

文章编号: 2095—0411 (2014) 01 - 0074 - 06

北市河底泥 N、P 评价及对微生物数量影响研究^{*}

秦 薇, 刘勇俊, 梁玉婷, 雷春生, 赵 远

(常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 为全面了解常州市北市河底泥的 N、P 污染状况和 N、P 污染对 3 种功能微生物的数量影响, 对其底泥表层样进行了为期一年的营养元素 (N、P) 检测和 3 种功能微生物的计数。分别运用单因子指数法和营养物含量评价标准法评价了营养元素 (N、P), 并对 3 种功能微生物数量与营养元素 (N、P) 的关系进行了研究。结果表明: 氮磷属中等污染, TP 污染总体略高于 TN。可培养功能微生物菌落数随温度变化明显。氨氮与硝态氮, 总磷细菌数量与自养硝化菌数量有明显的相关性 ($r>0.8$)。

关键词: 底泥; N、P 评价; 功能微生物

中图分类号: X 522

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.01.017

Study on the Evaluation of Nitrogen and Phosphorus in the Beishi River Sediments and the Impact on the Quantity of Microorganisms

QIN Wei, LIU Yong-jun, LIANG Yu-ting, LEI Chun-sheng, ZHAO Yuan

(School of Environment and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: To fully understand the pollutional situation of nitrogen and phosphorus in the Changzhou Taipei river sediment and the impact on the quantity of three kinds of functional microorganisms, this article study took one year detection on nitrogen and phosphorus in the surface sediment and counting on three kinds of functional microorganisms. Through single factor index method and nutrient elements evaluation standard method, nitrogen and phosphorus are evaluated, and at the same time the correlations between the quantity of three kinds of functional microorganisms and nitrogen and phosphorus were studied. The results showed that: the pollution of nitrogen and phosphorus belonged to moderate pollution level, overall pollution levels of TP was slightly higher than TN, the gross of functional microorganisms changed significantly with temperature. Ammonia and nitrate nitrogen, total phosphorus bacteria and autotrophic nitrifying bacteria had a significant correlation ($r>0.8$).

Key words: sediment; evaluation of N and P; functional microbes

城市河道污染已经是世界范围内普遍存在的环境问题, 我国大部分城市河道在城市化进程中受到了污染, 水环境中容纳了大量污染物。底泥是水

环境的重要组成部分, 作为污染物的“汇”与“源”, 底泥对水环境的修复有着重要影响^[1]。北市河位于常州市天宁区, 自西北向东南流经常州老城

^{*} 收稿日期: 2013 - 07 - 10

基金项目: 国家自然科学基金资助 (411012233); 江苏省自然科学基金 (BK20112233); 常州市科技计划项目应用基础研究 (CJ20110022)

作者简介: 秦薇 (1989—), 女, 江苏如皋人, 硕士生; 通讯联系人: 赵远。

区核心区域,是京杭大运河常州段分支,全长约 2 000m。目前,北市河生态环境恶化,景观及水功能下降(V类),已成为问题型河流。

通过对北市河底泥中营养元素污染特征评价及对其功能微生物数量的影响研究,为北市河水环境综合治理提供依据,对其生态系统修复提供了指导。

1 材料与方法

1.1 底泥样品采样点分布与采样时间

根据北市河河水的流向,从入水河口关河、北市河(上游、中游和下游)和出水河口东市河分别设 5 个采样断面(如图 1),分别为金故庄园、博爱桥、椿庭桥、致远桥和元丰桥。采样时间从 2012 年 1 月到 2012 年 12 月,每个月采样 1 次。

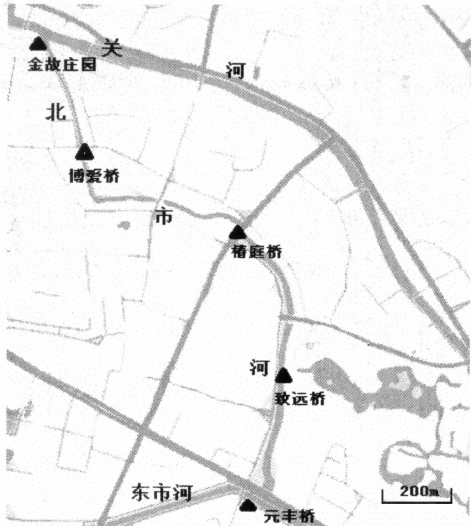


图 1 采样点位置分布图

Fig. 1 The distribution of sampling site

1.2 底泥样品的采集与前期处理

利用柱状沉积物采集器采集 0~5cm 底泥样品,样品利用冷冻干燥机干燥,去除样品中的石块、树枝等杂物,然后由玛瑙研钵研磨处理,全部过 100 目筛后保存用于营养元素(N,P)的测定。功能微生物的计数采用保存在 4℃下的新鲜底泥样品。

1.3 营养元素(N,P)的测定

营养元素(N,P)的测定采用经预处理的底泥样品(1.2)。测定指标为总氮(ρ (TN))、总磷(ρ (TP))、氨氮(ρ ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$))、硝态氮(ρ ($\text{NO}_3^- - \text{N}$))。

TN 采用高氯酸-硫酸消化法测定,氨氮采用中性盐(KCl)浸提后比色的方法测定,硝态氮采用中性溶液(饱和 CaSO_4)提取剂提取后采用紫外分光光度法测定,TP 采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定^[2-3]。

1.4 营养元素污染特征评价

目前国内外对底泥中 N、P 等营养元素没有统一的评价方法。本研究对底泥中营养元素采用单因子指数法^[4-6]和加拿大安大略省环境和能源部发布的沉积物中能引起水环境生态风险效应的营养物含量评价标准^[7-9]进行评价。

单因子指数法:

$$I_i = \frac{C_i}{S_i} \quad I_c = I_i - 1 \quad (1)$$

式中: I_i —沉积物某污染物单因子指数; C_i —沉积物中某污染物实测值(mg/g); S_i —沉积物中某污染物背景值; I_c —沉积物中某污染物超标倍数。

水环境生态风险效应的营养物含量评价标准评价见表 1。

表 1 加拿大安大略省营养元素评价标准

Table 1 Nutrient elements evaluation standard, Ontario, Canada

	TN/%	TP/%
安全级	—	—
最低级	0.055	0.06
重量级	0.48	0.2

说明:安全级:此时在水生生物中未发现中毒效应;最低级:此时沉积物已受污染,但是多数底栖生物可以承受;严重级:此时底栖生物群落已遭受明显的损害。

以太湖流域主要土壤类型之一的水稻土中有机质和营养盐含量作为底背景值^[10],TN 背景值为 0.141%,TP 背景值为 0.053%。

1.5 功能微生物计数

1.5.1 微生物计数方法

基于研究目的以及实验室的可操作性,采用传统的稀释涂布平板法对北市河底泥中功能微生物(总异氧菌、总硝化细菌、磷细菌)进行计数。

1.5.2 培养基的选择^[11]

牛肉膏蛋白胨固体培养基:牛肉浸膏 5g,蛋白胨 10g,NaCl 5g,蒸馏水 1 000mL,琼脂 15~25g,pH=7.2~7.6。

硝化细菌固体培养基: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2.0g, Fe-SO_4 0.2g, K_2HPO_4 1g, MgSO_4 0.5g, NaCl 2g, CaCO_3 5g,蒸馏水 1 000mL,琼脂 15~25g,pH

=7.2。

磷细菌固体培养基：蔗糖 2g， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.4g，葡萄糖 2g，NaCl 0.2g， NH_4Cl 1.5g，磷酸钙 20g，KCl 0.3g，蒸馏水 1 000mL，琼脂 15~25g，pH=7.2。

1.6 Pearson 相关系数

Pearson 相关系数：对定距变量的数据进行计算。公式为：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中： r —相关系数； \bar{x} —变量 x 的均值； \bar{y} —变量 y 的均值； x_i —变量 x 的第 i 个观测值； y_i —变量 y 的第 i 个观测值。

只有正态分布的等隔测度（连续）的变量才使用这种相关关系分析，它也是 SPSS 软件系统默认的相关分析方法。

2 结果与讨论

2.1 底泥中营养元素（N，P）变化分析

北市河底泥中营养元素（N、P）变化规律见图 2。其中图（a）氨氮值主要在 0.2~0.7mg/g 之间，平均值为 0.45mg/g；图（b）硝态氮值主要在 0~0.06mg/g 之间，平均值为 0.04mg/g；图（c）总氮值主要在 1~3.5mg/g 之间，平均值为 2.05mg/g；。从时间上看，各月份变化值不大，硝态氮稍有波动；从空间上看，各断面 N 元素值博爱桥>椿庭桥>金故庄园>元丰桥>致远桥，即上游 N 元素值>中游>入口>出口>下游。图（d）总磷值主要在 1~2μg/g 之间，平均值为 1.35μg/g。从时间上看，各月份变化值较小；从空间上看，各断面 TP 值博爱桥>椿庭桥>元丰桥>金故庄园>致远桥，即上游 TP 值>中游>出口>入口>下游。由此可以看出各断面 N、P 变化趋势是一致的。北市河底泥中的营养元素（N、P）主要来自环卫系统产生的垃圾渗滤液与冲洗废水、雨水等形成的混和废水、餐饮业排放的餐饮废水。

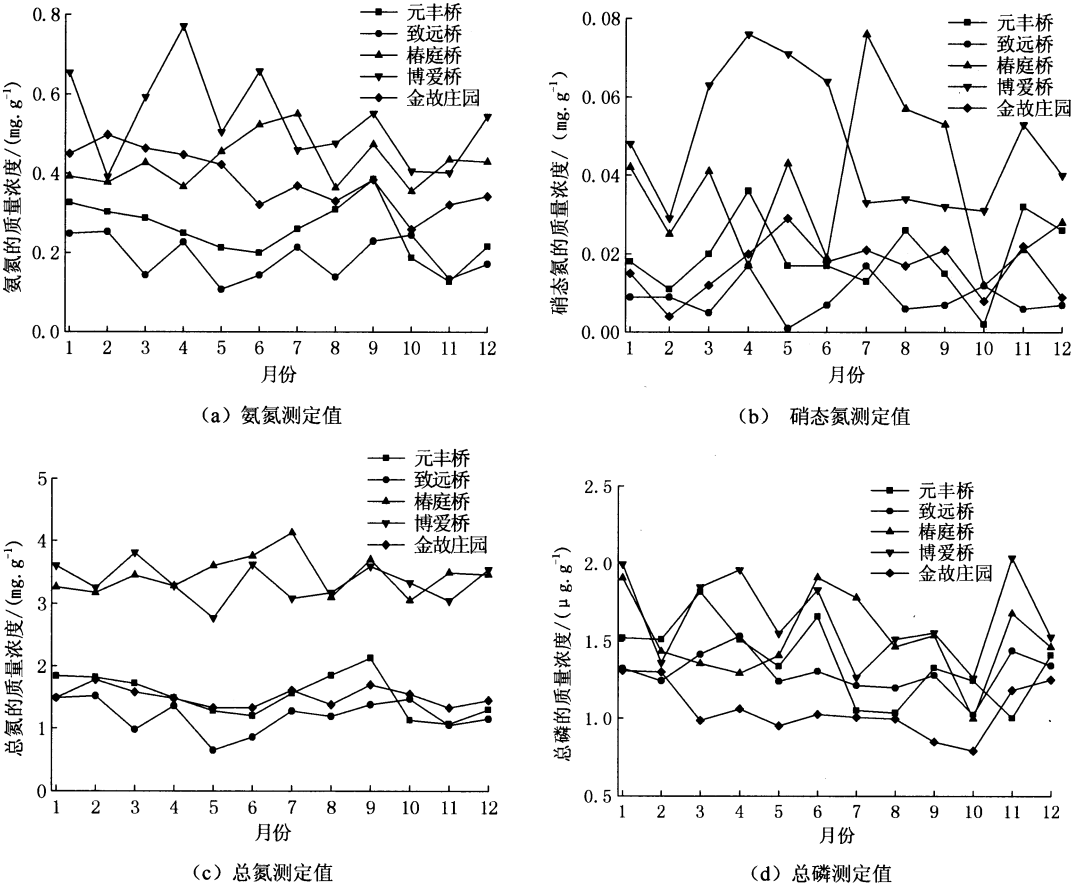


图 2 北市河底泥各断面 N，P 元素随时间变化曲线图

Fig. 2 Temporal and spatial variations of nitrogen and phosphorus factors of Beishi river sediments

2.2 营养元素 (N、P) 的污染评价

2.2.1 总氮的污染评价

(1) 单因子指数法评价

表 2 底泥中 TN 污染实测值及超标倍数
Table 2 Measured values and high multiples of TN pollution in sediments

月份	元丰桥 TN/%	I _c	致远桥 TN/%	I _c	椿庭桥 TN/%	I _c	博爱桥 TN/%	I _c	金故庄园 TN/%	I _c
1	0.184	0.305	0.149	0.055	0.326	1.309	0.360	1.551	0.149	0.060
2	0.182	0.289	0.152	0.077	0.317	1.251	0.325	1.306	0.178	0.264
3	0.172	0.221	0.098	−0.302	0.345	1.446	0.381	1.704	0.158	0.119
4	0.149	0.060	0.136	−0.034	0.328	1.325	0.424	2.008	0.148	0.051
5	0.128	−0.094	0.065	−0.540	0.360	1.555	0.277	0.966	0.133	−0.055
6	0.120	−0.149	0.086	−0.387	0.376	1.665	0.362	1.567	0.133	−0.060
7	0.156	0.106	0.128	−0.089	0.413	1.926	0.308	1.181	0.161	0.145
8	0.185	0.315	0.119	−0.153	0.310	1.200	0.317	1.247	0.138	−0.021
9	0.213	0.511	0.138	−0.021	0.370	1.626	0.359	1.543	0.170	0.209
10	0.113	−0.200	0.147	0.043	0.305	1.165	0.333	1.364	0.155	0.102
11	0.107	−0.241	0.105	−0.255	0.349	1.477	0.304	1.153	0.133	−0.060
12	0.130	−0.081	0.115	−0.183	0.346	1.453	0.354	1.512	0.145	0.030

从表 2 中可以看出 TN 最小值为 0.065%，I_c 为−0.54；最大值为 0.424%，I_c 为 2.008；平均值为 0.215%，I_c 为 0.52。60 个采样点 TN 值低于背景值的有 18 个，约占总数的 30%；高于背景值的有 42 个，约占总数的 70%，其中 I_c<1 的有 37 个，约占总数的 62%，I_c≥1 的有 23 个，约占总数的 38%。该评价方法表明，常州北市河部分河道均受到不同程度的 N 污染，若以 I_c≥1 作为中等污染等级，北市河断面采样点有 38%处于中等污染等级。其中致远桥污染较小，博爱桥、椿庭桥污染比较严重。

(2) 水环境生态风险效应的营养物含量评价标

北市河底泥中 TN 污染实测值及超标倍数见表 2。

准评价
TN 值处于安全级的采样点有 0 个，占总数的 0%；处于最低级与严重级之间的采样点有 60 个，占总数的 100%；没有严重级以上的采样点。该评价方法表明，常州北市河河道的底泥都已经受到 N 污染，但是多数底栖生物可以承受，底栖生物群落未遭受明显的损害。这与采用单因子指数法评价结果趋势相同。

2.2.2 总磷的污染评价

(1) 单因子指数法评价

北市河底泥中 TP 污染实测值及超标倍数见表 3。

表 3 底泥中 TP 污染实测值及超标倍数
Table 3 Measured values and high multiples of TP pollution in sediments

月份	元丰桥 TP/%	I _c	致远桥 TP/%	I _c	椿庭桥 TP/%	I _c	博爱桥 TP/%	I _c	金故庄园 TP/%	I _c
1	0.152	1.870	0.132	1.498	0.191	2.596	0.199	2.762	0.131	1.470
2	0.152	1.870	0.124	1.345	0.143	1.706	0.136	1.566	0.130	1.455
3	0.182	2.426	0.142	1.670	0.136	1.558	0.185	2.487	0.099	0.862
4	0.151	1.853	0.153	1.894	0.129	1.438	0.196	2.694	0.106	1.004
5	0.134	1.523	0.124	1.340	0.141	1.657	0.155	1.925	0.095	0.796
6	0.166	2.132	0.131	1.462	0.191	2.604	0.183	2.451	0.103	0.936
7	0.105	0.985	0.121	1.291	0.178	2.358	0.127	1.389	0.101	0.900
8	0.104	0.957	0.120	1.262	0.147	1.766	0.151	1.857	0.100	0.881
9	0.106	1.006	0.102	0.932	0.123	1.323	0.155	1.932	0.085	0.602
10	0.124	1.347	0.102	0.932	0.100	0.883	0.126	1.383	0.079	0.492
11	0.165	2.121	0.099	0.875	0.088	0.668	0.193	2.645	0.142	1.675
12	0.163	2.077	0.110	1.077	0.110	1.077	0.155	1.932	0.179	2.383

从表 3 中可以看出 TP 最小值为 0.079%，I_c 为 0.492；最大值为 0.199%，I_c 为 2.7624；平均值为 0.136%，I_c 为 1.564。60 个采样点 TP 值没有低于背景值的，所有采样点均高于背景值，达到

100%。其中 I_c<1 的有 14 个，约占总数的 23%，I_c≥1 的有 46 个，约占总数的 77%。其中 TP 污染最轻的是入水河金故庄园，污染最严重的是博爱桥。该评价方法表明，常州北市河绝大部分断面均

受到不同程度的 P 污染，若以 $I_c \geq 1$ 作为中等污染等级，北市河断面采样点有 77% 处于中等污染等级。从 I_c 值上来看，TP 污染程度总体略高于 TN。

(2) 水环境生态风险效应的营养物含量评价标准评价

TP 值处于安全级的采样点没有；处于最低级与严重级之间的采样点有 60 个，占总数的 100%；处于严重级以上的采样点没有。该评价方法表明，常州市北市河底泥已经受到磷污染，底栖生物群落已遭受一定的损害，但仍在可承受范围内。这与采用单因子指数法评价结果趋势相同。

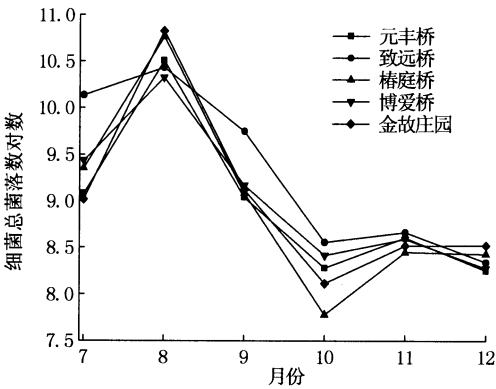
单因子指数法能够准确的表现出污染物的超标倍数，但缺乏明确的污染等级分类，对水环境中沉积物的污染程度难以做出明确的判断；相比较而言，加拿大安大略省环境和能源部发布的沉积物中能引起水环境生态风险效应的营养物含量评价标准更能准确的评价水环境中沉积物的污染程度和生态风险效应。

采用加拿大安大略省环境和能源部发布的沉积物中能引起水环境生态风险效应的营养物含量评价标准对北市河底泥中 TN、TP 评价结果表明：TN 与 TP 污染相对严重。

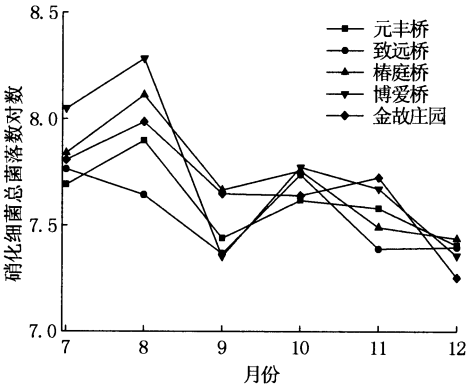
2.3 底泥中可培养功能微生物数变化分析

采用传统的稀释涂布平板法对北市河底泥中可培养功能微生物（总异养细菌、总硝化细菌、总磷细菌）进行菌落计数。功能微生物菌落数变化如图 3 所示。

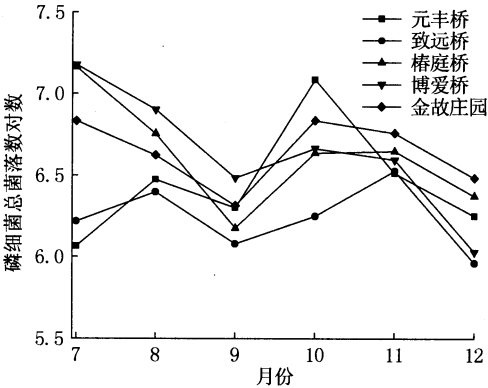
从图 3 可知 1g 底泥样品中可培养细菌总菌落数在 $10^8 \sim 10^{11}$ 之间，总自养硝化菌菌落数在 $10^7 \sim 10^8$ 之间，总磷细菌菌落数在 $10^6 \sim 10^7$ 之间。从时间上看，总异养菌菌落数 8 月份数量最多，总硝化细菌菌落数 7、8 月份数量略多，总磷细菌菌落数 7、10 月菌落数略多，这表明温度变化对细菌的生长繁殖影响很大，温度高繁殖就快，温度低数量就明显减少，并与他们各自的最适生长温度有关^[12]。从空间上看，博爱桥断面各细菌菌落数略高于其他断面，可能是由于博爱桥附近有学校、宾馆以及住宅区等人员比较集中的地方，生活污水的排放量大，受污染较严重。可培养细菌一定程度上反映了水体的污染程度，起到了指示作用，这和以往的报道是相同的。



(a) 细菌总菌落数



(b) 硝化细菌总菌落数



(c) 磷细菌总菌落数

图 3 功能微生物菌落数变化图

Fig. 3 The change of functional microbial colony number

2.4 功能微生物数量与营养元素关系

北市河底泥功能微生物数量与营养元素（N、P）相关系数见表 4。

从表 4 中可以看出，北市河底泥中氨氮与硝态氮有明显的相关性，相关系数 $r=0.820$ 。总磷与氨氮、硝态氮的相关系数 $r=0.504$ 、 $r=0.536$ ，表现为中等程度相关。硝化细菌数量与磷细菌数量具有高度的相关性，相关系数 $r=0.803$ 。而磷细

菌数量、硝化细菌数量与总异氧细菌数量有一定的相关性,但相关性略低。总异样细菌与氨氮、硝态氮、总磷相关系数相近,表现为有一定的相关性。硝化细菌数量和磷细菌数量与氨氮、硝态氮中等程度相关,而与总磷相关性略低。通过对底泥中功能微生物数量与 N、P 变化的相关分析,来了解底泥的污染程度有多大。

表 4 北市河底泥功能微生物数量与营养元素 (N、P) 相关系数
Table 4 Correlati on coeffici ents of microorganism quantity and nu-
trient elements of BeiShi River sediments

	氨氮	硝态氮	总磷	总异氧 细菌	硝化 细菌	磷细菌
氨氮	1					
硝态氮	0.820	1				
总磷	0.504	0.536	1			
总异氧细菌	0.298	0.368	0.357	1		
硝化细菌	0.642	0.598	0.303	0.485	1	
磷细菌	0.644	0.636	0.479	0.391	0.803	1

3 结 论

(1) TN 平均值为 2.05mg/g , TP 平均值为 2.05mg/g, 氨氮平均值 0.45mg/g, 硝态氮平均值为 0.04mg/g。从时间上看,各月份变化值较小;从空间上看,N 元素各断面值上游大于中游大于下游大于出入口。TP 值平均值为 1.35ug/g。从时间上看,各月份变化值较小;从空间上看,TP 各断面值上游大于中游大于下游。因为上游与中游都处于人口比较密集的区域,周围餐饮废水和生活废水排放较多。

(2) 常州北市河底泥已经受到 N、P 污染,N 与 P 属中等污染等级,TP 污染总体略高于 TN。底栖生物群落已遭受一定的损害,但仍在可承受范围内。

(3) 1g 底泥样品中总异养菌菌落数在 10⁸~10¹¹之间,总自养硝化菌菌落数在 10⁷~10⁸之间,总磷细菌菌落数在 10⁶~10⁷之间。可培养功能微生物菌落数随温度变化明显。

(4) 氨氮与硝态氮、总磷细菌数量与自养硝化菌数量有明显的相关性, $r>0.8$;自养硝化细菌数

量和磷细菌数量与氨氮、硝态氮中等程度相关, r 在 0.6 左右;总异氧细菌数量与氨氮、硝态氮、总磷相关系数相近, r 在 0.2 与 0.4 之间,表现为有一定的相关性。通过对底泥中功能微生物数量与 N、P 变化的相关分析,可使我们了解底泥的污染程度有多大。进一步可对可培养的功能微生物进行种属鉴定,确定底泥污染程度的指示微生物。而对底泥中可培养微生物的种属鉴定,可使我们了解底泥中 N、P 动态变化及其污染程度。

参考文献:

[1] 柏学凯. 城市河道底泥污染分析与抑制方法研究 [D]. 济南: 山东大学, 2011.

[2] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.

[3] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[4] 吴光红, 曹珊珊, 于雅琴. 天津典型水环境表层沉积物中营养盐含量及动态特征 [J]. 环境科学, 2009, 30 (3): 726 - 732.

[5] Theofanis Z, Astrid S, Lidia G, et al. Calmano Contaminants is sediments; remobilization and demobilization [J]. The science of total environment, 2001, 266: 195 - 202.

[6] U. S. EPA. 2005 Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites [R]. Washington: Empire Parliamentary Association, 2005.

[7] Mudroch A, Azcue J. Manual of Aquatic Sediment Sampling [M]. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995: 194 - 200.

[8] Agrawal G D. Diffuse agricultural water pollution in India [J]. Water Science and Technology, 2009, 39 (3): 33 - 47.

[9] Abdallah M A. Ecological risk assessment of heavy metals from the surficial sediments of a shallow coastal lagoon, Egypt [J]. Environ Technol, 2011, 32 (9 - 10): 88 - 97.

[10] 沈亦龙, 何晶晶, 邵立明. 太湖五里湖底泥污染特性研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13 (6): 584 - 588.

[11] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[12] 范成新, 张路. 太湖底泥污染与修复原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.