

污泥土地利用对草坪草及土壤的影响

王新,周启星,陈涛,葛英华,台培东(中国科学院沈阳应用生态研究所 陆地生态过程开放研究实验室,沈阳 110016)

摘要:以沈阳北部污水处理厂污泥为研究对象,开展了污泥土地利用对草坪草及土壤环境影响的研究.结果表明,污泥土地利用可提高土壤养分含量特别是土壤中有机质含量;使草坪草获得了良好的生长响应,草坪草生物量增加,绿期延长;使土壤重金属含量有所增加,Cd 元素含量超过土壤环境质量二级标准,而土壤 Pb、Cu、Zn 元素含量均未超过土壤环境质量二级标准;早熟禾对 Pb 具有良好的吸收富集能力,污泥在 $25\ 30\ 60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 低施入量时,结缕草对 Cd、Cu、Zn 具有良好的吸收富集能力.

关键词:草坪草;污泥土地利用;土壤环境

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2003)02-04-0050

Effects of Land Utilization of Sewage Sludge on Grass and Soils

Wang Xin, Zhou Qixing, Chen Tao, Ge Yinghua, Tai Peidong (Laboratory of Terrestrial Ecosystems Process, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: Effects of land disposal of sewage sludge on grass and soil environment were studied. The sewage sludge used was from Northern Shenyang Wastewater Treatment Plant. The results showed that contents of nutrient in the soil were increased after sewage sludge application, especially for organic matter. Grass biomass were increased and the green period were extended with a better growth of the lawn. The heavy metal contents in the soil were increased with Cd contents beyond 2nd grade national environmental quality standard for soils. However, Pb, Cu, Zn contents not accumulated heavily. *Poa annua* had better ability of absorbing and accumulating Pb from the sewage sludge. When the application rate of sewage sludge capacity was at $25\ 30\ 60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, *Zoysia japonica* expressed significant absorption and accumulation of Cd, Cu, Zn.

Keywords: sewage sludge land utilization; grass; soil environment

我国每年产生的城市污水污泥达 $1.0 \times 10^8\text{ t}$ 以上^[1]. 英美 2 国在过去的 5 年中,污泥每年的增长率为 $5\% \sim 10\%$,分别达到 $1.7 \times 10^6\text{ t}$ 干污泥/年和 $9 \times 10^6\text{ t}$ 干污泥/年^[2]. 目前国际上通常采用的污泥处置方法有污泥土地利用、焚烧、填埋等. 污泥中由于含有大量的植物生长必需营养成分^[3,4],对作物生长起到良好的增产效果^[5],同时污泥的施用可改善土壤理化性状,因此污泥土地利用倍受国内外关注^[6,7]. 西欧以填埋为主,美国和英国以农作为主^[2](农作率高达 $40\% \sim 50\%$ 左右). 污泥在园林绿地中施用既可促进植物生长,又可避开有害物质进入食物链循环. 本实验以沈阳北部污水处理厂污泥为研究对象,探讨污泥土地利用对草坪草生长及土壤环境的影响,为北方地区污泥合理有效地利用提供了科学的依据.

1 实验材料及方法

1.1 供试污泥

污泥来源于沈阳北部污水处理厂(工业和生活混合污水未消化污泥),污泥主要营养成分及重金属含量分析测定结果见表 1.

1.2 供试植物

供试草种选择结缕草(*Zoysia japonica*)及早熟禾(*Poa annua*). 结缕草、早熟禾在 2000-06 撒播到实验地,2000-10 采集 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 样方范围内的草坪草,风干、称量. 第二年以同样的样方继续采集结缕草,并称量.

基金项目:中国科学院陆地生态过程开放研究实验室“百人计划”污染生态化学过程、院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-416);沈阳北部污水处理厂科研资助项目

作者简介:王新(1961~),女,辽宁沈阳人,副研究员,学士,从事污染生态方面的研究工作,发表论文 20 余篇.

收稿日期:2002-05-34;修订日期:2002-09-17

表 1 污泥养分及重金属含量(干重)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 Contents of nutrients and heavy metals in sewage sludge(dry)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		
项目	含量	农用污泥中污染物控制标准
有机质 %	35.58	
TN/ %	2.26	
TP/ %	1.51	
TK/ %	0.82	
pH	6.73	
Cd	5.03	5.0
Pb	253.64	300
Cu	169.99	250
Zn	292.54	500

1.3 实验设计

实验地选在沈阳北部污水处理厂西部,实验地基本理化性质见表 2.污泥以湿污泥的形式投加到实验地中,草坪小区面积为 $1\text{ m}\times 5\text{ m}$.污泥草坪实验共设 6 种处理,3 次重复.结缕草、早熟禾污泥投加量皆为 CK、15、30、60、90、120、150 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$.

表 2 实验地土壤基本理化性质/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 Basic physical and chemical properties of experimental field/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$							
OM/ %	TN/ %	TP/ %	pH	Cd	Pb	Cu	Zn
2.410	0.196	0.154	6.450	0.277	28.256	27.682	27.110

1.4 分析方法

污泥有机质含量采用重铬酸钾法^[8].TN 采用三酸(硝酸-高氯酸-氢氟酸)消煮,钼锑抗比色法^[8].TN 采用半微量凯氏定氮法^[8].TK 采用三酸(硝酸-高氯酸-氢氟酸)消煮,火焰光度法^[8].速效氮采用碱解扩散法^[8].土壤、草体、污泥中重金属元素 Cd、Pb、Cu、Zn 全量采用日立 180-80 原子吸收分光光度法测定.

2 结果与讨论

2.1 污泥土地利用对草坪草生物量的影响

由表 3 实验结果表明,就不同年份结缕草而言,污泥当年施用使草的生物量增加幅度较大,污泥处理比对照增加了 64 %~316 % (与对照相比差异极显著).污泥肥为草生长提供了丰富的营养物质,对草生物量的累积起到至关重要的作用.第 2 年草生物量增长幅度趋于平缓,污泥施用量为 15、60、120 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,草生物量与对照相比分别增加了 23.07 %、21.04 %、

11.16 % (差异显著).第 2 年草生物量比第 1 年草生物量减少的主要原因,一方面由于污泥养分的损失、分解,使污泥提供有效的养分含量降低,另一方面由于 2001 年降雨量与往年相比大大减少,为植物生长提供的水分不够充足,因此水分和养分的降低限制了草的生长.

表 3 施用污泥对不同种类草坪草生物量的影响 / $\text{kg}\cdot\text{区}^{-1}$

Table 3 Effects of sewage sludge application on biomass of different kinds grass			
污泥处理量	结缕草生物量	结缕草生物量	早熟禾生物量
/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	(2000 年)	(2001 年)	(2001 年)
Ck	2.58	2.258	1.270
15	4.25 ²⁾	2.779 ¹⁾	1.837 ²⁾
30	5.59 ²⁾	2.128	1.333
60	5.92 ²⁾	2.733 ¹⁾	1.688 ²⁾
90	5.89 ²⁾	2.065	1.592 ¹⁾
120	9.12 ²⁾	2.510 ¹⁾	1.096
150	10.74 ²⁾	1.985	1.387

1) $\alpha < 0.05$ 2) $\alpha < 0.01$ 表 4 和表 5 中 1) 和 2) 含意同表 3.

同年不同草种比较而言,随着污泥施用量的增加草体生物量呈波浪式增加,无论是结缕草还是早熟禾在污泥处理量为 15、60 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,草生物量最大,结缕草比对照分别增加了 23.07 %、21.04 % (差异显著),早熟禾这 2 种处理比对照增加了 44.65 %、32.91 % (差异极显著).在适量的污泥施用范围内,草生物量呈现递增趋势.2 种草生物量比较而言结缕草生物量比早熟禾生物量大.污泥肥的施用 in 增加草生物量的同时也使草生长绿期延长.结缕草与早熟禾相比其根系发达,自身抗干旱的能力强于早熟禾,是节水型的草种,应作为城市绿地发展首选的草种.

2.2 污泥土地利用对土壤养分含量的影响

土壤有机质含量是土壤肥力高低的重要表征.污泥施用 1 年后,采集草地土壤样品,并测定土壤养分含量,结果见表 4.

由表 4 实验统计结果表明,随着污泥施用量的增加土壤有机质含量与对照相比增加 12.79 %~80.8 %,呈明显递增趋势.TN 只有 150 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理与对照相比差异显著,TP 在 15、30、90 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理时与对照相比分别增加了 30.16 %、190.48 %、31.75 %.污泥土地利用明显增加了土壤有机质含量,提高了土壤养分含量水平.

表 4 施用污泥对草地土壤养分含量的影响

Table 4 Effects of sewage sludge application on soil nutrients			
污泥处理量/ $t \cdot h m^{-2}$	有机质 %	全氮 %	全磷 %
CK	3.44	0.201	0.126
15	3.99 ¹⁾	0.196	0.164 ¹⁾
30	3.88 ¹⁾	0.222	0.366 ²⁾
60	6.08 ²⁾	0.239	0.136
90	6.01 ²⁾	0.233	0.166 ¹⁾
120	5.89 ²⁾	0.232	0.092
150	6.22 ²⁾	0.257 ¹⁾	0.133

污泥的施用不但增加了土壤养分含量,同时也改善土壤物理性状.污泥的施用调节了土壤水、气、热状况,进而改变了土壤容重、持水量和孔隙度等物理性状.对土壤保水保肥有重要作用,在国外常将污泥用作调节土壤结构的改良剂⁹⁾.

2.3 污泥土地利用对土壤重金属含量的影响

污泥施入土壤的同时使有毒有害的重金属元素也随之进入土壤,污泥施入土壤后其重金属含量变化见表 5.

表 5 施用污泥对草地土壤重金属含量的影响/ $mg \cdot kg^{-1}$

Table 5 Effects of sewage sludge application on the contents of heavy metals in the soil/ $mg \cdot kg^{-1}$				
处理/ $t \cdot h m^{-2}$	Cd	Pb	Cu	Zn
结缕草 CK	0.3685	28.356	27.012	26.302
15	0.4148 ¹⁾	44.049 ²⁾	35.029 ²⁾	36.800 ²⁾
30	0.4210 ¹⁾	49.113 ²⁾	41.264 ²⁾	38.580 ²⁾
60	0.4045 ¹⁾	42.404 ²⁾	37.731 ²⁾	43.361 ²⁾
90	0.5561 ¹⁾	27.803	27.803	39.487 ²⁾
120	0.4305 ¹⁾	37.677 ²⁾	28.693	33.635 ²⁾
150	0.4269 ¹⁾	36.528 ¹⁾	30.585 ¹⁾	31.075 ¹⁾
早熟禾 CK	0.2336	28.155	28.352	27.921
15	0.3558 ¹⁾	43.466 ²⁾	31.797 ¹⁾	35.743 ¹⁾
30	0.8397 ¹⁾	39.415 ²⁾	32.105 ¹⁾	41.107 ²⁾
60	0.4817 ¹⁾	27.038	30.639 ¹⁾	37.407 ¹⁾
90	0.4096 ¹⁾	25.150	29.521	41.786 ²⁾
120	0.4005 ¹⁾	39.926 ²⁾	30.860 ¹⁾	32.686
150	0.4323 ¹⁾	41.304 ²⁾	36.332 ²⁾	25.262
土壤环境质量标准 (二级 $pH6.5 \sim 7.5$)	0.3	300	100	250
土壤环境质量标准 (三级)	1.0	300	100	250

施入污泥后,土壤 Cd、Pb、Cu、Zn 含量分别在 0.2 ~ 0.5、25 ~ 50、27 ~ 42、25 ~ 43 $mg \cdot kg^{-1}$ 范围内波动变化,大部分处理与对照相比土壤元素含量增加(差异显著或极显著),只有 Cd 含量超过了土壤环境质量二级标准(为保障农业

生产,维护人体健康的土壤限定值),但并不超过土壤环境质量三级标准(为保障农林生产和植物正常生长的土壤临界值),土壤 Pb、Cu、Zn 含量远低于二级土壤环境质量的临界值.就 4 种元素而言只有 Cd 元素是沈阳地区污泥土壤利用的限制性元素.

2.4 污泥土地利用对草体重金属含量变化的影响

园林植物与农作物相比对重金属的毒害症状表现得弱,园林植物可接受较高浓度的重金属而不易显出毒害症状.不同草种对重金属吸收积累特性见图 1 ~ 4.

由图 1 表明,结缕草在污泥投加量为 15、30、60、90 $t \cdot h m^{-2}$ 时草体 Cd 含量与对照相比有所增加(差异显著),30 $t \cdot h m^{-2}$ 时草体 Cd 含量达到了吸收高峰.而早熟禾吸收 Cd 在污泥投加范围内基本呈逐步递增的趋势,除 15 $t \cdot h m^{-2}$ 处理外,其它处理与对照相比差异极显著.

结缕草随着污泥投加量的增加草体 Pb 含量逐渐增加(与对照相比差异显著),表现出对 Pb 元素强烈的吸收富集能力,结缕草是 Pb 污染土壤植物修复的较好的植物.早熟禾在污泥投加量为 15、60 $t \cdot h m^{-2}$ 草体吸收 Pb 量最大.而后随着污泥投加量的增加草体 Pb 含量逐步降低.

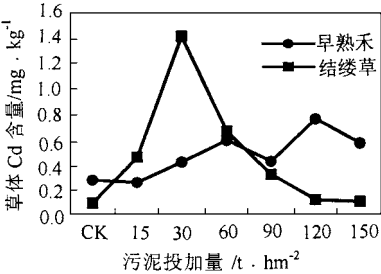


图 1 不同处理草体 Cd 含量

Fig.1 Cd content of grass with different treatment

结缕草和早熟禾对重金属 Cu 的吸收在 15 ~ 30 $t \cdot h m^{-2}$ 污泥投加范围内随投加量的增加而增加(与对照相比差异极显著),而后随着污泥投加量的增加草体吸收 Cu 逐步降低.污泥在低投加量时草体表现出明显的吸收和富集.早熟禾比结缕草对 Cu 的吸收富集能力强.

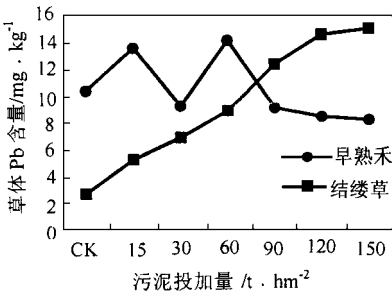


图 2 不同处理草体 Pb 含量

Fig. 2 Pb content of grass with different treatment

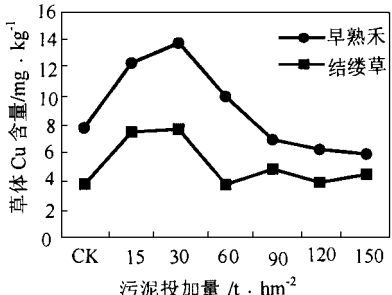


图 3 不同处理草体 Cu 含量

Fig. 3 Cu content of grass with different treatment

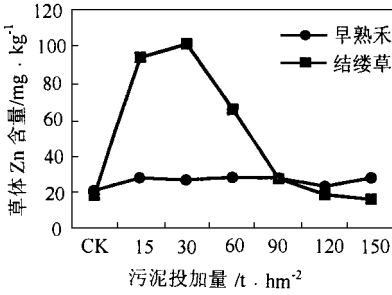


图 4 不同处理草体 Zn 含量

Fig. 4 Zn content of grass with different treatment

结缕草在污泥投加量为 15、30 t · h m⁻² 时,草体吸收 Zn 量达到最大,随后吸收量逐渐降低.早熟禾草体吸收 Zn 并不随着污泥投加量的增加而增加.

草体重金属含量只有在低处理量时明显增加,在污泥高处理量时 Cd、Cu、Zn 出现下降趋势.有研究^[10]报道,当土壤中的重金属含量超过一定的限度时,植物中的重金属含量也将达到一定的限度而不再上升,因此施用污泥的潜在危害不象 70 年代 Chaney 为代表的学者定论的那么严重.

3 结论

(1) 污泥施入土壤后,草坪获得了良好的生

长响应.不同年份同一草种污泥施用第 1 年草生物量随污泥施用量的增加草坪草生物量明显递增,第 2 年草生物量增加趋于平缓.同年不同草种单位面积内结缕草比早熟禾生物量大.污泥的施用使草的绿期延长.

(2) 污泥的施用增加了土壤养分含量,特别是土壤的有机质含量,与对照相比增加了 12.79 ~ 80.8%,土壤 N、P 增加不明显.

(3) 污泥施入土壤后土壤重金属含量与对照相比有所增加,4 种元素比较而言 Cd 元素的增加幅度较大,超过了土壤环境质量二级标准,而土壤 Pb、Cu、Zn 元素含量均未超过土壤环境质量二级标准,Cd 元素是沈阳地区污泥土地利用的限制因素.

(4) 污泥在低施入量时,结缕草对 Cd、Zn 及早熟禾对 Pb、Cu 具有良好的植物吸收富集能力.随着污泥施用量的增加结缕草对 Pb 吸收富集能力逐渐增强.不同元素污染的土壤,可根据草对重金属的吸收特性选用不同的草种,修复污染的土壤.

(5) 污泥在城市园林绿地科学施用,可明显促进园林植物的生长,减轻环境压力,为园林绿地提供了可观的有机肥,也为污水处理厂解决了污泥出路问题,同时它又避开了食物链,是一种合理利用生物能源的方式.

参考文献:

- 1 韦朝海,陈传好. 污泥处理、处置与利用的研究现状分析[J]. 城市环境与城市生态, 1998, 11(4): 10 ~ 13.
- 2 Davis, R. D. The impact of EU and UK environmental pressures on future of sludge treatment and disposal. Water Environ. Manage., 1996, 10(2): 65 ~ 69.
- 3 吴启堂,林毅,曾海恩. 城市污泥作复合肥粘结剂的研究[J]. 中国给水排水, 1992, 8(4): 20 ~ 22.
- 4 郭媚兰,王遑,张青喜等. 太原污水污泥农业利用研究[J]. 农业环境保护, 1993, 12(6): 258 ~ 262, 285.
- 5 周立祥,胡谨堂,戈乃玢等. 城市生活污水污泥农田利用对土壤肥力性状的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(3): 126 ~ 129.
- 6 张天红,薛澄泽. 西安市污水污泥林用效果的研究. 西北农业大学学报, 1994, 22(2): 67 ~ 71.
- 7 薛栋森. 美国污泥研究和利用概况[J]. 国外农业环境保护, 1991, (1): 31 ~ 33.
- 8 中国土壤学会农业化学专业委员会 编. 土壤和农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983, 67 ~ 116.
- 9 Topper K F, B R Sabey. Sewage sludge as a coal mine spoil amendment for revegetation in Colorado. Environ. Quality, 1986, 15(1): 44 ~ 49.
- 10 徐颖. 污泥用作农肥处置及其环境影响[J]. 环境污染与防治, 1993, 15(4): 24 ~ 27, 17.