

# 广州城市污泥化学成分和 农业利用的环境容量\*

温琰茂 韦照韬

(中山大学环境科学系, 广州 510275)

**摘 要** 对广州大坦沙污水处理厂污泥的化学成分进行了分析测定, N, P, K 和有机质的质量分数分别为( $\times 10^{-2}$ )4.28, 2.11, 1.09 和 12.84; Cd, Hg, Cr, Pb, Zn, Cu 的质量分数分别为( $\times 10^{-6}$ )3.98, 1.74, 228, 612, 2257 和 179. 15 和 50 年限以重金属为决定因子的污泥农业利用量为 191 和 183 t/hm<sup>2</sup>·a. 以 N 为决定因子的污泥农业使用量为 8.4 t/hm<sup>2</sup>·a. 根据最小限制因子原则, 该厂污泥的农业使用量为 8.4 t/hm<sup>2</sup>·a.

**关键词** 城市污泥, 化学成分, 农业利用, 环境容量

**分类号** X703

城市污泥是指处理城市生活污水和工业污水过程中产生的固体废弃物, 是城市污水处理厂的经常性产物. 随着城市人口的增加和工业生产的发展, 城市污水排放量迅速增加, 污水处理之后的污泥产量也急剧增加. 如何合理处理城市污泥以避免造成二次污染是一项重要而紧迫的课题.

城市污泥含有丰富的有机质和 N, P 等营养成分, 同时也含有大量的重金属. 国外对城市污泥的处理和综合利用及其对环境的影响作过大量的研究<sup>[1~4]</sup>, 国内也有一些报导<sup>[5~7]</sup>.

城市污泥的农业利用在发达国家比较普遍. 美国污泥的农用比例为 25%(1980), 英国为 45%(1975), 荷兰为 55%(1978), 西德为 45%(1978), 丹麦为 45%(1972), 法国为 23%(1980)<sup>[5]</sup>. 农业中合理使用污泥可使农作物得到养分, 提高土壤的肥力, 并使污泥中的污染物质在土壤系统中分散净化; 但使用不当会造成土壤、地表水和地下水污染, 并通过食物链危害畜、禽及人体健康.

## 1 广州城市污泥的化学成分

1992 年广州市区人口 367 万, 工业产值 710 亿元, 年排放生活污水约 5.5 亿 t, 工业污水约 2.8 亿 t, 大坦沙污水处理厂只处理广州市区污水的 1/6, 年产污泥约 1.5 万 t(湿

\* 罗毓珍, 董汉英, 杨秀环, 刘水福参加了污泥和土壤化学分析工作

收稿日期: 1995-01-23 温琰茂, 男, 54 岁, 副教授

重)。本文样品主要是大坦沙污水处理厂污泥,对比样品是河涌污泥及近郊菜园土、水稻土。污泥及土壤的化学成分测定方法如下:有机质用重铬酸钾法测定;N,P 用浓硫酸、高氯酸消化,前者用蒸馏测定,后者用流动注射分析测定;K,Cr,Pb,Zn 和 Cu,Cr 用浓硝酸、氢氟酸、高氯酸消化后,前者用 ICP-AES 测定,后两元素用火焰原子吸收分光光度计测定;Hg 用浓硫酸、浓硝酸、高锰酸钾消化,冷原子吸收分光光度计测定,测定结果见表 1。

表 1 广州市污泥、土壤化学成分的质量分数

Tab. 1 Chemical composition of sewage sludge and soils in Guangzhou

样 品 (个数)	有机质	N	P	K	Cd	Hg	Cr	Pb	Zn	Cu
	$\times 10^{-2}$		$\times 10^{-2}$					$\times 10^{-6}$		
污 水 厂 污 泥 (1)	12.84	4.28	2.11	1.09	3.98	1.74	228	611.98	2257	179
河涌污泥 (6)	3.87	0.273	0.275	1.63	3.50	0.30	6.54	89.02	329	5.72
菜 园 土 (9)	5.08	0.399	0.289	1.32	3.25	1.13	5.51	120.12	178.56	7.32
水 稻 土 (3)	2.88	0.228	0.143	1.82	3.01	0.43	4.94	101.32	61.58	3.4
广州土壤 背景值 <sup>(8)</sup>	2.6	0.124	0.087	0.6~2.5	0.144	0.161	60.35	47.08	62.04	21.81

从表 1 可以看出,大坦沙污水厂污泥的化学成分有如下特点:① 有机质含量高,分别为广州近郊水稻土、菜园土和广州市土壤背景值中有机质含量的 4.46 倍、2.53 倍和 4.94 倍;② N,P 含量高,N 含量明显高于典型污水厂活性污泥 N 含量(3%)<sup>(8)</sup>,分别为水稻土、菜园土和土壤背景值的 5.41,10.9,34.5 倍。P 的含量与典型污水厂活性污泥 P 含量(2%)近似,分别为广州市近郊水稻土、菜园土和土壤背景值的 14.75,7.3 和 24.3 倍;③ Hg,Cd,Cr,Cu,Zn 含量高,Hg 含量为近郊水稻土和菜园土的 4.05 倍和 1.53 倍,为广州市土壤背景值的 10.8 倍;Cd 含量与近郊水稻土、菜园土的差异不明显,但比广州市土壤背景值高得多,为广州市土壤背景值的 27.6 倍;Cr 含量分别为水稻土、菜园土和土壤背景值的 46.2,41.5,3.78 倍;Cu 含量分别为水稻土、菜园土和土壤背景值的 52.7,24.5,8.2 倍;污水厂污泥 Zn 的含量为水稻土、菜园土和土壤背景值的 36.6,12.6 和 36.4 倍;④ K,Pb 含量不高

广州市大坦沙污水厂污泥的 K,Pb 含量不高,与水稻土、菜园土和土壤背景值中 K,Pb 含量无明显差异。但河涌污泥 Pb 的质量分数很高,达  $611.68 \times 10^{-6}$ ,为污水厂污泥的 6.87 倍,为水稻土、菜园土和土壤背景值 Pb 含量的 6.04,5.09 和 13 倍。河涌污泥 Pb 含量高的原因可能是采样点多靠近马路,受汽车尾气中含 Pb 的气溶胶污染所致。

## 2 污泥农业利用的环境容量

在当今世界能源及其他自然资源危机的情况下,城市污泥农业利用可以节约能源,提高土壤肥力,促进农作物产量的提高,比投海、填埋、焚烧等方法优越,在国内外越来越受到重视。污泥农业利用的关键是污泥农用的土壤环境容量的确定,即土壤对污泥中的重金属和营养元素的容纳能力的确定。为此,本文对广州城市污泥农业利用的重金属决定的环境容量和 N 素决定的环境容量进行探讨。

### 2.1 重金属决定的污泥农用环境容量

2.1.1 土壤重金属元素临界值. 土壤重金属元素临界值是确定土壤环境容量的控制因素. 制定重金属土壤临界值的主要原则是:① 不会对农作物造成毒害而减产;② 农产品的可食部分重金属含量不超过卫生标准;③ 不会污染地表水、地下水和大气环境. 据已有研究<sup>[9]</sup>,土壤中的 Cd,Hg,Pb,Cr,Cu 和 Zn 含量临界值( $\times 10^{-6}$ )分别为 2.0,1.5,500,500,400 和 800.

2.1.2 土壤重金属的环境容量和污泥施用率. 土壤重金属的环境容量,指在一定区域和一定期限内,在土壤临界值范围内容纳污染物质的最大负荷量. 通常应用的土壤环境容量为年容量,即在规定的年限范围内,保证土壤中重金属含量不超过临界值的年最大输入量. 由于污染物在土壤生态系统中的输入与输出是非常复杂的动态过程,计算年容量一般用数学模型<sup>[9]</sup>

$$Q_n = (W_n - W_0 K^n)(1 - K) / [K(1 - K^n)]$$

式中, $Q_n$  为年环境容量, $W_n$  为元素临界值, $W_0$  为背景值, $K$  为残留率. $W_n$  和  $W_0$  的值前面已经给出, $K$  的取值为:一季作物,Cd 0.893,Hg 0.963,Pb 0.896,Zn 0.902,Cu 0.905;一年,Cd 0.797,Hg 0.927,Cr 0.936,Pb 0.803,Zn 0.814,Cu 0.819. 这样计算出的重金属年容量及折合污泥用量的结果见表 2. 因广州城市污泥 Cr,Pb,Cu 的含量水平未达到土壤临界值,在污泥使用时土壤的 Cr,Pb 和 Cu 的含量不会超过土壤临界标准.

表 2 广州市土壤重金属元素环境容量和城市污泥施用量

Tab. 2 The environmental capacity of heavy metals of soil and application rate of sewage sludge

元素	年限 /a	年平均动态容量 / $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	城市污泥施用量 / $\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	元素	年限 /a	年平均动态容量 / $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$
Cd	15	1.184	297	Cr	15	117
	50	1.146	288		50	79.5
Hg	15	0.376	216	Pb	15	286
	50	0.271	156		50	276
Zn	15	430	191	Cu	15	209
	50	414	183		50	199

表 3 N 素决定的污泥使用量

Tab. 3 Application rate of sewage sludge controlled by nitrogen

污泥类别	全 N 含量 /( $\%$ )	有效 N 占全 N 百分比 /( $\%$ )	有效 N 含量 /( $\%$ )	有效 N 临界值 / $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}$	污泥使用率 / $\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$
污水污泥	4.28	50	2.14	180	8.4
河涌污泥	0.275	50	0.138	180	132

从表 2 中可以看出,在土壤重金属决定的城市污泥使用量中,Zn 的污泥施用量是最小的. 根据最小限制因子原则,广州城市污泥 15 年限和 50 年限的施用量分别为 191 和 183  $\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ .

### 2.2 N 素决定的污泥农用环境容量

因为城市污泥有高含量的 N,而农田中施用过量 N,会使农作物贪青倒伏,同时,过量

的 N 还会以硝酸盐的形式随地表水和地下水淋失,造成水体污染.因此,N 也是污泥施用量的重要决定因素.日本就是以 N 来决定城市污泥施用量的<sup>[7]</sup>.

通常,土壤 N 肥的年施用量为纯 N  $180 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ ,污泥中 N 的有效率为 50%<sup>[1]</sup>,因此可算出 N 素决定的污泥施用量为  $8.4 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ (表 3).污泥作为农作物的 N 素来源通常只作基肥,如在农作物生长阶段需补充其他速效 N 源,则污泥施用量需适当减少.

将以重金属元素为决定因子的污泥使用量和以 N 素为决定因子的污泥使用量相比较,根据最小限制因子原则,广州大坦沙污水厂污泥农业施用量应为  $8.4 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ .采用这样的污泥施用量,每年每公顷土壤 Cd, Hg, Zn, Cr, Pb 和 Cu 的施入量分别为 0.033, 0.015, 18.96, 1.92, 0.748 和 1.504 kg,只相当于这些元素 15 年限土壤年容量的 2.8%, 4.0%, 4.4%, 1.6%, 0.3% 和 0.7%.由此可见,广州市城市污泥农用时以 N 为决定因子的污泥施用量对土壤重金属增加的影响是很小的.

### 2.3 施用城市污泥对农作物重金属含量的影响

钟熹光等曾进行大坦沙污水厂污泥直接施入农田的试验<sup>[6]</sup>,施用量  $30 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$  时,芋头和番茄的产量可增加 10%~62%,Cu, Zn, Cr 和 Ni 在芋头中分别增加 49%, 18%, 26% 和 93%,在番茄中分别增加 49%, 33%, 20% 和 54%.除 Cu 外,各重金属在作物体内含量均在南方地区蔬菜的一般含量范围内,且低于国家食品卫生标准,如采用本文推荐的污泥施用量  $8.4 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ ,蔬菜中重金属增加的幅度应小得多.

城市污泥农用在华南是一个新课题,污泥施用后在重金属和 N 素等方面对环境和生态系统的影响应作进一步研究.根据国外污泥农用的研究成果<sup>[4]</sup>,作为起步阶段,城市污泥的农用应局限在牧场、饲料生产用地、荒地复垦、园艺和植树造林方面.污泥农用前必须经过消毒.施用的土壤要作重金属含量的分析测定.近郊的耕作土壤重金属含量较高,以不使用为宜.

## 3 结 语

广州大坦沙污水处理厂污泥有机质和 N, P 等营养成分丰富,但 Hg, Cd, Zn, Cr, Cu 等重金属含量也高.污泥以重金属为决定因子的 15 和 50 年限的农业施用量为 191 和  $183 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ ;以 N 为决定因子的施用量为  $8.4 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ .根据最小限制因子原则,污泥的施用量应为  $8.4 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ .

经消毒处理的城市污泥可用于肥力差的牧场、饲料生产用地、荒地复垦、园艺和植树造林.

## 参 考 文 献

- 1 王宏康.污泥施肥时有毒物质控制标准研究.中国环境科学,1983(5):56~59
- 2 宋敬阳编译.城市污泥的农田施用.国外环境科学技术,1993(3):29~32
- 3 Davis R D, Carlton-Smith C H, Stark J H et al. Distribution of Metals in Grassland Soils Following Surface Applications of Sewage Sludge. Environmental Pollution, 1988, 49(2):99~115
- 4 Robert L Jones, et al. Nitrate in Waters from Sewage-Sludge Amended Lysimeters. Environmental Pol-

- lution, 1988, 51:19~30
- 5 耿嘉斌. 剩余活性污泥农业利用的可行性. 环境保护科学, 1988(1):28~36
  - 6 钟熹光, 林毅, 张纯茹, 等. 城市污泥直接施用农田的生态效应研究初报. 热带亚热带土壤科学, 1992(2):91~98
  - 7 徐颖. 污泥用作农肥处置及其环境影响. 环境污染与防治, 1993(4):24~27
  - 8 林春野, 董克虞, 李萍, 等. 污泥农用对土壤及作物的影响. 农业环境保护, 1994(1):23~25
  - 9 叶嗣宗. 土壤环境背景值在容量计算和环境评价中的应用. 中国环境监测, 1993(3):52~55

## Primary Study on the Composition and Environmental Capacity of Agricultural Application of Municipal Sewage Sludge in Guangzhou

Wen Yanmao\* Wei Zhaotao

**Abstract** The sewage sludge sampling from Datansha sewage treatment plant were analyzed, and the mass fractions ( $\times 10^{-2}$ ) of N, P, K and organic matter are respectively 4.28, 2.11, 1.09 and 12.84%, and those ( $\times 10^{-6}$ ) of Cd, Hg, Cr, Pb, Zn and Cu are respectively 3.98, 1.74, 228, 612, 2257 and 179. According to the environmental capacity of heavy metals, the application rates of sewage sludge are 191 and 183 t/hm<sup>2</sup> · a for 15 and 50 years application term respectively. The application rate of sewage sludge is 8.4 t/hm<sup>2</sup> · a for N environmental capacity.

**Keywords** sewage sludge, chemical composition, agricultural application, environmental capacity

\* Department of Environmental Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275