

# 受污染疏浚底泥用作植物培植土的环境影响分析

邵立明, 何品晶\*, 洪祖喜

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 资源化利用是疏浚底泥管理方案的基本选择之一。笔者使用上海市受污染河道疏浚底泥为研究对象, 通过实验室模拟的方法, 分析和评价了受污染疏浚底泥作为城市园林绿化培植土利用过程中对地下水、地表水和土壤可能造成的环境影响。结果表明, 中度受污染底泥具有作为绿化用土的基本理化性状, 其不利的环境影响主要表现为硝酸盐对地下水的影响及重金属 Cd、Hg 对地表径流和地下水的影响。其中, 硝酸盐的影响只在底泥应用后的第 1 个植物生长季中出现; 重金属污染影响与底泥重金属总含量和可交换态比例有关。控制底泥单位面积的应用量, 是控制其不利环境影响的可靠途径。

**关键词:** 疏浚底泥; 植物培植土; 资源化利用; 环境影响

**中图分类号:** X703      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-6929(2004)03-0051-04

## Environmental Impacts of Urban Contaminated Dredged Sludge as Vegetative Soil

SHAO Li-ming, HE Pin-jing, HONG Zr-xi

(State Key Laboratory of Pollution Control &amp; Reclamation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Beneficial use is one of promising management alternatives for dredged materials. The contaminated dredged material from urban rivers in Shanghai was experimentally researched upon the environmental impacts when beneficially used as vegetative soil. The results show that middle-contaminated dredged material has the basic physical-chemical characteristics of the materials that can be used as vegetative soil. The inverse influences focus on the impact of nitrate on the groundwater and that of heavy metals, e. g. Cd, Hg, on the runoff and groundwater. The impact on nitrate only behaves at the first vegetative production season, while the impact of heavy metals relates to the ratio of the total volume to the transferable proportion. To restrict the applied volume of the contaminated dredged material per unit area and to choose the appropriate species of vegetable are reliable methods to control the inverse environmental influence.

**Key words:** dredged material; vegetative soil; beneficial use; environmental impact

城市水体大多有一定的受污染历史(接纳工业与生活排水), 因此积存了一定量的受污染底泥。据上海市调查<sup>[1]</sup>, 2001 年上海市内河底泥淤积量达 1.45 亿 m<sup>3</sup>, 其中的绝大多数受到了不同程度的污染。

城市受污染底泥疏浚后, 其中受重度污染者应作隔离处置, 但占受污染底泥绝大部分的中度和轻度污染底泥(上海市普查结果显示它们约占底泥总量的 80%), 可以直接或在一定预处理后, 作为植物培植土进行再利用<sup>[2-3]</sup>。

受污染底泥是否可作为植物培植土利用的关键问题之一, 是对利用过程中可能造成的环境影响进行分

析。笔者使用概化的城市绿地模拟装置, 拟对受中度污染的城市疏浚底泥用作绿地表土时对地面径流、下渗流和下层土壤的环境影响进行实验分析。

### 1 实验方法和材料

#### 1.1 实验材料

实验所用受污染底泥疏挖自上海市杨浦区虬江, 疏挖深度为表层 0.2 m 以内, 该河道底泥在前述调查中被界定为受中度污染; 实验中用于模拟绿地下填素土层的土取自同济大学校园绿地(0.2~0.5 m), 砂、碎石购自上海市建筑材料商店(用前以自来水洗净)。

#### 1.2 实验装置

实验所用模拟绿地土层装置为 PVC 板材焊接槽, 尺寸: 长 × 宽 × 高 = 1.18 m × 0.6 m × 1.18 m; 槽内由下至上分层填入 0.1 m 厚碎石(渗流水收集), 0.2 m 厚砂(阻隔土层流失), 0.5 m 厚素土(模拟绿地基土), 0.2 m 厚底泥(表土), 表土上移植马尼拉结缕草(*Zoysia matrella* Merr.) 草皮(带土 1 cm 厚)。槽底设渗流水排出

收稿日期: 2003-05-26

基金项目: 建设部 2003 年科研攻关项目(03-2-069), 上海市重点学科(环境工程)建设项目(沪教委科[2001]44 号)

作者简介: 邵立明(1962-), 男, 浙江宁波人, 博士。

\* 通讯联系人

管,槽侧(紧贴土层表面)设径流水排出管,实验模拟绿地土层槽装置剖面见图 1。

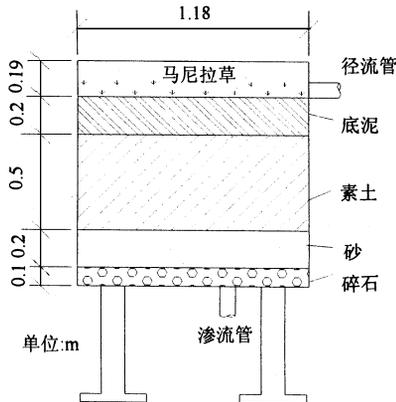


图 1 实验模拟绿地土层槽装置示意图

Fig. 1 Schematic drawing of the equipment

### 1.3 实验操作

实验装置按上述要求装填后,于 2002 - 04 - 10 完成了草皮的移植,装置放在室外空旷场地开始实验。实验的主要操作是定期取渗流水样和径流水样做水质指标分析;同时填入的疏浚底泥和下填的素土,分别在实验开始前和实验结束(马尼拉结缕草主要生长季结束后)取样做污染指标分析。实验过程中不施任何肥料,也未用杀虫剂和农药,但因天然降雨无法产生径流,故定期以自来水做人工降雨,强制产生径流,以供分析。

### 1.4 实验分析指标与方法

#### 1.4.1 固体样品

实验分析的固体样品为填入前的疏浚底泥和实验结束后从装置中取出的素土层土壤,其中素土层分 3

层(从上至下:10 ~ 15 cm,15 ~ 30 cm,30 ~ 45 cm)取样分析。分析的具体指标与方法见表 1。

#### 1.4.2 水相样品

实验分析的水相样品有渗流水和径流水,二者均做重金属(方法参见表 1)和硝酸盐氮质量浓度分析;径流水还分析总磷质量浓度(采用钼锑抗分光光度法)<sup>[7]</sup>。

表 1 固体样品分析指标与分析方法

Table 1 Analytical parameters and methods of dredged material and soils

分析指标	测试方法	备注
重金属总量	原子吸收或双道氢化物发生原子荧光光度法 <sup>[4]</sup>	样品消解:HNO <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -HClO <sub>4</sub> 湿灰化法
重金属形态分布 总溶解盐	Tessier 五态法 <sup>[5]</sup> 重量法 <sup>[6]</sup>	仅分析疏浚底泥样品
浸出液重金属 质量浓度	原子吸收或双道氢化物发生原子荧光光度法	蒸馏水水平振荡提取

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 种植前底泥性质

底泥中的总溶解盐质量分数达 0.82%,属盐土<sup>[8]</sup>,这可能会对下部土壤造成一定的危害。

表 2 中底泥重金属质量分数分析结果显示,底泥中 Zn,Cu,Pb,Cd 和 Ni 等重金属质量分数远高于上海市土壤相应的重金属背景值<sup>[9]</sup>,与土壤环境质量标准(GB15618 - 1995)三级限值相比,Cd 亦超标 3.5 倍,但是底泥中的各种重金属质量分数均低于农用污泥中污染物控制标准(GB4284 - 84)的相应标准限值。表 3 中底泥浸出液重金属质量浓度值与相应的鉴别标准比较表明,底泥不属于有毒有害物质,因而可以在控制施用率的条件下作为绿化培植土利用。

表 2 底泥重金属质量分数分析结果

Table 2 Heavy metal mass contents in the dredged sediment

项目	w(Zn)	w(Cu)	w(Pb)	w(Cd)	w(Ni)	w(Cr)	w(As)	w(Hg)
疏浚底泥	375.81	137.38	95.61	3.53	96.93	61.48	0.88	0.15
上海市土壤背景值	81.3	27.2	25.0	0.138	29.9	70.2	9.1	0.095
土壤环境质量标准(三级)(GB15618 - 1995)	500	400	500	1	200	300	40	1.5
污泥农用标准(pH>6.5)(GB4284 - 84)	1 000	500	1 000	20	200	1 000	75	15

表 3 疏浚底泥浸出液重金属质量浓度

Table 3 Total heavy metal mass concentrations in the leachate

项目	(Zn)	(Cu)	(Pb)	(Cr)	(Cd)	(Ni)	(Hg)	(As)
浸出液	0.132	0.023	0.02	ND	0.013	0.048	0.006	0.007
浸出毒性鉴别标准值(GB5058.3 - 1996)	5	5	3	10	0.3	10	0.05	1.5
浸出毒性鉴别结论	无	无	无	无	无	无	无	无

注:ND 为未检出,下同。

越来越多的研究表明,重金属的总量并不能有效地反映重金属在环境中的毒性和迁移性,而以分步浸

提法测定的重金属形态分布能够比较真实地地表征重金属的环境行为<sup>[5,10-11]</sup>。

实验采用的 Tessier 法把重金属分为 5 种不同的形态:可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机结合态和残渣态。其中可交换态的迁移性最强,毒性也最强;碳酸盐结合态也不稳定,易受 pH 值变化的影响,在酸性条件下会向可交换态转化;铁锰氧化物结合态和有机结合态比较稳定,但在一定氧化还原电位和 pH 值条件下也会缓慢地向可交换态转化;残渣态在环境中极为稳定,一般不具有毒性和危害<sup>[4]</sup>。

图 2 为底泥中重金属的形态分布情况,其中尤为突出的是 Pb 和 Cd 的可交换态分别高达 21% 和 37%, Cd 的碳酸盐结合态也高达 28%,这 2 种重金属最有可能产生相应的环境危害。

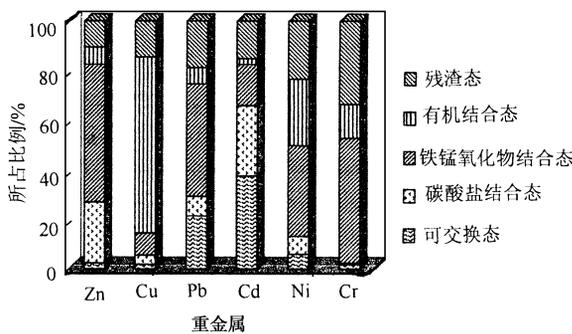


图 2 疏浚底泥重金属形态分布情况

Fig. 2 Heavy metal specification contents in the dredged sediment

## 2.2 渗流水和径流水污染性质

### 2.2.1 硝酸盐氮

从图 3 的硝酸盐氮分析结果可以看出,径流水中的硝酸盐氮质量浓度很低,在整个实验研究过程中均低于地表水环境质量标准 (GHZB1 - 1999) 的 Ⅲ类标准值 (10 mg/L),因而城市受污染疏浚底泥作为园林绿化植物培植土利用,不会对地表水造成硝酸盐氮污染。

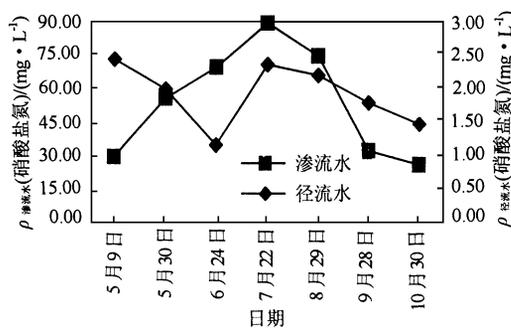


图 3 渗流水和径流水中硝酸盐氮质量浓度变化

Fig. 3 NO<sub>3</sub>-N mass concentration in runoff and leachate

在种植马尼拉草的开始 3 个月,随着底泥中有机氮的不断矿化,渗流水中硝酸盐氮质量浓度不断升高,升至峰值后又开始迅速下降,这主要是由于马尼拉草

生长旺盛,对底泥中的氮素吸收量增大的缘故。在实验中,首次取样的硝酸盐氮的质量浓度略低于地下水质量标准 (GB/T14848 - 93) 的 Ⅲ类标准值 (30 mg/L),随后的 4 次取样均超过了 Ⅲ类标准值,在马尼拉草种植后的第 5 个月,硝酸盐氮的质量浓度接近 Ⅲ类标准值,在马尼拉草种植半年后,渗流水中的硝酸盐氮质量浓度又降至 Ⅲ类标准值以下。显然底泥作为植物培植土利用对地下水的不利影响周期小于 1 个植物生长季,如选择的植物需肥量大,影响期还可缩短。

### 2.2.2 总磷

图 4 为径流水中总磷质量浓度随时间的变化情况。由图 4 可见,除 5 月 30 日取的径流水超过地表水环境质量标准 (GHZB1 - 1999) 的 Ⅲ类水标准值 (0.20 mg/L) 外,其余均低于 Ⅲ类水标准值,同时考虑到在一般降雨强度下,植被下垫面一般不会产生径流。因而可以认为,城市受污染疏浚底泥作为园林绿化植物培植土利用,基本上不会对地表水造成总磷污染。

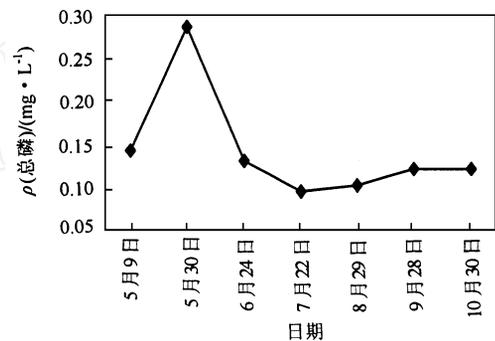


图 4 径流水中总磷质量浓度随时间变化

Fig. 4 Total phosphorus mass concentration in runoff at different time

### 2.2.3 重金属

表 4、5 分别为渗流水和径流水中重金属质量浓度分析结果。

由表 4、5 可以看出,除 Pb、Cd 和 Hg 外,其他重金属质量浓度均分别低于相应的地下水质量标准 (GB/T14848 - 93) 的 Ⅲ类标准值和地表水环境质量标准 (GHZB1 - 1999) 的 Ⅲ类标准值。

Pb、Hg 和 Cd 在渗流水和径流水中的超标时段变化规律基本相同,但在径流水中的超标时段与超标倍率均低于在渗流水中,这与径流水与底泥的接触时间较渗流水短有关。

Pb 和 Hg 的超标时段与超标倍率与 Cd 相比较短和低,这主要是由于 Pb 和 Hg 在底泥中的质量分数较低(达到了土壤环境质量标准三级限值),在水相中超标的主要原因是其可交换态比例高,造成的初期集中溶出所致。

表 4 渗流水中重金属质量浓度分析结果

日期	(Cu)	(Zn)	(Pb)	(Cr)	(Cd)	(Ni)	(Hg)	(As)
5月9日	0.08	ND	0.21	0.04	0.02	0.09	ND	ND
5月30日	0.01	0.06	ND	ND	0.01	0.03	0.006 0	0.011 0
6月24日	ND	0.03	0.10	ND	0.01	0.05	0.003 0	0.006 0
7月22日	0.03	0.03	0.08	0.02	0.05	0.03	0.001 9	0.004 0
8月29日	0.03	0.02	0.10	0.02	0.05	0.08	0.001 9	0.001 0
9月28日	0.01	ND	0.09	0.01	0.02	0.03	0.000 6	0.000 5
10月30日	ND	ND	0.10	0.01	0.01	0.05	0.000 7	ND
地下水质量标准 类标准值	1.5	5.0	0.1	0.1	0.01	0.1	0.001	0.05

表 5 径流水中重金属质量浓度分析结果

日期	(Cu)	(Zn)	(Pb)	(Cr)	(Cd)	(Ni)	(Hg)	(As)
5月9日	0.08	ND	0.2	0.04	0.04	0.08	ND	ND
5月30日	0.01	0.39	ND	ND	0.03	ND	0.007 0	0.033 0
6月24日	0.04	0.35	0.02	ND	ND	0.01	0.003 0	0.002 0
7月22日	0.03	0.24	ND	ND	0.02	ND	0.000 9	0.000 4
8月29日	0.04	0.12	0.01	ND	0.01	ND	0.000 7	ND
9月28日	0.03	0.08	0.03	0.03	ND	ND	ND	ND
10月30日	ND	0.10	0.01	0.01	ND	ND	ND	ND
地表水环境质量 标准 类标准值	1.0	2.0	0.05	0.05	0.005	/	0.001	0.1

Cd 在底泥中的质量分数既高,且交换态和碳酸盐结合态的比例均高,因此使其超标倍率高,超标延续时段可达 1 个植物生长季。

上述结果提示,底泥用于植物培植时,宜同时分析其重属总量和可交换态的比例,据之而确定适宜的施用控制率。

### 2.3 下部土壤污染影响分析

#### 2.3.1 溶解盐

由表 6 可以看出,由于疏浚底泥含盐量很高,致使下部土壤含盐量也较高,达到了轻度盐化土的水平<sup>[7]</sup>。因而在利用疏浚底泥作为植物培植土时,为了防止下部土壤的盐化,应适当控制疏浚底泥的单位面积施用量。

表 6 下部各层土壤中溶解盐质量分数

断面/cm	w(溶解盐)/%	土壤类型
0~15	0.12	轻度盐化土
15~30	0.13	轻度盐化土
30~45	0.14	轻度盐化土

#### 2.3.2 重金属

表 7 为实验结束后,疏浚底泥层下部各层土壤中重金属质量分数分析测试结果。从表 7 可以看出,施用疏浚底泥的下部土层除了 15~30 cm 和 30~45 cm 2 层土壤中 Cd 含量略超出了相应的土壤环境质量标准 (GB15618 - 1995) 三级标准值 (参见表 2) 外,其余各层

表 7 下部各层土壤中重金属质量分数

断面/cm	w(Cr)	w(Ni)	w(Cu)	w(Pb)	w(Zn)	w(Cd)	w(As)	w(Hg)
0~15	49.75	60.53	23.63	39.39	71.93	0.62	0.802 7	ND
15~30	29.46	39.84	21.53	45.32	75.91	2.21	1.298 6	ND
30~45	43.47	34.29	22.65	42.86	67.55	1.84	0.689 8	ND

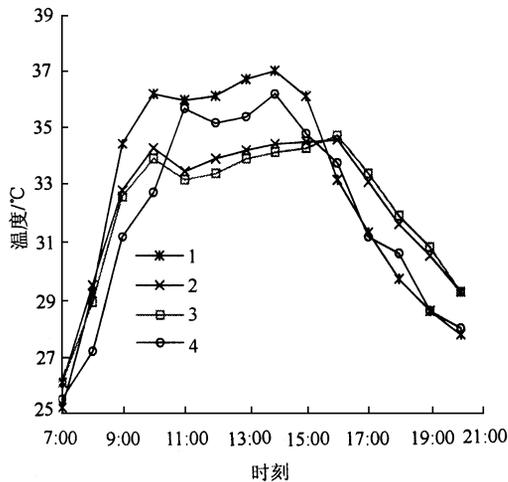
各重金属含量均低于相应的标准值。结合前述的渗流水中重金属浓度分析结果,可确定一定土层范围内的土壤会因不加限制地应用疏浚底泥而受到污染影响,同样提示了控制单位面积施用量的必要性。

## 3 结论

城市河道中度和轻度受污染疏浚底泥作为城市绿

化培植土利用是其最终消纳的一种现实可行的方法。中度受污染疏浚底泥作为城市绿化培植土利用时,在一定时段内可能产生的环境影响主要表现为硝酸盐氮对地下水质的危害,以及 Cd 和 Hg 对地下水和地表水的污染。重金属污染的产生与其在底泥中的总含量和

(下转第 74 页)



1—模型地表温度;2—上海宾馆西侧地表实测温度;  
3—上海宾馆西侧实测温度;4—模型中第2层的温度

图 3 模拟温度和上海宾馆西侧的实测温度比较

Fig. 3 The temperature contrast between the simulating result and the result measured at the west of the ShangHai Hotel

### 3 结论

通过对深圳市硬化路面条件下的温度场进行研究,建立的三维动态的热效应数值模型在确定边界条件、初始条件以及进行适当的参数化之后,能够对硬化路面条件下的温度场进行模拟,模拟结果十分接近实测结果。

在模拟结果中,从早上 7:00 开始温度升高很快,至中午 11:00 左右,温度升高的速度开始变慢,直到下午 14:00 左右温度达到全天最高值;此后温度开始缓慢下降,至 15:00 开始,温度迅速下降。

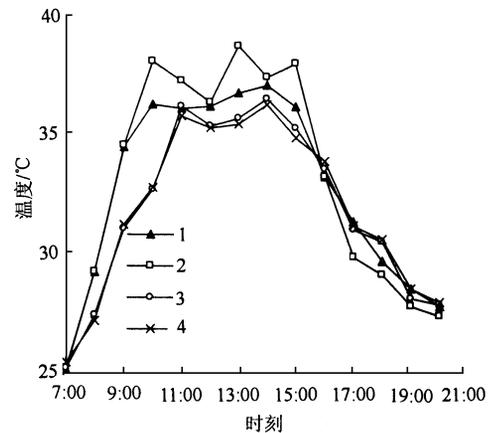
在振兴路的模拟温度平均要比在上海宾馆西侧的模拟温度高,而且在振兴路的温度上升和下降的趋势也要比在上海宾馆显著。这主要是由于在上海宾馆西侧是深圳市中心公园,它对减少城市热效应有着明显的效果。

(上接第 54 页)

可交换态比例有关,实际应用中宜根据底泥的重金属污染程度,控制其单位面积应用量,以控制其对地下水和土壤可能造成的污染。

#### 参考文献:

- [1] 上海市水资源普查办公室.上海市水资源普查报告[R].上海:上海市水务局,2001.
- [2] 朱广伟,陈英旭,王凤平,等.城市河道底泥直接园林应用的初步研究[J].浙江大学学报,2001,27(1):47-48.
- [3] USEPA. Waste to resource: beneficial use of Great Lakes dredged material [R]. Chicago, Illinois: Great Lake Program Office, 2001.
- [4] GB/T17141-1997. 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S].
- [5] Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry, 1979,



1—上海宾馆西侧模型地面温度;2—振兴路模型地面温度;3—振兴路模型中第2层温度;  
4—上海宾馆西侧模型中第2层温度

图 4 上海宾馆西侧和振兴路模拟温度结果对比

Fig. 4 The temperature contrast between the simulating results at the west of the ShangHai Hotel and at the ZhenXing Road

通过以上分析可以得出:硬化路面由于铺筑的材料具有较大蓄热、导热的能力,而且透水性差,因此温度升降都很快,对城市的热效应贡献大;城市绿化隔离带对城市温度场具有很好的调节作用,因此合理配置城市中的绿地对城市区域微热环境的改善能够起到很好的作用。

#### 参考文献:

- [1] 陶祖钰,林黎红.大气科学概论[M].北京:北京大学地球物理系,1998.15-16.
- [2] 饭田修一,张质贤.物理学常用数表[M].北京:科学出版社,1979.1-20.
- [3] 俞昌敏.热传导及其数值分析[M].北京:清华大学出版社,1981.467-478.
- [4] 西格尔 R,豪厄尔 J R.热辐射传热[M].佚名译.北京:科学出版社,1990.456-461.
- [5] 杨士弘.城市生态环境学[M].北京:科学出版社,1997.73-83.

51(7):844-850.

- [6] 中国环境科学南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海环境科学技术出版社,1978.
- [7] 国家环境保护局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [8] 南京农学院.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1983.
- [9] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [10] Perin G, Fabris R, Manente S, et al. A five-year study on the heavy-metal pollution of Granabara Bay sediments (RIO de Janeiro, Brazil) and evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation[J]. Water Res, 1997, 31(12):3017-3028.
- [11] Rosa Galvez-Cloutier, Dube Jearn-Sebastien. An evaluation of fresh water sediments contamination: the Lachine Canal sediments case, Montreal, Canada. Part 1: Heavy metal particulate speciation study[J]. Water Air Soil Pollu, 1998, 102:281-302.