

文章编号: 1009-6094(2012)05-0095-07

斑节对虾滩涂养殖池塘浮游微藻群落演变特征*

彭聪聪, 李卓佳, 曹煜成,
万国, 刘孝竹, 胡晓娟

(农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省
渔业生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院南
海水产研究所, 广州 510300)

摘要: 研究斑节对虾滩涂养殖池塘水体中浮游微藻的群落演替规律及与水质因子的相关性。从位于茂名市鸡打港滩涂地带的4口斑节对虾池塘于1个养殖周期内定期采集水样, 通过显微镜对浮游微藻进行鉴定、计数, 依据水质检测国标要求检测各水质因子指标。通过SPSS软件分析微藻数量、生物量与水质因子指标的相关性。共检出浮游微藻5门93种, 其中蓝藻26种, 绿藻33种, 硅藻32种, 甲藻1种, 隐藻1种。优势种有简单舟形藻(*Navicula simplex*)、蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、绿色颤藻(*Oscillatoria chlorina*)、栖蚌柱胞藻(*Cylindrocapsa muscicola*)、显微蹄形藻(*K. microscopica nygaard*)、水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、坚实微囊藻(*Microcystis firma*)、易略颤藻(*Oscillatoria neglecta*)、威利颤藻(*Oscillatoria williei*)等。养殖早期阶段, 浮游微藻的个体数量介于 $3.5 \times 10^4 \sim 35.7 \times 10^5$ ind/L, 生物量为 $0.02 \times 10^2 \sim 1.83 \times 10^2$ $\mu\text{g/L}$, 多样性指数平均为 1.57~2.12; 养殖中后期阶段, 浮游微藻的个体数量介于 $1.73 \times 10^8 \sim 2.34 \times 10^9$ ind/L, 生物量为 $5.23 \times 10^3 \sim 57.01 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$, 多样性指数平均为 1.64~2.26。养殖过程池塘水温、TN、TP 水平逐渐升高, 透明度、DO 逐渐下降。微藻数量、生物量多与透明度呈极显著负相关关系, 与 TN、TP、水温呈显著正相关关系。其中 1、2 号池微藻与 TN、TP 均呈极显著正相关关系, 养殖中后期两池微藻密度都大于 10^9 ind/L, 均爆发微囊藻水华; 3、4 号池微藻多样性水平较高, 对维护养殖水环境稳定有积极作用。

关键词: 水产养殖学; 斑节对虾; 滩涂养殖池塘; 浮游微藻; 群落结构

中图分类号: S9 文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6094.2012.05.021

0 引言

对虾健康养殖的关键之一在于做好对养殖水环境的有效调控。浮游微藻是虾池生态系统的重要组成部分, 其群落结构特征与养殖水环境的优劣有密切关系。优良的微藻种群能有效调节水体溶解氧(DO), 吸收利用亚硝氮(NO_2^- -N)、氨氮(NH_4^+ -N)等有害因子, 平衡酸碱度(pH值), 并且能营造良好水色与合适的透明度, 还可以作为优质活饵料直接为幼虾所摄食, 也能通过浮游微藻、浮游动物食物链途径为对虾提供饵料^[1], 可有效提高对虾的成活率和生长速度。而一些不良微藻, 如能分泌毒素的赤潮类甲藻、微囊藻属(*Microcystis*)、颤藻

属(*Oscillatoria*)等种类^[2-3], 可给养殖带来负面影响。因此, 在养殖生产中需要做好浮游微藻群落结构的跟踪监测, 以便及时对养殖环境作出分析与判断, 进而探求有效措施来优化养殖环境, 减少给对虾生长带来的胁迫。近年来, 张汉华^[4]、黄翔鹤^[5]、张才学^[6]、查广才^[7]等分别对海水虾池和淡化虾池的微藻群落组成和多样性进行了研究, 但针对滩涂虾池微藻群落特征的研究比较少见。南方沿海地区滩涂面积大, 盐度范围广, 适宜进行对虾养殖, 滩涂土池养殖对虾是常见模式, 更是养殖斑节对虾(*Penaeus monodon*)的适宜方式。本文针对粤西滩涂土池养殖斑节对虾方式, 全程跟踪研究微藻群落结构特征, 并结合养殖实际进行分析, 以期对斑节对虾滩涂养殖水环境调控提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及养殖情况

采样地点位于广东省茂名市鸡打港, 在电白县冠利达农业科技生物有限公司养殖场。2009年5—9月, 选取4口斑节对虾滩涂养殖池塘, 编号为1、2、3、4。其中, 1、2号池位于第7区, 3、4号池位于第5区, 两区池塘条件与管理基本相同, 但投饲水平有一定差别。养殖池均为方形, 泥沙质, 底质偏酸性, 均于5月17日放苗。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。每池设机械增氧机两台, 持续机械增氧。虾池的基本情况见表1。其中, 3号池第94d对虾出现应激性发病, 收虾较早; 1、2号池对虾因后期(约养殖第70d)暴发蓝藻水华而发病, 适量换水处理。

养殖期间天气多变, 7月初和7月中下旬, 热带风暴“苏迪罗”和强台风“莫拉菲”相继登陆该地, 持续出现强降雨天气, 对水体环境因子有较大影响。

1.2 浮游微藻样品的采集与处理

2009年5月19日—9月22日, 每隔14d对4口虾池的微藻进行采样分析。采样时, 在每池四周及中央用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, 静置浓缩24~48h后, 在显微镜下于0.1mL浮游生物计数框中鉴定。

1.3 水质样品的采集与检测

浮游微藻采样的同时, 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, 并迅速对一些需要处理的样品按要求进行2~4℃冷藏, 带回实验室检测。 NH_4^+ -N用次溴酸盐氧化法测定, 硝氮(NO_3^- -N)用

表1 虾池的基本情况

Table 1 Basic condition of shrimp ponds

项目	1号池	2号池	3号池	4号池
池塘面积/ hm^2	0.33	0.5	0.2	0.31
放苗量/ $(\times 10^4 \text{hm}^{-2})$	39	39	39	39
养殖时间/d	137	120	94	138
换水次数	1	3	0	0
	(蓝藻水华)		(蓝藻水华)	
投饵量/kg	2528.5	2253.5	512.5	1623.5
收获量/ $(\times 10^3 \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	1.21	1	2.61	0.93
收获规格/ kg^{-1}	60	66	72	66
饲料系数(FCR)	6.32	4.51	1.77	3.11

* 收稿日期: 2012-03-26

作者简介: 彭聪聪, 硕士研究生, 从事养殖生态环境调控研究; 李卓佳(通信作者), 研究员, 从事水产健康养殖及养殖生态环境调控与修复研究, zhuojiali609@163.com。

基金项目: 现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金项目(CARS-47); 公益性行业(农业)科研专项(201103034); 广东省鱼病防治专项(2130108); 南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研专项(2010YD05)

钼柱还原法测定, NO₂-N 用萘乙二胺分光光度法测定, 总无机氮(DIN)为无机三氮之和, 活性磷酸盐(PO₄³⁻-P)用磷钼蓝分光光度法测定, 化学需氧量(COD)用碱性高锰酸钾法测定, 总氮(TN)用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定, 总磷(TP)用钼酸铵分光光度法测定。

1.4 浮游微藻样品分析

在光学显微镜下, 依照《中国淡水藻类》、《藻类学》、《中国海藻志》等^[8-10]资料对浮游微藻进行定性鉴定与定量计数。

多样性分析^[11]中, 采用 Shannon-wiener 多样性指数 H' , 即

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

优势度分析中, 数量优势度

$$Y = n_i / (Nf) \quad (2)$$

式中 $Q_i = n_i / N$, n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数; Q_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 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, 再乘以微藻的比重换算为微藻的生物量^[12]。其中, 微藻单胞体积的拟合计算是在选取多个微藻细胞基础上去除最大值和最小值后取均值所得。

2 结果与分析

2.1 水体理化因子的变动

几种主要理化因子的变化见图 1。采样期间, 水温变化范围为 28.2~ 32.3 °C, 呈逐渐升高趋势; pH 值变化范围为 7.4~ 8.9, 盐度范围为 7.5~ 16, 透明度变化范围为 19~ 120 cm, DO 变化范围为 2.5~ 11.2 mg/L, COD 变化范围为 3.76~ 14.6 mg/L, TN 变化范围为 0.96~ 10.3 mg/L, TP 变化范围为 0.043~ 1.31 mg/L。其中 1、2 号池水体的 TN、TP 质量浓度水平一般高于同期 3、4 号池。DIN 质量浓度范围在 0.012~ 7.04 mg/L; PO₄³⁻-P 质量浓度较低, 多数低于检出下限(0.01 mg/L)。

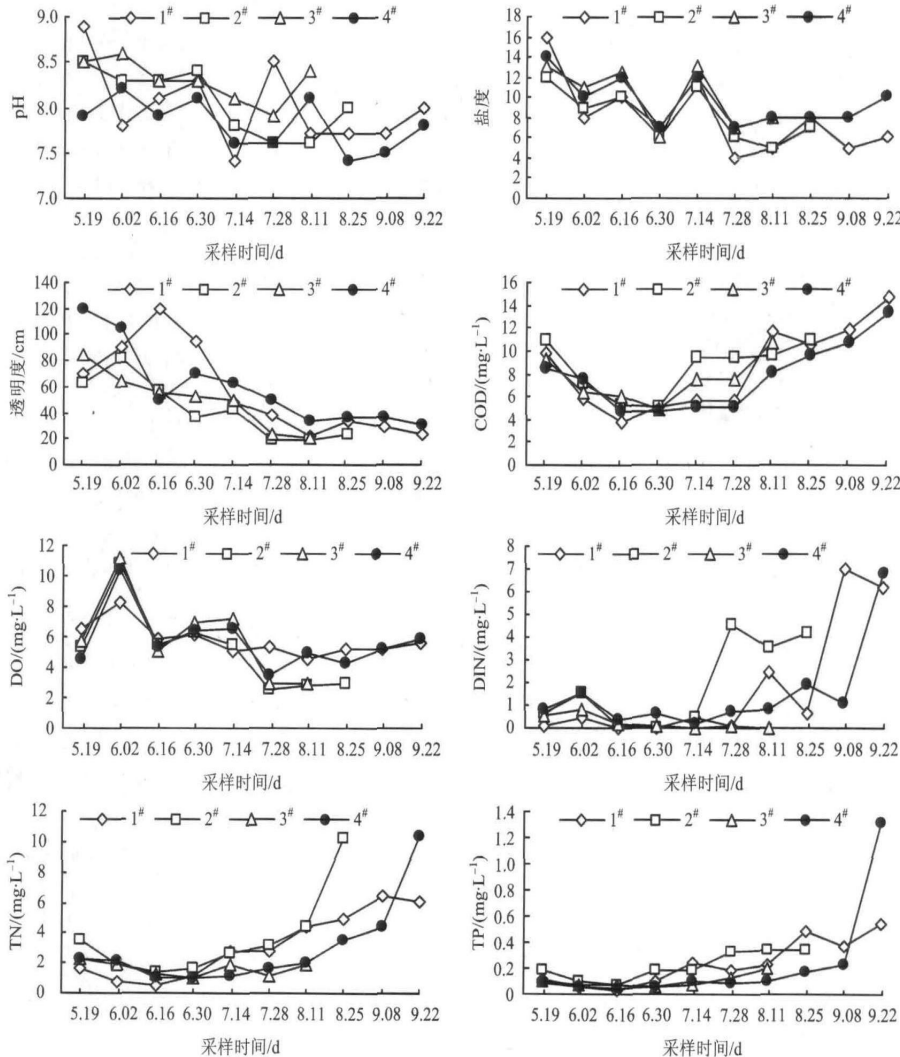


图 1 虾池几种理化因子动态

Fig 1 Changes of some physical and chemical factors in shrimp ponds

2.2 微藻种类组成

把每次取样中微藻总数量和总生物量均占 10% 以上的确定为优势种, 在 1% ~ 10% 范围内的定为常见种, 在 1% 以下或者只在个别水样中出现的定为稀有种^[13]。

微藻种类组成及其丰富度见表 2。共鉴定出 5 门 93 种, 优势种多为蓝藻类, 在养殖后期优势度较高, 优势种单一, 绿藻和硅藻类多为优势种和常见种, 甲藻和隐藻各有 1 种为常见种。

表 2 虾池的浮游微藻种类组成

Table 2 Composition of planktonic microalgae species in shrimp ponds

种类	丰富度	体积/ μm ³	种类	丰富度	体积/ μm ³
水华微囊藻(<i>Microcystis flos-aquae</i>)	+++	33.51	四刺顶棘藻(<i>Chodatella quadriseta</i>)	+	37.69
绿色颤藻(<i>Oscillatoria chlorina</i>)	+++	26.15	镰形纤维藻(<i>Ankistrodesmus falcatus</i>)	+	115.19
易略颤藻(<i>Oscillatoria neglecta</i>)	+++	14.14	斜生栅藻(<i>Scenedesmus obliquus</i>)	+	76.96
栖藓柱胞藻(<i>Cylindrospermum musiccola</i>)	+++	36.00	四足十字藻(<i>Crucigenia tetrapedia</i>)	+	45.00
弱细颤藻(<i>Oscillatoria tenuis</i>)	+++	33.01	硬刺被针藻(<i>Franciaea arvata</i>)	+	143.98
盐泽颤藻(<i>Oscillatoria salina</i>)	+++	49.08	三角四角藻(<i>Tetraodon trigonum</i>)	+	153.25
威利颤藻(<i>Oscillatoria willei</i>)	+++	9.82	奥波莱栅藻(<i>Scenedesmus qobolensis</i>)	+	157.08
斯氏颤藻(<i>Oscillatoria schultzei</i>)	+++	10.39	膨胀四角藻(<i>Tetraodon tumidulum</i>)	+	216.50
蓝藻门 (Cyanophyta)			日内瓦顶棘藻(<i>Lagerheimiella genevensis</i>)	+	117.80
坚实微囊藻(<i>Microcystis firma</i>)	+++	0.52	被刺藻(<i>Franciaea ovalis</i>)	+	235.61
狭细颤藻(<i>Oscillatoria angustissima</i>)	++	0.25	波吉卵囊藻(<i>Oocystis borgei</i>)	+	691.13
粘连色球藻(<i>Chroococcus chaerens</i>)	++	33.51	扁平斯氏藻(<i>Scofieldia complanata</i>)	+	23.56
附生色球藻(<i>Chroococcus epiphyticus</i>)	++	1.78	喙头舟形藻(<i>Navicula rhynchocephala</i>)	+++	431.97
极小集胞藻(<i>Synechocystis minuscula</i>)	++	4.19	系带舟形藻(<i>Navicula cinta</i>)	+++	323.97
微小念珠藻(<i>Nostoc microscopium</i>)	++	0.27	简单舟形藻(<i>Navicula simplex</i>)	+++	141.37
半狭颤藻(<i>Oscillatoria mimnetensis</i>)	++	47.14	舍恩菲尔德舟形藻(<i>Navicula schoefeldii</i>)	+++	131.94
拟短形颤藻(<i>Oscillatoria subbrevis</i>)	++	49.08	新月菱形藻(<i>Nitzschia closterium</i>)	++	46.88
给水颤藻(<i>Oscillatoria irrigua</i>)	++	565.47	双头舟形藻(<i>Navicula dicphala</i>)	++	353.42
阿氏颤藻(<i>Oscillatoria agardhii</i>)	++	52.27	范赫尔克舟形藻(<i>Navicula vanheurckii</i>)	++	156.02
微小色球藻(<i>Chroococcus minutus</i>)	+	65.45	梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)	++	235.62
不定微囊藻(<i>Microcystis incerta</i>)	+	0.27	极小桥弯藻(<i>Cymbella papusilla</i>)	++	113.09
细小平裂藻(<i>Merismopedia minima</i>)	+	0.27	美丽双壁藻(<i>Diploneis puella</i>)	++	122.52
石栖色球藻(<i>Chroococcus lithophilus</i>)	+	268.07	中型羽纹藻(<i>Pinnularia intermedia</i>)	++	103.67
点形平裂藻(<i>Merismopedia punctata</i>)	+	1.78	短线脆杆藻(<i>Fragilaria brevistriata</i>)	++	294.52
细微螺旋藻(<i>Spindina subtilissima</i>)	+	0.17	桥弯藻(<i>Cymbella</i>)	++	233.27
广西颤藻(<i>Oscillatoria kwangsiensis</i>)	+	259.17	隐头舟形藻(<i>Navicula cryptocephala</i>)	+	91.89
湖泊鞘丝藻(<i>Lyngbya limnetica</i>)	+	3.14	瞳孔舟形藻(<i>Navicula pupula</i>)	+	247.39
蛋白核小球藻(<i>Chlorella pyrenoidosa</i>)	+++	14.14	微型舟形藻(<i>Navicula minima</i>)	+	117.81
显微蹄形藻(<i>Kirchneriella microscopica</i>)	+++	34.56	近缘桥弯藻(<i>Cymbella aequalis</i>)	+	241.89
小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)	+++	65.45	近头端羽纹藻(<i>Pinnularia subcapitata</i>)	+	345.57
椭圆小球藻(<i>Chlorella ellipsoidea</i>)	++	65.97	奥地利桥弯藻(<i>Cymbella austriaca</i>)	+	324.10
四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)	++	84.82	磨石形羽纹藻(<i>Pinnularia molaris</i>)	+	565.47
细小卵囊藻(<i>Oocystis pusilla</i>)	++	94.25	尖布纹藻(<i>Gyrosigma acuminatum</i>)	+	4684.11
美丽网球藻(<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>)	++	47.71	英吉利舟形藻(<i>Navicula anglica</i>)	+	176.71
扭曲蹄形藻(<i>K. contorta Bohlin</i>)	++	38.88	卡里舟形藻(<i>Navicula cari</i>)	+	395.84
短小塔胞藻(<i>Pyramimonas nanella</i>)	++	52.36	小角毛藻(<i>Chaetoceros minusimus</i>)	+	47.12
齿牙栅藻(<i>Scenedesmus denticulatus</i>)	++	104.71	极细舟形藻(<i>Navicula subtilissima</i>)	+	106.03
双对栅藻(<i>Scenedesmus bijuga</i>)	++	23.56	科曼小环藻(<i>Cyclotella comensis</i>)	+	314.16
网状空星藻(<i>Codastrium reticulatum</i>)	++	33.51	具星小环藻(<i>Cyclotella stelligera</i>)	+	226.98
网球藻(<i>Dictyosphaerium drentbergianum</i>)	++	21.21	牟氏角毛藻(<i>Chaetoceros mudleri</i>)	+	63.62
微球衣藻(<i>Chlamydomonas microphaerella</i>)	+	104.47	纤维桥弯藻(<i>Cymbella gracillius</i>)	+	77.00
四角十字藻(<i>Crucigenia quadrata</i>)	+	1.05	细小桥弯藻(<i>Cymbella pusilla</i>)	+	67.26
卷曲纤维藻(<i>Ankistrodesmus convolutus</i>)	+	70.52	库津小环藻(<i>Cyclotella kuetzingiana</i>)	+	285.09
雷尼鼓藻(<i>Cosmarium regnellii</i>)	+	565.47	扁圆卵形藻(<i>Cocconeis placentula</i>)	+	147.26
肥蹄形藻(<i>Kirchneriella olesa</i>)	+	42.41	甲藻门 (Dinophyta)		
小形卵囊藻(<i>Oocystis parva</i>)	+	104.71	微小多甲藻(<i>Peridinium pusillum</i>)	++	175.92
爪哇披刺藻(<i>Franciaea javanica</i>)	+	83.77	隐藻门 (Cryptophyta)		
球衣藻(<i>Chlamydomonas globosa</i>)	+	65.45	尖尾蓝隐藻(<i>Chroomonas acuta</i>)	++	147.26

注: “+”代表稀有种;“++”代表常见种;“+++”代表优势种。

2.3 微藻数量和生物量变动

如图 2 所示, 4 口虾池微藻数量、生物量动态均表现为养殖前期较低, 中后期较高趋势。养殖前期微藻密度为 $3.5 \times 10^4 \sim 35.7 \times 10^5 \text{ ind/L}$, 生物量为 $0.02 \times 10^2 \sim 1.83 \times 10^3 \mu\text{g/L}$; 养殖中后期微藻密度为 $1.73 \times 10^8 \sim 2.34 \times 10^9 \text{ ind/L}$, 生物量为 $5.23 \times 10^3 \sim 57.01 \times 10^3 \mu\text{g/L}$ 。各池自 7 月 28 日始直至养殖结束, 微藻密度和生物量不断丰富, 均保持较高水平。

2.4 微藻优势种演替

各池微藻优势种变动见表 3。整体来看, 养殖前期(约放

苗后 30 d) 绿藻、硅藻种类较为常见, 优势种为蛋白核小球藻、显微蹄形藻、简单舟形藻等; 养殖中期(第 30~60 d) 蓝藻类逐渐大量繁殖, 坚实微囊藻、水华微囊藻、易略颤藻、威利颤藻等演替为优势种。自养殖中期起, 1 号、2 号池水华微囊藻均演替为优势种, 随后还暴发微囊藻水华, 微囊藻密度约为 10^9 ind/L , 生物量约占总生物量的 70%, 可见到藻类在水体表面大量上浮聚集。

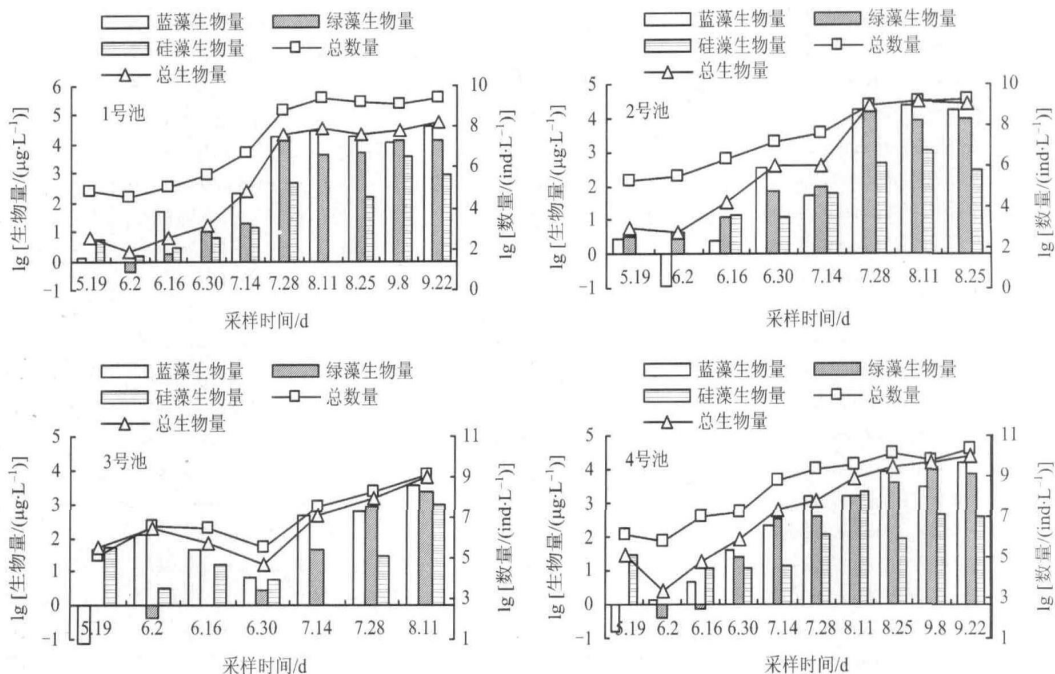


图 2 虾池浮游微藻数量和生物量的变动

Fig. 2 Changes of microalgae's quantities and biomass in shrimp ponds

表 3 各池微藻优势种的动态

Table 3 Changes of planktonic microalgae dominant species in shrimp ponds

日期	1 号池	2 号池	3 号池	4 号池
2009-05-19	蛋白核小球藻(0.51)	显微蹄形藻(0.23)	喙头舟形藻(0.26)	简单舟形藻(0.39)
2009-06-02	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> 舍恩菲尔德舟形藻(0.16)	<i>K. microscopica nygaard</i> 弱细颤藻(0.38)	<i>Naucula rhynchocephala</i> 栖藓柱胞藻(0.61)	<i>Naucula cincta</i> 蛋白核小球藻(0.49)
2009-06-16	蛋白核小球藻(0.50)	<i>Oscillatoria tenuis</i> 坚实微囊藻(0.67)	<i>Cylindrocapsa musicola</i> 易略颤藻(0.45)	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> 易略颤藻(0.53)
2009-06-30	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> 绿色颤藻(0.80)	<i>Microcystis firma</i> 水华微囊藻(0.65)	<i>Oscillatoria neglecta</i> 绿色颤藻(0.58)	<i>Oscillatoria neglecta</i> 栖藓柱胞藻(0.48)
2009-07-14	<i>Oscillatoria chlorina</i> 水华微囊藻(0.83)	<i>Microcystis flos-aquae</i> 坚实微囊藻(0.91)	<i>Oscillatoria chlorina</i> 水华微囊藻(0.3)	<i>Cylindrocapsa musicola</i> 威利颤藻(0.1)
2009-07-28	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.37)	<i>Microcystis firma</i> 水华微囊藻(0.51)	<i>Microcystis flos-aquae</i> 易略颤藻(0.22)	<i>Oscillatoria willii</i> 水华微囊藻(0.29)
2009-08-11	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.37)	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.39)	<i>Oscillatoria neglecta</i> 斯氏颤藻(0.13)	<i>Microcystis flos-aquae</i> 附生色球藻(0.43)
2009-08-25	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.30)	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.21)	—	<i>Oscillatoria schultzei</i> 坚实微囊藻(0.80)
2009-09-08	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.30)	—	—	<i>Microcystis firma</i> 水华微囊藻(0.10)
2009-09-22	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.47)	—	—	<i>Microcystis flos-aquae</i> 水华微囊藻(0.19)
	<i>Microcystis flos-aquae</i>	—	—	<i>Microcystis flos-aquae</i>

注: 括号内数据表示微藻数量优势度。

2.5 微藻群落多样性

各池微藻多样性指数变化有差异(表4)。整体来看, 养殖前期微藻多样性指数平均为 1.79, 中期平均为 1.72, 后期平均为 1.93。中期各池微藻多样性指数波动较大, 且多有下降趋势, 可能是受到降雨影响, 显示环境的不稳定。其中, 1、2 号池微藻多样性均值水平较低, 与其优势种的单一性关系密切, 特别是 1 号池的微藻多样性指数与优势种的优势度呈显著负相关关系($p < 0.05$); 而 3、4 号池微藻多样性较高, 信息量较丰富, 有助于维护养殖环境的稳定。

2.6 微藻与水质因子的相关性

运用 SPSS 软件对微藻数量、生物量与各水质因子相关性进行分析。从表 5 可以看出, 各池微藻总数量和总生物量均与透明度呈显著负相关关系, 与水温呈显著正相关关系, 说明微藻总数量和总生物量随着水体透明度的下降而升高, 随着水温的升高而升高。1、2 号池微藻总数量和总生物量与营养因子的相关性比 3、4 号池更为紧密, 与 TN、TP、DIN 均呈显著的正相关关系, 其中 1 号池微藻数量、生物量还与 COD 呈显著正相关性, 说明 1、2 号池微藻的增殖受较高营养水平的影响较突出。

3 讨论

3.1 斑节对虾滩涂养殖池塘微藻群落特征及其成因

养殖过程中, 水体盐度整体呈逐渐下降趋势, 前期为 10~16, 后期为 5~8.4。有研究表明, 在较高盐度的环境中, 硅藻

类易于繁殖, 当盐度处于 10~30 时, 舟形藻和桥湾藻类等硅藻会形成优势^[14]。但随着养殖环境的变化, 蓝藻类和绿藻类对环境的适应性逐渐强于硅藻类, 表现为种类增多, 繁殖加快等特征。且蓝藻类喜淡水环境, 在较低盐度环境中易于形成优势; 而绿藻类对盐度的耐受范围比较宽广, 在盐度较高的高位池和低盐度淡化虾池均常出现^[7, 15-16]。另外, 蓝藻类多属喜肥性种类, 如颤藻、微囊藻等, 它们的出现多与水体丰富的营养有明显相关性^[17]; 一些绿藻类也多为喜肥性种类, 如蛋白核小球藻、显微蹄形藻、栅藻类、卵囊藻类等, 并且它们种类较多, 可提高微藻多样性水平。3、4 号池后期微藻多样性指数较高, 得益于绿藻种类的丰富。

养殖水体的 TN、TP、COD 随着投饲逐渐富集, 在后期形成较高水平, 这与后期喜肥性微藻大量繁殖是相符的。微藻水华的发生是水体中各种环境因子综合作用的结果, 与水体富营养化关系最为密切。王霞^[18]等在研究水体富营养化阈值的判断时认为, 水体 TN、TP 质量浓度是富营养化的主要限制因子, 其中 TN 质量浓度为 0.843 mg/L, TP 质量浓度为 0.065 mg/L 时, 富营养化发生概率较大。1、2 号池在养殖后期 TN 质量浓度为 4.36~10.2 mg/L, TP 质量浓度为 0.224~0.543 mg/L, 两池微藻的生物量和数量显著升高, 与 TN、TP 呈极显著正相关关系, 与 COD、DIN 等呈显著正相关关系。微囊藻一般是水体富营养化的指示生物, 1、2 号池微囊藻水华爆发与其水体过高的营养是密切相关的。微囊藻能分泌微囊藻毒素, 对生态环境及对虾的健康生长带来不利的影响^[3]。Lee^[19]、Kotak^[20]等报道, 微囊藻毒素与水体 TN、TP 的水平有高度正相关性。

无机 N、P 是可被微藻直接利用的营养元素。水体 DIN 的质量浓度在养殖前期逐渐丰富, 促进了微藻的繁殖; 但由于降雨影响以及微藻繁殖的利用, 中期浓度下降。其中 3、4 号池由于投饲强度低于 1、2 号池, 在降雨稀释下, 水体 DIN 波动较大, 3 号池微藻密度一度下降明显。水体 DIP 质量浓度普遍较低^[21]。据报道^[22-23], 微藻可利用 DIP 的最适质量浓度下限为 0.018 mg/L。照此, 各虾池基本处于 DIP 限制状态, 3、4 号池尤为明显。但本文并未发现 DIP 对微藻的生长构成限制。这与刘孝竹^[6]在研究珠江三角洲低盐度虾池微藻藻相结构时的情况相符。报道显示, 微藻也可以利用溶解性有机 P, 其分泌的碱性磷酸酶可将有机 P 分解释放出 DIP^[24]。有学

表 4 虾池浮游微藻的多样性指数(H')

Table 4 Diversity index of planktonic microalgae in shrimp ponds

日期	1 号池	2 号池	3 号池	4 号池
2009-05-19	0.99	1.84	2.58	2.45
2009-06-02	1.61	1.63	1.52	1.30
2009-06-16	2.1	1.28	2.27	1.87
2009-06-30	1.42	1.81	1.99	1.95
2009-07-14	0.99	0.68	1.17	2.62
2009-07-28	1.78	1.82	1.91	2.50
2009-08-11	1.47	1.68	2.26	2.64
2009-08-25	1.99	1.59	—	2.04
2009-09-08	1.82	—	—	1.97
2009-09-22	1.77	—	—	1.86
平均值	1.60±0.38	1.54±0.39	1.95±0.48	2.12±0.43

表 5 虾池浮游微藻与水质因子的相关性分析

Table 5 Correlation coefficient of microalgae and water quality factors in shrimp ponds

项目	池号	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DO	pH	盐度	透明度	水温	TN	TP
微藻总数量	1#	0.667*	0.643*	0.65*	0.544	-0.678**	-0.357	-0.661*	-0.904**	0.916**	0.899**	0.816**
	2#	0.367	0.713*	0.864**	0.679	-0.797*	-0.83*	-0.728*	-0.948**	0.946**	0.792*	0.875**
	3#	0.489	-0.567	-0.479	-0.256	-0.507	-0.444	-0.306	-0.894**	0.845*	-0.035	0.765*
	4#	0.478	0.383	0.564	0.398	-0.538	-0.659*	-0.502	-0.886**	0.872**	0.53	0.487
微藻总生物量	1#	0.675*	0.638*	0.644*	0.551	-0.763*	-0.321	-0.651*	-0.911**	0.915**	0.896**	0.812**
	2#	0.365	0.744*	0.869**	0.678	-0.813*	-0.81*	-0.77*	-0.965**	0.927**	0.783*	0.901**
	3#	0.691	-0.332	-0.616	-0.174	-0.487	-0.308	-0.194	-0.771*	0.724	0.218	0.848*
	4#	0.591	0.433	0.592	0.409	-0.565	-0.634*	-0.46	-0.817**	0.786**	0.586	0.519

注: ** 表示显著水平在 0.01; * 表示显著水平在 0.05。

者在研究 P 限制的湖泊中也发现类似情况^[18]。

3.2 斑节对虾滩涂养殖池塘微藻优势种演替特征

养殖前期较高的盐度促使硅藻类如舟形藻类等繁殖成为优势种, 另外, 绿藻类的蛋白核小球藻和显微蹄形藻, 以及蓝藻类的绿色颤藻、弱细颤藻等也常出现。它们多是单胞体积相对较小的微藻, 在早期低营养盐的刺激下开始繁殖。随着养殖投饲的进行, 水体营养盐逐渐积累, 中期阶段各池微藻优势种逐渐转为以蓝藻类为主, 如坚实微囊藻、威利颤藻、水华微囊藻等, 微藻密度显著增加。养殖后期, 1、2 号池水体透明度低, 底泥乌黑色且散发着臭味, 显示虾池营养水平较高, 与检测的水质营养指标较高水平相符合, 促使微囊藻过量繁殖。微囊藻种类多有气囊结构^[25], 在水体中具有垂直迁移的能力, 可利用不同水层的营养、光照、溶解氧等条件繁殖生长。如在养殖后期或阴雨天气, 水体 DO 质量浓度降低的情况下, 微囊藻可上浮到上层水体, 适应环境的变化。有研究报道, 微囊藻类还具有比其他藻类更强的储存 P 的能力^[25], 对 P 资源的利用具有明显竞争优势。因此, 在营养非常丰富, 而微藻可直接利用 P 资源相对缺乏的环境中, 微囊藻类的竞争优势也应是相对突出的。这些特征都可能为微囊藻演替为绝对优势种创造有利条件。另外, 微囊藻类多是以细胞分裂和胶鞘的形态形成细胞数量很多的群体, 这样既加强了其竞争生长空间的能力, 可对其他个体藻类的生长起到抑制作用, 也使其分泌毒素的能力得到显著增强。

3、4 号池后期亦呈富营养化状态, 水华微囊藻也演替为优势种, 但水体 COD、TN、TP 等营养负荷相对 1、2 号池明显较低。对相关性分析的比较也可以明显看出, 暴发水华的 1、2 号池微藻数量、生物量与水体营养因子的相关性均比 3、4 号池显著地突出。另外, 3、4 号池微藻的多样性水平均值都大于 1.9, 且在养殖的不同阶段都较 1、2 号池的多样性水平高, 这可能对阻止水华暴发有重要影响。微藻种类的丰富有助于增加藻相结构的复杂性, 相对于优势种单一性强的藻相结构, 能较好地抵抗由环境突变造成的扰动, 可有效促进环境的稳定。

3.3 天气、养殖管理对微藻的影响

养殖期间的多次降雨给虾池环境带来了不小的扰动, 特别是中期阶段强降雨较多, 各池水位升高, 水体 pH 值、DO、透明度、营养盐等出现波动性变化。环境因子的变动使得中期阶段各池微藻的演替有加快和多变的趋势, 微藻多样性水平下降, 显示藻相的不稳定。而水环境条件的突变有可能使对虾产生应激反应, 影响其生长速度和健康活力等。

由于 1、2 号池与 3、4 号池位于两个养殖区, 是由不同的养殖人员管理, 在投饲水平上有差异。从投饲量以及虾池营养盐指标的比较上可以看出, 1、2 号池饲料系数远高于 3、4 号池, 水体富营养化水平也比 3、4 号池高, 特别是在养殖中后期差距较明显。1、2 号池后期微藻优势种逐渐单一, 优势度保持较高水平, 多样性水平低, 最终出现微囊藻水华, 给对虾的生长和健康带来负面影响。水华暴发后两池对虾均出现红体、软壳等病症。3、4 号池在养殖前期和后期微藻的多样性指数较丰富, 种类均匀。其中 4 号池养殖时间亦长, 虽然后期水体也形成了富营养化现象, 且微藻数量和生物量也较高, 但优势种的优势度较低, 具有较高的种类多样性, 养殖环境包含丰富的信息量, 群落结构趋向稳定, 防止了藻相向水华暴发的

方向发展。有研究也显示, 在 P 限制情况下, 降低外源 N 营养盐的浓度可有效抑制微囊藻的生长和产毒^[26]。因此, 养殖过程应该充分重视科学投喂饲料, 虾池水体的营养水平是微藻藻相结构形成的基础, 过量投喂饲料不仅浪费资源, 加大成本, 而且加重环境负荷, 加剧富营养化程度, 导致水华暴发, 引发病害。

4 结论

1) 斑节对虾滩涂养殖池塘前期的微藻种类多以硅藻和绿藻类为主; 中后期多以蓝藻类为主, 绿藻种类也常出现。微藻数量和生物量基本随着养殖进行逐渐升高, 均与透明度呈显著负相关关系, 与水温呈显著正相关关系。

2) 水体中后期 TN、TP 指标过高导致水体出现富营养化, 也是造成微囊藻水华暴发的主因。

3) 微藻多样性水平的提高有助于增强藻相结构的丰富性, 有效维护养殖水环境的稳定。

References(参考文献):

- [1] LU Jing(卢静), LI Deshang(李德尚), DONG Shuanglin(董双林). The impact of stocking density on plankton community in shrimp pond[J]. *Journal of Fisheries of China(水产学报)*, 2000, 24(3): 240-246
- [2] WU Yulin(吴玉霖), ZHOU Chengxu(周成旭). Dinoflagellates red tide impacts on marine environment and countermeasures[J]. *Marine Environmental Science(海洋环境科学)*, 1997, 16(4): 59-63.
- [3] CARMICHAEL W W. Hemagglutination method for detection of freshwater cyanobacteria (bluegreen algae) toxins[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1981, 41(6): 1383-1388
- [4] ZHANG Hanhua(张汉华), LI Zhuojia(李卓佳), GUO Zhixun(郭志勋), et al. Study on the influences of probiotics on ecological characteristics of plankton in the manicultural ponds[J]. *South China Fisheries Science(南方水产)*, 2005, 1(2): 7-14.
- [5] HUANG Xianghu(黄翔鹤), WANG Qingheng(王庆恒). A study on dominant phytoplankton species in high level prawn ponds and its formation cause[J]. *Journal of Tropical Oceanography(热带海洋学报)*, 2002, 21(4): 36-44
- [6] ZHANG Caixue(张才学), LAO Zan(劳赞), LIAO Baojiao(廖宝娇), et al. Phytoplankton community succession of fresh water pool of *Litopenaeus vannamei* bonne in Zhuhai Area[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University(湛江海洋大学学报)*, 2006, 26(4): 35-41.
- [7] ZHA Guangcai(查广才), ZHOU Changqing(周昌清), HUANG Jianrong(黄建容), et al. Studies on the structure and biodiversity of the microplankton community in *Litopenaeus vannamei* desalination culture ponds[J]. *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2004, 24(8): 1752-1759.
- [8] HU Hongjun(胡鸿钧), WEI Yinxin(魏印心). *The freshwater algae of China(中国淡水藻类)*[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [9] FOTT B. *Algenkunde(藻类学)*[M]. LIU Di'an(罗迪安), tran. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1980.
- [10] GUO Yujie(郭玉洁), QIAN Shuben(钱树本). *Flora algarum marinarum sinicaram(中国海藻志)*[M]. Beijing: Science Press, 2003
- [11] SHEN Guoying(沈国英), SHI Bingzhang(施并章). *Marine ecology(海洋生态学)*[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [12] SUN Jun(孙军), LIU Dongying(刘东艳), QIAN Shuben(钱树本). Study on phytoplankton biomass I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume[J]. *Acta Oceanologica*

Sinica(海洋学报), 2004, 21(2): 75-85

- [13] MAI Xiongwei(麦雄伟). *Aquatic ecological characteristics of Litopenaeus vannamei in desalination culture ponds with greenhouse*(南美白对虾温棚淡化养殖水体生态特征研究)[D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2003: 24-25.
- [14] XIE Limin(谢立民), LIN Xiaotao(林小涛), XU Zhongneng(许忠能), et al. Phytoplankton communities and physical and chemical factors in different types of shrimp ponds[J]. *Ecologic Science*(生态科学), 2003, 22(1): 34-37.
- [15] SHEN Yuchun(申玉春), XIONG Bangxi(熊邦喜), YE Fuliang(叶富良), et al. The study on plankton and the primary productivity in *Litopenaeus vannamei*'s high-level ponds[J]. *Reservoir Fisheries*(水利渔业), 2004, 24(3): 7-10.
- [16] LIU Xiaozhu(刘孝竹), LI Zhuojia(李卓佳), CAO Yucheng(曹煜成), et al. Common species composition, quantity variation and dominant species of planktonic microalgae in low salinity culture ponds[J]. *South China Fisheries Science*(南方水产), 2009, 5(1): 9-16.
- [17] XIE Ping(谢平). *The theory on cyanobacteria bloom-forming—from the biological evolution, biological geochemistry and ecology*(论蓝藻水华的发生机制——从生物进化、生物地球化学和生态学观点)[M]. Beijing: Science Press, 2007: 30-76.
- [18] WANG Xia(王霞), LIU Xianguo(吕宪国), BAI Shuying(白淑英), et al. Probability and threshold values for recognizing eutrophication in Lake Songhua[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2006, 26(12): 3989-3997.
- [19] LEE S J, JANG M H, KIM H S, et al. Variation of microcystin content of *Microcystis aeruginosa* relative to medium N: P ratio and growth stage[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2000, 89(2): 323-329.
- [20] KOTAK B G, LAM A K Y, PREPAS E E, et al. Role of chemical and physical variables in regulating microcystin-LR concentration in phytoplankton of eutrophic lakes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57(8): 1584-1593.
- [21] HU Xiaojuan(胡晓娟), LI Zhuojia(李卓佳), CAO Yucheng(曹煜成), et al. Progress in research of phosphorus budgets in aquaculture pond ecosystem and phosphate-solubilizing microorganism[J]. *Journal of Safety and Environment*(安全与环境学报), 2010, 10(1): 7-11.
- [22] SUN Yao(孙耀), LI Feng(李峰), LI Jian(李健), et al. Phytoplankton community characteristics and their relationship with nutrient salts in Shrimp ponds[J]. *Marine Fisheries Research*(海洋水产研究), 1998, 19(2): 45-51.
- [23] WANG Liqing(王丽卿), WANG Weidong(王为东), ZANG Weiling(藏维玲), et al. The state of plankton in lower salinity ponds cultured with *Penaeus monodon* in estuarine area[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*(上海水产大学学报), 2002, 11(2): 118-123.
- [24] BJORKMAN K, KARL D M. Bioavailability of inorganic and organic phosphorus compounds to natural assemblages of microorganisms in Hawaiian coastal waters[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 111: 265-273.
- [25] KONG Fanxiang(孔繁翔), GAO Guang(高光). Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2005, 25(3): 589-595.
- [26] XIE Lijuan(谢利娟), MIU Hengfeng(缪恒锋), YAN Qun(严群), et al. Effects of temperature and nitrogen concentration on the growth and microcystins production of two *Microcystis* strains[J]. *Journal of Safety and Environment*(安全与环境学报), 2011, 11(3): 9-13.

Characteristics of the evolutionary influence of the planktonic microalgae community survival on the *Penaeus monodon*'s tidal shrimp culture

PENG Congcong, LI Zhuojia, CAO Yucheng, WEN Guoliang, LIU Xiaozhu, HU Xiaojuan

(Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, South China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The present paper is involved with our study of the characteristics of the evolutionary influence of the planktonic microalgae community survival on the *Penaeus monodon*'s tidal shrimp culture. For our research purpose, we have conducted the continuous and regular survey and observation on the planktonic microalgae community and water quality factors in *Penaeus monodon*'s tidal culture ponds in Guanlida biotechnological corporation in Dianbai County, Guangdong, from May 19 to Sept. 22, 2009. The results of our investigation prove that a total of 93 planktonic microalgae species were identified during the culture period. Among them, 26 species were recognized to be Cyanophyta, 33 Chlorophyta, 32 Bacillariophyta, with one belonging to Pyrrophyta, and another to Cryptophyta. The dominant species were of *Navicula simplex*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Oscillatoria chlorina*, *Cylindrospermum muscicola*, *Kirchneriella microscopica*, *Microcystis flos-aquae*, *Microcystis firma*, *Oscillatoria neglecta*, *Oscillatoria willei* and so on. During the early culture stage, the range of the main species of planktonic microalgae, the biomass and the diversity index averages were identified at about $3.5 \times 10^4 - 35.7 \times 10^5$ ind/L, $0.02 \times 10^2 - 1.83 \times 10^2 \mu\text{g/L}$, and 1.57-2.12, respectively. However, in the middle and final stage, the density, biomass and diversity of the planktonic microalgae prove to be in a range from $1.73 \times 10^8 - 2.34 \times 10^9$ ind/L, $5.23 \times 10^3 - 57.01 \times 10^3 \mu\text{g/L}$, and 1.64-2.26 at the index average. In the culture process, it was found that with the gradual increase of the water temperature level, and that of TN and TP, the level of DO and the transparency of the water tends to decrease. The results of our investigation indicate that the planktonic microalgae density, the biomass and diversity index tend to reveal the same trend that they were generally low at the initial stage of the culture and then turned to be higher during the last stage. To be accurate, the microalgae density, biomass tend to show significantly negative correlation with the transparency, whereas highly positive correlation with the water temperature, the levels of TN and TP. The microalgae density, biomass in pond 1 and pond 2 particularly reveal highly significant positive correlation with the levels of TN and TP. And, in the final phase, there appears algal bloom in them, in which microalgae density turns to be over 10^9 ind/L. However, there appears a higher microalgae diversity in pond 3 and pond 4, which tends to reveal a positive effect on the improvement of the water environment.

Key words: aquaculture; *Penaeus monodon*; tidal pond; planktonic microalgae; community structure

CLC number: S9 **Document code:** A

Article ID: 1009-6094(2012)05-0095-07