

三都澳养殖海域沉积物中 P 的形态分布特征

吴芳, 郭卫东, 郑佩如, 李超, 李猛, 吴易达

(厦门大学海洋系, 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 研究了三都澳网箱养殖海域沉积物中总磷(TP)及 P 的 5 种不同形态的分布特征, 探讨了这些 P 的形态分布与水产养殖之间的相互关系。结果表明, 表层沉积物中 TP 含量为 $(243.57 \sim 722.73) \times 10^{-6}$, 其中无机磷(IP)含量在 $(217.36 \sim 609.94) \times 10^{-6}$, 占 TP 的 66.8%~89.2%, 有机磷(OP)含量在 $(6.20 \sim 113.92) \times 10^{-6}$, 占 TP 的 10.8%~33.2%。TP 及各形态 P 含量的高值都出现在青山岛和斗帽岛之间、三都岛南岸及礁头—城澳北岸等大黄鱼养殖海域, 低值出现在非养殖区, 显示养殖活动对底质 P 的形态分布已有明显影响。

关键词: 磷形态; 沉积物; 网箱养殖; 三都澳

中图分类号: P736.4⁺¹ 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2005)04-0024-04

Distribution of phosphorus species in sediments of maricultural waters in Sandu Bay

WU Fang, GUO Wei-dong, ZHENG Pei-ru, LI Chao, LI Meng, WU Yi-da

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

Abstract: The distribution characteristics of total phosphorus and the five species of phosphorus in the sediments from the cage mariculture areas of Sandu Bay were investigated. The relationship between the distribution of species of phosphorus and aquaculture were discussed. The results showed that the contents of total phosphorus in the surface sediments ranges from 243.57×10^{-6} to 722.73×10^{-6} , and that of inorganic phosphorus from 217.36×10^{-6} to 609.94×10^{-6} , to be 66.8%~89.2% of total phosphorus. The contents of organic phosphorus from 6.20×10^{-6} to 113.92×10^{-6} , to be 10.8%~33.2% of total phosphorus. The higher contents of total phosphorus and five forms of phosphorus appeared to be in the mariculture areas of Pseudosciaena Crocea, which are between Qinshang Island and Doumao Island, south of Sandu island and north coast of Jiaotou-Cheng'ao, while the lower contents appeared to be in the non-mariculture areas. It shows that the distribution of species of phosphorus were significantly effected by the mariculture activities.

Key words: phosphorus species; sediment; cage mariculture; Sandu Bay

有关海水养殖区底质的 N、P 分布以及沉积物—水界面的营养盐通量已有一些研究报道^[1,2], 但对其中 P 的化学形态的研究还未见报道, 而不同结合态的 P 具有不同的地球化学行为和生物有效性。只有某些形态的 P, 在物理化学及生物学等因素的作用下, 可通过解吸和溶解、还原等过程而释放到水中, 转化为生物可直接利用的 P, 成为控制水域营养状况及诱发富营养化的重要因素。本文研究了我国重要的大黄鱼养殖基

地——三都澳海区沉积物中生源要素 P 的不同形态的含量及分布特征, 讨论了养殖活动对沉积物中 P 的形态分布的影响。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

沉积物样品于 2002 年 3 月 7~8 日采集。用抓斗式采泥器采集了 25 个表层沉积物样(图 1), 可分为 5 个区域: I 区(青山大黄鱼网箱养殖区),

* 收稿日期: 2004-06-25, 修订日期: 2004-09-14

基金项目: 国家自然科学基金资助(40106007); 福建省自然科学基金重大项目资助(2001F001)

作者简介: 吴芳(1980-), 女, 福建省漳州市人, 硕士研究生, 从事海洋地球化学研究。

包括14~18号站; II区(礁头一城澳沿岸大黄鱼网箱养殖区), 包括41~44号站; III区(三都岛南岸大黄鱼网箱养殖区), 包括30~34号站; IV(三都岛东侧海带养殖区), 包括35、36、38、39号站; V区: 非养殖区, 包括1~4、26、28及53号站。除28、30号站为含泥的中、细沙, 26号站为粉砂质泥外, 其余站位沉积物类型基本上都是粉砂质粘土(泥)。

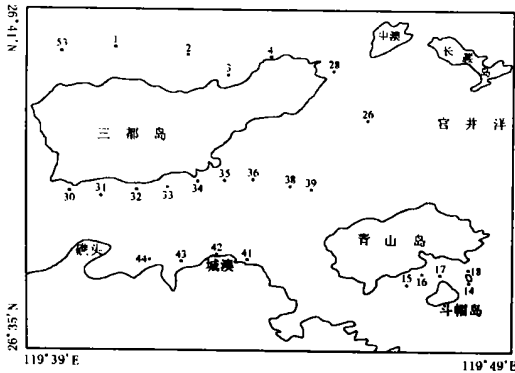


图1 三都澳采样站位

Fig. 1 Sampling locations in Sandu Bay

所有样品在分析之前装入聚乙烯袋中, 冷冻保存。样品在室温下风干一段时间后, 在40℃下进一步烘干, 研磨至粉状, 过80目尼龙网筛后进行分析。

1.2 分析方法

根据李悦等^[3]的方法将沉积物中的P形态分为5种, 即弱吸附态磷(Ads-P)、铁结合磷(Fe-P)、自生钙磷(Ca-P)、碎屑磷(Detr-P)和有机磷(OP), 5种形态之和为总磷(TP), 其中前4种形态之和为无机磷(IP)。沉积物中有机碳(OC)根据《海洋监测规范》^[4]用重铬酸钾氧化-还原容量法测定; 总氮(TN)根据《海洋调查规范》^[5]采用硫酸消煮分解氧化法测定。

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物中P的含量、分布与变化

三都澳表层沉积物中各形态P的水平分布如表1所示。

2.1.1 IP

调查海区IP含量在(217.36~609.94)×10⁶, 占TP的73.4%~89.2%, 说明IP是三都澳海域P的主要形态。从表1可见, 4种形态IP的分布很相似, 高值区出现在青山岛和斗帽岛之间

网箱养殖海域, 低值出现在三都岛东侧海域。礁头一城澳沿岸、三都岛南岸等鱼类网箱养殖区及三都岛北岸3号站附近各形态IP的含量也比较高。

2.1.1.1 Ads-P Ads-P也称作可交换态磷, 在近岸沉积物中是IP的重要存在形态之一^[6]。三都澳海域Ads-P的含量在(5~46)×10⁶之间, 占TP含量的2.2%~6.48%。Ads-P的含量与沉积环境有关, 在缺氧的环境中, 表层沉积物中的磷酸铁被还原成磷酸亚铁, 而释放出PO₄³⁻^[7]。故在大黄鱼密集养殖的青山岛和斗帽岛之间相对还原的环境出现最大值。

2.1.1.2 Fe-P Fe-P的含量在(4~48)×10⁶, 占TP的1.92%~7.78%; 平均值为21×10⁶。沉积物中Fe-P含量与沉积物粒度、有机质含量有密切关系^[6], 本文也发现, 三都澳沉积物中Fe-P与有机质有较好的相关性, 相关系数为0.66。Fe-P在沉积物中的含量可以作为污染的指标之一, 利用它可以了解并评价海域在不同历史时期的污染状况^[7], Fe-P高值区出现在青山岛和斗帽岛之间海域也说明了这一点。

2.1.1.3 Ca-P和Detr-P Ruttenberg^[8]将钙结合磷分为两组: 一组指生物骨骼碎屑以及CaCO₃结合磷, 即Ca-P, 另一组指以火成岩和变质岩为来源的碎屑氟磷灰石。三都澳沉积物中Ca-P的含量在(72~189)×10⁶, 平均值为126×10⁶, 占TP含量的29.15%。而Detr-P的含量在(68~342)×10⁶之间, 平均值为180×10⁶, 占TP含量的41.65%, 是P的主要存在形态。Detr-P的含量高于Ca-P, 表明三沙湾沉积物中内源生物成因的P含量相对较低。Detr-P在TP中占主要地位反映了这样一个事实: 即海洋沉积物pH接近于7, 这种条件有利于碎屑磷的形成。

2.1.2 OP

三都澳沉积物中OP的含量较低, 平均占TP含量的20.8%。其分布特征与几种无机形态磷相似, 礁头一城澳北岸海域、青山岛与斗帽岛养殖海域及三都岛北岸海域较高, 平均占总TP的19.3%~24.8%, 而三都岛东侧一带(26、28号站)含量最低, 只占TP的13.7%。

OP的含量与有机质中C、N含量有很好的正相关关系(图2、图3), 相关系数分别为0.76和0.74, 表明它们在来源上有较好的一致性。养殖海域底质中有机物质输入很高, 所以有机C、N、P

表1 三都澳海域表层沉积物中生源要素的含量

Tab. 1 Concentrations of all phosphorus forms organic carbon and total nitrogen in surface sediments from study area

分区	站位	$w / \times 10^6$							OC / (%)	TN / (%)
		Ads-P	Fe-P	Ca-P	Detr-P	IP	OP	TP		
I 区	14	18.04	39.51	140.55	163.12	361.22	92.19	453.41	0.81	0.074
	15	46.82	48.19	172.02	342.91	609.94	112.78	722.73	0.58	0.070
	16	27.46	27.23	107.09	192.53	354.31	99.11	453.41	0.67	0.122
	17	19.25	26.32	100.25	175.44	321.26	72.91	394.17	0.81	0.062
	18	30.42	23.81	189.11	197.09	440.43	112.78	553.21	0.65	0.100
II 区	41	14.58	24.15	113.92	192.53	345.18	100.25	445.44	0.71	0.092
	42	13.56	24.15	124.18	173.16	335.05	113.92	448.97	0.73	0.097
	43	12.30	24.15	90.00	162.91	289.36	104.81	394.17	0.72	0.092
	44	11.16	24.15	125.32	170.88	331.51	108.23	439.74	0.75	0.085
III 区	30	12.08	9.46	167.47	162.91	351.92	62.66	414.57	0.43	0.054
	31	19.25	16.06	154.94	187.97	378.22	92.28	470.50	0.70	0.092
	32	15.95	20.62	154.94	187.97	379.48	93.42	472.89	0.78	0.103
	33	19.25	21.19	169.74	194.81	404.99	96.83	501.83	0.64	0.085
	34	24.27	17.20	168.61	182.28	392.36	101.39	493.74	0.67	0.094
IV 区	35	19.25	16.52	174.30	176.58	386.65	85.44	472.10	0.58	0.089
	36	12.87	24.15	101.39	142.40	280.81	91.14	371.96	0.67	0.088
	38	9.57	24.15	80.89	176.58	291.19	105.95	397.14	0.66	0.100
	39	13.22	13.44	148.10	217.59	392.35	94.56	486.91	0.62	0.088
	53	12.87	24.15	116.20	185.69	338.91	97.97	436.89	0.72	0.100
V 区	1	13.22	14.92	72.91	125.32	226.37	112.78	339.15	0.30	0.032
	2	12.08	11.73	75.19	170.88	269.88	50.13	320.01	0.91	0.054
	3	27.46	36.46	104.81	192.53	361.26	107.09	468.34	0.62	0.057
	4	19.48	18.80	93.42	183.42	315.12	78.61	393.72	0.48	0.035
	26	16.40	17.20	156.07	175.44	365.11	72.91	438.03	0.56	0.077
	28	5.35	4.67	138.99	68.35	217.36	26.20	243.57	0.08	0.009

的含量都较高。此外,沉积物粒度也是一个重要的影响因素,26、28号站含有较多的中、细沙,这也是导致其OP含量很低的原因之一。

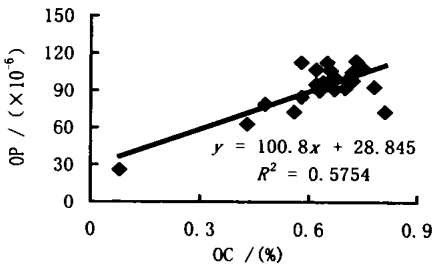


图2 OP与OC的关系

Fig. 2 Correlation between phosphorus and organic carbon

2.2 P的形态分布与养殖之间的关系

三都澳4个养殖区和1个非养殖区各形态磷及TN和OC的平均含量比较如表2所示。

由表2可见,大黄鱼养殖区(I~III区)沉积物中各生源要素含量相对较高,尤其是I区,TP及各形态磷(除自生钙磷外)的含量都明显高出其他各区。海带养殖区(IV区)各生源要素含量次之,非养殖区(V区)沉积物中各生源要素的含量

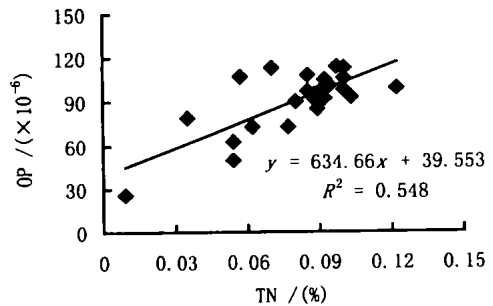


图3 OP与TN的关系

Fig. 3 Correlation between organic phosphorus and total nitrogen

除自生钙磷之外,均显著低于其他各区,只有三都澳北岸盐场3号站附近海域例外,那里没有网箱养殖,TP及各形态磷相对较高的含量可能与晒盐及其他人为活动有关。

I区是三都澳大黄鱼养殖网箱布置最密集区,位于青山岛和斗帽岛之间的狭长海域,该海域地处背风,水流较缓,网箱养殖非常密集,从1997年以来网箱数急剧增加,到2002年达到12万箱,约占整个三都澳网箱养殖总数的2/3。网箱的集中排列放置,造成水流流速进一步减小,水体交换

能力差, 养殖废弃物如残饵、鱼类粪便以及其他生活污水等等便积集在网箱附近, 因此该处的各形态磷、TP 以及 C、N 等的含量也最高。这表明, 三

都澳鱼类网箱养殖已经对养殖区底质带来一定的有机污染。

表 2 三都澳沉积物中各形态 P 及 OC、TN 平均含量比较

Tab. 2 Comparison of average contents of phosphorus forms, total organic carbon and total nitrogen in sediments of Sandu Bay

分区	OC/(%)	TN(%)	$w/\times 10^6$					
			Ads-P	Fe-P	Ca-P	Detr-P	OP	TP
I	0.70	0.09	28.39	33.11	141.89	214.19	97.92	515.30
II	0.73	0.09	12.90	24.15	113.35	174.87	106.80	432.08
III	0.65	0.09	18.16	16.91	163.14	183.19	89.32	470.71
IV	0.64	0.09	13.73	19.57	126.17	178.29	94.27	432.02
V	0.46	0.05	15.27	18.28	108.23	157.38	77.96	377.10

3 结 论

(1) 三都澳表层沉积物中 TP 含量为(243.57 ~ 722.73) $\times 10^6$, 其中 IP 含量在 (217.36 ~ 609.94) $\times 10^6$, 占 TP 的 66.8% ~ 89.2%, OP 含量在(6.20 ~ 113.92) $\times 10^6$, 占 TP 的 10.8% ~ 33.2%。

(2) 4 种形态 IP 的高值出现在青山岛和斗帽岛之间网箱养殖海域, 低值出现在三都岛东侧海域。OP 高值出现在三都岛北岸海域、礁头—城澳北岸海域及青山岛与斗帽岛养殖海域。

(3) TP 及各形态 P 的分布显示养殖活动已对底质 P 的形态分布有显著影响。

参考文献:

[1] ENELL M. Environmental impact of nutrients from Nordic fish farming[J]. *Wat Sci Tech*, 1995, 31: 61-71.
 [2] HARGREAVES J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. *Aquaculture*, 1998, 166: 181-212.
 [3] TOVAR A, MORENO C, MÁNUEL-VEZ M B, *et al.* Environmental implications of intensive marine aquaculture in earthen ponds[J]. *Mar Pollut Bull* 2000, 40: 981-988.
 [4] 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.
 [5] GOWEN R J, BRADBURY N B. The ecological impact of

salmonid farming in coastal waters: a review[J]. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 1987, 25: 563-575.
 [6] HOLBY O, HALL P O J. Chemical flux and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1991, 70: 263-272.
 [7] WU R S S. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future[J]. *Mar Pollut Bull* 1995, 31: 159-166.
 [8] 丘耀文, 王肇鼎, 高红莲, 等. 大亚湾养殖水域沉积物—海水界面营养盐扩散通量[J]. *热带海洋*, 1999, 18(3): 83-90.
 [9] LEFEBVRE S, BACHER C, MEURET A, *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.
 [10] 李 悦, 乌大年, 薛永先. 沉积物中不同形态磷提取方法的改进及其环境地球化学意义[J]. *海洋环境科学*, 1998, 17(1): 15-20.
 [11] GB 17378-1998, 海洋监测规范[S].
 [12] GB 12763-1991, 海洋调查规范[S].
 [13] 刘 敏, 陆 敏, 许世远, 等. 长江口及其上海岸水体沉积物中磷的存在形态[J]. *地学前缘*, 2000, 7: 94-68.
 [12] HISASHI J. Fractionation of phosphorus and releasable fraction in sediment mud of Osaka Bay[J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1983, 49(3): 447-454.
 [13] RUTTENBERG K C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments[J]. *Limnol Oceanogr* 1992, 37(7): 1460-1482.