

# 化学添加剂对重金属在植物体内分配的影响研究

陈宏, 陈玉成, 杨学春

(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要:** 针对重庆市蔬菜重金属污染现状, 选取 Hg、Cd、Pb 为优先控制的目的重金属, 通过盆栽实验探讨了施用石灰、腐植酸、硫化钠等化学添加剂后对土壤重金属在植物体内分配的影响, 为蔬菜基地土壤重金属污染控制提供可靠的技术措施。研究表明, 石灰对 Cd 在植物体内的分配随用量不同而变化; 腐植酸能有效抑制 Hg 在植物体内的富集, 使植物茎、叶中 Pb 的分配系数明显降低; 而硫化钠使植物茎中 Hg 的分配系数下降明显。

**关键词:** 化学添加剂; 重金属; 分配系数

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 2043(2004)02 - 0288 - 04

## Effects of Chemical Additives upon the Distribution of Heavy Metals in Plants

CHEN Hong, CHEN Yu-cheng, YANG Xue-chun

(College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** In view of the current situation of vegetable's heavy metal pollution in Chongqing, Hg, Cd and Pb are among the target heavy metals of preferential control. Pot experiments were employed to elucidate the distribution of heavy metals in plants after applying chemical additives, such as limestone, humusand, sodium sulfide, etc. The reliable technical measures were also put forward to control the pollution of heavy metals in vegetable base. The effect of limestone on the distribution of Cd in plants varied with different use levels. Humus could restrain Hg accumulation in plants effectively and reduce the coefficient of distribution of Pb in stem and leaf obviously. The coefficient of distribution of Hg in the part of stem reduced obviously when sodium selenite was added.

**Keywords:** chemical additives; heavy metal; coefficient of distribution

由于工业污染及含重金属农药和化肥的施用, 导致环境和蔬菜重金属污染加剧, 蔬菜中的重金属可通过食物链进入人体, 危害人体健康。因此, 对蔬菜重金属污染进行研究具有重要的现实意义。

本研究针对重庆市蔬菜重金属污染现状, 采用盆栽试验, 筛选出控制重金属污染物进入叶菜类蔬菜的经济有效、易于施用的化学添加剂, 为蔬菜基地土壤重金属污染控制提供可靠的技术措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

土壤为采自西南农业大学农场的灰棕紫泥, pH4.57, 有机质  $18.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , Hg  $0.139 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,

Cd  $0.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , Pb  $34.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。分别加入 2.0, 1.0, 625  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  外源 Hg, Cd, Pb(形态分别为  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{AC})_2$ ) 作为模拟污染土壤备用。盆栽试验作物选用莴笋 (*Lactuca sativa var L.*), 化学添加剂为石灰、腐植酸、硫化钠(均为化学纯试剂), 试验设计方案见表 1。

### 1.2 分析测试方法

#### 1.2.1 Hg 的测定方法

Hg 含量采用 F732—G 测汞仪测定, 其中 Hg 的全量用  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HNO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$  消化<sup>[1]</sup>, 土壤 Hg 的形态测定参见环境监测分析方法<sup>[2]</sup>。

#### 1.2.2 Cd, Pb 的测定方法

土样经王水—高氯酸消化, 植物中的 Cd、Pb 经湿法消解, 植株中 Cd 采用硝酸—高氯酸消化, 用原子吸收分光光度法测定<sup>[1]</sup>, 土壤 Cd 的形态测定方法见文献[3]。

收稿日期: 2003 - 07 - 09

基金项目: 重庆市科委攻关项目(1999 年专项基金)

作者简介: 陈宏(1971—), 男, 重庆人, 讲师, 从事环境保护科研和教学工作。E-mail: Chenhong@SWall.cq.cn

表 1 盆栽试验设计方案及代码

Table 1 Design plan and code of pot experiment

添加剂	Hg	Cd	Pb
石灰	A11(3.33)	A21(3.33)	A31(3.33)
	A12(6.67)	A22(6.67)	A32(6.67)
	A13(10.0)	A23(10.0)	A33(10.0)
腐植酸	B11(0.67)	B21(0.67)	B31(0.67)
	B12(1.33)	B22(1.33)	B32(1.33)
	B13(2.67)	B23(2.67)	B33(2.67)
硫化钠	C11(0.39)	C21(0.35)	C31(0.12)
	C12(0.78)	C22(0.70)	C32(0.24)
	C13(1.56)	C23(1.39)	C33(0.47)
无	CK1(0)	CK2(0)	CK3(0)

注: 代码  $M_{ij}$  中的  $M$  为化学添加剂,  $i$ (第一下标) 为重金属类型,  $j$  (第二下标) 为化学添加剂梯度。括号内数字为添加剂用量, 其中石灰、腐植酸的用量单位为  $g \cdot kg^{-1}$ , 硫化钠为  $mg \cdot kg^{-1}$

## 2 结果与讨论

### 2.1 化学添加剂对莴笋重金属积累的影响

表 2 化学添加剂对植物体内重金属含量的影响

Table 2 Effects of chemical additives on the content of heavy metals in plant

处理	Hg		处理	Cd		处理	Pb	
	含量/ $mg \cdot kg^{-1}$	变化率/%		含量/ $mg \cdot kg^{-1}$	变化率/%		含量/ $mg \cdot kg^{-1}$	变化率/%
A11	0.234	13.6	A21	6.67	-24.5	A31	54.79	-27.3
A12	0.219	6.3	A22	6.95	-21.3	A32	50.06	-33.6
A13	0.207	0.5	A23	5.65	-36.0	A33	48.51	-35.7
B11	0.206	0	B21	10.36	17.3	B31	90.14	19.5
B12	0.085	-58.7	B22	10.23	15.9	B32	76.11	0.9
B13	0.068	-67.0	B23	9.77	10.6	B33	68.71	-8.9
C11	0.432	109.7	C21	11.07	11.07	C31	66.80	-11.4
C12	0.348	68.9	C22	11.50	11.50	C32	69.12	-8.3
C13	0.235	14.1	C23	10.44	10.44	C33	57.47	-23.8
CK1	0.206	0	CK2	8.83	0	CK3	75.40	0

收<sup>[7-9]</sup>。

不同石灰用量均能明显地抑制 Pb 向植物的迁移, 使植物中 Pb 含量逐渐降低。当加入量为  $10.0 g \cdot kg^{-1}$  时抑制效果最明显, 莴笋中 Pb 含量下降了 35.7%。石灰在低用量下能够较明显地抑制 Pb 向植物的茎、叶迁移。随着石灰用量的增加, 茎、叶 Pb 含量虽然呈现出上升趋势, 但此时植物体内 Pb 的总含量却逐渐下降, 见表 2。这是由于施加石灰后 Ca 和 Pb 之间存在离子拮抗作用, 会降低植物对 Pb 的吸收<sup>[10,11]</sup>。

### 2.1.2 腐植酸对莴笋重金属含量的影响

随着腐植酸用量的增加, 莴笋 Hg 含量不断降低, 在高用量的情况下降低最明显, 此时莴笋中 Hg 含量

### 2.1.1 石灰对莴笋重金属含量的影响

石灰的加入明显地抑制了 Hg 向植物体内迁移, 用量越大, 莴笋中 Hg 的含量越少。当加入的石灰量为  $10.0 g \cdot kg^{-1}$  时, 莴笋中 Hg 含量为  $0.207 mg \cdot kg^{-1}$ , 比对照降低了 9.2%。施加石灰被认为是抑制 Cd 污染土壤上植株吸收 Cd 的有效措施<sup>[4]</sup>, 石灰的加入使土壤 pH 增加, Cd 的溶解度减少, 植株吸 Cd 量也随之降低<sup>[5]</sup>, 见表 2。

研究发现, 石灰在低用量和高用量下抑制 Cd 向植物迁移效果较明显, 尤其是低用量时抑制 Cd 向茎迁移最明显, 此时茎中 Cd 含量比对照低 41.5%; 在高用量时抑制 Cd 向叶迁移最明显, 此时叶中 Cd 含量下降 40.7%。这是因为施用石灰后土壤 pH 明显上升, 一方面增加了土壤表面可变负电荷而增加对镉离子的吸附, 另一方面使  $Cd^{2+}$  水解成  $Cd(OH)^+$ , 同时生成  $CdCO_3$  沉淀<sup>[6]</sup>。分析表明, 不同用量的石灰对 Cd 向植物体内迁移都有抑制作用, 可减少植物对 Cd 的吸

为  $0.068 mg \cdot kg^{-1}$ , 比对照降低了 67.0%, 见表 2, 根、茎、叶中的 Hg 含量分别下降了 60.3%, 50.0%, 72.2%。因此, 腐植酸在中、高用量的情况下能有效地抑制重金属 Hg 向植物体内迁移, 从而达到降低蔬菜可食部分 Hg 含量的目的。

加入腐植酸后, Pb 在植物体内的含量逐渐降低, 当加入量为  $0.67 g \cdot kg^{-1}$  时, 植物体内 Pb 含量为  $90.14 mg \cdot kg^{-1}$ , 比对照高 19.5%。当加入量为  $2.67 g \cdot kg^{-1}$  时, 植物体内 Pb 含量为  $68.71 mg \cdot kg^{-1}$ , 比对照降低了 8.9%。这可能是加入高用量腐植酸后对土壤结构及理化性质改变较大, 改变了土壤 Pb 各种形态的比例关系, 抑制了 Pb 向植物体内迁移。因此, 在试验条件下, 向单一的 Hg 污染土壤中施加腐植酸

是治理 Hg 污染的有效手段, 对 Pb 污染土壤, 施加高用量腐植酸能抑制 Pb 向植物体内的迁移。

腐植酸对 Cd 在植物内的富集有明显的促进作用, 在各种用量情况下莴笋中重金属含量均高于对照, 尤其是在低用量时促进效果更明显, 莴笋中 Cd 含量为  $10.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 比对照高 17.3%。其中 Cd 在茎、叶中的最大增幅分别为 36.6%、16.9%。因此, 在单一的 Hg、Pb 污染土壤中施加腐植酸是治理 Hg、Pb 污染的有效手段。但在 Cd 污染土壤中施加腐植酸不但没有抑制作用, 反而会促进 Cd 向植物体内迁移。对于这种情况, 可利用蔬菜生产的间歇期, 通过施加腐植酸来促进 Cd 向修复植物体内迁移, 以达到降低土壤中 Cd 含量的目的。

### 2.1.3 硫化钠对莴笋重金属含量的影响

硫化钠对土壤 Hg 向植物迁移有明显的促进作用, 但随着硫化钠加入量的增加, 莴笋中 Hg 含量明显下降, 在低用量时增加 109.7%, 而在高用量时比对照增加 14.1%。从植物可食部分 Hg 含量来看, 硫化钠能明显地抑制 Hg 在植物茎中的积累, 促进 Hg 在植物叶中的积累。当施加的硫化钠与污染土壤中 Hg 的当量比为 1: 2 时, 莴笋茎中的 Hg 含量下降了 66.7%, 叶中的 Hg 含量上升了 172.2%, 见表 2。随着硫化钠用量的增加, 叶中 Hg 含量从 172.2% 下降到 83.3%, 植株总 Hg 含量从高于对照 109.7% 下降到高于对照 14.1%。这表明硫化钠用量越大, 植物体内 Hg 含量的增幅越小。加入硫化钠后, Cd 在植物茎、叶部分的富集作用明显增强, 尤其是在中等用量情况下 Cd 含量增加最明显, 莴笋中 Cd 含量为  $11.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 比对照高 30.2%, 其茎、叶部分 Cd 含量分别增加 21.6%、37.2%。硫化钠的加入抑制了 Pb 在植物体内的富集, 植物中 Pb 的最大降幅为 23.8%, 高用量下 Pb 在根部富集能力降低了 38.1%, 在低用量下 Pb 则降低了 14.7%。虽然植株中 Pb 含量下降了, 但植物茎、叶中的 Pb 含量却表现为增加, 其中在低用量时茎、叶中 Pb 含量分别增加了 52.0%、56.5%, 高用量时分别增加了 40.5%、21.7%。这表明硫化钠不能有效降低植物可食部分 Pb 含量, 当硫化钠用量越大, 对促进 Pb 在茎、叶部分富集的作用越大, 越有利于 Pb 向植物茎、叶部分迁移。

## 2.2 化学添加剂对重金属在植物体内分配的影响

### 2.2.1 化学添加剂对 Hg 在植物体内分配的影响

试验结果表明, 植物体内的 Hg 主要集中在根部, 其次是叶, 茎中 Hg 所占的比例最小, 各个处理中 Hg

的分配情况均表现为根 > 叶 > 茎, 见表 3。与对照相比, A12, C11, C12, C13 处理明显降低了 Hg 在茎中所占的比例, 其中以 A12、C13 处理降低最为明显, Hg 在茎中的含量为  $0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 占植株中整个 Hg 含量的 1.4%, 比对照的  $0.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  下降了 83.3%。这表明硫化钠能抑制 Hg 向茎迁移; 随着硫化钠用量的增加, Hg 在茎、叶中的含量呈明显的下降趋势, 降幅分别达 50.0%、72.2%。虽然从分配系数来看, 加入腐植酸后, 茎中 Hg 的比例上升, 但其绝对量却下降明显, 这表明腐植酸能有效地抑制 Hg 在莴笋可食部分的富集。

表 3 重金属在植物体内各部分的分配系数

Table 3 Distribution coefficient of heavy metals in different plant parts

处理	分配系数 / %			处理	分配系数 / %		
	根	茎	叶		根	茎	叶
A11	88.0	5.1	6.9	B23	23.6	28.9	47.5
A12	85.9	1.4	12.7	C21	18.9	35.0	46.1
A13	71.0	7.2	21.8	C22	24.9	28.1	47.0
B11	80.0	9.1	10.9	C23	18.9	37.7	43.4
B12	79.3	8.6	12.1	CK2	23.5	30.8	45.7
B13	79.5	7.7	12.8	A31	74.4	10.5	15.1
C11	73.5	1.0	25.5	A32	62.4	14.5	23.1
C12	72.5	1.4	26.1	A33	71.4	10.3	18.3
C13	54.0	1.4	44.6	B31	53.0	14.2	32.8
CK1	76.5	5.9	17.6	B32	66.5	16.1	17.4
A21	25.6	24.2	50.2	B33	72.3	13.6	14.1
A22	17.8	36.7	45.5	C31	76.3	11.6	17.1
A23	26.8	34.8	38.4	C32	66.1	13.9	20.0
B21	20.7	33.7	45.6	C33	68.2	14.1	17.7
B22	24.4	34.5	42.1	CK3	81.8	7.4	10.8

### 2.2.2 化学添加剂对 Cd 在植物体内分配的影响

莴笋中重金属 Cd 在体内的分布为叶 > 茎<sup>[12]</sup>。不同化学添加剂对 Cd 在植物体内分配的影响不尽相同。与对照相比, 石灰的加入对 Cd 在莴笋的根、茎、叶中的含量都有不同程度的抑制作用, 其中低用量的石灰对抑制 Cd 在茎中的富集作用最明显, 使茎中的 Cd 含量下降了 41.5%; 高用量的石灰对抑制 Cd 在叶中的富集作用最明显, 使叶中的 Cd 含量下降了 40.8%。虽然从分配系数上来看, 石灰的加入对 Cd 在茎、叶中的分配系数的影响不大, 但 Cd 在植物体内的总含量下降明显。腐植酸和硫化钠的加入, 不论用量多少, 均使 Cd 在植物体内含量增加, 虽然从分配系数上来看影响不太明显, 但其实际的含量却表现为增长趋势。施加石灰、腐植酸、硫化钠后, 植株茎、叶各部分 Pb 含量几乎均表现为增加, 其中, 施加低用量

的硫化钠时茎中 Pb 的富集能力明显增强, 达  $39.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 增幅为 52.0%, 叶中 Pb 的增幅达 56.5%。尽管加入硫化钠后 Pb 的总含量降低, 但茎、叶中 Pb 含量的比例和实际含量均高于对照。这主要是 Pb 的减少主要在根部, 而对茎、叶中 Pb 的富集不但没有抑制作用, 反而有促进作用。利用这一规律, 可在蔬菜的生产间歇期, 种植非食用植物, 通过添加腐植酸、硫化钠等来促进 Pb 向植物体内迁移, 从而降低土壤中的 Pb 含量, 减少重金属对土壤的污染和对人体的危害。

方差分析发现, 化学添加剂对重金属在植物体内的分配的影响都达到极显著, 同时, 化学添加剂的不同用量对 Cd 在植物体内分布的影响也达到极显著水平。

### 3 结论

(1) 不同类型化学添加剂及其用量对土壤重金属的植物可利用性产生不同的影响。试验条件下, 石灰能降低或显著降低土壤 Hg、Cd、Pb 3 种重金属的植物可利用性; 腐植酸虽能降低土壤 Hg、Pb 的活性, 但却提高了 Cd 的植物有效性; 硫化钠只能降低 Pb 的活性。

(2) 不同化学添加剂及其用量对重金属在植物体内的分配产生明显的影响。石灰对 Cd 在植物体内富集有明显的抑制作用; 腐植酸能有效地抑制 Hg 在植物可食部分的富集; 硫化钠加入后使植物根部 Pb 含

量减少, 而在茎、叶部的比例上升。

### 参考文献:

- [1] 皮广洁, 唐书源. 农业环境监测原理与应用[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- [2] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986.
- [3] 朱婉, 沈壬水, 钱钦文. 土壤中重金属的五个组分的连续提取法[J]. 土壤, 1989, 21(3): 163 - 166.
- [4] 熊礼明. 石灰对土壤汞吸附行为及有效性影响[J]. 环境科学研究, 1994, 7(1): 35 - 38.
- [5] 熊礼明, 鲁如坤. 几种物质对水稻吸收镉的影响及机理[J]. 土壤, 1992, 24(2): 197 - 200.
- [6] 廖敏, 黄昌勇, 谢正苗. 施加石灰降低不同母质土壤中镉毒性机理研究[J]. 农业环境保护, 1998, 17(3): 101 - 103.
- [7] 吴留松, 顾宗谦, 谢思琴, 等. 添加物对土壤提取液中的铜、镉生物毒性的影响[J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 377 - 382.
- [8] Ma Y B, Uren N C. Transformations of heavy metals added to soil - application of a new sequential extraction procedure[J]. *Geoderma*, 1998, 84: 157 - 168.
- [9] Hooda P S, Alloway B J. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge - applied soils[J]. *J Agric Sci (Cambridge)*, 1996, 127: 289 - 294.
- [10] 杨亚卓, 张福锁. 土壤 - 植物体系中的铅[J]. 土壤学进展, 1993, (5): 1 - 10.
- [11] 符建荣. 土壤中铅的积累及污染的农业防治[J]. 农业环境保护, 1993, 12(5): 223 - 226, 232.
- [12] 楼根林, 张中俊, 伍钢, 高劲. 镉在不同土壤的蔬菜中残留规律研究[J]. 环境科学学报, 1990, 10(2): 165 - 159.