



城市受污染疏浚底泥特性与作绿地用土的可行性分析

Characteristics of Urban Polluted Dredged Materials and Feasibility Study of its Beneficial Use as Greening Vegetative Soil

邵立明 何晶晶* 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)

Shao Liming He Pinjing* Hong Zuxi (State Key Laboratory of Pollution Control & Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092)

摘要 受污染河道疏浚底泥消纳是上海市环境治理中面临的问题之一。中、轻度污染的疏浚底泥用作绿地用土是具有资源化价值的底泥消纳适用途径。为分析此途径的可行性,选择上海市典型中度污染河道底泥作了植物生长相关理化性质和重金属污染特性(总量、浸出液浓度、分级提取比例分布)分析,并据此讨论了此类(中、轻度污染)疏浚底泥的绿地利用可行性。分析结果表明,中度污染河道疏浚底泥的植物相关特性为:速效植物养分含量高,但阳离子交换容量低;总溶解盐含量高,但苏打盐和氯化钠含量低;重金属总量和浸出液重金属浓度低于国家农用污泥污染物控制标准和危险废物鉴别标准——浸出毒性鉴别限值,但Pb和Cd的可交换态比例较高(24%和62%)。底泥综合理化性质的分析结果:中度以下污染程度的上海市河道疏浚污泥具有作绿地用土必须的植物相容性,可用作绿地用土;但底泥的保肥能力较差,作绿地用土初期宜种植速生、需肥量大的植物,以控制植物养分流失;对于重金属,尤其是可交换态比例高的重金属溶出造成的环境影响,宜采用底泥施用量控制等手段对其不利影响进行防治。

关键词: 疏浚底泥 底泥特性 植物培植土 资源化利用 可行性分析

1 引言

由于城市经济和社会的飞速发展,我国许多城市的水体水质均为Ⅴ类水或劣Ⅴ类水,水体中淤积了大量的受污染底泥。因此,对城市水体中淤积的受污染底泥进行疏浚是城市水体综合整治方案中重要一环,由此产生了疏浚底泥的消纳问题。目前,疏浚底泥消纳的基本途径主要有水下弃置、隔离处置和资源化利用^[1]。

对于受污染疏浚底泥,水下弃置存在污染转移的可能;隔离处置成本高,仅适用于受重度污染的疏浚底泥;资源化利用是目前应优先考虑的轻、中度污染的底泥消纳方法^[2]。

轻、中度污染的疏浚底泥资源化利用途径中,土地利用具有用量大、技术简单和经济性好的优势,其中作绿地用土更具有避开食物链,对环境相对安全的特点,是城市受污染疏浚底泥利用的有效可行途径之一^[3,4]。

本文以上海市一条典型河道的中度污染疏浚底泥的植物生长相关环境特性的全面分析为基础,从上海市疏浚底泥绿地利用需求、利用的环境影响控制有

效性等方面,分析了中、轻度受污染疏浚底泥作绿地用土的可行性。

2 疏浚底泥理化特性分析

2.1 指标和方法

实验中所研究的受污染底泥,是直接从上海市虬江河流中以铲斗取样的上层20cm底泥。根据上海市水资源普查^[5]结果,该河道的底泥属于中度污染的底泥,这类(中、轻度污染)底泥占上海市目前河道底泥总量的80%左右。

实验分析了该疏浚底泥的理化性质,包括与植物养分和污染相关的性质及其他性质。具体的各项分析指标和方法见表1。

2.2 理化性质分析结果与讨论

2.2.1 底泥的植物营养特征

建设部2003年科研攻关项目,编号03-2-069。上海市重点学科(环境工程)建设资助项目,编号沪教委科[2001]44号。

第一作者邵立明,男,1962年生,2003年毕业于同济大学环境工程专业,博士,副教授。

*通讯作者: xhpjk@mail.tongji.edu.cn

1) 上海市水资源普查报告,上海市水务局,2001年。

表 1 疏浚底泥理化性质分析参数和方法

Table 1 Physico-chemical properties analysis parameters and methods of dredged materials

分析指标	分析方法 ^[5,10]	分析意义
pH 值	电位法	与重金属生物有效性及肥分的有效性密切相关
与有机质含量	重铬酸钾氧化—外加热法	植物养分主要的载体,是土壤肥力的重要指标
植全 N	K ₂ Cr ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ 消解,蒸馏法	植物所需氮肥的潜在供给能力
速效 N	蒸馏法	植物所能直接利用的氮素
相全 P	HClO ₄ -H ₂ SO ₄ 酸溶分光光度法	磷的总储量,但不能作为土壤磷素的供应指标
速效 P	NaHCO ₃ 浸提法	作为土壤磷素供应能力的指标
的全 K	原子吸收法	表征土壤钾素的潜在供应能力
速效 K	醋酸铵浸提,原子吸收法	作为土壤钾素供应能力的指标
质阳离子交换容量	乙酸铵交换法	与土壤的持水持肥能力有关
溶解盐	重量法	
污重金属总量	原子吸收或双道氢化物发生原子荧光光度法	重金属是主要关注的污染物质
染重金属形态分布	Tessier 五态法 ^[7]	存在形态的分布情况,更能表征重金属生物毒性和迁移性
性浸提液重金属浓度	蒸馏水振荡浸提后,同重金属总量分析	判断底泥是否为有毒有害物质
质溶解盐	重量法	溶解盐是底泥土地利用的另一个主要限制因素
其他粒径分布	比重计法	与其保水保肥能力和排水、通气性能密切相关
颗粒的孔隙结构	电镜扫描	与植物根系的生长相关

表 2 与植物相关的底泥理化性质分析结果¹⁾

Table 2 Analytical results of physico-chemical properties of dredged materials about plant culture

分析指标	数值	评价
pH 值	7.72	6.5 ~ 7.5: 中性; 7.5 ~ 8.5: 碱性; > 8.5 强碱性
有机质含量(%)	3.83	上海地区高产水稻土的有机质含量为 2.5% ~ 4.5%
全 N(%)	0.16	我国耕作土的全氮含量一般在 0.1% ~ 0.2%
速效 N[mg/100g(土)]	8.14	土壤中的速效氮(无机氮)含量一般约占总氮的 1% ~ 5%, 为 0.5 ~ 8mg/100g(土)
全 P(P ₂ O ₅ %)	0.25	我国土壤一般为 0.04% ~ 0.25%
速效 P[mg/100g(土)]	5.15	一般土壤中有效磷含量达到 1.8 ~ 2.5mg/100g(土), 即认为是肥沃的土壤, 无需外加磷肥
全 K(K ₂ O%)	1.73	我国土壤一般在 2% 左右
速效 K[mg/100g(土)]	13.26	在 10 ~ 16 mg/100g(土) 范围内, 钾肥含量高, 外加钾肥一般无效
阳离子交换容量[mmol/100g(土)]	9.86	含量相对偏低, 持水保肥能力较差
总溶解盐(%)	0.82	属盐土, 对植物生长有潜在危险
苏打盐(mmol/kg)	1.42	未达到对植物生长影响范围
氯化钠(mmol/kg)	2.00	未达到对植物生长影响范围

1) 以 NH₄⁺ 计。

底泥中与植物营养相关的理化性质分析结果(见表 2)表明:底泥的 pH 值为中性偏弱碱性,适合大多数植物的生长;底泥中的有机质含量,氮、磷、钾总量及其速效成分含量均达到或高于肥沃土壤的相应含量,可以满足植物生长对肥分的需求量,因而在以底泥作植物培植土时可减少或不施加肥料;底泥的阳离子交换容量相对于一般土壤偏小,底泥的保水保肥能力较差,因而不利于对水分要求高的植物的生长,而且流失的营养元素还有可能会对地下水和地表水造成污染。

同时,底泥中的总溶解盐含量达到盐土范围^[5],

这可能不利于大多数植物的生长,但总溶解盐中对植物危害较大的苏打盐和氯化钠含量却较低,因而对植物的正常生长影响不大。

2.2.2 底泥的污染相关性

底泥重金属含量分析结果见表 3,底泥中 Zn、Cu、Pb、Cd 和 Ni 等重金属含量远高于上海市土壤相应的重金属背景值^[6],其中 Cd 尤为突出。但是底泥中的各种重金属含量均低于农用污泥中污染物控制标准(GB4284-84)的相应标准值,结合底泥浸出毒性实验的结果(见表 4),底泥不属于有毒有害物质,因而疏浚底泥可以用作绿化培植土。



表3 底泥重金属含量分析结果(mg/kg)
Table 3 Heavy metal contents in the dredged sediment

重金属	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	As	Hg
疏挖底泥	375.8	137.4	95.61	3.53	96.93	61.48	0.88	0.15
污泥农用标准(pH>6.5)	1 000	500	1 000	20	200	1 000	75	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

表4 疏浚底泥浸出液重金属含量(mg/L)
Table 4 Total heavy metal concentrations in the dredged sediment leachate

重金属	Zn	Cu	Pb	Cr	Cd	Ni	Hg	As
浸出液浓度	0.132	0.023	0.02	ND ¹⁾	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

1) ND-未检出。

底泥中重金属按 Tessier 五态浸提法测定的形态分布结果见图 1。

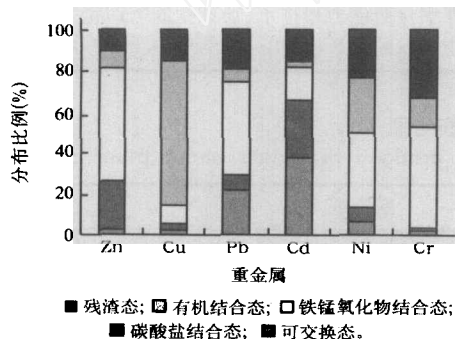


图1 疏浚底泥重金属分布情况
Figure 1 Heavy metal distribution of the dredged sediment

据 Tessier 等的研究^[7-9], 重金属不同的结合形态与其迁移性和环境毒性效价相关, 其中可交换态的毒性最强, 迁移性也最强; 碳酸盐结合态也不稳定, 易受 pH 值变化的影响, 酸性条件下会向可交换态转化, 毒性和迁移性较强; 铁锰氧化物结合态和有机结合态比较稳定, 但在一定的氧化还原电位和 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^[12]。

底泥重金属中, Cd 的可交换态和碳酸盐结合态累计达 62%, Pb 的可交换态为 24%, 远高于其他重金属, 提示 Cd 和 Pb 可能是底泥中对环境影响最大的重金属。

2.2.3 其他理化性质

实验中采用比重计法分析了底泥的粒径分布, 其中细砂(0.25 ~ 0.074mm)占 8%, 粉砂(0.074 ~ 0.005mm)占 90%, 粘粒(<0.005mm)占 2%, 因而底泥属于粉砂质壤土^[5], 适合于作为植物培植土。

从底泥颗粒表面电镜扫描图(见图 2)可看出, 底泥颗粒表面比较疏松, 孔隙较多, 适合于植物根系的生长发育。

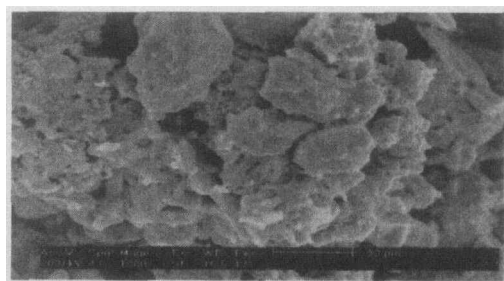


图2 疏浚底泥颗粒表面电镜扫描
Figure 2 SEM photo of dredged sediment

3 受污染疏浚底泥用作上海市绿地用土的可行性分析

3.1 上海市疏浚底泥的消纳与绿地用土需求

3.1.1 底泥的消纳与存在的问题

上海市河道的淤积严重, 1999 ~ 2001 年累计疏浚内河(不含黄浦江、长江口)约 15 000 km, 已产生疏浚底泥约 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ¹⁾; 但据调查²⁾, 全市河道淤积底泥仍有约 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 且因径流夹带和调水等因素每年仍会保持一定的底泥累积速率, 因此疏浚底泥将是今后一个时期内上海市产生的主要固体废物之一。

上海市目前产生的疏浚底泥以陆上填洼、沿海水域倾倒³⁾为主要的消纳手段。对于受不同程度污染的

1) 上海市环境质量状况公报, 上海市环境保护局, 1999, 2001 年。

2) 上海市水资源普查报告, 上海市水务局, 2001 年。

3) 东海倾废管理公报, 国家海洋局东海分局, 2001 年。

疏浚底泥而言,这些方法显然存在产生不可控制的环境危害风险。

3.1.2 绿地建设用土的需求

上海市致力于建设国家园林与生态城市,并已将其列为 2003 年的政府头号实事工程。至 2010 年,绿地面积将在现有基础上翻番,由于相当比例的绿地是在现建成区中建设,因此新建绿地的表土需求量巨大。

城市没有表土,只能从郊区和外省购入,不仅价格高,质量差异大,而且对相关地区的土壤资源也是一种破坏。

3.1.3 疏浚底泥是适宜的绿地用土资源

根据本文前述对上海市轻度 and 中度受污染疏浚底泥的特性分析,可见本市产生的极大部分受污染疏浚底泥具有兼容植物生长的特性,适宜用作上海市紧缺的绿地用土。疏浚产生的大部分底泥(轻、中度污染)用作绿地用土,少量重污染底泥作隔离处置,不仅

可改变目前底泥消纳可能危害环境的状况,亦可使绿地建设获得适宜表土,提高绿地建设的生态效益。

3.2 疏浚底泥用作绿地用土的控制措施

在利用疏浚底泥资源价值的同时,考虑到其受污染特性,采取环境影响控制措施也是必要的,措施主要有两个方面:植物选择与污染物迁移限制。

3.2.1 植物选择

对应用受污染疏浚底泥的绿地,其植物选择主要考虑植物的成活及对污染的修复,依据前述的分析结果,植物选择的主要影响因素与原则见表 5。

3.2.2 污染迁移控制措施

根据上述对上海市受污染疏浚底泥污染特征的分析结果,其用作绿地用土的可能环境影响是硝酸盐氮和重金属对地下水、地表水以及溶解盐对下部土壤的迁移污染。控制这些迁移污染的主要工程措施见表 6。

表 5 植物选择的影响因素与原则

Table 5 Major factors influencing selection of plant species

影响因素	植物选择原则与作用
pH值	根据实际的疏浚底泥 pH 值和植物对 pH 环境的适应性选择合适的植物种类
氮磷钾营养	疏浚底泥中的营养素含量较高,初期宜选择生长迅速、生物量大的植物,从而降低对地下水可能产生的硝酸盐氮污染和对地表水产生的富营养化污染
阳离子交换容量	疏浚底泥阳离子交换容量较低,选择对水分要求不太高的植物种类
溶解盐	疏浚底泥溶解盐含量较高,宜选择耐盐植物(尤其当疏浚底泥中对植物危害较大的苏打盐和氯化钠含量较高时)
重金属	选择耐重金属污染的植物,以便在高重金属含量情况下可以正常生长;选择对重金属有一定富集作用的植物,从而降低重金属对环境的污染风险
土壤结构	选择根系相对比较发达的植物,以适应疏浚底泥孔隙率较低的特征

表 6 控制污染物迁移的主要工程措施

Table 6 Major possible engineering measures of relevant pollution control

可能的污染种类	可以采用的污染控制措施
硝酸盐氮对地下水的污染	(1) 选择生长迅速、生物量大的植物,增加植物对肥分的吸收; (2) 适当降低受污染疏浚底泥的施用量。
重金属对地下水、地表水的污染	(1) 与富含腐殖质的堆肥产品混合施用,使重金属形成迁移性和毒性低的难溶的金属络合物或螯合物; (2) 适当投加石灰、或将疏浚底泥与高 pH 值的土壤混合施用,使重金属形成迁移性和毒性低的难溶的金属氢氧化物; (3) 选择对重金属有富集作用的植物,对底泥进行植物修复 ^[11,12] ; (4) 适当降低受污染疏浚底泥的施用量。
高溶解盐的底泥,对下部土壤轻度污染	(1) 选择耐盐或嗜盐植物,增加植物对盐分的吸收量; (2) 适当控制受污染疏浚底泥的施用量。

4 结论

对上海市典型的轻、中度污染疏浚底泥的特性分

析表明,占上海市疏浚底泥极大部分的轻、中度污染底泥具有植物生长的兼容性。

上海市轻、中度污染底泥与植物生长相关的理化



性质特点是速效植物养分含量高,但持水、持肥能力差,因此用作绿地用土的初期宜选种生长快速、需肥量大的植物品种。

此类底泥重金属含量低于污泥农用的最大限值,但高于本地土壤本底值,应用于绿地时应考虑重金属迁移的危害。对其总量和可迁移态比例进行分析表明,Cd、Pb是最可能导致污染影响的重金属,宜以施用量控制等方法对可能的污染进行防范。

受轻、中度污染疏浚底泥的绿地利用有实际需求,环境影响可以控制,是可行的上海市疏浚底泥消纳与利用途径。

5 参考文献

- 1 洪祖喜,何品晶. 受污染底泥易地处理处置技术. 上海环境科学, 2002,21(4):233~236.
- 2 U.S. Army Corps of Engineers and U.S. Environmental Protection Agency. Evaluating environmental effects of dredged material management alternatives-A technical framework. EPA 842-B-92-008, U.S.EPA, Washington, DC. 1992.
- 3 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. 浙江大学学报, 2001,27(1):47~48.
- 4 U.S. EPA. Waste to resource: beneficial use of great lakes dredged material. Chicago, Illinois, Great Lake Program Office, 2001.
- 5 南京农学院. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1983.
- 6 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 第一版,北京: 中国环境科学出版社, 1990.8.
- 7 Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 1979,51(7): 844~850.
- 8 Perin G, Fabris R, Manente S. 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. Wat. Res., 1997,31(12): 3017~3028.
- 9 Rosa Galvez-Cloutier, Jean-Sebastien Dube. An evaluation of fresh water sediments contamination: the Lachine Canal sediments case, Montreal, Canada. Part II: Heavy metal particulate speciation study. Water, Air, and Soil Pollution. 1998,102: 281~302.
- 10 中国环境科学南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- 11 赵志强,牛军峰. 环境中有害重金属植物修复的生理机制及进展. 环境科学研究, 2000,13(5):54~57.
- 12 蒋先军,骆永明,赵其国,等. 金属富集植物 Brassica juncea 对铜、锌、镉、铅污染的响应. 见: 重金属污染土壤的植物修复研究 I, 土壤, 2000,32(2):71~74.
- 3 Stec J J, Silbershatz H, Tofler GH m, et al. Association of fibrinogen with cardiovascular risk factors and cardiovascular disease in the Framingham Offspring Population. Circulation, 2000,102(14):1634~1638.
- 4 Goldberg M S, Burnett R T, Brook J, et al. Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montreal, Quebec. Am J Epidemiol, 2001,154(9): 817~826.
- 5 Zanobetti A, Schwartz J. Cardiovascular damage by airborne particles: are diabetics more susceptible? Epidemiology, 2002,13(5):588~592.
- 6 林松柏,宋桂香,周峰,等. 上海市慢性非传染性疾病流行病学趋势研究: 1951-1998 年死亡资料分析. 中华流行病学杂志, 2001,22(4):265~268.
- 7 Bollen K A. Structural equations with latent variables. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- 8 Peters A, Döring A, Wichmann HE, et al. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? Lancet, 1997,349: 1582~1587.
- 9 Seaton A, Soutar A, Crawford V, et al. Particulate air pollution and the blood. Thorax, 1999, 54:1027~1032.
- 10 Ibaldo-Mulli A, Stieber J, Wichmann H E, et al. Effects of air pollution on blood pressure: a population-based approach. Am J Public Health, 2001,91(4):571~577.

责任编辑 钟月华 (收到修改稿日期: 2003-09-24)

责任编辑 王 芬 (收到修改稿日期: 2003-10-22)



NO₂ corresponds to 1.008 (95%CI 1.000—1.016), 1.017 (95%CI 0.998—1.036), and 1.029 (95%CI 1.001—1.057) relative risk of diabetes mortality, respectively in Shanghai. **Conclusions:** The findings provided new evidence for the association between air pollution and acute diabetes mortality risk.

Key words: Air pollution
Diabetes
Mortality
Shanghai

Study on 2-Dimension Hologram Quantitative Structure-Activity Relationship for Substituted Benzenes

Yu Hongxia
Xu Tielian
Wang Liansheng

(School of Environment, Nanjing University,
Nanjing 210093)

In this study, 2-dimension HQSAR analysis technique has been performed on unreactive narcotic compounds, examining the concentration values causing a 50% inhibition of bioluminescence of *Photobacterium phosphoreum* after 15 minutes exposure. HQSAR converts the molecules of a data set into counts of their constituent fragments. These fragment counts are then related to biological data using Partial Least Squares (PLS) analysis. A good relationship between predicted data by HQSAR and observed data were obtained: $-\lg_{\text{pre}}EC_{50} = 0.311 + 0.929(-\lg_{\text{exp}}EC_{50})$ ($n = 13$, $r = 0.964$). Trials on a number of data sets have shown that HASAR could give more accurate results comparable with sophisticated 2D QSAR techniques for evaluation of toxicity effect.

Key words: Hologram quantitative structure-activity relationship
Photobacterium phosphoreum
Toxicity effect Prediction model

Characteristics of Urban Polluted Dredged Materials and Feasibility Study of its Beneficial Use as Greening Vegetative Soil

Shao Liming
He Pinjing
Hong Zuxi

(State Key Laboratory of Pollution Control &
Resources Reuse, Tongji University,
Shanghai 200092)

The outlet of contaminated urban dredged materi-

als is one of environmental issues which Shanghai is confronted with. Beneficial use of the light and medium-contaminated materials as greening vegetative soil is a promising alternative. In order to analyze the feasibility of this kind of beneficial use method, it was experimented and analyzed on the relative physico-chemical properties about plant culture and pollution characteristics caused by heavy metals (the parameters including total content, concentration in the leachate and geochemical speciation) and discussed about the feasibility of beneficial use as greening vegetative soil. Analysis on the properties of dredged materials indicated that medium-contaminated dredged materials possessed high nutrients content easily utilized by vegetables with low cation-exchanging capacity, high total soluble salt with low sodium carbonate and sodium chloride. The total content of heavy metals and heavy metals concentration in the leachate were less than the limited values in the "Control Standards for Pollutants in Sludges for Agricultural Use" (GB4284—84) and "Identification Standard for Hazardous Wastes—Identification for Extraction Procedure Toxicity" (GB5085.3—1996), however, the contents of Pb and Cd in exchangeable status were high (24% and 62% respectively). The analysis result about comprehensive physico-chemical characteristics of dredged materials was that medium-or high-contaminated urban dredged materials in Shanghai has vegetative consistency and could be beneficially used as green vegetative soil. However it was poor in fertilizer-containing ability, so quickly-growing and fertilizer-consuming vegetables should be planted in the initial stages when beneficially used, so as to constrain the loss in vegetative nutrients. The unfavorable environmental effects caused by the extraction of heavy metals, especially those high in exchangeable status, should be prevented with measures such as load control of employed dredged materials.

Key words: Dredged materials
Characteristics of sediment
Vegetative soil
Resource use
Feasibility analysis

Detection of Metal Elements under Effective State of Environment in Soil with Microwave Digestion and ICP-AES

Chen Feng
Liu Fang

(Shanghai Environmental Monitoring Center,
Shanghai 200030)

The traditional digestion for soil is complicated