性渐强。1 号池微藻多样性指数水平一直较低, 虾池藻相信息量较其他池匮乏。3、4 号池多样性指数波动较大, 特别是在养殖中期表现尤为明显, 显示此期微藻群落结构多变和水环境的不稳定。2 号池微藻多样性指数随着养殖进行维持较高的水平, 表明微藻群落结构日渐成熟和养殖环境的日趋稳定。

表 4 虾池浮游微藻的多样性指数

Table 4 The diversity index of microalgae communities in shrimp ponds

采样时间(年-月-日) Sampling time (Y-M-D)	多样性指数 Diversity index			
	1 号池 Pond 1	2 号池 Pond 2	3 号池 Pond 3	4 号池 Pond 4
2009-05-19	1.32	1.72	2.16	1.87
2009-06-02	1.73	2.43	0.84	1.24
2009-06-16	1.94	2.61	2.55	0.85
2009-06-30	1.79	1.78	0.98	2.93
2009-07-14	1.16	2.01	1.74	1.62
2009-07-28	1.64	2.87	1.75	2.19
2009-08-11		2.26	2.46	2.54
2009-08-25				2.77
平均值 Average	1.59	2.24	1.78	2.00

3 讨论

3.1 浮游微藻与水体理化因子的关系

养殖前期水体盐度较高, 硅藻类常出现, 绿藻也在营养盐的刺激下很快繁殖。但随着投饵的继续以及虾体

排泄物的积累, 虾池中 TN、TP 等营养逐渐丰富。水中颗粒悬浮物快速增多, 透明度下降, 池水水温升高、盐度降低等, 这些均给蓝藻类的繁育提供了有利条件(谢立民等 2003), 表现为从中期开始颤藻类逐渐演替为优势种类, 同时微藻密度逐渐升高。

由于每个池塘都近乎是一个独立的生态系统, 且土池环境较为复杂, 如池塘沿岸长有丰盛的水生植物, 再加上管理差异或天气干扰等, 所以各池微藻藻相结构的发展等会随着养殖进行表现出差异性。但整体看, 也会有些相似规律, 如在 7 月中、下旬随着莫拉菲台风在粤西地区登陆, 该区出现连日大雨天气, 2、3、4 池水体 pH、DO、透明度等出现波动, 水质不稳, 微藻密度、生物量等也出现波动。有研究显示, 颤藻在自然环境稳定且没有扰动的富营养化水体中可大量繁殖(Paerl *et al.* 1995), 因此, 有可能是不稳定的水环境给颤藻类等的生长带来了限制, 而恶劣天气对池塘水体环境的影响明显。查广才等(2006) 曾经报道过恶劣的天气会造成养殖水质不稳, 长期的阴雨或强降雨会使浮游微藻种类和密度大大降低。养殖后期环境相对稳定, 营养丰富, 水温也维持在较高的水平, 一些颤藻类又重新繁育起来, 优势度多高于 0.5。但土池后期微藻多样性指数较高, 这多与高位池的情况相反, 与张才学等(2007) 的研究结果一致。

水体氮、磷含量是影响浮游微藻生长的重要因素, 有研究表明, 微藻对无机氮(IN) 和 $PO_4\text{-P}$ 最适浓度下限分别为 0.079、0.018 mg/L(孙耀等 1998)。本研究中 IN 的浓度在养殖中一直是比较丰富的, 特别是养殖后期。对于 IN 的利用, 一般认为微藻最优先利用的是 $NH_4\text{-N}$, 然后是 $NO_3\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ (Sergio 2002; 蒋汉明等 2004)。调查也发现微藻对 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 的利用是不一样的, 其中 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 在养殖前期经肥水后浓度较高, 但随后发现除 4 号池外, 其他各池二者的浓度在第 3 次至第 4 次采样时均出现下降, 其中 $NH_4\text{-N}$ 浓度下降水平显著, 而同期各池微藻总数量和生物量是增加的, 应该是此阶段浮游微藻的较快生长利用了大量的 $NH_4\text{-N}$ 和 $NO_3\text{-N}$ 。之后随着投饵量加大, 二者浓度又逐渐升高。而 $NO_2\text{-N}$ 浓度在养殖前中期一直处于较低水平, 变化不显著。另外, 调查发现土池水体 $PO_4\text{-P}$ 的含量较低, 大多低于 0.01 mg/L, 微藻的生长与繁殖对营养盐有着基本需求, 过低的营养盐浓度会使微藻生长、繁殖受到限制, 而本调查发现, $PO_4\text{-P}$ 未构成对虾池微藻生长等的限制。有研究曾显示浮游微藻可能会吸收有机磷作为其生长必需的磷源, 如有些微藻可分泌碱性磷酸酶, 转化有机磷而利用之(Piehlner *et al.* 1995)。对水质的检测发现水体中 TP 较高, 有机磷较丰富。此外, 调查显示土池底泥中也含有丰富的 TP、TN 等营养, 针对底泥中 TP 含量高, 而水体活性 P 含量低的情况, 有研究人员(胡晓娟等 2010) 曾提出, 可通过外源添加解磷菌, 以微生物调控方式促进底泥中难溶性 P 的转化。故在滩涂土池养殖中, 可考虑研发、投放含有有益微生物的底质改良剂等, 既可优化底质, 也有益于调控水质。

3.2 浮游微藻与对虾生长的关系

虾池微藻的种类、数量等与对虾的病害发生、对虾抗病力酶的活性、对虾成活率和生长速度都有着密切的关系(郭皓等 1996; 黄翔鹤等 2005; 王少沛等 2008)。颤藻、甲藻等微藻种类能分泌毒素, 可伤害对虾的肝脏等, 使对虾出现停食、空胃、肝脏糜烂等不良症状出现(Demott *et al.* 1991; Lehman *et al.* 2005)。本调查发现在养殖中后期, 各池出现不少优势度较高的丝状体颤藻类, 如 1 号池存在的颤藻数量、生物量超过总量的 50% 以上, 微藻多样性指数低, 对虾有出现发病症状, 颤藻作为有害藻在水体中高密度存在, 势必会给对虾的生长健康带来胁迫, 可能是导致虾体病症诱发的原因之一。而 3 号池养殖前期检出有甲藻形成优势种, 可能是造成该池幼虾成活率较低、收获量低下的原因。

4 号池微藻密度与其他池相比一直较为稀少, 后期密度只有 10^7 ind/L 左右, 池水透明度较高, 平均值 100cm 以上, 测得其水体 COD、TP、TN 等含量在中后期也低于其他池, 据调查该池岸边浅水处茂盛的挺水植物和水藻生长最为丰富, 其对水体营养盐的吸收比微藻有更大的竞争优势, 虾池内还生有数量丰富的以摄食浮游微藻为生的底栖贝类, 再加上台风、强降雨等天气因素的干扰可能是其微藻密度较低、透明度一直较高的原因。较低的浮游微藻密度也导致了微藻对水质的调节作用有限, 该池水体的 pH 值也一直比其他池较低。同时该池养殖效益较低, 收获量为 1500 kg, 比 1、2 号池低, 虽然比 3 号池的总产量高, 但饵料系数较 3 号池高。可见, 该池的养殖的投入与产出比处于下风。可能由于过低的微藻密度并不能给养殖生态系统提供有效的调

节和支撑,进而影响对虾的生长。曲克明等(2000)曾指出,保持稳定的浮游微藻种群结构和数量对于对虾的健康养殖有着重要意义。所以,结合调查的情况来看,在虾池中构建合理的微藻密度和藻相结构仍是保障对虾健康养殖的关键。

参 考 文 献

- 王少沛,曹煜成,李卓佳,杨莺莺,陈素文. 2008. 水生环境中细菌和微藻的相互关系及其实际应用. 南方水产, 4(1): 76~ 80
- 文国樑,李卓佳,李色东,陈永青,杨莺莺,杨 铿. 2004. 粤西地区几种主要对虾养殖模式的分析. 齐鲁渔业, 21(1): 8~ 9
- 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
- 刘孝竹,李卓佳,曹煜成,文国樑,李奕雯. 2009. 珠江三角洲低盐度虾池秋冬季浮游微藻群落结构特征的研究. 农业环境科学学报, 28(5): 1 010~ 1 018
- 曲克明,李勃生. 2000. 对虾养殖生态环境的研究现状和展望. 海洋水产研究, 21(3): 67~ 71
- 孙 耀,李 峰,李 健,王开晓. 1998. 虾塘水体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
- 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
- 李卓佳,张汉华,郭志勋,贾晓平. 2005. 虾池浮游微藻的种群组成、数量和多样性变动. 湛江海洋大学, 25(3): 29~ 34
- 沈国英,施并章. 2003. 海洋生态学. 北京: 科学出版社
- 麦雄伟. 2003. 南美白对虾温棚淡化养殖水体生态特征研究. 广州: 中山大学, 24~ 25
- 金德祥,程兆第,刘师成,马俊享. 1991. 中国海洋底栖硅藻类. 北京: 海洋出版社
- 查广才,麦雄伟,周昌清,何建国. 2006. 凡纳滨对虾低盐度养殖池浮游藻类群落研究. 海洋水产研究, 27(1): 1~ 7
- 查广才,周昌清. 2008. 恶劣天气对凡纳滨对虾低盐度养殖水体的影响. 信阳师范学院报(自然科学版), 19(4): 414~ 418
- 胡鸿钧,魏印心. 1980. 中国淡水藻类. 北京: 科学出版社
- 胡晓娟,李卓佳,曹煜成,杨宇峰. 2010. 养殖池塘生态系统中磷的收支及解磷微生物的研究进展. 安全与环境学报, 10(1): 7~ 11
- 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
- 秦 鹏,杜尧东,刘锦奎,宋丽莉,刘爱君,王谦谦. 2006. 广东省酸雨分布特征及其影响因素. 热带气象学报, 22(3): 297~ 300
- 黄翔鸽,王庆恒. 2002. 对虾高位池优势浮游植物种群与成因研究. 热带海洋学报, 21(4): 36~ 44
- 黄翔鸽,李长玲,郑 莲,刘楚吾,陈永任. 2005. 固定化微藻对改善养殖水质和增强对虾抗病力的研究. 海洋通报, 24(2): 57~ 62
- 谢立民,林小涛,许忠能,胡 韧,齐雪娟,程开敏. 2003. 不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查. 生态科学, 22(1): 34~ 37
- 蒋汉明,高坤山. 2004. 氮源及其浓度对三角褐指藻生长和脂肪酸组成的影响. 水生生物学报, 28(5): 545~ 551
- B. 福迪,罗迪安(译). 藻类学. 1980. 上海: 上海科学技术出版社
- Demottw, R., Zhang, Q. X., and Carmichael, W. W. 1991. Effects of toxic cyanobacteria and purified toxins on the survival and feeding of a copepod and three species of Daphnia. Limnol. Oceanogr. 36(7): 1 346~ 1 357
- Jorgensen, E. G. 1957. Diatom periodicity and silicon assimilation. Dansk. Bot. Ark. 18: 354
- Lehman, P. W., Boyer, G., Hall, C., Waller, S., and Gehrts, K. 2005. Distribution and toxicity of a new colonial *Microcystis aeruginosa* bloom in the San Francisco Bay Estuary, California. Hydrobiologia, 541(1): 87~ 99
- Paerl, H. W., and Tucker, C. S. 1995. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. Journal of the World Aquaculture, 26(2): 109~ 131
- Piehler, M. F., Twomey, L. J., Hall, N. S., and Paerl, H. W. 2004. Impacts of inorganic nutrient enrichment on phytoplankton community structure and function in Pamlico Sound, NC, USA. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 61(2): 197~ 209
- Sergio, O. L. 2002. Effects of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in batch culture. An Evaluation for Aquaculture, 42(2): 158~ 168