

珠江广州河段沉积物中营养物质的分布 特征及粒度效应

牛红义^{1,2}, 吴群河¹, 陈新庚¹

(1. 中山大学 环境科学研究所, 广东 广州 510275; 2. 广州市环境保护科学研究所, 广东 广州 510620)

摘要: 测定了珠江广州河段表层沉积物中营养物质的含量和粒径组分, 对营养物质的分布特点和粒度效应进行了研究。结果表明在主流河道沿程分布上, 各种营养物质整体上表现出明显的“低—高一低”型分布特点。有机质、全 N 和全 P 之间均呈现较明显的正相关关系, 特别是全 N 和有机质之间的相关系数达到 0.950, 属于高度相关。各营养物质与砂粒含量之间表现出一定的负相关性; 各营养物质与粉砂含量之间表现出较明显的正相关性; 各营养物质与黏粒含量之间不存在显著相关性。营养物质与粒径组分之间的这种关系将丰富沉积物中污染物分布“粒度控制规律”的内容。

关键词: 珠江; 沉积物; 营养物质; 粒度效应

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)05—0017—05

中图分类号: X52

Granularity Effect and Distribution Characteristics of Nutrients in Sediment in the Guangzhou Section of the Pearl River

NIU Hong-yi^{1,2}, WU Qun-he¹, CHEN Xin-geng¹

(1. *Research Institute of Environmental Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China*;
2. *Guangzhou Research Institute of Environmental Protection, Guangzhou, Guangdong 510620, China*)

Abstract: Nutrients and particle size composition in surface sediments in the Guangzhou section of the Pearl River were measured. Granularity effect and distribution characteristics of nutrients were studied. Results showed that all of the nutrients appeared the distribution characteristics of “low—high—low” on longitudinal distribution in trunk stream on whole. There were significant positive correlations among organic matter, total nitrogen, and total phosphorus. Total nitrogen was highly linearly correlated with organic matter, with regression coefficient reaching 0.950. Nutrients were significantly negatively correlated with sand fraction and positively correlated with powder sand fraction. However, nutrients were not significantly correlated with clay fraction. The correlations between nutrients and particle size composition would enrich the content of granularity effect of pollutants in sediment.

Keywords: Pearl River; sediment; nutrient; granularity effect

沉积物是水体的重要组成部分, 在水体—沉积物系统中, 水体沉积物既是各种污染物的汇集地, 又是对水质有潜在影响的次生污染源^[1-8]。在一定条件下, 累积于沉积物中的各种有机和无机污染物通过与上覆水体间的物理、化学和生物交换作用, 可重新释放, 进入上覆水中, 成为制约河流水质的二次污染源^[9]。有的污染物会在生物体内富集, 成为持久污染

物, 对人类健康构成极大威胁, 造成严重的环境问题^[10-14]。碳、氮、磷等营养物质是浮游植物生长的重要营养元素, 也是引起水体富营养化的主要因素^[15-16]。沉积物的粒度直接影响沉积物中营养元素的含量, 是沉积物中营养元素分布的主要控制因素之一^[17]。通常情况下, 沉积物的粒度越细, 营养元素的含量越高^[18]。但是, 具有粒度效应的元素并不受所

收稿日期: 2007-01-16

修回日期: 2007-03-21

基金项目: 广东省自然科学基金重点项目(031549)

作者简介: 牛红义(1979—), 男(汉族), 河南省偃师市人, 博士研究生, 主要从事环境评价与环境规划研究工作。E-mail: niuhongyi2005@163.com.

有粒级的控制^[19]。另外,在各个地区,这种关系也存在着差异。

本文在测定珠江广州河段表层沉积物营养物质含量和粒径组成的基础上,对沉积物粒度组成对营养物质含量的影响进行了探讨和研究。

1 材料与方 法

1.1 布点与采样

珠江广州河段(113°30′±30′E, 23°10′±10′N),起于鸦岗,经广州市流至黄埔新港。该河段属感潮河段,在枯水期涨潮时,珠江口盐水楔可以到达本河段,干旱年份盐水楔可到达广州市区。本次监测范围包括珠江广州河段干流及市区主要内河涌,共布设了 22 个监测断面。由于广州城区主要分布在珠江干流的西航道和前航道江段,因此珠江广州河段干流上的监测断面主要布设在西航道和前航道上,从上游至下游依次为:1#(雅岗),2#(硬颈海),15#(珠江大桥)、6#(黄沙),19#(中大码头),8#(华南大桥),20#(琶洲大桥),9#(长洲)和 10#(黄埔新港)共 9 个断面。在主要内河涌上布设的监测断面主要有:石井河上的 11#(石井公路桥)和 12#(石井河南出口),棠溪涌上的 13#(棠溪涌桥),增埗河上的 14#(增埗桥)、花地涌上的 7#(横滘)、16#(花地涌北出口)和 17#(花地涌南出口),东平水道上的 18#(平洲),乌涌上的 21#(石岗新村)和 22#(珠村),水口水道上的 3#(水口水)和 5#(黄歧)以及雅瑶水道上的 4#(雅瑶大桥)。为了更好地反映各个断面当前的污染情况,根据河宽等因素,在各个断面上布设若干采样点。本次采样于 2004 年 7 月 11 至 12 日两天进行。采用抓斗式采样器对表层沉积物进行采样。样品储于聚乙烯袋中,编号、贴好标签带回实验室,在室温条件下风干。

1.2 分析方法

将自然风干的沉积物剔除砾石、木屑、贝壳及杂草等动植物残体,用木棍碾磨后,分成两部分,分别进行营养物质和粒度组分的测定。对于测营养物质的样品,运用四分法取适量样品,然后用研钵研磨,过 100 目筛后备用。全 N 含量采用重铬酸钾—硫酸消化法测定^[20],全 P 含量采用高氯酸—硫酸酸溶—钼锑抗比色法测定^[20],有机质含量采用重铬酸钾氧化—还原容量法测定^[21]。在这 3 个项目的分析中,均进行标样(土壤 ESS-3)分析,并做了空白和平行样的分析。这 3 个项目标样的测值与推荐值的差值均不超过 10%,样品的分析精度好于 10%。

对于测粒度组分的样品,用六偏磷酸钠对沉积物样品进行分散处理,根据样品粗细分别采用筛析法、吸管法或综合法^[22],所有样品均作平行样分析,同粒级频率之差均在±5%范围之内。

2 结果与分析

2.1 沉积物中营养物质分布特征

22 个监测断面,86 个沉积物样品中有机质、全 N 和全 P 的含量变化范围及其平均值见表 1。

表 1 珠江广州河段表层沉积物中营养物质含量 %

项目	有机质	全 N	全 P
含量范围	0.72~10.83	0.03~0.45	0.03~2.03
平均含量	4.64	0.19	0.63

(1) 主干流河道沉积物中营养物质分布特征。主干流河道包括的采样断面从上游到下游依次为:1#,2#,15#,6#,19#,8#,20#,9#和 10#监测断面。各个监测断面的平均含量采用断面上各采样点含量的算术平均值。则可得出主干流河道上各营养物质断面平均含量的沿程分布情况(图 1)。从图 1 可以看出,在主干流河道的顺流断面中,各种营养物质的分布都是在中游的 6#断面出现最高值,在最上游的 1#断面,最下游的 10#断面出现明显的低值,整体上营养物质在主干流河道上表现出明显的“低—高一低”型分布特征。

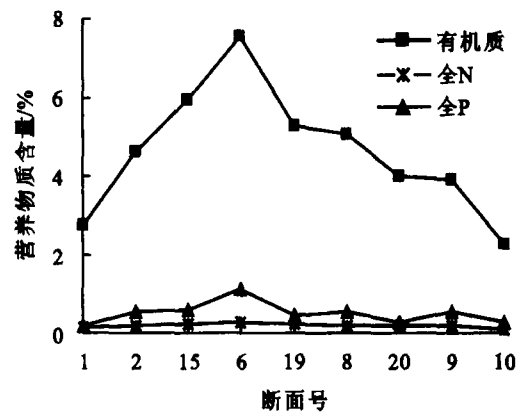


图 1 主干流河道营养物质断面平均含量的沿程分布

(2) 主要内河涌沉积物中营养物质分布特征。把各个内河涌上所布设监测断面营养物质含量的算术平均值作为各内河涌的平均含量,则可以得到各内河涌营养物质平均含量的排序情况(表 2)。从表 2 中可以看出,有机质和全 P 的最高值,以及全 N 的次高值均出现在花地涌,全 N 的最高值出现在石井河。

而有机质、全 N 和全 P 的最低值均出现在乌涌,其余各内河涌的含量居于其高低峰值之间。

表 2 内河涌表层沉积物营养物质平均含量统计值 %

河涌名称	有机质	全 N	全 P
花地涌	6.07	0.25	1.13
石井河	6.04	0.27	0.44
水口水水道	5.81	0.22	1.09
棠溪涌	5.00	0.18	0.40
雅瑶水道	4.64	0.20	0.96
增埗河 Z	4.34	0.14	0.38
东平水道	3.12	0.15	0.44
乌涌	1.99	0.08	0.25

(3) 各营养物质含量间的相关性分析。利用 SPSS 软件计算了沉积物中有机质、全 N 和全 P 含量间的相关系数(表 3)。从表 3 中可以看出 3 种元素之间均呈现较明显的正相关关系,这表明在沉积物中这些营养元素的含量具有共同变化的趋势,也说明珠江(广州河段)沉积物污染具有一定的同源性。特别是全 N 和有机质之间的相关系数达到 0.950,属于高

度相关,这说明总氮中以有机氮为主要存在形态,其线性方程为:

$$y=0.0387x + 0.0068$$

式中: y ——全 N; x ——有机质; $r=0.950$; $n=86$; $\alpha=0.01$ 。

可以用该方程通过有机质含量来预测总氮含量,因为实验测定有机质比测定总氮容易。

表 3 沉积物中营养物质含量相关系数矩阵

营养物质	有机质	全 N	全 P
有机质	1	—	—
全 N	0.950	1	—
全 P	0.710	0.717	1

注: $n=86$; $\alpha=0.01$ 。

2.2 沉积物粒度组成监测结果

沉积物的粒度组成反映了其矿物组成、表面物理化学性质、比表面积和表面自由能的差异,这对污染物的吸附、解吸和迁移有重要影响^[23]。本次所采集的 22 个监测断面,86 个沉积物样品的粒度组成监测结果见表 4。

表 4 珠江广州河段沉积物样品粒径分布情况

样品号	粒径分布/ μm						样品号	粒径分布/ μm					
	<1	1~4	4~16	16~32	32~63	63~2 000		<1	1~4	4~16	16~32	32~63	63~2 000
1-1	18.1	21.8	25.5	10.5	4.6	19.6	12-3	10.7	11.6	6.3	1.1	5.3	65.0
1-2	22.2	19.1	21.4	6.4	5.6	25.2	13-1	4.8	5.8	11.6	5.8	1.2	70.8
1-3	28.1	11.6	22.4	4.2	9.8	23.9	14-1	8.2	4.1	14.4	9.5	4.5	59.3
1-4	20.8	17.4	16.4	9.4	3.8	32.3	14-2	5.3	8.0	10.8	7.6	6.4	61.9
1-5	14.1	17.8	27.3	12.8	5.8	22.3	4-3	5.2	9.8	13.0	5.5	8.3	58.2
2-1	9.4	20.8	34.9	19.0	9.3	6.7	15-1	16.6	7.8	28.8	10.9	8.6	27.3
2-2	5.8	8.3	15.3	6.1	14.9	49.6	15-2	13.2	13.5	13.5	7.2	10.1	42.6
2-3	5.9	2.9	16.1	4.9	2.1	68.2	15-3	5.1	9.9	13.5	17.1	7.6	46.8
2-4	6.5	1.4	2.8	2.1	1.4	85.8	15-4	7.0	6.5	28.1	18.2	12.6	27.6
2-5	9.1	8.5	9.0	5.1	10.7	57.7	15-5	4.6	6.1	10.5	8.1	8.9	61.9
3-1	6.2	23.9	33.3	15.4	2.6	18.6	15-6	7.6	12.1	21.3	12.1	15.9	30.9
3-2	9.9	6.7	14.9	3.5	5.9	59.0	16-1	9.7	15.6	28.1	18.8	10.4	17.3
3-3	11.7	10.0	25.4	8.5	9.2	35.2	16-2	6.0	14.4	28.4	18.5	2.7	30.1
3-4	8.0	4.2	13.7	8.4	6.8	58.8	16-3	6.6	12.0	20.0	0.8	18.4	42.1
4-1	11.1	15.1	27.6	13.6	10.2	22.4	17-1	5.9	13.4	27.2	18.3	9.4	25.9
4-2	21.4	25.0	34.2	9.6	1.7	8.2	17-2	4.3	17.4	23.8	16.3	11.3	26.9
4-3	16.5	18.0	20.3	3.9	7.0	34.3	17-3	5.7	16.8	26.9	15.2	10.0	25.3
4-4	10.2	13.0	20.7	10.7	7.1	38.2	17-4	5.8	11.4	15.2	6.1	8.0	53.5
5-1	7.4	6.4	17.5	9.4	11.1	48.2	17-5	3.9	5.4	7.1	5.9	8.0	69.7
5-2	5.3	17.0	12.7	11.8	8.7	44.4	18-1	9.5	12.8	26.5	13.3	10.3	27.6
5-3	7.3	11.9	19.9	11.4	14.4	35.1	18-2	6.7	3.9	2.6	2.0	6.6	78.1
5-4	10.5	12.8	20.8	11.6	10.4	34.0	18-3	6.2	14.9	30.5	21.0	21.0	6.3
6-1	16.2	8.0	28.8	12.8	9.6	24.6	18-4	10.6	16.0	25.6	15.1	18.9	13.8
6-2	9.6	17.3	14.9	7.9	6.3	44.0	18-5	10.9	18.7	34.3	12.7	12.7	10.7
7-1	0.2	15.2	14.5	11.5	11.5	47.1	19-1	12.2	13.3	26.9	14.1	9.4	24.1

续表 4

7-2	1.8	19.2	24.9	10.4	20.8	22.8	19-2	10.9	16.0	32.9	13.6	6.8	19.7
7-3	7.3	1.1	11.8	6.1	8.0	65.8	19-3	12.8	21.0	31.3	20.6	4.8	9.5
7-4	1.2	13.2	11.0	12.1	6.6	55.8	19-4	9.0	15.5	27.5	7.5	9.3	31.3
7-5	5.7	6.8	10.7	11.1	12.8	52.8	19-5	7.0	11.0	13.8	9.0	6.5	52.7
8-1	7.0	11.4	29.3	18.3	7.3	26.7	19-6	10.9	16.8	22.9	15.1	9.9	24.4
8-2	4.8	8.6	10.2	6.7	10.6	59.1	19-7	15.0	17.4	12.4	2.9	9.1	43.2
9-1	10.5	17.6	36.0	14.6	8.1	13.2	19-8	12.8	12.7	13.6	4.5	13.1	43.4
9-2	10.9	20.4	31.8	14.2	5.1	17.6	20-1	9.7	26.2	22.3	10.3	7.2	24.3
9-3	6.6	1.1	0.8	1.1	6.1	84.2	20-2	13.9	17.9	25.1	9.7	10.2	23.1
9-4	3.1	7.2	0.7	12.2	7.2	69.6	20-3	10.7	9.8	14.0	3.8	3.8	57.9
9-5	13.9	13.8	15.5	10.8	12.9	33.0	21-1	6.7	4.2	15.0	5.8	4.6	63.7
9-6	9.0	15.8	20.6	9.3	15.0	30.4	21-2	5.9	10.4	15.4	6.9	8.5	52.8
9-7	11.5	14.5	3.2	17.7	14.5	38.6	21-3	7.8	6.5	8.1	5.4	3.1	69.1
10-1	11.0	8.3	7.0	3.9	4.4	65.4	21-4	9.2	1.0	4.4	3.1	0.3	81.9
10-2	7.7	14.2	12.1	10.4	8.0	47.6	22-1	11.9	17.3	16.1	16.9	11.4	26.6
11-1	5.3	8.9	14.9	11.7	8.1	51.1	22-2	10.5	14.9	26.2	8.6	12.2	27.6
12-1	4.3	12.2	25.3	18.7	12.2	27.3	22-3	6.7	1.4	2.4	3.8	2.1	83.5
12-2	7.2	2.3	9.4	6.2	10.1	64.7	22-4	29.7	14.3	17.9	5.8	6.2	26.1

3 讨论

沉积物中污染物的含量与沉积物的成分组成有关,沉积物中的有些成分对污染物有较强的吸附能力。利用 SPSS 软件计算了沉积物粒径组分与各营养物质之间的相关系数(表 5)。

表 5 沉积物粒径组分与各营养物质之间的相关系数

粒径组分/%	有机质	全 N	全 P
<1 μm	-0.288**	-0.257*	-0.371**
1~4 μm	0.251*	0.312**	—
4~16 μm	0.514**	0.561**	0.329**
16~32 μm	0.599**	0.634**	0.478**
32~63 μm	0.234*	0.287**	0.312**
63~2000 μm	-0.425**	-0.491**	-0.289**
平均粒径	-0.422**	-0.488**	-0.285**

注: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; - $p > 0.05$; $n = 86$ 。

从表 5 可以看出,各营养物质与粒度组成之间的相关关系:

(1) 各营养物质与 <1 μm , 63~2 000 μm 粒径颗粒含量之间表现出一定的负相关性。

(2) 各营养物质与 1~4 μm , 32~63 μm 粒径之间颗粒含量表现为较低的正相关性。

(3) 各营养物质与 4~16 μm , 16~32 μm 粒径之间颗粒含量表现出较高的正相关性。尤其是有机质、全 N 与这两个粒径之间的相关性都达到 0.5 以上。

(4) 各营养物质与平均粒径之间表现出较明显的负相关性。

由于 4~16 μm , 16~32 μm 两个粒径都在粉砂粒径范围内,如把粒径组成划分为:砂(2 000~63 μm)、粉砂(63~4 μm)和黏土(<4 μm),则可得到它们与各种营养物质含量之间的相关关系(表 6)。

表 6 沉积物含量与各营养物质之间的相关系数

粒径组分/%	有机质	全 N	全 P
砂粒	-0.425**	-0.491**	-0.289**
粉砂	0.595**	0.652**	0.461**
黏土	—	—	—

注: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; - $p > 0.05$; $n = 86$ 。

从表 6 可以看出,各营养物质与砂、粉砂、黏土之间的相关关系。

(1) 各营养物质与砂粒含量之间表现出一定的负相关性。

(2) 各营养物质与粉砂含量之间表现出较明显的正相关性,尤其是有机质、全 N、速效磷与粉砂之间的相关性都达到 0.5 以上。

(3) 各营养物质与黏粒含量之间不存在显著相关性。

从整体上看,从粗粒(砂)到细粒(粉砂),其间的相关系数由负相关变为正相关,这主要是由于随粒度变细,总表面积随之增加,对元素的吸附作用增强,能吸附更多的营养物质。而营养物质与黏土之间的相关性较低,可能是因为颗粒变细,颗粒间的粘结力增大,导致吸附作用减弱^[24]。

从上面的分析可以看出,本研究中营养物质与粒度组成之间的这种相关关系与“沉积物粒度越细,营

养元素含量越高”的一般情况稍有不同。当粒径从砂向粉砂粒级过渡中,营养元素的含量随粒径的变小而增加,但当粒径处于黏土级别时,营养元素则与粒径之间不存在显著相关性。营养物质与粒径之间的这种关系将丰富沉积物中污染物分布“粒度控制规律”的内容。

[参 考 文 献]

- [1] Singh K P, Mohan D, Singh V K, et al. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India. *Journal of Hydrology*, 2005, 312: 14—27.
- [2] Bermejo J C S, Beltrán R, Ariza J L. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain). *Environment International*, 2003, 29: 69—77.
- [3] Birch G F, Taylor S E, Matthai C. Small-scale spatial and temporal variance in the concentration of heavy metals in aquatic sediments; a review and some new concepts. *Environmental Pollution*, 2001, 113: 357—372.
- [4] Lü X X, Song J M, Li X G. Geochemical characteristics of nitrogen in the southern Yellow Sea surface sediments. *Journal of Marine Systems*, 2005, 56: 17—27.
- [5] Shea D. Development sediment quality criteria. *Environmental Science & Technology*, 1988, 22 (11): 1256—1261.
- [6] Heyden C J V, New M G. Sediment chemistry: a history of mine contaminant remediation and an assessment of processes and pollution potential. *Journal of Geochemical Exploration*, 2004, 82: 35—57.
- [7] Gupta G, Karupiah M. Heavy metals in sediments of two Chesapeake Bay tributaries—Wicomico and Pocomoke Rivers. *Journal of Hazardous Materials*, 1996 (50): 15—29.
- [8] 戚晓红, 刘素美, 张经, 等. 东海赤潮高发区沉积物中营养盐再生速率的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (7): 1112—1116.
- [9] Segura R, Arancibia V, Zuniga, et al. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, 84: 1—10.
- [10] 范成新, 朱育新. 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特性[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(3): 235.
- [11] Savvides C, Papadopoulos A, Haralambous K J, et al. Sea sediments contaminated with heavy metals: metal speciation and removal. *Water Science and Technology*, 1998, 32(9—10): 65.
- [12] Sin S N, Chua H, Lo W, et al. Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong. *Environment International*, 2001, 26: 297—301.
- [13] Marchand C, Lallier-Vergès E, Baltzer F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Marine Chemistry*, 2006, 98: 1—17.
- [14] Pekey H. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52: 1—12.
- [15] Andriedx F, Aminot A. A tow-year survey of phosphorus speciation in the sediments of the Bay of Seine. *Continental Shelf Research*, 1997, 17 (10): 1229—1245.
- [16] 吴振斌, 邱东茹, 贺锋, 等. 沉水植物重建对富营养化水体氮磷营养水平的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1351—1353.
- [17] 吕晓霞, 翟世奎, 于增慧. 长江口及邻近海域表层沉积物中营养元素的分布特征及其控制因素[J]. *海洋环境科学*, 2005, 24(3): 1—5.
- [18] Lü X X, Song J M, Yuan H M, et al. Grain size related distribution of nitrogen in the Southern Yellow Sea surfaces sediments. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 2005, 23 (3): 306—316.
- [19] 杜德文, 石学法, 孟宪伟, 等. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. *海洋科学进展*, 2003, 21(1): 78—82.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 62—105.
- [21] 国家海洋局. 海洋监测规范——沉积物分析[S]. 1991. 397—399.
- [22] 中华人民共和国国家标准. 海洋调查规范——海洋地质地球物理调查[S]. 1992. 9—12.
- [23] 丘耀文, 朱良生, 黎满球, 等. 海陵湾沉积物重金属与粒度分布特征[J]. *海洋通报*, 2004, 23(6): 49—53.
- [24] 陈忠, 古森昌, 颜文, 等. 南沙海槽南部海区表层沉积物重金属元素含量及其影响因素[J]. *海洋科学*, 2002, 26(1): 50—53.