

# 高位虾池养殖过程浮游植物群落的演替\*

张瑜斌<sup>1</sup> 龚玉艳<sup>1</sup> 陈长平<sup>2</sup> 张才学<sup>1</sup> 孙省利<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 广东湛江 524088; <sup>2</sup>厦门大学生命科学学院, 福建厦门 361005)

**摘要** 通过对湛江东海岛北寮村和庵里村各 2 个高位虾池养殖过程的浮游植物演替和主要理化因子进行调查, 研究浮游植物群落的演替过程对高位虾池的健康养殖的影响。结果表明: 4 池共检出浮游植物 7 门 76 属 140 种; 对虾生长正常的北寮高位虾池演替优势种主要有螺旋环沟藻、椭圆扁胞藻、海链藻、湖泊束球藻密胞变种、裸甲藻、卵囊藻、微囊藻、锥形斯克里普藻、色球藻和尖尾蓝隐藻等, 而对虾发病的庵里高位虾池演替优势种主要有铜绿微囊藻、柔弱布纹藻、咖啡形双眉藻、小席藻、卷曲鱼腥藻、水生集胞藻、衣藻、尖尾蓝隐藻和螺旋环沟藻等, 北寮正常虾池浮游植物种类(包括优势种)较对虾发病的庵里虾池多而复杂; 对虾生长正常池优势种的演替快而门类交替, 而对虾发病池呈现硅藻到蓝藻优势的演替; 对虾生长正常池浮游植物密度随养殖过程延伸呈上升态势, 而对虾发病池浮游植物密度初期增加病害后下降; 养殖过程浮游植物密度与主要理化因子的相关关系不显著; 对虾生长正常的北寮高位池多样性指数与均匀度高于对虾发病的庵里高位池, 而优势度却较低。水体理化因子变化平缓, 浮游植物有较高的多样性指数和均匀度、较低的优势度对于稳定虾池养殖水环境有重要作用。

**关键词** 高位虾池; 浮游植物; 群落演替; 多样性

**中图分类号** S963 21 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)12-2532-09

**Succession of phytoplankton community in exalted shrimp ponds during culture process**  
ZHANG Yu-bin<sup>1</sup>, GONG Yu-yan<sup>1</sup>, CHEN Chang-ping<sup>2</sup>, ZHANG Cai-xue<sup>1</sup>, SUN Xing-li<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Monitoring Center for Marine Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088 Guangdong, China; <sup>2</sup>School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005 Fujian, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(12): 2532-2540

**Abstract** An investigation was made on the succession of phytoplankton community and the main physical and chemical factors of water body in exalted shrimp ponds in Beiliao and Anli villages of Donghai Island, Zhanjiang during culture process with the influence of the succession on the culture process analyzed. A total of 140 species of phytoplankton belonging to 76 genera and 7 phyla were identified. The dominant species in the two ponds with normal shrimp growth in Beiliao village were *Gyrodinium spirale*, *Platymonas elliptica*, *Thalassiosira* sp. 2, *Gomphosphaeria lacustris* var. *compacta*, *Gymnodinium* sp. 1, *Oocystis* sp., *Microcystis* sp., *Scrippsiella trochoidea*, *Chroococcus* sp., and *Chroomonas acuta*, while those in the two ponds with shrimp disease occurrence in the process of culture in Anli village were *Microcystis aeruginosa*, *Gyrosigma tenuissimum*, *Amphora coffeaeformis*, *Phormidium tenue*, *Anabaena circinlis*, *Synechocystis aquatilis*, *Chlamydomonas* sp. 2, *Chroomonas acuta*, and *Gyrodinium spirale*. The phytoplankton species including dominant ones were more abundant and complex in normal ponds than in disease-affected ponds. In normal ponds, the dominant species succeeded rapidly and alternated in phyla, while in disease-affected ponds, only Bacillariophyta species were replaced by Cyanophyta species during the succession. The phytoplankton cell density increased during the culture process in normal ponds, but decreased after a temporary increase at early culture stage in disease-affected ponds. No significant relationships were observed between the phytoplankton cell

\* 广东省自主创新重大科技资助项目(2007A032600004)。

\*\* 通讯作者 E-mail: sunx@gdou.edu.cn

收稿日期: 2009-03-19 接受日期: 2009-07-25

density and the main physical and chemical factors in the ponds during culture process. The diversity and evenness of phytoplankton species were higher in the normal ponds in Beiliao than in the disease-affected ponds in Anli, while the dominance degree of species was in reverse. The mild variability of water body's physical and chemical factors as well as the high diversity and evenness but low dominance degree of phytoplankton species played important roles in keeping aquatic environment steady and healthy during the culture process in exalted shrimp pond.

**Key words** exalted shrimp pond; phytoplankton; community succession; diversity index

高位池养虾模式具有产量高、效益好、易于管理、便于投饵和防病治病、安全系数大和抗风暴潮能力强等特点, 现已成为对虾养殖的重要模式(张文强等, 2003)。由于此种模式是高密度集约化养殖, 极高的生物产量和饵料输入, 必然会造成浮游植物群落结构和水体理化等生态因子短期内的波动, 从而有可能引发虾病。浮游植物在水生生态系统的物质循环和能量流动过程中起着重要作用, 它能吸收营养盐, 放出氧气, 改善水质, 同时某些种群数量急剧增加时也有着爆发水华的潜在危险。因此, 开展高位池水体浮游植物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。目前, 已有关于虾池的水质(王小谷等, 2002; 陈伟珍等, 2004)、浮游植物群落结构及演替(Aínsó-Rodríguez & Páez-Osuna, 2003; 张才学等, 2006; Cramen *et al.*, 2007)方面的研究报道, 主要集中在传统池。本文研究了高位虾池一个正常养殖周期和一个意外发病虾池浮游植物群落的演替, 寻找虾池健康养殖和意外发病的两种情况下浮游植物群落演替的差异, 以期对虾高位池的生态养殖提供可借鉴的基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 虾池概况

研究的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei* Bonne)集约化高位养殖池位于湛江市东海岛的北寮村(20°56.92'N, 110°31.52'E)和庵里村(20°58.53'N, 110°28.89'E), 在这两地均随机选取2个高位虾池作为样池(分别标记为BL1和BL2, AL1和AL2)(表1)。高位虾池的底部高于海水的最高潮位线1~6 m, 完全依靠动力供水, 四周池壁水泥护坡, 池底铺聚乙烯塑料薄膜防渗, 上铺约0.2 m厚沙作为对虾良好栖息环境。集约化的对虾高位池养殖多在3~5个月完成一茬, 如果之前有育苗过程, 一

般需3个月左右, 一年能养殖2~3茬。高位虾池养殖系统受到投饵、换水、消毒、施用益生菌等多种人工因子的调控。

### 1.2 研究方法

浮游植物的采样从投放虾苗开始, 有间隔的延伸到收虾结束。北寮(之前有育苗)浮游植物采样共5次, 采样日期分别为2006年的8月8日、8月22日、9月3日、9月16日、9月29日。庵里共采样6次, 采样日期分别为2006年的8月9日、9月10日、10月15日、10月28日、11月14日、12月3日, 庵里的2个高位池在第3次采样的前2 d(10月13日)对虾发病, 伴有大量对虾死亡, 随后池主放弃管理。浮游植物定性样品用浅水II型浮游生物网(孔径约0.077 mm)自池底向水面多次垂直拖网, 网采样品用5%福尔马林溶液和1%鲁哥氏液固定; 定量样品采用简易HQM-1型采水器在虾池四角及中央各取水样一份(离水面0.5 m), 混匀后取1 L装入聚乙烯瓶中, 加入15 mL鲁哥氏液固定, 于实验室静置沉淀24 h后, 浓缩至50 mL加甲醛保存, 在显微镜下进行定性(郑重等, 1984; 郭玉洁和钱树本, 2003; 胡鸿钧和魏印心, 2006)和定量分析(国家质量技术监督局, 1999a)。为探讨浮游植物与虾池主要理化因子之间的关系, 按照海洋监测规范(国家质量技术监督局, 1999b), 同时测定了水温、pH、盐度、化学需氧量(COD)、可溶性无机氮(DIN, 氨氮、亚硝氮和硝氮三者之和)、活性磷酸盐( $PO_4^{3-}-P$ )和活性硅酸盐( $SiO_3^{2-}-Si$ )等主要理化因子的变化(表2、表3)。

表1 4个高位虾池的基本概况

Tab 1 Summary of four exalted shrimp ponds

虾池	面积 (m <sup>2</sup> )	放苗量 (万尾)	养殖期间 平均水深 (m)	充氧机数 (台)
BL1	2334	25	1.6	4
BL2	1467	20	1.6	4
AL1	2668	30	1.1	4
AL2	4002	50	1.1	4

表 2 北寮 BL1 BL2池养殖期间水体主要理化因子的变化

**Tab 2 Variations in main physical and chemical factors in the course of culture in shrimp pond BL1 and BL2 at Beiliao**

虾池	采样日期 (月-日)	温度 (°C)	pH	盐度	COD (mg·L <sup>-1</sup> )	D N (mg·L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg·L <sup>-1</sup> )	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -Si (mg·L <sup>-1</sup> )
BL1	8-8	31.9	8.00	14.9	5.540	0.294	0.039	3.512
	8-22	31.2	8.16	14.4	5.957	0.278	0.248	1.429
	9-3	33.5	7.92	12.3	5.908	0.633	0.015	0.701
	9-17	25.3	8.24	13.8	5.976	1.443	0.018	0.650
	9-29	29.7	7.93	14.3	7.944	1.379	0.029	0.801
	平均值 ±标准差	30.3 ±3.1	8.05 ±0.14	13.9 ±1.0	6.265 ±0.955	0.759 ±0.568	0.067 ±0.102	1.702 ±1.454
BL2	8-8	31.5	8.26	12.3	5.014	0.152	0.028	3.010
	8-22	31.5	8.29	12.2	5.495	0.498	0.199	1.012
	9-3	32.8	8.68	11.2	5.818	0.475	0.010	0.842
	9-17	24.9	8.39	12.8	6.608	1.728	0.023	0.258
	9-29	28.8	8.55	14.8	7.576	1.102	0.055	0.149
	平均值 ±标准差	29.9 ±3.2	8.43 ±0.18	12.7 ±1.3	6.502 ±0.684	1.171 ±1.188	0.063 ±0.078	0.903 ±1.235

表 3 庵里 AL1 AL2池养殖期间水体主要理化因子的变化

**Tab 3 Variations in main physical and chemical factors in the course of culture in shrimp pond AL1 and AL2 at Anli**

虾池	采样日期 (月-日)	温度 (°C)	pH	盐度	COD (mg·L <sup>-1</sup> )	D N (mg·L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg·L <sup>-1</sup> )	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -Si (mg·L <sup>-1</sup> )
AL1	8-9	32.1	8.36	21.4	2.309	0.186	0.016	1.251
	9-10	29.0	8.57	15.4	6.320	0.154	0.007	3.957
	10-15	28.5	8.66	16.1	6.504	1.778	0.019	4.662
	10-28	26.8	9.06	15.5	5.816	0.517	0.011	0.240
	11-14	25.0	8.72	15.5	6.400	0.315	0.008	1.241
	12-3	21.0	8.16	17.1	5.344	0.396	0.007	0.634
	平均值 ±标准差	27.1 ±3.8	8.59 ±0.31	16.8 ±2.3	5.449 ±1.599	0.558 ±0.613	0.011 ±0.005	1.998 ±1.845
AL2	8-9	31.8	8.69	20.1	2.995	0.170	0.026	2.681
	9-10	28.4	8.70	15.4	6.392	0.155	0.004	4.413
	10-15	28.5	9.10	17.1	6.904	0.647	0.027	3.823
	10-28	27.1	8.89	16.5	5.856	0.464	0.024	3.156
	11-14	24.8	8.75	16.5	6.376	0.471	0.011	1.301
	12-3	20.5	8.41	18.0	6.056	0.450	0.009	1.155
	平均值 ±标准差	26.8 ±3.8	8.76 ±0.23	17.3 ±1.6	5.763 ±1.402	0.393 ±0.192	0.015 ±0.009	2.755 ±1.321

### 1.3 统计方法

多样性指数采用 Shannon-Wiener物种多样性指数 ( $H'$ ) (马克平和刘玉明, 1994):

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

式中,  $S$  为物种数,  $P_i$  为第  $i$  种在全部采样中的比例 ( $P_i = n_i/N$ ),  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种的个体总数。

均匀度 ( $J$ ) (马克平和刘玉明, 1994):

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

式中,  $H'$  为前式计算的多样性指数值,  $S$  为样品中总

种类数。

优势度 ( $D$ ) (马克平和刘玉明, 1994):

$$D = \sum_{i=1}^s P_i^2$$

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。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物的种类组成

在 4 口凡纳滨对虾高位池中共鉴定浮游植物 7 门 76 属 140 种 (表 4), 其中硅藻门 27 属 49 种, 占

总种类数的 35%; 蓝藻门 19 属 41 种, 占总种类数的 29.3%; 绿藻门 14 属 28 种, 占总种类数的 20%; 甲藻门 9 属 10 种, 占总种类数的 7.1%; 裸藻门 3 属 7 种, 占总种类数的 5%; 隐藻门 2 属 3 种, 占总种类数的 2.1%; 金藻门 2 属 2 种, 占总种类数的 1.4%。北寮虾池硅藻的种类较多, 但优势种类相对较少且不明显, 而蓝藻、绿藻和甲藻的种类较少, 但却有 2~3 种比较明显的优势种。而庵里虾池蓝藻的种类较多, 小席藻 (*Phormidium tenue*)、铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 和卷曲鱼腥藻 (*Anabaena circinalis*) 为特别突出的优势种; 甲藻和隐藻的种类少, 但出现的种类多为优势种或常见种; 无金藻种类出现 (表 4)。

## 2.2 浮游植物优势种群的变化

BL1 优势种为硅藻门的舟形藻 (*Navicula* sp.)、条纹小环藻 (*Cyclotella striata*)、海链藻 (*Thalassiosira* sp. 2) 和柔弱根管藻 (*Rhizosolenia delicatula*), 绿藻

门的椭圆扁胞藻 (*Platymonas elliptica*)、卵囊藻 (*Oocystis* sp.)、湖生卵囊藻 (*O. lacustris*) 和衣藻 (*Chlamydomonas* sp. 1), 蓝藻门的湖泊束球藻密胞变种 (*Gamphosphaeria lacustris* var. *compacta*) 和微囊藻 (*Microcystis* sp.), 以及甲藻门的尖甲藻 (*Oxytoxum* sp.)、裸甲藻 (*Gymnodinium* sp. 1) 和螺旋环沟藻 (*G. spirale*), 共 13 种。优势种类较多且每次采样的优势种类变化较大 (图 1-BL1)。养殖初期 (8 月 8 日) 的优势种以甲藻门的螺旋环沟藻 (占个体总数的 62.1%) 最为突出, 随后 (8 月 22 日第 2 次采样) 演替为绿藻门的椭圆扁胞藻 (占个体总数的 46.4%) 和蓝藻门湖泊束球藻密胞变种等 4 种优势种, 在养殖中期 (9 月 3 日第 3 次采样) 又演替为硅藻门的海链藻和绿藻门的湖泊束球藻密胞变种等 4 种优势种, 各种类所占的个体总数都低于 20%, 此时浮游植物结构相对稳定。后期 (9 月 16 日第 4 次采样) 优势种演替为甲藻门的裸甲藻 (占个体总数的

表 4 高位虾池浮游植物种类组成

Tab 4 Composition of phytoplankton species in exalted shrimp ponds

种类	BL	AL	种类	BL	AL
硅藻门 尤氏直链藻 ( <i>Melosira juergensi</i> )		+	舟形藻 ( <i>Navicula</i> sp.)	++	++
小环藻 ( <i>Cyclotella</i> sp.)	++	+	隐头舟形藻 ( <i>N. cryptocapaha</i> )	+	
条纹小环藻 ( <i>C. striata</i> )	++	+	双眉藻 ( <i>Amphora</i> sp.)	+	+
隐秘小环藻 ( <i>C. cryptica</i> )	++		咖啡形双眉藻 ( <i>A. coffeiformis</i> )	++	+++
扭曲小环藻 ( <i>C. amata</i> )		+	截端双眉藻 ( <i>A. terroris</i> )	+	++
海链藻 ( <i>Thalassiosira</i> sp. 1)	++	+	狭窄双眉藻 ( <i>A. angusta</i> )		+
海链藻 ( <i>Thalassiosira</i> sp. 2)	+++		桥弯藻 ( <i>Cymbella cistula</i> )	+	+
海链藻 ( <i>Thalassiosira</i> sp. 3)	++		纤细异极藻 ( <i>Gamphonema gracile</i> )	+	
细弱海链藻 ( <i>T. subtilis</i> )	++		长柄曲壳藻 ( <i>Achnanthes longipes</i> )		+
太平洋海链藻 ( <i>T. pacifica</i> )	+		短柄曲壳藻变窄变种 ( <i>A. brevipes</i> var. <i>angustata</i> )		+
太阳漂流藻 ( <i>Pilanktoniella sol</i> )	+		爪哇曲壳藻亚溢变种 ( <i>A. javanica</i> var. <i>subconstricta</i> )		+
狭线形圆筛藻 ( <i>Coscinodiscus anguste-lineatus</i> )	+		扁圆卵形藻 ( <i>Cocconeis plaentula</i> )	+	
丛毛辐杆藻 ( <i>Bacteriaster camosum</i> )	+		双尖菱板藻 ( <i>Hantzschia amphioxys</i> )	+	
优美辐杆藻 ( <i>B. delicatulum</i> )	+		海洋菱板藻 ( <i>H. marina</i> )	+	
柔弱根管藻 ( <i>Rhizosolenia delicatula</i> )	++		菱形藻 ( <i>Nitzschia</i> sp.)	+	+
角毛藻 ( <i>Chaetoceros</i> sp. 1)	++	++	钝头菱形藻刀头变种 ( <i>N. obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i> )	+	+
角毛藻 ( <i>Chaetoceros</i> sp. 2)		+++	新月菱形藻 ( <i>N. dosterium</i> )	+	+
角毛藻 ( <i>Chaetoceros</i> sp. 3)		++	弯菱形藻 ( <i>N. sigma</i> )		+
旋链角毛藻 ( <i>Ch. curviseus</i> )	++		尖刺菱形藻 ( <i>N. pungens</i> )		+
长等片藻 ( <i>Diatoma dougatum</i> )	+		双菱藻 ( <i>Surirella</i> sp.)	+	
钝脆杆藻 ( <i>Fragilaria capucina</i> )	+		平滑井字藻 ( <i>Eunotogramma laevis</i> )	+	
菱形海线藻 ( <i>Thalassionema nitzschoides</i> )	+		柔弱井字藻 ( <i>E. debile</i> )	+	
佛氏海毛藻 ( <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> )	+		扁中节胸隔藻 ( <i>Mastogobia braunii</i> )	+	
新月筒柱藻 ( <i>Cylindrotheca closterium</i> )	+		微小胸隔藻亚头状变种 ( <i>M. pusilla</i> var. <i>subcapitata</i> )		+
翼茧形藻 ( <i>Amphiprora alata</i> )	+	++	蓝藻门 微囊藻 ( <i>Microcystis</i> sp.)	+++	+++
柔弱布纹藻 ( <i>Gyrodinium tenuissimum</i> )		+++			
蜂腰双壁藻 ( <i>Diplocheilum bambus</i> )	+	+			

续表 4

Tab 4 Continued

种类	BL	AL	种类	BL	AL
铜绿微囊藻 ( <i>M. aeruginosa</i> )	++	+++	扁藻 ( <i>Platynonas</i> sp.)	++	++
水华微囊藻 ( <i>M. flos aquae</i> )	++		椭圆扁藻 ( <i>P. elliptica</i> )	++	
隐球藻 ( <i>Aphanocapsa</i> sp.)	++		球粒藻 ( <i>Cocconeas orbicularis</i> )	+	
细小隐球藻 ( <i>A. elachista</i> )		++	小桩藻 ( <i>Characium</i> sp.)	+	
隐杆藻 ( <i>Aphanothece</i> sp.)		+++	弓形藻 ( <i>Schroederia setigera</i> )		+
粘球藻 ( <i>Gloeocapsa</i> sp.)	++	++	小球藻 ( <i>Chlorella vulgaris</i> )	+	++
点形粘球藻 ( <i>G. punctata</i> )		++	蹄形藻 ( <i>Kirchneriella lunaris</i> )		+
色球藻 ( <i>Chroococcus</i> sp.)	+++	++	卵囊藻 ( <i>Oocystis</i> sp.)	+++	
束缚色球藻 ( <i>Ch. tenax</i> )	++	+	湖生卵囊藻 ( <i>O. lacustis</i> )	++	+
微小色球藻 ( <i>Ch. minutus</i> )	++	++	椭圆卵囊藻 ( <i>O. elliptica</i> )		+
湖泊束球藻密胞变种 ( <i>Gamphosphaeria lacustris</i> var. <i>compacta</i> )	+++		波吉卵囊藻 ( <i>O. borgei</i> )	++	++
银灰平裂藻 ( <i>Merismopedium glauca</i> )	+		胶网藻 ( <i>Dicystosphaerium ehrenbergianum</i> )	++	
细小平裂藻 ( <i>M. minima</i> )	+	+++	栅藻 ( <i>Scenedesmus</i> sp.)	+	+
点状平裂藻 ( <i>M. punctata</i> )	+	++	四尾栅藻 ( <i>S. quadricauda</i> )	+	++
优美平裂藻 ( <i>M. elegans</i> )		+++	龙骨栅藻 ( <i>S. carinatus</i> )		+
集胞藻 ( <i>Synechocystis</i> sp.)	++	+	被甲栅藻 ( <i>S. amatus</i> )	+	
水生集胞藻 ( <i>S. aquatilis</i> )	++	+++	韦丝藻 ( <i>Westella botryoides</i> )	+	
针晶蓝纤维藻 ( <i>Dactylococopsis raphidoides</i> )		+	十字藻 ( <i>Crucigenia</i> sp.)	++	
斯氏蓝纤维藻 ( <i>D. fenestrata</i> )		+	直角十字藻 ( <i>C. rectangularis</i> )		+
与舍蓝纤维藻 ( <i>D. mucicola</i> )		+	四足十字藻 ( <i>C. tetrapedia</i> )		+
双须藻 ( <i>Dichothrix</i> sp.)		+	四角十字藻 ( <i>C. quadrata</i> )	+	
胶刺藻 ( <i>Gloeotrichia</i> )		+	月芽新月藻 ( <i>Closterium cynthia</i> )		+
胶须藻 ( <i>Rivularia</i> sp.)		+	库氏新月藻 ( <i>C. kützingeri</i> )		+
项圈藻 ( <i>Anabaenopsis</i> sp.)		+	甲藻门 微小原甲藻 ( <i>Proocentrum minimum</i> )	+	
阿氏项圈藻 ( <i>A. arnoldii</i> )		+	塔玛亚力山大藻 ( <i>Alexandrium tamarense</i> )	++	
类颤藻鱼腥藻 ( <i>Anabaena oscillarioides</i> )		++	裸甲藻 ( <i>Gymnodinium</i> sp. 1)	+++	++
卷曲鱼腥藻 ( <i>Ana. circinlis</i> )	+	+++	裸甲藻 ( <i>Gymnodinium</i> sp. 2)	++	
螺旋鱼腥藻 ( <i>A. spiroides</i> )		++	血红哈卡藻 ( <i>Akashiwo sanguinea</i> )	++	
大螺旋藻 ( <i>Spirulina major</i> )	+	++	膝沟藻 ( <i>Gonyaulax</i> sp.)	+	
颤藻 ( <i>Oscillatoria</i> sp.)		++	螺旋环沟藻 ( <i>Gyrodinium spirale</i> )	+++	++
巨颤藻 ( <i>O. princeps</i> )		++	锥形斯克里普藻 ( <i>Scrippsiella trochoidea</i> )	+++	
小颤藻 ( <i>O. tenuis</i> )		+++	尖甲藻 ( <i>Oxytoxum</i> sp.)	++	
两栖颤藻 ( <i>O. amphibia</i> )	+++		原多甲藻 ( <i>Protoperdinium</i> sp.)	+	
紫管藻 ( <i>Porphyrosiphon notarisii</i> )		++	裸藻门 裸藻 ( <i>Euglena</i> sp.)	++	
席藻 ( <i>Phormidium</i> sp.)	++	+	纤细裸藻 ( <i>E. gracilis</i> )	++	
小席藻 ( <i>Ph. tenue</i> )	+++	+++	鱼形裸藻 ( <i>E. pisciformis</i> )	++	
鞘丝藻 ( <i>Lyngbya</i> sp.)	++	++	尾裸藻 ( <i>E. caudata</i> )		+
湖泊鞘丝藻 ( <i>L. limnetica</i> )	++	+++	扁裸藻 ( <i>Phacus</i> sp.)	+	
螺旋鞘丝藻 ( <i>L. contorta</i> )		++	小型扁裸藻 ( <i>P. parvulus</i> )	+	
大型鞘丝藻 ( <i>L. major</i> )		+	糙纹囊裸藻 ( <i>Trachekmonas scabra</i> )	+	
绿藻门 衣藻 ( <i>Chlamydomonas</i> sp.)	++	+++	隐藻门 尖尾蓝隐藻 ( <i>Chroomonas acuta</i> )	+++	+++
球衣藻 ( <i>Ch. globosa</i> )	++	+++	隐藻 ( <i>Cryptomonas</i> sp.)	+	++
布朗衣藻 ( <i>Ch. braunii</i> )	++		卵形隐藻 ( <i>C. ovata</i> )	++	
德巴衣藻 ( <i>Ch. debarjana</i> )		++	金藻门 单鞭金藻 ( <i>Chromulina</i> sp.)	+	
四鞭藻 ( <i>Carteria</i> sp.)	+		三毛金藻 ( <i>Prinnesium</i> sp.)	+	

+ 少见种, ++ 常见种, +++ 优势种。

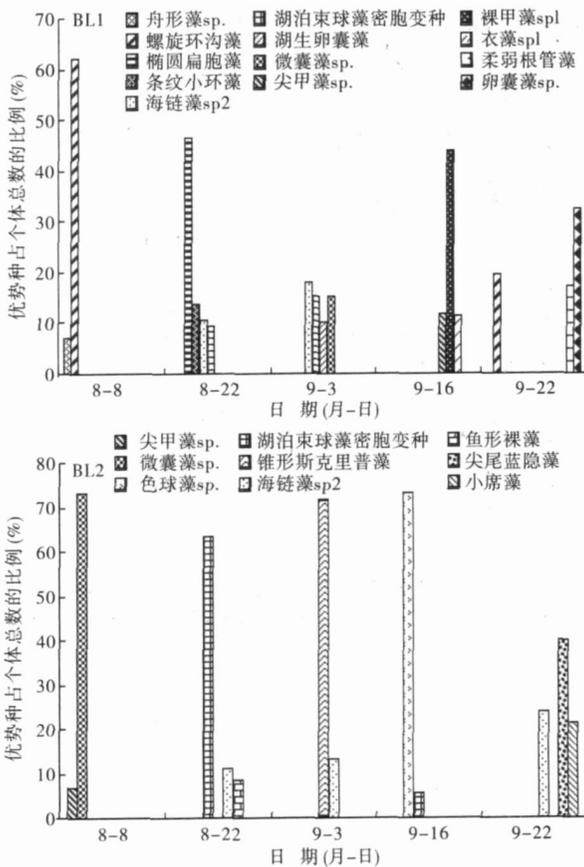


图 1 北寮高位虾池浮游植物优势种的演替  
Fig 1 Succession of dominant species of phytoplankton in exalted shrimp ponds at Beiliao

43.8%) 等 3 种优势种, 养殖末期 (9 月 29 日末次采样) 再演替为绿藻门的卵囊藻 (占个体总数的 32.4%) 等 3 种优势种。BL1 的养殖过程呈现甲藻-绿藻 + 蓝藻-硅藻 + 绿藻-甲藻-绿藻的演替状况。

BL2 优势种为蓝藻门的小席藻 (*Phormidium tenue*)、湖泊束球藻密胞变种、微囊藻和色球藻 (*Chroococcus* sp.), 硅藻门的海链藻, 隐藻门的尖尾蓝隐藻 (*C. acuta*), 甲藻门的锥形斯克里普藻 (*Scripsiella trochoidea*) 和尖甲藻, 以及裸藻门的鱼形裸藻 (*Euglena pisciformis*) 共 9 种。BL2 每次采样的优势种类变化也较大且每次采样中都有一种较为突出的优势种 (图 1-BL2)。养殖初期 (8 月 8 日首次采样) 以蓝藻门的微囊藻占绝对优势 (占个体总数的 73.3%), 然后演替为 (8 月 22 日第 2 次采样) 的蓝藻门的湖泊束球藻密胞变种 (占个体总数的 63.5%) 等 3 种优势种, 中期 (9 月 3 日) 演替为甲藻门的锥形斯克里普藻 (占个体总数的 71.4%) 和硅藻门的海链藻 2 优势种, 后期 (9 月 16 日) 再演替为蓝藻门的色球藻 (占个体总数的 73.0%) 和湖泊束

球藻密胞变种 2 优势种, 末期 (9 月 29 日) 演替为隐藻门的尖尾蓝隐藻、硅藻门的海链藻和蓝藻门的小席藻 3 种比较均衡的优势种, 此时浮游植物群落结构也相对较稳定。BL2 的整个过程呈现蓝藻-甲藻 + 硅藻-蓝藻-隐藻 + 硅藻 + 蓝藻的演替态势。

AL1 优势种为硅藻门的柔弱布纹藻 (*Gyrosigma tenuissimum*)、咖啡形双眉藻 (*Amphora coffeaeformis*) 和角毛藻 (*Chaetoceros* sp. 2), 蓝藻门的卷曲鱼腥藻 (*Anabaena circinlis*)、小席藻和铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*), 以及绿藻门的衣藻 (*Chlamydomonas* sp. 2) 共 7 种。养殖初期 (8 月 9 日) 的优势种为硅藻门的柔弱布纹藻 (占个体总数的 46.2%) 和咖啡形双眉藻 (占个体总数的 24.8%), 随后 (9 月 10 日第 2 次采样) 就演替为蓝藻的小席藻 (占个体总数的 15.2%) 和卷曲鱼腥藻 (占个体总数的 46.2%), 中期 (10 月 15 日第 3 次采样) 以后演替为蓝藻的小席藻 (占个体总数的 33.8%) 和铜绿微囊藻 (占个体总数的 40.5%), 此时对虾开始发病死亡, 铜绿微囊藻一直保持着优势直至末期 (12 月 3 日

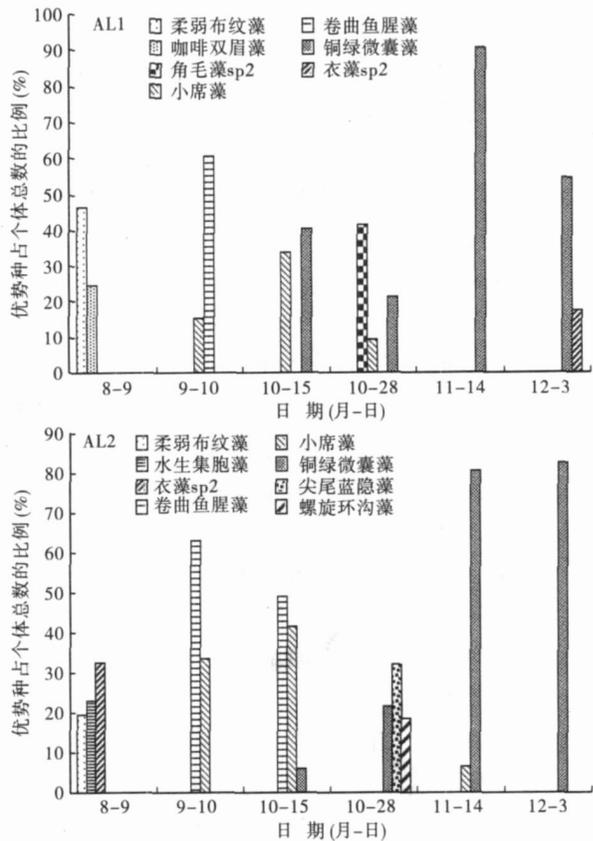


图 2 庵里高位虾池浮游植物优势种的演替  
Fig 2 Succession of dominant species of phytoplankton in exalted shrimp ponds at Anli

采样), 而且优势度更为显著(图 2-AL1)。AL1 的整个过程先是硅藻占有优势, 随后一直是蓝藻占据优势, 且中期发病后蓝藻的铜绿微囊藻的优势一直延续到末期。

AL2 优势种为蓝藻门的卷曲鱼腥藻、小席藻、铜绿微囊藻和水生集胞藻 (*Synechocystis aquetilis*), 硅藻门的柔弱布纹藻, 绿藻门的衣藻 (*Chlamydomonas* sp. 2)、隐藻门的尖尾蓝隐藻以及甲藻门的螺旋环沟藻共 8 种。各时期的优势种及演替过程似于 AL1。整个养殖过程由初期的硅藻 + 蓝藻 + 绿藻演替为蓝藻占有优势, 然后这种优势一直延续到末期, 后期到末期铜绿微囊藻占有绝对优势(图 2-AL2)。

由此可见, 正常收虾的北寮高位池浮游植物的优势种类比中途发病的庵里高位池要多, 养殖过程演替速度快且门类交替变化, 而庵里的高位池只在初期其他门类占有优势, 之后一直是蓝藻占据优势, 发病弃于管理后, 蓝藻门的铜绿微囊藻占有绝对优势。

### 2.3 浮游植物密度变化

高位虾池正常养殖过程中, 浮游植物密度(图 3)大大高于传统池(查广才等, 2004; 张才学等, 2006)。BL1 和 BL2 浮游植物密度变化相似, 初次采样时密度较低, 第 2 和第 4 次采样分别出现一个峰值, 中间第 3 次采样的浮游植物密度出现一高于第一次的小低谷, 整体表现为锯齿状上升, 2 池最高密度均出现在第 4 次, 分别为  $23.39 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $46.35 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 。AL1 初次采样时浮游植物密度较低, 为  $4.19 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 随后上升在第 2 次出现一峰值, 为  $30.58 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 在第 3 次下降一小低谷后到第 4 次又回升次峰值  $17.65 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 之后浮游植物密度呈现下降趋势; AL2 初次采样时的浮游植物密度也较低, 仅有  $0.49 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 之后一路上升, 至中期第 3 次出现峰值达到  $42.40 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 随后的 3 次采样呈现下降趋势。总体而言, AL1 和 AL2 浮游植物密度大体呈现出中间高两头低的变化趋势, 发病弃于管理后, 浮游植物密度下降。

### 2.4 浮游植物物种多样性、均匀度和优势度的变化

多样性指数和均匀度是反映群落结构复杂性和稳定性的重要指标, 其值越大, 群落结构越复杂和稳定。北寮 2 池的多样指数变化范围为 1.67~3.82, 均值为 2.43; 2 池刚放苗时浮游植物多样性指数较低, 并随着养殖过程推移呈升高态势, 且 BL1 中期

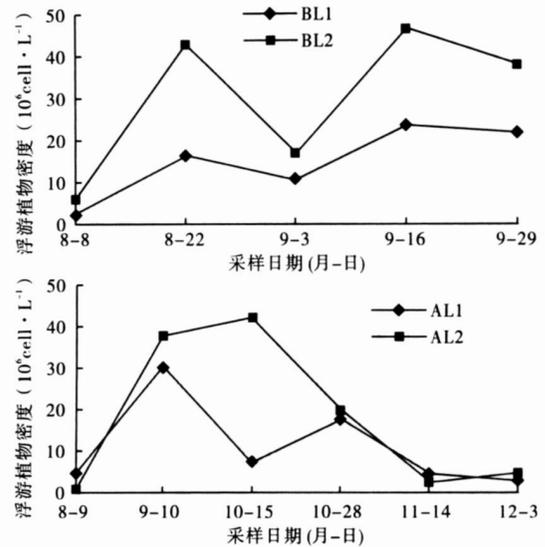


图 3 高位虾池浮游植物密度的变化

Fig. 3 Change of phytoplankton densities in exalted shrimp ponds

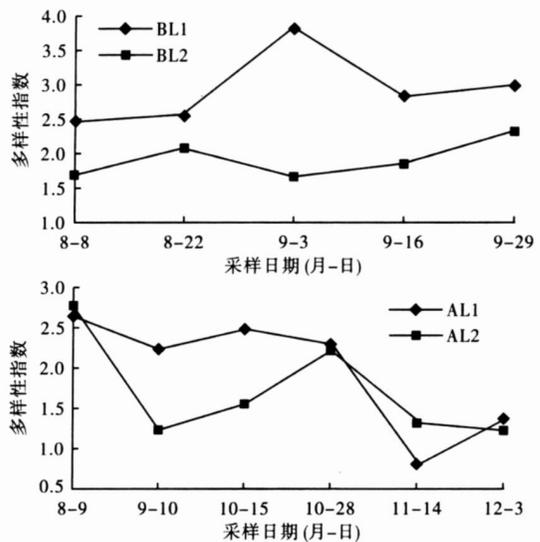


图 4 高位虾池浮游植物物种多样性指数变化

Fig. 4 Change of diversity index of phytoplankton in exalted shrimp ponds

(第 3 次) 的多样性指数高达 3.82(图 4)。庵里 2 池的多样指数变化范围为 0.80~2.75, 均值为 1.66。AL1 和 AL2 的浮游植物多样性指数均以养殖初期最高, 分别为 2.62 和 2.75, 但其整体呈下降态势, 尽管 AL2 中期有波动状上升, 发病弃于管理的后期 2 池多样性指数明显降低(图 4)。北寮两池的均匀度变化范围为 0.35~0.74, 均值为 0.49。BL1 和 BL2 的均匀度随养殖时间的延长总体呈上升趋势(图 5)。庵里两池的均匀度变化范围为 0.17~0.66, 均值为 0.36。AL1 和 AL2 均匀度在整个调查

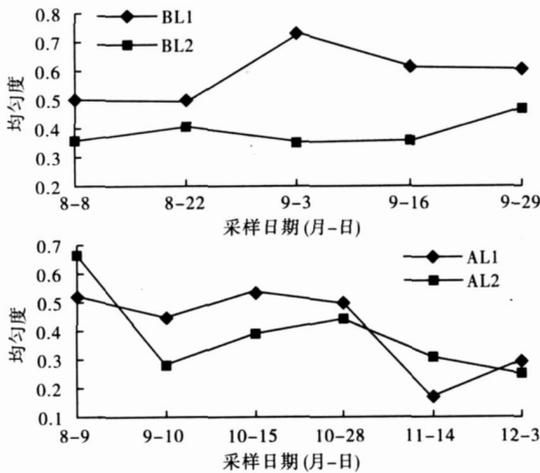


图5 高位虾池浮游植物物种均匀度变化  
Fig. 5 Change of evenness index of phytoplankton in exalted shrimp ponds

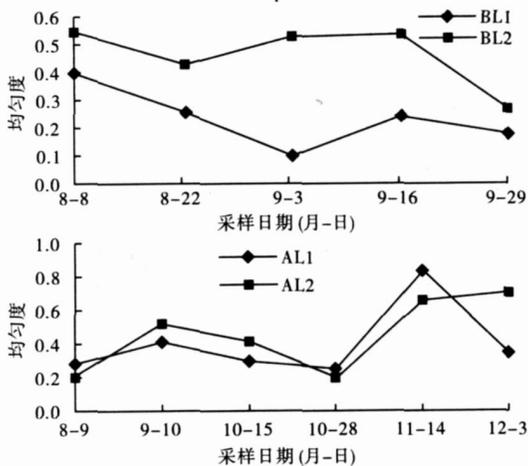


图6 高位虾池浮游植物物种优势度变化  
Fig. 6 Change of dominance of phytoplankton in exalted shrimp ponds

期间波动较大却总体呈下降态势(图5)。浮游植物群落优势度与多样性指数相反(图6), BL1和BL2优势度总体呈下降态势, 2池优势度的变化范围为0.10~0.55, 均值为0.35, 而AL1和AL2整个调查期间虽有波动, 整体上仍是上升态势, 优势度后期高于前期(图6), 其变化范围为0.20~0.82, 均值为0.46。因此, 根据上述变化状况, 北寮2高位虾池的物种多样性和均匀度高于庵里的2池, 优势度却相反, 表明北寮高位虾池的浮游植物群落结构比发病的庵里稳定。

### 3 讨论

#### 3.1 高位虾池养殖过程浮游植物密度变化

对虾高位池养殖是一种集约化的新型精养模

式, 这种养殖模式的虾池是一个相对封闭的围隔生态系统, 该系统受到投饵、换水、消毒、施用益生菌等多种人工因子的调控(张文强等, 2003)。从放苗开始, 养殖过程中每天需要投喂适量的配合虾饲料, 进入虾池未被对虾摄食的残余饲料在微生物的矿化分解作用下, 释放出氮磷营养盐, 另外, 对虾代谢的排泄物也释放出营养盐, 这些营养盐直接刺激了浮游植物的繁殖, 导致浮游植物密度增加。因此, 随着养殖过程的延伸, 北寮的2虾池浮游植物密度总体呈上升态势, 中间小幅下降可能与此时换水有关; 而庵里2虾池在发病前, 浮游植物密度也是呈上升态势, 发病后弃于管理, 不再投喂饲料, 无有机物的输入, 营养盐补充少, 所以浮游植物密度弃于管理后呈下降态势。研究表明(查广才等, 2004; 李卓佳等, 2005; 张才学等, 2006), 养殖虾池早期的浮游植物密度低, 中后期都显著增加。

#### 3.2 浮游植物群落与环境因子的关系

在对虾养殖的水环境中, 水体理化因子的变化必然影响浮游植物种类(尤其是优势种)和群落结构变化, 这些变化也同时受到人工因子的调控影响。水体理化因子和浮游植物的剧烈变化, 可能导致虾病的发生(米振琴等, 1999)。水体盐度较低、水温温和(Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna 2003)以及pH值高(查广才等, 2004)有利于蓝藻的生长繁殖而竞争成为优势种, 以蓝藻(例如微囊藻)为优势种的浮游植物种群数量的增加极易产生有害水华(Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna 2003), 导致水环境的恶化、虾病发生。

在本研究中的北寮, 2虾池养殖期为8月8日—9月29日(之前有育苗过程), 在此期间, 虾池水温相对较高且变幅较小, pH值较低变幅小, 盐度虽较低但相对稳定且变幅小(表2), 在这种条件下, 蓝藻不易成为优势种类, 所以北寮2虾池养殖过程浮游植物演替快且各类型交替变化。而在庵里, 2虾池从8月9日开始放苗(之前无育苗过程), 此时的盐度、水温和pH值都较高(表3), 之后, 虾池盐度降低, 水温下降变得温和, 但仍保持了较高的pH值, 这种条件有利于蓝藻的生长繁殖, 在第2次(9月10日)采样时, 蓝藻就演替为浮游植物的优势类型, 致使水环境条件逐步恶化, 如此可能导致了虾病害的发生(10月13日), 在第3次采样时(10月15日), 发现蓝藻门的铜绿微囊藻开始成为优势种, 对虾病害死亡分解, 虾池又弃于管理, 水环境恶化状

况加剧,使得具有排它和产毒性铜绿微囊藻 (Alonso-Rodríguez & Pérez-Osuna 2003; 查广才等, 2004) 在后期成为一枝独秀的优势种。由此可见,北寮和庵里 2 处虾池浮游植物优势种群及其演替的差异,与虾池水体理化因子的变化密切相关。虾池浮游植物优势种类多而复杂,对保持群落结构稳定具有重要作用。

另外,本项研究中,浮游植物细胞密度与温度、pH、盐度、COD、营养盐(氮、磷、硅)及其原子比这些因子之间关系不显著,这可能与浮游植物的生长繁殖需要一定的时间积累、浮游植物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,养殖过程受到各种人为因素的调控,这可能也是浮游植物与主要理化因子相关性不显著的原因。有报道,氮或磷营养盐是虾池浮游植物生长的限制因子(孙耀等, 1998; 米振琴等, 1999),本项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(表 2、表 3),浮游植物的生长不受营养盐绝对缺乏的限制,但发现在此过程中水体 N/P 和 Si/P 的比值逐渐增加,表明浮游植物的生长受磷缺乏的相对限制(Justić *et al.*, 1995)。

### 3.3 浮游植物群落特征

如上所述,虾池水体理化因子的变化影响到浮游植物种类变化,必然相应影响到表征浮游植物群落结构的物种多样性指数、均匀度和优势度的变化。多样性指数和均匀度是反映群落结构复杂性和稳定性的重要指标,其值越大,群落结构越复杂和稳定(马克平和刘玉明, 1994)。在北寮,尽管养殖过程水体富营养化,但虾池水体温盐、pH 值和 COD 变化平缓(表 2),浮游植物优势种类演替快而门类交替,以致多样性指数和均匀度总体呈上升态势且均值较高、优势度总体下降且均值较低,如此以来,浮游植物群落结构相对稳定,总体水环境良好,不易导致虾病发生(米振琴等, 1999; 李卓佳等, 2005)。而在庵里的 2 池,仅初期的多样性指数和均匀度较高,随着水体温盐、pH 等理化因子的变化(表 3),单一的蓝藻成为浮游植物的优势类型,且物种多样性指数和均匀度下降,优势度上升,群落结构相对简单,稳定性差,水体环境恶化,这无疑也是导致 2 处虾池发生病害的原因(米振琴等, 1999; 李卓佳等, 2005)。故此,对比北寮和庵里,高位虾池理化因子变化平缓,浮游植物有较高的多样性指数和均匀度、较低的优

势度对于稳定虾池养殖水环境有重要意义。

### 参考文献

- 查广才,周昌清,黄建荣,等. 2004 凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落及多样性. 生态学报, 24(8): 1752-1759
- 陈伟珍,林轩,杨桂珍,等. 2004 湛江港沙湾对虾养殖场虾池水质状况分析. 水产科学, 23(10): 12-15
- 国家质量技术监督局. 1999a 海洋监测规范(第 7 部分): 近海污染生态调查和生物监测 GB 17378.7-1998 北京: 中国标准出版社: 55-59
- 国家质量技术监督局. 1999b 海洋监测规范(第 4 部分): 海水分析 GB 17378.4-1998 北京: 中国标准出版社: 86-161
- 郭玉洁,钱树本. 2003 中国海藻志. 北京: 科学出版社.
- 胡鸿钧,魏印心. 2006 中国淡水藻类——系统分类及生态. 北京: 科学出版社.
- 李卓佳,张汉华,郭志勋,等. 2005 虾池浮游微藻的种类组成、数量和多样性变动. 湛江海洋大学学报, 25(3): 29-33
- 马克平,刘玉明. 1994 生物群落多样性的测度方法. I.  $\alpha$  多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231-239
- 米振琴,谢骏,潘得博,等. 1999 精养虾池浮游植物、理化因子与虾病的关系. 上海水产大学学报, 8(4): 304-308
- 孙耀,李锋,李健,等. 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
- 王小谷,孙浩波,杨丹. 2002 南美白对虾淡养过程中虾池水质测定与分析. 东海海洋, 20(3): 38-44
- 张才学,劳赞,廖宝娇,等. 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
- 张文强,杜若谦,常传刚,等. 2003 南方高位池养殖模式. 齐鲁渔业, 20(5): 17-18
- 郑重,李少菁,许振祖. 1984 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社.
- Alonso-Rodríguez R, Pérez-Osuna F. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: A review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*, 219: 317-336
- Cremen MCM, Martinez-Goss MR, Corre Jr VL, *et al.* 2007. Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology. *Journal of Applied Phycology*, 19: 615-624
- Justić D, Rabalais NN, Turner RE, *et al.* 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 40: 339-356

作者简介 张瑜斌,男,1970生,博士,副教授。主要从事海洋生态学研究。E-mail: zhangyl@gdou.edu.cn  
责任编辑 李凤芹