

# 污泥堆肥对迎春和紫穗槐生长的影响及其施用量确定

尚虹<sup>1</sup>, 谭国栋<sup>1</sup>, 张灿<sup>1</sup>, 周海浩<sup>1</sup>, 李文忠<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100048)

**摘要:** 采用盆栽土培试验的方法, 研究了污泥堆肥对水土保持措施常用植物迎春 (*Jasminum nudiflorum*) 和紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*) 生长的影响。结果表明, 迎春和紫穗槐在污泥堆肥施用比例分别为栽培土量的 0~5% 和 0~10% 时, 株高、冠幅及植物干重均随污泥堆肥施用比例的增加而增加。施用适量的污泥堆肥有利于植物的生长。并根据重金属不同形态的环境风险引入毒性响应系数, 最终确定了北京市通州区污泥堆肥合理施用量为 3.62 t/(hm<sup>2</sup>·a)。

**关键词:** 污泥堆肥; 重金属; 施用量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0215-03

中图分类号: X703

## Effects of Sewage Sludge Compost on Growth of *Jasminum Nudiflorum* and *Amorpha Fruticosa* and Determination of Application Rate

SHANG Hong<sup>1</sup>, TAN Guo-dong<sup>1</sup>, ZHANG Can<sup>1</sup>, ZHOU Hai-hao<sup>1</sup>, LI Wen-zhong<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China)

**Abstract:** The effects of sewage sludge compost on the growth of *Jasminum nudiflorum* and *Amorpha fruticosa*, two widely-used plants in soil and water conservation, were studied with the pot experiments. The results showed that the plant height, crown width and biomass increased gradually with sludge compost application ratio within the range of 0~5% for *Jasminum nudiflorum* or 0~10% for *Amorpha fruticosa*. The application of appropriate percentage of sewage sludge compost was helpful for the growth of plants. According to toxic response factor of different forms of heavy metals, rational application rate of sewage sludge compost in Tongzhou District was determined as 3.62 t/(hm<sup>2</sup>·a).

**Keywords:** sewage sludge compost; *Jasminum nudiflorum*; *Amorpha fruticosa*; heavy metal; application rate

污泥是城市污水处理厂在各级污水处理净化后所产生的含水量为 75%~99% 的固体或流体状物质。污泥中含有大量对植物生长有利的营养物质、氮、磷、钾及各种微量元素, 同时也含有大量的病原体、寄生虫(卵)、重金属和多种有毒有害的有机污染物<sup>[1]</sup>。经堆肥化处理, 植物可利用形态养分增加, 重金属的生物有效性减小<sup>[2]</sup>, 并且可有效地杀灭其中病原菌和寄生虫卵, 但不能去除污泥中的重金属。因此, 污泥堆肥施用过程中重金属易在土壤和作物体内积累, 从而成为其土地利用最主要的限制因素<sup>[3]</sup>。当污泥所含的重金属、病原体或毒性有机物超过一定标准时, 它将对土壤产生污染甚至长期危害, 并有可能通过食物链影响动物和人类的身体健康, 对生态系统产生严重影响。因此, 污泥堆肥林用成为近年来的研

究热点, 这是一种较为理想的处置方式, 它不仅可避开食物链, 减少污泥运输费用, 节约化肥, 而且还可利用园林植物对某些重金属的高富集特性, 实现土壤重金属污染的绿色修复<sup>[4]</sup>。以往的研究较多侧重于将污泥堆肥利用于园林绿化植物, 较少对将污泥堆肥用于北京地区水土保持常用植物, 因此为了研究污泥堆肥对水土保持常用植物的生长影响, 选取北京地区水土保持措施中应用较多的灌木——迎春、紫穗槐为材料, 研究污泥堆肥施用对其生长的影响, 并采用 Sposito 顺序浸提法浸提污泥堆肥, 根据堆肥中不同形态的重金属对土地产生毒性影响的可能性不同, 通过公式计算土地对各种重金属的最大承受能力, 以期北京市城市污水厂污泥堆肥将来在水土保持方面的应用提供一定的理论指导和技术支持。

收稿日期: 2011-01-12

修回日期: 2011-01-19

资助项目: 北京市科委“北京市污泥无害化处理与资源化利用关键技术研究及示范”(Z09040900930903)

作者简介: 尚虹(1987—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 硕士研究生, 主要研究方向为流域管理。E-mail: shanghong6666@126.com。

通信作者: 谭国栋(1963—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士研究生, 主要研究方向为流域管理。E-mail: tanguodong@263.net。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

背景土壤:北京市通州区普通土壤表土,以潮土为主,表土呈灰棕色或暗灰棕色,土质疏松,颗粒均

匀,不需碾磨。污泥堆肥:北京市城市污水处理厂脱水污泥样品经过堆肥化处理并风干后过 20 目筛。供试的表土及污泥堆肥中的重金属含量见表 1。供试植物:选取北京市水土保持措施中常用植物迎春和紫穗槐一年生幼株(表 2)。

表 1 污泥堆肥及表土的重金属含量

项目	Zn	Cu	Ni	Pb	Hg	Cd	Cr	As
表土	35.1	8.85	15.9	13.6	< 0.01	0.119	52.4	4.10
堆肥	454.0	102.00	20.6	25.9	4.45	10.460	55.1	10.60

表 2 迎春及紫穗槐幼株的生物指标

植物种类	株高/cm	冠幅/cm	地径/cm
迎春	30.0	12	3.50
紫穗槐	50.5	15	9.05

### 1.2 试验方法

1.2.1 堆肥对照试验 设计 4 个水平堆肥处理试验:按堆肥污泥在混合土壤中的干重比分别为 0, 5%, 10%, 15% 进行混配,得到 4 份对应的混配土壤,对应的土壤容重分别为 1.37, 1.30, 1.26, 1.21 和 1.15。种植试验选用口径为 15 cm,高为 20 cm 的塑料花盆,每盆装 1.0 kg 混配土,选取生长条件相同,生长时间相同,长势相同的迎春及紫穗槐幼株分别植入盆中,每盆 3 株,每组试验做 3 次重复。试验周期为 3 个月(2010 年 5 月 20 日至 8 月 20 日)。在植物生长过程中,根据盆栽的水分蒸散情况定量补充水分,以充分保证植物生长的水分要求。观测试验期内幼株的成活率,种植 3 个月后收割,然后采集植物样品,风干,称重测定其生物量。

1.2.2 重金属形态分析 采用 Sposito 顺序浸提法<sup>[5]</sup>浸提堆肥样品。取得提取液后分别采用原子吸收分光光度计测定浸提液中 Zn, Cu, Ni, Pb, Cd; 采用分光光度法测定 Cr 和 As; Hg 采用冷原子荧光法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 施用污泥堆肥对迎春和紫穗槐生长的影响

不同施用比例污泥堆肥对紫穗槐和迎春幼株成活率和植株生长的影响情况如表 3 所示。由表 3 可知,对于迎春,当不施用污泥堆肥时,幼株的成活率为 100%;当污泥堆肥施用比例为 5% 时,幼株成活率为 96%,同时株高、冠幅和干重都有了显著的升高;当污泥堆肥施用比例为 10% 时,幼株成活率明显下降,仅为 40%,同时株高、冠幅及干重也有了显著的降低;当污泥堆肥施用比例为 15% 时,迎春幼株全部死亡。

对于紫穗槐,当不施用污泥堆肥时,幼株成活率为 100%;当污泥堆肥施用比例为 5% 时,幼株成活率为 98%,成活下来的幼株的株高、冠幅和干重都有了显著的升高;当污泥堆肥施用比例为 10% 时,幼株成活率为 94%,株高、冠幅和干重都继续增高,表现出了良好的生长响应;当污泥施用比例为 15% 时,幼株的成活率明显下降,仅为 30%,并且成活下来的幼株的株高、冠幅和干重也都有了显著降低。

表 3 不同比例堆肥污泥的施用对迎春和紫穗槐的影响

植物种类	施用比例/%	成活率/%	株高/cm	冠幅/cm	干重/mg
迎春	0	100	66	40	25.16
	5	96	123	81	45.50
	10	40	96	42	27.30
	15	0			
紫穗槐	0	100	70	51	27.33
	5	98	129	78	52.20
	10	94	140	129	60.05
	15	30	62	30	22.80

结果表明,当对迎春的污泥堆肥施用比例在 0% ~ 5% 范围内时,成活率略有下降,株高、冠幅和干重随污泥堆肥施用量的增加而升高到最大值;当施用比例在 5% ~ 10% 范围时,成活率大幅下降,株高、冠幅和干重都随污泥堆肥施用量的增加而持续降低;当施用比例在 10% ~ 15% 范围时,成活率由 40% 下降到 0;从以上趋势中可知:迎春以 5% 污泥堆肥施用比例效果最好,此时幼株成活率、株高、冠幅长和干重均达到最大值。当对紫穗槐的污泥堆肥施用比例在 0% ~ 5% 范围内时,成活率略有下降,株高、冠幅和干重随污泥堆肥施用量的增加而升高;当施用比例在 5% ~ 10% 范围内时,成活率继续略有下降,株高、冠幅和干重随污泥堆肥施用量的增加而继续升高到最大值;当污泥堆肥施用比例在 10% ~ 15% 范围内时,成活率大幅下降到 30%,株高、冠幅和干重随污泥堆肥施

用量的增加而大幅降低;说明紫穗槐以 10% 污泥堆肥施用比例效果最好,此时紫穗槐幼株成活率、株高、冠幅长和干重均达到最大值。

## 2.2 污泥堆肥施用量的确定

采用 Sposito 顺序浸提法浸提堆肥样品,得到的其重金属各种形态分析结果见表 4。由表 4 可以看出,土壤中重金属的迁移性和植物毒性主要取决于重金属的形态分布,而不只是其总量<sup>[6]</sup>。采用 Sposito 顺序浸提法浸提堆肥样品后得到的重金属存在的形态有 6 种,分别为交换态、吸附态、有机结合态、碳酸盐结合态、硫化物结合态以及残渣态,这 6 种不同形态的重金属均表现出了不同的生物毒性和环境行为。可交换态和吸附态重金属是位于黏粒矿物或腐殖质等活性组分的交换位上,对植物的有效性或活性较

大,是最易被作物吸收的形态;碳酸盐结合态是由矿物迁移所致,对 pH 值的变化较敏感,在酸性条件下易溶解释放,对作物的生物有效性也较大;硫化物及有机结合态主要包括重金属硫化物沉淀及有机质中各官能团与之结合的部分即有机质所固定的部分,通常情况下不参与对植物的供给,是相对稳定的形态;进入黏土矿物晶格内部的重金属,不被植物吸收,其含量不随环境条件变化而变化,是生物最难以利用的形态<sup>[7-8]</sup>。因此,按照不同形态重金属的环境风险大小引入毒性响应系数确定污泥堆肥施用量更为合理。按照不同形态重金属的生物效应,初步确定可交换态和吸附态毒性响应系数为 5,碳酸盐结合态毒性响应系数为 4,有机结合态毒性响应系数为 3,硫化物毒性响应系数为 2,残渣态毒性响应系数为 1<sup>[6]</sup>。

表 4 堆肥污泥中重金属形态分布

重金属形态	Zn	Cu	Ni	Pb	Hg	Cd	Cr	As
交换态	12.56	4.56	0.85	0.44	< 0.010	1.39	0.50	0.52
吸附态	8.22	1.25	0.34	0.06	< 0.010	0.27	0.55	0.40
有机结合态	138.93	33.30	10.10	15.30	3.650	5.30	8.50	0.80
碳酸盐结合态	91.18	1.60	1.66	1.85	< 0.010	0.20	4.50	1.13
硫化物残渣	187.90	59.00	6.46	7.56	< 0.010	2.80	36.00	0.35
残渣态	15.21	2.29	1.19	0.69	0.800	0.50	5.05	7.40
重金属总量	454.00	102.00	20.60	25.90	4.450	10.46	55.10	10.60
污泥农用标准	1 000.00	500.00	200.00	1 000.00	15.000	20.00	1 000.00	75.00

根据土壤环境质量标准、土壤中重金属的背景含量、重金属残留率可以确定污泥堆肥在土壤中的施用量。北京市通州地区土壤为弱碱性,污泥堆肥在园林绿化等非耕地施用,可参考土壤环境质量三级标准<sup>[9]</sup>和污泥在碱性土壤上施用时污染物控制标准<sup>[10]</sup>。污泥堆肥施用量公式为:

$$m = \frac{M(C_s - C_0)}{Ng \sum C_i W_i}$$

式中:  $C_i$  ——重金属第  $i$  种形态的含量;  $W_i$  ——重金属第  $i$  种形态对应的毒性响应系数;  $N$  ——污泥施用年限;  $C_s$  ——土地质量三级标准;  $C_0$  ——土壤背景值;  $M$  ——每  $1 \text{ hm}^2$  土壤表层 0—20 cm 土壤总质量(约为  $2.30 \times 10^6 \text{ kg}$ );  $g$  ——重金属在土壤中的残留率,取 90%。

根据公式,可以分别算出 8 种重金属分别控制下的堆肥施用量(表 5)。从表 5 中可以看出,连续施用污泥堆肥 20 a 后,要使土壤中重金属含量满足土壤三级质量标准的要求,必须保证每种重金属的含量都满足,即允许堆肥施用量要取所有值中的最小值,在表 5 中即为 Cd 的允许施用量,  $3.62 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。表明北京市土地污泥堆肥施用量的控制元素是 Cd,这也和 Cd 经过堆肥后生物活性增强有关。

表 5 污泥堆肥的施用量

重金 属种类	三级质量标准/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	背景值/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	农用标准/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	施用量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )
Zn	500	35.10	1 000	46.50
Cu	400	8.85	500	195.50
Ni	200	15.90	200	412.50
Pb	500	13.60	1 000	867.90
Hg	1.5	< 0.01	15	16.30
Cd	1.0	0.12	20	3.62
Cr	300	52.40	1 000	251.40
As	30	4.10	75	168.70

注:堆肥施用量均以单一重金属含量为参考,假定连续施用时间为 20 a。

## 3 结论

(1) 将污泥堆肥和土壤表土以适当的百分比混合施用后,迎春和紫穗槐获得了良好的生长响应。表明将污泥堆肥用于水保植物措施既可以缓解越来越尖锐的城市生活污水污泥处理问题,还可以为植物提供丰富的营养物质,促进植物的生长。

(下转第 222 页)

经济增长的同时,要严格控制非农建设占用耕地,控制耕地资源利用的审批制度,提高土地利用效率才是落实目前“保经济增长、保耕地红线”的关键。要严格执行国家计划生育等相关政策,控制人口数量、提高人口素质、优化人口结构、促进人口合理分布,以缓解人口过快增长对耕地的压力<sup>[9]</sup>,着力提高人力资本和劳动者素质对经济增长的贡献率,努力将毕节地区人口多的压力转化为人力资源丰富的优势;同时加强法制教育,增强人们珍惜土地和保护耕地的意识。

(4) 建议加强耕地保护,减少耕地流失。做好耕地保护与区域发展的协调工作。在配置土地资源和调整土地结构与布局时,应坚持耕地优先保证的原则。加大农业基础设施投资,采取土地整治等综合措施防止耕地退化,改善耕地生态环境,从而防止由水土流失、盐碱化和工业等污染带来的耕地减少问题。

(5) 耕地资源的动态变化是社会经济发展、自然条件和政策等因素共同作用的结果,本研究仅对耕地数量变化与城镇化率、经济增长的关系进行了定量分析,对于自然条件和政策等以外因素对耕地数量变化的影响还有待于进一步研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 刘海灵,潘剑君,刘兆德.山东省耕地变化与人口增长及

经济发展间的关系初探[J].中国农学通报,2007,23(1):123-127.

[2] 肖蓉,王雷,夏建围.川西南山区耕地面积变化及社会经济驱动力分析[J].中国农业资源与区划,2008,29(5):2-7.

[3] 杨桂山.长江三角洲近50年来耕地数量变化的过程与驱动机制[J].自然资源学报,2001,16(2):121-127.

[4] 王建林.近20年来西藏耕地与人口变化相关分析[J].资源科学,2004,26(1):45-50.

[5] 王雨濛.湖北省耕地变化与社会经济因素的实证分析[J].中国人口·资源环境,2010,20(7):107-110.

[6] 李旭东.贵州省人口增长及经济发展对耕地资源的影响实证研究[J].安徽农业科学,2010,38(14):7712-7716.

[7] 徐显芬.浅议毕节地区生态环境建设[J].贵州林业科技,2003(2):61-62.

[8] 贵州统计局.贵州统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009.

[9] 洪业应,陈景信.区域人口—粮食—耕地的协调可持续发展:以贵州省毕节地区为例[J].中国人口·资源与环境,2010,20(专刊):32-36.

[10] 邵晓梅,杨勤业,张洪业.山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J].地理研究,2001,20(3):298-305.

[11] 高祥宝,董寒青.数据分析与SPSS应用[M].北京:清华大学出版社,2007:220-227.

[12] 胡贤辉,杨钢桥.江汉平原耕地数量变化驱动机制分析[J].中国人口·资源与环境,2005,15(1):32-35.

京:化学工业出版社,2007:147-153.

[3] 王新,陈涛,梁仁禄,等.污泥土地利用对农作物及土壤的影响研究[J].应用生态学报,2002,13(2):163-166.

[4] Ana F, Mercedes L, Jose S, et al. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilized sewage sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 2004,108:161-165.

[5] 孙西宁,张增强,张永涛,等.污泥堆肥过程中重金属的形态变化研究:Sposito浸提法[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2339-2344.

[6] 康军,张增强,孙西宁,等.污泥堆肥合理施用量确定方法[J].农业机械学报,2010,41(6):100-101.

[7] 孙颖,桂长华.污泥堆肥化对重金属生物可利用性的影响[J].重庆建筑大学学报,2007,29(3):111-112.

[8] 任福民,周玉松,牛牧晨,等.污泥中的重金属特性分析和生态风险评价[J].北京交通大学学报,2007,31(1):103-104.

[9] 国家环境保护局. GB15618—1995 土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.

[10] 国家环境保护局. GB 4284—1984 农用污泥中污染物控制标准[S].北京:中国标准出版社,1984.

(上接第217页)

(2) 不同植物由于对养分需求和重金属等有害物质的耐受力不同,因此污泥堆肥施用最佳比例因植物而异。通过本研究可以得出,迎春和紫穗槐分别在污泥堆肥施用比例为5%和10%时,幼株成活率、株高、冠幅及干重均达到最大。

(3) 根据重金属不同形态引入毒性响应系数,初步确定北京市通州区污泥堆肥施用量为3.62 t/(hm<sup>2</sup>·a)。但是目前关于重金属不同形态的毒性系数的研究不多,所以更加准确的毒性系数还有待于今后更深层的研究。

(4) 重金属是限制污泥土地利用的最主要因素,一旦施用量,将造成土壤重金属污染,并且将对地下水产生严重威胁。重金属污染基本上是个不可逆的过程,所以建议对于污泥堆肥的施用一定要严格控制。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 李鸿江,顾莹莹,赵由才.污泥资源化利用技术[M].北京:冶金工业出版社,2010:1-6.

[2] 朱开金,马忠亮.污泥处理技术及资源化利用[M].北