

文章编号:1000-0615(2001)05-0443-05

同安湾潘涂对虾养殖垦区不同形态磷的含量与动态

郭丰, 聂鑫, 周时强, 黄凌风, 苏永全, 沈国英

(厦门大学海洋学系, 福建 厦门 361005)

摘要:1996年5月至1997年2月对厦门市同安湾潘涂垦区两口虾池及进水渠道不同形态磷的含量与动态进行了调查。结果显示, 虾池的颗粒磷(PP)含量明显高于邻近内湾, 可溶性有机磷(DOP)含量略高于内湾, 可溶性无机磷酸盐(DIP)含量则明显比邻近内湾的低。虾池中的磷主要以PP形态存在(78.25%), DOP、DIP含量较少(14.82%和6.93%); 垦区内湾则是以PP和DIP为主(44.49%和46.39%), DOP所占比例最小(9.12%)。虾池与垦区内湾不同形态磷的季节变化也存在一定差异。

关键词:潘涂养殖垦区; 同安湾; 磷含量

中图分类号: S912; S968.22 文献标识码: A

The contents and dynamics of different forms of phosphorus in shrimp culture area of Pantu, Tong'an Bay, Xiamen

GUO Feng, NIE Xin, ZHOU Shi-qiang, HUANG Ling-feng, SU Yong-quan, SHEN Guo-ying

(Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: From May 1996 to Feb. 1997, the contents and dynamics of different forms of phosphorus in two shrimp ponds and the inflow channel in Pantu cultivation area in Tong'an Bay, Xiamen were surveyed. The results showed that the content of particle phosphorus (PP) in shrimp ponds was significantly higher than that in the neighboring bay, while the content of dissolved organic phosphorus (DOP) in shrimp ponds was slightly higher, and the content of dissolved inorganic phosphorus (DIP) was evidently lower than that in the neighboring bay. PP was the main existing form of phosphorus in shrimp ponds (78.25%), the contents of DOP and DIP were lower (14.82% and 6.93%, respectively), while in the neighboring bay phosphorus exists mostly in the forms of PP and DIP (44.49% and 46.39%, respectively), and DOP only constitutes 9.12%. The seasonal variations of the different forms of phosphorus in shrimp ponds are different from those in the neighboring bay.

Key words: Pantu cultivation area; Tong'an Bay; content of phosphorus

磷作为一种主要生源要素, 对海洋生态系统的群落结构和物质循环都存在重要的影响, 也是水体环境质量状况的重要参考指标。磷化合物在海洋水体中主要由可溶性无机磷酸盐(DIP)、可溶性有机磷(DOP)、颗粒磷(PP)等几种形式组成。但各种磷化合物又可随生物、化学和水文过程而进行变化^[1]。目前在对虾养殖池的生态调查、富营养化程度评估等方面, 多限于对无机态磷酸盐的研究, 而关于虾池的有机态磷的含量及动态, 除孙耀等对虾池新生残饵的N、P溶出速率及变化规律^[2], 齐振雄等^[3]在对虾

收稿日期: 2000-10-23

资助项目: 厦门市重大科技项目招标课题资助(1993-21-1-1)

第一作者: 郭丰(1968-), 男, 福建上杭人, 讲师, 在职博士生, 主要从事海洋生态学研究。Tel: 0592-2181063, E-mail: fguo@jingxian.xmu.edu.cn

池塘氮磷收支方面作过研究外,尚鲜见报道。本文对对虾养殖池塘及邻近内湾水体中不同形态磷的存量、动态及其他相关水质参数进行了近一年的跟踪监测,旨在深入了解虾池的水质状况及其变化特征,为垦区环境质量的评价、虾池的水质管理等方面提供基础数据。

1 调查研究方法

1.1 调查垦区及虾池

1996年5月-1997年2月对厦门市潘涂养虾场16、17号虾池及邻近内湾进行了10个月的调查。该垦区位于同安湾内,共有虾池26口,平均每口面积 2.8hm^2 。因病害较严重,近年来养殖者逐渐采用降低密度、适量投饵的养殖方式,以降低风险。调查期间垦区5月下旬至9月养殖斑节对虾(每公顷12~15万尾),10月至翌年2月养殖日本对虾(每公顷25~30万尾)。

1.2 调查项目和方法

调查期间,除5月采集水样1次外,其他每月采样2次。调查时除现场测定和记录水温、pH值和比重等外,还用采水瓶定点采集虾池水样,同时于高潮纳水时采集进水渠(总闸门处)水样以代表垦区邻近内湾的状况。水样带回实验室,除测定各种形态磷的含量外,对作为相关参数的叶绿素a含量也进行了分析。

叶绿素a(chla):水样经 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤后以90%丙酮萃取,752型分光光度计测定。

可溶性无机磷(DIP):按文献[4]的方法测定。

溶解有机磷(DOP):水样经 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤,以 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ 为氧化剂热压消化,磷钼蓝分光光度法测得总溶解磷含量,扣除DIP即得DOP含量。

颗粒磷(PP):TP扣除DIP和DOP的差值。

总磷(TP):未过滤水样以 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ 消化后测定。

2 结果与讨论

2.1 叶绿素a含量及动态

浮游植物的数量与环境不同形态磷的动态有密切关系。调查期间,垦区内湾叶绿素a含量为 $1.57\sim 9.50\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,平均 $4.34\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,通常明显低于虾池。从季节变化来看,5月至9月含量较高,此后下降,10月至翌年2月保持在 $2\sim 3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的较低水平,这主要与水温的季节变化有关(图1)。

16、17号池的叶绿素a含量范围分别为 $2.61\sim 25.28$ 和 $3.74\sim 31.17\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,明显高于垦区内湾,且波动也较垦区内湾剧烈得多(图1)。

此外,虽然两口虾池的放苗时间、放养量基本一致,但由于存活率、投饵量以及换水量等多种因素的差异,两口虾池的波动情况也不尽相同。7月27日之后,9607、9608和9610三次台风连续影响本地区,垦区暴发大面积虾病,16号池也出现虾病,死亡较严重,投饵量锐减,加之池内采取大换水措施,影响了浮游植物的生长,因而叶绿素a含量较低;而17号池在台风期间进行近一个月的全封闭养殖,对虾也保持正常生长,投饵量减少不多,使得浮游植物生物量明显比16号池为高。11月至翌年2月日本对虾养殖期间,16号池长有浒苔,同时常有死虾现象,因而投饵量少于17号池,其叶绿素a含量也就比17号池明显见少。而在其他月份,16号池多数高于17号池。

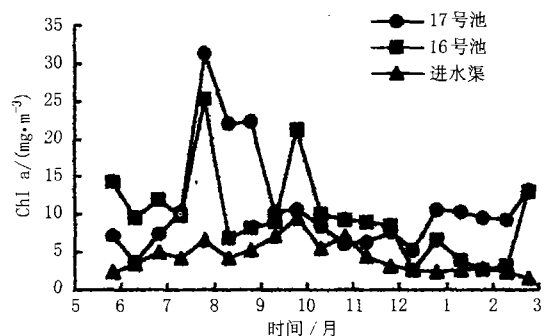


图1 叶绿素a含量月变化

Fig.1 Seasonal variation of Chl-a

2.2 不同形态磷的含量及动态

2.2.1 可溶性无机磷

调查结果显示(图2),虾池 DIP 含量普遍都很低,含量范围 $0.02 \sim 0.34 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,多数在 $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 以下,平均仅为 $0.10 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。垦区内湾的 DIP 含量则比池内高得多,变化于 $0.12 \sim 2.16 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,其中高于 $0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的占 74%,平均 $0.85 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。此外,垦区内湾 DIP 存在较明显季节变化,5月-9月基本呈逐渐上升趋势,9月-12月,基本上维持在 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,12月份至翌年1月-2月下降到较低的水平,在 $0.28 \sim 0.40 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 波动。而池内 DIP 不仅始终维持在较低水平,而且季节变化也很不明显。这显然与池内浮游植物生物量较高有关,因为浮游植物具有快速并且过量吸收无机磷储存于体内的习性^[5-7]。

2.2.2 溶解有机磷

海水中 DOP 主要来自浮游植物分泌、浮游动物的代谢排泄,在虾池中养殖对虾的代谢以及残饵、粪团的分解也是重要来源之一,细菌的消耗则是 DOP 减少的主要途径,循环速度较快。调查结果表明,垦区内湾在5月-10月 DOP 的含量略高,多在 $0.11 \sim 0.32 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 波动,平均 $0.21 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$;11月至翌年2月较低,含量范围为 $0.03 \sim 0.16 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,平均 $0.11 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。虾池 DOP 含量范围 $0.06 \sim 0.45 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,平均 $0.22 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,多数情况下比内湾略高。

垦区内湾与虾池 DOP 含量变化的一个显著特点是在一有限范围内频繁波动(图3),不同时间取样的结果差别较大,无明显的变化规律,尤以虾池为甚。陈淑美等^[8]对厦门港的调查也发现 DOP 呈现锯齿状月变化,且波动幅度不大,可见自然海区 DOP 也有相似的变化规律。这与 DOP 处于不断产生和消耗的快速循环之中、较不稳定有关。同时海水中 DOP 的结构较为简单,主要是磷酸酯类物质,大部分是容易水解的(如 ATP),不易水解的组分(如核酸)较少^[5],因此较易受到生物活动变化的影响,而虾池和邻近内湾的生物群落(尤其是浮游植物、浮游动物和细菌)都处于较快的变化之中。

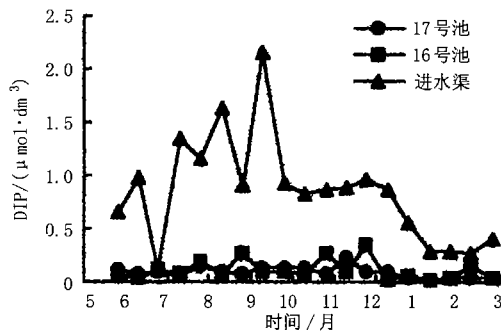


图2 DIP含量月变化

Fig.2 Seasonal variation of DIP

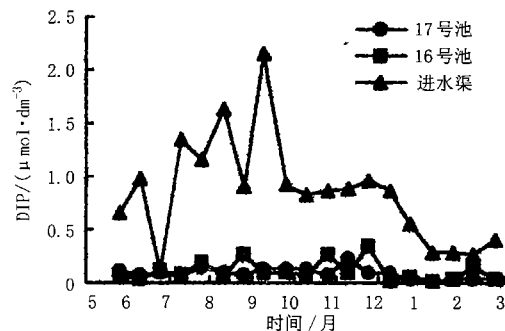


图3 DOP含量月变化

Fig.3 Seasonal variation of DOP

2.2.3 颗粒磷

水体中的颗粒磷(PP)主要由浮游生物、有机碎屑及少量吸附于悬浮颗粒上的无机磷组成,不同条件下各成分所占比例不同。调查期间虾池和垦区内湾的 PP 含量存在明显的季节变化,且变化规律也较为相似。5月-9月(斑节对虾养殖期间)含量较高,最高分别达 3.36 和 $1.69 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,且波动较大;10月份以后(日本对虾养殖期间),含量和波动幅度均显著下降,多数在 $0.4 \sim 0.6 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 变化(图4)。5月-9月水温较高,各种生物(特别是浮游植物)的生物量较大,池内由于斑节对虾生长快,投饵量大,产生较多的残饵、粪团,并随换水影响垦区内湾,因此 PP 含量较高,同时,7月-8月的三次台风所带来的大量悬浮物质也是垦区这一时期 PP 达全年最高值的重要原因。10月之后,水温下降,浮游植物等的生物量随之减少,日本对虾要求的投饵量也较少,使得 PP 含量较低。

此外,比较池内和垦区内湾的 PP 含量,多数时间池内的 PP 较垦区内湾为高,尤其在 5 月-9 月斑节对虾养殖期间尤为显著,这也主要与池内生物量大且有投饵有关。将虾池和垦区内湾的颗粒磷与叶绿素 a 含量进行一元线性回归,可得,

$$16 \text{ 号池为: } PP = 0.1080 \text{Chl-a} + 0.0087 (r = 0.8566, n = 19)$$

$$17 \text{ 号池为: } PP = 0.0883 \text{Chl-a} + 0.2574 (r = 0.7582, n = 19)$$

$$\text{垦区内湾为: } PP = 0.1058 \text{Chl-a} + 0.3526 (r = 0.5247, n = 19)$$

可见虾池颗粒磷与叶绿素 a 含量存在显著相关,而垦区内湾的相关性则比池内稍小。

上述分析表明虾池颗粒磷主要由浮游植物组成,这是由虾池的环境特征所决定的。与自然海区相比,虾池水体比较平静,底层对虾活动和进排水带来的扰动相对较弱,因此残饵和粪团等主要颗粒有机物多沉于池底,水体中的颗粒物以浮游生物(主要是浮游植物)为主。而垦区内湾则因存在潮流,涨、落潮期间对底层产生较大的扰动,水体中除浮游植物外,还带有一定数量的非生物颗粒磷。

2.2.4 总磷

TP 为 DIP、DOP 和 PP 之和。调查期间虾池和垦区内湾 TP 的含量变化见图 5。由图 5 看出,虾池和垦区内湾 TP 与 PP 的季节变化规律非常相似,5 月-9 月水温较高期间 TP 含量也较高,7、8 月达高峰,池内和垦区内湾最高分别达 3.77 和 $3.20 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$; 10 月之后随水温的降低也逐渐下降,多在 $0.5 \sim 1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 。此外,从总体平均值来看,虾池和垦区内湾 TP 值的差别不是很大,这应该与两者之间通过频繁的水交换而相互影响、缩小差距有关,而其中各组分的含量比例则有明显差异。

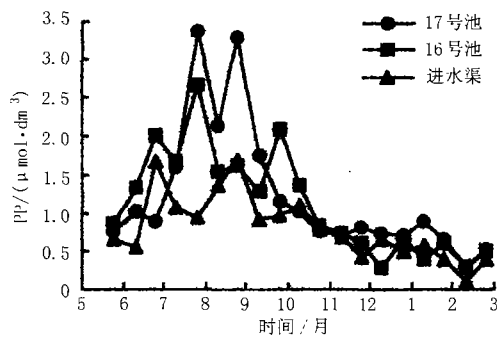


图 4 颗粒磷含量月变化

Fig.4 Seasonal variation of PP

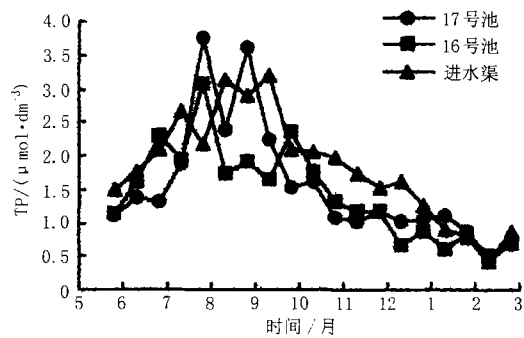


图 5 总磷含量月变化

Fig.5 Seasonal variation of TP

调查期间,虾池和垦区内湾海水总磷中各组分比例列于表 1。从表 1 可看出,虾池水体中颗粒态磷 (PP) 始终占了绝对优势,其中大于 70% 的占了 65%,其次是溶解有机磷 (DOP), 平均占 17.84%, 溶解无机磷 (DIP) 含量所占比例最低, 平均仅 7.93%。而垦区内湾则是 DIP 和 PP 占最大比例, 平均为 45.84% 和 44.63%, 二者很接近, 而 DOP 平均只占 TP 的 9.54%。从季节变化看, 5 月-9 月 PP 所占比例更高, DIP、DOP 则是 10 月至翌年 2 月稍高, 这与浮游植物量的季节变化较有关。陈水土等^[9]对厦门西海域和九龙江口的调查显示 DIP、DOP 和 PP 所占比例分别为 30.60%、27.20% 和 41.50%, 结果与垦区内湾较为接近。

虾池的 PP 主要是由浮游植物组成, 而虾池浮游植物生物量又显著高于垦区内湾, 这是虾池 PP 在 TP 中所占比例较垦区内湾大的主要原因。另外, 池内较高的浮游植物生物量对无机磷酸盐的大量消耗, 使从垦区内湾补充的 DIP 和池内再生的 DIP 很快被浮游植物吸收, 这是造成虾池 DIP 含量比例较低的重要原因。垦区内湾由于浮游植物生物量低于池内 (吸收少), 底部又因潮流扰动不断向水体输送营养物质, 这可能是垦区内湾 DIP 含量较高的原因。

虾池与垦区内湾的 DOP 所占比例都较小 (17.84% 和 9.54%), 远低于同时期我们对可溶性有机氮 (DON) 的调查结果 (占总氮的 59.76% 和 29.55%), 这一方面应该与厦门附近海域属缺磷海区, 浮游植

物对 DIP 的大量吸收促进了 DOP 的降解,另一方面 DOP 的结构也比 DON 简单得多,更易水解,这些因素使得垦区 DOP 处于快速周转之中,所占比例也就较小。

表 1 不同形态磷组成比例的季节变化(%)

Tab.1 Seasonal variation of the ratios of different phosphorus forms(%)

地 点	形态	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
16号池	DIP	7.02	3.84	5.32	9.11	4.87	12.56	19.06	4.33	4.02	18.20
	DOP	17.54	11.92	8.65	4.78	11.98	17.24	24.52	37.84	27.60	17.77
	PP	75.44	84.24	86.03	86.11	83.15	70.20	56.42	57.83	68.38	64.03
17号池	DIP	10.91	6.32	3.71	3.00	7.43	7.86	14.61	6.83	2.51	7.14
	DOP	20.00	22.68	8.83	6.82	15.91	25.47	15.53	22.44	20.60	18.75
	PP	69.09	71.00	87.46	90.18	76.66	66.67	69.86	70.73	76.89	74.11
进水渠	DIP	44.30	28.91	51.65	42.19	57.76	41.62	56.62	49.65	33.74	51.94
	DOP	12.08	13.54	6.82	7.14	6.91	12.07	8.92	10.14	8.43	9.30
	PP	43.62	57.55	41.53	50.67	35.33	46.31	34.46	40.21	57.83	38.76

3 结论

3.1 虾池与垦区内湾不同形态磷的含量

垦区虾池的颗粒磷(PP)含量明显高于其邻近内湾,在5月-9月斑节对虾养殖期间,虾池的平均PP值($1.72\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)比内湾($1.09\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)高出60%,虾池PP与Chl-a的相关性也比内湾更为显著。虾池可溶性有机磷(DOP)含量略高于内湾。虾池内可溶性无机磷(DIP)含量在多数月份小于 $0.1\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$,而邻近内湾除冬季外多数大于 $0.8\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$,明显高于虾池的含量。

3.2 不同形态磷的季节变化规律

受浮游植物繁殖季节变化的影响,虾池和垦区内湾的PP存在明显的季节变化,5月-9月的含量明显高于10月之后的含量。垦区内湾DIP在5月至9月上旬逐渐增加至最高峰,9月下旬之后逐渐下降,而池内则由于浮游植物的大量吸收,始终处于很低水平,无明显季节变化。DOP由于处于不断产生和消耗的快速周转之中,较不稳定,因此在一有限范围内频繁波动,也无明显的变化规律。

3.3 不同形态磷的含量比例

由于环境和生物性状的差异,垦区虾池及其邻近内湾不同形态磷的含量比例有明显差别。虾池中的磷主要以颗粒磷(PP)形态存在,占总磷的78.25%,DOP、DIP含量较少,占14.82%和6.93%;垦区内湾则是以PP和DIP为主(44.49%和46.39%),DOP所占比例最小,为9.12%。

参考文献:

- [1] 郭锦宝. 化学海洋学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1997. 398.
- [2] 孙耀,李健,崔毅,等. 虾塘中新生残饵的N、P营养物质溶出速率及其变化规律研究[J]. 应用生态学报,1997,8(5):541-544.
- [3] 齐振雄,李德尚,张曼平,等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究[J]. 水产学报,1998,22(2):124-128.
- [4] GB 12763. 海洋调查规范—海水化学要素观测[S]. 北京:中国标准出版社,1991. 4-91.
- [5] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1996. 249.
- [6] Cotner J B Jr, Wetzel R G. Uptake of dissolved inorganic and organic phosphorus compounds by phytoplankton and bacterioplankton[J]. Limnol Oceanogr, 1992,37,232-243.
- [7] Taft J L, Taylor W R, McCarthy J J. Uptake and release of phosphorus by phytoplankton in the Chesapeake Bay Estuary, USA[J]. Mar Biol, 1975, 33:21-32.
- [8] 陈淑美,傅天保,林建云. 厦门港赤潮发生区的有机磷及其分布[A]. 厦门港赤潮调查论文集[C]. 北京:海洋出版社,1993. 86-91.
- [9] 陈水土,阮五崎,郑瑞芝. 九龙江口、厦门西海域的生物地球化学研究 I. 水体中溶解态磷与颗粒磷的含量、分布与转化[J]. 海洋湖沼通报,1993, 4:28-43.