

文章编号: 1000-0615(2019)08-1790-08

DOI: 10.11964/jfc.20180611340

菲律宾蛤仔垦区育苗技术优化及其对池塘理化环境、浮游植物和稚贝生长的影响

祁剑飞, 郑雅友, 巫旗生, 宁岳, 郭香, 曾志南*, 贾圆圆

(福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室,
福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心, 福建厦门 361013)

摘要: 为改进菲律宾蛤仔垦区育苗技术, 设置一口池塘(A)培育高密度浮游植物并定期添加至育苗池(B), 未添加藻类育苗池(C)作为对照, 比较了A、B、C以及邻近自然海区(D)的水体、沉积物、浮游植物状况和池塘B、C中稚贝生长情况。结果显示, 池塘A、B、C之间水质和沉积物各指标无显著性差异, 但三者水体中盐度、pH、溶解氧、氨氮、硝酸盐氮、活性磷酸盐和沉积物中有机碳、硫化物与自然海区D差异显著; 浮游植物密度A>B>C>D, 但仅A、D间差异显著; 池塘B稚贝壳长和密度均显著大于池塘C。这表明垦区与自然海区环境差异大, 而育苗期间通过外源补充藻类能提高稚贝的生长率和成活率, 进而提高菲律宾蛤仔垦区育苗成功率。

关键词: 菲律宾蛤仔; 浮游植物; 育苗; 垦区; 水质; 底质

中图分类号: S 968.3

文献标志码: A

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是一种世界性广泛分布的埋栖双壳贝类, 其2015年全球产量404万t, 中国产量居首, 达400万t^[1]。福建并非菲律宾蛤仔主要养殖区, 却是我国菲律宾蛤仔苗种主要生产和供应基地, 据业内估计, 其苗种产量占全国的90%以上, 这得益于20世纪90年代菲律宾蛤仔垦区人工育苗技术的突破。垦区育苗优势在于苗种产量大、产值高, 平均6.98万粒/m²。面积87 hm²的池塘, 可培育2 mm的稚贝604.9亿粒^[2], 按照目前2 500粒/元价格计算, 产值达2 400万元。以往福建菲律宾蛤仔垦区主要分布在福清、平潭、长乐和莆田, 但随着涉海工业的发展, 养殖水域的退出, 目前单口面积超过30 hm²的育苗垦区只存在于福清市。虽然垦区育苗相比工厂化育苗^[3-5]和高密度育苗^[6], 具有产量高、规格大、苗价高、利润丰厚的优势, 但其受外界环境影响较大, 育苗过程中经常出现稚贝生长缓慢、成活率低等问题。由于垦区租

金、亲贝及肥料等投入巨大, 一旦育苗失败, 损失惨重。

已有研究表明, 饵料不足或许是最大的影响因素^[7]。菲律宾蛤仔主要直接和间接以藻类为营养^[8], 其合理的种类结构和充足的细胞数量是育苗成败的关键。保持大水体中藻类种类结构优化和细胞密度的稳定, 是育苗成功的重要保证。徐晓津等^[9]研究表明, 利用单独藻类池培育适宜藻类, 并添加入养殖池塘可提高菲律宾蛤仔产量; Soletchnik等^[10]的研究表明, 向育肥池额外添加池塘培育的高浓度藻类亦可明显改善长牡蛎(*Crassostrea gigas*)的育肥效果; 但以此种方式进行垦区贝类人工育苗未见报道。本研究通过设置一口饵料培养池, 持续向育苗池补充外源饵料, 比较其与对照组(未补充外源饵料育苗池)和自然海区的水体、沉积物环境、浮游植物状况和菲律宾蛤仔稚贝生长状况, 以期改进菲律宾蛤仔垦区育苗技术提供参考。

收稿日期: 2018-06-26 修回日期: 2018-10-26

资助项目: 国家贝类产业技术体系专项(CARS-49); 福建省种业创新与产业化工程项目(2014S1477-9)

通信作者: 曾志南, E-mail: xmzsn@sina.com

1 材料与方 法

1.1 实验地点

实验地点位于福清龙田镇东壁岛围垦区, 通过施工改造, 将围垦区分隔为9口(图1)。本实验在其中3口池塘开展, 其中藻类培养池(A)67 hm², 实验池(B)400 hm², 对照池(C)200 hm², 每口池塘有1~3个水闸以控制海水进排。池塘A蓄水高度大于B和C, 通过控制水闸添加藻水至池塘B。

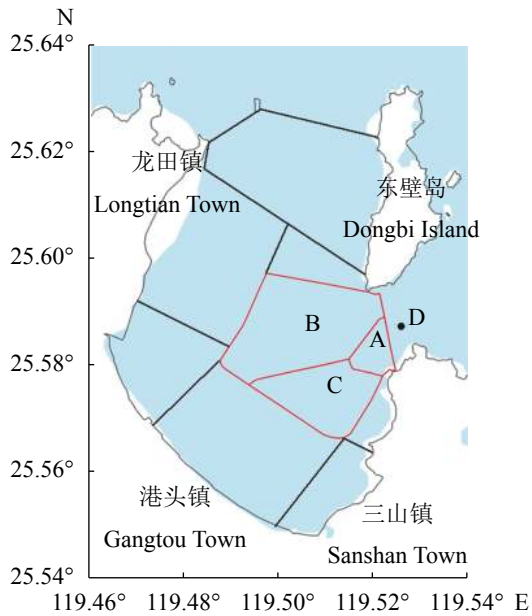


图1 实验地点

A. 饵料池, B. 实验池, C. 对照池, ●D. 邻近海域, 下同

Fig. 1 Experimental site located in the southern part of the Fuqing Bay

A. algal culture pond, B. experiment pond, C. control pond, ●D. natural sea, the same below

1.2 藻类培养

菲律宾蛤仔育苗池和藻类培养池均按常规方式施肥(每天每公顷添加2 250 g氮磷钾复合肥, 750 g尿素)培养藻类, 天然藻类自然繁殖。大约每隔2 d, 打开水闸将高浓度藻水由A流入B。待A、B水位相同时, 关闭水闸, A重新蓄水、施肥、培藻。

1.3 水质、底质和浮游植物检测

2017年9月6日—2018年1月5日, 对藻类培养池(A)育苗池(B、C)及邻近自然海区(D)每半个月检测1次水质(温度、盐度、pH、氨氮、亚硝酸

氮、硝酸氮、活性磷酸盐、溶解氧)以及浮游植物(种类和密度), 每月初检测1次底质状况(有机碳、硫化物); 各池设3个采样点(池边、池中央和水闸旁), 邻近自然海区(D)设3个采样点; 水质和浮游植物采集表层水样, 沉积物采集表层沉积物样。

海水温度、盐度、pH和溶解氧采用哈希HQ-30D多参数水质分析仪测定; 氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮和活性磷酸盐分别采用次溴酸盐氧化法、萘乙二胺分光光度法、锌镉还原比色法和磷钼蓝分光光度法测定; 沉积物中有机碳和硫化物分别采用重铬酸钾氧化—还原容量法和亚甲基蓝分光光度法测定; 浮游植物采样和检测按照GB 17378.7-2007^[11]第5条进行, 为比较浮游植物群落组成, 采用Primer 5软件计算Bray-Curtis相似系数, 并进行聚类分析。

1.4 菲律宾蛤仔亲贝投放和稚贝生长情况检测

2017年9月4日在C池进水口投放500 t经阴干性腺成熟的亲贝, 在B池进水口附近投放1 000 t亲贝, 亲贝规格为300粒/kg, 开闸注水, 流水催产。每月测量稚贝壳长及密度, 稚贝壳长用显微镜测量, 以目微尺为标尺, 拍摄记录, 然后用软件Digimizer 3.2.1.0 (<http://www.Digimizer.com>)测量; 采样位置和采样点数同“水质、底质和浮游植物检测”, 每个样品测量50粒稚贝。

1.5 数据分析

采用Excel 2007进行数据处理, 并应用SPSS 17.0对各个指标进行单因素方差分析(LSD检验)。

2 结果

2.1 水质状况

池塘A、B、C和自然海域D水温无显著差异, 但由于池塘水体有限, 其温度变化较自然海区大, 在10月23日前池塘水温高于海区, 之后水温低于海区(图2)。A、B、C间盐度无显著差异, 但三者盐度极显著高于D($P<0.01$), 原因可能是池塘海水蒸发导致盐度上升。A、B、C间pH无显著差异, 但三者pH显著高于D($P<0.05$); A、B、C间DO无显著差异, 但三者DO显著低于D($P<0.05$)。在NH₃-N、NO₃-N、PO₄-P指标方面, A、B、C间无显著差异, 但三者NH₃-N极显著高于D, 其余指标极显著低于D($P<0.01$); A、B、

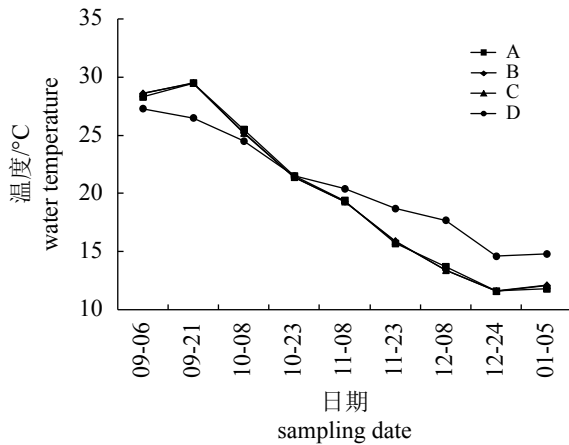


图2 池塘及海区水温变化图

Fig. 2 Water temperature of different ponds at different time

C、D的NO₂-N含量无显著差异(表1)。

综上,三池塘A、B、C间水质指标无显著差异,但盐度、pH、溶解氧、氨氮、硝酸氮和活性磷酸盐指标与自然海区D差异显著,尽管池塘存在人工施肥的情况,但是营养盐水平仍低于自然海区。

2.2 底质状况

随着育苗时间的持续,池塘A、B、C沉积物中有机碳和硫化物含量逐渐升高,池塘B的有机碳从最开始的0.17%最后上升到0.39%,硫化物从0.63 mg/kg上升到3.67 mg/kg。各月池塘B沉积物中有机碳均值高于A和C,池塘A沉积物中硫

化物均值高于B和C,但在沉积物中的有机碳和硫化物方面,A、B、C相互间不存在显著差异。自然海区D沉积物中有机碳和硫化物数据存在波动,但各月数值均极显著高于池塘A、B、C($P < 0.01$),约高一个数量级(图3)。这表明由于人工干预,垦区底质环境优于自然海区。

2.3 浮游植物密度及种类组成

浮游植物密度 实验期间,浮游植物密度均值为A>B>C>D。浮游植物密度均在9月21日达到最大值,池塘A密度达 4.9×10^6 个/L、池塘B为 2.6×10^6 个/L、池塘C为 2.0×10^6 个/L、自然海区D为 0.3×10^6 个/L。随着水温降低,A、B、C、D中浮游植物密度逐渐降低,至12月24日最低,均低于 1.5×10^4 个/L(图4)。单因素方差分析表明,只有A、D间存在极显著差异($P < 0.01$),其余两两比较无显著差异。

浮游植物种类 实验期间,池塘A共鉴定出浮游植物126种(硅藻118种、甲藻7种、裸藻1种),池塘B为106种(硅藻99种、甲藻7种),池塘C为88种(硅藻85种、甲藻3种),自然海区D为156种(硅藻129种、甲藻24种,蓝藻、金藻、裸藻各1种)。池塘和海区各月份浮游植物种类不尽相同,但出现频率较高的藻类为柔弱拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、拟旋链角毛藻(*C. pseudocurvisetus*)、日本星杆藻(*Asterionella japonica*)、菱形海线藻(*Thala-*

表1 实验期间内水质指标及其差异分析

Tab. 1 Average value of water quality parameters during experimen

参数 parameters	编号 pond no.			
	A	B	C	D
水温/°C water temperature	19.7±6.9	19.7±6.9	19.7±6.5	20.7±4.7
盐度 salinity	30.4±0.5	30.4±0.5	30.4±0.5	25.9±0.6**
酸碱度 pH	8.30±0.18	8.30±0.16	8.28±0.09	8.14±0.06*
溶解氧/(mg/L) DO	7.28±0.44	7.08±0.58	6.66±0.59	7.69±0.55*
氨氮/(mg/L) NH ₃ -N	0.21±0.06	0.18±0.05	0.20±0.06	0.039±0.029**
亚硝酸氮/(mg/L) NO ₂ -N	0.017±0.015	0.012±0.006	0.016±0.006	0.015±0.006
硝酸氮/(mg/L) NO ₃ -N	0.275±0.243	0.263±0.123	0.202±0.077	0.387±0.135**
活性磷酸盐/(mg/L) PO ₄ -P	0.013±0.007	0.009±0.004	0.011±0.005	0.034±0.008**

注: *表示D与其他组差异显著($P < 0.05$), **表示D与其他组差异极显著($P < 0.01$)。下同

Notes: * means D had significant difference with others ($P < 0.05$), ** means D had extremely significant difference with others ($P < 0.01$), the same below

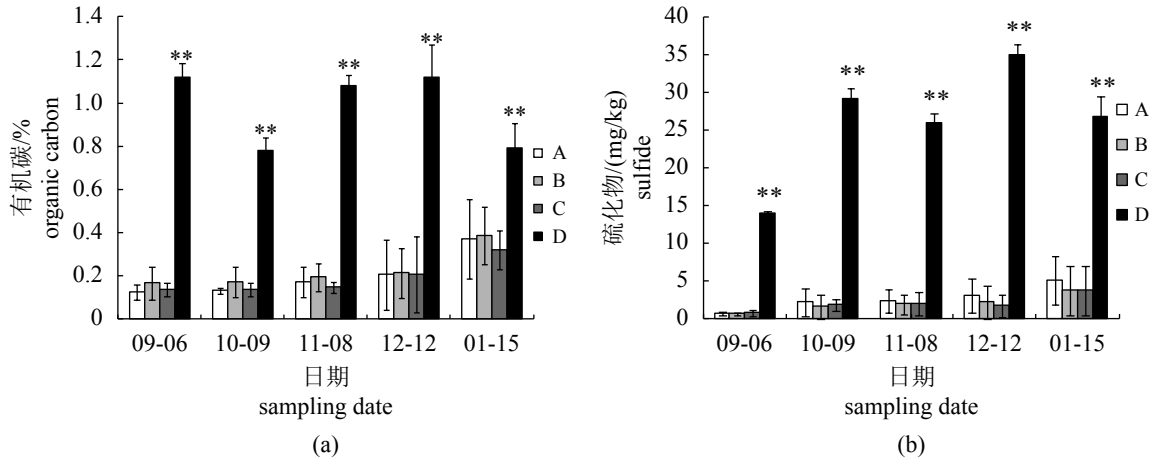


图3 不同时间不同池塘沉积物中有机碳(a)与硫化物(b)含量及差异分析
 Fig. 3 Organic carbon (a) and sulfide (b) of sediment of different ponds at different time

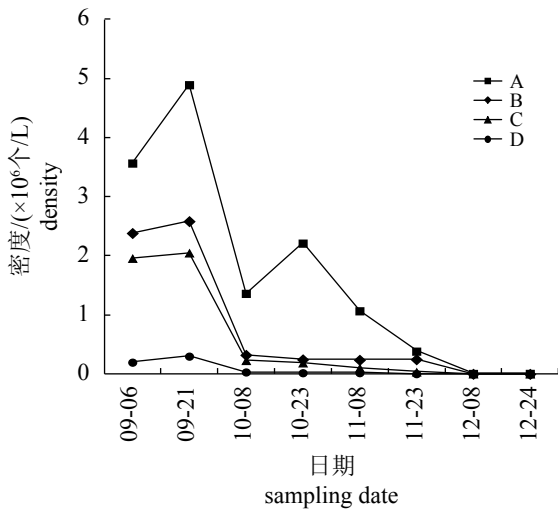


图4 池塘浮游植物密度的变化
 Fig. 4 Density of phytoplankton of different ponds at different time

ssionema nitzschoides)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)等。聚类分析显示, 池塘A、B浮游植物种群结构最为相似; 池塘C种群结构9、10月份与自然海区D相似, 11、12月份与池塘A、B相似(图5)。

2.4 稚贝生长状况

规格为300粒/kg的菲律宾蛤仔亲贝于2017年9月4日投放入育苗池水闸附近(池塘B亲贝重量1 000 t, 池塘C亲贝重量500 t), 开闸注水流水催产, 并于当日观测到第1次集中产卵, 9月19日、10月6日及10月21日分别观测到随后3次集中产卵。由于每次产卵间隔约为半个月, 因此尽管

不同批次的幼虫稚贝混在一起, 但仍然可以通过形态规格区分辨别。为保证数据准确性, 本结果只统计分析第一批稚贝在12月份之前的生长数据(表2)。单因素方差表明, 池塘B的稚贝的壳长和密度均极显著高于池塘C(P<0.01)。

3 讨论

3.1 垦区水质状况

本研究表明, 即使是单口面积大至上百公顷的育苗池, 由于水体封闭以及人为物质输入干预, 其水质状况与毗邻的自然海区仍存在显著差异。可能的原因: 受限於水体体量, 其温度较海区波动大; 水体相对封闭导致其盐度较海区高, 溶解氧较海区低; 为加快藻类繁殖而大量投入的尿素导致pH值及氨氮含量高于海区; 换水较少以及藻类繁殖生长消耗导致硝酸盐氮和活性磷酸盐含量低于海区。之前的研究表明, 池塘养殖系统中饵料是N、P的主要来源^[12-14]。如三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)和菲律宾蛤仔混养系统中, 饵料占N总输入量的84.41%~89.75%, 占P总输入量的96.64%~98.35%, 导致其对照组氨氮、硝氮、亚硝氮和活性磷含量分别为(57.22±0.89)、(968.85±276.81)、(129.08±36.88)和(9.57±4.16) μg/L^[13], 其硝氮、亚硝氮远高于本研究结果; 张磊等^[15]研究表明在螃蟹养殖池中用网隔离养殖菲律宾蛤仔, 可能归因于螃蟹饵料的投入, 池塘中氨氮、亚硝氮、硝氮、活性磷含量最低值分别为14.37、0.10、0.06和0.43 mg/L, 营养盐水平

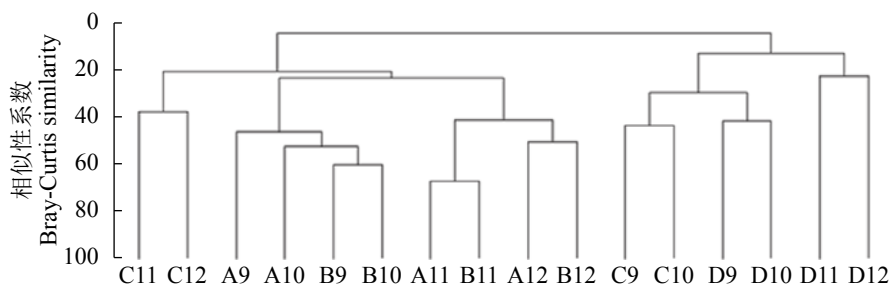


图5 各月各池塘浮游植物组成聚类分析

字母代表池塘编号, 数值代表月份

Fig. 5 Clustering analysis of phytoplankton in each pond in different months

The letters represent the pond number, numbers for months

表2 实验期间菲律宾蛤仔稚贝壳长及密度

Tab. 2 Shell length and density of juveniles during experiment (mean±SD)

池塘编号 pond no.	9月21日		10月23日		11月23日	
	B	C	B	C	B	C
稚贝壳长/ μm shell length	207.9±12.0	193.9±9.5	719.7±52.7	676.4±52.4	2015.5±159.3	1824.7±130.3
密度/(万粒/ m^2) density	4.8±0.3	3.6±0.2	1.6±0.1	0.8±0.1	0.9±0.1	0.6±0.1

高于本研究几倍到几十倍。菲律宾蛤仔育苗池营养盐主要源于化肥投入, 无饵料投入, 有经验的生产者根据藻色不定期施加氮肥和复合肥。本研究中池塘与海区各类营养盐含量的差别可能提示之前肥料使用中的不足之处, 今后应该增加硝酸盐、磷酸盐类肥料的投入。

闫喜武^[16]研究表明, 在菲律宾蛤仔生活史中氨氮安全浓度为0.774 mg/L, 而pH较氨氮在育苗中的生长和成活率方面的作用大, 尤其在变态阶段, 其适宜pH范围较窄, 建议pH最好在8附近(7.9~8.1)。本研究中池塘氨氮含量最高为(0.21±0.06) mg/L, 处于安全范围内, 但是pH值最低为(8.28±0.09), 超过了适宜范围, 因此不排除其对菲律宾蛤仔育苗有负面影响。

3.2 垦区底质状况

菲律宾蛤仔是埋栖生物, 底质环境对其生长发育影响较大。有机质富集的重要环境效应是导致底层缺氧, 充氧、水体交换和氧化剂(如硝酸钠)的施用等措施均有利于池塘环境质量的改善^[17]。池塘有机碳的含量与潜在的呼吸强度呈显著正相关, 后者可用二氧化碳的释放量或氧的消耗量加以表征, 因此有机碳含量可以作为量度沉积物呼吸速率的常用检测参数^[18]。养殖环境中沉积物硫化物含量的高低是衡量底质环境优劣

的一个重要指标^[19]。在厌氧环境及硫酸盐还原菌的作用下, 会加速沉积物中硫化物的生成, 同时产生大量的硫化氢, 而硫化氢的溶解又会进一步消耗海水中的溶解氧, 使环境更加恶化^[20]。本实验中池塘沉积物有机碳和硫化物含量很低, 甚至低于邻近自然海区, 并且也低于以往对池塘沉积物研究的结果。例如, 迟爽等^[21]报道, 刺参(*Apostichopus japonicus*)养殖池塘底泥有机碳含量为0.28%~0.37%, 硫化物含量变化范围为(47.66±47.01)~(496.12±418.57) $\mu\text{g/g}$; 王岩等^[22]报道中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)与罗非鱼混养的海水围隔底泥中有机碳含量为0.40%~1.48%; 彭斌^[23]的研究表明, 在虾贝混养养殖周期内, 底质硫化物的变化幅度为143.26~372.45 mg/kg。在本实验中, 随着育苗活动的持续, 可能由衰亡的藻类和菲律宾蛤仔稚贝的排泄物导致, 有机碳和硫化物含量也在逐渐增加, 如若无人工干预可能会累积到有害水平。为了改善池塘底质环境, 保证秋冬季菲律宾蛤仔垦区育苗的效果, 在夏季排水、清淤、翻耕、晒塘、泼洒生石灰、抛沙等对减缓沉积物有机质的增加很有必要, 而利用育苗空档期进行其他养殖活动或许得不偿失。

3.3 垦区浮游植物状况

池塘水流慢, 悬浮物可以快速沉降; 水体

深度浅, 光线可以穿透整个池塘水体, 如果营养盐充足, 藻类很容易繁殖生长^[24]。李云梦等^[25]报道, 在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)养殖池塘中浮游植物密度达 $0.15 \times 10^7 \sim 2.30 \times 10^7$ 个/L; 刘乾甫等^[26]报道, 珠三角淡水鱼塘浮游植物密度均值达 1.32×10^8 个/L; 但受天气和营养盐等复杂因素的影响, 池塘中浮游植物密度波动很大, 徐晓津等^[9]报道菲律宾蛤仔养殖池塘中不同月份各池浮游植物细胞丰度的变化范围为 $0.02 \times 10^4 \sim 190 \times 10^4$ 个/L; 本实验中, 由于池塘A培藻且向池塘B补充藻液, 导致浮游植物密度梯度为A>B>C, 且A、B浮游植物群落结构最相似, 并在9月份各池塘浮游植物密度最大达 10^6 个/L, 但随着水温下降, 逐渐下降至4 000 个/L左右, 这与胡梦红等^[27]的研究结果类似, 在鱼蚌混养池塘中, 9月中旬后, 池塘浮游植物密度均呈下降趋势。

3.4 垦区稚贝生长状况

虽然B、C间在水质、底质、浮游植物密度方面均不存在显著性差异, 但是不论比较第一批菲律宾蛤仔稚贝各月平均壳长还是密度, 池塘B均显著高于池塘C, 这或许与池塘B中藻类密度平均值始终高于C有关, 特别是10月份之前池塘B中藻类密度大幅高于C。刘忠颖等^[28]比较了滩涂和土池进行菲律宾蛤仔稚贝中间培育的效果, 发现土池中间育成效果好于滩涂, 除了土池环境稳定、敌害少等影响因素外, 土池饵料水平较高也是主要原因。本研究可能证明额外补充藻类能促进稚贝的生长和提高其成活率, 进而提高菲律宾蛤仔垦区育苗的成功率。

参考文献:

- [1] Food and Agriculture Organization of United Nations. Global aquaculture production (online query)[CP/OL]. <http://www.fao.org/fishery/topic/16140/en>.
- [2] 翁国新. 菲律宾蛤仔大水面人工育苗技术[J]. 福建水产, 2006, 12(4): 85-88.
Weng G X. The Manila clam(*Ruditapes philippinarum*) artificial breeding technique in diked tidal flat[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2006, 12(4): 85-88(in Chinese).
- [3] 李永仁, 邢克智, 郭永军, 等. 天津沿海菲律宾蛤仔人工育苗技术的初步研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 320-323.
Li Y R, Xing K Z, Guo Y J, et al. Study on the artificial breeding of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* at Tianjin coast[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(3): 320-323(in Chinese).
- [4] 郭文, 房慧, 孙福新, 等. 菲律宾蛤仔室内常温育苗技术[J]. 齐鲁渔业, 2002, 19(8): 42-44.
Guo W, Fang H, Sun F X, et al. The Manila clam(*Ruditapes philippinarum*) indoor artificial breeding technique at room temperature[J]. Shandong Fisheries, 2002, 19(8): 42-44(in Chinese).
- [5] 张国清, 杨玉香, 梁维波, 等. 菲律宾蛤仔人工育苗技术[J]. 齐鲁渔业, 2006, 23(3): 14-15.
Zhang G Q, Yang Y X, Liang W B, et al. The Manila clam(*Ruditapes philippinarum*) artificial breeding technique[J]. Shandong Fisheries, 2006, 23(3): 14-15(in Chinese).
- [6] 刘慧, 方建光, 朱建新, 等. 菲律宾蛤仔高密度育苗技术[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 28-33.
Liu H, Fang J G, Zhu J X, et al. Techniques for high-density artificial reproduction of Manila clam, *Ruditapes philippinarum*[J]. Marine Fisheries Research, 2005, 26(6): 28-33(in Chinese).
- [7] 任福海, 刘吉明, 杨辉, 等. 辽宁菲律宾蛤仔土池育苗存在的问题与对策[J]. 水产科学, 2003, 22(5): 39-40.
Ren F H, Liu J M, Yang H, et al. The problems and strategy on breeding of clam (*Ruditapes philippinarum*) in ponds in Liaoning Province[J]. Fisheries Science, 2003, 22(5): 39-40(in Chinese).
- [8] 卢敬让, 李德尚, 杨红生, 等. 海水池塘鱼贝施肥混养生态系中贝类与浮游生物的相互影响[J]. 水产学报, 1997, 21(2): 158-164.
Lu J R, Li D S, Yang H S, et al. Interactions between plankton and shellfish in fish-shellfish polyculture ecosystem of fertilized sea water pond[J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(2): 158-164(in Chinese).
- [9] 徐晓津, 吴成业, 阎希柱, 等. 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[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(6): 60-68.
Xu X J, Wu C Y, Yan X Z, et al. Study on the ecological characteristics of phytoplankton in an off-season high efficient and ecological culture pond of short neck clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Progress in Fishery Science, 2010, 31(6): 60-68(in Chinese).
- [10] Soletchnik P, Le Moine O, Gouletquer P, et al. Optimisation of the traditional Pacific cupped oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) culture on the French Atlantic coastline: autumnal fattening in semi-closed ponds[J].

- Aquaculture*, 2001, 199(1-2): 73-91.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测: GB 17378.7-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring-Part 7: Ecological survey for offshore pollution and biological monitoring: GB 17378.7-2007[S]. Beijing, Standards Press of China, 2008(in Chinese).
- [12] 高杉, 吴立新, 姜志强, 等. 牙鲆和贝类混养池塘中氮、磷收支的研究[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(3): 203-208.
- Gao S, Wu L X, Jiang Z Q, *et al.* Nitrogen and phosphorus budgets in a pond with polyculture of Japanese flounder with shellfish[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(3): 203-208(in Chinese).
- [13] 张凯, 田相利, 董双林, 等. 三疣梭子蟹、凡纳滨对虾和菲律宾蛤仔混养系统氮磷收支的研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45(2): 44-53.
- Zhang K, Tian X L, Dong S L, *et al.* Nitrogen and phosphorus budgets of polyculture system of *Portunus trituberculatus*, *Litopenaeus vannamei* and *Ruditapes philippinarum*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(2): 44-53(in Chinese).
- [14] 魏虎进, 程飞, 朱小明, 等. 以缢蛭为主的生态综合养殖池塘氮磷流研究[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2013, 52(3): 254-258.
- Wei J H, Cheng F, Zhu X M, *et al.* The budgets of nitrogen and phosphorus in the integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) ponds[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 2013, 52(3): 254-258(in Chinese).
- [15] 张磊, 杨淑芳, 阎希柱, 等. 菲律宾蛤仔养殖池塘初级生产力的变化及其影响因素研究[J]. *渔业现代化*, 2015, 42(5): 18-23.
- Zhang L, Yang S F, Yan X Z, *et al.* Study on the variation and influencing factors of the primary production of *Ruditapes philippinarum* culture pond[J]. *Fishery Modernization*, 2015, 42(5): 18-23(in Chinese).
- [16] 闫喜武. 菲律宾蛤仔养殖生物学、养殖技术与品种选育[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2005.
- Yan X W. The culture biology and technology and selective breeding in Manila clam *Ruditapes philippinarum*[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2005(in Chinese).
- [17] Boyd C E. Practical aspects of chemistry in pond aquaculture[J]. *The Progressive Fish Culturist*, 1997, 59: 85-93.
- [18] Jiang X L, Boyd C E. Relationship between organic carbon concentration and potential pond bottom soil respiration[J]. *Aquacultural Engineering*, 2006, 35(2): 147-151.
- [19] 彭斌. 滨海盐场养殖池塘底质硫化物的变化及其与其它因子的关系[J]. *海洋湖沼通报*, 2008(3): 155-160.
- Peng B. The variation of sulfide in culture ponds of Binhai saltern and relationship between sulfide and other factors[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(3): 155-160(in Chinese).
- [20] 陈皓文. 海洋硫酸盐还原菌及其活动的经济重要性[J]. *黄渤海海洋*, 1998, 16(4): 64-74.
- Chen H W. Marine sulfate-reducing bacteria and the economic significances of their activity[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1998, 16(4): 64-74(in Chinese).
- [21] 迟爽, 刘海军, 刘冉, 等. 刺参养殖池塘底泥理化指标和细菌数量变化的检测[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(1): 111-117.
- Chi S, Liu H J, Liu R, *et al.* Variation of physicochemical indices and bacterial numbers in sediment of *Apostichopus japonicus* culture ponds[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(1): 111-117(in Chinese).
- [22] 王岩, 齐振雄. 不同养殖方式对海水实验围隔底泥中氮、磷和有机碳含量的影响[J]. *海洋科学*, 1999(4): 1-3.
- Wang Y, Qi Z X. Effects of culture models on concentration of nitrogen, phosphorus and organic carbon in bottom soil from seawater experimental enclosures[J]. *Marine Sciences*, 1999(4): 1-3(in Chinese).
- [23] 彭斌. 虾贝混养池塘养殖环境中底质硫化物的研究[J]. *现代农业科技*, 2008(9): 172-174.
- Peng B. Study on sediment sulfide in shrimp-shell polyculture ponds[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008(9): 172-174(in Chinese).
- [24] Soletchnik P, Faury N, Razet D, *et al.* Hydrobiology of the Marennes-Oléron bay. Seasonal indices and analysis of trends from 1978 to 1995[J]. *Hydrobiologia*, 1998, 386(1-3): 131-146.
- [25] 李云梦, 郑侠飞, 王岩, 等. 绍兴市凡纳滨对虾围垦滩涂养殖池塘的理化环境和浮游植物[J]. *渔业现代化*, 2017, 44(6): 1-8.

- Li Y M, Zheng X F, Wang Y, *et al.* Physicochemical environment and phytoplankton in *Litopenarus vanna-mei* ponds located in the diked tidal flat in Shaoxing city[J]. *Fishery Modernization*, 2017, 44(6): 1-8(in Chinese).
- [26] 刘乾甫, 赖子尼, 高原, 等. 珠江三角洲地区精养淡水鱼塘浮游植物功能群特征[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(1): 124-136.
- Liu Q F, Lai Z N, Gao Y, *et al.* Characteristics of phytoplankton functional groups of intensive-culturing fishponds in the Pearl River Delta[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(1): 124-136(in Chinese).
- [27] 胡梦红, 武震, 周作强, 等. 鱼蚌混养对池塘水质、藻相结构及三角帆蚌生长的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(2): 200-207.
- Hu M H, Wu Z, Zhou Z Q, *et al.* The impact of polyculture of freshwater mussel on water quality, plankton community and mussel growth performance in ponds of silver carp and bighead carp[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 200-207(in Chinese).
- [28] 刘忠颖, 李大成, 王志松, 等. 滩涂与土池进行菲律宾蛤仔稚贝中间育成的效果比较[J]. *水产科学*, 2004, 23(1): 22-24.
- Liu Z Y, Li D C, Wang Z S, *et al.* Comparative study on culture of larval clam *Ruditapes philippinarum* in beaches and earthen ponds[J]. *Fisheries Science*, 2004, 23(1): 22-24(in Chinese).

Optimization of the Manila clam(*Ruditapes philippinarum*) breeding technique in diked tidal flat and the impact on physicochemical indices, phytoplankton community and juvenile growth performance

QI Jianfei, ZHENG Yayou, WU Qisheng, NING Yue,
GUO Xiang, ZENG Zhinan*, JIA Yuanyuan

(Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province,
Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources,
Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China)

Abstract: The Manila clam (*Ruditapes philippinarum*), with annual yield of 4 million tons in 2015, is a kind of important economic shellfish in China. The breeding technique in diked tidal flat which is the most productive technology, is not particularly reliable. In order to optimize it, a pond (A) was set up to induce phytoplanktonic blooms, which was regularly distributed to the nursery pond (B), and nursery pond (C) without algae superinduced as the control. The water, sediment quality and phytoplankton of A, B, C were compared with those of adjacent natural sea area (D). The growth of juveniles in B and C were also compared. The results showed that, there was no significant difference between A, B and C in water and sediment quality, but the water quality parameters(S, pH, DO, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P) and the sediment quality (organic carbon, sulfide) of the three ponds were significantly different from D; the phytoplankton density followed the order of A > B > C > D, but only A had significant difference with D; the shell length and density of juveniles in B were significantly higher than those in C. This indicated that there was a great difference in the environment between the diked tidal flat ponds and the natural sea area, and phytoplankton supplement can increase the growth and survival of the juveniles, thus ensuring the success rate of the breeding of *R. philippinarum* in diked tidal flat ponds.

Key words: *Ruditapes philippinarum*; phytoplankton; breeding; diked tidal flat; water quality; sediment

Corresponding author: ZENG Zhinan. E-mail: xmzsn@sina.com

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-49); Seed Industry Innovation and Industrialization Project of Fujian Province (2014S1477-9)