

凡纳滨对虾半集约化养殖池塘浮游微藻优势种变动规律及其对养殖环境的影响

彭聪聪^{1,2}, 李卓佳¹, 曹煜成¹, 刘孝竹¹, 胡晓娟¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 研究了凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 滩涂土池半集约化养殖池塘浮游微藻优势种的变动规律, 并结合养殖环境质量进行了分析。共检出微藻优势种 16 种, 养殖前期优势种有蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、新月菱形藻(*Nitzschia closteriu*)、微小多甲藻(*Peridinium pusillum*); 中期优势种有花环小环藻(*Cyclotella operculata*)、加德纳鞘丝藻(*Lyngbya gardnari*)、绿色颤藻(*Oscillatoria chlorina*)、显微蹄形藻(*K. microscopica* Nygaard)、凯氏小球藻(*C. kessleri*)、栖薹柱孢藻(*Cylindrospermum muscicola*)、库津小环藻(*C. kuetzingiana*)、盐泽颤藻(*O. salina*)、微小念珠藻(*Chroococcus cohaerens*)、威利颤藻(*O. williei*); 后期优势种有易略颤藻(*O. neglecta*)、狭细颤藻(*O. angustissima*)、蛋白核小球藻。养殖早期池水透明度较高, 微藻种类较少、密度较低, 其中 2、4 号池因甲藻形成优势导致幼虾成活率较低; 中期微藻因受天气干扰演替较为频繁, 其中 1、2 号池藻相发展不良, 对恶劣天气的抵抗力度明显弱于 3、4 号池; 后期微藻优势种类减少、优势度突出, 颤藻类高密度繁殖, 对虾生长负荷加大, 其中 1 号池对虾有发病症状。结果表明, 由优良微藻优势种类形成的藻相能对养殖环境的稳定起到积极作用, 可有效抵御天气等干扰造成的扰动, 养殖效益良好; 而由不良微藻优势种类构成的藻相, 则会给对虾的生长带来胁迫, 增加养殖风险, 降低养殖效益。

关键词: 凡纳滨对虾; 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:** 1007-6336(2011)02-0193-06

Change of dominant species of planktonic microalgae in *Litopenaeus vannamei*'s semi-intensive culture ponds and its impact on the culture environment

PENG Cong-cong^{1,2}, LI Zhuo-jia¹, CAO Yu-cheng¹, LIU Xiao-zhu¹, HU Xiao-juan¹

(1. South China sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Investigations on the microalgae community were conducted in *Litopenaeus vannamei*'s semi-intensive culture ponds. The variation about dominant species of microalgae in shrimp ponds were identified, moreover, their relationships with culture environment and culture efficiency were analysed. The results showed that a total of 16 dominant species of microalgae were identified. The dominant species in initial phase were *Chlorella pyrenoidosa*, *Nitzschia closteriu* and *Peridinium pusillum*; the ones in the mid-phase were *Cyclotella operculata*, *Lyngbya gardnari*, *Oscillatoria chlorina*, *K. microscopica* Nygaard, *C. kessleri*, *Cylindrospermum muscicola*, *C. kuetzingiana*, *O. salina*, *Chroococcus cohaerens* and *O. williei*; the ones in the final phase were *O. neglecta*, *O. angustissima* and *C. pyrenoidosa*. Microalgae in initial phase were rare and low density, but Dinophyta occupied the dominant position in pond 2 and pond 4, which caused the low survival rate of their shrimp. The succession of Microalgae in the mid-phase was more frequent by weather

收稿日期: 2010-06-09, 修订日期: 2010-09-21

基金项目: 现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(NCYTX-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); 广东省科技计划国家重大科技项目匹配资助项目(粤科函财字[2009]627号); 广东省海洋渔业科技推广专项(A200899A06); 广东省鱼病防治专项(2130108); 对虾自动化养殖设施与无公害健康养殖技术集成与示范(2007BAD29B06)

作者简介: 彭聪聪(1985-), 男, 河南省信阳市人, 硕士研究生, 从事养殖生态环境调控工作, E-mail: congpeng430@163.com

通讯作者: 李卓佳, 女, 研究员, 主要从事水产健康养殖及养殖生态环境调控与修复, E-mail: zhuojiali609@163.com

interference. But due to undesirable algae in pond 1 and pond 2, their resistance to severe weather was weaker than the one in pond 3 and pond 4. In the final phase, the dominant species' number reduced and their dominance was prominent, and *Oscillatoria* bloom well, but the shrimp in pond 1 fell sick. The result showed that the algae composed by excellent dominant species could play a positive role in stabilizing the environment, and effectively resisted the interference by the weather interference, eventually. The shrimp grow health and culture efficiency was good. However, the algae composed by the undesirable microalgae could bring stress to the shrimp growth, increased the risk of culture, and reduced the culture efficiency.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; planktonic microalgae; community structure; dominant species

在养殖生态系统中,浮游微藻担负着初级生产者的角色,对虾池中的能量供应和物质循环起着重要的作用。在养殖过程中,微藻不但可以作为对虾直接或间接的饵料,而且对水质的调节也发挥着重要影响,比如浮游微藻对虾池水色的形成有着直接影响,而水色是反映养殖水环境质量的直观表现。一些有益的微藻可以调节水体溶氧量(DO)、pH等,吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 等有害物质,可有效地改善养殖环境,但一些能分泌毒素的微藻,如赤潮类的甲藻种类^[1],蓝藻类的微囊藻属(*Microcystis*)、鱼腥藻属(*Anabaena*)、颤藻属(*Oscillatoria*)种类等^[2],在密度过高时可能会对对虾的健康生长带来危害。特别是在数量和生物量上都处于优势统治地位的浮游微藻优势种,在水色形成中处于重要地位,也能代表虾池微藻群落的生态特征^[3],其变动会给养殖环境和对虾生长带来影响。因此,阐明虾池微藻优势种群变动规律和对虾健康养殖的相互关系具有重要意义。笔者针对在粤西地区规模较大的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)滩涂土池半集约化养殖池浮游微藻进行取样分析,研究一个完整养殖周期内虾池微藻优势种类分布和更替规律,进一步分析其与养殖环境、效益等的关系,在此基础上探讨针对优势种的调控寻求在虾池中构建优良藻相的方法,以期为提高对虾的健康养殖技术提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及养殖模式

本研究采样地点位于广东省茂名市电白县冠利达生物科技有限公司,选取4口条件基本相同的凡纳滨对虾半集约化养殖土池,编号为1号、2号、3号、4号池塘。各虾池平均面积均约为0.33 hm²,进水前皆清淤,经过晒塘、消毒程序。养殖水源为咸淡水混合,淡水来自当地自然河水,海水来自外海,由管道、沟渠引入池塘。每池设机械增氧机两台,持续机械增氧。1、2号池于5月9日放苗,3、4号池于5月15日放苗,各池放苗密度均为75万/hm²。由于配合生产与市场的需要,各池的采样结束时间并不一致,1号池于7月28日结束采样,养殖90 d左右;2号池于8月25日结束采样,养殖115 d左右;3、4号池于8月11日结束采样,养殖100 d左右。各池对虾终产量和成活率为:1号池2 000 kg,成活率37.57%;2号池1 500 kg,成活率25.74%;3号池2 115 kg,成活率61.78%;4号池1 400 kg,成活率22.51%。其中4号池对虾在养殖第18 d(6月1日)出现病症,1号池对虾在养殖第81 d(7月

28日)左右发病。

1.2 样品的采集与处理

从2009年5月19日起至8月25日,每隔14 d对4口虾塘的微藻和水体进行采样分析。采样时,在每池四周及中央用2.5 L采水器各采水样1份,充分混匀,取1 L倒入聚乙烯塑料瓶,加入5%甲醛溶液固定,静置浓缩24~48 h后,在显微镜下于0.1 mL浮游生物计数框中鉴定并计数。

1.3 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^[4-6]等资料对浮游微藻进行定性鉴定,采用血球计数板进行浮游微藻定量计数。

多样性分析^[7]: Shannon-wiener 数量多样性指数 H_q :

$$H_q = -\sum_{i=1}^s Q_i \log_2 Q_i$$

生物量多样性指数 H_b :

$$H_b = -\sum_{i=1}^s B_i \log_2 B_i$$

优势度分析: 数量优势度 $Y = n_i/N \cdot f$ 。

上述式中: $Q_i = n_i/N$, 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。而 $B_i = b_i/B$, b_i 为物种 i 的生物量; B 为群落样本总生物量; B_i 为第 i 种生物量占总生物量的比例; 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,再乘以微藻的比重换算为微藻的生物量^[8]。

2 结果与分析

2.1 虾池的基本情况与理化因子组成

根据对虾体长、头胸甲长等生长特征,以及凡纳滨对虾的养殖周期,并兼顾考虑采样的周期,将放苗后至6月2日之间视为养殖前期阶段,将6月3日~7月14日视为养殖中期阶段,将7月15~8月25视为养殖后期阶段。

采样期间,水温28~32.4℃,随着养殖时间的延续逐渐升高。pH在7.0~8.7。透明度21~150 cm。各池COD变化范围4.12~12.0 mg/L。各池TN变化范围1.23~6.56 mg/L。各池TP变化范围0.04~0.47 mg/L,其中1、4号池的TP随着养殖进行逐渐升高,2号池的TP维持在较低水平且变化平缓,而3号池的TP虽在中期出现下降,但一直处于较高水平。养殖期间的天气多变,7

月中下旬受强台风“莫拉菲”环流云系等的影响,当地多次出现强降雨,各池均有进行排放水处理。几种主要环境因子的变化如表 1 所示。

表 1 虾池水体几种理化因子的变化

Tab. 1 Changes of some physical and chemical factors in shrimp ponds

不同时期因子的变化		1 号池	2 号池	3 号池	4 号池
S	前期	12 ± 0	11 ± 0	12 ± 1.41	11 ± 0
	中期	9.33 ± 0.58	9.67 ± 1.04	10 ± 0	8.83 ± 2.25
	后期	8 ± 0	7.17 ± 1.04	7.75 ± 2.47	5.5 ± 0.71
透明度/cm	前期	78 ± 31.11	88 ± 45.25	47.5 ± 10.61	56 ± 5.66
	中期	30 ± 5.57	105 ± 14.01	22.3 ± 12.06	41.3 ± 15.63
	后期	35 ± 0	119.3 ± 31.01	30.5 ± 10.61	31.5 ± 0.71
COD/mg · L ⁻¹	前期	9.99 ± 1.57	9.82 ± 0.54	9.95 ± 0.49	9.2 ± 0.34
	中期	9.53 ± 1.19	4.63 ± 0.54	9.24 ± 1.78	7.12 ± 3.02
	后期	10.9 ± 0	6.2 ± 1.41	11.5 ± 0.71	10.14 ± 0.65
TN/ mg · L ⁻¹	前期	1.52 ± 0.27	2.43 ± 0.28	2.23 ± 0.25	1.73 ± 0.43
	中期	3.75 ± 1.59	2.11 ± 0.29	3.44 ± 1.71	1.59 ± 0.44
	后期	4.08 ± 0	5.05 ± 1.17	6.19 ± 0.52	2.54 ± 0.12
TP/ mg · L ⁻¹	前期	0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.1	0.45 ± 0.03	0.09 ± 0.03
	中期	0.24 ± 0.09	0.05 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.1 ± 0.04
	后期	0.22 ± 0	0.07 ± 0.03	0.34 ± 0.1	0.15 ± 0.02

2.2 虾池浮游微藻的种类组成

本研究将每次取样中微藻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^[9]。优势种和常见种是构成池塘藻相结构的重要组成部分。

主要鉴定出的浮游微藻种类有 4 门 48 种,其中蓝藻 21 种,绿藻 10 种,硅藻 14 种,甲藻 3 种。所鉴定的微藻中,蓝藻、绿藻种类多为常见种和优势种,硅藻类多为常见种,甲藻有 1 种为优势种。

2.3 虾池浮游微藻的优势种演替

各虾池水体中浮游微藻优势种的动态演替过程如图 1 所示。各池藻相分布在不同时期均存在差异,但整体来说,前期阶段绿藻类、硅藻类和一些甲藻类较为常见,优势种有蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)和微小多甲藻(*Peridinium pusillum*)等。到养殖中期,丝状体的颤藻种类多演替为优势种,如盐泽颤藻(*Oscillatoria salina*)、绿色颤藻(*O. chlorine*)、威利颤藻(*O. williei*)等。至养殖后期,水中氮、磷浓度升高,颤藻类继续大量繁殖,形成很高密度,如狭细颤藻(*O. angustissima*)、易略颤藻(*O. neglecta*)、绿色颤藻等。其中具有耐高氮、磷性质的蛋白核小球藻、新月菱形藻(*Nitzschia closteriu*)等,也有在后期繁育成优势种。

1 号池在放苗后微藻数量和种类不多,蛋白核小球藻处于优势地位。至中期阶段,属于蓝藻类的加德纳鞘丝藻和绿色颤藻在第 33 d 成为优势种,二者在数量上均超过 30%,其中绿色颤藻的生物量为 1.53 × 10⁻² mg/L,占总生物量的 57.5%。随后,盐泽颤藻、微小念珠藻、狭细颤藻演替为优势种,多样性增强,其中狭细颤藻优势度为 0.57,达到 4.92 × 10⁷ /L。第 61 d 狭细颤藻数量优势度一度达到 0.8 以上,7 月 28 日最后一次采样狭细颤藻在数

量上仍占很高比例,同时蛋白核小球藻在数量和生物量上均超过总量的 20%,也处于优势地位。

2 号池在放苗第 11 d 微藻种类稀少,微小多甲藻处于优势地位。从养殖中期开始,微藻多样性逐渐丰富,在第 25 d 和 39 d,蛋白核小球藻和花环小环藻均处于优势地位。到第 53 d,显微蹄形藻、绿色颤藻、新月菱形藻演替为优势种。第 67 d,威利颤藻数量达到 1.79 × 10⁶ /L,生物量达到 1.26 × 10⁻² mg/L,均超过总量的 40%,成为较强优势种。随后,优势地位被蛋白核小球藻和绿色颤藻所取代。到养殖后期新月菱形藻和蛋白核小球藻占据优势种地位,新月菱形藻数量优势度曾达到 0.26,而蛋白核小球藻数量优势度为 0.28。

3 号池在放苗后第 5 d 优势种为顿顶节旋藻。至第 19 d,蛋白核小球藻、新月菱形藻演替为优势种,二者数量均超过总量的 30%,养殖中期蛋白核小球藻一直作为优势种占据核心地位,其中第 47 d 数量达到 7.66 × 10⁶ /L,生物量为 0.12 mg/L。另外,在第 33 d 和第 61 d 显微蹄形藻数量百分比超过 20%,生物量百分比超过 10%,亦跃升为优势种。后期微藻密度持续增加,其中养殖第 89 d 蛋白核小球藻数量优势度为 0.23,生物量 4.11 mg/L,占总生物量的 34.65%,依然占据优势地位。养殖接近结束时依然有大量狭细颤藻发生,数量达到 5.76 × 10⁸ /L,占总数量的 50.4%。

4 号池在前期阶段检出有甲藻类,其中微小多甲藻体积较大,在数量和生物量占有优势地位。第 25 d,蛋白核小球藻演替为优势种,但随后优势地位逐渐被凯氏小球藻、库津小环藻、栖藓柱泡藻、新月菱形藻等所取代。养殖后期颤藻形成很高密度,在第 67 d 和 81 d,狭细颤藻数量优势度均大于 0.6,到接近结束时易略颤藻数量达到 3.72 × 10⁸ /L,生物量 1.44 mg/L,在微藻结构中占主体地位。

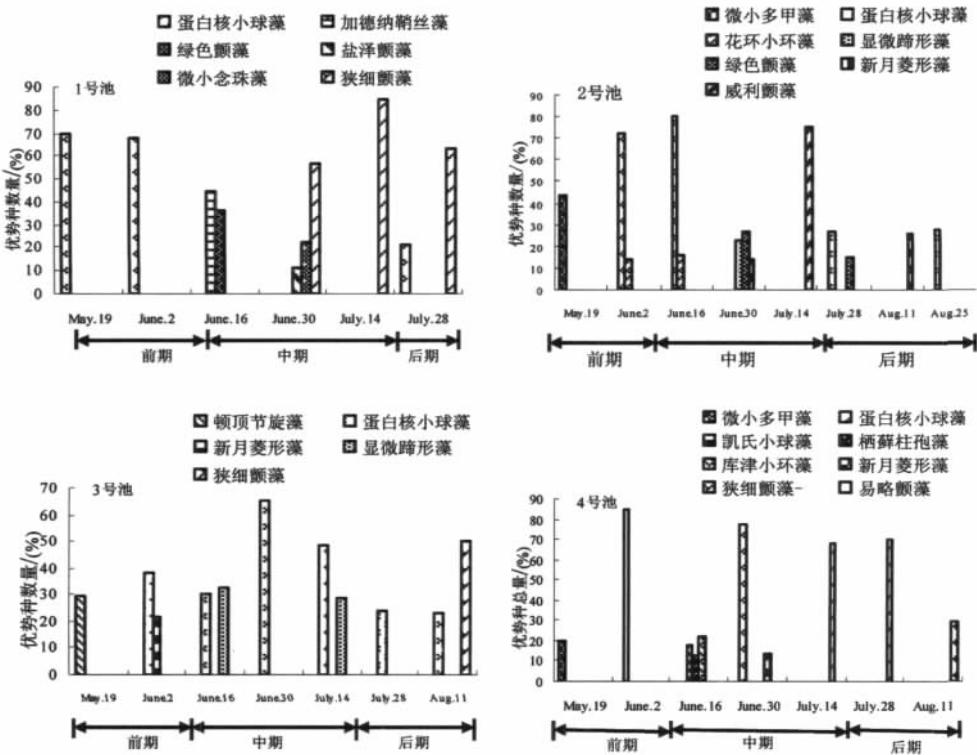


图1 虾池浮游微藻优势种演替动态

Fig. 1 Succession of the dominant species of planktonic microalgae in shrimp ponds

2.4 虾池浮游藻类群落的多样性

各池浮游微藻不同阶段数量、生物量和多样性指数变化如表2所示,四个虾池微藻的数量、生物量变动规律并不一致,但整体来说,表现为养殖前期较低,中期逐渐升高,后期微藻达到最高的密度和生物量。但1号池可

能是藻相受到扰动的原因在中后期微藻密度下降,同时,形成的微藻优势种多为单胞体积相对较小的颤藻类,故生物量特征也不突出。而2号池透明度水平一直较高,至后期亦然,同其它池相比微藻密度较低,生物量水平也较低。

表2 虾池浮游微藻的数量、生物量和多样性指数

Tab. 2 The quantities,biomass and the diversity index of planktonic microalgae in shrimp ponds

分组		前期	中期	后期	平均值
1号池	数量	0.1±0.06	52.19±44.41	6.99±0	19.76±28.29
	生物量	0.05±0.01	1.34±0.96	0.6±0	0.66±0.65
	Hq	1.53±0.29	1.63±0.41	1.64±0	1.6±0.06
	Hb	1.85±0.86	2.86±0.72	2.58±0	2.43±0.52
2号池	数量	0.49±0.47	2.29±2.15	11.42±9.67	4.73±5.86
	生物量	0.62±0.79	0.69±0.65	5.08±4.36	2.13±2.56
	Hq	1.56±0.45	1.8±1.05	2.5±0.29	1.95±0.49
	Hb	1.1±0.66	2.51±0.94	2.99±0.42	2.2±0.98
3号池	数量	0.85±0.14	4.15±6.56	579.98±796.8	194.99±333.4
	生物量	0.42±0.07	0.73±1.08	60.23±82.67	20.46±34.42
	Hq	2.08±0.5	2.13±0.43	2.56±0.43	2.25±0.26
	Hb	1.99±1.23	2.15±0.46	2.69±0.16	2.28±0.37
4号池	数量	0.14±0.03	3.88±6.26	671.55±855.5	225.19±386.6
	生物量	0.44±0.6	0.2±0.13	57.68±77.25	19.44±33.12
	Hq	1.5±0.93	1.76±0.79	2.11±0.5	1.79±0.31
	Hb	1.19±0.52	2.24±0.88	3.72±0.11	2.38±1.27

各池微藻数量和生物量多样性指数在养殖前期均较低,表现为浮游微藻群落结构尚未完善,较为脆弱,中后期逐渐增高,表现为虾池生态系统的稳定性逐渐增强。

其中1号池数量和生物量多样性指数从中后期开始出现较低水平,显示从该阶段开始虾池环境的不稳定。2号池中后期微藻多样性虽高,但微藻演替较快,显示虾池藻相

的不稳定。

3 讨论

3.1 浮游微藻优势种的变动与养殖环境的关系

微藻优势种在数量和生物量上一般占有较高的比例,故优势种可在虾池微藻生态功能的发挥上起着重要作用。调查发现在养殖前期各池微藻种类、密度和生物量较少,到中期时微藻优势种数量、生物量等不断增高,其对养殖环境的影响作用也逐渐加强,而在养殖后期,优势种逐渐向较为单一的方向演变,优势度突出,给养殖环境等带来重要影响。

1、2号池于5月9日同期放苗,但两池藻相、养殖效益等差异明显。在前期,1号池多以蛋白核小球藻为主,藻相良好,但2号池在养殖初期便检出存在有数量较多的赤潮类甲藻。从中期开始,1号池微藻的数量和生物量迅速繁育,绿色颤藻、盐泽颤藻等逐渐占据优势地位,该池藻相开始被蓝藻类所控制。而2号池中期微藻数量和生物量的增长则较为缓慢,且优势种具有演替较快、种类数较多的特征。中后期时本地遭遇莫拉非台风天气,对两池藻相均产生了重要影响,1号池微藻密度一度下降,之后缓慢恢复,但颤藻类期间一直处于优势地位,直至养殖结束。2号池于此期微藻密度也出现波动,透明度保持较高水平,藻相多变,优势种演替频繁,显示养殖环境的不稳定。且2号池的终产量等较1号池低,据分析这应与2号池早期的不良藻相结构给幼虾生长带来的影响有关,另外,2号池高透明度、低密度的藻相结构可能造成了虾池生产力的不足以及对水环境调节作用的低下,所以虽然养殖时间较长,但也并未给养殖效益带来积极的影响。此外,1号池于台风期过后对虾出现病症,据分析认为恶劣天气给养殖环境以及藻相带来的扰动可能给对虾生长带来了病害性的胁迫,另外,可能也与中后期一直存在的高优势度颤藻类所带来的多重胁迫有关。

3、4号池于5月15日同期放苗,从整个养殖过程的比较来看,3号虾池的藻相较平稳,数量和生物量多样性指数随着养殖进行逐渐增强且处于较高水平,在养殖前期、中期优势种多属于绿藻、硅藻类,其中蛋白核小球藻较长时间处于优势种地位,显示该池生态环境的逐渐成熟和藻相的相对稳定,这也对该池对虾的养殖效益产生了积极影响,该池终产量较其它各池高。4号虾池对虾在养殖第25天出现病症,幼虾有死亡现象,该池第一次采样也检出有数量不少的甲藻类,早期不良的藻相会给幼虾的成活率等带来负面影响,赤潮类甲藻所分泌的毒素,或许是诱发该池幼虾病害发生的原因之一,且4号池对虾终产量低下也应与之相关。而与之相较3号池的前期藻相良好,优势种如蛋白核小球藻是有益单胞藻,顿顶节旋藻对幼虾的健康生长也能起到有益的作用^[10]。4号池中期藻相逐渐转为以绿藻和硅藻类为主,如蛋白核小球藻、新月菱形藻等,藻相逐渐得以改良,微藻的数量、生

物量指数也逐渐增加,即养殖环境也逐渐走向稳定,且与1、2号池相比,该池与3号池在中后期养殖环境受恶劣天气的干扰影响较小,显示对恶劣天气的抵御能力较强。

3.2 虾池微藻藻相调控的讨论

放苗伊始,虾池水体的盐度较高,范围11~13,硅藻类易形成优势^[11],同时一些耐盐的绿藻种类如蛋白核小球藻^[12]等也在营养盐的刺激下开始繁殖,所以在前期绿藻类和硅藻类较常见。有研究认为绿藻类和硅藻类具有吸收有害物质,保持水质的“活、爽”功能,是可以用来构建优良微藻藻相的备选种类^[13]。但在前期各池也有不良微藻出现,如1号池优势种有绿色颤藻、加德纳鞘丝藻等,而2、4号池均发现有赤潮类甲藻优势种,分析认为有可能是在引入外海水源时由于处理不当造成移植性赤潮藻的繁殖,这些甲藻类细胞壁较厚,多能分泌毒素^[1]。另外,前期阶段微藻也是幼虾滤食饵料的重要一部分,藻殖体蓝藻类一般缺乏蛋白质、氨基酸等营养物质,在食物链中发挥的作用较小^[14],而甲藻类体积大、难消化,滤食价值低。前期幼虾的健康程度、成活率会直接影响对虾的生产效益,2、4号池终产量明显较低,应与对虾在前期阶段受到胁迫作用有重要关系。所以,对养殖水源进行严格管理和注意在养殖前期培育健康的藻相结构均有重要的意义。

中期虾池营养逐渐丰富,透明度下降,盐度下降,而水温逐渐升高。蓝藻类能较好地适应这些条件^[15],表现为以颤藻类为主的蓝藻开始以较强的竞争优势演替为优势种。微藻密度和多样性也渐升高,显示养殖环境逐渐向着成熟方向发展。颤藻类容易在环境稳定并且营养丰富的情况下迅速形成颤藻水华^[15],虽然一定密度的颤藻类也能吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 等有害物质,增加水体DO等,但水华的发生会恶化养殖环境、危害对虾健康。此外,颤藻水华极易引发“倒藻”,可导致大量羟胺、硫化物等有毒物质释放,会造成对虾因应激致病而死亡^[16]。所以,对中期阶段颤藻类等不良微藻的繁殖评估和调控具有积极意义,可对后续的养殖环境、效益产生重要影响,如注意在此阶段培育优良的微藻藻相结构并保持藻相的稳定,不仅可抑制不良微藻的繁殖,而且可增强微藻多样性,有效地避免藻相突变带来的风险。

后期微藻密度较高,其中,具有耐高氮、磷性质^[12,17]的蛋白核小球藻和新月菱形藻等成为优势种,但颤藻类优势度更为突出,对环境的影响也更为明显。有学者曾对集约化虾池后期颤藻类和环境因子做的多元分析研究显示^[18]:水体COD含量和颤藻密度呈正相关关系,也即虾池中后期阶段丰富的有机质为颤藻类提供了优势的生长环境。本研究也发现后期各池COD含量较高,范围6.2~11.5 mg/L。一般认为水体COD在2~6 mg/L时,对虾生长较快,产量及成活率较高^[19],而且有研究揭示过高的COD也是诱发对虾病毒病暴发的主要环境因子之一^[20]。所以,寻求有效降低水体COD的方法,不但可减

少对虾的病害胁迫,还能有效抑制不良微藻繁殖。1号池养殖后期对虾发病的原因可能与持续高优势度的不良微藻存在以及恶劣天气干预等因素共同作用造成的,另外该池后期微藻数量和生物量多样性指数较低,有学者研究^[21,22]认为微藻多样性指数与对虾的病害发生呈负相关关系,究其原因,较低微藻多样性可降低虾池生态系统的信息阈值和稳定性。因此,控制有机质积累的富营养化趋势、提高虾池微藻多样性等就成为调控后期养殖环境的研究重点。若要在后期阶段构建优良的藻相,可尝试运用在中期阶段先期构建优良藻相并使之保持下去的方法,吸收、减少有机质等有害物质,进而抑制不良微藻的繁殖。而微生物具有促进物质循环的重要作用,通过微生物来降解有害物质的方法已广为用之。如芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)、光合细菌(*Photosynthetic bacteria*)等微生物具有分解利用水中有机质的能力^[23,24],一些有益微生物制剂还可有效抑制蓝藻类的生长^[25]。所以,也可考虑从微生物调控角度探求优化藻相的方法。

3.3 天气、养殖管理对浮游微藻的影响

有研究显示恶劣天气可对养殖水环境和浮游微藻的生长有非常显著的影响^[26],本研究也发现在养殖中后期出现的台风、强降雨天气,会导致水体水温、pH、盐度出现下降,COD、氮磷等理化因子含量出现波动现象,但对各池的藻相影响又不一致,据分析主要原因可能是和各池由不同的藻相结构产生的对恶劣天气不同的抵御力度造成的。3号池前、中期藻相结构优良,多样性丰富,抵抗干扰的能力较强。4号池虽然早期检测到甲藻存在,但随后微藻形成以绿藻、硅藻类为主的优良结构,受恶劣天气干扰产生的影响也较小。而1、2号池在中期阶段就有密度不少的颤藻类等不良微藻繁殖,喜稳定环境的颤藻类容易在天气等干扰下出现波动,表现为在一定时期内的密度下降,进而导致对水环境的调节力下降或不足,给藻相和养殖环境带来了负面影响,并会加强对虾的应激性反应。在对虾养殖中,保持养殖环境的稳定具有重要意义,笔者认为未来应该继续针对恶劣天气给池塘浮游微藻带来的具体影响进行深入研究,找出应对措施,以求更好地抵御恶劣天气给对虾养殖带来的胁迫。

2号虾池养殖时间长,但养殖投入与产出的效费比却较低。调查显示该池水体透明度一直较高,微藻密度、生物量也较其它池低,测得其水体COD、TN等指标含量在中后期均低于其它池。该池岸边和底部生长有丰茂的水草,它们可能会与微藻在对营养盐等的利用上存在着较大的竞争作用,而且在池塘内还发现数量比较多的以滤食浮游微藻为生的底栖螺类,它们的存在可导致虾池微藻数量的减少。微藻密度稀少,对水质的调节作用就有限。王崇明等的研究^[27]认为,保持浮游植物的适度生长,对保持池塘足够的溶解氧,稳定pH值,进而维持池塘的生态平衡起着重要作用。所以,鉴于土池养殖过程中池塘环境复杂、易受恶劣天气影响等情况,建议应注意虾池浮游微藻密度较低时所带来的负面影响,在前中期阶段培养合适密度的微藻,增强微藻的多样性,并构建优良的微藻藻相结构,以保证养殖环境的稳定,增强对恶劣天气等干扰的抵抗力,进而有效提高养殖效益。

参考文献:

- [1] 吴玉霖,周成旭. 甲藻赤潮的海洋危害及其防治[J]. 海洋环境科学,1997,16(4):59-63.
- [2] CARMICHAEL W W. Hemagglutination method for detection of freshwater cyanobacteria (bluegreen algae) toxins[J]. Appl Environ Microbiol,1981,41(6):1383-1388.
- [3] 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.
- [4] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [5] B. 福迪,罗迪安(译). 藻类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [6] 郭玉洁,钱树本. 中国海藻志[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [7] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [8] 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,2004,21(2):75-85.
- [9] 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.
- [10] 王芳雨,张世萍. 螺旋藻在水产养殖中的应用[J]. 水产科学,2005,24(1):45-46.
- [11] 谢立民,林小涛,许忠能,等. 不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查[J]. 生态学,2003,22(1):34-37.
- [12] 梁伟峰,陈素文,李卓佳,等. 虾池常见微藻种群温度、盐度和氮、磷含量生态位[J]. 应报生态学报,2009,20(1):223-227.
- [13] 曹煜成,李卓佳,杨莺莺,等. 浮游微藻生态调控技术在对虾养殖应用中的研究进展[J]. 南产水产,2007,3(4):70-73.
- [14] 刘孝竹,李卓佳,曹煜成,等. 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[J]. 农业环境科学学报,2009,28(5):1010-1018.
- [15] PAERL H W, TUCKER C S. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds[J]. Journal of the World Aquaculture,1995,26(2):109-131.
- [16] CREMEN M C, MARTINEZ-GOSS M R. Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology[J]. Aquaculture Research,2007,19(6):615-624.
- [17] 李奕雯. 虾池常见三种微藻营养生态学研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2009.
- [18] 刘孝竹. 凡纳滨对虾不同类型养殖池水质状况与浮游微藻群落结构的研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2009.
- [19] 申玉春,熊邦喜,叶富良,等. 凡纳滨对虾高位池养殖系统的水质理化状况[J]. 湛江海洋大学学报,2006,26(1):16-21.
- [20] 董存有,张金荣. 对虾塘COD的变化及其对对虾生长和产量的影响[J]. 海洋科学,1993,3:8-12.
- [21] 米振琴,谢骏,潘德博,等. 精养虾池浮游植物、理化因子与虾病的关系[J]. 上海水产大学学报,1999,8(4):304-308.
- [22] 郭皓,于占国. 虾池浮游植物群落特征及其与虾病的关系[J]. 海洋科学,1996,1:39-45.
- [23] 李卓佳,张庆. 有益微生物在虾池的虾池中的作用[J]. 中国水产,1997,6:30-31.
- [24] 郑爱榕. 光合细菌及其在对虾养殖中的应用[J]. 中山大学学报(自然科学版),2000,39(增刊):64-68.
- [25] 张汉华,李卓佳,郭志勋,等. 有益微生物对海水养殖池浮游生物生态特征的影响研究[J]. 南方水产,2005,1(2):7-14.
- [26] 查广才,周昌清. 恶劣天气对凡纳滨对虾低盐度养殖水体的影响[J]. 信阳师范学院报(自然科学版),2006,19(4):414-418.
- [27] 王崇明,张岩,麻次松. 对虾池塘浮游植物与主要水质因子关系[J]. 海洋科学,1993,4:10-12.