

添加碳酸钙对土壤中镉形态转化 与玉米叶片镉组分的影响*

周 卫 汪 洪 李春花 林 葆

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100081)

摘 要 采用土壤培养、盆栽试验及连续提取测定等方法研究添加碳酸钙对外源镉在棕壤中的转化与玉米叶片镉组分的影响。与不加碳酸钙处理比较, 添加碳酸钙处理土壤交换态镉含量显著下降, 专性吸附态镉、铁锰氧化物结合态镉和残余态镉含量显著增加; 添加碳酸钙处理可显著增加土壤 pH、土壤饱和浸提液 $[\text{Ca}^{2+}]$ 及 $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Cd}^{2+}]$, 并显著降低饱和浸提液 $[\text{Cd}^{2+}]$; 碳酸钙处理玉米根、茎、叶干重和全钙量显著增加, 全镉含量及叶片 H_2O 提取镉、 $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 提取镉、 $10\% \text{HOAc}$ 提取镉、 $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl}$ 提取镉和残余镉含量均明显减少。上述结果显示, 添加碳酸钙可降低土壤—植物体系的镉毒害。

关键词 碳酸钙, 降低镉毒害, 土壤镉形态, 玉米, 叶片镉组分

中图分类号 Q945

重金属污染中, 镉的污染已受到极大重视。据报道, 我国受镉污染的耕地面积约 1.33 万公顷, 已有 11 处污灌区达到了生产镉米的程度^[1]。钙, 作为植物必需的营养元素, 其具有独特的解毒功能^[2,3]。大量研究证实, 钙可矫治生长介质铝、锰毒害, 还可提高植物的抗盐性。愈来愈多的研究表明, 无论土施还是水培试验, 钙对镉污染均具有非凡的解毒功能^[1,4]。当前土施碳酸钙是改良镉污染土壤最重要的方法之一^[5,6], 但现今的研究多偏重于碳酸钙对土壤中镉形态分布的影响, 研究结果也因土壤和试验条件不同而异, 而较少涉及到土壤溶液和植物体内的钙镉相互作用。为此, 本文拟系统探讨碳酸钙对土壤中镉形态转化, 土壤饱和浸提液钙、镉浓度及植物钙、镉吸收等的影响, 以初步揭示土壤—植物体系钙降低镉毒害的机理。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

从山东莱阳采取未受镉污染的棕壤(0~20 cm)样品一个, 其基本理化性状见表 1, 土壤经风干过 1 mm 筛后, 用于培养试验和盆栽试验。

* 国家自然科学基金资助项目(批准号49671044)

收稿日期: 1999-09-14; 收到修改稿日期: 2000-02-24

表1 供试土壤的理化性状

Table 1 Selected properties of tested soil

土壤类型 Soil type	质地 Texture	有机质 OM (g kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	交换性Ca Exch. Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC (cmol(+) kg ⁻¹)
棕壤	粉壤质	16.0	6.05	— ¹⁾	5.2	12.6

1) 未测出

1.2 培养试验

称取土壤 100 g, 将化学纯 CaCO₃ 分别按 0.05%、0.1% 和 0.2% 的比例 (W/W) 加入到土壤中, 按 20 mg kg⁻¹ 土的量加入 CdCl₂ 溶液, 同时设置只加 CdCl₂ 不加 CaCO₃ 的处理作为对照。重复 3 次。土壤在 25 (± 2) °C 和约 80% 的田间持水量 (含水量约为 20%, 采用称重法补充水分, 每天两次) 下培养 60 天, 风干, 测定土壤 pH, 土壤饱和浸提液中 Ca²⁺ 和 Cd²⁺ 浓度, 并作 Cd 形态分级。

1.3 盆栽试验

称取 1 kg 土壤装入 10 cm × 10 cm 小塑料盆中, 将 CaCO₃ 和 CdCl₂ 溶液与土壤混匀, 添加 CaCO₃ 的处理设置及投 Cd 量同 1.2 培养试验。肥料以溶液形式作基肥一次性施入, 每 kg 土的养分施入量分别为 N 0.16 g, P 0.06 g, K 0.1 g, S 0.06 g 和 Mg 0.04 g。重复 3 次。土壤在 25 (± 2) °C 和 80% 田间持水量下平衡 2 周后, 播种玉米 (品种为丹早 208), 每盆定植 6 株, 在昼夜温度波动 18~30 °C 和约 80% 田间持水量下生长 45 天, 分根、茎、叶等部位取样, 去离子水洗净, 65 °C 下烘干、磨碎, 测定各部位 Ca、Cd 全量和各组分含量。

1.4 测定方法

1.4.1 土壤饱和浸提液的制备 见参考文献 [7]。

1.4.2 土壤 Cd 形态分级 参照林琦等^[8]和 Ma 等^[6]所采用的方法略有改动, 采用连续提取方法, 操作要点列于表 2。

表2 土壤Cd的形态分级的连续提取方法

Table 2 Method of sequential extraction for fractionation of Cd form

形态 Form	提取剂 Extraction agent	操作方案 Operational procedure in brief
I 交换态	0.5 mol L ⁻¹ Mg(NO ₃) ₂ , pH7.0	液土比10:1, 25°C 振荡2h, 离心分离
II 专性吸附态	1% Na ₂ EDTA-1 mol L ⁻¹ NH ₄ OAc, pH8.3	液土比10:1, 25°C 振荡2h, 离心分离
III 碳酸盐结合态	0.5 mol L ⁻¹ NaOAc-0.5 mol L ⁻¹ HOAc, pH4.74	液土比10:1, 25°C 振荡3h, 离心分离
IV 铁锰氧化物结合态	0.175 mol L ⁻¹ (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ -0.1 mol L ⁻¹ H ₂ C ₂ O ₄ , pH3.25	液土比10:1, 25°C 振荡3h, 离心分离
V 有机结合态	30% H ₂ O ₂ , 0.5 mol L ⁻¹ NaOAc-0.5 mol L ⁻¹ HOAc, pH4.74	加入H ₂ O ₂ , 液土比2.5:1, 85°C 蒸干消化2次; 再加入0.5 mol L ⁻¹ NaOAc-0.5 mol L ⁻¹ HOAc, 液土比10:1, 25°C 振荡1h, 离心分离
VI 残余态		总投Cd量减去上述各形态Cd量之和

1.4.3 植物 Ca、Cd 组分分级 参照 Antonio 所采用的方法, 采用去离子水、 $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 、 $10\% \text{HOAc}$ 和 $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl}$ 逐级提取^[9]。

1.4.4 植物全 Ca 和全 Cd 样品的消化 采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 混合消化^[10]。

1.4.5 Ca、Cd 含量的测定 土壤和植物样品经上述提取或消化处理后, Ca 和 Cd 含量均采用原子吸收分光光度计测定。

1.4.6 其他项目 常规法。

2 结果与讨论

2.1 添加 CaCO_3 对土壤中 Cd 形态转化的影响

通常土壤 Cd 可分为交换态、碳酸盐结合态、铁锰结合态、有机结合态和残余态等组分^[5,8,11], 新近, Ma 和 Urhan 采用 EDTA 盐溶液从碳酸盐结合态中分离出专性吸附 Cd^[6]。由于专性吸附的 Cd 不能参与一般的离子交换反应, 实际上是对 Cd 固定的一种方式, 因而该过程对 Cd 污染起一定控制作用^[12]。本文即在原分级方法基础上增加了 EDTA 提取组分, 以将专性吸附的 Cd 和碳酸盐结合态 Cd 区别开来。表 3 显示, 当 CaCO_3 添加量由零增加到 0.2% 时, 交换态 Cd 由 7.2 mg kg^{-1} 降低到 3.3 mg kg^{-1} , 而专性吸附 Cd 由 6.1 mg kg^{-1} 增加到 8.4 mg kg^{-1} , 铁锰结合态 Cd 由 2.7 mg kg^{-1} 增加到 3.6 mg kg^{-1} , 残余态 Cd 由 3.0 mg kg^{-1} 增加到 3.5 mg kg^{-1} , 碳酸盐结合态和有机结合态 Cd 则变化不显著。Krebs 得出, Cd 污染土壤中施用石灰, NaNO_3 浸提的 Cd 量减少^[13]。对此的解释一般认为施用石灰, 土壤 pH 提高, 土壤表面负电荷增加, 从而土壤对镉的亲合性增加^[14]。本研究显示添加碳酸钙主要促进土壤 Cd 向迟效或无效态转化, 专性吸附态和铁锰结合态 Cd 增加。鉴于 EDTA 可提取羟基碳酸盐^[15], 而镉为纯碳酸钙表面专性吸附后主要形成羟基碳酸镉^[16], 因此推测, 镉被碳酸钙表面专性吸附后可能形成羟基碳酸镉, 表现为 EDTA 提取 Cd 增加; 至于铁锰结合态 Cd 含量增加的可能原因是, 添加 CaCO_3 后土壤 pH 增加, 当 pH 增加到 6.7~6.8 时, 土壤中 Mn^{2+} 和 Fe^{2+} 开始水解为 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ^[17], 从而增加了 Fe、Mn 氧化物与 Cd 的结合。

林琦等研究显示, 与非根际土壤比较, 根际土壤交换态 Cd 含量较低, 而有机结合态和铁锰结合态 Cd 含量较高, 认为植物根系及微生物可分泌较多的有机物质, 促进交换态 Cd 转化为有机态 Cd, 同时植物 (尤其是水稻) 根际的氧化作用明显高于非根际, 铁、锰得以活化, 增加了表面积和吸附位^[8]。吴留松等实验得出, 对照不施 CaCO_3 处理土壤交换态 Cd 占总投 Cd 量达 39.3%, 而添加 CaCO_3 处理则降低到 5.17%^[5], 交换态 Cd 的降幅远大于本实验结果, 这可能与供试土壤本身性质及培养期间土壤含水量 (35%) 较高有关; 此外, 由本实验还可看出, 供试土壤碳酸盐结合态 Cd 占总 Cd 量的比率远低于其他实验土壤, 添加 CaCO_3 对碳酸盐结合态 Cd 无显著影响, 这显然与本实验中将专性吸附的 Cd 和碳酸盐结合态 Cd 区别开来有关。可见土壤中镉形态转化既与实验条件有关, 同时还受到植物的影响。

2.2 添加 CaCO_3 对土壤 pH 及饱和提取液 $[\text{Ca}^{2+}]$ 和 $[\text{Cd}^{2+}]$ 的影响

土壤饱和提取液离子浓度与比例可较好地反映土壤中根区的离子状况^[18], 而土壤 pH

表3 添加CaCO₃对土壤中Cd形态分布的影响Table 3 Effects of CaCO₃ addition on distribution of Cd forms in soil

处理 Treatment	交换态Cd Exch. Cd	专性吸附态Cd Specific adsorp. Cd	碳酸盐结合态Cd Carbonate-Cd	铁锰结合态Cd FeMnO _x -Cd	有机结合态Cd OM-Cd	残余Cd Resid. Cd
(mg kg ⁻¹)						
不加CaCO ₃	7.2a	6.1d	0.5a	2.7c	0.5a	3.0b
0.05% CaCO ₃	5.8b	6.9c	0.6a	3.0bc	0.6a	3.1b
0.1% CaCO ₃	4.5c	7.6b	0.7a	3.3ab	0.6a	3.3ab
0.2% CaCO ₃	3.3d	8.4a	0.7a	3.6a	0.6a	3.5a
LSD _{0.05}	0.80	0.42	0.22	0.32	0.16	0.26

则直接影响到 Cd²⁺ 在土壤中的行为^[19]。表 4 数据显示, 随 CaCO₃ 用量的增加, 土壤 pH、饱和和提取液 [Ca²⁺] 及 [Ca²⁺] / [Cd²⁺] 显著增加, [Cd²⁺] 则显著减少。与不施 CaCO₃ 处理比较, CaCO₃ 处理前三者分别增加 1.0 个 pH 单位, 2~3 倍和 6~22 倍, 后者则减少至原来的 1/2 ~ 1/7。对此 Naidu 认为, 土壤 pH 升高, 有利于 Cd²⁺ + H₂O = CdOH⁺ + H⁺ 反应向右进行, CdOH⁺ 的存在, 有利于镉的吸附量提高^[19]; Andersson 认为 CaCO₃ 降低植物 Cd²⁺ 吸收的原因是 Ca²⁺ 和 Cd²⁺ 可竞争根表吸收位点^[20]; 我们的前期研究表明, 随根际 Ca²⁺ 浓度的增加, 根系 Cd²⁺ 的主动吸收明显受到抑制。本项研究中由添加 CaCO₃ 所导致的 [Ca²⁺] 和 [Cd²⁺] 的变化必将直接影响到植物根系对 Cd 的吸收^[21]。

表 4 添加 CaCO₃ 对土壤 pH 及饱和和提取液 [Ca²⁺] 和 [Cd²⁺] 的影响Table 4 Effects of CaCO₃ addition on pH and [Ca²⁺] and [Cd²⁺] concentrations in saturated extract in soil

处理 Treatment	pH	饱和提取液 [Ca ²⁺] [Ca ²⁺] in satur. extr.	饱和提取液 [Cd ²⁺] [Cd ²⁺] in satur. extr.	饱和提取液 [Ca ²⁺]/[Cd ²⁺] [Ca ²⁺]/[Cd ²⁺] in satur. extr.
		(mmol L ⁻¹)	(μmol L ⁻¹)	(10 ³)
不加CaCO ₃	6.05d	0.21d	0.41a	0.51
0.05%CaCO ₃	6.45c	0.48c	0.21b	2.28
0.1% CaCO ₃	6.75b	0.58b	0.15c	3.87
0.2%CaCO ₃	7.05a	0.68a	0.06d	11.3
LSD _{0.05}	0.10	0.08	0.05	

2.3 添加 CaCO₃ 对玉米生物量和 Ca、Cd 吸收的影响

表 5 表明, 与不施 CaCO₃ 处理比较, CaCO₃ 处理根、茎和叶干重显著增加, 增幅分别为 19.1%~23.4%, 8.0%~17.3% 及 8.9%~16.9%, Cd 含量显著降低, 降幅分别为 16.9%~44.8%, 13.1%~48.9% 及 17.6%~49.3%, Ca 含量也显著增加, 显示 CaCO₃ 对玉米 Cd 毒害具有明显的缓解作用。该研究结果与在小麦和白菜上的试验结果相近^[1], Hooda 也得出了 Cd 污染土壤中施用 CaCO₃ 可减少植物对镉的吸收的研究结果^[4]。

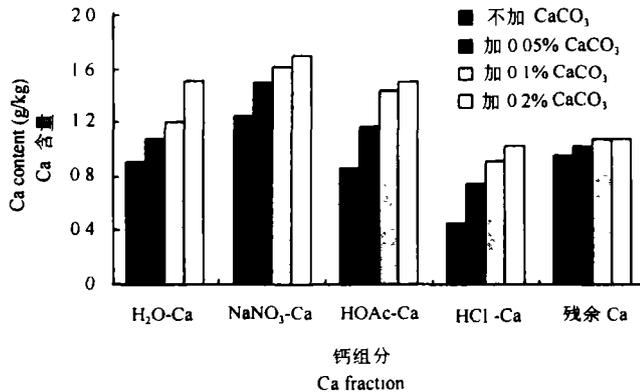
2.4 添加 CaCO₃ 对玉米叶片 Ca、Cd 组分的影响

Antonio 认为, H₂O 主要提取叶片中可溶于水的无机态和有机态盐; 2mol L⁻¹ NaNO₃ 提取果胶盐和难溶性碳酸盐, 10%HOAc 和 2 mol L⁻¹ HCl 分别提取难溶性磷酸盐和草酸盐, 残渣中则为难溶性硅酸盐^[9]。一般认为, H₂O 提取态钙的量与叶片的合成能力有关, 当其

表5 添加CaCO₃对玉米生物量及全Ca和全Cd含量的影响Table 5 Effects of CaCO₃ addition on biomass, total Ca and total Cd contents for maize

处理 Treatment	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf		
	干重 DW	全Ca Total Ca	全Cd Total Cd	干重 DW	全Ca Total Ca	全Cd Total Cd	干重 DW	全Ca Total Ca	全Cd Total Cd
	(g/pot)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g/pot)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g/pot)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
不加CaCO ₃	0.74b	1.98d	29.0a	0.55b	3.10d	7.6a	1.55b	4.44d	14.2a
0.05% CaCO ₃	0.92a	2.16c	24.1b	0.61a	3.46c	6.2ab	1.75ab	5.54c	11.7b
0.1% CaCO ₃	0.96a	2.30b	20.6c	0.68a	3.78b	4.8bc	1.94a	6.27b	9.3c
0.2% CaCO ₃	0.92a	2.45a	16.0d	0.67a	3.98a	3.9c	1.93a	6.85a	7.2d
LSD _{0.05}	0.14	0.12	3.2	0.05	0.28	1.8	0.26	0.34	1.5

合成有机酸类物质较为活跃时,有利于水溶态钙的形成;果胶钙和难溶性磷酸钙的形成与叶片中间代谢产物的产生有关,代谢越活跃,越有利于该形态钙盐的形成;难溶性草酸钙的形成则与器官的光合作用能力有关,光合作用强,积累在液泡中草酸钙越多(但其不参与渗透压的形成)^[9]。本研究显示,Cd污染土壤中添加CaCO₃明显改变了玉米叶片的Ca、Cd组分。与对照不施CaCO₃处理比较,随CaCO₃用量的增加,叶片H₂O提取Ca、2 mol L⁻¹ NaNO₃提取Ca、10%HOAc提取Ca、2 mol L⁻¹ HCl提取Ca和残余Ca渐增,增幅分别为0.17~0.50, 0.25~0.46, 0.31~0.64, 0.30~0.58和0.07~0.13 g kg⁻¹(图1),而以上相应的Cd组分渐降,降幅分别为0.04~0.08, 1.16~3.04, 0.88~2.96, 0.38~0.68和0.04~0.24 mg kg⁻¹(图2)。

图1 添加CaCO₃对玉米叶片Ca组分的影响Fig.1 Distribution of Ca fractions in leaves of maize as affected by CaCO₃ addition

以上Ca、Cd组分的变化与Cd毒性关系密切。就在细胞中的分布而言,难溶性碳酸盐、磷酸盐态和草酸盐态和部分水溶态Ca、Cd主要分布于液泡和线粒体中,果胶态和难溶性硅酸盐态Ca、Cd主要存在于细胞壁上,而部分水溶态Ca、Cd则分布于细胞质中,参与代谢反应^[9]。存在于胞质中的水溶态Cd和线粒体上的Cd可能对植物的毒性较大。研究表明,质膜和液泡膜上存在推动Cd²⁺/H⁺反向运输系统(H⁺-ATPase),该系统能将H⁺排

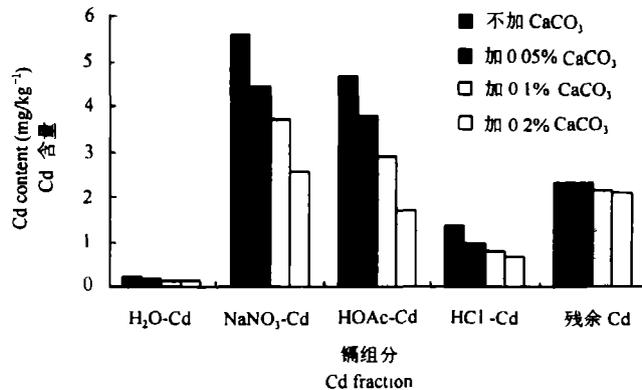


图2 添加CaCO₃对玉米叶片Cd组分的影响

Fig.2 Distribution of Cd fractions in leaves of maize as affected by CaCO₃ addition

出质膜和液泡膜, Cd²⁺ 反向运输进入细胞和液泡内。该系统对 Cd²⁺ 运输没有专一性, Ca²⁺ 和其他阳离子 (Cu²⁺、Zn²⁺、Fe²⁺、Mn²⁺ 等) 可与 Cd²⁺ 竞争运输位点^[22]。添加 CaCO₃ 一方面减少了植物根系对镉的吸收, 另一方面叶片细胞水溶态 Ca²⁺ 含量较高, 细胞膜和液泡膜上 Cd²⁺ 运输位点可能为水溶态 Ca²⁺ 所占据, 这既减少了进入胞质 Cd²⁺ 的量, 又减少了进入液泡中 Cd²⁺ 的量, 因而随着 CaCO₃ 用量的增加, 叶片各形态 Cd 含量均减少, 镉毒性减低; 而各钙组分的增加可能是 Cd 污染土壤中添加 CaCO₃ 促进了玉米生理代谢的例证, 从而也有利于玉米对 Cd 胁迫的拮抗。

参 考 文 献

1. 陈怀满. 土壤—植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996. 115~125
2. 细野道明. 培养液中钙对水稻、番茄生长发育的影响. 日本土壤肥科学杂志, 1979, 50(4): 353~357
3. Pierzynski G M, Schwab A P. Bioavailability of zinc, cadmium and lead in a metal-contaminated alluvial soil. J. Environ. Qual., 1993, 22(2): 247~254
4. 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. Agric. Sci. (Cambridge), 1996, 127: 289~294
5. 吴留松, 顾宗源, 谢思琴等. 添加物对土壤提取液中铜、镉生物毒性的影响. 土壤学报, 1992, 29(4): 377~382
6. Ma Y B, Uren N C. Transformations of heavy metals added to soil-application of a new sequential extraction procedure. Geoderma, 1998, 84: 157~168
7. 林葆, 周卫. 棕壤中花生钙素营养的化学诊断与施钙量问题的探讨. 土壤通报, 1997, 28(3): 127~131
8. 林琦, 郑春荣, 陈怀满. 根际环境中镉的形态转化. 土壤学报, 1998, 35(4): 461~467
9. Antonio L A. Calcium forms in leaves of musk melon plants grown with different calcium compounds. J. Plant Nutri., 1998, 21(9): 1897~1912
10. 张敬锁, 李花粉, 衣纯真, 张福锁. 有机酸对活化土壤中镉和小麦吸收镉的影响. 土壤学报, 1999, 36(1): 61~65
11. Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedure for the spectation of particulate trace metals. Anal. Chem., 1979, 51: 844~851
12. 于天仁, 季国亮, 丁昌璞. 可变电荷土壤的电化学. 北京: 科学出版社, 1996. 79~87
13. Krebs R, Gupta S K, Furrer G, Schulin R. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. J. Environ. Qual., 1998, 27: 18~23

14. Naidu R, Bolan N S, Kookana R S, Tiller K G. Ionic strength and pH effects on surface charge and Cd sorption characteristics of soils. *J. Soil Sci.*, 1994, 45: 419~429
15. Miller W P, Mcfee W W. Distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soils of industrial northwestern Indiana. *J. Environ. Qual.*, 1983, 12(1): 29~33
16. Papadopoulos P, Rowell D L. The reactions of copper and zinc with calcium carbonate surfaces. *J. Soil Sci.*, 1989, 40:39~48
17. 袁可能. 土壤化学. 北京: 农业出版社, 1990. 88~90
18. 周卫, 林葆. 土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展. *土壤肥料*, 1996, (3): 19~24
19. Naidu R, Kookana R S, Sumner M E, Harter R D, Tiller K G. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26: 602~617
20. Andersson A, Nilsson K O. Influence of lime and soil pH on Cd availability to plants. *Am. Bio.*, 1974, 3: 198~212
21. Zhou W, Lin B. Alleviation of Cd toxicity by Ca for maize and its mechanism. *In: Cao Z ed. International Symposium on Soil, Human and Environment Interactions. Beijing: China Science & Technology Press, 1997. 267~271*
22. Grant C A, Buckley W T, Bailey L D, Selles F. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.*, 1998, 78:1~17

EFFECTS OF CALCIUM CARBONATE ADDITION ON TRANSFORMATION OF CADMIUM SPECIES IN SOIL AND CADMIUM FORMS IN LEAVES OF MAIZE

Zhou Wei Wang Hong Li Chun-hua Lin Bao

(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Key Laboratory of Plant Nutrition Research, MOA, Beijing 100081)

Summary

Pot experiment, laboratory culture and the sequential extraction procedures for the speciation of Cd in soil and plant were used to study the effects of calcium carbonate (CaCO_3) addition on transformation of cadmium (Cd) species in a brown soil added with Cd and change of Cd forms in leaves of maize. Compared to no CaCO_3 addition, CaCO_3 addition could lower content of exchangeable Cd, but increase the specifically adsorbed Cd, Cd bound to iron and manganese oxides, and residual Cd in the soil significantly. In presence of CaCO_3 , soil pH, and $[\text{Ca}^{2+}]$ and $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Cd}^{2+}]$ in saturation extracts increased, while $[\text{Cd}^{2+}]$ decreased, significantly. It was also found that dry weight and total Ca content of roots, stems and leaves of maize significantly increased, while the contents of total Cd, extractable Cd (H_2O , 2mol L^{-1} NaNO_3 , 10% HOAc and 2mol L^{-1} HCl) and residual Cd obviously decreased with adding CaCO_3 . It was concluded that Cd toxicity in soil-plant system could be alleviated by CaCO_3 addition.

Key words Calcium carbonate, Alleviation of Cd toxicity, Soil Cd species, Maize, Cd fractions in leaves