

施用污泥堆肥对土壤和生菜重金属积累特性的影响

黄雅曦¹, 李季², 李国学², 黄妍³

(1. 黑龙江大学农学院, 哈尔滨 150080; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 3. 黑龙江省经济作物指导站, 哈尔滨 150090)

摘要: 随着污泥堆肥施用量的增加, 虽然盆栽生菜的总干重产量也随之增加, 但土壤和生菜地上部组织的重金属含量也显著增加, 当施用量 $\geq 10\%$ 时, 地上部组织的重金属含量超过国家食品卫生标准; 施用污泥肥料虽然地上部组织的重金属含量没有超过国家标准, 但不同采收期重金属含量不同, 适时采收可以降低地上部组织中重金属的含量

关键词: 污泥堆肥; 重金属; 生菜

中图分类号: S 141.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2005)05-0015-04

Heavy Metal Accumulation in Lettuce in Soil Amended with Sewage Sludge Compost

HUANG Ya-xi¹, LI Ji², LI Guo-xue², HUANG Yan³

(1. Agricultural College of Heilongjiang University, Harbin 150080; 2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094; 3. Technic of Economy Crops Supervise in Heilongjiang province, Harbin 150090)

Abstract: Along with the increase of sewage sludge compost using, the total dry weight of potted lettuce increased, but the content of heavy metals in soil and the top tissue of lettuce plot also increased remarkably. when using quantity $\geq 10\%$, the content of heavy metals in the top tissue was over national criterion of food sanitation; using sewage sludge fertilizer the content of heavy metals in the top tissue wasn't over national criterion, but in different reaping time the content was different, reaping aptly could decrease the content of heavy metals accumulation in the top tissue

Key words: sludge composting; heavy metal; lettuce

现代工业社会使生产力和人们生活水平大大提高, 但另一方面生产和生活的废物排放也相应增加。据不完全统计, 目前全国已经建成运转的城市污水处理厂有 427 余座, 年处理能力为 113.6 亿 m^3 , 今后, 随着城市化的进一步发展, 新的污水处理厂的不断建立, 必将产生更多的城市污水污泥。根据有关预测, 我国城市污水量在未来二十年还会有较大幅度的增长, 2010 年污水排放量将达到 $440 \times 10^8 m^3/d$; 2020 年污水排放量可达到 $536 \times 10^8 m^3/d$ 。目前我国污水处理量和处理效率虽然不高(4.5%), 但城市污水处理厂每年排放干污泥大约 30 万 t, 而且还

以每年大约 10% 的速度增长^[1]。

农用资源化是处理日益增多的污水污泥的有效途径, 污泥含有丰富的有机质, 氮磷钾及微量元素等作物生长所必需的养分, 是一种很好的有机肥源。但其中重金属含量也很高, 如何防止重金属在作物中过多积累, 是污泥农用的关键。为防止农用污泥重金属在作物中过量积累, 很重要一条措施是控制污泥的重金属含量和施用量。另外, 温度、氧化还原电位、土壤粘粒及有机质含量、外界离子、pH 值对重金属的活性都有不同程度的影响, 不同作物不同品种间吸收积累重金属的情况差异也很大^[2]。Zn、

• 收稿日期: 2005-07-03

第一作者简介: 黄雅曦(1968-), 女, 哈尔滨人, 博士, 副教授, 从事固体废弃物资源化利用研究; E-mail: sonia_68@163.com.

Mn 和 Pb 是污泥中常见的超标重金属。本试验施用污泥肥料栽培生菜,着重探讨生菜生长期、施用污泥肥料对生菜产量及重金属含量的影响,为防止生菜中重金属含量超标提供理论依据。

表 1 供试土壤及处理的理化性质

项目	有机质 (%)	全 N (%)	全 P (P ₂ O ₅ %)	全 K (K ₂ O %)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH
土壤	1.34	0.079	0.075	0.744	63.0	9.6	120.1	7.6
污泥肥料	≥35	5	1	4	—	—	—	—
污泥堆肥	26.3	—	—	—	—	—	—	5.33
消化污泥	39.13	3.74	0.76	1.30	—	—	—	8.41

取自太原杨家堡污泥堆肥示范厂, N、P、K 养分含量 ≥10%, 有机质含量为 33.9%。

供试土壤取自中国农业大学校内试验田, 土壤类型为草甸褐土, 供试材料的基本性质见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 施用污泥堆肥对生菜和土壤重金属积累的影响 将污泥堆肥 FA20 处理和土壤风干后过 2 mm 筛, 将污泥堆肥按 0、5%、10%、25% 和 50% 比例与土壤充分混合装于直径为 18 cm 的塑料盆中, 重复 3 次。选 10 粒均匀、饱满的生菜种子, 在盆中播深 0.5 cm。另设施用化学肥料作为对照。塑料盆随即摆放在温室中, 温度控制在 15~35℃, 每天浇灌去离子水, 保持水分同田间持水量水平。在苗期内每天计数发芽率, 在生长 50 d 时收获。仔细将植物地上部和地下根部从土壤中分离出来, 并分别用清水、去离子水清洗直至干净, 105℃ 焯青 1 h, 然后于 72℃ 烘干 72 h, 分别称量地上部和根部干重, 计算总干重。地上部组织粉碎后过 1 mm 筛后待测。

1.2.2 施用污泥肥料对生菜不同采收期重金属含量的影响 将污泥肥料与土壤风干后过 2 mm 筛, 按 0、0.1%、0.5% (W/W) 的比例与土壤充分混合, 装于直径为 18 cm 的塑料盆中, 分 20、26、32、38 d 四个生长期进行收获, 每个处理 3 次重复。塑料盆随机摆放在温室中, 温度控制在 15~35℃, 适时适量浇灌去离子水, 每盆定苗 3 株。不同生长期收获时, 仔细将地上部和地下部分从土壤中分离出来, 并分别用清水和去离子水清洗直至干净, 称重, 于 105℃ 焯青 1 h, 然后于 72℃ 烘干 72 h, 分别称量地上部分和地下部分干重, 计算总重量。将地上部组织粉碎通过 1 mm 筛后装瓶, 贮存于干燥箱中保存。

重金属用浓 HNO₃、HClO₄、HF 消化法, 原子吸收光谱法测定^[3]。在土壤和植物组织的消化及重金属的测定中同时进行标准样品测定, 以控制分析

1 材料与方 法

1.1 试验材料

污泥堆肥由太原杨家堡污水处理厂生活污水添加粉煤灰 20% 经 49 d 堆制而成; 污泥肥料黑桃 K

质量。

2 结果与讨论

2.1 施用污泥堆肥 (FA20) 对生菜发芽率的影响

由图 1 可知, 各处理间差异不显著, 表明尽管随着堆肥施用量的增加, 也没有引起盐分和水溶性重金属对发芽的毒害作用。

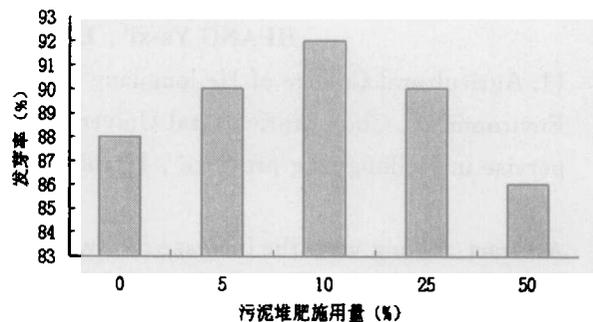


图 1 不同施肥处理对生菜发芽率的影响

2.2 施用污泥堆肥 (FA20) 对生菜干重产量的影响

由图 2 可以看出, 与不施肥处理比较, 总干重产量在各个堆肥处理中均呈极显著变化。这主要是由于施用污泥堆肥可以明显改善土壤物理性质并提供大量的营养物质, 创造了良好的根系生长环境^[4]。但是, 当污泥堆肥施用量 >25% 时, 干重产量却呈下降趋势, 这可能是由于较高的污泥施用量会使土壤的盐度较高。此外, 污泥中还含有其他的化学物质也可能对作物生长有抑制作用^[5]。另一方面所有施

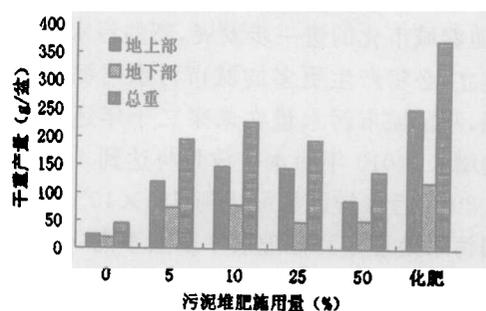


图 2 施用污泥堆肥对生菜干重产量影响

用污泥堆肥处理的生菜总干重产量均低于施用化肥

处理的产量,这种结果表明,污泥堆肥中营养物质含量仍然比较低,要获得较高的产量必须通过增加污泥堆肥施用量或者配合施用化肥来解决养分不足的问题,但前者可能会进一步增加土壤中的重金属含量,带来新的环境问题。目前,用污泥堆肥生产有机复合肥,是值得进一步研究和开发的课题。

表2 不同施肥处理对土壤重金属含量的影响

mg/kg

污泥施用量(%)	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd
0	16.50±0.24d	117.50±1.14e	56.17±1.62e	23.83±0.63e	0.08±0.00b
5	17.87±0.13d	120.87±0.13d	65.20±2.92d	26.53±1.05d	0.08±0.00b
10	24.93±0.94c	124.93±0.94c	87.93±2.58c	31.26±0.60c	0.08±0.01b
25	33.18±1.37b	133.18±1.37b	127.18±3.83b	41.85±0.72b	0.09±0.00b
50	64.54±0.76a	144.54±0.76a	161.88±5.78a	50.54±1.08a	0.12±0.02a

注:LSD检验($\alpha=0.05$)。

考虑其合适的施用比例,避免造成重金属对土壤的污染。

2.4 施用污泥堆肥(FA20)对生菜重金属含量影响

由表3结果可知,与不施肥和施用化肥的对照相比,地上部组织中重金属含量随着污泥堆肥施用量的增加呈显著的增加趋势。根据我国蔬菜食品卫生标准,Cu \leq 10mg/kg,Zn \leq 20mg/kg,Cd \leq 0.05

表3 不同施肥处理对生菜地上部分组织中重金属含量的影响

mg/kg

污泥施用量(%)	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd
0	4.72±0.22d	61.39±0.42d	66.72±0.22f	0.45±0.02d	0.047±0.001d
5	5.87±0.13cd	65.87±0.13c	75.87±0.13e	0.58±0.03d	0.058±0.003c
10	6.93±0.08c	46.93±0.08f	85.60±1.08d	5.36±0.33a	0.060±0.001bc
25	9.51±0.23b	49.85±0.35	135.85±4.85c	1.51±0.23c	0.063±0.003ab
50	12.88±1.56a	68.21±0.84b	218.21±0.84a	2.34±0.36d	0.063±0.001a
化肥	5.66±0.33d	85.66±0.33a	159.66±1.21b	0.66±0.07d	0.043±0.001d

注:LSD检验($\alpha=0.05$)。

2.5 施用污泥肥料对生菜产量的影响

在研究蔬菜的重金属含量影响因素时,往往需要同时考虑其对产量的影响。由表4可知,施用污泥肥料0.5%的处理各时期的产量均明显高于施用污泥肥料0.1%的处理和对照。

2.6 影响生菜重金属含量的因素

表5表明,生菜重金属(Mn、Zn、Pb)含量,不仅受污泥肥料施用量影响,还受生长期长短的影响。

2.6.1 生长期对重金属含量的影响 从表5中可以看出,生长期对生菜重金属的含量高低有影响,这种影响因重金属的不同而异。对照的Pb最高含量出现在中后期(32 d),而Zn和Mn的最高含量出现在中前期(26 d),并且变幅不大;0.1%处理的Pb,随生长期的延长,Pb含量呈“低—高—最高—低”的变化趋势,Zn则呈“高—低—最高—最低”的变化趋势,与G. L. Mullins等人盆栽玉米中污泥处理植株

2.3 施用污泥堆肥(FA20)对土壤重金属含量的影响

由表2中数据可知,随着污泥堆肥施用量的增加,重金属元素Cu、Zn、Mn、Pb、Cd在土壤中的含量均呈显著的增加趋势。Pb和Cd是主要的危害元素,尤其是Cd,由于易于移动而进入食物链进而危害人类健康。因此,污泥堆肥用于农业生产时,要

mg/kg,所有堆肥处理青菜组织中,Zn的含量均超标;Cu在施肥量为25%时,已接近国家食品卫生标准,施肥量为50%时,生菜组织的含量已超标;Cd的含量在污泥施肥量 \geq 10%时,明显高于对照和施用化肥的处理,并且高于0.05 mg/kg的允许标准。因此,污泥堆肥作为肥料,还需要进一步考虑重金属Cu、Zn、Pb、Cd在蔬菜作物中的积累问题。

地上部分吸收Zn的情况和廖宗文等人用污泥基质盆栽生菜的Zn的吸收情况相似^[6],并且最高含量均出现在中后期(32 d),而后期(38 d)的含量明显较低。

表4 不同处理不同采收期生菜产量

污泥肥料施用量(%)	生长期(d)	干重(g/盆)		
		地上部	地下部	总重
0	20	2.64	0.35	2.99
	26	3.03	0.79	3.82
	32	5.20	1.41	6.61
	38	6.80	1.98	8.78
0.1	20	2.78	0.40	3.18
	26	4.81	1.53	6.34
	32	6.33	1.64	7.97
	38	7.19	2.11	9.30
0.5	20	4.18	0.76	4.94
	26	5.41	1.36	6.77
	32	7.42	1.88	9.30
	38	8.18	2.18	10.36

Mn 的含量基本是随着生长期的延长呈递增趋势,但是增幅较小;0.5%的处理中,Pb 的含量呈“低—最低—最高—低”的变化,最高含量出现在中后期(32 d),Zn 含量的最高值也出现在中后期的 32 d,随着

生长期的延长,含量略有下降,而 Mn 的含量变幅不大。由此可见,适时采收,可降低生菜中的重金属含量,在本试验条件下,38 d 后收获,各处理的 Zn 和 Pb 的含量较低,而 Mn 的变化不明显。

表 5 不同处理不同采收期生菜重金属含量

污泥肥料 施用量 (%)	生长期 (d)	地上部分重金属含量					
		Mn (mg/kg)	相对值 (%)	Zn (mg/kg)	相对值 (%)	Pb (mg/kg)	相对值 (%)
0	20	54.697	100	64.465	100	2.963	100
	26	70.423	128.75	90.568	140.49	4.966	167.60
	32	63.880	116.79	85.500	132.63	6.961	234.93
	38	51.724	94.57	84.567	131.18	5.574	188.12
0.1	20	50.102	100	61.363	100	3.379	100
	26	56.086	111.77	55.816	90.96	5.168	152.66
	32	56.719	111.94	103.807	169.17	6.009	177.83
	38	69.274	138.27	54.263	88.43	4.297	127.18
0.5	20	49.662	100	58.260	100	2.271	100
	26	48.195	97.05	69.418	119.15	1.117	81.58
	32	45.966	92.56	83.265	142.92	4.036	177.70
	38	50.857	102.41	78.030	133.93	2.296	101.12

2.6.2 污泥肥料施用量对重金属含量的影响 通常情况下,随着污泥施用量的增加,作物的重金属含量也高,但由于污泥肥料中的氮素含量高于污泥堆肥,0.1%(W/W)和0.5%(W/W)两个处理,均是在合理的氮素营养水平下的施用量,因而,由表5可知,各处理间的重金属含量无明显差别。但0.5%(W/W)处理的重金属含量略低于0.1%(W/W)和对照,可能是此施肥水平可提供更多的养分给作物,作物体内的干物质积累对重金属具有稀释作用,降低了作物体内的重金属含量,这与各处理间在生长期后期(38d)重金属含量降低的现象相吻合。

3 结论

本研究表明,5%和10%的污泥堆肥施用量生菜的产量为最高,但产量仍然低于施用化肥的对照;随着污泥堆肥施用量的增加,重金属元素在土壤中和生菜地上部分组织中的含量都呈显著的增加趋势;蔬菜生长期对重金属含量有不可忽视的影响,在生产实践中应予以充分的重视,由于生长期不同,生菜重金属含量具有明显的差别,在生产上,应选择重金属含量较低的时期采收,此时的生菜也正处于适宜采收期,并且产量高。

有研究报道^[7],当土壤中的重金属含量超过一定的限度时作物中的重金属含量也将达到一定的限度而不再上升,因此该研究者认为施用污泥潜在的危害并不象70年代Chaney为代表的学者定论的那么严重,故建议重新评估城市污泥的农用判定。在进行的盆栽试验来看,随污泥肥料施用量的增加作物中重金属含量也会增加,由于进行试验的时间相

对较短,施用数量较少,故土壤中重金属浓度尚未达到使作物中的重金属含量超过有关的食物标准。但土壤中过高的重金属含量也会造成其它危害。因此,对于重金属含量较高的污泥农用也是值得注意的问题,尤其用作蔬菜等进入食物链的作物时要严格控制污泥重金属含量不能超过有关的标准。

在生产上,如果施用污泥或者污泥堆肥,由于没有添加外源的无机养分,为保证作物生长所必需的氮素营养,其施用量势必要高于污泥肥料,对作物重金属含量的影响更应引起足够的重视。本试验的目的,在于研究影响生菜重金属含量的有关因素,试验结果对于确定污泥肥料以及污泥的安全施用量也具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 姜泳文. 城市污水处理厂污泥的管道运输[J]. 冶金矿山设计与建设, 2000, 32(2): 32-36.
- [2] 何念祖, 倪吾钟. 植物营养原理(一)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 302-403.
- [3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [4] Robbards A W, Jackson S M, Clarkson D T, et al. The structure of barley roots in relation to the transport of ions into the stele[J]. Protoplasma, 1973, 27: 291-312.
- [5] Jimenez E. I, Garcia. V. P.. Evaluation of city refuse maturity[J]. Biological Wastes, 1989, 17: 115-142.
- [6] 廖宗文, 王卫红, 汪东荣, 等. 污泥混合基质栽培生菜重金属含量影响因素的研究[J]. 环境科学, 1994, 2(15): 49-52.
- [7] 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.