

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

刘孝竹^{1,2}, 李卓佳¹, 曹煜成¹, 文国樑¹, 李奕雯^{1,2}

(1.中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2.广东海洋大学, 广东 湛江 524000)

摘要:2007年9月—2008年1月,对广东省珠海市斗门区4口凡纳滨对虾低养殖池塘水体浮游微藻进行定期连续采样,分析了群落的结构特征。结果表明,共检出浮游微藻113种,其中绿藻55种,蓝藻21种,硅藻和裸藻各15种,隐藻和甲藻各3种,金藻1种。优势种有8种,主要为蓝藻门种类,有圆胞束球藻(*Coelosphaerium naegelianum*)、绿色颤藻(*Oscillatoria chlorine*)、假鱼腥藻(*Pseudoanabaena* sp.)、卷曲螺旋藻(*Spirulina spirulinoides*)、拟短形颤藻(*Oscillatoria subbrevis*)和粘连色球藻(*Chroococcus cohaerens*),其次还有硅藻门的角毛藻(*Chaetoceros* sp.)和新月菱形藻(*Nitzschia closteriu*)。养殖早期浮游微藻个体数量介于 $7.9 \times 10^5 \sim 6.2 \times 10^7$ ind·L⁻¹之间,生物量0.05~2.9 mg·L⁻¹,多样性指数平均为2.02~2.68;养殖中后期浮游微藻个体数量介于 $37.2 \times 10^7 \sim 2.1 \times 10^9$ ind·L⁻¹之间,生物量11.6~502.9 mg·L⁻¹,多样性指数平均为2.39~3.36。浮游藻类的种类、个体数量、生物量及多样性指数均表现为养殖前期低后期高的变化规律。

关键词:低盐度虾池;微藻;优势种;多样性

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)05-1010-09

Study on the Characteristics of Planktonic Microalgae Community Structure of Low Salinity Shrimp Ponds During Autumn and Winter in Pearl River Delta

LIU Xiao-zhu^{1,2}, LI Zhuo-jia¹, CAO Yu-cheng¹, WEN Guo-liang¹, LI Yi-wen^{1,2}

(1.South China Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China; 2.Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, China)

Abstract: Investigations were conducted on the microalgae community in four shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds in Doumen, Zhuhai, Guangdong Province, China from September 2007 to January 2008. The results showed that a total of 113 microalgae species were identified during the period of investigation. Of these, 55 species were Chlorophyta, 21 were Cyanophyta, 15 each were Bacillariophyta and Euglenophyta, 3 each were Cryptophyta and Pyrrophyta and 1 was Chrysophyceae. During the whole culture period, cyanobacteria was the main dominant group all through, including *Coelosphaerium naegelianum*, *Oscillatoria chlorine*, *Pseudoanabaena* sp., *Spirulina spirulinoides*, *Oscillatoria subbrevis* and *Chroococcus cohaerens*. Other dominant species of Bacillariophyta included *Chaetoceros* sp. and *Nitzschia closteriu*. In initial phase of culture period, quantities of microalgae, biomass and diversity index averages fluctuated within the range of $7.9 \times 10^5 \sim 6.2 \times 10^7$ ind·L⁻¹, 0.05~2.9 mg·L⁻¹ and 2.02~2.68, respectively. However, microalgae density, biomass and diversity index averages ranged from 37.2×10^7 ind·L⁻¹ to 2.1×10^9 ind·L⁻¹, 11.6 mg·L⁻¹ to 502.9 mg·L⁻¹, and 2.39 to 3.36 during the mid-phase and final phase, respectively. Microalgae density was generally low at the initial phase of the culture period and gradually increased through time. A similar pattern of development was noted for biomass and diversity index. In low salinity shrimp ponds, high microalgae density is likely event with the onset of eutrophication. It plays a dominant role in stabilizing pond water quality by absorbing ample of nutrients from feed addition and shrimp excretion. Highly diversity microalgae community are less likely to collapse and more steady than blooms dominated by one species, which provide advantage to shrimp growth.

Keywords: low salinity shrimp ponds; microalgae; dominant specie; diversity

收稿日期:2008-09-15

基金项目:国家十一五科技支撑计划(2006BAD03B0106/2006BAD09A11); 中央级公益性科研院所基本科研专项(2007ZD01); 农业部行业专项(nyhyzx07-042); 广东省重大科技兴渔项目(A200601A01); 珠海市科技计划(PC20061056)

作者简介:刘孝竹(1982—),男,硕士研究生,从事养殖生态环境调控研究。E-mail:liuxiaozhu1976@163.com

通讯作者:李卓佳 E-mail:zhuojiali609@163.com

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,它不仅可以通过提高水体中的溶氧及减少水体中对虾的胁迫因子的方式来稳定水环境,而且还能够通过浮游微藻、浮游动物食物链为虾苗及幼虾提供优质的活饵料。因此,阐明虾塘中浮游微藻组成、数量分布、优势种的演替规律及影响微藻群落结构的因子是十分重要的。近年来,黄翔鹄、李卓佳等^[1-2]研究了海水虾池浮游微藻群落组成及多样性的基本特征,查广才等^[3]对珠江三角洲地区低盐度虾池养殖后期的浮游藻类的组成情况进行了初步研究。但对珠海地区低盐度虾池养殖前期及中后期的浮游微藻群落结构组成、优势种群变动及多样性动态的全面深入研究甚少。笔者针对珠江三角洲低盐度养殖虾池,定期采样分析一个完整养虾周期的浮游微藻种类组成、生物量变化、优势种演替和多样性基本特征与动态,为河口地区对虾低盐度养殖水环境调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及养殖模式

连续采样的4口高密度低盐度养殖虾池位于广东省珠海市斗门区莲山镇(位于珠江口西岸,东经113.3°,北纬22.2°)。养殖方式为卤水兑淡水,淡水来自江河,卤水抽自地下卤水或购自外海海水,养殖池初期盐度一般为6~10,然后自然低盐度。凡纳滨对虾低盐度养殖为半封闭或封闭式的高密度养殖,早期以人工调控施肥培藻为主,中后期以施有益菌调水为主,全人工投饵和长时间高强度机械增氧。

1.2 浮游微藻样品的采集与处理

2007年9月21日至2008年1月30日,每隔14 d对虾塘进行浮游微藻的采样分析。采样时,每个池塘四周及中央用2.5 L采水器各采水样1份,充分混匀,取1 L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

微藻样品的定性分析是在光学显微镜下参考《中国淡水藻志》^[4]鉴定其种类,定量分析采用血球计数板在光学显微镜下进行浮游微藻计数。

多样性分析:采用Shannon-wiener多样性指数 H' ^[5]

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

优势度分析:优势度 $Y = n_i / N \cdot f_i$ 。

上述式中 $P_i = n_i / N$, 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,再乘以藻类的比重1.1,换算为藻类的生物量^[6]。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,其中占40%以上的定为强优势种,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^[7]。

2 结果与分析

2.1 虾池的基本情况及理化因子组成

此实验调查虾池的基本情况见表1。调查期间,1号和3号池对虾未发病且生长良好,4号池对虾早中期生长正常,但到后期因长时间的低温冻害导致大量对虾应激死亡,2号池对虾在整个养殖过程出现各种病症,死亡严重。养殖周期中,水温16.5~30.1℃,平均水温为23.9℃,9月到12月降温缓慢,但从1月开始呈明显下降趋势。盐度2~11,pH值7.56~9.05,透明度基本随着浮游植物生物量的升高而降低,施肥前期透明度为40~60 cm,中后期浮游微藻达到高峰时,透明度降到10 cm。虾池水体中IN浓度范围在0.23~7.46 mg·L⁻¹,平均值为0.46~2.54 mg·L⁻¹,PO₄-P含量较低,多数低于检出浓度下限,COD变幅在3.30~11.12 mg·L⁻¹,养殖前期较低,中后期明显增加,水体富营养化严重。

2.2 虾池浮游微藻的种类组成

自2007年9月21日至2008年1月30日,4口虾塘共采样10次,采集样品33个,检出浮游微藻113种,隶属于蓝藻、硅藻、绿藻、隐藻、甲藻、裸藻和金藻等7个门类。其中绿藻55种,蓝藻21种,硅藻和裸藻各15种,隐藻和甲藻各3种,金藻1种,结果见表2。蓝藻种类多为优势种和常见种,绿藻、硅藻种类多为常见种和稀有种,隐藻、裸藻及甲藻的种类多为稀有种。

2.3 虾池浮游微藻的优势种

虾池浮游微藻组成中不同种类的数量分布不均匀。不同种类的浮游微藻个体大小差异显著,仅以细胞数量作为确定优势种的标准难以反映虾池的真实情况。通过浮游微藻细胞数量及测量浮游微藻细胞体积后转化的生物量,既能比较正确地反映浮游微藻现存量又能清楚地了解浮游微藻的群落结构、种类组

表 1 虾池的基本情况

Table 1 Basic condition of investigated ponds

项目	1 号池	2 号池	3 号池	4 号池
面积/hm ²	0.27	0.53	0.30	0.40
放养密度/10 ⁴ 尾·hm ⁻²	148	179	150	275
放苗时间	2007-09-22	2007-10-21	2007-09-18	2007-10-16
水深/m	1.8	1.5	1.5	2.0
底质	无淤泥	淤泥厚 15 cm	无淤泥	无淤泥
透明度/cm	44	40	50	60
pH	9.05	8.50	8.12	8.35
水温/℃	25.4	25.6	27.2	25.7
盐度	10	6	10	9
溶解氧 DO/mg·L ⁻¹	5.20	9.50	6.70	7.41
化学耗氧量 COD/mg·L ⁻¹	3.80	3.52	3.30	7.60
氨氮 NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	0.68	0.36	0.42	0.21
硝酸盐 NO ₃ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	0.85	0.12	0.87	0.77
亚硝酸盐 NO ₂ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	0.068	<0.003	0.042	<0.003
无机氮 IN/mg·L ⁻¹	1.598	0.48	1.332	0.98
活性磷 PO ₄ ³⁻ -P/mg·L ⁻¹	<0.010	<0.010	<0.010	0.019
总氮 TN/mg·L ⁻¹	1.67	1.26	1.48	2.49
总磷 TP/mg·L ⁻¹	0.08	0.14	0.07	0.118

表 2 低盐度虾池浮游微藻种类组成

Table 2 Composition of microalgae species in low salinity shrimp ponds

种类	丰富度	体积/μm ³	种类	丰富度	体积/μm ³
蓝藻门 <i>Cyanophyta</i>			镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+	94.2
铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	+++	65.4	针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>	+	39.2
圆胞束球藻 <i>Coelosphaerium naegelianum</i>	+++	65.4	粗壮纤维藻 <i>Ankistrodesmus bibraianus</i>	+	40.7
卷曲螺旋藻 <i>Spirulina spirulinoides</i>	+++	78.5	二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>	+	240.0
钝顶螺旋藻 <i>Spirulina platensis</i>	++	141.3	四角盘星藻 <i>Pediastrum tetras</i>	+	768.1
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena sp.</i>	+++	32.6	短棘盘星藻 <i>Pediastrum boryanum</i>	+	3 052.2
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis aciculari</i>	++	39.3	河生集星藻 <i>Actinastrum fluviatile</i>	++	75.4
绿色颤藻 <i>Oscillatoria chlorine</i>	+++	19.6	肥蹄形藻 <i>Kirchneriella obesa</i>	+	150.7
拟短形颤藻 <i>Oscillatoria subbrevis</i>	+++	58.9	多瑙河蹄形藻 <i>Kirchneriella danubiana</i>	+	33.5
悦目颤藻 <i>Oscillatoria amoena</i>	++	50.2	颗粒角星鼓藻 <i>Staurastrum punctulatum</i>	++	3 950.3
爬行颤藻 <i>Oscillatoria animalis</i>	++	38.5	扁鼓藻 <i>Cosmarium depressum</i>	+	3 925.2
巨颤藻 <i>Oscillatoria princeps</i>	+++	538.5	双月藻 <i>Dicloster acutus</i>	+	196.0
点状平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	+++	4.1	弓形藻 <i>Schroederia setigera</i>	+	196.2
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	+++	0.13	端尖月芽藻 <i>Selenastrum westii</i>	+	13.1
粘连色球藻 <i>Chroococcus cohaerens</i>	+++	32.7	新月并联藻 <i>Quadrigula closterioides</i>	++	83.7
惠氏色球藻 <i>Chroococcus westii</i>	+	261.7	淡绿肾月藻 <i>Nephroselmis olivacea</i>	++	268.2
黄石色球藻 <i>Chroococcus yellowstonensis</i>	+	28.9	奇异单针藻 <i>Monoraphidium mirabile</i>	++	98.1
湖沼色球藻 <i>Chroococcus limneticus</i>	+	523.3	巴拉塔顶棘藻 <i>Lagerheimiella balatonica</i>	++	150.7
石栖色球藻 <i>Chroococcus lithophilus</i>	+	65.4	硅藻门 <i>Bacillariophyta</i>		
微小隐球藻 <i>Aphanocapsa delicatissima</i>	++	0.27	角毛藻 <i>Chaetoceros sp.</i>	+++	35.3
巴纳隐球藻 <i>Aphanocapsa banarensis</i>	++	65.4	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	++	157.0
透明星球藻 <i>Asterocapsa longipapilla</i>	+	14.1	扭曲小环藻 <i>Cyclotella comta</i>	+	803.8
绿藻门 <i>Chlorophyta</i>			简单舟形藻 <i>Navicula simplex</i>	++	883.1

续表 2:

种类	丰富度	体积/ μm^3	种类	丰富度	体积/ μm^3
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	++	115.8	系带舟形藻 <i>Navicula cincta</i>	++	103.7
爪哇栅藻 <i>Scenedesmus javaensis</i>	++	125.6	放射舟形藻 <i>Navicula radiosa</i>	+	1 046.7
二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	++	104.6	扁圆卵形藻 <i>Navicula placentula</i>	+	523.3
双对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>	++	163.5	布雷羽纹藻 <i>Pinnularia brebissonii</i>	+	735.9
丰富栅藻 <i>Scenedesmus abundans</i>	+	83.7	海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i>	++	314.2
凸头状栅藻 <i>Scenedesmus producto</i>	+	78.5	尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>	++	392.5
奥波莱栅藻 <i>Scenedesmus opoliensis</i>	+	157.2	平片针杆藻 <i>Synedra tabulate</i>	++	310.7
被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>	++	51.5	纤细异极藻 <i>Gomphonema gracile</i>	++	706.4
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	++	179.5	变绿脆杆藻 <i>Fragilaria virescens</i>	+	376.8
凯氏小球藻 <i>Chlorella kessleri</i>	+	267.9	平滑桥弯藻 <i>Cymbella laevis</i>	+	346.2
埃氏小球藻 <i>Chlorella emersonii</i>	+	522.0	新月菱形藻 <i>Nitzschia closteriu</i>	+++	402.0
椭圆小球藻 <i>Chlorella ellipsoidea</i>	++	98.1	裸藻门 <i>Euglenophyta</i>		
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+++	8.2	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	+	1 884.2
球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	++	267.9	鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	++	3 014.4
四配衣藻 <i>Chlamydomonas tetragama</i>	+++	100.5	纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i>	+	1 907.6
多粒衣藻 <i>Chlamydomonas multigranulis</i>	+++	628.0	敏捷扁裸藻 <i>Phacus agilis</i>	+	1 256.4
顶角衣藻 <i>Chlamydomonas apiangulata</i>	+	167.5	梨形扁裸藻 <i>Phacus pyrum</i>	+	2 679.6
基片衣藻 <i>Chlamydomonas basimaculata</i>	++	226.1	盐生鳞孔藻 <i>Lepocinclis salina</i>	+	5 722.7
肾形衣藻 <i>Chlamydomonas nephriodea</i>	+	368.4	纵纹鳞孔藻 <i>Lepocinclis longistriat</i>	+	3 052.1
锥形衣藻 <i>Chlamydomonas conica</i>	+	39.2	圆柱鳞孔藻 <i>Lepocinclis cylindrica</i>	+	2 355.3
退化拟衣藻 <i>Chloromonas depauperata</i>	+	1 766.2	椭圆鳞孔藻 <i>Lepocinclis steinii</i>	+	921.0
长绿梭藻 <i>Chlorogonium elongatum</i>	+	125.6	纺锤鳞孔藻 <i>Lepocinclis fusi formis</i>	+	6 132.8
华美绿梭藻 <i>Chlorogonium elegans</i>	+	222.9	中型囊裸藻 <i>Trachelomonas intermedia</i>	+	1 570.2
拟铁囊藻 <i>Siderocystopsis fusca</i>	++	276.3	距圆囊裸藻 <i>Trachelomonas oblonga</i>	+	586.4
拟多芒藻 <i>Golenkiniopsis solitaria</i>	+	463.0	囊形柄裸藻 <i>Colacium vesiculosum</i>	+	369.2
疏刺多芒藻 <i>Golenkinia paucispina</i>	+	2 143.6	极小瓣胞藻 <i>Petalomonas minutula</i>	+	264.9
五角四角藻 <i>Tetrahedron pentaedricum</i>	+	160.0	广卵异鞭藻 <i>Anisonema prosgeobium</i>	++	837.3
钝角四角藻 <i>Tetrahedron muticum</i>	+	300.0	隐藻门 <i>Cryptophyta</i>		
细小四角藻 <i>Tetrahedron minimum</i>	+	180.2	嗜噬隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	++	753.6
具尾四角藻 <i>Tetrahedron caudatum</i>	+	162.1	具尾蓝隐藻 <i>Chroomonas caudate</i>	+	340.2
水生卵囊藻 <i>Oocystis submarina</i>	+	251.2	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	+	1 130.4
波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	+	251.2	甲藻门 <i>Dinophyta</i>		
小朴罗藻 <i>Provasoliella parvula</i>	+	65.4	薄甲藻 <i>Glenodinium pulvisculus</i>	+	4 186.7
胡氏四鞭藻 <i>Carteria huberi</i>	+	725.7	裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	+	8 612.0
心形四片藻 <i>Tetraselmis cordiformis</i>	++	502.4	钟形裸甲藻 <i>Gymnodinium mitratum</i>	+	4 019.2
空星藻 <i>Coelastrum sphaericum</i>	++	209.3	金藻门 <i>Chrysophyceae</i>		
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	++	16.4	华美色金藻 <i>Chromulina elegans</i>	+	20.6

注:“+”代表稀有种;“++”代表常见种;“+++”代表优势种。

成、优势种及种类交替^[6]。所以,本文根据各虾池浮游微藻在群落出现的丰富度和对总生物量的贡献程度,确定各虾池的优势种,如表 3 所示。

2.4 虾池浮游藻类优势种的种群动态

各虾池水体浮游微藻优势种的动态演替过程如图 1 所示。

1 号虾池在放苗前 1 d 主要以绿色颤藻和圆胞束球

藻为优势种,分别占浮游微藻个体总数量的 41.6%和 33.3%,但放苗后第 18 d 很快降为常见种。到了养殖中期,假鱼腥藻具有较大的优势度,放苗后第 37 d 数量达到 $5.98 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$,占浮游微藻个体总数量的 49.8%。随着养殖时间的延长,角毛藻、卷曲螺旋藻逐渐取代假鱼腥藻的主导地位,成为养殖后期虾塘的优势种。由于卷曲螺旋藻的个体大,生物量高,光合作用

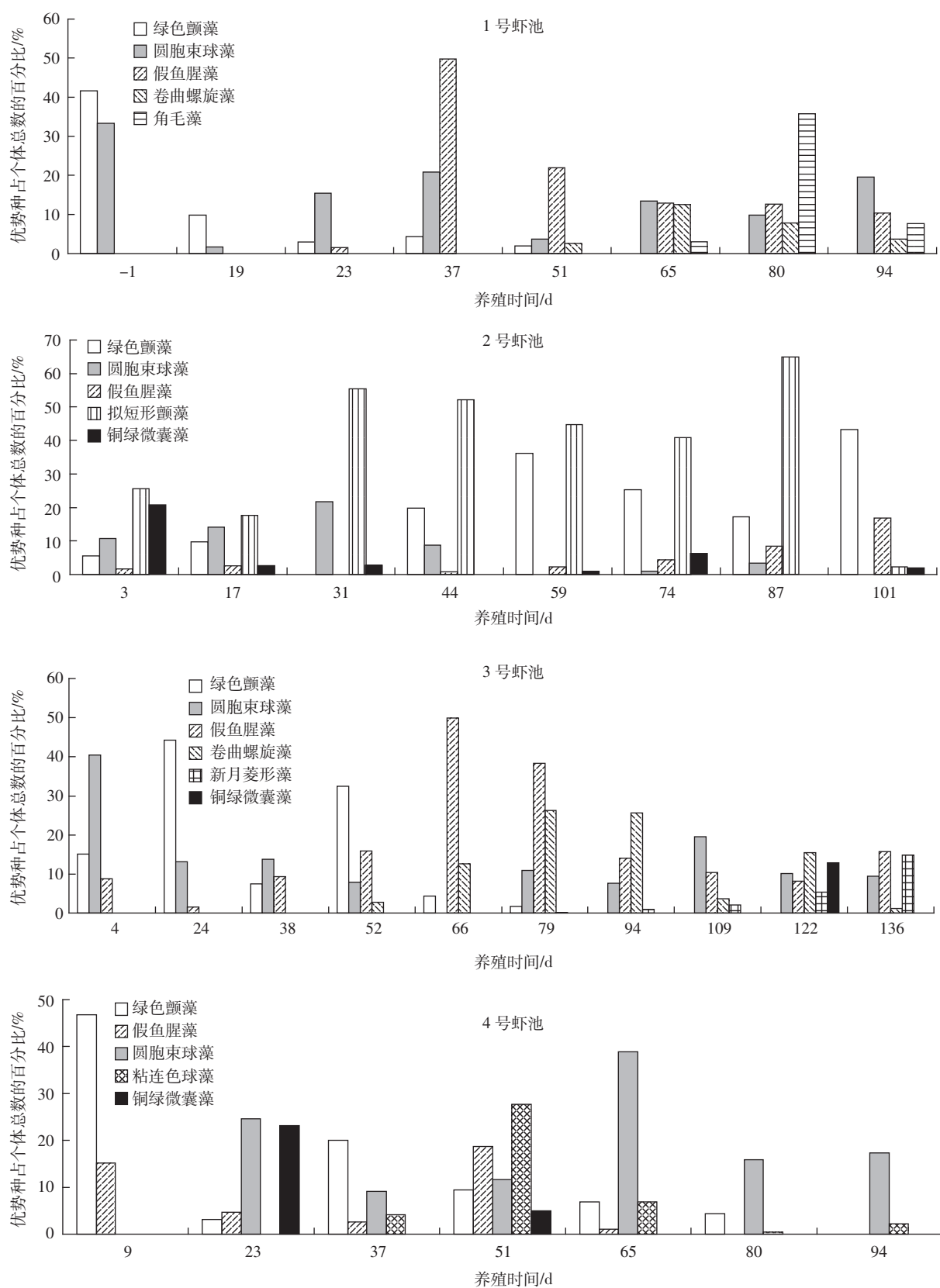


图 1 低盐度养殖虾池浮游微藻优势种演替动态

Figure 1 Succession of dominant species of microalgae in low salinity shrimp ponds

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 号虾池	2 号虾池	3 号虾池	4 号虾池
圆胞束球藻	圆胞束球藻	圆胞束球藻	圆胞束球藻
假鱼腥藻	假鱼腥藻	假鱼腥藻	假鱼腥藻
绿色颤藻	绿色颤藻	绿色颤藻	绿色颤藻
卷曲螺旋藻	铜绿微囊藻	铜绿微囊藻	铜绿微囊藻
角毛藻	拟短形颤藻 ⁽¹⁾	卷曲螺旋藻	粘连色球藻
		新月菱形藻	

注: ⁽¹⁾代表虾池的强优势种。

强,尽管其优势度有时并不高,但对维持浮游微藻群落及养殖环境稳定性起重要作用。

2 号虾池的优势种全部隶属于蓝藻门,分别为绿色颤藻、圆胞束球藻、假鱼腥藻、拟短形颤藻和铜绿微囊藻。该池养殖早期优势种多达 5 种,优势度低,平均为 2.2%~21.6%,中后期优势种减少,其中拟短形颤藻的优势度明显增大,以强优势种的形式存在。分析结果证实,颤藻主要出现在底质淤泥较深的老化池,与查广才等^[8]调查结果基本一致。

3 号虾池在养殖早期主要以绿色颤藻和圆胞束球藻为优势种,随后演替为假鱼腥藻和卷曲螺旋藻,并在养殖中期一直维持较强的优势地位。其中,卷曲螺旋藻的生物量占绝对优势,占总生物量的比例高达 68.3%,为生物量优势种,而假鱼腥藻的个体数量多,为数量优势种,但生物量少,仅占总生物量的 3.2%,并不构成虾池浮游微藻的主体。到了养殖后期,之前具有很大优势的蓝藻优势度下降,而硅藻门的新月菱形藻由养殖前中期的常见种或稀有种跃升为优势种,优势度可达 14.8%。

4 号虾池在养殖早期浮游微藻以绿色颤藻和假鱼腥藻为优势种,二者共占 61.9%,随后其种群数量迅速下降,优势地位被圆胞束球藻和铜绿微囊藻所取代。养殖中后期,圆胞束球藻优势度较大,平均为 15.2%,最高可达 33.1%,对群落的结构和群落环境的形成具有控制性影响。粘连色球藻在短期内爆发式增长,在放苗后第 50 d,其种群数量达 $4.13 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$,占浮游微藻总个体数量的 27.7%,随后数量直线下降,成为养殖水体浮游微藻群落的稀有种或常见种。

2.5 虾池浮游微藻数量、生物量变化

各虾池浮游微藻的数量、生物量变化如图 2 所示。4 个虾塘浮游微藻的数量、生物量变动规律表现为养殖前期低,随着养殖时间的延长而增加,中期达

到峰值,到后期迅速下降。养殖早期浮游微藻个体数量介于 $7.9 \times 10^5 \sim 6.2 \times 10^7 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,生物量 $0.051 \sim 2.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 养殖中后期浮游微藻的个体数量介于 $37.2 \times 10^7 \sim 2.1 \times 10^9 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,生物量 $11.6 \sim 502.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。3 号虾池微藻的数量和生物量在养殖 79 d 时达到峰值,而其他虾池微藻的数量和生物量出现的峰值存在一定间隔。

从各门微藻生物量对总生物量的贡献程度来看,1 号、2 号和 3 号虾池蓝藻门的生物量决定了总生物量曲线的走势,其中 2 号虾池在养殖第 87 d 颤藻的生物量占到总生物量的 95.2%。由此可见,这 3 个虾池的浮游微藻群落结构是由蓝藻门为优势种群组成的。4 号虾池在养殖前中期蓝藻占绝对优势,并低水平维持了 14 d,在放苗 65 d 之后,由于蓝藻在虾池生态环境中竞争力下降,随之由绿藻所代替,衣藻在养殖的后期占主导地位,成为 4 号池的优势种群。

2.6 虾池浮游藻类群落的多样性

从表 4 可得知,虾池浮游微藻的多样性总体上呈现养殖前期低,随养殖时间的延长逐渐增加,群落结构趋于复杂和稳定,抗干扰能力提高。整个养殖过程中,4 号池多样性指数总体较高,平均值为 3.16,多样性变化不大,藻相较稳定。2 号池的多样性指数一直保持较低水平,平均值为 2.48,其所代表生态系统的信息含量较少,恢复力较弱。1 号、3 号虾池养殖前期多样性指数相对较低,群落结构较脆弱,随着养殖时间的延长,多样性指数增加,微藻群落和养殖环境日趋稳定。

3 讨论

3.1 低盐度虾池浮游微藻群落特征及其成因

采样分析检出浮游微藻有 113 种,以绿藻门种类为主,占藻类种类数的 48.7%,蓝藻门种类为次,占 18.7%。但在整个养殖过程中,蓝藻在低盐度虾池浮游微藻群落中无论在数量上还是生物量上都占统治地位,绿藻、硅藻和隐藻很难形成优势种,这是因为高温、低盐和有机质丰富的富营养化水体为蓝藻提供了优势生长的环境,一旦蓝藻过量繁殖,水体的 pH 值会因 CO_2 的消耗而上升,这种环境更有利于蓝藻的生长,不利于其他藻类的生长^[9]。另外,Scheffer^[10]提出丝状蓝藻在低透明度、弱光照的水体中更具竞争力,而在清澈的水体中,很难形成优势种,主要因为在高光照强度下,其光合作用会受到抑制。

低盐度虾池浮游微藻生物量在养殖中后期保持

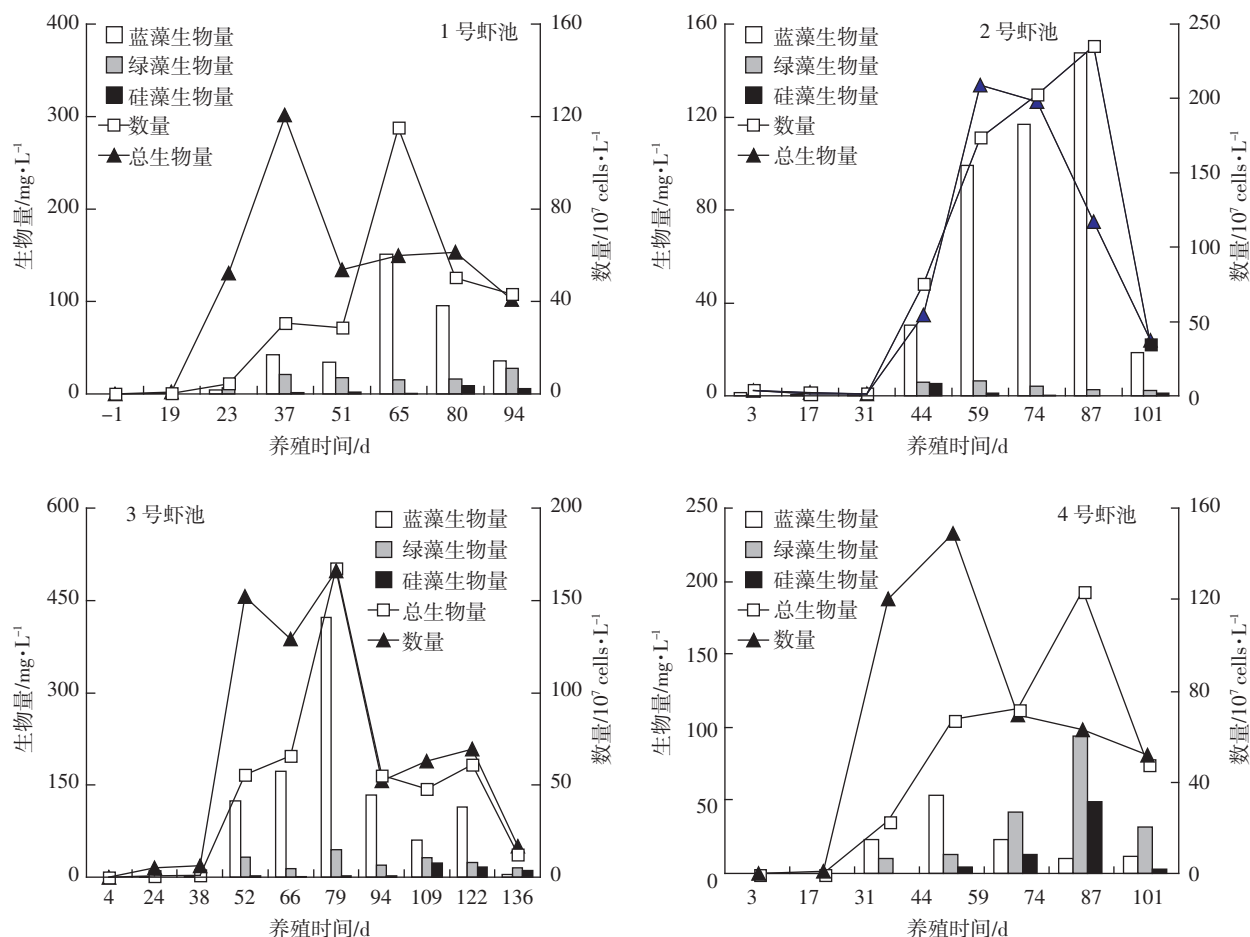


图 2 低盐度养殖虾池浮游微藻数量和生物量变动

Figure 2 Changes of microalgae number and biomass in low salinity shrimp ponds

表 4 低盐度养殖虾池水体中浮游藻类群落多样性指数

Table 4 The diversity index of microalgae communities in low salinity shrimp ponds

取样时间	多样性指数			
	1 号虾池	2 号虾池	3 号虾池	4 号虾池
2007-09-21	2.24	—	2.54	—
2007-10-10	1.80	—	2.26	—
2007-10-24	1.76	2.95	2.78	2.58
2007-11-07	2.44	3.14	2.72	2.78
2007-11-21	3.15	1.88	2.36	2.44
2007-12-04	3.89	2.49	2.93	3.07
2007-12-19	3.30	2.04	3.61	3.44
2008-01-03	4.12	2.44	4.25	4.12
2008-01-16	—	2.44	4.06	3.71
2008-01-30	—	2.43	3.45	—
平均值	2.84	2.48	3.10	3.16

较高的水平,维持在 $11.6 \sim 502.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 虾池 IN 的含量一直处于较高水平,70%以上 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的测定值低

于检出浓度下限。Michael^[11]研究发现,添加 IN 的试验围隔浮游微藻生物量显著增加,而单添加 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的围隔浮游微藻生物量无明显变化,揭示较高浓度 IN 对浮游微藻生物量的增加具有明显控制作用。浮游微藻的生长与繁殖对氮、磷营养盐有着基本的需求,一般认为不同种类的浮游微藻对氮、磷营养盐最适浓度下限有所不同。一般认为, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度低于 $18.0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[12],微藻生长和繁殖会受到限制,然而,此研究发现 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 未构成对对虾养殖水环境中的浮游微藻生长与繁殖的限制。主要因为浮游微藻主要靠吸收有机磷作为其生长必需的磷源^[11]。在低盐度对虾池,只有少数浮游微藻能够分泌用来分解有机磷释放无机磷的碱性磷酸酶,因而造成水体中溶解性有机磷浓度远远大于无机磷^[13]。低浓度无机磷的水环境可促进浮游微藻分泌碱性磷酸酶,而碱性磷酸酶反过来诱导浮游微藻吸收有机磷从而减轻受磷限制的影响。

查广才等^[13]报道低盐度虾池浮游藻类多样性表现

为养殖前期高后期低的特征,主要因为养殖水体的严重富营养化及后期养殖水温相对较低。而此研究发现,养殖早期低盐度虾池浮游微藻种类丰富度低,物种多样性低,群落较脆弱,随着养殖时间增加,浮游微藻种类增多,多样性指数提高,群落结构趋于复杂与稳定,可能因为养殖中后期水体营养盐波动较大。Hecky^[9]提出营养盐波动较大的水体,会出现更多的藻类,保持较高的种类丰富度和群落异质性,因为养分吸收动力学理论提出受同一种营养盐限制的藻类可以共存。

3.2 浮游微藻群落特征与对虾生长的关系

高密度藻类是低盐度养殖池的特点,也是维持高密度养殖水体生态系统平衡的条件之一,可吸收水体中大量营养盐和有害物质,释放氧和抑制有害微生物的繁殖^[14],完成虾池生态系统正常的物质循环和能量流动,保持虾池养殖环境健康稳定,这可能是对虾低盐度养殖发病率相对较低的原因之一。过低的藻类密度,难以抵御台风暴雨等恶劣气候的变化,易导致养殖池环境的胁迫和虾病的暴发。

Carmichael 等^[15]报道淡水蓝藻中有毒性的藻类主要有鱼腥藻属、颤藻属、腔球藻属、胶刺藻属、微囊藻属、节球藻属和念珠藻属 7 个属,其中主要产毒性的蓝藻是鱼腥藻属、颤藻属和微囊藻属中的某些种类。此研究结果表明,养殖前清淤虾池中常见的优势种圆胞束球藻、粘连色球藻和螺旋藻不属于上述产毒蓝藻,它们的存在可以丰富浮游微藻群落的种类组成,增加群落的生物多样性,提高低盐度虾池的生态系统信息含量,对维持浮游微藻群落及养殖环境稳定性起重要作用,确保对虾安全良好生长。一般认为,养殖水体的浮游微藻藻相过于单一,不利于对虾的养殖,即使是易保持养殖水体“活、爽”的绿藻,数量达到一定的阈值,也可形成绿藻水华,也会严重破坏水环境生态系统,导致对虾应激死亡。因此,笔者认为提高群落物种多样性水平,维持养殖水体浮游微藻藻相动态平衡,可以提高对虾养殖生态系统的稳定性,增强系统的抗干扰能力,有利于对虾健康安全生长。

在整个养殖周期中,养殖前未清淤虾池浮游微藻群落多样性指数总体水平较低,优势度较高,且一直以颤藻为优势种,养殖过程对虾出现各种病症,死亡严重。Pearl^[16]指出,水华是以单种藻或两种共生的藻且密度为 $10^4 \sim 10^6$ cells·mL⁻¹ 的形式存在,并且有害藻的生物量占现有生物量的 95%~99%。此调查发现,此虾池在放苗后第 87 d 的浮游微藻种群特征符合此定

义,为颤藻水华。颤藻水华极易引发“倒藻”,导致大量羟胺、硫化物的释放,有毒气体的产生,造成对虾因应激致病而死^[17]。再者,颤藻本身缺乏蛋白质、氨基酸和脂肪酸,在水生食物链上发挥的作用较小,并且产生鱼腥藻毒素-a 和微囊藻毒素,散发难闻的气味,致使水质恶化。颤藻是顶级生物体,生长缓慢,只有在自然环境稳定没有搅动的富营养化水体中,才能引起颤藻水华的暴发^[18]。因此,只要在养殖过程中加开增氧机,适时换水,定期投放光合细菌、芽孢杆菌等复合微生物改良剂以及底质改良剂,就能有效地抑制颤藻水华的形成^[2,19]。

参考文献:

- [1] 黄翔鹄,王庆恒.对虾高位池优势浮游植物种群与成因研究[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(4):36-44.
HUANG Xiang-hu, WANG Qing-heng. A study on dominant phytoplankton species in high-level prawn ponds and its formation cause[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, 21(4):36-44.
- [2] 李卓佳,张汉华,郭志勋,等. 虾池浮游微藻的种群组成、数量和多样性变动[J]. 湛江海洋大学, 2005, 25(3):29-34.
LI Zhuo-jia, ZHANG Han-hua, GUO Zhi-xun, et al. Species composition, quantity variation and bio-diversities of phytoplankton in shrimp culture ponds[J]. *Journal of Zhangjiang Ocean University*, 2005, 25(3):29-34.
- [3] 查广才,麦雄伟,周昌清,等. 凡纳滨对虾低盐度养殖池浮游藻类群落研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(1):1-7.
ZHA Guang-cai, MAI Xiong-wei, ZHOU Chang-qing, et al. Study on the planktonic algae community in low salinity culture ponds of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Marine Fisheries Research*, 2006, 27(1):1-7.
- [4] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类[M]. 北京:科学出版社, 1980.
HU Hong-jun, WEI Yin-xin. The freshwater algae of China[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [5] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社, 2003.
SHEN Guo-ying, SHI Bing-zhang. Marine ecology[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [6] 孙 军,刘东艳,钱树本. 浮游植物生物量研究 I: 浮游植物生物量细胞体积转化法[J]. 海洋学报, 1999, 21(2):75-85.
SUN Jun, LIU Dong-yan, QIAN Shu-ben. Study on phytoplankton biomass I: phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(2):75-85.
- [7] 麦雄伟. 南美白对虾温棚淡化养殖水体生态特征研究[D]. 广州:中山大学, 2003:24-25.
MAI Xiong-wei. Study on ecological characteristics of greenhouse desalination sea water rearing *Penaeus vannamei*[D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2003:24-25.
- [8] 查广才,周昌清,黄建荣,等. 凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落及多样性[J]. 生态学报, 2004, 24(8):1748-1755.
ZHA Guang-cai, ZHOU Chang-qing, HUANG Jian-rong, et al. Studies on the structure and biodiversity of the microplankton community in

- Litopenaeus vannamei* desalination culture ponds[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8):1748–1755.
- [9] Hecky R E, Kilham P. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environment: a review of recent evidence on effects of enrichment[J]. *Limnology and Oceanography*, 1988, 33:796–822.
- [10] Scheffer M, Rinaldi S. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid Lakes[J]. *Ecology*, 1997, 78(1):272–282.
- [11] Michael F P, Luke J T. Impacts of inorganic nutrient enrichment on phytoplankton community structure and function in Pamlico Sound, NC, USA[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61:197–209.
- [12] 孙 耀, 李 峰, 李 健, 等. 虾塘水体浮游植物群落特征及其与营养状况的关系[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(2):45–51.
- SUN Yao, LI Feng, LI Jian, et al. Phytoplankton community characteristics and their relationship with nutrient status in shrimp ponds[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(2):45–51.
- [13] Bjorkman K, Karl D M. Bioavailability of inorganic and organic phosphorous compounds to natural assemblages of microorganisms in Hawaiian coastal waters [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 111:265–273.
- [14] 林 伟, 陈 驊, 刘秀云. 海洋微藻培育系统抗弧菌作用机理[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(4):398–403.
- LIN Wei, CHEN Dou, LIU Xiu-yun. The antivibrio mechanism of microalgae cultivation system[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(4):398–403.
- [15] Carmichael W W. Hemagglutination method for detection of freshwater cyanobacteria (bluegreen algae) toxins[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1981, 41(6):1383–1388.
- [16] Pearl H W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters[J]. *Limnology and Oceanography*, 1988, 33:823–847.
- [17] Cremen M C, Martinez-Goss M R. Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology[J]. *Aquaculture Research*, 2007, 19:615–624.
- [18] Paerl H W, Tucker C S. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds[J]. *Journal of the World Aquaculture*, 1995, 26:109–131.
- [19] 张汉华, 李卓佳, 郭志勋, 等. 有益微生物对海水养虾池浮游生物生态特征的影响研究[J]. 南方水产, 2005, 1(2):7–14.
- ZHANG Han-hua, LI Zhuo-jia, GUO Zhi-xun, et al. Study on the influences of probiotics on ecological characteristics of plankton in the maricultural ponds[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(2):7–14.