

凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落及多样性

查广才,周昌清*,黄建荣,何建国,麦雄伟

(中山大学生命科学学院,广州 510275)

摘要:2002 年 8 月 15~10 月 8 日,对广东省珠海市斗门凡纳对虾淡化养殖虾池进行调查,虾池平均养殖面积为 $0.37 \pm 0.11 \text{ hm}^2$,水深 $136 \pm 8 \text{ cm}$,虾苗放养密度 $131 \pm 37 \times 10^4 \text{ 尾/hm}^2$;调查期间虾池水温 $24.3 \sim 33.6 \text{ }^\circ\text{C}$,pH 值 $7.1 \sim 9.6$,早期养殖盐度 $2\text{‰} \sim 3\text{‰}$,中后期为 0,透明度中后期稳定在 20cm 左右。鉴定浮游植物 48 属 96 种,其中绿藻 45 种,硅藻和裸藻各 9 种,隐藻 2 种,甲藻 4 种。优势种有 10 种,多为蓝藻,如螺旋藻(*Spirulina* sp.)、弯形尖头藻(*Raphidiopsis curvata*)、小颤藻(*Oscillatoria tenuis*)、假鱼腥藻(*Pseudoanabaena* sp.)、针状蓝纤维藻(*Dactylococcopsis acicularis*)及水华微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)等,优势种的优势度突出。常见种有 30 种,主要是绿藻、硅藻、隐藻,少见种有 57 种。优势种和常见种多为富营养化水体中的或耐污性的种类。虾池原生动物有 29 种,其中肉足虫 3 种,纤毛虫 26 种,优势种为毛板壳虫(*Coleps hirtus*)、卵形前管虫(*Prorodon ovum*)和旋急游虫(*Strombidium spiralis*),主要是以藻类为食的 A 类群,常见种有膜袋虫(*Cyclidium* sp.)、小单环栉毛虫(*Didinium balbianitnanum*)、瓶口虫(*Lagynophrya acuminata*)、圆筒状拟铃壳虫(*Tintinnopsis cylindrata*)和钟虫(*Vorticella* sp.),少见种 21 种。虾池微型浮游生物种类及多样性养殖早期低,后期增高,浮游植物多样性指数平均为 $1.95 \sim 2.60$,原生动物多样性指数平均为 $1.01 \sim 1.67$ 。

关键词:凡纳对虾;淡化养殖虾池;微型浮游生物;群落结构;生物多样性

Studies on the structure and biodiversity of the microplankton community in *Litopenaeus vannamei* desalination culture ponds

ZHA Guang-Cai, ZHOU Chang-Qing*, HUANG Jian-Rong, HE Jian-Guo, MAI Xiong-Wei (School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1748~1755.

Abstract: Investigations were conducted in 5 *Litopenaeus vannamei* (Pacific white shrimp) desalination culture ponds in Doumen, Zhuhai City, Guangdong Province from 15 August to 8 October, 2002. The average area of the ponds was $0.37 \pm 0.11 \text{ hm}^2$ with water depth of $136 \pm 8 \text{ cm}$. Culture density of *L. vannamei* was $131 \pm 37 \times 10^4$ individuals/ hm^2 . During the investigation water temperature ranged from $24.3 \sim 33.6 \text{ }^\circ\text{C}$, pH from $7.1 \sim 9.6$ and salinity was approximately 2 to 3‰ in the pre-period of rearing, but approached to 0 in mid-period and post-period. Water transparency was more than 25cm in pre- and mid-rearing period and steadied at 20cm in post-period. A total of 96 species of phytoplankton were identified in the 5 *L. vannamei* desalination culture ponds belonging to 6 phyla and 48 genera. They included 27 Cyanophyta species, 45 Chlorophyta species, 9 Bacillariophyta species, 9 Euglenophyta species, 2 Cryptophyta species and 4 Pyrrophyta species. Many of the 10 dominant species belonged to the Cyanophyta, including *Spirulina* sp., *Raphidiopsis curvata*, *Oscillatoria tenuis*, *pseudoanabaena* sp. and *Microcystis aeruginosa*. There were 30 common species, which belonged to Chlorophyta,

基金项目:国家“973”项目(1999G012011);珠海科技项目(200310084);广东省揭阳市科技项目(JY0305);生物防治国家重点实验室开放基金(0202)

收稿日期:2003-10-13;**修订日期:**2004-03-10

作者简介:查广才(1965~),男,河南罗山人,博士生,副教授,主要从事动物和水生生物生态学研究。E-mail: lsp01cgc@yahoo.com.cn

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: ls01@zsu.edu.cn

Foundation item: National Basic Research and Development Program (No. 1999G012011); Zhuhai Scientific Foundation (No. 200310084); Jieyang Scientific Founction (No. JY0305); State Key Lab. For Biocontrol Open Foundation (No. 0202)

Received date:2003-10-13;**Accepted date:**2004-03-10

Biography: ZHA Guang-Cai, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in zoocology and aquatic ecology. E-mail: lsp01cgc@yahoo.com.cn

Bacillariophyta, Euglenophyta and Cryptophyta and 59 species that were less common. The dominant and common species were those that were adapted to the eutrophic aquatic environment. There were 29 species of Protozoa identified, which included 26 Ciliophora species and 3 Sarcodina species. The dominant species were *Coleps hirtus*, *Prorodon ovum* and *Strombidium spiralis* with most of them being algivores, while the common species were *Cyclidium* sp., *Didinium balbianitnanum*, *Lagynophrya acuminata*, *Tintinnopsis cylindrata* and *Vorticella* sp. There were 27 less common species. The aquatic environment of the *L. vannamai* desalination culture water was exceedingly eutrophic during the mid and post-rearing period, which resulted in a simpler community structure of phytoplankton and protozoa. The biodiversity and species numbers of microplankton in the ponds increased with increased rearing time. Succession of the microplankton community and subrogation of the dominant species were rapid in the pre-rearing period. Biodiversity index averages of the phytoplankton were 1.95~2.60, dominance indexes were 0.09~0.23 and biodiversity index averages of the protozoa were 1.01~1.67.

Key words: *Litopenaeus vannamai*. ; desalination culture ponds; microplankton; community structure; biodiversity
文章编号:1000-0933(2004)08-1748-08 中图分类号:S968 文献标识码:A

凡纳对虾(*Litopenaeus vannamai*)淡化养殖已经成为我国南方及沿海一些地区水产养殖的重要产业,其养殖面积和规模在迅速扩大,并不断向内陆扩散。凡纳对虾淡化养殖技术已基本具备^[1],经过逐级淡化,可在纯淡水环境中高密度养殖,且在淡水环境中生长快,养殖周期短,抗病力强,淡化养殖前景广阔。淡化养殖同传统的对虾海水养殖存在明显差别,养殖密度高,盐度低,养殖水体藻类中后期多以蓝藻为优势种,水体富营养化严重。凡纳对虾淡化养殖是一种封闭或半封闭人工调控养殖模式,关键在调控养殖水体理化环境及微型浮游生物,尤以藻类的种类和数量最为重要。近 2~3a,国内发表了大量有关凡纳对虾淡化养殖和疾病防治的文章^[2],对淡化养殖水体微型浮游生物群落的研究还未见报道。本文是对珠海市斗门凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落结构及变动的调查,分析了淡化养殖水体微型浮游生物群落组成及多样性的基本特征和动态,为凡纳对虾淡化高产养殖提供依据。

1 材料与方法

1.1 虾池基本情况

调查的 5 口凡纳对虾淡化养殖虾池位于广东省珠海市斗门区上横镇,虾池的平均养殖面积为 0.37±0.11hm²,水深 136±8cm,虾苗放养密度 131±37×10⁴ 尾/hm²;调查期间虾池水温 24.3~33.6℃,基本保持在 30℃,pH 值波动范围 7.1~9.6,平均为 8.4,早期养殖盐度在 2‰~3‰,中后期为 0,透明度早期随养殖时间延长而降低,中后期稳定在 20cm 左右,1 号虾池底质经清淤暴晒,为黄褐色氧化态,其它虾池底质均已老化,淤泥较深,呈黑色还原态。

1.2 浮游植物与原生动物调查方法

1.2.1 样品采集与处理 2002 年 8 月 15 日至 10 月 8 日,采集了 5 口凡纳对虾淡化养殖虾池中微型浮游生物样品,共间断采样 7 次。采样时,在每个虾池四角及中央用 2L 采水器各取水样 1 份,混匀,取 1L,鲁哥氏液固定沉淀 48h 以上,沉淀浓缩至 100ml 甲醛保存。

1.2.2 样品的分析 浮游植物和原生动物的定量,是将定量样品摇匀,取 0.1ml 样品置于计数框中,在显微镜下计数。浮游植物用鲁哥氏液染色,计数 100 个视野,原生动物整片计数。浮游植物鉴定^[3]通过活体观察及鲁哥氏液染色进行,原生动物鉴定^[4]

通过活体及蛋白银染色进行。多样性分析:采用 Shannon-wiener 多样性指数 $H'^{[5]}$, $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ 和 Simpson 优势集中性指数 $D^{[5]}$, $D = \sum_{i=1}^s (P_i)^2$,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。

2 结果

2.1 淡化养殖虾池浮游植物群落结构

2.1.1 种类组成 5 口虾池共鉴定浮游植物 6 门 48 属 96 种,其中蓝藻门 11 属 27 种,绿藻门 24 属 45 种,硅藻门 7 属 9 种,裸藻门 3 属 9 种,隐藻门 1 属 2 种,甲藻门 2 属 4 种,结果见表 1。种类最多的为绿藻门,占种类数的 46.9%,其次为蓝藻门,占 28.1%,硅藻和裸藻各占 9.4%。蓝藻多为优势种和常见种,绿藻、硅藻、隐藻及裸藻的种类多为常见种和少见种,少数种类有时也可成为优势种,甲藻均为少见种。淡化养殖虾池中的优势种和常见种,多是耐污性或富营养化水体中的种类,种类组成简单,与淡化养殖水体高度富营养化有关。

表 1 凡纳对虾淡化养殖虾池浮游植物种类组成			
Table 1 Composition of phytoplankton species in <i>L. vannamei</i> desalination culture ponds			
种类 Species	丰富度 Abundance	种类 Species	丰富度 Abundance
蓝藻门 Cyanophyta		十字顶棘藻 <i>Chodatella wratislaviensis</i>	+
螺旋藻 <i>Spirulina</i> . sp.	+++	四刺顶棘藻 <i>Ch. quadriseta</i>	+
极大螺旋藻 <i>S. maxima</i>	++	长绿梭藻 <i>Chlorogonium elonjatum</i>	++
钝顶螺旋藻 <i>S. platensis</i>	+	针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>	++
细小平裂藻 <i>Merismopedia. tenuissima</i>	++	球囊藻 <i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	++
银灰平裂藻 <i>M. glauca</i>	++	棘球藻 <i>Echinospaerilla limnetica</i>	+
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp ₁ .	++	线形拟苇斯藻 <i>Westelopsis linearis</i>	+
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp ₂ .	++	波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	+
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp ₃ .	+++	湖生卵囊藻 <i>O. lacustris</i>	+
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp ₄ .	++	单生卵囊藻 <i>O. solitaria</i>	+
弯形尖头藻 <i>Raphidiopsis curvata</i>	+++	粗棘四刺藻 <i>Treubaria crassispina</i>	+
中华尖头藻 <i>R. sinensis</i>	++	四刺藻 <i>T. triappendiculata</i>	+
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis. acicularis</i>	+++	斯氏盘星藻 <i>P. sturmii</i>	+
无异常蓝纤维 <i>D. irregularis</i>	++	双射盘星藻 <i>Pediastrum biradiatum</i>	+
小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	+++	单角盘星藻 <i>P. simplex</i>	+
巨颤藻 <i>O. princeps</i>	++	二角盘星藻 <i>P. duplex</i>	+
小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	++	四角盘星藻 <i>P. tetras</i>	+
类颤藻鱼腥 <i>Anabaena oscillarioides</i>	++	短棘盘星藻 <i>P. boryanum</i>	+
卷曲鱼星藻 <i>A. circinlis</i>	+	小形月牙藻 <i>Selenastrum minutum</i>	+
螺旋鱼星藻 <i>A. spiroides</i>	+	单刺四星藻 <i>Tetrastrum hastiferum</i>	+
艾氏项圈藻 <i>Anabaenopsis elenkinii</i>	++	短刺四星藻 <i>T. staurogeniaeforme</i>	+
阿氏项圈藻 <i>A. arnoldii</i>	+	网膜藻 <i>Tetrasporidium javanicum</i>	+
水华微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	+++	硅藻门 Bacillariophyta	
铜绿微囊藻 <i>M. flosaquae</i>	++	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	++
粘囊藻 <i>Myxosarcina burmensis</i>	++	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+++
聚球藻 <i>Synechocystis</i> sp.	+	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+++
绿藻门 Chlorophyta		新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	++
四尾栅藻 <i>Scenedesmu quadricuada</i>	++	谷皮菱形藻 <i>Nitzschia palea</i>	++
二形栅藻 <i>Sc. dimorphus</i>	++	羽纹藻 <i>Pinnularia</i> sp.	+
双对栅藻 <i>Sc. bijuga</i>	+	桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.	+
斜生栅藻 <i>Sc. obliquus</i>	++	美丽双菱藻 <i>Surirella</i> sp.	+
尖细栅藻 <i>Sc. acuminatus</i>	++	直链藻 <i>Melosira</i> sp.	+
龙骨栅藻 <i>Sc. carinatus</i>	+	裸藻门 Euglenophyta	
被甲栅藻 <i>Sc. armatus</i>	+	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	++
栅藻 <i>Sc. subspicatus</i>	+	梭形裸藻 <i>E. acus</i>	+
球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	++	尾裸藻 <i>E. caudata</i>	+
简单衣藻 <i>C. simplex</i>	+	棒裸藻 <i>E. clavata</i>	+
素衣藻 <i>Polytoma uvella</i>	+	间断裸藻 <i>E. interrupta</i>	+
圆鼓藻 <i>Cosmarium circulare</i>	+	刺鱼状裸藻 <i>E. gasterosteus</i>	+
鼓藻 <i>Cosmarium</i> . sp.	+	敏捷扁裸藻 <i>Phacus agilis</i>	+
小空心藻 <i>Coelastrum microporum</i>	+	梨形扁裸藻 <i>Ph. pyrum</i>	+
多芒藻 <i>Golenkinia radiata</i>	+	矩圆囊裸藻 <i>Trachelomonas oblonja</i>	+
规则四角藻 <i>Tetraedron regulare</i>	+	隐藻门 Cryptophyta	
微小四角藻 <i>T.. minimum</i>	+	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	++
膨胀四角藻 <i>T. tumidulum</i>	+	啮蚀隐藻 <i>C. erosa</i>	+++
螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>	++	甲藻门 Pyrrophyta	
韩氏集星藻 <i>Actinastrum Hantzschii</i>	+	裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	+
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	++	真蓝裸甲藻 <i>G. eucyaneum</i>	+
韦斯藻 <i>Westella botryoides</i>	+	光薄甲藻 <i>G. gymnodinium</i>	+
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	++	飞燕角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	+

* 十 少 见 种 Rare species, ++ 常 见 种 Common species, +++ 优 势 种 Dominant species

2.1.2 种类数量及变化 5个虾池浮游植物种类数量变化趋势是养殖初期种类相对较少,随着养殖时间延长,种类增多,但后期有下降趋势,种类数量及变化见图1。不同虾池,由于底质不同和调控培育藻类方式不同,藻类组成和变化不同。1号虾池种类最丰富,其次是2号池,5号虾池种类最少;1号和4号虾池浮游植物种类数量变化基本一致,2号虾池种类数量相对稳定,3号和5号虾池种类数量逐渐增加,且3号虾池后期种类较丰富。5个虾池浮游植物种类在9月18日取样中都有所下降,主要因为在9月7日至18号日间有一次强台风,且连续强降雨近10d。

2.1.3 优势种及其变化 1号虾池浮游植物优势种为蓝藻门的螺旋藻(*Spirulina* sp)、假鱼腥藻(*pseudoanabaena* sp.)、弯形尖头藻(*Raphidiopsis curvata*)、针状兰纤维藻(*Dactylococcopsis acicularis*)及小颤藻(*Oscillatoria tenuis*),硅藻门的梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)和隐藻门的啮蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*)共计7个种。每次水样中,一般有2~3个优势种,优势种越少,其优势度越高,动态演替过程见图2。假鱼腥藻和针状兰纤维藻的优势度相对较高,但其个体小,生物量少,对维持养殖环境的稳定性作用并不占主导;螺旋藻、弯形尖头藻及颤藻的个体大,生物量多,尽管其优势度有时并不高,但对维持养殖环境的稳定性起主要作用,螺旋藻多出现在淡化养殖的中后期。小环藻和啮蚀隐藻作为优势种,主要出现在养殖水体的早期。

2号虾池浮游植物优势种为蓝藻门的假鱼腥藻、弯形尖头藻、针状兰纤维藻及颤藻。早期优势种少,以弯形尖头藻为主,优势度高,中后期优势种增多,以颤藻为主,颤藻主要出现在底质淤泥较深的老化虾池,优势种的动态演替见图2。

3号虾池浮游植物优势种组成与2号虾池相同,基本以颤藻和弯形尖头藻为主体,颤藻和弯形尖头藻在淡化养殖水体中能形成共优势种,并伴随有一定数量的极大螺旋藻的出现。颤藻的生物量占绝对优势,为生物量优势种。假鱼腥藻和针状蓝纤维藻的个体数量多,为数量优势种,但生物量少,并不构成虾池浮游植物的主体,优势种演替见图2。

4号虾池浮游植物优势种为蓝藻门的假鱼腥藻、弯形尖头藻及针状蓝纤维藻,硅藻门的梅尼小环藻和舟形藻(*Navicula* sp.)。早期为梅尼小环藻和舟形藻,但很快被弯形尖头藻替代,弯形尖头藻在该养殖水体中占有绝对优势,其种群相当稳定,虾池浮游植物优势种的动态演替见图2。

5号虾池浮游植物优势种为蓝藻门的水华微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)、假鱼腥藻、弯形尖头藻、针状蓝纤维藻、颤藻,聚球藻(*Synechocystis* sp.)和硅藻门的梅尼小环藻,以水华微囊藻和梅尼小环藻为主,优势种更替快,演替过程见图2。微囊藻种群增长表现为爆发性和排它性,可迅速成为养殖水体中的绝对优势种,易聚集成团形成水华,且种群周期性的爆发和崩溃,导致水体极不稳定,同时微囊藻可产生大量的微囊藻毒素给对虾养殖造成危害,属有害藻类,这可能是5号虾池养殖不良的主要原因。

2.1.4 浮游植物群落多样性 不同虾池及不同养殖时间,浮游植物群落的多样性不同。总体上养殖早期水体浮游植物多样性低,随养殖时间的延长,虾池浮游植物的多样性增加,群落结构趋于复杂和稳定,结果见表2。浮游植物多样性指数平均在1.95~2.60,1号和2号虾池多样性指数总体较高,平均值在2.5左右,多样性变化不大,虾池藻相比较稳定,5号池相对较低,养殖前期与后期差别较大,藻相不稳定,3号和4号虾池多样性逐步增加,后期较高。浮游植物群落优势度的总体规律与多样性相

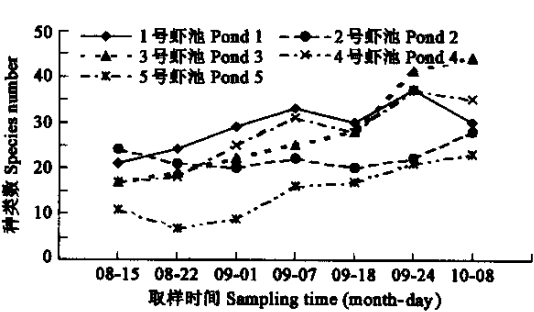


图1 凡纳对虾淡化养殖虾池浮游植物种类数变化
Fig. 1 Change of phytoplankton species No. in *L. vannamei* desalination culture ponds

表2 凡纳对虾淡化养殖虾池浮游植物群落多样性

取样时间 Sampling time	多样性指数 H'					优势度指数 D				
	1号虾池	2号虾池	3号虾池	4号虾池	5号虾池	1号虾池	2号虾池	3号虾池	4号虾池	5号虾池
	Pond 1	Pond 2	Pond 3	Pond 4	Pond 5	Pond 1	Pond 2	Pond 3	Pond 4	Pond 5
08-15 Aug. 15	2.7883	2.5961	1.6694	1.9635	1.5982	0.0772	0.0917	0.3217	0.2263	0.3495
08-22 Aug. 22	1.5483	2.5533	1.7598	1.9403	1.6752	0.3814	0.0932	0.3078	0.2383	0.2284
09-01 Sept. 1	2.7668	2.5582	2.1274	2.2543	1.8881	0.0913	0.0941	0.1774	0.1669	0.2025
09-07 Sept. 7	2.3867	2.7341	1.9992	2.1070	1.4643	0.1786	0.0767	0.2171	0.2000	0.3988
09-18 Sept. 18	2.5758	2.4031	2.2555	2.1661	2.3580	0.1135	0.1115	0.1891	0.2001	0.1304
09-24 Sept. 24	2.7445	2.5652	2.6031	2.3516	2.5109	0.1033	0.0888	0.1298	0.1910	0.1113
10-08 Oct. 8	2.4028	2.8210	2.6662	2.3608	2.1378	0.1418	0.0767	0.1157	0.1651	0.2138
平均值 Average	2.4590	2.6044	2.1544	2.1634	1.948	0.1553	0.0904	0.2084	0.1982	0.2335

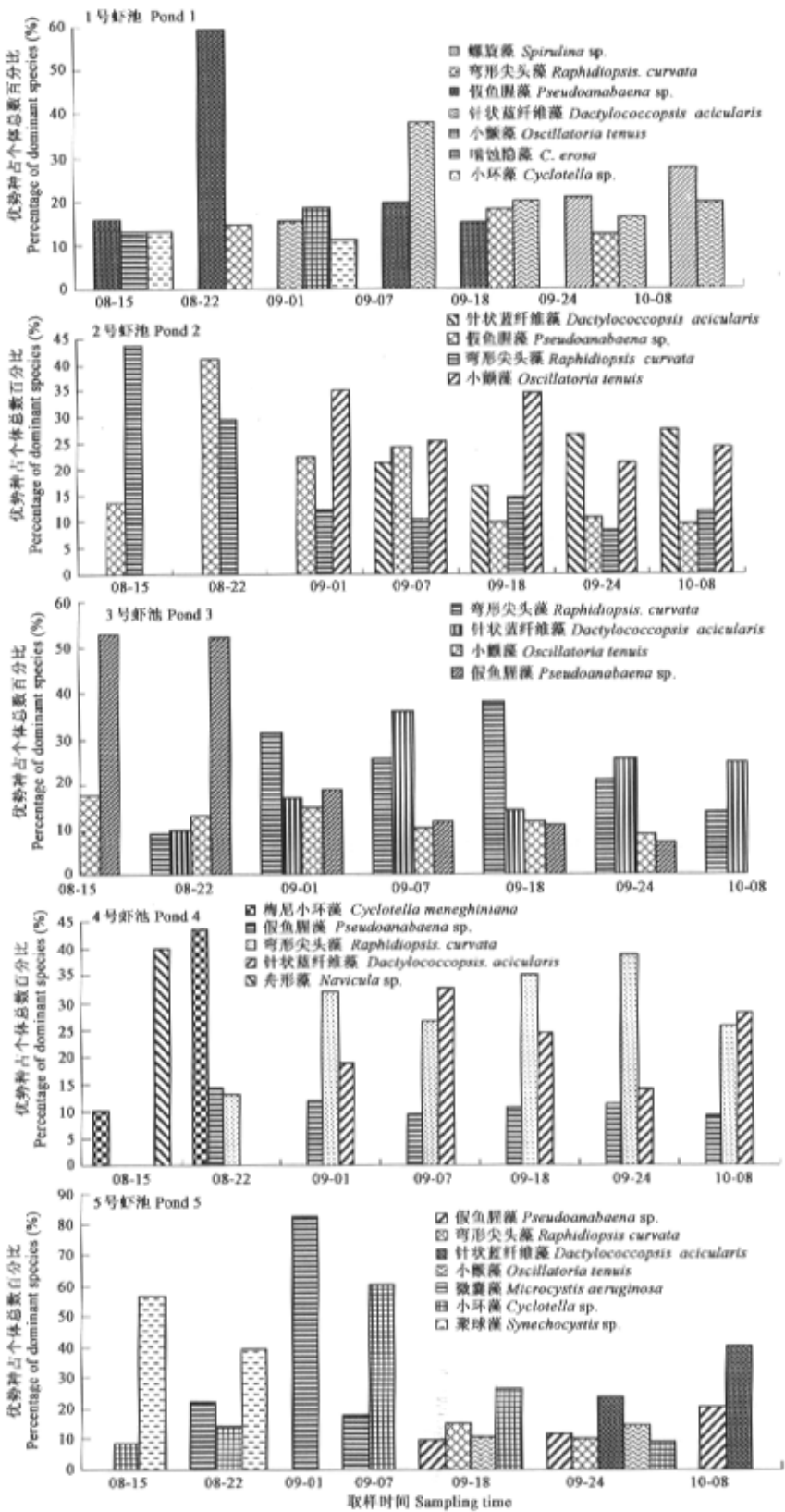


图2 凡纳对虾淡化养殖虾池浮游植物优势种演替动态

Fig. 2 Succession of dominant species of phytoplankton in *L. vannamei* desalination culture ponds

反,早期优势度指数高,后期降低,最明显的是3号、4号和5号虾池,说明早期优势种比较突出。优势度指数最高的是5号虾池,平

均值为 0.23,主要因为水华微囊藻优势度高,最低的是 2 号虾池,平均值仅为 0.09。

2.2 淡化养殖虾池原生动物群落结构

2.2.1 种类组成及变化 在 5 个虾池共检测到原生动物 29 种,其中肉足虫 3 种,纤毛虫 26 种,种类组成及各虾池原生动物出现的情况如表 3 和表 4 所示。1 号虾池原生动物种类数最多,为 23 种,3 号池次之,有 21 种,2 号和 4 号虾池分别为 16 和 17 种,5 号虾池最少,只有 13 种,肉足虫也未检测到。虽每个虾池的种类组成不同,但膜袋虫(*Cyclidium* sp.)、小单环桫毛虫(*Didinium balbianitnanum*)、瓶口虫(*Lagynophrya acuminata*)、圆筒状拟铃壳虫(*Tintinnopsis cylindrata*)及钟虫(*Vorticella* sp.)在每个虾池都被检测到,为虾池常见种,而毛板壳虫(*Coleps hirtus*)、卵形前管虫(*Prorodon ovum*)和旋急游虫(*Strombidium spiralis*)在各个虾池的丰度都较高,为优势种,其优势度分别为 23.99%、16.27%和 16.51%,三者数量共占原生动物总数量 56.7%。毛板壳虫和旋急游虫在各个虾池随养殖的进行,丰度越来越高,圆筒状拟铃壳虫只在虾池某个阶段可成为优势种,其它原生动物为间断性出现,丰度不高。

各虾池原生动物种类数量随着养殖时间的延长,都有逐渐增加的趋势,在 9 月 18 日,受台风和暴风雨的影响,池塘的原生动物种类数都有所减少,随养殖的继续,除 4 号池外,各个池塘的原生动物种类数又逐渐增加,结果见图 3。

2.2.2 原生动物多样性 淡化养殖虾池原生动物多样性总体较低,多样性指数平均只有 1.01~1.67,4 号虾池最高,其次是 1 号池,5 号虾池最低。浮游原生动物群落多样性的高低,是养殖水体好坏的一个标准^[6],养殖水体环境好,原生动物种类多,多样性高,养殖环境差,原生动物种类少,多样性低,这说明 1 号、4 号养殖环境较好,5 号最差,与 1 号、4 号虾池养殖效果良好,5 号虾池养殖效果差的结果一致。

表 3 凡纳对虾淡化养殖虾池原生动物种类组成

Table 3 Protozoan species composition in the <i>L. vannamei</i> desalination culture ponds					
虾池 Ponds	1 号虾池 Pond 1	2 号虾池 Pond 2	3 号虾池 Pond 3	4 号虾池 Pond 4	5 号虾池 Pond 5
原生动物的种类 Protozoan species					
肉足虫 Sarcodina					
针棘刺泡虫 <i>Acanthocystis aculeata</i>			+	+	
冠砂壳虫 <i>D. corona</i>			+		
褐砂壳虫 <i>Diffugia avellana</i>	+	+	+	+	
纤毛虫 Ciliophora					
裂口虫 <i>Amphileptus</i> sp.		+			+
猎裂口虫 <i>Amphileptus meleagris</i>	+		+		
有肋纤虫 <i>Aspidisca costata</i>		+	+	+	
袋形虫 <i>Bursaria</i> sp.	+		+		+
珍珠映毛虫 <i>Cinctochilum margaritaceum</i>	+	+		+	+
齿管虫 <i>Chlamydononus</i> sp.	+				
板壳虫 <i>Coleps notunta</i>		+	+		
毛板壳虫 <i>C. hirtus</i>	+	+	+	+	+
银灰膜袋虫 <i>Cyclidium glaucoma</i>	+			+	
膜袋虫 <i>C. sp.</i>	+	+	+	+	+
双环桫毛虫 <i>Didinium nasutum</i>	+				
小单环桫毛虫 <i>D. balbianitnanum</i>	+	+	+	+	+
稀毛游仆虫 <i>Euplotes raresta</i>	+				
放射毛刺虫 <i>Hastatella radians</i>		+	+	+	+
瓶口虫 <i>Lagynophrya acuminata</i>	+	+	+	+	+
蚤状中缢虫 <i>Mesodinium pulex</i>	+	+			
腐生尖尾虫 <i>Oxytricha saprobia</i>	+				
尾草履虫 <i>Paramecium caudatum</i>	+		+	+	
卵形前管虫 <i>Prorodon ovum</i>	+	+	+	+	+
绿急游虫 <i>Strombidium viride</i>	+	+	+	+	
旋急游虫 <i>S. spiralis</i>	+	+	+	+	+
陀螺侠盗虫 <i>Strobilidium velox</i>	+		+		
筒壳虫 <i>Tintinndium ephemeridum</i>	+		+	+	+
圆筒状拟铃壳虫 <i>Tintinnopsis cylindrata</i>	+	+	+	+	+
王氏拟铃壳虫 <i>Tintinnopsis wang</i>	+		+		
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.	+	+	+	+	+

+ 出现 Appearance

表 4 凡纳对虾淡化养殖虾池原生动物种类数及群落多样性指数

Table 4 Sorts and diversity index of Protozoan community in the <i>L. vannamei</i> desalination culture ponds					
虾池 Ponds	1 号虾池	2 号虾池	3 号虾池	4 号虾池	5 号虾池
原动物类群数及多样性指数	Pond 1	Pond 2	Pond 3	Pond 4	Pond 5
Protozoan species No. and <i>H'</i>					
肉足虫 Sarcodina	1	1	3	2	0
纤毛虫 Ciliophora	22	15	18	15	13
原动物种类数 Protozoa species No.	23	16	21	17	13
多样性指数 <i>H'</i>	1.53	1.42	1.31	1.67	1.01

3 讨论

3.1 浮游植物种类组成及变化特点

凡纳对虾淡化养殖虾池是一种比较独特的养殖环境,对虾是唯一养殖对象,养殖密度高达 150 万尾/hm²,养殖初期水体的盐度一般为 2%~3%,也有接近 0 度的淡水,中后期为淡水。放苗前,经过清池消毒,水体藻类和其它水生生物基本被杀灭,然后经过短暂地肥水即藻类培养后,投放虾苗。养殖初期,藻类一般为绿藻和硅藻,种类丰富度低,生物量少,随养殖时间增加,浮游植物种类增多,生物量增加,养殖水体开始出现富营养化,藻类由绿藻和硅藻转为蓝藻,后期养殖水体富营养化严重,优势种基本为蓝藻。优势种有数量优势种和生物量优势种,本文仅统计分析浮游植物数量优势种,在淡化养殖虾池浮游植物群落中,有时生物量优势种更重要,有些种类虽然个体数量多,优势度突出,但其个体小,生物量少,对微型浮游生物群落和养殖环境稳定性的维持作用并不大,如针状蓝纤维藻、假鱼腥藻等,而有些种类个体数量并不占优势,但个体大,生物量高,光合作用强,对维持微型浮游生物群落及养殖环境稳定性起重要作用,颤藻及微囊藻群体等属这类藻类,有关生物量的统计分析和作用还有待进行。

在凡纳对虾淡化养殖水体中,有些藻类优势种可以同时出现,有些优势种表现相互抑制。针状蓝纤维藻和假鱼腥藻在多数虾池中形成优势种,可与其它优势种共存,而颤藻、小型螺旋藻和微囊藻在形成优势种时,相互之间难以形成共优势种,而颤藻和弯形尖头藻间似有很好的相容性,能形成共优势种,在以蓝藻为优势种的虾池中,硅藻、隐藻和绿藻不易形成优势种,可能是蓝藻在淡化养殖富营养化水体环境中更具竞争优势,对其它藻类产生抑制。

凡纳对虾淡化养殖水体中的藻类,基本为淡水种类,早期养殖水体有极少数硅藻和绿藻种类为咸淡水种类,种类组成与对虾海水养殖或沿海海域种类组成不同^[7,8]。浮游植物种类与虾池底质、水温 and pH 有关,1 号池底质为清淤暴晒的氧化态,养殖后期藻类主要为绿藻和小型螺旋藻,其它虾池底质为淤泥较深发黑的还原态,养殖后期藻类主要为弯形尖头藻、颤藻和极大螺旋藻。虾池以蓝藻为主可能还与养殖水温和 pH 值高有关,蓝藻喜高温和高 pH 环境。台风带来的强降雨,可导致浮游植物种类的降低,主要导致少见种的减少。

3.2 原动物种类组成及变化特点

凡纳对虾淡化养殖虾池原动物有食菌的碎屑者(B)、食藻者(A)、腐养者(S)、肉食者(R)和无选择的杂食者(N),以食菌的碎屑者比例最高。5 口虾池中,食菌的碎屑的原动物种类最多,占到原动物的总种类数的 45.45%,食藻的原动物也有较高比例,占原动物总种类数 36.36%,在优势种中,毛板壳虫属于 A 和 R 类群,而卵形前管虫、旋急游虫和阶段性优势种圆筒状拟铃壳虫则属于 A 和 B 类群,食藻性纤毛虫的大量出现,与淡化养殖特殊环境有关。养殖户在投放虾苗前肥水、高密度封闭式养殖过程中饵料的大量投入,使水体中营养盐不断积累,使藻类大量繁殖,以藻为食的原动物也得以大量繁殖,在种类和数量上占有优势。各个虾池对虾的养殖密度、放苗时间的早晚、饵料的投喂量、施肥及杀菌消毒药物的应用甚至气候等各种因素都可影响到水体中原动物种类组成变化,因此,不同虾池或同一虾池不同养殖时间,其原动物种类和个体数量都有所差异,有时差异比较大。

3.3 微型浮游生物多样性特点

微型浮游生物群落多样性与养殖环境关系密切,同海水养殖相比^[9~11],淡化养殖虾池由于水体的严重富营养化,微型浮游生物群落多样性较低。养殖初期浮游生物种类少,多样性低,中后期种类增多,多样性增高。浮游植物群落多样性指数平均在 1.95~2.56 之间,而原动物群落多样性指数只有 1.01~1.67,从统计结果看,浮游植物种类和多样性均比原生动高,

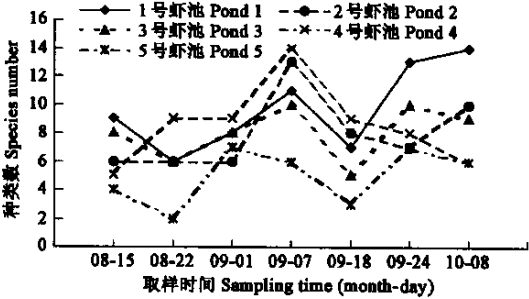


图 3 凡纳对虾淡化养殖虾池原动物种类数变化

Fig. 3 Changes of protozoan species numbers in *L. vannamei* desalination culture ponds

说明浮游植物群落结构和稳定性比原生动动物好,但两大类的优势种都有较高优势度,这可能与养殖水体的富营养化有关。因养殖水体环境完全受人工调控,微型浮游生物优势种和群落的演替速度快,尤其是人为消毒、换水及施肥的影响,健康的养殖水体,需要复杂而稳定的微型浮游生物群落。

3.4 浮游植物与原生动动物及对虾养殖间的关系

淡化养殖虾池微型浮游生物由浮游植物和原生动动物组成,浮游植物与原生动动物密切关系,一些原生动动物直接以浮游植物为食^[12],调查结果淡化养殖虾池原生动动物优势种多为食藻类;图 1 和图 7 结果表明,浮游原生动动物种类组成及变动规律与浮游植物十分相似,都有早期种类少,后期增多的现象,多样性变化也基本一致。虾池微型浮游生物无论是种类还是数量均以浮游植物为主体,浮游植物密度达 10⁸ 个/L,使虾池透明度维持在 20cm 左右,而原生动动物的数量较少,对浮游植物及养殖环境的影响不大。微型浮游生物是养殖初期对虾的天然活饵料,早期虾苗对浮游生物有很强的滤食作用^[13],其组成和数量直接关系到对虾的成活率及健康^[14,15],同时微型浮游生物在维持中后期养殖环境稳定与健康起关键作用,藻类吸收了水体中主要的营养盐和和有害物质^[16],增加水体溶氧,纤毛虫等原生动动物消化了水体中大量的残饵和有机碎屑,净化了养殖环境,培养健康稳定的微型浮游生物群落是淡化养殖的关键之一。

References:

[1] Lin Y K. Test on *Penaeus vannamei* high yield and intensive culture in fresh water ponds. *Freshwater Fisheries*, 2002, **32**(5): 24~26.

[2] Yang X L. The diseases and its control to *Penaeus vannamei*. *Modern Fisheries*, 2002, (3): 6~9.

[3] Hu H J, Li Y Y, Wei Y X, *et al.* *Freshwater algae of China*. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 1980. 10~478.

[4] Shen Y F. *Protozoology*. Beijing: Science Press, 1999. 139~482.

[5] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biodiversity I. α diversity measurement(I). *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(4):2131~239.

[6] XU R L, Bai Q S, Xie R W. PFU Protozoan Community Characteristics and the Relation with the Water Quality in the Guangzhou Reach of the Pearel River. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(4): 479~485.

[7] Huang X H, Wang Q H. A study on dominant phytoplankton species in high-level prawn ponds and its formation cause. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, **21**(4): 36~44.

[8] Yang Q L, Chen Q H, Lin J M, *et al.* Ecological characteristics of phytoplankton community from eutrophic waters in the Maluan Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 1988, **20**(1): 101~112.

[9] Jiao X Y. Species diversity of aquerrantia in the prawn pool and coast of Dongxiaomo. *Chinese Biodiversity*, 1996, **4**(1): 7~13.

[10] Sun Y, Li F, Li J, *et al.* Phytoplankton community characteristics and their relationship with nutrient salts in shrimp ponds. *Marine Fisheries Research*, 1998, **19**(2): 45~51.

[11] Tookwinas Siri, Songsangjinda Putth. Water quality and phytoplankton communities in intensive shrimp culture ponds in Kung Krabaen Bay, Eastern Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1999, **30**(1): 36~45.

[12] Zhao W, Liu G C. *In situ* grazing capacity of zooplankton grazing on phytoplankton in marine shrimp ponds. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(2): 217~222.

[13] Lu J, Li D S, Dong S L. The impact of stocking density on plankton community in shrimp pond. *Journal of Fisheries of China*, 2000, **24**(3): 240~246.

[14] Guo H, Yu Z G. The characteristics of phytoplankton community in prawn pond and the relationships with shrimp disease. *Marine Science*, 1996,**20**(1): 39~44.

[15] Mi Z Q, Xie J, Pan D B, *et al.* Relationship among the phytoplankton, physicochemical factors and shrimp disease in intensive shrimp farming pond. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, **8**(4): 304~308.

[16] Benjamas Chuntapa, Sorawit Powtongsook, Piamsak Menasveta. Water quality control using *Spirulina platensis* in shrimp culture tanks. *Aquaculture*, 2003, **220**: 355~366.

参考文献:

[1] 林玉坤. 凡纳对虾淡水池塘高产精养试验. *淡水渔业*, 2002, **32**(5):24~26.

[2] 杨先乐. 凡纳对虾的病害及其控制. *渔业现代化*, 2002, (3): 6~9.

[3] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类. 上海:上海科学技术出版社, 1980. 10~478.

[4] 沈韞芬. 原生动物学. 北京:科学出版社, 1999. 139~482.

[5] 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). *生物多样性*, 1994, **2**(4):2131~239.

[6] 徐润林, 白庆笙, 谢瑞文. 珠江广州市段 PFU 原生动动物群落特征及其与水质的关系. *生态学报*, 2002, **22**(4): 479~485.

[7] 黄翔鸽, 王庆恒. 对虾高位池优势浮游植物种群与成因研究. *热带海洋学报*, 2002, **21**(4):36~44.

[8] 杨清良, 陈其焕, 林金美, 等. 厦门马銮湾富营养化水域浮游植物群落的生态特征. *海洋学报*, 1998, **20**(1): 101~112.

[9] 矫晓阳. 东小磨虾池及其沿岸浮游植物群落物种多样性. *生物多样性*, 1996, **4** (1):7~13.

[10] 孙耀, 李键, 等. 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*, 1998, **19**(2):45~51.

[12] 赵文, 刘国才. 海水养虾池浮游动物对浮游植物牧食力的研究. *生态学报*, 1999, **19**(2): 217~222.

[13] 卢静, 李德尚. 对虾池的放养密度对浮游生物群落的影响. *水产学报*, 2000, **24**(3):240~246.

[14] 郭皓, 于占国. 虾池浮游植物群落特征极其与虾病的关系. *海洋科学*, 1996, **20**(1): 39~44.

[15] 米振琴, 谢俊, 潘德博, 等. 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*, 1999, **8**(4):304~308.