

菲律宾蛤仔反季节高效生态养殖池中 浮游植物生态特征研究

徐晓津¹ 吴成业¹ 阎希柱^{1*} 吴景宏¹ 简艺明¹ 黄萍萍¹ 陈银辉² 林金泰²

(¹集美大学水产学院 福建省高校水产科学技术与食品安全重点实验室, 厦门 361021)

(²福建省莆田市后海围垦管理局, 351166)

摘要 2007~2008年在莆田后海围垦区进行菲律宾蛤仔反季节高滩位高效生态养殖, 收获的菲律宾蛤仔平均规格115粒/kg, 平均产量6 247.5 kg/hm², 较传统养殖模式提高效益28%。藻类池与养殖池浮游植物有34种, 优势种主要有中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*、反曲原甲藻 *Prorocentrum sigmoides*、利马原甲藻 *Prorocentrum lima*、新月拟菱形藻 *Nitzschia closterium*、海洋原甲藻 *Prorocentrum micans*。中肋骨条藻在不同的月份中均为最主要的优势种。不同月份各池浮游植物细胞丰度的变化范围为(0.02~190)×10⁴ cells/L。2007年11月与2008年3月浮游植物细胞丰度较高, 2008年1、2月藻类细胞丰度相对较低。通过对池中水温、透明度、无机氮、无机磷、DO、浮游植物多样性指数和均匀度的分析, 说明菲律宾蛤仔池大量施肥已很大程度影响了浮游植物的种类组成与细胞丰度。养殖过程中浮游植物生物多样性较好、均匀度较低、优势度高, 菲律宾蛤仔适口饵料中中肋骨条藻等优势种类大量繁殖, 有利于提高菲律宾蛤仔的产量。

关键词 菲律宾蛤仔 反季节养殖 浮游植物 种类组成 多样性

中图分类号 Q14 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)06-0060-09

Study on the ecological characteristics of phytoplankton in an off-season high efficient and ecological culture pond of short neck clam *Ruditapes philippinarum*

XU Xiao-jin¹ WU Cheng-ye¹ YAN Xi-zhu^{1*} WU Jing-hong¹
JIAN Yi-ming¹ HUANG Ping-ping¹ CHEN Yin-hui² LIN Jin-tai²

(¹Key laboratory of Science and Technology for Aquaculture and Food Safety of Fujian Province
Universities, Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021)

(²Administration of Dam Inning Zone of Putian, 351166)

ABSTRACT The *Ruditapes philippinarum* high efficient eco-culture in the high-tide area of reclaimed zone of Putian city, Fujian Province was studied during 2007~2008. The average size of *R. philippinarum* was 115 ind./kg, and the average production was 6 247.5 kg/ha, showing a 28% increase in economic return than the traditional culture pattern. The results showed

福建省科技计划重点项目(2009I0018)、福建省海洋与渔业局重点项目([2007]2-12)、2008年度省级大学生创新性实验计划(C06234)、集美大学水产科学技术与食品安全省高校重点实验室开放基金、集美大学博士启动基金和李尚大集美大学学科建设基金(C510056)共同资助

* 通讯作者。E-mail: yanxizhu@tom.com

收稿日期: 2009-12-06; 接受日期: 2010-03-29

作者简介: 徐晓津(1969-), 女, 副教授, 博士, 主要从事海洋生物学研究。E-mail: xiaojinxu@jmu.edu.cn, Tel: 13159234698

that the phytoplankton community was mainly composed of 34 species. The dominant species were *Skeletonema costatum*, *Prorocentrum sigmoides*, *Prorocentrum lima*, *Nitzschia closterium* and *Prorocentrum micans*. The most dominant one was *S. costatum*, and the overwhelming dominance of this species lasted for more than five months. The cell abundance was between $0.02 \times 10^4 \sim 190 \times 10^4$ cells/L in different months. High cell abundance of phytoplankton occurred in November 2007 and March 2008. Low cell abundance of phytoplankton occurred in January and February 2008. The temperature, transparency, inorganic nitrogen, inorganic phosphorus, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, species diversity values, and index of phytoplankton evenness were measured and used for analyzing the characteristics of the community structure of the phytoplankton in the study area. Long term use of fertilizers in eutrophic aquatic ecosystems had effect on the phytoplankton species composition, leading to the elevation of species diversity values and the decline of phytoplankton evenness. The dominant species were remarkable. The dominant species *S. costatum*, which was the favorite diet of *R. philippinarum*, increased rapidly, contributing to the increased yield of this clam.

KEY WORDS *Ruditapes philippinarum* Off-season farming Phytoplankton
Species composition Diversity

菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum*, 俗称花蛤, 滩涂围垦养殖具有较高的生态效益和经济效益。福建省莆田市现有围海造田形成的海滩地面积近 20 000 hm², 我们通过几年的试验、示范, 探索出一套适合莆田市高滩位菲律宾蛤仔反季节高效生态养殖技术, 并在福建省其他地区示范与推广。传统菲律宾蛤仔养殖, 收获季节主要集中在 5~9 月, 大量集中上市造成菲律宾蛤仔价格低, 经济效益差。本项目在 7、8 月投蛤苗, 于次年 2~4 月收成, 春节前后上市, 突破菲律宾蛤仔淡季上市问题, 大幅度提高经济效益, 达到反季节生产的目的; 解决高滩位区的开发利用率低, 经济效益差的问题; 并采用复合池塘养殖技术, 解决藻类培养困难、菲律宾蛤仔生长速度慢的问题; 浮游植物作为菲律宾蛤仔天然饵料主要来源之一, 其结构特征关系到菲律宾蛤仔对浮游植物饵料的喜好程度, 高密度养殖菲律宾蛤仔的产量和质量与浮游植物的种类和数量密切相关, 充足的浮游植物以及合理的种群结构必将促进菲律宾蛤仔的生长, 降低养殖成本。同时在养殖池生态系统中, 一个适宜和稳定的浮游植物群落对改善养殖池环境、降低 NH₃ 和 H₂S 等有害物质的含量, 抑制病原菌和维持养殖池正常生产有重要意义。有关浮游植物在海洋中的分布, 已有相当多的研究(张才学等 2006; 汤琳等 2007); 浮游植物在对虾等养殖池中的生态特征和群落演替等方面的研究也相继开展(王海雷等 2005; 李纯厚等 2002; 郭皓等 1999; 郭丰等 2002), 未见菲律宾蛤仔养殖池中浮游植物的相关报道。本文对莆田市围垦菲律宾蛤仔反季节高位养殖池浮游植物生态特征开展研究, 以期为高产量的菲律宾蛤仔养殖模式示范与推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 菲律宾蛤仔高效生态养殖基本状况

在福建省莆田市后海垦区进行菲律宾蛤仔养殖试验(图 1), 共 10 口土池, 各池面积均为 0.087 hm²(图 2), 其中 1 号南池塘(以下简称藻类池)用于藻类育种, 另外 9 口用于养殖菲律宾蛤仔; 藻类培养池和菲律宾蛤仔养殖池均施肥培养藻类, 自然繁殖。每隔 1~2 d 由藻类培养池排出的含高浓度藻类的海水通过进水沟自然流入菲律宾蛤仔养殖池。菲律宾蛤仔培养池水深 0.4~0.7 m 左右, 藻类培养池水深 0.7~1.5 m。藻类育种池和菲律宾蛤仔养殖池构成了一个完整菲律宾蛤仔反季节高效生态养殖系统。选择其中藻类培养池和两口菲律宾蛤仔养殖池(南 2 号池和南 3 号池)测定, 这两口池塘均投放了购自莆田市东峤镇赤岐海区的菲律宾蛤仔大苗, 投苗情况见表 1。

表1 南2、3号菲律宾蛤仔养殖池反季节养殖投苗情况

Table 1 Seeding of off-season culture of *R. philippinarum* in south pond No. 2 and pond No. 3

池号 Pond number	日期 Date (年-月-日)	苗种规格 Juvenile shellfish size(ind. /kg)	重量 Weight(kg)	池号 Pond number	日期 Date (年-月-日)	苗种规格 Juvenile shellfish size(ind. /kg)	重量 Weight(kg)
南2号池 South pond No. 2	2007-08-02	720	2 194	南3号池 South pond No. 3	2007-07-17	640	2 340

1.2 浮游植物采样时间与地点

于2007年11月~2008年3月每月月初采样1次,各池设置3个采样点(分别位于进水口附近、出水口附近和池中央)。

1.3 浮游植物采集地点水温及溶解氧的测定

测量水温,用温克勒(Winkler)法测溶解氧(DO)(李德尚 1993)。

1.4 浮游植物样品的处理与观察

样品的采集、固定、计数、计算及资料分析处理方法均按《海洋调查规范》(1992)执行。用颠倒式采水器采集水面以下约20 cm的次表层水1~1.5 L,甲醛固定至终浓度为5%。静置,浓缩至10~100 ml。用浮游植物计数框在OLYMPUS(BH-2)光学显微镜下鉴定并计数。

1.5 浮游植物多样性指数、均匀度指数和优势度指数的计算

浮游植物多样性指数(Shannon-Wiener index)计算公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, P_i = N_i / N$$

式中,S为样品中的物种数, N_i 为第*i*种的个体数, N 为所有种类的个体总数。

均匀度指数采用Pielou均匀度指数,计算公式为:

$$J = H' / \ln S$$

式中, H' 为Shannon-Wiener多样性指数, $\ln S$ 表示多样性指数的最大值。

优势度指数采用Simpson优势度指数,计算公式为:

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

式中,多样性指数、多样性阈值优势度和均匀度的计算参考陈清潮等(1994)及林永水等(1997)的报道。

1.6 池水中理化因子的测定

测定的池水中理化因子有:温度、盐度、透明度、无机氮、无机磷、溶解氧(DO)(另文发表)。用温度计和盐度计直接测量水温和盐度,用透明度盘测量透明度。采用温克勒(Winkler)法测溶解氧。养殖池中悬浮物和藻类的浓度较高,用0.45 μm 滤膜过滤水样后测量,执行国标GB 17378.4-2007《海水监测规范》第4部分——海水分析的检测标准。采用次溴酸钠氧化法测量无机氮。采用抗坏血酸为还原剂的磷钼蓝测定法测定无机磷(李德尚 1993)。

2 结果

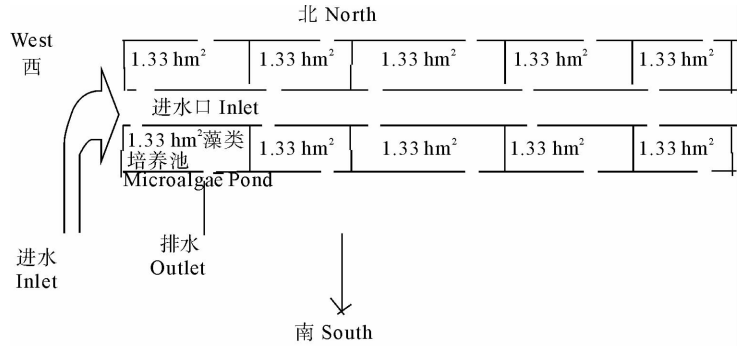
2.1 菲律宾蛤仔高效生态养殖收成情况

2007~2008年菲律宾蛤仔反季节养殖南2、3号池塘收成情况见表2,收获的菲律宾蛤仔平均规格为115

粒/kg。两口菲律宾蛤仔池塘的平均产量为 6 247.5 kg/hm², 平均养殖时间为 251 d。



图 1 莆田市后海围垦养殖水域位置
Fig. 1 Station of culture water area of Houhai Bay in Putian, Fujian



注: 一口 1.33 hm² 的池塘用于培养藻类, 供 9 口 1.33 hm² 的池塘中的花蛤摄食

图 2 菲律宾蛤仔养殖池浮游植物调查位置
Fig. 2 Phytoplankton sampling station of *R. philippinarum* culture pond

表 2 南 2、3 号菲律宾蛤仔养殖池反季节养殖收成情况

Table 2 Harvest of off-season culture of *R. philippinarum* in south pond No. 2 and No. 3

池号 Pond number	产量(kg/池塘) Yield(kg/pond)	规格(个/kg) Size(ind./kg)	收成日期(年-月-日) Harvest date	产量(kg/hm ²) Production	养殖时间(d) Culture time
南 2 号池 South pond No. 2	7 940	120	2008-04-02	5 955	245
南 3 号池 South pond No. 3	8 720	110	2008-03-29	6 540	257

2.2 浮游植物的种类组成

藻类池与养殖池主要有浮游植物 34 种, 包括硅藻 25 种, 甲藻 5 种, 其他藻类 4 种。采样站位的各月份浮游植物种类不尽相同, 但总体上出现频率较高的藻类为: 中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*、反曲原甲藻 *Prorocentrum sigmoides*、利马原甲藻 *Prorocentrum lima*、新月拟菱形藻 *Nitzschia closterium*、海洋原甲藻 *Prorocentrum micans*、派格棍形藻 *Bacillaria paxillifera*、相似曲舟藻 *Pleurosigma affine*、海生斑条藻 *Grammatophora marina*、纺锤梨甲藻 *Pyrocystis fusiiformis* 等, 中肋骨条藻在各月份上均为最主要的优势种。浮游植物优势种单一, 优势度明显, 中肋骨条藻和反曲原甲藻数量最多(表 3)。不同月份各池浮游植物细胞丰度的变化范围为(0.02~190)×10⁴ cells/L。在 2007 年 11 月及 2008 年 3 月, 藻类池及菲律宾蛤仔养殖池浮游植物细胞丰度相对较高, 藻类池中肋骨条藻分别达到 190×10⁴ 及 130×10⁴ cells/L(图 4), 南 2 号菲律宾蛤仔养殖池中肋骨条藻分别达到 52×10⁴ 及 80×10⁴ cells/L(图 5), 菲律宾蛤仔养殖池中肋骨条藻与反曲原甲藻细胞丰度均较高(图 3)。在 2008 年 1、2 月, 各池中浮游植物细胞丰度均急剧下降, 藻类池中肋骨条藻分别为 6.8×10⁴ 及 33×10⁴ cells/L(表 3、表 4)。在 2008 年 1 月各池浮游植物丰度降至最低, 中肋骨条藻细胞丰度也达最低值(图 3~图 5)。

2.3 浮游植物多样性、均匀度和优势度

各月份藻类池浮游植物多样性范围为 2.55~2.93(表 4), 南 2、3 号菲律宾蛤仔养殖池多样性范围为 2.15~2.67, 藻类池的多样性指数高于养殖池的, 各池多样性平均值为 2.54, 各池浮游植物多样性较好, 不同季节各池多样性指数没有明显变化规律。浮游植物均匀度指数范围为 0.50~0.68, 平均值为 0.59, 均匀度相对较低, 不同季节菲律宾蛤仔池与藻类池间均匀度差别不大。优势度指数范围为 0.68~0.83, 平均值为 0.77, 优势度指数较高, 藻类池与菲律宾蛤仔池在不同季节间优势度变化不大。各池浮游植物具有多样性相对较高、低均匀度和高优势度的特点。浮游植物群落变化没有明显的季节差异。

表3 浮游植物主要种类及细胞丰度

Table 3 The major species and cell numbers of phytoplankton

年-月 Year-month	浮游植物优势种 Dominant species of phytoplankton	南2号池细胞丰度 Cell numbers in pond No. 2 ($\times 10^4$ cells/L)	南3号池细胞丰度 Cell numbers in pond No. 3 ($\times 10^4$ cells/L)	藻类池细胞丰度 Cell numbers in phytoplankton pond ($\times 10^4$ cells/L)
2007-11	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	52	100	190
	反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>	45	40	83
	利马原甲藻 <i>P. lima</i>	33	37	62
	新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	22	27	36
	海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	12	16	24
	派格棍形藻 <i>B. paxillifera</i>	6.6	0.9	1.2
	相似曲舟藻 <i>P. affine</i>	1.2	3.4	2.2
	海生斑条藻 <i>G. marina</i>	1.5	0.4	3.9
	华丽针杆藻 <i>Synedra formosa</i> Hantzsch	0.48	0.32	0.35
	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	0.5	0.9	1.2
	笔尖根管藻 <i>Rhizosolenia styli fomi</i>	0.08	0.02	0.12
	美丽漂流藻 <i>Planktoniella formosa</i>	0.16	0.26	0.69
	甲藻孢囊 <i>Pyrrophyta cyst</i>	0.82	0.96	7.7
	笔尖根管藻 <i>Rhizosolenia styli fomis</i>	0.9	0.57	2.4
	细长翼根管藻 <i>Rhizosolenia alata</i>	0.34	0.57	1.1
	粗针杆藻 <i>Synedra rumpens</i>	0.9	0.39	6.8
	微形原甲藻 <i>Prorocentrum minimum</i>	0.19	0.29	4.6
	具齿原甲藻 <i>Prorocentrum dantatum</i>	0.19	0.31	4.9
	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	0.8	0.4	1.2
	2007-12	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	45	71
反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>		35	21	63
利马原甲藻 <i>P. lima</i>		27	23	37
新月菱形藻 <i>N. closterium</i>		12	17	26
海洋原甲藻 <i>P. micans</i>		16	17	24
派格棍形藻 <i>B. paxillifera</i>		1.3	0.9	2.2
相似曲舟藻 <i>P. affine</i>		0.18	0.51	0.8
华丽针杆藻 <i>Synedra formosa</i> Hantzsch		0.08	0.15	0.35
脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.		0.11	0.04	0.13
扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>		0.07	0.09	12
2008-01	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	4.9	5.2	6.8
	反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>	17	18	36
	利马原甲藻 <i>P. lima</i>	12.7	11.6	13.3
	新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	7.3	5.4	15
	海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	5.5	4.9	16
	派格棍形藻 <i>B. paxillifera</i>	1.2	0.4	2.3
	相似曲舟藻 <i>P. affine</i>	12	2	20
	海生斑条藻 <i>G. marina</i>	1	0.9	3.1
	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	0.04	0.06	1.2
2008-02	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	13	10	33
	反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>	19	21	39
	利马原甲藻 <i>P. lima</i>	11.7	11.6	12.7
	新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	8.4	7.1	13
	海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	6.8	3.9	12
	派格棍形藻 <i>B. paxillifera</i>	6.6	3.6	6
	相似曲舟藻 <i>P. affine</i>	0.4	0.1	0.4
	海生斑条藻 <i>G. marina</i>	0.5	0.9	3.1
	美丽斜纹藻 <i>Pleuro sigma formosum</i>	0.06	0.04	1.5
	纺锤梨甲藻 <i>P. fusiiformis</i>	1	1.1	14
甲藻孢囊 <i>Pyrrophyta cyst</i>	0.5	1.2	14	
2008-03	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	80	95	130
	反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>	44	48	81
	利马原甲藻 <i>P. lima</i>	17	16	27
	新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	19	14	24
	海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	19	11	19
	派格棍形藻 <i>B. paxillifera</i>	5.8	4.8	7.6
	纺锤梨甲藻 <i>P. fusiiformis</i>	1.9	1.8	13
	相似曲舟藻 <i>P. affine</i>	0.2	0.15	5
	海生斑条藻 <i>G. marina</i>	0.4	0.7	1.1
	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	0.3	0.7	1.1
	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	0.04	0.08	0.9
	尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	0.04	0.05	0.9
	柔弱伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> Heiden	0.06	0.05	0.8
美丽斜纹藻 <i>Pleuro sigma formosum</i>	0.26	0.34	3.9	

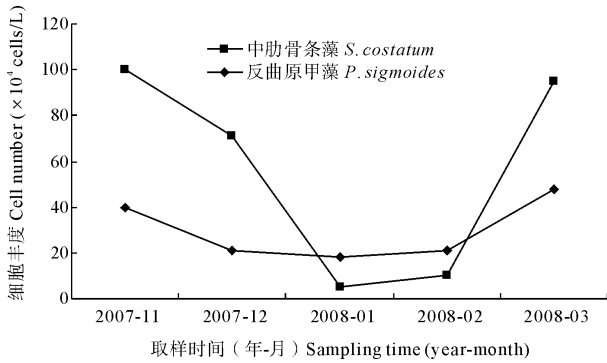


图 3 南 3 号菲律宾蛤仔养殖池中中肋骨条藻和反曲原甲藻细胞丰度变化

Fig. 3 Variation of cell numbers of *S. costatum* and *P. sigmoides* in south pond No. 3 for culture of *R. philippinarum*

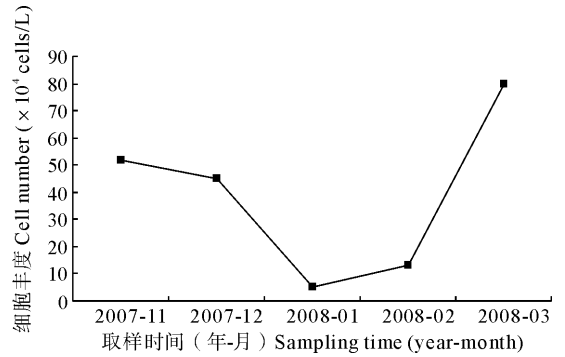


图 4 南 2 号菲律宾蛤仔池中中肋骨条藻细胞丰度变化
Fig. 4 Variation of cell numbers of *S. costatum* in south pond No. 2 for culture of *R. philippinarum*

2.4 浮游植物数量变化与主要理化因子之间的关系

本研究测定的影响浮游植物的主要理化因子有:温度、透明度、无机氮、无机磷、DO 等,其结果见表 5、表 6。养殖期间,藻类池和菲律宾蛤仔养殖池水温变化为 13~19.39 °C,2007 年 11 月达最高水温,2008 年 1 月水温最低,影响藻类的生长,降低藻类数量。从表 5 和表 6 中可见藻类池和菲律宾蛤仔养殖池同月份温度变化差别不大。藻类池的透明度变化范围为 36~44 cm,最高值出现在 2008 年 1 月,菲律宾蛤仔养殖池的透明度变化范围为 72~77 cm,最高值出现在 2008 年 2 月,藻类池的透明度比菲律宾蛤仔养殖池的低。

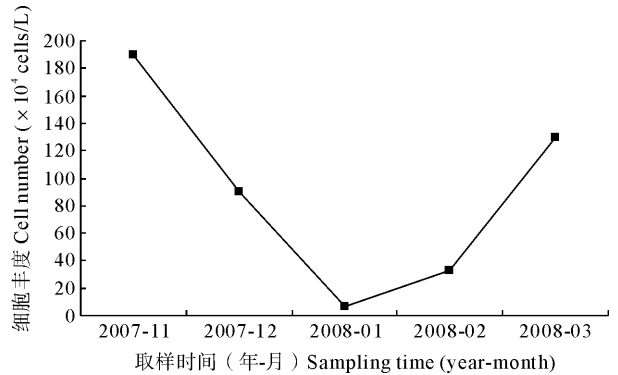


图 5 藻类池不同月份中肋骨条藻细胞丰度变化
Fig. 5 Variation of cell numbers of *S. costatum* in phytoplankton pond

表 4 浮游植物多样性指数、均匀度和优势度变化

Table 4 The variation of Shannon-Wiener, Pielou, and Simpson indices of phytoplankton

日期 Date (年-月)	多样性指数 Shannon-Wiener index			均匀度指数 Pielou index			优势度指数 Simpson index		
	南 2 号池	南 3 号池	藻类池	南 2 号池	南 3 号池	藻类池	南 2 号池	南 3 号池	藻类池
	South pond No. 2	South pond No. 3	Phytoplankton pond	South pond No. 2	South pond No. 3	Phytoplankton pond	South pond No. 2	South pond No. 3	Phytoplankton pond
2007-11	2.67	2.38	2.62	0.62	0.55	0.61	0.80	0.74	0.75
2007-12	2.43	2.26	2.55	0.56	0.52	0.59	0.79	0.73	0.79
2008-01	2.67	2.53	2.75	0.62	0.59	0.64	0.80	0.76	0.81
2008-02	2.59	2.50	2.93	0.60	0.58	0.68	0.79	0.76	0.83
2008-03	2.31	2.15	2.76	0.54	0.50	0.64	0.74	0.68	0.80

藻类池的无机氮变化范围为 1.87~3.04 mg/L,最高值出现在 2008 年 1 月,菲律宾蛤仔养殖池的无机氮变化范围为 0.13~1.57 mg/L,最高值出现在 2008 年 3 月,藻类池中的无机氮含量均比菲律宾蛤仔养殖池的高。藻类池的无机磷变化范围为 0.4~0.8 mg/L,最高值出现在 2008 年 1 月。菲律宾蛤仔养殖池的无机磷变

表5 藻类池中理化因子的变化

Table 5 The variation of physical and chemical factors in the phytoplankton pond

藻类池 Phytoplankton pond	年-月 (Year-month)					藻类池 Phytoplankton pond	年-月 (Year-month)				
	2007-11	2007-12	2008-01	2008-02	2008-03		2007-11	2007-12	2008-01	2008-02	2008-03
温度(°C) Temperature	19.29	15.19	13.25	14.40	17.37	无机磷(mg/L) Inorganic phosphorus	0.56	0.78	0.79	0.68	0.64
透明度(cm) Transparency	36.00	39.00	44.00	42.70	37.33	DO(mg/L)	10.71	8.35	7.3	8.99	9.57
无机氮(mg/L) Inorganic nitrogen	2.52	2.45	3.04	1.87	2.02						

表6 菲律宾蛤仔养殖池中理化因子的变化

Table 6 The variation of physical and chemical factors in *R. philippinarum* culture pond

菲律宾蛤仔池 <i>R. philippinarum</i> pond	年-月 (Year-month)					菲律宾蛤仔池 <i>R. philippinarum</i> pond	年-月 (Year-month)				
	2007-11	2007-12	2008-01	2008-02	2008-03		2007-11	2007-12	2008-01	2008-02	2008-03
温度(°C) Temperature	19.39	15.53	13.00	14.33	17.60	无机磷(mg/L) Inorganic phosphorus	0.16	0.30	0.36	0.36	0.47
透明度(cm) Transparency	72.40	72.00	75.33	77.67	72.33	DO(mg/L)	9.38	6.46	7.35	7.74	8.80
无机氮(mg/L) Inorganic nitrogen	1.50	1.26	0.13	1.20	1.57						

化范围为 0.1~0.5 mg/L,最高值出现在 2008 年 3 月。藻类池中的无机磷含量均比菲律宾蛤仔养殖池中的高,而藻类池无机磷含量不同月份差别不大,菲律宾蛤仔养殖池无机磷含量则是呈逐月上升的趋势。

藻类池的溶解氧(DO)变化范围为 7.3~12 mg/L,菲律宾蛤仔养殖池的 DO 变化范围为 6.4~10.14 mg/L,2007 年 11 月与 2008 年 3 月 DO 相比较,藻类池中的溶解氧含量均比菲律宾蛤仔养殖池中的高。

以上各项理化因子变化表明,2007 年 11 月与 2008 年 3 月,藻类池与菲律宾蛤仔养殖池透明度较低,DO 值相对较高,适合藻类生长繁殖,浮游植物丰度较高。而 2008 年 1、2 月池中各项理化因子变化,不适合藻类大量生长,浮游植物丰度下降。

3 讨论

3.1 菲律宾蛤仔反季节养殖效益分析

传统菲律宾蛤仔养殖模式,在 4~6 月投苗,苗种规格 1 000 粒/kg,于次年 10~11 月收成。产量约 3 000~4 500 kg/hm²,价格 6.4 元/kg,净效益约 1.8 万元/hm²。2007 年菲律宾蛤仔反季节养殖项目,在 7~8 月投苗,苗种规格较大,达 600 粒/kg,于次年 2~4 月陆续收成,销售平均价格为 9.86 元/kg,9 口菲律宾蛤仔池塘平均产量为 6 017 kg/hm²,净效益 2.3 万元/hm²。较传统养殖模式提高效益 28%,缩短了养殖周期,能够在春节前后上市,弥补了菲律宾蛤仔市场淡季的需求,经济效益显著。

3.2 菲律宾蛤仔反季节高效生态养殖对浮游植物生长的影响

如何保持菲律宾蛤仔养殖水体稳定的浮游植物群落结构和数量,是提高菲律宾蛤仔产量的重要手段。传统菲律宾蛤仔养殖模式,无论单养还是混养(与鱼、虾和藻),不利于解决菲律宾蛤仔的天然饵料——藻类持续生长繁殖的问题,藻类与菲律宾蛤仔在同一池塘内,大量施肥难以为菲律宾蛤仔提供良好的生长环境,同时由于菲律宾蛤仔对藻类的不断摄食,对藻类的生长和繁殖造成一定的压力,增加了藻类的培养难度。本项目利用单独藻类池培养适宜藻类,起高密度藻种作用,并利用选择性调控培养技术,包括在藻类培养池、菲律宾蛤仔池

投饵、施肥来调节水质和培养藻类, 饲料有鲜饵料、小鱼干、黄豆等, 将各种饲料研磨成粉末, 也有利于滤食性生物菲律宾蛤仔的摄食。本课题组在 10~12 月, 在实验室内用豆浆投饵, 实验证明菲律宾蛤仔摄食豆浆。同时加强施复合肥、氨基酸生态肥、碳酸氢铵、过磷酸钙、有机复合肥等肥料。再分别将藻类育肥池肥水定期排至各养殖池, 有利于大大促进各养殖池藻类生长繁殖, 提高了天然饵料藻类细胞丰度, 增加了菲律宾蛤仔饵料量, 提高了菲律宾蛤仔产量。

垦区菲律宾蛤仔养殖池浮游植物主要有硅藻、甲藻, 尤其是中肋骨条藻细胞丰度较高。硅藻是海洋养殖水域浮游植物和底栖藻类中的最主要类群, 硅藻不仅是滤食性鱼类、贝类和虾类的重要饵料生物, 还可以通过光合作用释放氧气, 在一定范围内净化养殖环境(李雪松等 2006)。其次是甲藻, 反曲原甲藻细胞丰度相对较高。

3.3 浮游植物多样性、均匀度变化

生物多样性指数是指某一区域各种生物个体数量的出现概率之和, 是衡量群落稳定性的一个重要尺度, 通常有两个参数与物种多样性密切相关, 即物种丰富度和物种个体数量。菲律宾蛤仔养殖池与藻类池各月份多样性指数范围为 2.15~2.93, 平均为 2.54。参照陈清潮等(1994)提出的生物多样性阈值标准, 说明菲律宾蛤仔池与藻类池浮游植物多样性较好, 属于第三类(Ⅲ), 表明藻类群落的稳定性好, 与粤东贝类养殖水域多样性指数平均值为 2.78 的结果相近(李纯厚等 2002)。均匀度反映了各物种个体数目分配的均匀程度(郭 皓等 1996)。菲律宾蛤仔池与藻类池浮游植物均匀度较低, 说明各物种数目分布不均匀。

由于菲律宾蛤仔养殖过程中不断施肥, 必然使某些少数种类的生长竞争优势得到更充分的体现, 浮游植物群落丰度随之上升, 均匀度则相应下降。说明各池浮游植物物种组成的共同特点是优势种单一, 主要是中肋骨条藻, 优势度较大, 群落结构相对简单。各池浮游植物群落变化没有明显的季节差异。

3.4 菲律宾蛤仔池中浮游植物细胞丰度、种类组成与环境因子之间的关系

浮游植物群落的种类组成受光照、水温、氮、磷含量等环境因子的制约, 氮、磷是藻类生长的必需生源物质, 对藻类生长繁殖起着十分重要的作用。

浮游植物细胞丰度与水温成正相关, 温度直接影响藻类的生长和繁殖(Yosoff *et al.* 2002; Watson *et al.* 2003)。2008 年 1、2 月, 温度低, 光照弱, 且连续下大雨, 不适宜藻类的生长繁殖, 浮游植物细胞丰度低。2007 年 11 月、2008 年 3 月, 温度相对较高, 藻类的生长繁殖渐趋旺盛。浮游植物数量的增加, 会直接影响池水的透明度, 在菲律宾蛤仔反季节高效生态养殖池塘中, 透明度与藻类含量也呈现显著的负相关, 2008 年 1、2 月, 浮游植物细胞丰度高, 池水透明度低, 2007 年 11 月及 2008 年 3 月则相反, 这与凡纳滨对虾养殖池浮游植物群落的结果相近(张才学等 2006)。

丰富的氮、磷等营养是浮游植物大量繁殖的物质基础(郭 丰等 2002), 也是该浮游植物丰度高的原因。施肥能极大地促进浮游植物的增长, 河蟹施肥池浮游植物生物量均值几乎为不施肥池的 10 倍(王海雷等 2005)。在菲律宾蛤仔池中长期加强施各种复合肥, 浮游植物细胞丰度高。在菲律宾蛤仔养殖过程中广温藻类, 菲律宾蛤仔的适口饵料中肋骨条藻是优势种, 细胞丰度高达 $(6.8 \sim 190) \times 10^4$ cells/L, 促进了菲律宾蛤仔养殖产量的提高。这与泉州湾海区中肋骨条藻细胞丰度为 183×10^4 cells/L(李德尚 1993)、厦门对虾养殖垦区优势种中肋骨条藻达 1.4×10^6 cells/L(郭 丰等 2002)及郭 皓等(1996)大连对虾池浮游植物群落特征的研究结果相类似。而表 4 藻类细胞优势度分别与无机氮、无机磷不显著相关, 无机氮、无机磷含量变化对藻类细胞丰度影响不大, 因人工池塘经常施肥, 使氮和磷长期处于饱和状态, 氮和磷不再是限制浮游植物生长的主要因素。由于人工施肥和大量投饵, 菲律宾蛤仔养殖池具有高磷酸盐和较高浮游植物细胞丰度, 及高优势度, 与厦门马銮湾水质对浮游植物丰度影响的研究结果相似(林更铭等 2006)。

总之, 菲律宾蛤仔养殖池与藻类池浮游植物种类相对较少, 优势种主要是中肋骨条藻, 细胞丰度高, 优势度明显, 是菲律宾蛤仔的适口饵料, 有利于菲律宾蛤仔的生长, 达到了稳产、高产效果, 养殖效益较高。

3.5 浮游植物种类和数量对菲律宾蛤仔生长的影响

菲律宾蛤仔对浮游植物种类是否有选择性, 藻类浓度对菲律宾蛤仔的生长影响作用, 国内外学者都有不同

的看法。

浮游植物种类对菲律宾蛤仔生长的影响方面,菲律宾蛤仔主要滤食单胞藻和有机碎屑,刘相全等(2003)认为菲律宾蛤仔对饵料没有生物选择性。而董迎辉等(2004)在对高雅海神蛤消化道内容物涂片的显微镜观察时,发现成贝主要滤食硅藻和鞭毛藻,认为给成贝投硅藻:绿藻(4:1)效果较好。赵文等(2009)对菲律宾蛤仔育苗用水系统中浮游植物的研究发现以硅藻种类最多,与本实验中藻类池与养殖池中肋骨条藻为优势种的浮游植物组成结果相似,说明硅藻有利于菲律宾蛤仔生长。江双林等(2009)认为,混合饵料投喂菲律宾蛤仔,幼虫生长速度比单一饵料生长快。无论是贝类或甲壳类,对此都具有共同的特点,就贝类而言,单一饵料投饲是极难供给全部营养素的需求量的,而两种以上的混合饵料,则可营养互补,达均衡状态。本实验中藻类池与养殖池有藻34种,硅藻25种,甲藻5种,其他藻类4种,能为菲律宾蛤仔提供丰富的营养,促进生长。

而浮游植物密度对菲律宾蛤仔生长的影响方面,藻类浓度是影响滤食性贝类摄食生理的关键因子之一,也是近年来国内外学者研究的重要方面。江双林等(2009)认为在饵料密度($C: \times 10^8$ cells/L)下限之内,随着藻类浓度的增加,菲律宾蛤仔摄食率也随之增加,贝类的滤食率与饵料的密度成正比。陈冲等(1992)报道文蛤 *Meretrix meretrix* 幼虫的密度为5个/cm³时,各种微藻(含扁藻)的投饵量为(2.0~3.0) $\times 10^6$ cells/L为宜。本实验不同月份各池浮游植物细胞丰度的变化范围为(0.02~190) $\times 10^4$ cells/L,属于较理想的藻类密度范畴。在本实验的养殖过程中,还应不断采取各种施肥措施,增加浮游植物数量,有助于提高菲律宾蛤仔摄食率以促进生长。江双林等(2009)还认为,当藻类密度达到一定值时,菲律宾蛤仔滤食率达到最大值,其后开始缓慢下降。若投饵量过低,菲律宾蛤仔通过滤水而捕获饵料颗粒的机会变少,菲律宾蛤仔的摄食能力受到限制,这是贝类自我生理调节及多种生态学因素作用的结果。这与许多学者在研究贝类时发现的规律是一致的(陈冲等1992)。本实验结果不属于过大及过低藻类密度范围,不存在施肥过多造成藻类浓度过高而增加养殖成本的现象或藻类浓度过低而影响菲律宾蛤仔生长的问题。

参 考 文 献

- 王海雷,赵文,李晓东,刘胥,何志辉. 2005. 施肥对多盐水池塘浮游植物演替的影响. 中国水产科学, (9): 605~613
- 江双林,赵从明,王彦怀,尹辉,孙耀. 2009. 菲律宾蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度的关系. 渔业科学进展, 30(4): 78~83
- 刘相全,方建光,包振民,王如才. 2003. 中国沿海帘蛤科贝类主要经济种育苗与养殖技术研究进展. 动物学杂志, 38(4): 114~119
- 李纯厚,贾晓平,林钦,蔡文贵,甘居利,王增焕,高东阳. 2002. 粤东沿海养殖水域浮游植物的生态特征. 湛江海洋大学学报, 22(1): 24~29
- 李雪松,梁君荣,陈长平,谢文玲,高亚辉. 2006. 泉州湾虾池浮游植物种类多样性研究. 厦门大学学报(自然科学版), 45(增): 234~239
- 李德尚主编. 1993. 水产养殖手册. 北京:农业出版社, 42~77
- 汤琳,张锦平,许兆礼,陈亚瞿. 2007. 长江口邻近水域浮游植物群落动态变化及其环境因子的研究. 中国环境监测, 23(2): 97~101
- 陈冲,隋锡林,陈远,赵国成. 1992. 文蛤浮游幼虫期饵料的研究. 水产科学, 3: 1~4
- 陈清潮,黄良民,尹健强. 1994. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究. 北京:海洋出版社, 42~50
- 张才学,劳赞,廖宝娇,黎运积. 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
- 林永水,周贤涛,邱德全. 1997. 多样性指数在赤潮预测中的应用. 北京:科学出版社, 25~29
- 林更铭,杨清良. 2006. 厦门马銮湾外来物种沙筛贝对浮游植物的影响. 热带海洋学报, 5: 63~67
- 国家技术监督局. 1992. 海洋调查规范. 北京:中国标准出版社
- 赵文,张国范,王磊,张东升,闫喜武. 2009. 菲律宾蛤仔育苗用水系统中浮游生物群落特征的研究. 大连水产学院学报, 24(4): 288~299
- 郭丰,林均民,黄凌风,周时强,沈国英. 2002. 厦门潘涂对虾养殖区浮游植物的生态特征. 台湾海峡, 21(4): 469~482
- 郭皓,于占国. 1996. 虾池浮游植物群落特征及其与虾病的关系. 海洋科学, 1: 39~45
- 郭皓,闫启仑. 1999. 贝类浮筏养殖区内、外浮游植物生态特征研究. 黄渤海海洋, 17(3): 64~72
- 董迎辉,杨爱国,李赞. 2004. 高雅海神蛤的研究现状及展望. 海洋水产研究, 4: 90~95
- Watson, D. L., Bayne, D. R. et al. 2003. Influence of gizzard shad on phytoplankton size and primary productivity in mesocosms and earthen ponds in the southeastern U. S. Hydrobiologia, 495: 17~32
- Yosoff, F. M., Zubaidah, M. S., Matias, H. B. et al. 2002. Phytoplankton succession in intensive marine shrimp culture ponds treated with a commercial bacterial product. Aquaculture Research, 33: 269~278