

广西北海凡纳滨对虾养殖池塘叶绿素 a 和微藻的变化研究*

Variation of Chlorophyll a Concentration and Microalgae Composition in *Litopenaeus vannamei* Culture Ponds in Beihai, Guangxi

廖思明^{1,2} 陈剑锋³ 阎冰^{1,2} 吴斌^{1,2} 兰国宝^{1,2}

LIAO Si-ming^{1,2}, CHEN Jian-feng³, YAN Bing^{1,2}, WU Bin^{1,2}, LAN Guo-bao^{1,2}

(1. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西北海 536000; 2. 北海市水产技术推广站, 广西北海 536000)

(1. Guangxi Academy of Sciences, Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, Guangxi 536000, China; 2. Beihai Fishery Technology Popularization Centre, Beihai, Guangxi 536000, China)

摘要: 于不同养殖时间, 采集广西北海市 3 口凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 养殖池塘水样, 调查养殖水中叶绿素 a 浓度和微藻组成。叶绿素 a 浓度用分光光度三波长法测定, 微藻分类计数用镜检法进行, 微藻多样性分析用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 种类均匀度指数和种类优势度指数进行。结果表明 3 口池塘叶绿素 a 的浓度养殖前期低, 在 10.0 μg/L 以内, 养殖中期增长迅速, 养殖后期达到 150.0 μg/L; 微藻细胞密度在养殖前期低于 20×10⁶ cells/L, 养殖后期高于 100×10⁶ cells/L; 微藻多样性指数和均匀度指数皆为养殖前期高, 养殖中后期逐渐降低, 多样性指数 0.98 ~ 3.15, 均匀度指数 0.28 ~ 0.82; 在养殖前期, 微藻的种类较多, 优势种是硅藻和绿藻, 养殖中后期种类减少, 优势种是绿藻、蓝藻和甲藻。

关键词: 凡纳滨对虾 叶绿素 a 微藻 优势种 养殖池塘

中图分类号: S968.22 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2012)02-0160-05

Abstract: Variation of chlorophyll a (Chl. a) concentration and microalgae composition was studied in 3 culture ponds of *Litopenaeus vannamei* in Beihai City. The results indicated that there was a distinct change of Chl. a concentration during the culture period. In the early stage, Chl. a concentration was lower than 10.0 μg/L, then it increased rapidly and reached about 150.0 μg/L in the late stage. Similar to Chl. a concentration, cell density of microalgae was lower than 20×10⁶ cells/L in the early stage and higher than 100×10⁶ cells/L in the late stage. On the contrary, diversity index and evenness of microalgae were high in the early stage and low in the late stage. The diversity index fluctuated from 0.98 to 3.15, and the evenness index from 0.28 to 0.82. There were more microalgae species in the early stage than that in the late stage. In the early stage, the dominant species belonged to *Bacillariophyta* and *Chlorophyta*, and that belonged to *Chlorophyta*, *Cyanophyta* and *Pyrophyta* in the late stage. There were some little differences on the variation of Chl. a concentration and microalgae composition in the three culture ponds.

Key words: *Litopenaeus vannamei*, chlorophyll a, microalgae, dominant species, culture pond

收稿日期: 2012-04-07

修回日期: 2012-05-06

作者简介: 廖思明 (1969-), 女, 副研究员, 主要从事海洋生物资源开发研究。

* 广西自然科学基金项目 (桂科青 0542023), 北海市科技攻关项目 (200502045), 广西科技攻关项目 (桂科攻 0719005-2-2C) 资助。

对虾养殖池塘是一种相对封闭的养殖系统, 其高氮、高磷、富营养化的水体环境为高密度的对虾生长提供物质基础。在对虾养殖业中, 素有“养虾即养水”的说法, 水质状况对虾体的健康生长有直接影响。浮游藻类是水产动物直接或间接的饵料基础, 是

水生态系统的生产者,决定着特定水域的生产性能^[1]。水中藻类的种类和数量影响池塘水质,也影响养殖动物的健康^[2,3]。叶绿素 a 是植物进行光合作用时吸收和传递光能的主要物质,叶绿素 a 含量的高低可以反映水体中浮游植物生物量的多寡^[4,5]。广西北海地区是我国华南对虾主产区之一,对这一地区对虾养殖池塘叶绿素 a 和水体理化因子的研究有一些报道^[6,7],但是关于叶绿素 a 和微藻组成变化的研究不多。本文研究北海市大墩海村 3 口凡纳滨对虾养殖池塘叶绿素 a 浓度和微型藻(微藻)组成,以为科学调控水质,预防虾病发生,增加对虾产量和提升对虾品质,提供指导依据。

1 材料和方法

1.1 虾塘概况

以北海市大墩海村 3 口凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)养殖池塘(虾塘编号为 1 号、2 号、3 号)为研究对象,虾塘四周为水泥护坡,底部铺设塑料薄膜,1~3 号池塘的面积分别为 0.67hm²、0.95hm²、0.88hm²,3 口池塘深 1.8m,有效水深 1.2~1.5m。每个池塘配备 3 台 1.5kW 的水车式增氧机,每天早晚各开启 4h。养殖用水为近海纳潮海水,经 80 目筛绢锥形网袋过滤后用于养殖。对虾放养密度为 45 万尾/公顷,养殖期间投喂全价配合饲料。

1.2 样品采集和分析

2006 年从 7 月 11 日虾苗投苗至 10 月 19 日收虾,约每 10 天到上述池塘采样 1 次,采样时间为上午 9:00~10:00。采样时,在池塘 4 个角和中间各取距水面 0.5m 水层处的水 1000ml,混合后进行分析。现场监测记录水温、水色、盐度、pH 值。盐度用比重计测量后换算,pH 值用便携式 pH 计测量。叶绿素 a 的测量依据文献[8]的分光光度三波长法,取 500ml 水样,用孔径为 0.45μm 的醋酸纤维素滤膜进行减压抽滤。将滤膜放入 15ml 具塞离心管,加入 90% 的丙酮溶液 10ml,用涡旋混合仪使其充分振荡,于冰箱内提取 24h,在 4000r/min 下冷冻离心 10min,吸取上清液并加入 1cm 比色皿中,用分光光度计测定 750nm、664nm、647nm 和 630nm 处的吸光度,以 90% 丙酮溶液作为参比,用以下公式计算叶绿素 a 的浓度。

$$\rho_{\text{Chl-a}} = (11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}) \times v / (V \cdot L)$$

式中, $\rho_{\text{Chl-a}}$ 为叶绿素 a 的浓度, v 为提取液体积, V 为水样品实际用量, L 为测定池光程。

广西科学 2012 年 5 月 第 19 卷第 2 期

微藻分类计数采用镜检法。取 1000ml 水样并加 5% 体积的甲醛溶液固定,静置沉淀并浓缩后,用 0.1ml 浮游植物计数框,在显微镜下计数分类。多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Pielou 种类均匀度指数 J 和种类优势度指数 Y ^[9] 进行,计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad P_i = n_i / N$$

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

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种类个体数, N 为总个体数, f_i 为该种的出现频率, S 为种类数, P_i 为 i 种所占比例,优势度指数 Y 大于 0.02 的种类为优势种。

2 结果与分析

2.1 温度、盐度及 pH 值的变化

从投虾苗至收虾,3 口池塘的水温、盐度、pH 值变化皆比较平缓,变化相似。由于正值高温时节,水温基本维持在 28~30℃ 之间,10 月份稍降至 25℃ 左右(图 1)。盐度为 14.15‰~23.55‰,养殖前期(7 月 11 日~8 月 10 日)与后期(9 月 29 日~10 月 19 日)皆大于 16.8‰,中期(8 月 19 日~9 月 19 日)降至 14‰ 左右(图 2),这是受台风和暴雨短暂影响所致。pH 值皆大于 8.0,多为 8.1~8.8(图 3)。

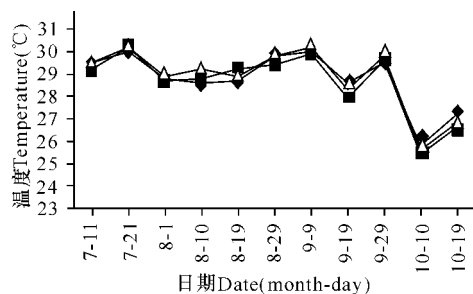


图 1 温度的变化

Fig. 1 Variation of culture water temperature

◆: 1#, ■: 2#, ▲: 3#.

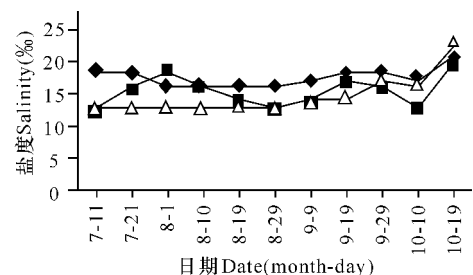


图 2 盐度的变化

Fig. 2 Variation of culture water salinity

◆: 1#, ■: 2#, ▲: 3#.

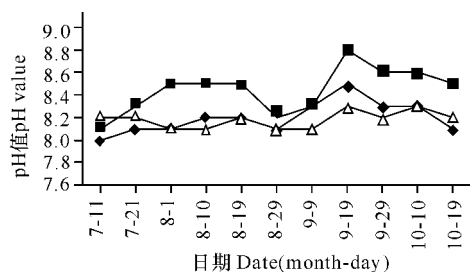


图3 pH值的变化

Fig. 3 Variation of pH value

◆: 1#, ■: 2#, ▲: 3#.

2.2 叶绿素 a 浓度变化

3 口池塘的叶绿素 a 的浓度养殖前期低,中后期高。在养殖开始的 1 个月内,叶绿素 a 的浓度在 $10.0\mu\text{g/L}$ 以下,中期迅速增长,后期达到 $150.0\mu\text{g/L}$ 左右,但是 3 口池塘的变化情况并不完全相同。1 号池塘的最高值是 10 月 10 日的 $157.7\mu\text{g/L}$,次高值是 9 月 19 日的 $148.8\mu\text{g/L}$,后期浓度高而且变化幅度大,至收虾时降至 $59.3\mu\text{g/L}$; 2 号池塘的次高值是 9 月 19 日的 $103.5\mu\text{g/L}$,其后降低,又逐渐升高,至收虾时达到最高值 $116.2\mu\text{g/L}$; 3 号池塘的叶绿素 a 浓度则是随着养殖时间的推移而逐步升高,至收虾时达到最高值 $143.5\mu\text{g/L}$,次高值是 10 月 10 日的 $91.4\mu\text{g/L}$ (图 4)。

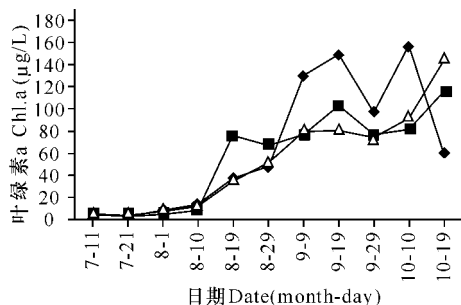


图4 叶绿素 a 浓度变化

Fig. 4 Variation of Chl. a concentration

◆: 1#, ■: 2#, ▲: 3#.

2.3 微藻的变化

2.3.1 微藻细胞密度的变化

3 口池塘的微藻细胞密度也是养殖前期低,中后期高。在养殖前期 3 口池塘的微藻细胞密度变化不大,皆在 20×10^6 cells/L 以下,从 8 月中旬开始,微藻细胞密度呈现快速增长的态势。1 号池塘 8 月 19 日的微藻细胞密度 (46.8×10^6 cells/L) 是 8 月 9 日的 (16.2×10^6 cells/L) 近 3 倍,9 月 9 日的微藻细胞密度 (126.6×10^6 cells/L) 是 8 月 29 日的 (55.3×10^6 cells/L) 2 倍多,其后维持在 100.0×10^6 cells/L 的高值但变化剧烈,到 10 月 10 日达最高值 139.6×10^6 cells/L,而 10 月 19 日则降至 83.6×10^6 cells/L; 2 号池塘 8

月 19 日的微藻细胞密度比 8 月 9 日的猛增了 7 倍,达到 89.5×10^6 cells/L,然后波动式增长,到 10 月 19 日达最高值 113.6×10^6 cells/L; 3 号池塘 8 月 19 日的微藻细胞密度 (45.2×10^6 cells/L) 比 8 月 9 日的 (12.6×10^6 cells/L) 增长了 3 倍,到收虾时藻细胞密度为最高值 127.5×10^6 cells/L (图 5)。

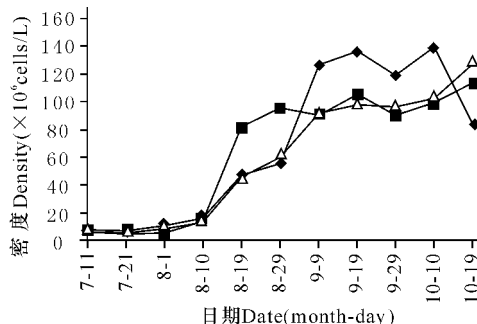


图5 微藻细胞密度变化

Fig. 5 Variation of cell density of microalgae

◆: 1#, ■: 2#, ▲: 3#.

2.3.2 微藻种类组成、优势种、多样性指数和均匀度指数变化

3 口池塘的微藻种类组成,养殖前期种类较多,主要是硅藻和绿藻,优势种有硅藻门的菱形藻 (*Nitzschia* spp.)、舟形藻 (*Navicula* spp.)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和绿藻门的小球藻 (*Chlorella* sp.)、卵囊藻 (*Oocystis* sp.) 等; 养殖中后期种类减少,优势种也发生了变化,主要是绿藻、蓝藻和甲藻,3 口池塘的微藻种类组成略有不同。1 号池塘中后期的优势种有绿藻门的小球藻、蓝藻门的颤藻 (*Oscillatoria* spp.) 2 号池塘的优势种为绿藻门的小球藻、蓝藻门的颤藻和甲藻门的多甲藻 (*Peridinium* spp.) 3 号池塘的优势种为绿藻门的卵囊藻 (*Oocystis* sp.)、硅藻门的中肋骨条藻和蓝藻门的微囊藻 (*Microcystis* spp.) 详见表 1。

表 1 微藻的优势种组成和变化

Table 1 Variation of dominant species of microalgae

日期 Date (month-day)	塘号 Number of pond	优势种* Dominant species
07-11	1#	舟形藻 <i>Navicula</i> spp. (23.6)、菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (21.8)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (16.2)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (13.5)
	2#	舟形藻 <i>Navicula</i> spp. (23.3)、菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (22.5)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (15.1)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (13.2)
	3#	舟形藻 <i>Navicula</i> spp. (25.9)、菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (19.6)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (18.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (15.3)

续表 1

Continued table 1

日期 Date (month-day)	塘号 Number of pond	优势种* Dominant species
07-21	1 [#]	舟形藻 <i>Navicula</i> spp. (21.2)、菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (20.3)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (17.6)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (15.5)
	2 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (23.7)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (21.2)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (16.8)
	3 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i> (22.6)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (21.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (17.2)、舟形藻 <i>Navicula</i> spp. (13.6)
08-01	1 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (22.6)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (17.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (16.3)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (12.5)
	2 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (23.6)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (21.5)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (15.2)
	3 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i> (23.3)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (18.8)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (17.2)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (12.5)
08-10	1 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (23.5)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (19.6)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (16.2)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (15.5)
	2 [#]	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp. (23.5)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (19.9)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (15.5)
	3 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (23.9)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (18.3)、牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (15.2)
08-19	1 [#]	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (31.1)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (20.6)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (17.9)
	2 [#]	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (29.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (28.6)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (19.8)
	3 [#]	卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (31.3)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (20.5)、绿球藻 <i>Chlorococcus</i> sp. (16.9)
08-29	1 [#]	多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (30.9)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (28.6)
	2 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (33.2)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (21.9)
	3 [#]	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (26.8)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (25.5)、绿球藻 <i>Chlorococcus</i> sp. (16.3)
09-09	1 [#]	多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (31.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (23.3)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (18.5)
	2 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (29.3)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (23.9)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (18.6)

续表 1

Continued table 1

日期 Date (month-day)	塘号 Number of pond	优势种* Dominant species
	3 [#]	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (29.8)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (26.6)、微囊藻 <i>Microcystis</i> spp. (15.9)
09-19	1 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (36.9)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (23.7)
	2 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (29.2)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (26.6)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (18.8)
	3 [#]	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (26.9)、微囊藻 <i>Microcystis</i> spp. (25.5)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (15.5)
09-29	1 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (30.6)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (28.7)
	2 [#]	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (29.6)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (26.5)、颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (19.3)
	3 [#]	微囊藻 <i>Microcystis</i> spp. (36.6)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (25.2)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (18.5)
10-10	1 [#]	颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (58.5)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (22.6)
	2 [#]	颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (46.6)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (17.6)、多甲藻 <i>Peridinium</i> spp. (15.5)
	3 [#]	微囊藻 <i>Microcystis</i> spp. (43.6)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (21.3)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (16.6)
10-19	1 [#]	颤藻 <i>Oscillatoria</i> (75.3)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> spp. (12.9)
	2 [#]	颤藻 <i>Oscillatoria</i> spp. (55.9)、小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (15.6)
	3 [#]	微囊藻 <i>Microcystis</i> spp. (48.9)、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp. (17.1)、中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (12.6)

* 括号中的数字为该微型藻类占微型藻类总密度的百分比。

The number in paren is the percentage of the species amount in total amount of all microalgae species.

3 口池塘浮游微藻多样性指数和均匀度指数的变化基本一致,均表现为养殖前期较高 ($H' > 2.5$, $J > 0.5$), 养殖中后期逐渐降低,多样性指数 0.98 ~ 3.15, 均匀度指数 0.21 ~ 0.82 (表 2)。

3 讨论

3.1 叶绿素 a 和微藻细胞密度

叶绿素 a 作为藻类细胞的主要成分,是水体中藻类数量的重要表征。3 口凡纳滨对虾养殖池塘叶绿素 a 的浓度与微藻细胞密度变化相似,无论是养殖前期的低值还是养殖后期的高值,变化基本相似。在养殖前期,3 口池塘的叶绿素 a 浓度在 $10.0 \mu\text{g/L}$ 以下,

表2 微藻的多样性指数和均匀度指数

Table 2 Diversity index and evenness index of microalgae

日期 Date (month-day)	1 [#]		2 [#]		3 [#]	
	H'	J	H'	J	H'	J
07-11	3.15	0.82	3.11	0.76	3.09	0.75
07-21	2.98	0.69	3.15	0.74	3.01	0.71
08-01	3.01	0.71	2.98	0.71	2.87	0.63
08-10	2.72	0.64	2.88	0.68	2.75	0.61
08-19	2.05	0.46	1.98	0.47	2.09	0.48
08-29	1.88	0.43	2.12	0.49	1.93	0.45
09-09	1.45	0.35	2.05	0.46	1.78	0.39
09-19	1.28	0.28	1.56	0.33	1.52	0.33
09-29	1.32	0.33	1.75	0.35	1.43	0.31
10-10	1.21	0.26	1.52	0.28	1.35	0.29
10-19	0.98	0.21	1.33	0.25	1.29	0.26

后期达到 150.0 μg/L 左右。微藻细胞密度在养殖前期低于 20×10⁶ cells/L, 后期高于 100×10⁶ cells/L。1 号池塘的叶绿素 a 浓度 8 月 19 日比 8 月 9 日的增长近 3 倍, 藻细胞密度则增长 2 倍多; 2 号池塘的叶绿素 a 浓度 8 月 19 日比 8 月 9 日的增长 8 倍, 微藻细胞密度增长 7 倍; 3 号池塘的叶绿素 a 浓度 8 月 19 日比 8 月 9 日的增长 3 倍, 微藻细胞密度也增长 2 倍; 两者其后继续增长至达最高值。它们的变化情况, 与于海燕等^[10]在生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度有良好线性关系的结果基本吻合。

3.2 微藻组成

虽然养殖用水是天然纳潮海水, 但是在放苗前已经投放微生物制剂进行育水, 在养殖前期, 水体的微藻种类数较多, 主要是绿藻和硅藻, 藻类组成和近海海域的明显不同^[11, 12], 藻细胞密度较低, 藻类多样性指数和均匀度指数较高。多样性指数和均匀度指数是反映群落结构复杂性和稳定性的重要指标, 值越大, 群落结构越复杂和稳定^[9]。进入养殖中后期, 虾体生长迅速, 投饵增大, 残饵也相应增加, 喜肥耐污的微藻种, 如颤藻、微囊藻等蓝藻类大量繁殖, 成为优势种, 抑制绿藻和硅藻的生长, 微藻多样性降低, 藻细胞密度增大主要是优势种的大量增长所致, 养殖生态趋向脆弱和动荡。1 号池塘在养殖后期, 叶绿素 a 浓度和微藻细胞密度变化大且剧烈, 主要是颤藻成为主要的优势种, 并形成水华, 对养殖对虾构成很大威胁; 2 号池塘养殖后期的优势种主要是颤藻和多甲藻, 藻相变化没有 1 号池塘剧烈; 3 号池塘养殖后期的优势种主要是微囊藻和中肋骨条藻, 藻相变化相对平缓。在养殖中后期, 对虾养殖池塘已成为一个相对封闭、自平衡的生态系统, 有其独特的微藻生态位需求, 因此造成此 3 口池塘微藻相组成略有差异。

3.3 构建良好的藻相环境促进对虾健康养殖

以绿藻和硅藻为优势种的池塘水质稳定, 水色优良, 对虾生长好; 而以分泌毒素的蓝藻或甲藻为优势

种的水体, 则会增加对虾的生长胁迫, 加大养殖风险。如何控制不良微藻特别是有害藻类的过度繁殖, 维持微藻藻相的动态平衡是养殖实践中迫切需要解决的问题之一。利用生态位调控来改变不良微藻的生长环境, 利用种间竞争的关系培养优良微藻来抑制有害微藻的大量滋生, 选取绿藻类中耐污、耐盐等宽生态位性质的微藻用于养殖中后期富营养化的水体环境等^[13-15], 都是一些有益的养殖探索。本研究发现在投苗 1 个月后, 即对虾开始快速生长时, 叶绿素 a 和藻细胞密度增加明显, 其后变化相对平缓。据此, 我们认为, 此时间段可能是养殖中后期藻相形成的关键点, 但是这方面的研究, 未见有报道, 需要养殖实践进一步验证。

参考文献:

- [1] 黄邦钦, 洪华生. 海洋微藻作为海洋生态环境的指示初探 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17(3): 24-28.
- [2] 张瑜斌, 龚玉艳, 陈长平, 等. 高位虾池养殖过程浮游植物群落的演替 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(12): 2532-2540.
- [3] 李卓佳, 张汉华, 郭志勋, 等. 虾池浮游微藻的种类组成、数量和多样性变动 [J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(3): 29-34.
- [4] 李洪波, 柳圭泽, 梁玉波, 等. 辽宁长海海域叶绿素 a 和初级生产力的分布 [J]. 海洋环境科学, 2011, 30(1): 32-36.
- [5] 宁修仁, 刘子琳, 蔡昱明. 我国海洋初级生产力研究二十年 [J]. 东海海洋, 2000, 18(3): 13-20.
- [6] 童万平, 韦曼新, 何本茂, 等. 不同对虾养殖水体中无机磷与叶绿素 a 的关系研究 [J]. 广西科学, 2005, 12(3): 227-229.
- [7] 何本茂, 童万平, 韦曼新. 不同模式对虾养殖水体中硝酸盐和亚硝酸盐的变化特征及其影响因素 [J]. 广西科学, 2005, 12(1): 76-79.
- [8] 国家质量技术监督局. GB17378.7-1998 海洋监测规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [9] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [10] 于海燕, 周斌, 胡尊英, 等. 生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度的关联性研究 [J]. 中国环境监测, 2009, 25(6): 39-43.
- [11] 孙军, 李欣, 田伟. 夏季北部湾的浮游植物群落 [J]. 海洋湖沼通报, 2011, 3: 1-7.
- [12] 高东阳, 李纯厚, 刘广锋, 等. 北部湾海域浮游植物的种类组成与数量分布 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(3): 13-18.
- [13] 黄翔鹤, 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.
- [14] 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.
- [15] 张汉华, 李卓佳, 郭志勋, 等. 益生菌对海水虾池浮游生物的生态调控效果研究 [J]. 海洋科学, 2009, 33(1): 12-19.

(责任编辑: 陈小玲)