

不同池塘养殖模式的环境氮磷负荷及其水质特征

夏新建¹, 许忠能¹, 林小涛¹, 谢钊毅², 靳祖雷¹, 马叶胜¹

(1. 暨南大学 水生生物研究所, 广东省高校水体富营养化与赤潮防治重点实验室, 广东 广州 510632; 2. 广东海丰公平大湖省级自然保护区管理处, 广东 汕尾 516400)

摘要: 2008年3月至2009年1月研究了广东海丰县东关联安围湿地两种投饵养殖模式——对虾主养(半集约化养殖)和虾蟹混养(半集约化养殖)海水池塘的环境氮磷负荷和养殖水体氮磷含量的周年变化情况, 并以不投饵的埕围虾贝混养(粗放式养殖)模式为对照。3种模式中, 池塘单位面积环境氮、磷负荷以对虾主养模式最高, 分别为 36.52 kg/hm² 和 7.39 kg/hm²; 虾蟹混养模式次之, 分别为 1.49 kg/hm² 和 0.52kg/hm²; 而埕围虾贝混养模式最低, 分别为-2.47 kg/hm² 和-0.34 kg/hm²。每月1次对3种模式养殖过程中水体的总氮、硝酸氮、亚硝酸氮、氨氮和总磷及磷酸盐含量进行监测, 结果表明, 与养殖环境氮磷负荷大小相对应, 埕围虾贝混养池塘水质最好, 虾蟹混养池塘次之, 而对虾主养池塘水质最差, 这种现象尤其在养殖后期更为明显。

关键词: 海丰湿地; 养殖模式; 氮; 磷; 环境负荷

中图分类号: 524

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)05-0087-06

广东海丰湿地位于中国南海沿海地区汕尾市海丰县境内, 地处北回归线南缘, 于2008年列入国际重要湿地(RAMSAR)名录。湿地由公平区、大湖区和东关联安围区3个区域组成, 总面积11590.5 hm²[1]。该湿地建有广东海丰公平大湖省级自然保护区, 是亚太地区南中国海水鸟迁徙的重要通道, 是我国生物多样性保护的关键地区。保护区湿地类型丰富, 其中东关联安围区属河口、滩涂和海水养殖池塘湿地, 区内养殖池塘面积达1500多hm², 占该区总面积的三分之一, 是东关联安围湿地的重要组成部分。

水产养殖池塘是一个人工或半人工生态系统, 其系统内的生产力大小、物质循环特征及输出、养殖自身污染的程度以及对周围环境的影响与其养殖模式密切相关[2-4]。目前海丰湿地海水养殖以粗放式或半集约化为主, 本文以与水体营养状况直接相关的营养元素氮磷为指标, 估算海丰湿地两种投饵养殖模式——对虾主养(半集约化养殖)和虾蟹混养(半集约化养殖)海水池塘的环境氮磷负荷, 且以不投喂饲料的埕围虾贝混养(粗放式养殖)池塘养殖模式作为对照, 研究由投饵产生的环境氮磷负荷。同时对3种养殖池塘水体中的氮磷营养盐进行了周年监测, 以期探讨不同模式水产养殖的环境效应和湿地生态保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 调查地点及实验池塘的管理

调查地点为海丰湿地内养殖池塘最多的东关联安围区, 选取的2种投喂饲料的养殖模式分别为: 半集约化小面积池塘主养凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 配养锯缘青蟹(*Scylla serrata*); 半集约化小面积池塘虾蟹混养(斑节对虾和锯缘青蟹)。而不投喂饲料的养殖模式为: 埕围大面积粗放式虾贝混养, 养殖对象为斑节对虾(*Penaeus monodon*)和近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*), 其中牡蛎采用竹篮吊养的方式。对上述3种不同养殖模式, 各自选取2个面积相似而且相邻的池塘作研究样地, 不同模式池塘及养殖管理概况见表1。各种池塘均在2月干塘和晒底, 3月初进水, 3月中旬放养第一茬虾苗, 之后在产品达到上市规格时采用定置网笼或其他方法捕获, 不再放水干塘。养殖期间, 均不使用增氧设备。对虾主养和虾

收稿日期: 2011-08-19; 修回日期: 2011-11-11

基金项目: 汇丰/世界自然基金会华南湿地项目(02-000056)、广东省海洋渔业科技推广专项项目(A200899J01)

作者简介: 夏新建(1985-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事水生经济动物与养殖环境研究, E-mail: xxj362707875@yahoo.com.cn; 林小涛, 通信作者, E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn

表 1 不同养殖模式实验池塘养殖管理情况

Tab. 1 Management of different mariculture ponds

管理事项	养殖模式		
	塼围虾贝混养	虾蟹半集约化混养	对虾半集约化主养
2个池塘总面积	60.00 hm ²	2.13 hm ²	0.97 hm ²
放苗批次及时间	斑节对虾: 3月、5月 牡蛎: 4月、9月、11月	斑节对虾: 3月、5月 青蟹: 6月、9月	凡纳滨对虾: 3月、5月 青蟹: 6月、9月
累计放苗密度	斑节对虾 9.0 万尾/ hm ² ; 牡蛎 2295kg/ hm ²	斑节对虾 7.5 万尾/ hm ² ; 青蟹 1.08 万尾/ hm ²	凡纳滨对虾 60.0 万尾/ hm ² 青蟹 0.125 万尾/ hm ²
饲料种类	不投饲料	红肉蓝蛤(<i>Potamocorbula rubromuscula</i>)、福寿螺(<i>Pomacea canaliculata</i>)、对虾配合饲料	对虾配合饲料、福寿螺

蟹混养池塘由于换水条件不佳, 平均每月只换水一次, 换水量约为 20 cm; 而塼围虾贝混养池塘可利用自然潮差每月换水 10 次以上, 每次换水量约 20~40 cm。

1.2 饲料、养殖动物和水样的氮磷测定方法

1.2.1 饲料及养殖动物的取样及其氮磷含量测定方法

在养殖现场取适量的对虾、牡蛎、青蟹等养殖动物和红肉蓝蛤、福寿螺和对虾配合饲料, 置于保温箱中低温保存, 4 h 内带回实验室处理。取上述贝类软体部、甲壳类整体和配合饲料, 称湿质量, 然后置于烘箱中 50~60 烘至恒重, 再进行氮磷含量的测定。其中氮含量采用凯氏定氮仪(Foss, kjeltel 2300)测定; 磷含量采用钼锑抗分光光度计法测定。

1.2.2 水样的采集及氮磷测定方法

于 2008 年 3 月至 2009 年 1 月, 在 3 种养殖模式共 6 个实验池塘各设 2 个采样点, 另在通往海区的进水渠道口设 2 个采样点, 每个月采集水样 1 次。水样采集用有机玻璃采水器, 将同一采样点的水样分为两部分, 一部分用浓硫酸固定, 用于总氮和总磷的测定; 另一部分置于保温箱中低温保存, 用于硝酸氮、亚硝酸氮、氨氮和磷酸盐的测定。所有样品在采样完毕后 4 h 内带回实验室测定。

水样中总氮采用过硫酸钾氧化 - 紫外分光光度法测定; 硝酸氮采用镉柱还原法测定; 亚硝酸氮采用萘乙二胺分光光度法测定; 氨氮采用靛酚蓝分光光度法测定; 总磷采用过硫酸钾氧化 - 钼锑抗分光光度法测定; 磷酸盐采用钼锑抗分光光度法测定。

1.3 养殖环境氮磷负荷的估算

采用质量平衡法估算不同养殖模式产生的环境氮磷负荷, 该方法认为人工投入的饵料是养殖系统内

产生氮磷废物的直接来源, 因而可通过投喂食物所含氮磷总量(T_{NP})与养殖动物的净氮磷增质量(G_{NP})的差值来估算养殖过程中产生的氮磷负荷量^[4], 即:

$$\text{环境氮磷负荷 } L_{NP} = T_{NP} - G_{NP} \quad (1)$$

式中, 投喂食物的氮磷总量(T_{NP})可通过饲料的氮磷含量和投喂量计算, 各种饲料的投喂总量根据每天的投喂记录进行统计; 养殖动物净氮磷增质量 $G_{NP} = (W - LW) \times F_{NP}$, 其中, W 为养殖动物产量, W_L 为养殖动物苗种质量, F_{NP} 为养殖动物氮磷含量。即:

$$\text{环境氮磷负荷 } L_{NP} = T_{NP} - (W - W_L) \times F_{NP} \quad (2)$$

作为对照, 对于不投饵的塼围虾贝混养模式也同样采用公式(2)计算。

1.4 数据分析

对 3 组以上的数据以平均值 \pm 标准差表示。应用 SPSS 13.0 和 Excel 2003 软件对实验数据进行统计分析和作图, 对不同养殖模式间水体氮磷含量的差异进行单因素方差分析 (ANOVA) 和 LSD 多重比较。

2 结果

2.1 三种养殖模式实验池塘的产量

在海丰湿地 3 种养殖模式池塘中, 塼围养殖共收获对虾 9482 kg 和牡蛎(软体)16966 kg; 虾蟹混养共收获对虾 2500 kg、青蟹 528 kg; 对虾主养收获对虾 700 kg 和青蟹 48 kg。

2.2 三种养殖模式的环境氮磷负荷

各种饲料和养殖动物的氮磷含量测定结果见表 2。按公式(2)计算出 3 种养殖模式的池塘单位面积环境氮磷负荷见图 1。虾蟹混养模式中, 饲料、种苗等的投入氮 36.65 kg/hm², 养殖产品回收氮 35.16 kg/hm²,

环境氮负荷为 1.49 kg/hm²; 投入磷 4.77 kg/hm², 回收磷 4.25 kg/hm², 环境磷负荷为 0.52 kg/hm²。对虾主养模式中, 投入氮 55.84 kg/hm², 回收氮 19.32 kg/hm², 环境氮负荷为 36.52 kg/hm²; 投入磷 9.61 kg/hm², 回收磷 2.22 kg/hm², 环境磷负荷为 7.39 kg/hm²。在不投饵的塼围养殖模式中, 投入氮 4.38 kg/hm², 回收氮 6.85 kg/hm², 环境氮负荷为-2.47 kg/hm²; 投入磷 0.30 kg/hm², 回收磷 0.64 kg/hm², 环境磷负荷为-0.34 kg/hm²。

表 2 各种饲料和养殖动物湿质量的氮磷质量分数
Tab. 2 Nitrogen and phosphorus contents of the foods and farmed animals

分析对象	氮(%)	磷(%)
配合饲料	5.78	1.04
红肉蓝蛤(软体部)	0.88	0.09
福寿螺(软体部)	0.48	0.07
对虾	2.51	0.28
青蟹	2.30	0.39
牡蛎(软体部)	1.02	0.07

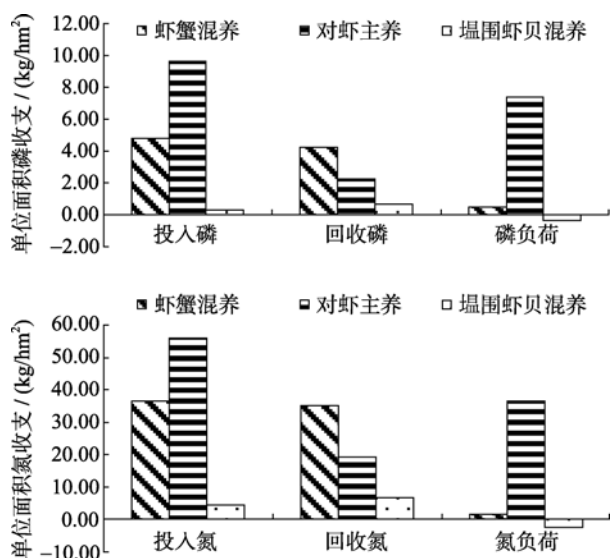


图 1 海丰湿地 3 种养殖模式池塘的环境氮磷负荷

Fig. 1 Environmental nitrogen and phosphorus loading of three culture methods in the sampling plots in Haifeng wetland

2.3 三种养殖模式中池塘水体氮磷含量的变化

3 种海水养殖模式池塘水体无机氮含量的变化见图 2。总体上各采样点无机氮含量都有随养殖时间延长而增大的趋势。3 种不同养殖模式池塘中以对虾

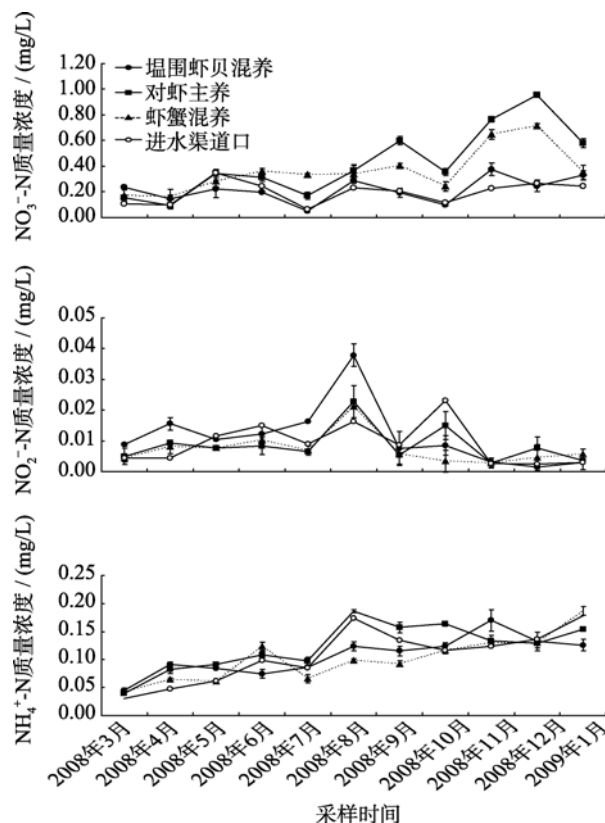


图 2 海丰湿地三种养殖模式中池塘硝酸氮、亚硝酸氮和氨氮含量的变化

Fig. 2 The variations of NO₃⁻-N, NO₂⁻-N and NH₄⁺-N contents in water of three culture methods in the sampling plots in Haifeng wetland

主养池硝酸氮含量最高, 尤其在后阶段更为明显, 9 月以后, 对虾主养池硝酸氮含量均显著高于塼围虾贝混养池($P < 0.05$); 其次是虾蟹混养池, 而塼围虾贝混养池和进水口水体硝酸氮含量最低, 且随养殖时间的延长增长态势不明显。亚硝酸氮含量整体上以夏季最高。与其他 2 种养殖模式相比, 塼围虾贝混养池亚硝酸氮含量波动最大, 前中期含量较高, 但后期降到 3 者最低水平。氨氮含量在初期整体上随养殖时间延长而上升, 但 8 月达到高峰后稳定在一定水平。3 种养殖模式中, 大部分时间点都以对虾主养池塘氨氮含量最高, 尤其是 8 月、9 月和 10 月, 其含量均显著高于塼围虾贝混养或虾蟹混养池塘($P < 0.05$), 而后两者含量大多较低。不同养殖模式水体总氮、磷酸盐和总磷含量随时间变化趋势见图 3。整体上水体总氮含量都有随养殖时间延长而增大的趋势, 3 种不同养殖模式中以对虾主养池总氮含量最高, 尤其在后阶段更为明显, 9 月以后, 其总氮含量均显著高于塼围虾贝混养池($P < 0.05$); 其次是虾蟹混

养池, 而埭围虾贝混养池和进水口总氮含量最低, 而且随养殖时间的延长增长态势不明显。各养殖模式水体总磷含量随时间变化不呈递增趋势, 而是有一定范围的波动。对3种养殖池进行比较, 总磷含量仍然以对虾主养池最高, 虾蟹混养池次之, 而埭围虾贝混养池最低, 尤其是7月和12月, 对虾主养池的总磷含量显著高于虾蟹混养和埭围虾贝混养池 ($P < 0.05$)。各养殖模式水体磷酸盐含量在7月出现峰值, 其他时段变化不大。不同养殖池比较, 大多时间段都以对虾主养池含量最高, 虾蟹混养池次之, 埭围虾贝混养池最低, 尤其是7月、11月和12月差异更为明显 ($P < 0.05$)。

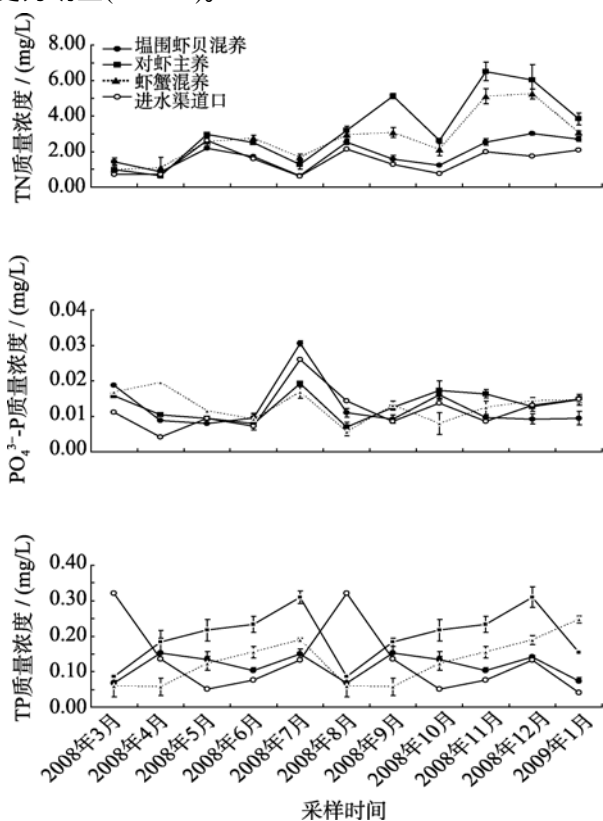


图3 海丰湿地三种养殖模式中池塘总氮、磷酸盐和总磷含量的变化

Fig. 3 The variations of TN, PO_4^{3-} -P and TP contents in water of three culture methods in the sampling plots in Haifeng wetland

3 讨论

3.1 不同养殖模式下环境氮磷负荷的比较

由投喂饲料而产生的环境氮磷负荷可通过质量平衡法进行估算^[5-6], 环境氮磷负荷的具体生成方式

主要为投饵后未被养殖动物摄食的残饵、摄食后未消化排出的粪便以及其他排泄物所含有的氮磷量^[7]。本研究的3种养殖模式中, 对虾主养和虾蟹混养都需投喂饲料, 而埭围虾贝混养整个过程未投喂任何饲料, 养殖的对虾或牡蛎通过摄取养殖池中天然饵料而养成。但作为对照, 本研究对埭围虾贝混养同样采用质量平衡法来估算其环境氮磷负荷。因为没有投饵, 所以对埭围虾贝混养池的氮磷输入仅为前期投入的养殖动物苗种的氮磷量, 而最终通过养殖产品的收获可以从养殖池中移走更多的氮磷, 故其养殖环境氮磷负荷为负值。

比较2种投饵养殖模式(对虾主养和虾蟹混养)的单位面积环境氮磷负荷, 发现前者显著高于后者, 其原因在于前者人工投入的氮磷要远远大于后者, 而随产品回收的氮磷量却小于前者。本研究中对虾主养池养殖密度高, 相应投喂量大, 且主要投喂氮磷含量高的配合饲料, 而一般对虾养殖池的氮磷输入中, 饲料提供的氮占76%~92%, 磷占70%~91%^[8]。可见投入饲料的质和量是影响环境氮磷负荷的重要因素。另一方面, 对虾主养池发生过病害, 死亡率较高, 导致养殖产量和回收氮磷减少, 环境氮磷负荷相对增加。虾蟹混养模式养殖密度相对较低, 相应投喂量小, 且主要投喂氮磷含量较低的低值贝类, 其收获的产品氮磷量高于对虾主养池塘, 所以产生的环境营养负荷相对较小。

本研究对养殖池塘环境氮磷负荷的详细来源和去向未作定量研究, 但参照苏跃朋等^[10]对中国明对虾精养池塘氮、磷收支研究可知, 在封闭式池塘养殖系统中, 氮主要以悬浮物和溶解态形式存在于水体, 而磷则主要沉积于池塘底泥中。至于环境氮磷负荷的来源和比例, 马叶胜等^[9]对虾养殖池塘的研究结果显示, 环境氮负荷主要来自排泄氮, 占74.7%, 而环境磷负荷则主要来自粪便磷, 占54.7%。了解环境氮磷负荷大小、来源和归趋, 有助于对其产生的环境效应的分析和判断。

3.2 不同养殖模式的特点及其环境效应分析

尽管各种养殖模式环境氮磷负荷是基于质量平衡法的估算值, 而养殖水体的水质指标却为实测值, 但比较3种不同养殖模式下池水的氮磷含量变化特征, 基本上与其环境氮磷负荷相对应, 即环境氮磷

负荷越小,其水体氮磷含量亦呈低水平的趋势。本研究中对虾主养池的环境氮磷负荷最高,其水体氮磷含量亦高于其他两种养殖模式池塘,这说明养殖过程产生的环境氮磷负荷是影响水质的一个重要因素。从水体氮磷含量随时间变化规律看,总氮和硝酸盐氮含量随养殖时间延长而增大,说明随着时间的延长,水体中的氮积累越多;而水体总磷和磷酸盐含量的时间变化趋势不是很明显,这可能与氮磷的形态及其在养殖池塘的垂直分布特征有关。养殖池塘的氮多以悬浮物或溶解态的形式存在于水体,而磷则主要以固态的形式沉积于底泥,故随养殖时间的延长即使底泥中磷的积累量增加也没有反映在水体的磷含量变化上。另一方面,部分水质指标夏季往往有一个峰值,这可能与高温下动物代谢率提高、投饵量增大以及各种微生物活动增强有关^[10-11]。

总体来说,本研究中养殖水体氮磷营养指标的变化特点与不同养殖模式池塘的自然条件和管理方法有密切的关系,如水交换条件、放苗密度、投饵的种类和数量、施肥与否等等。对虾主养池的水交换条件差,其养殖对象以凡纳滨对虾为主,放苗密度较大,投饵量也相对较大,放苗前后还多次施肥和用药。这些都可能是其环境氮磷负荷大、水质状况较差的原因。当水质状况较差时,会对对虾养殖造成不良影响。有研究表明,当氨氮含量过高时,不但会影响对虾的生长,还会造成藻类和某些细菌的过度繁殖,破坏水体的生态平衡,导致水体透明度降低,严重时使水生动物中毒甚至窒息死亡^[12-14]。本研究对虾主养池塘的环境氮磷负荷最高,与其较高的死亡率造成随产品回收的氮磷量减少有关。虾蟹混养池虽然换水条件也不好,养殖过程换水少,但其虾苗和蟹苗放养密度都不大,相对投饵量也不大,且虾蟹混养在某种程度上可提高饲料的利用率,减少残饵,因而呈现相对较好的水质状况。埭围虾贝混养池因养殖过程中不投饵、不施肥,其产生的环境氮磷负荷相对为负值;另因靠近围外进水沟渠,进排水方便,对虾和牡蛎放苗密度小,所以其水质条件在3种养殖模式中是最好的。

相比较于其他两种养殖模式,埭围虾贝混养还有一个特点,就是养殖的牡蛎作为滤食性贝类以水体中浮游藻类和其他悬浮有机颗粒物为食^[15],适量的养殖可以控制水体的有机物浓度,对池塘水质有净化作用^[16]。另外,埭围面积很大,四周植被丰盛,

间生有少量的红树林,除放养的斑节对虾和牡蛎外,池塘内还有一些随海区进水而来的新对虾类、锯缘青蟹和一些河口性半咸水鱼类,成为经济价值很高的养殖副产品,增加了养殖生产效益。鉴于埭围虾贝混养对湿地环境产生的负面影响不大,而经济效益较高,可以认为是目前实现养殖生产与湿地生态环境保护协调发展的一种健康养殖模式。

参考文献:

- [1] 彭逸生,孙红斌,谢荣如,等.海丰鸟类自然保护区大型底栖动物群落特征[J].生态环境,2008,17(3):1163-1169.
- [2] 计新丽,林小涛,许忠能,等.海水养殖自身污染机制及其对环境的影响[J].海洋环境科学,2000,19(4):66-71.
- [3] Hargreaves J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166: 181-212.
- [4] Sebastien Lefebvre, Cedric Bacher, Anne Meuret, et al. Modeling approach of nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment-water interface of an intensive fishpond system [J]. Aquaculture, 2001, 195: 279-297.
- [5] 林钦,李纯厚,林燕棠,等.柘林湾网箱养殖对周围海域环境的影响[J].华南师范大学学报(自然科学版),1998,5(2):36-46.
- [6] 黄小平,温伟英.上川岛公湾海域环境对其网箱养殖容量限制的研究[J].热带海洋,1998,17:57-64.
- [7] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems[J]. Aquacultural Engineering, 2003, 27(3): 159-176.
- [8] 马叶胜,许忠能,林小涛,等.柘林湾沿岸对虾养殖环境氮磷负荷与区域分布[J].水生生态学杂志,2010,3(2):23-27.
- [9] 苏跃朋,马牲,董双林,等.中国明对虾精养池塘氮、磷和碳收支的研究[J].南方水产,2009,5(6):54-58.
- [10] 许忠能,林小涛,周小壮,等.广东省海水养殖对海区环境影响的夏季调查[J].环境科学,23(6):79-85.
- [11] 李秋芬,曲克明,陈碧娟,等.老化虾池生态系统中几类主要细菌的季节变化特征[J].海洋水产研究,2002,23(2):12-18.
- [12] 李奕雯,李卓佳,曹煜成,等.对虾海水高密度养殖后期水质因子的昼夜变化规律[J].南方水产,2010,6(6):26-31.

- [13] 徐琴, 李健, 刘淇, 等. 4种微生物制剂对对虾育苗水体主要水质指标的影响[J]. 海洋科学, 2009, 33(3): 10-15.
- [14] Cui Zhan-li, Liu Yong-chun, Zhang Hong-yan. Research on the photosynthetic bacteria X1 and NDYC1 in purifying the quality of fish pond water[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science(Natural Science Edition), 2004, 16(4): 52-55 .
- [15] 季如宝, 毛兴华, 朱明远. 贝类养殖对海湾生态系统的影响[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(1): 21-26.
- [16] 周毅, 杨红生, 张福绥. 海水双壳贝类的生物沉积及其生态效应[J]. 海洋科学, 2003, 27(2): 23-26.

Environmental nitrogen and phosphorus loading and water quality of three culture methods in ponds

XIA Xin-jian¹, XU Zhong-neng¹, LIN Xiao-tao¹, XIE Zhao-yi², JIN Zu-lei¹, MA Ye-sheng¹

(1. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Key Laboratory of Aquatic Eutrophication and Control of Harmful Algal Blooms of Guangdong Higher Education Institutes, Guangzhou 510632, China; 2. Administration Bureau of Guangdong Haifeng Gongping Dahu Provincial Nature Reserve, Shanwei 516400, China)

Received: Aug., 19, 2011

Key words: Haifeng wetland; culture methods; nitrogen; phosphorus; environmental loading

Abstract: In this paper, the environmental nitrogen and phosphorus loading and nitrogen and phosphorus contents in water of two methods of pond culture with feeding (semi-intensive monoculture of shrimps and semi-intensive polyculture of shrimps and crabs), and one method of pond culture without feeding, (extensive polyculture of shrimps and shellfish) were analyzed in the ponds of Haifeng Dongguan Lian'anwei wetland areas. The results showed that in the three culture methods, semi-intensive monoculture of shrimp produced most nutrient discharge into the environment—nitrogen loading of 36.52 kg/ hm² and phosphorus loading of 7.39 kg/ hm², following by those of semi-intensive polyculture of shrimps and crabs, with nitrogen loading of 1.49 kg/ hm² and phosphorus loading of 0.52 kg/ hm², and extensive breeding did not discharge but instead, took up 2.47 kg/ hm² nitrogen and 0.34 kg/ hm² phosphorus from water. According to the monthly measurement of the levels of nitrate, nitrite, ammonia, total nitrogen, phosphate, and total phosphorus in seawater from March of 2008 to January of 2009, it indicated that the water quality of semi-intensive monoculture of shrimp was the worst among the three culture methods, followed by semi-intensive polyculture of shrimp and crabs and the extensive polyculture of shrimps and shellfish has the best water. This situation became more significant during the later period of culture.

(本文编辑: 梁德海)