植物对污泥的响应及其根系对重金属的活化作用

刘秀梅¹, 聂俊华¹, 王庆仁²

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 采用温室盆栽试验, 对生长于污泥中的几种耐性植物遏蓝菜属 (*Thlaspi goesingense*)、羽叶鬼针草 (*Bidens maximowicziana* Oett)、酸模 (*Rumex acetosa* L.)、紫苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 和印度芥菜 (*Indian mustard*) 的植物干重、体内重金属 (Cu、Zn、Pb、Cd) 的含量、叶片中叶绿素含量和植物根系对重金属的活化率做了研究。结果表明, 生长于污泥中的植物其干重比对照均有不同程度的增加, 其中羽叶鬼针草与对照相比差异极显著; 不同植物对不同重金属的吸收量亦不同; 各种植物叶片中的叶绿素含量变化不同, 与对照相比, 差异不显著; 遏蓝菜对 Cu、Zn 的活化率最高, 印度芥菜对 Cd 的活化率最高。

关键词: 污泥; 重金属; 响应; 活化作用

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 1000-0267(2002)05-0447-03

Response of Plants on Biosolids and Activated Impact of Plant Roots on Heavy Metals

LIU Xiu-mei¹, NIE Jun-hua¹, WANG Qing-ren²

(1 Resource and Environmental College of Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: To study the improvement of plants on biosolids and the activated impact of plant roots on heavy metals, a test was conducted in green-house. The study researched the following parameters: dry weights of plants, contents of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd) and chlrophyll in plants, and the activated ratios of plant roots on heavy metal. The results showed that the dry weights of all the plants cultivated in biosolids increased compared with control sample, and the difference between *Bidens maximowicziana* Oett and control sample was extremely significant. The uptake contents of heavy metals and chlrophyll contents in different plants were found to be different, and the difference of chlrophyll contents among different plants was subtle compared with the control. Additionally, the activated ratios of Cu and Zn in *Thlaspi goesingense* were the highest, and so was Cd in *Indian mustard*.

Keywords: Biosolids, heavy metal, response, activated impact

污泥来源于各种工业和生活污水, 含有大量的有机质和植物所需要的营养成分, 适宜植物生长, 可以改良土壤的物理性状, 作为一种植物的生长介质被用于农业生产^[1,2]。对此, 很多学者做了大量的研究工作^[3-5]。但污泥中的有害物质, 特别是其中的重金属由于具有难迁移、易富集、危害大等特点, 一直是限制农业利用的最主要因素^[4,5]。在自然界的自然种群中, 存在着对重金属具有超富集作用或具有耐性的植物种类^[6,7], 利用这些植物来改良治理污泥, 将污泥中过量的重金属移出土体, 可达到综合整治污泥的效果。

遏蓝菜属 (*Thlaspi goesingense*)、羽叶鬼针草 (*Bidens maximowicziana* Oett)、酸模 (*Rumex acetosa* L.)、紫苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 和印度芥菜 (*Indian*

mustard) 是选自铅锌尾矿废弃地的自然物种, 对各种重金属必然有不同程度的耐性。本文研究了以上 5 种植物对污泥的响应, 测定了植株的干重、4 种主要重金属 (Cu、Zn、Pb、Cd) 在植物体内的含量、植株叶片中叶绿素的含量及植物根系对污泥中主要重金属的活化率, 为利用乡土植物改良污泥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料处理

污泥为北京西郊小月河的混流污水污泥, 对照土壤为棕壤, 所用污泥和土壤的主要养分和重金属含量见表 1 和表 2。

采用温室盆栽试验, 土壤和污泥风干后过 2 mm 筛, 每 500 g 装盆。设污泥和土壤两个处理, 每一处理 3 个重复。培养 50 d 后, 收获植株并进行分析和测定。

收稿日期: 2001-11-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX2-401-1)

作者简介: 刘秀梅 (1974-), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事土壤污染防治与农业生态环境方面的研究。

表1 污泥和对照土壤的主要养分和性状

Table 1 Physical and chemical properties of biosolids and control sample

	pH	OM /%	全量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$			速效态/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
对照土壤	6.4	1.45	4.1	2.5	28.0	113.6	76.1	130.9
污泥	7.8	22.37	7.8	4.7	17.6	302.4	341.3	284.5

表2 污泥和对照土壤主要重金属含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 2 The contents of main heavy metals in biosolids and control sample ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	Cu	Zn	Pb	Cd
对照土壤	29.52	118.01	29.17	0.097
污泥全量	290.27	1 182.86	249.41	1.25
EDTA 浸提态	26.93	295.92	22.53	0.23

1.2 分析方法

植物收获后洗净尘土, 105 °C 杀青 30 min, 然后烘干、磨碎; 取植株根系周围污泥风干、研磨后过 2 mm 筛。

重金属元素全量的测定: 高压闷罐法。准确称量 0.100 00 g 样品, 加入 3 mL 浓 HNO₃ 溶液放置过夜, 加入 1 mL HF 酸, 1 mL HClO₄ 酸, 180 °C 恒温 8 h 高压闷罐提取, 然后用 Z-6100 型火焰原子吸收测定。单位为 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

EDTA 提取态元素的测定: 0.05 mol · L⁻¹ EDTA (pH7.0), 1:5 土液比, 120 r · min⁻¹ 振荡 1 h, 3 500 r · min⁻¹ 离心 10 min, 慢速滤纸过滤, 然后用 Z-6100 型火焰原子吸收测定。单位为 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

叶绿素含量的测定: 酒精和丙酮混合液提取, 分光光度计测定。

植物根系对重金属的活化率 $\eta(\%) =$ 种植后根

系污泥中 EDTA 提取态重金属含量/种植前污泥中 EDTA 提取态重金属含量。

2 结果与分析

2.1 污泥对不同植物干重的影响

表 3 是污泥对不同植物干重的影响。从表中可以看出, 生长介质为污泥的 5 种植物干重均高于对照, 说明污泥能促进植物的生长, 增加生物量。特别是遏蓝菜和羽叶鬼针草干重与对照相比, 达显著水平 ($P < 0.05$)。从生长状态来看, 生长于污泥中的此两种植物植株高大, 茎秆粗壮, 叶片肥大; 其它 3 种植物差异不显著。

2.2 不同植株中重金属的含量

表 4 是选自尾矿区的 5 种优势植物对重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 的吸收状况。从表中可以看出, 遏蓝菜植株体内 Cu、Zn、Pb 的含量与对照相比, 达极显著水平 ($P < 0.01$), 说明遏蓝菜能富集重金属元素 Cu、Zn、Pb。羽叶鬼针草对 Pb、Cd 的吸收达极显著水平 ($P < 0.01$)。酸模对 Zn、Pb 的吸收与对照相比亦达极显著水平 ($P < 0.01$)。紫苜蓿对 Pb、印度芥菜对 Cd 的吸收均达极显著水平 ($P < 0.01$)。

由表 4 还可以看出, 此 5 种植物对 Cu 的吸收顺序是遏蓝菜 > 羽叶鬼针草 > 酸模 > 紫苜蓿 > 印度芥菜; 对 Zn 的吸收顺序是遏蓝菜 > 酸模 > 印度芥菜 > 羽叶鬼针草 > 紫苜蓿; 对 Pb 的吸收顺序是遏蓝菜 > 羽叶鬼针草 > 印度芥菜 > 酸模 > 紫苜蓿; 对 Cd 的吸收顺序是羽叶鬼针草 > 遏蓝菜 > 印度芥菜 > 酸模 > 紫苜蓿。

2.3 不同植株中叶绿素的含量

表3 污泥对不同植物干重的影响 ($\text{g} \cdot 100 \text{棵}^{-1}$)

Table 3 Effect of biosolids on dry weights of different plants

处理	遏蓝菜	鬼针草	酸模	紫花苜蓿	印度芥菜
对照土壤	3.92 ± 0.02	5.29 ± 0.09	3.21 ± 0.17	1.58 ± 0.20	6.01 ± 0.34
污泥	5.04 ± 0.03*	8.65 ± 0.12*	4.54 ± 0.23	2.13 ± 0.16	7.72 ± 0.41

注: 用 t 检验比较同种植物生长在不同介质中的差异性显著程度: * 为差异显著 ($P < 0.05$)。

表4 不同植株中重金属的含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 4 The contents of heavy metals in different plants ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

重金属	遏蓝菜		鬼针草		酸模		紫苜蓿		印度芥菜	
	土壤	污泥	土壤	污泥	土壤	污泥	土壤	污泥	土壤	污泥
Cu	7.12	61.87**	6.54	50.33*	5.97	47.62*	4.57	35.76	3.92	19.00
Zn	60.07	1 983.83**	58.47	838.75*	71.62	1 149.46**	43.03	737.18**	58.03	867.30*
Pb	5.41	723.045**	4.53	698.05**	2.80	348.01**	2.01	273.58**	4.36	682.59*
Cd	2.01	10.79	1.80	12.97*	0.83	5.22	0.57	3.37	1.54	9.89**

注: 用 t 检验比较生长在不同介质中一种植物的同项指标的差异性显著程度: * 为差异显著 ($P < 0.05$), ** 为差异极显著 ($P < 0.01$)。

光合作用是植物生产的原动力,任何影响作物生理活动因素必然影响光合过程,叶绿素的含量则是影响光合作用的物质基础^[8]。从表 5 可以看出,紫苜蓿和印度芥菜叶片中的叶绿素含量降低,说明受到某种或某些重金属的毒害,生理代谢作用受阻,但没有显著差异,换句话说,污泥介质不会明显降低植株叶片中的叶绿素含量。从表 5 的数据还可以看出,生长于污泥中的遏蓝菜、酸模和羽叶鬼针草叶片中的叶绿素含量均高于对照,从植物的生长状况来看,叶片鲜绿、肥厚,植株生长旺盛。说明污泥能促进其生理代谢活动。但 3 种植物处理之间在统计上没有显著差异。

表 5 不同植株中叶绿素的含量(mg · g⁻¹FW)

Table 5 The contents of chlorophyll in different plants(mg · g⁻¹FW)

处理	遏蓝菜	羽叶鬼针草	酸模	紫花苜蓿	印度芥菜
土壤	3.51 ± 0.29	3.41 ± 0.18	3.27 ± 0.42	3.02 ± 0.47	3.43 ± 0.49
污泥	3.65 ± 0.31	3.72 ± 0.25	3.30 ± 0.21	2.91 ± 0.53	3.20 ± 0.78

表 6 植物对重金属的活化率 η(%)

Table 6 The activated ratios of heavy metals on different plants

重金属的 η	遏蓝菜	羽叶鬼针草	酸模	紫花苜蓿	印度芥菜
η(Cu)	2.74 ± 0.19	2.63 ± 0.33	1.57 ± 0.26	1.37 ± 0.10	1.41 ± 0.09
η(Zn)	3.56 ± 0.41	1.80 ± 0.15	2.55 ± 0.24	2.01 ± 0.11	2.27 ± 0.16
η(Pb)	1.32 ± 0.17	1.28 ± 0.26	1.19 ± 0.13	1.01 ± 0.07	1.16 ± 0.15
η(Cd)	1.24 ± 0.12	1.51 ± 0.17	1.11 ± 0.08	0.98 ± 0.08	2.17 ± 0.20

注:植物根系对重金属的活化率 η(%) = 种植后根系污泥中 EDTA 提取态重金属含量 / 种植前污泥中 EDTA 提取态重金属含量

对于 Pb、Cd 的活化率,说明 Cu、Zn 的移动性高于 Pb 和 Cd。

比较表 4 和表 6 还可以得出一个结论:各种植物对不同重金属的活化率与植物对重金属的吸收有相同趋势。

3 结论

(1) 污泥能促进植物的生长,增加生物量。

(2) 遏蓝菜能富集重金属元素 Cu、Zn、Pb;羽叶鬼针草对 Pb、Cd 具有富集作用;酸模对 Zn、Pb,印度芥菜对 Cd 均有显著的富集作用。

(3) 生长于污泥中的紫苜蓿和印度芥菜叶片中的叶绿素含量降低,说明受到某种或某些重金属的毒害,生理代谢作用受阻,但没有显著差异。但污泥能促进遏蓝菜、酸模和羽叶鬼针草的代谢活动,其叶片中的叶绿素含量均高于对照。

(4) 各种植物根系对 4 种重金属均有不同程度的活化作用。其中,遏蓝菜对 Cu 和 Zn 的活化率最大;印度芥菜对 Cd 的活化率最高;对 Pb 的活化率,各种植

2.4 植物根系对重金属的活化率 η

在植物生长过程中,根系不仅从环境中摄取养分和水分,同时也向生长介质中分泌大量的有机酸,它们对介质中的重金属元素具有活化能力^[9-11],其机制主要是引起根际的 pH 值变化,对介质中的重金属产生活化效应,影响重金属元素的生物有效性。从表 6 可以看出,各种植物根系对 4 种重金属均有不同程度的活化作用。其中,遏蓝菜对 Cu 和 Zn 的活化率最大,分别为 2.74%、3.56%,其次是羽叶鬼针草和酸模。印度芥菜对 Cd 的活化率最高,为 2.17%,其它植物均在 1.1% 左右,可能是由于 Cd 与 Zn 之间的拮抗作用而使得植物对 Cd 的吸收降低,其原因有待进一步研究。对 Pb 的活化率,各种植物之间差别不大,均在 1.0% 左右变化,说明 Pb 是一种极难移动的元素,这与骆永明和杨仁斌的结论相同^[12-14]。

从表 6 中还可以看出,植物对 Cu、Zn 的活化率高

物之间差别不大,均在 1.0% 左右变化。

(5) 植物对 Cu、Zn 的活化率高于对 Pb、Cd 的活化率。

(6) 各种植物对不同重金属的活化率与植物对重金属的吸收有相同趋势。

参考文献:

- [1] 欧阳喜辉,崔晶. 长期施用污泥对农田土壤和农作物影响的研究[J]. 农业环境保护,1994,13(6):271-274.
- [2] 周立祥. 城市生活污水农田利用对土壤肥力性状的影响[J]. 土壤通报,1994,25(3):126-129.
- [3] 史崇文,郭娟兰. 污水污泥的农业利用[J]. 世界农业,1994,(5):37-39.
- [4] 周立祥. 城市污泥土地利用研究[J]. 生态学报,1999,19(2):158-193.
- [5] 林春野. 污泥农用对土壤及作物的影响[J]. 农业环境保护,1994,13(1):23-25.
- [6] Jaffér T, Reeves R D and Becquer T (Eds). The Ecology of Ultramafic and Metalliferous Areas (Proc. Second Intern. Conf. on Serpentine Ecology, Noumea, New Caledonia, July 31 - Aug. 5, 1995), 1997. ORSTOM, New Caledonia.
- [7] Jaffér T, Brooks R R, Lee J, et al. *Sebertia acuminata*: A hyperaccumu-