

Structure of Phytoplankton Community in Seedling Pond of *Scylla paramamosain*

Yangcai Wang¹, Zhongwen Jin¹, Hai Liu¹, Zhongning Wu², Yuan Sun¹

¹Ningbo Institute of Marine and Fisheries, Ningbo Zhejiang

²Yinzhou Fisheries Technology Service Station, Ningbo Zhejiang

Email: wangyangcai@126.com

Received: Nov. 5th, 2018; accepted: Nov. 21st, 2018; published: Nov. 28th, 2018

Abstract

The experiment of the ecological seedling production of the *Scylla paramamosain* has been carried out in 11 ponds. Phytoplankton composition, abundance and community structure were investigated to analyze its difference in ponds with different seedling output. 62 taxa of phytoplankton were identified from 6 phyla and 42 genera. The cells abundance of phytoplankton varied from 1.60×10^4 cell/L to 3.84×10^8 cell/L, and was dominated by Chlorophyta. The dominant species comprised mainly of *Nannochloropsis oculata*. The initial phytoplankton abundance, diversity index *H* and community structure were significantly different between good and bad in seedling output, but not different in middle and later ones. There were more initial phytoplankton abundance, higher dominant *Y* of *Nannochloropsis oculata* and smaller diversity index *H* in the ponds with good seedling output. The results show that the proper phytoplankton species and plenty cell abundance in initial phase are important in seedling of *Scylla paramamosain* in pond.

Keywords

Scylla paramamosain, Seedling Pond, Phytoplankton, Community Structure

拟穴青蟹土池育苗池塘中浮游植物的群落特征

王扬才¹, 金中文¹, 柳海¹, 吴仲宁², 孙元¹

¹宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波

²宁波市鄞州区渔业技术管理服务站, 浙江 宁波

Email: wangyangcai@126.com

收稿日期: 2018年11月5日; 录用日期: 2018年11月21日; 发布日期: 2018年11月28日

摘要

本研究利用11口池塘开展拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)池塘生态育苗生产试验。通过池塘浮游植物

调查,分析了浮游植物的种类组成、丰度、优势种、多样性及群落结构在不同蟹苗产量的池塘中的差异。共鉴定浮游植物6门42属62种,细胞丰度在 $1.60 \times 10^4 \sim 3.84 \times 10^8$ cell/L之间,其中绿藻门细胞丰度占绝对优势。微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)是养殖过程最主要的优势种。池塘初始浮游植物丰度、多样性指数与群落结构在不同蟹苗产量的池塘有明显差异,产量较高的池塘浮游植物丰度高,微绿球藻的优势突出,物种多样性较低。而养殖中、后期这种差异不明显。生产结果表明,育苗池早期适口的饵料浮游植物种类及充足的细胞丰度是青蟹土池育苗过程中非常重要的因素。

关键词

青蟹, 池塘育苗, 浮游植物, 群落特征

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

青蟹是我国沿海重要的养殖种类,是珍贵的海珍品之一。20世纪90年代,厦门大学、浙江省温岭市水产技术推广站、中国水产科学研究院东海水产研究所等单位先后开展了青蟹种苗生产技术研究[1][2][3],但由于工厂化育苗难度大,设备、技术要求高,生产成本低,导致能从事工厂化生产单位少,苗种总产量低等原因,苗种产业化生产技术尚未取得根本性的突破[4],当前青蟹养殖的苗种主要来源仍然是天然捕捞苗。而开发青蟹土池育苗技术,是改变当前青蟹养殖的苗种来源的有效途径。课题组从青蟹土池育苗入手,探索出青蟹土池育苗和室内工厂化培育相结合的方法,通过前期土池育苗可解决工厂化育苗中青蟹蚤状幼体的营养不全引起的发育和存活问题,同时青蟹发育至大眼幼体后移入室内工厂化培育弥补了土池育苗后期起捕难等管理问题,取得了较好的效果。本文通过对青蟹土池育苗过程中池塘浮游藻类的组成及变化的研究为青蟹土池育苗技术积累基础资料。

2. 材料与amp;方法

2.1. 塘口条件

选择浙江省宁波市咸祥丹艳水产养殖场,池塘11口,育苗池形状为长方形,每个池塘面积300~500 m²,池深1.2~1.5 m,坡比1:2。每口池塘安装水车式增氧机。

2.2. 蟹苗培育

亲蟹放置在育苗室内培育,抱卵蟹胚胎发育成熟,心跳120次/min以上,移至池塘中孵化,控制蟹卵集中在2天内全部孵化,每池放入抱卵蟹5~7只。每池青蟹幼体密度控制在 $1.2 \sim 2.8 \times 10^4$ ind/m³。幼体孵化后,及时投喂轮虫,投喂量为1000~2000 ind/L,幼体发育到蚤状幼体III期时,投喂丰年虫,投喂量为20 ind/L左右。池塘育苗时间从2013年5月12日到6月2日,当蟹苗发育到大眼幼体阶段时转移至室内培育。育苗期间水温22℃~25℃,盐度23.6~25.5。蟹苗采用称重计数,11口池塘共培育青蟹大眼幼体130万只,各池塘的蟹苗产量见表1。

根据青蟹大眼幼体产量的不同将11口池塘分成二组进行浮游植物比较分析,1#、4#、7#和11#为产量较差的组,而另7口池塘为产量较好的组。

Table 1. The output of megalopa in ponds**表 1.** 各池塘大眼幼体产量

池塘编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#
产量(万只)	0	15	5	2	25	20	0	20	5	35	3

2.3. 浮游植物采样

由于生产过程中抱卵蟹胚胎发育并不完全同步,育苗起始时间也有先后,因此各池的采样起始和结束时间也不一致。在亲蟹移至池塘之前第一次采样,蟹苗移出池塘时最后一次采样,采样间隔 5~6 d。按生产过程把样品分为早、中、后三期,5月12日至17日第一次采样的初始样品为早期,5月18日至25日青蟹蚤状幼体大约发育至 III 期时的样品为中期,5月26日至6月2日蟹苗移出时的样品为后期。浮游藻类采样水深 0.5 cm,用有机玻璃采水器在池塘四边采集水样共 10 L,充分混匀后取水样 1 L,采得后立即加入 15 mL 鲁哥氏液固定。将固定的水样置于室内分液漏斗中静止沉淀 48 h,浓缩至 50 mL,并加少量的甲醛保存。浮游植物种类的鉴定和计数使用 XB60 Olympus 显微镜,计数方法参考《湖泊富营养化调查规范》[5]。

2.4. 统计分析

Shannon-Weiner 多样性指数[6]

$$H = -\sum P_i \times \log_2 P_i, P_i = n_i/N$$

式中 H 表示 Shannon-Weiner 多样性指数, n_i 表示样品中第 i 种生物个体数, N 表示样品中生物总个体数。

优势种的优势度(Y)采用如下公式计算:

$$Y = (n_i/N) \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 是该种在各站位中出现率, N 为总丰度。取优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类为优势种[7]。

图形制作基于 R 绘图包 ggplot2 的 ggpubr 包和 scatterpie 包[8]。

3. 结果

3.1. 种类组成

共鉴定浮游植物 6 门 42 属 62 种,其中硅藻门 14 属 24 种,甲藻门 15 属 22 种,绿藻门 8 属 10 种。育苗早期,浮游植物以硅藻门为主,主要有纤细舟形藻(*Navicula gracilis*)、假弯角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、小环藻(*Cyclotella* sp.)及中国龙骨藻(*Tropidoneis chinensis*)等,甲藻门出现率较高的有灰白下沟藻(*Katodinium glaucum*)和海洋原多甲藻(*Protoperidinium oceanicum*),绿藻门中是微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*);育苗中期,由于水体环境的变化及养殖活动的进行,硅藻门种类减少,一些个体较大的种如新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)及群体种如柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)等成为这一时期的主要硅藻种,蓝藻门中的颤藻(*Oscillatoria* sp.)也出现在养殖水体中;育苗后期,甲藻门成为浮游植物的主要种类,隐藻门的伸长斜片藻(*Plagioselmis prolonga*)和裸藻门的囊裸藻(*Trachelomonas* sp.)出现在养殖水体中。

3.2. 优势种变化

青蟹池塘育苗过程中浮游植物的优势种共 5 种,随育苗进程而变化(表 2)。早期优势种少且优势度高,主要为绿藻门的微绿球藻和硅藻门的纤细舟形藻,微绿球藻为绝对优势种,平均丰度达 4.85×10^7 cell/L,占浮游植物总数的 93.5%,优势度达 0.849,出现率为 90.9%,只是在 7#池塘初期水样中没有被发现;中

期, 浮游植物的优势种增加到 4 种, 绿藻门的微绿球藻的优势度仍最高, 平均丰度比初期增加了 14.0%, 但丰度占比下降到 72.1%, 且在 1#和 4#池塘的水样中没有出现, 其次为硅藻门的柔弱角毛藻和新月菱形藻, 甲藻门的灰白下沟藻虽然平均丰度只有 1.52×10^6 cell/L, 但由于出现率 100%而成为优势种; 后期优势种有 3 种, 绿藻门中的椭圆小球藻(*Chlorella ellipsoidea*)成为优势度最高的种类, 但由于只在 1#、7#和 9#池塘中出现, 代表性不高, 而灰白下沟藻虽然不是后期的优势种, 但由于 70.6%的出现率而成为后期养殖水体中最习见的种类。从总体上来看, 微绿球藻是青蟹育苗过程中最重要的优势种, 在各池塘中的分布和丰度直接影响了青蟹育苗期间浮游植物群落结构及动态过程。

Table 2. Dominance (*Y*), abundance (mean \pm SD $\times 10^4$ cell/L) and occurrence rate (%) of phytoplankton dominant species
表 2. 浮游植物优势种优势度(*Y*)、丰度(mean \pm SD $\times 10^4$ cell/L)及出现率(%)

优势种	早期	中期	后期
纤细舟形藻	0.027 (218.5 \pm 668.1) 63.6%	0.000 (1.2 \pm 2.8) 27.3%	0.000 (1.2 \pm 3.3) 52.9%
微绿球藻	0.849 (4852.3 \pm 5887.4) 90.9%	0.598 (5529.6 \pm 9971.4) 81.8%	0.039 (1646.7 \pm 5617.9) 23.5%
新月菱形藻	0.000 (3.9 \pm 5.8) 18.2%	0.031 (443.8 \pm 1467.4) 54.5%	0.090 (1510.4 \pm 6144.7) 58.8%
柔弱角毛藻	0.001 (14.6 \pm 17.9) 63.6%	0.031 (526.4 \pm 1089.9) 45.5%	0.013 (304.7 \pm 1044.9) 41.2%
灰白下沟藻	0.003 (21.7 \pm 24.5) 63.6%	0.020 (152.1 \pm 190.6) 100%	0.001 (11.4 \pm 20.3) 70.6%
椭圆小球藻	0.000 (0) 0%	0.000 (0) 0%	0.062 (3688.5 \pm 10,448.7) 17.6%

3.3. 浮游植物丰度的变化

浮游植物丰度的变化范围在 $1.60 \times 10^4 \sim 3.84 \times 10^8$ cell/L 之间, 平均为 7.94×10^7 cell/L。由于各池塘浮游植物丰度数量差距较大, 进行自然对数取值后作图, 进行蟹苗产量不同的两组池塘中浮游植物的比较(图 1)。

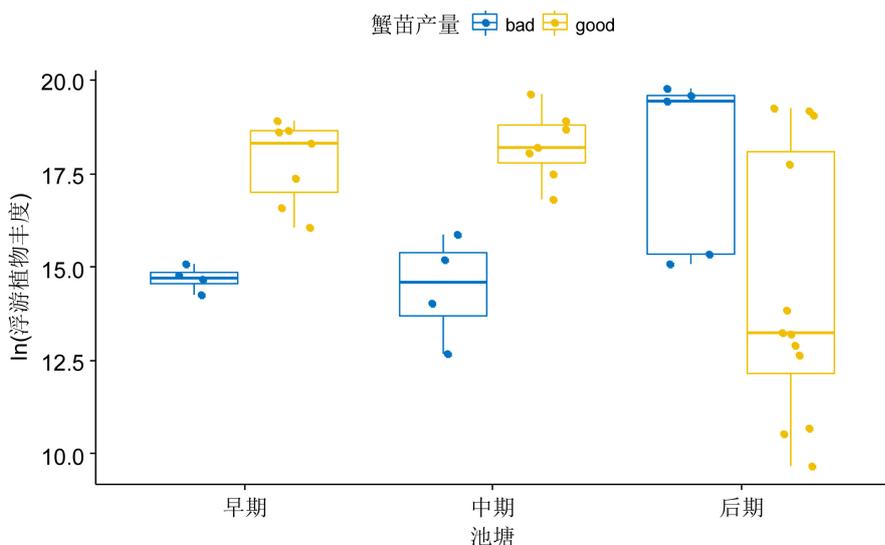


Figure 1. Changes of phytoplankton abundance in ponds
图 1. 池塘浮游植物丰度变化

青蟹大眼幼体产量较差的四口池塘 1#、4#、7#和 11#, 浮游植物起始丰度是所有池塘中浮游植物的丰度最低的, 分别为 2.34×10^6 、 2.61×10^6 、 1.55×10^6 和 3.67×10^6 cell/L, 浮游植物组成以硅藻为主, 绿藻次之, 其中 7#微绿球藻在浮游植物中占比为 0。青蟹蚤状幼体进入池塘后, 人工投喂的轮虫进入水体压制了浮游植物的生长, 到育苗中期, 早期优势种纤细舟形藻在水样中消失, 1#和 4#的微绿球藻在中期浮游植物丰度占比也都为 0, 浮游植物丰度较低, 平均为 3.35×10^6 cell/L。生产过程中发现 7#池塘在蟹苗发育到蚤状幼体III期明显偏低, 而放弃投喂管理, 到后期 7#浮游植物仍处于 4.65×10^6 cell/L 水平, 而另 3 口池塘在后期浮游植物大量生长, 丰度均达 10^8 cell/L 的数量水平。

大眼幼体产量较好组, 初期浮游植物丰度在 $9.32 \times 10^6 \sim 1.63 \times 10^8$ cell/L, 平均为 8.023×10^7 cell/L, 浮游植物的组成相近, 以绿藻为主, 硅藻次之, 微绿球藻丰度占比 80.9%~99.4%, 平均为 92.9%。由于初期浮游植物丰度较高, 轮虫进入水体并没有对浮游植物丰度产生过大的压制, 到育苗中期, 各池塘浮游植物丰度保持在 $10^7 \sim 10^8$ cell/L, 平均丰度为 1.19×10^8 cell/L, 微绿球藻丰度占比下降到 63.0%。后期浮游植物丰度出现两种变化, 3#、9#浮游植物丰度有了进一步增加, 而 2#、6#、8#、10#和 11#则下降明显。

对两组池塘浮游植物丰度方差分析显示, 初期浮游植物两者差异显著($p = 0.033$), 而中、后期差异不明显。

3.4. 早期浮游植物结构与多样性指数

早期水样中, 浮游植物以硅藻和绿藻为主(图 2)。浮游植物丰度低的 1#、4#、7#和 11#池塘, 硅藻的比例较其它池塘高, 并且硅藻门中以群体种类为主, 丰度较高的有假弯角毛藻、旋链角毛藻和纤细舟形藻, 平均细胞丰度分别为 6.07×10^5 、 1.46×10^5 和 1.02×10^5 cell/L, 硅藻门丰度占比最高的是 7#, 丰度占比达 92.6%。另外 7 口池塘绿藻门的丰度占比高, 其中占比最高的是 8#为 99.4%, 最低的 5#也有 80.9%, 但由于浮游植物丰度较高, 虽然硅藻的丰度占比较低, 硅藻门的平均丰度也有 4.05×10^6 cell/L, 仍比硅藻比例高的 4 口池塘的硅藻丰度高。

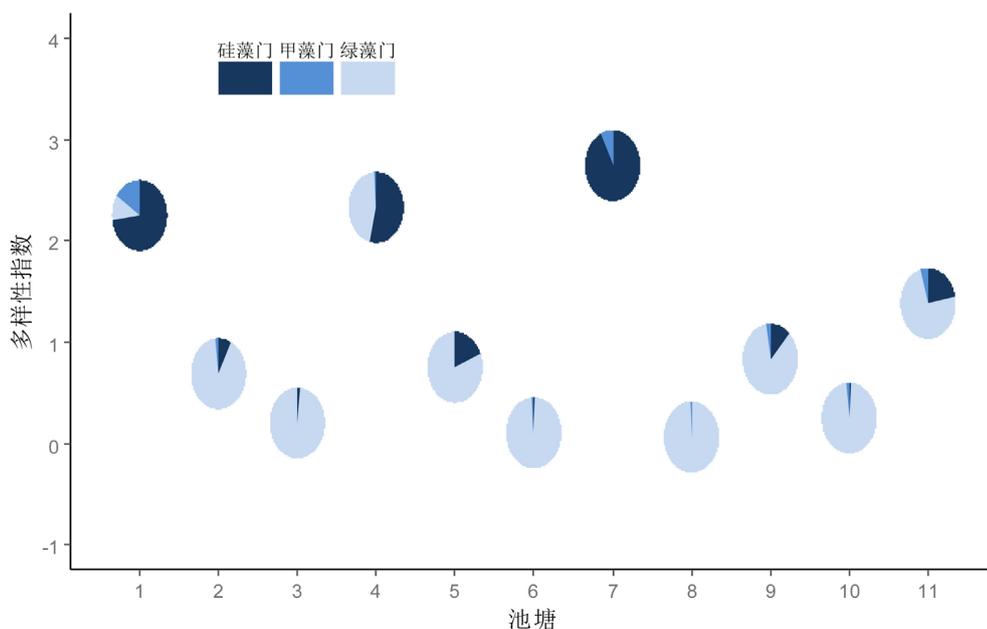


Figure 2. The initial phytoplankton community structure and diversity index in ponds
图 2. 初始池塘浮游植物结构及多样性指数

早期浮游植物丰度较低的池塘，由于优势种不突出，种类个体数量较均衡，浮游植物多样性指数在 1.38~2.74 之间，相对较高，而丰度较高的池塘，由于微绿球藻优势的突出，多样性指数都小于 1，其中 8#最低只有 0.06。比较大眼幼体产量不同的两组池塘浮游植物多样性指数，早期差异显著($p < 0.05$)，中后期差异不明显(图 3)。

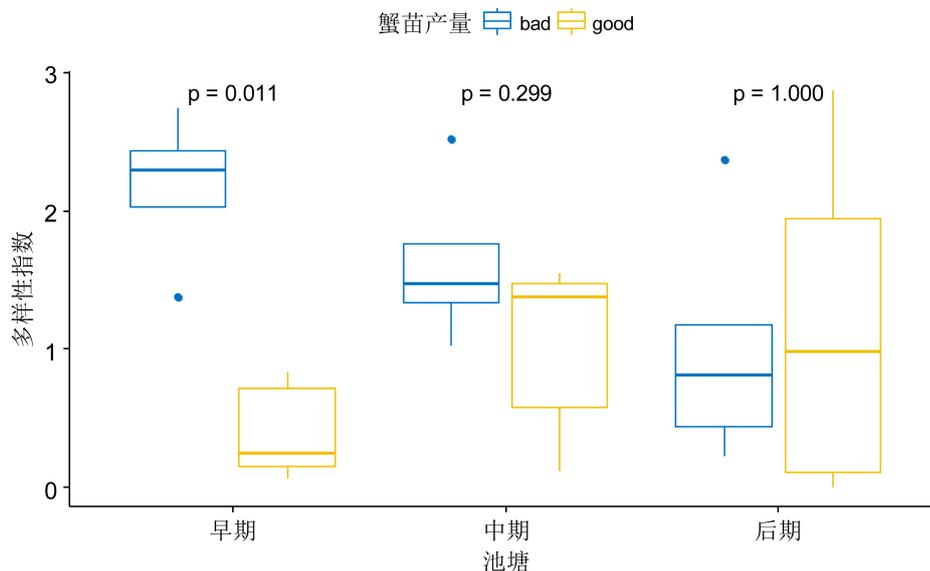


Figure 3. Changes of phytoplankton diversity index in ponds
图 3. 池塘浮游植物多样性指数的变化

4. 讨论

由于青蟹溞状幼体阶段的饵料及其营养需求是当前公认的苗种培育的技术关键之一[9]，因此提供营养全面适合青蟹溞状幼体阶段的饵料是青蟹育苗能否成功的基础。由藻类、轮虫、卤虫组成的饵料生物链被认为是海水鱼、虾蟹类苗种培育所不可欠缺的[10] [11]，轮虫的营养价值与脂的质量密切相关，饵料轮虫的 EPA 和 DHA 含量直接影响着仔稚鱼和溞状幼体的生长与存活[12]，当前青蟹工厂化育苗过程提高苗种成活率的关键是轮虫的营养强化培养，而池塘青蟹育苗最大的优势在于不需要专门进行轮虫营养强化培养，池塘中天然饵料藻类的合理组成是以藻类为食的轮虫获取营养价值的保障，而优质的轮虫是青蟹育苗成功的基础。所以，在青蟹池塘育苗中，研究池塘浮游藻类的群落结构及其变化过程显得非常必要。

从生产结果看，早期合理的浮游植物结构对青蟹育苗产生明显的影响。放苗伊始，水体中浮游植物结构受外来水源藻种的影响，硅藻种类较多，同时绿藻种微绿球藻在适宜环境条件下大量繁殖，微绿球藻和纤细舟形藻成为青蟹育苗池塘水体中的优势藻类，绿藻类和硅藻类是构建水体优良微藻藻相的备选种类，具有保持水质的“活、爽”功能，对蟹苗的生长有利[13]，绿藻和硅藻也常常作为工厂化育苗轮虫营养强化的主要饵料藻类[9]；在青蟹育苗过程中，硅藻门中的纤细舟形藻是早期水体的优势种，个体小，是轮虫适口饵料，当轮虫进入水体后，纤细舟形藻很快被摄食而从水体中消失，而群体种角毛藻及大型硅藻新月菱形藻不易被摄食，在养殖中期仍有一定的丰度；微绿球藻是水体中绝对优势种，其个体小并含有丰富的 16:0、16:17 和 EPA 脂肪酸[14]，是培养高营养价值轮虫极佳的优良饵料[15]。从生产情况看，7#池塘青蟹发育基本停止在溞状幼体 III，原因可能是多方面的，但池塘中微绿球藻的缺失无疑是重要的因素之一，并且，从其它池塘的情况看，微绿球藻数量少的池塘，青蟹育苗的成活率也较低，微绿球藻

丰度较高的池塘,青蟹蚤状幼体的成活率相对较高。在自然生态系统中,生物多样性较高的环境其生态结构更稳定,而青蟹育苗池塘是一个特殊的生态系统,追求的青蟹苗种产量的最大化,因此,当微绿球藻的优势越突出,反而多样性指数越低,轮虫的适口饵料越充足,对青蟹蚤状幼体生长和成活越有利。

青蟹蚤状幼体前期,轮虫是其主要饵料,必须足量投喂以保证蟹苗的正常生长,因此需要使水体保持较高的浮游植物丰度,为提供轮虫足够的饵料,以保证轮虫正常的生长繁殖。从育苗生产情况看,1#和7#池塘水体中浮游植物起始丰度较低,当大量轮虫进入池塘后,其“下行效应”的作用抑制了浮游植物的生长,同时,浮游植物数量的减少反过来也影响了轮虫生长繁殖,从而影响了这两口池塘的青蟹蚤状幼体无法完成正常变态过程。在浮游植物丰度较高的池塘中,由于浮游植物丰度基数较高,轮虫的“下行效应”的影响并不明显,充足的轮虫能充分满足青蟹幼体早期的营养需求,这些池塘的青蟹蚤状幼体的生长良好,但是,池塘中浮游植物丰度过大也会增加后期养殖过程中水质管理的难度,因此,保持水体中合理的浮游植物丰度水平,是今后青蟹土池育苗过程需要积极探究的问题。

基金项目

浙江省宁波市科技局农业重大项目(2016c11003)。

参考文献

- [1] 李少菁,王桂忠. 锯缘青蟹繁殖生物学及人工育苗和养成技术的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(2): 552-565.
- [2] 金中文,王扬才,吴仲宁,等. 青蟹池塘生态育苗试验[J]. 海洋科学, 2014, 11(38): 68-74.
- [3] 乔振国,于忠利,陈凯. 锯缘青蟹苗种生产技术及其产业化途径[J]. 水产科技情报, 2003, 30(1): 10-12.
- [4] 李少菁,王桂忠. 青蟹繁殖生物学及人工育苗和养成技术的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(2): 552-565.
- [5] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- [6] Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949) The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 213-216.
- [7] 徐韧,李亿红,李志恩,等. 长江口不同水域浮游动物数量特征比较[J]. 生态学报, 2009, 4(29): 1688-1696.
- [8] Wickham, H. (2009) ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer, New York.
- [9] 顾孝连,乔振国. 我国蟹类土池育苗技术研究进展[J]. 海洋渔业, 2012, 2(34): 110-116.
- [10] 乔振国. 锯缘青蟹苗种培育的科技进展[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2): 159-163.
- [11] 李少菁,曾朝曙,汤鸿,等. 锯缘青蟹幼体发育过程中的营养需求与代谢机理[J]. 台湾海峡, 1998(17): 1-9.
- [12] Rodriguez, C., Perez, J.A., et al. (1994) n-3HUFArequenment of Larval Gilthead Seabream *Sparus aurata* When Eicosapentaenoic Acid. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Physiology*, **107**, 693-698. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90371-9](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90371-9)
- [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] Rocha, J.M.S., Garcia, J.E.C. and Henriques, M.H.F. (2003) Growth Aspects of the Marine Microalgae *Nannochloropsis gaditana*. *Biomolecular Engineering*, **20**, 237-242. [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(03\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00061-3)
- [15] Chebil, L. and Yamas, A.S. (1998) Improvement of a Rortifer Ecosystem Culture to Promote Recycling Marine Microalga, *Nannochloropsis* sp. *Aquacultural Engineering*, **17**, 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(97\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(97)00004-6)

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2373-1443，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojfr@hanspub.org