

# 城市河道疏浚底泥农田应用的初步研究

朱广伟<sup>1</sup>, 陈英旭<sup>1</sup>, 王凤平<sup>1</sup>, 田光明<sup>1</sup>, 周根娣<sup>2</sup>, 俞新华<sup>2</sup>

(1. 浙江大学环境工程系, 浙江 杭州 310029; 2. 杭州市环境保护科学研究所, 浙江 杭州 310005)

**摘要:** 通过青菜盆栽实验等方法研究了运河(杭州段)底泥农田应用对作物的影响。发芽率测定表明, 红壤和水稻土中添加底泥后青菜发芽率明显增高; 盆栽实验表明, 红壤和水稻土中底泥投放量低于  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时青菜长势较对照好, 但底泥用量超过  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时则随底泥用量的增加而下降; 青菜中重金属分析表明, 红壤和水稻土中添加底泥后增加了青菜的重金属含量, 但底泥用量达到  $1500 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时青菜中 Cu、Zn 含量均超过了食品卫生标准。

**关键词:** 底泥; 农田投放; 运河

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-0267(2001)02-0101-03

## Application of Sediment Dredged in Grand Canal on Agriculture (Hangzhou Section)

ZHU Guang-wei<sup>1</sup>, CHEN Ying-xu<sup>1</sup>, WANG Feng-ping<sup>1</sup>,

TIAN Guang-ming<sup>1</sup>, ZHOU Gen-di<sup>2</sup>, YU Xin-hua<sup>2</sup>

(1. Dept. of Environ. Eng., Zhejiang University, Hangzhou 310029 China; 2. Hangzhou Environ. Protection Sci. Institute, Hangzhou 310005 China)

**Abstract:** Effects of dredged from the Grand Canal (Hangzhou Section) on pakchoi were studied using pot experiments. The increasing of germinating rate of pakchoi as the amounts of applied enhanced to soils was observed in the germination index experiment. Application of the sediment to soil promoted the growth of pakchoi at dosage of less than  $600 \text{ ton} \cdot \text{hm}^{-2}$ . When the more was applied, the growth of pakchoi was inhibited. The concentrations of copper and zinc were both increased in pakchoi as the application rate of was enhanced, and the concentrations of the metals exceeded the Food Hygiene Standard if a dosage of above  $1500 \text{ ton} \cdot \text{hm}^{-2}$  was applied on the soil.

**Keywords:** dredged; agricultural application; the Grand Canal

底泥疏浚是城市污染河流治理的有效途径, 而疏浚底泥如何处置则是疏浚能否顺利实施的关键因素。农田应用是较为经济的城市固废处置途径, 而底泥投放农田后可能会释放有机酸、重金属、无机盐等, 对作物的产量和品质产生影响<sup>[1]</sup>。本文以运河(杭州段)待疏浚底泥为例, 通过青菜盆栽等实验方法研究了疏浚底泥农田应用的影响, 为城市河道疏浚底泥的处置提供依据。

## 1 材料与方法

实验土壤用杭州市普遍分布的水稻土和红壤, 实验底泥为有机质含量较高、重金属含量接近污泥农田投放标准上限的运河大关桥河段底泥, 供试作物为青菜(*Brassica chinensis L.*)。底泥和土壤的基本性质如表 1。

将风干、过 2 mm 筛的土壤与底泥分别以相当于

表 1 供试土壤和底泥的基本性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil and sediment used in the test

项目	pH	CEC / $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	有机质 /%	总磷 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Zn / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Cu / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
底泥	6.49	164	37.92	900	584.8	246.37
红壤	4.84	92	1.56	349	—	—
水稻土	5.92	116	3.70	758	—	—

0、300、600、900、1 200、1 500  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的底泥田间投放量混匀。采用  $\Phi 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  塑料花盆, 每盆装混合土 2 kg, 重复 6 次。播种前先将盆中土浇透, 1 d 后加入尿素 + 磷酸氢二钾混合营养液 100 mL, 使每盆施肥量为 N 0.60 g, P 0.20 g, K 0.40 g。每盆播 10 粒青菜种子, 每天浇水 100 mL。出苗后计取出苗率, 5 d 后间苗, 每盆留取长势居中的两株。出苗 20 d 后取平行中的 3 盆, 测定株高、鲜重和干重, 作为青菜苗期生长指标。盆栽 40 d 后收获, 测定青菜最终生长指标。

在  $\Phi 10 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$  的培养皿中铺混合土 1 cm 厚, 加水浸透调匀, 凉至稍干后将表层土捏碎, 播入 50 粒青菜种子, 用一层松软表土略微覆盖, 喷水湿润, 在

收稿日期: 2000-05-14

基金项目: 杭州市环保局资助项目(项目号 9812)

作者简介: 朱广伟(1972—), 男, 浙江大学环境工程系在读博士, 主要从事环境污染模拟与控制研究。

培养箱中 25℃培养 6d, 计取发芽种子的数量。

将青菜 60℃烘干、磨碎、过 40 目筛后, 逆王水 -  $H_2O_2 - H_2SO_4$  分解样品, 原子吸收法测 Cu、Zn 含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 运河底泥对青菜发芽率的影响

各底泥用量下青菜种子发芽率及盆栽试验中的出苗率见表 2。

表 2 青菜发芽率、出苗率与土壤中底泥用量的关系

Table 2 Relationship between germination, seedling rate of pakchoi and the amount of applied on the soil

底泥用量/ $t \cdot hm^{-2}$	0	300	600	900	1 200	1 500	
发芽率/%	红壤	63.3	82.0	88.7	85.0	88.0	78.7
	水稻土	57.3	72.7	72.0	74.3	77.3	78.7
出苗率/%	红壤	60.0	64.0	83.0	83.0	77.0	80.0
	水稻土	40.0	73.0	93.0	95.0	97.0	100

由表 2 可以看出, 红壤和水稻土中添加底泥增加了青菜种子的发芽率和出苗率, 可能与青菜的种属特性有关。不同作物在污泥中的发芽率差别很大, 莫测辉等<sup>[2]</sup>研究发现, 采自广州、深圳、佛山等地的多种类型城市污泥均降低了青菜种子的发芽率, 而同样的污泥绝大多数都提高了菜心种子的发芽率。Roe N E 等人<sup>[3]</sup>通过多种城市固废对西红柿、黄瓜和辣椒种子发芽率的研究也发现, 3 种蔬菜种子在同种污泥中的发芽率差异很大。因而, 尽管运河底泥提高了青菜种子的发芽率, 但并不排除抑制其它作物种子发芽的可能。另外, 红壤中底泥用量超过  $600 t \cdot hm^{-2}$  时发芽率也略呈下降趋势, 推测是由于红壤酸性大, 促进了底泥中有机酸、重金属等有害物质的释放。

### 2.2 运河底泥对青菜苗期生长的影响

青菜出苗 20 d 后不同处理下的青菜鲜重、干重及株高见表 3。从表中可以看出, 底泥用量与青菜生长指标的关系呈“弓”字形。土壤中适量施用运河底泥促进了青菜的生长, 当底泥用量在  $600 t \cdot hm^{-2}$  时青菜的各项生长指标最好。但随着底泥用量的继续增加, 青菜的长势又随之下降。

青菜长势随底泥用量变化的这种趋势反映出底泥中同时存在着促进作物生长的因子和抑制作物生长的因子。由于底泥中含有大量的有机质、有效态的 N、P、K、微量元素等植物营养物质, 底泥施用后土壤肥力提高, 同时施用污泥还可以改善土壤性状, 如容重减小, 代换量、含水量、团聚度、孔隙度增加等<sup>[4]</sup>, 尤其是对耕作性能较差的红壤。因而土壤中适量施用底泥可以促进作物生长。但同时底泥中也含有较多

表 3 苗期青菜生长状况与土壤底泥用量的关系

Table 3 Relationship between growth of pakchoi seedling and the amount of applied on the soil

底泥用量/ $t \cdot hm^{-2}$	0	300	600	900	1 200	1 500	
株鲜重	红壤	15.7	17.8	22.4	13.6	10.6	5.69
	水稻土	14.1	16.0	17.5	11.6	10.8	7.06
株干重	红壤	1.43	1.56	1.84	1.11	0.94	0.57
	水稻土	1.00	1.19	1.26	0.89	0.81	0.73
株高	红壤	9.25	10.2	11.2	9.37	9.08	7.35
	水稻土	5.80	8.09	8.94	8.49	8.09	5.82

无机盐、重金属、有机酸等物质, 对作物 (尤其是相对脆弱的苗期作物) 生长具有抑制作用。另外纯底泥容易发生板结, 也不利于作物根系的生长, 这对于苗期作物的生长具有更明显的影响。

在同样底泥用量下, 青菜在红壤中的长势明显好于水稻土。由表 1 知, 红壤 pH 明显小于水稻土, 而重金属在酸性土壤中的活性更高, 对植物的危害性更大, 由此说明底泥对青菜生长的主要抑制因子可能不是重金属。莫测辉等<sup>[2]</sup>研究中也发现, 在 Cu 含量数倍于土壤环境标准的污泥中, Cu 并不是影响蔬菜种子发芽率的主要原因。同样对于低分子有机酸而言, 在酸性条件下也应当具有更大的毒性, 所以也不象是影响青菜幼苗期生长的主要因子。因此推测运河底泥中影响青菜生长的主要原因是底泥中过高含量的盐离子浓度所致。本实验所用底泥未经堆肥熟化等处理, 因而含有大量的可溶态盐离子, 加上有机质分解释放, 可能会造成土壤中盐分失调, 从而影响青菜的生长。

### 2.3 运河底泥对青菜产量的影响

盆栽 40 d 收获时各处理的青菜鲜重、干重及株高见图 1、图 2。由图 1、2 可见, 收获时青菜的各种生长指标与底泥用量的关系基本与苗期相似, 但生长量最大的处理由  $600 t \cdot hm^{-2}$  变为  $300 t \cdot hm^{-2}$ , 且各个处理间长势的差异明显减小。在实验中也观察到, 青菜生长的后期, 高底泥用量土壤上青菜的生长速度明显大于不加底泥的, 茎叶变得比纯土壤上的更为粗壮厚绿, 处理间的差异缩小。尽管在  $900$ 、 $1 200 t \cdot hm^{-2}$  的底泥用量下青菜的株高仍低于对照, 但其鲜、干重已经超过对照。

青菜长势的这种变化可能是因为经常浇水情况下, 底泥引入的大量游离的无机盐离子下渗, 从而减缓了无机盐过高对青菜生长的抑制作用。同时底泥的肥效优势也表现出来, 促使青菜生长加快。而对纯土壤而言, 长期浇水反而导致了养分相对不足, 尤其是纯红壤中的养分流失更快, 从而生长速度下降。

图 1 收获时底泥用量对青菜生长的影响  
Figure 1 Effects of amount of applied on the growth of pakchoi at harvest

Cripps 等研究也发现<sup>[5]</sup>, 污泥农田应用后在当季对作物的危害最大, 此后其作物毒害性下降很快, 而其肥力作用则逐渐显露出来。

从青菜产量与底泥用量的关系也可以看出, 运河底泥用量在  $300 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时可以明显提高青菜的产量。Ozores - Hampton M 等研究也发现<sup>[6]</sup>, 污水污泥(其作物有毒物质含量远大于运河底泥)在  $48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  用量下均明显提高西红柿、南瓜等蔬菜的产量。但运河底泥过量施用则会影响青菜产量, 降低了底泥增肥、改良土壤所产生的增产效果, 因而从产量角度上看, 运河底泥投放量不宜高于  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由于新鲜污泥对作物的毒性比堆肥腐熟污泥的大<sup>[7]</sup>, 运河底泥在进行充分堆肥腐熟后再农田应用对作物的危害会更小, 投放量还能适当增加。

#### 2.4 运河底泥对青菜重金属含量的影响

青菜是一种对土壤重金属污染相对敏感、富集系数较高的作物, 又是直接食用, 因此, 利用青菜的重金属含量判断底泥的投放量具有一定的可靠性。收获时对青菜中重金属含量测定表明, 青菜中 Pb、Cd 含量均低于分析方法检测限, 青菜中 Cu、Zn 含量分别见表 4。

从表 4 可以看出, 青菜中的 Zn 含量随着底泥用量的增加而增加。与食品卫生标准相比, 当底泥施用量达  $1500 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 青菜中的 Zn 含量已经超标。Cu 的变化规律不很明显, 但  $1200 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  用量以下时, 青菜中 Cu 含量均低于食品卫生标准; 在  $1500 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  用量时, 青菜的 Cu 含量已超过了食品卫生标准。与纯红壤和纯水稻土的对照相比, 纯底泥上生长的青菜中 Zn、Cu 含量增高 1.5—3 倍。因而, 从防止作物重金属污染方面考虑, 在进行农田投放时, 运河底泥的施用量应低于  $1200 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

但是考虑到运河不同河段底泥重金属含量差异较大, 局部底泥中锌、铜含量高达土壤标准 2—3 倍, 而底泥投放后土壤重金属含量应确保低于土壤环境质量标准, 所以运河(杭州段)整段底泥农田应用时不

图 2 收获时底泥用量对青菜株高的影响  
Figure 2 Effects of amount of applied on the height of pakchoi at harvest

表 4 青菜重金属含量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  FW)与底泥用量的关系

Table 4 Relationship between the heavy metal contents in pakchoi ( $\text{mg}/\text{kg}$  in fresh weight) and amount of applied

底泥用量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	0	300	600	900	1200	1500	卫生标准	
Cu	红壤	0.37	0.56	0.63	0.52	0.55	1.1	1.0
	水稻土	0.77	0.88	0.95	0.60	0.64	1.1	GB19199-94
Zn	红壤	8.5	10	14	10	13	28	20
	水稻土	7.5	10	10	11	13	21	GB13106-91

宜超过  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 3 结论

由上可知, 运河疏浚底泥农田应用中对作物的危害比污水污泥等城市固废小, 在施用量较大下仍能提高青菜种子的发芽率, 疏浚底泥对青菜生长的最佳用量在  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。疏浚底泥农田应用后增高了青菜中 Cu、Zn 含量, 在用量为  $1500 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  时青菜中 Cu、Zn 含量均超过了食品卫生标准。结合土壤环境质量和底泥对青菜生长的实验结果认为, 运河底泥农田应用的施用量不宜超过  $600 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

#### 参考文献:

- [1] Schmidt J P. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land - applied sewage sludge[J]. *J Environ Qual*, 1997, 26: 4 - 10.
- [2] 莫测辉, 吴启堂, 周友平, Gaston O C. 城市污泥对作物种子发芽及幼苗生长的初步研究[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(6): 645 - 649.
- [3] Roe N E, Stoffella P J, Graetz D. Composts from various municipal solid waste feedstocks affect vegetable crops. I. Emergence and seedling growth[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1997, 122(3): 427 - 432.
- [4] 郭Ω兰, 米尔芳, 田若涛, 等. 城市污泥和污泥与城市垃圾堆肥的农田施用对土壤性质的影响[J]. *农业环境保护*, 1994, 13(5): 204 - 209.
- [5] Cripps R W, Winfree S K, Reagan J L. Effects of sewage sludge application method on corn production. *Commun[J]. Soil Sci Plant Anal*, 1992, 23(15&16): 1705 - 1715.
- [6] Ozores - Hampton M, Schaffer B, Bryan H H, et al. Nutrient concentrations, growth, and yield of tomato and squash in municipal solid - waste - amended soil[J]. *Hort Science*, 1994, 29(7): 785 - 788.
- [7] Carcía C, Hernández T, Costa F, et al. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination experiments[J]. *J Sci Food Agric*, 1992, 59: 313 - 319.