

污泥及其复合肥对蔬菜产量及重金属积累的影响

金 燕¹, 李艳霞², 陈同斌^{2*}, 刘树庆¹

(1 河北农业大学资源与环境学院, 河北保定 071001; 2 中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室, 北京 100101)

摘要:通过盆栽和小区试验初步探讨了污泥复合肥对蔬菜的增产效应及其对蔬菜吸收累积重金属的影响。结果表明,污泥复合肥可显著提高蔬菜产量,蔬菜可食部分中的 Cu、Zn、Cd 含量均在国家食品卫生标准范围内,但 Pb 的含量超出了国家食品卫生标准。

关键词:污泥复合肥;蔬菜产量;重金属

中图分类号:S141.6;S63 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2002)03-0288-04

Effects of sewage sludge compost and compound fertilizers on vegetable yield and heavy metal accumulation

JIN Yan¹, LI Yan-xia², CHEN Tong-bin^{2*}, LIU Shu-qing¹

(1 College of Resou. and Envir., Hebei Agric. Univ., Baoding 071001, China;

2 Lab. for Envir. Remed., Inst. of Geog. Sci. and Natural Resou. Res., CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The pot and plot experiments to study the effect of sewage sludge compost and sewage sludge compound fertilizers on vegetables yield and heavy metal accumulation in vegetables. The results showed that sewage sludge compound fertilizer increased the vegetable yield and the heavy metal (copper, zinc and cadmium) contents in the esculent part of vegetables were lower than those of the national control standard, but the lead contents in the cauliflower and lettuce were higher than the national control standard.

Key words: sewage sludge compound fertilizer; vegetable production; heavy metal

随着我国城市人口的迅速增加和城市污水处理业的迅猛发展,城市污水污泥的排放量日益增加。大量未经稳定化处理的污泥没有正常出路,已成为污水处理厂的沉重负担和影响城乡环境的重要污染源。目前,世界各国普遍采用的污泥处理方式是土地利用^[1],污泥中含有丰富的有机质和植物生长所需的营养元素,可以应用于农田、林地、草地、市政绿化、荒地、废旧矿坑的修复等。瑞士每年 70 % 以上的污泥堆肥化后进行土地利用^[2]。由于我国环境立法相对薄弱,管理不太严格,加之前存在的污泥处理技术不太成熟或运行成本太高等原因,我国的城市污泥多采用直接施入农田的方法,极易造成病原菌、杂草种子污染、烧苗和土壤的耕作性能下降等

症状,同时运输和施用也不方便,因此很难被农民接受。以往有很多学者研究污泥的农用问题^[3~7],但是将城市污泥制成复合肥产品后其肥效及环境安全性的研究还相对较少。本研究将污泥稳定化及无害化处理后,与化肥按一定比例复混制成养分含量高而齐全的有机-无机复合肥,研究其蔬菜种植的肥效和对重金属累积的影响,以期污泥农用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试污泥由北京市方庄污水处理厂提供,属生活污水,污泥采用 CTB 堆肥工艺进行工厂化快速堆肥处理,与化肥按一定比例混合制成污泥复合肥(见试验设计方案)。污泥堆肥的基本性质见表 1,其主要重金属含量均明显低于《农

收稿日期:2001-08-28

基金项目:“九五”国家重大科技攻关项目(96-909-01-05);北京市政府公开招标采购项目(19990912)资助。

作者简介:金 燕(1970—),女,河北省承德市人,硕士研究生,主要从事固体废弃物土地利用研究。* 通讯作者

本项研究在中国科学院地理科学与资源研究所完成。

用污泥污染物国家控制标准》^[8]。盆栽用土壤采自中科院遗传所农场,小区试验设在北京市朝阳区来广营乡菜地,2种土壤均属于壤质潮褐土。其基本性质见表1。供试蔬菜为生菜 Head lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata)、菜花 Cauliflower (*Brassia oleracea* var. botrytis) 和 茼蒿 Lettuce (*Lactuca angustana*)。

表 1 供试土壤和污泥的基本农化性状
Table 1 The properties of experimental soil and sewage sludge compost

项目	pH	OM	TN	TP	AN	AP	AK	Cu	Zn	Pb	Cd
Item		g/ kg			mg/ kg			mg/ kg			μg/ kg
盆栽土壤 Soil (pot exp.)	7.8	14.5	1.0	0.8	81.6	30.2	75.3	28.1	80.4	37.7	78.0
小区土壤 Soil (plot exp.)	7.9	28.4	1.7	2.2	183.0	56.1	115.0	48.7	145.0	39.1	92.0
污泥堆肥 Sludge compost	6.8	319.0	16.1	1.8	-	-	-	121.0	658.0	61.9	480.0

注(Note): OM-有机质 organic matter , TN-全氮 total N , TP-全磷 total P , AN-碱解氮 alkalized N , AP-速效磷 available P , AK-速效钾 available K

1.2 试验方法

1.2.1 盆栽试验 采用直径 15cm、高 20 cm 的塑料盆,每盆装土 1.25kg。供试蔬菜为生菜,经催芽后播种。试验在温室中进行,温度控制在 15~20℃之间,光照时间 10 h/d,相对湿度 50%~60%。试验设 4 个处理:1) 空白对照(CK),2) 污泥复合肥 0.8g/pot (SCF,生菜专用,N-P₂O₅-K₂O=16-10-12),3) 化肥(NPK,与污泥复合肥处理等养分,每盆施尿素 0.21g,磷酸氢二铵 0.17g、氯化钾 0.16g),4) 污泥堆肥处理 25g/pot (SC,按 45t/hm²的污泥施用量,养分使用量高于污泥复合肥和化肥处理)。每处理重复 4 次。2 个月后收获,测定地上部分生物量及重金属含量。

1.2.2 小区试验 小区面积为 2 m²,供试蔬菜为菜花和茼蒿。试验设 4 个处理,分别为:1) 空白对照(CK);2) 污泥复合肥 120 g/m² (SCF,菜花、茼蒿专用,N-P₂O₅-K₂O=12-10-16,相当于 1200kg/hm²),3) 化肥(NPK,与污泥复合肥处理等养分,每 m²施尿素 21.5g,磷酸氢二铵 25g、氯化钾 32g),4) 商品复合肥 180 g/m² (CF,N-P₂O₅-K₂O=8-8-9,相当于 1800kg/hm²,与污泥复合肥处理等 N 量,P、K 用量高于污泥复合肥和化肥处理)。每个处理重复 4 次。肥料全部以基肥的形式施入,正常浇水、除草管理。收获后测定产量及可食部分的重金属含量。

1.3 分析方法

土壤和污泥堆肥中重金属用王水-高氯酸消煮,蔬菜中的重金属用硝酸-高氯酸消煮,Cu、Zn 含量采用火焰原子吸

收分光光度计测定,Pb、Cd 含量采用石墨炉原子吸收分光光度计测定^[9]。土壤及蔬菜中的养分测定为常规方法^[10]。

2 结果与讨论

2.1 污泥复合肥对蔬菜产量的影响

盆栽试验看出,污泥复合肥处理的生菜产量比空白对照增产 303%,差异达显著水平,与化肥相比无显著差异;污泥堆肥处理的产量比空白对照增产 70%(表 2),这一结果与廖宗文等^[11]的研究结果施污泥处理生菜增产达 61%类似。污泥堆肥处理生菜产量明显低于污泥复合肥处理,增产率仅为污泥复合肥的 23.2%。因此,将污泥与无机化肥混配制成有机-无机复合肥,既减少了污泥的使用量,又减少了化肥的使用量,污泥中的有机成分与化肥的无机成分相互结合,可持续、稳定地供给养分^[12],对蔬菜生长有良好的促进作用。

小区试验(表 2)结果表明,施用污泥复合肥与空白对照相比,菜花可增产 32.3%、茼蒿增产 19.8%,差异均达显著水平,但 3 个施肥处理间的产量没有明显差异;3 个肥料处理与空白对照之间的差异小于盆栽试验,可能与本试验的供试土壤较为肥沃有关(表 1)。

表 2 不同施肥处理蔬菜产量
Table 2 The yield of vegetables with different fertilization treatments

处理	生菜 Head lettuce (盆栽 Pot exp.)		菜花 Cauliflower (小区 Plot exp.)		茼蒿 Lettuce (小区 Plot exp.)	
Treatment	g/ pot, DW	%	kg/ hm ² , FW	%	kg/ hm ² , FW	%
CK	0.7 c	100.0	41401 b	100.0	25279 b	100.0
SC	1.1 b	170.2				
NPK	2.7 a	406.0	55129 a	133.2	30098 a	119.1
CF			54677 a	132.1	30890 a	122.2
SCF	2.7 a	403.0	54777 a	132.3	30273 a	119.8

注:同一列数据后不同字母表示处理间差异达 5%显著水平,下同。

Note: Different letters in each row means significant at 5% level, same as follows.

污泥复合肥在减少化肥用量的情况下,其增产效果与等养分的化肥和等 N 量的商品复合肥相当,甚至优于化肥;同时由于污泥含有较完全的养分,因而不但在产量上可表现出显著的作用,而且有改善产品质量的作用,如有研究发现,作物中蛋白质的含量可以相应提高^[4,13]。从环保角度出发,污泥制备成复合肥解决了污水处理厂污泥的出路问题,可缓解污泥对环境造成的压力;从经济角度考虑,污泥复合肥减少了化肥的用量,降低了肥料生产成本,同时污泥加工成颗粒复合肥,便于运输也易于被农民所接受。因此,污泥复合肥的研制和推广,具有较大的实际应用价值。

2.2 污泥复合肥对蔬菜养分吸收的影响

表 3 表明,污泥复合肥处理的菜花和茼蒿可食部分吸收 N、P 总量比不施肥处理有显著提高。菜花的 N、P 吸收总量提高了 40.7 %和 36.9 %,茼蒿提高了 34.2 %和 23.8 %;且与化肥和商品复合肥处理相比无明显差异。

表 3 不同肥料处理蔬菜吸收氮、磷总量
Table 3 The N and P absorption of vegetable with different fertilizers

蔬菜 Vegetab.	处理 Treat.	N		P	
		UT	UR	UT	UR
		(kg/ hm ²)	(%)	(kg/ hm ²)	(%)
菜花	CK	139.8 b	-	29.3 b	-
	CF	196.1 a	39.0	40.2 a	9.1
	CF	197.0 a	39.7	36.8 a	5.2
	SCF	196.7 a	39.5	40.1 a	9.0
茼蒿	CK	133.5 b	-	27.8 b	-
	LT	158.6 a	17.4	35.0 a	7.2
	CF	174.3 a	28.3	36.2 a	8.4
	SCF	179.3 a	31.6	34.4 a	6.6

注:肥料利用率=(施肥处理子粒吸收养分量-空白对照子粒吸收养分量)/肥料投入量×100%。UT 为养分吸收量;UR 为养分利用率。

Note: Use rate of fertilizer = (Nutrient uptake by grain of fertilization treatment - Nutrient uptake by grain of CK treatment)/fertilizer input ×100%; UT and UR means absorption (kg/ hm²) and use rate (%) of fertilizer by crop , respectively ; CF- Cauliflower , LT-Lettuce

比较蔬菜对不同肥料的利用效率(表 3)看出,化肥、商品复合肥和污泥复合肥处理菜花对 N 的利用率分别为 39.0 %、39.7 %和 39.5 %,相差不大;菜花对 P 的利用率分别为 9.1 %、5.20 %和 9.0 %,商品复合肥相对偏低,污泥复合肥与化肥相当。茼蒿

对 N 的利用率表现为污泥复合肥处理的最高,分别比化肥和商品复合肥提高 14.2 和 3.3 个百分点;对 P 的利用率污泥复合肥最低,比化肥和商品复合肥低 0.6 和 1.8 个百分点。刘善江等^[5]直接使用鲜污泥发现,大白菜对 N 的利用率为 22.9 %~26.0 %,低于本试验使用污泥复合肥和商品复合肥的氮肥利用率。

污泥复合肥明显促进作物对养分的吸收,对 N 的吸收利用甚至优于化肥处理。可见,虽然污泥中 91 %以上的 N 和 95 %以上的 P 是以有机态存在^[14],其速效养分的供应不如化肥的高,但并没有影响作物对养分的吸收。污泥复合肥是有机养分与无机养分的结合,其中有机肥稳定而持续的供肥特性和化肥浓度高、时间短的特点互补,相互协调,无疑对作物的生长发育有良好的促进作用。

2.3 不同肥料处理对蔬菜重金属累积的影响

蔬菜可食部分中重金属的含量见表 4。生菜地上可食部分 Cu、Zn 的含量以污泥堆肥处理的最高,其 Cu 的含量分别为空白对照、化肥和污泥复合肥处理的 1.9、1.3 和 1.2 倍;Zn 的含量分别为空白对照、化肥和污泥复合肥处理的 1.8、2.2 和 2.0 倍,差异均达显著水平;污泥复合肥与化肥处理相比,生菜地上可食部分中 Cu、Zn 含量没有明显差异。所有处理的生菜可食部分中重金属 Cu、Zn 含量均低于国家食品卫生标准^[15]。化肥和污泥复合肥处理的生菜可食部分中 Zn 的含量比空白对照处理低,可能是由于化肥和污泥复合肥处理的生菜生物量远远高于空白对照处理,作物生物量的增加对所吸收重金属产生了稀释作用^[16]。施用污泥复合肥与施用污泥堆肥相比,可大大降低蔬菜中重金属的含量。

表 4 还表明,所有施肥处理中菜花可食部分的 Cu、Pb 含量较空白对照处理均有显著提高,Cu、Pb 含量分别在 0.87~1.15 和 0.26~0.28mg/ kg 范围内,但是污泥复合肥、化肥和商品复合肥 3 个处理间没有明显差异。菜花可食部分中 Zn、Cd 含量,施肥处理与空白对照处理的含量近似;茼蒿可食部分中 Cu、Cd 所有处理也基本相似;但 Zn、Pb 含量污泥复合肥处理比其他处理有显著提高,达显著性差异。说明所有处理菜花和茼蒿中 Cu、Zn 和 Cd 含量均在国家食品卫生标准范围内。本试验中,菜花和茼蒿中 Pb 的含量超过了国家食品卫生标准,说明所选择的 2 种蔬菜对重金属 Pb 有较强的富集能力^[17]。因此,污泥在蔬菜上需要谨慎施用。

表 4 不同肥料处理蔬菜可食部分重金属含量
Table 4 The heavy metal contents in esculent part with different fertilizers

蔬菜 Vegetable	处理 Treatment	重 金 属 含 量 Heavy metal (mg/ kg ,FW)			
		Cu	Zn	Pb	Cd(ug/ kg)
生菜 (盆栽) Head lettuce (pot exp.)	CK	0.82 c	5.06 b	nd ²⁾	nd
	NPK	1.14 b	4.47 c	nd	nd
	SC	1.53 a	9.26 a	nd	nd
	SCF	1.24 b	4.52 c	nd	nd
菜花 (小区) Cauliflower (plot exp.)	CK	0.64 c	2.48 a	0.23 b	1.02 a
	NPK	0.87 b	2.56 a	0.26 a	1.02 a
	CF	1.15 ba	2.57 a	0.27 a	1.36 a
	SCF	1.02 b	2.58 a	0.28 a	1.19 a
茼蒿 (小区) Lettuce (plot exp.)	CK	1.32 a	3.00 b	0.22 b	4.09 a
	NPK	1.44 a	2.93 b	0.22 b	4.05 a
	CF	1.33 a	3.10 b	0.23 b	4.63 a
	SCF	1.32 a	3.45 a	0.25 a	4.40 a
国家标准 National standard ^[18]		≤10	≤20	≤0.2	≤50

注(Notes): nd 未测定 no determined.

3 结论

3.1 施用污泥复合肥对生菜、菜花和茼蒿有明显的增产作用,其增产效果相当于或略高于等养分的化肥和等氮量商品复合肥,蔬菜可食部分中 Cu、Zn、和 Cd 的含量均在国家食品卫生标准范围内,但是 Pb 的含量超过国家标准。

3.2 城市污泥含有丰富的有机质和植物生长所需要的多种养分,这是任何一种单价化肥所不能代替的。污泥堆肥制备成有机-无机复合肥,具有污泥用量减少、带入重金属量降低等优点,同时运输及施用更加方便,为解决城市污泥的出路提供了新的途径。城市污水污泥的土地利用,是解决中国化肥资源短缺、土地生产力下降、环境污染等问题的有效途径之一,具有广阔的实际应用前景。

参 考 文 献:

[1] 王宏康. 污泥在农业上的应用[J]. 农业环境保护,1980,(1): 69-77.

[2] 田宁宁,等. 污水处理厂污泥处置及利用途径研究[J]. 环境保护,2000,19(1):58-61.

[3] 李艳霞,薛澄泽,陈同斌. 污泥和垃圾堆肥用作容器育苗基质研究[J]. 农村生态环境,2000,16(1): 60-63.

[4] 林春野,董克虞,李 萍,戴荣彩. 污泥农用对土壤及作物的影响

[J]. 农用环境保护,1994,13(1): 23-25,33.

[5] 刘善江,徐建铭,李亚星. 污泥在大白菜上的应用初探[J]. 北京农用科学,1994,12(6): 22-24.

[6] 欧阳喜辉,崔 晶,佟 庆. 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.

[7] 张增强,薛澄泽. 污泥堆肥对几种木本植物生长响应的研究[J]. 西北农业大学学报,1995,23(6):47-51.

[8] 中国标准出版社第二编辑室. 中华人民共和国国家标准- 农用污泥中污染物控制标准 GB 4284- 84[S]. 环境质量与污染物排放国家标准汇编[C]. 北京:中国标准出版社,1997. 4.

[9] 城乡建设环境保护部环境保护局环境检测分析方法编写组. 环境检测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1986. 10.

[10] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1980.

[11] 廖宗文,林东教,汪东荣,陈俊坚,韦照韬. 广州市污泥垃圾农用资源化的初步研究[J]. 自然资源学报,1994,9(3): 247-251.

[12] 陈同斌,李艳霞,金 燕,刘树庆. 城市污泥复合肥的肥效及其对小麦重金属吸收的影响[J]. 生态学报,2002,22(56):643-648.

[13] 文启孝. 我国土壤有机质和有机肥料研究现状[J]. 土壤学报,1989,26(3): 255-261.

[14] McCoy J L, Weil R R and Sikora L J. Plant availability of phosphorus from compost sewage sludge[J]. Agron. Abs., 1983, 60: 35.

[15] 中国标准出版社第一编辑室,国内贸易部科技局标准处. 粮油标准汇编[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

[16] 廖宗文,等. 污泥混合基质栽培生菜重金属含量的影响因素研究[J]. 环境科学,1994,15(2): 49-52.

[17] 杨景辉. 土壤污染与防治[M]. 北京:科学出版社,1995. 45-94.