

# 有机肥料对镉污染土壤的改良效应\*

张亚丽 沈其荣 姜 洋

(南京农业大学资源与环境科学学院, 农业部“作物生长调控”重点实验室, 南京 210095)

**摘 要** 通过培养与盆栽试验, 研究了有机肥料对污染土壤中 Cd 的有效性、各形态及其生物活性的影响。结果表明, 有机肥料的施用明显降低了土壤中有效性 Cd 的含量, 其中猪粪效果优于秸秆类; 有机肥料的施用促使交换态 Cd 向松结合有机态、锰氧化物结合态 Cd 转化。相关分析表明, 土壤交换态 Cd 和松结合有机态 Cd 与土壤中有效态 Cd、水稻地下部分含 Cd 成显著或极显著正相关。

**关键词** 有机肥料, 镉, 污染土壤, 改良

**中图分类号** S141

目前, 我国部分地区农田土壤受 Cd 的污染已很严重, 上海蚂蚁滨地区受 Cd 污染的土壤平均含 Cd 达  $21.48 \text{ mg kg}^{-1}$ , 最高达  $130 \text{ mg kg}^{-1}$ , 而广州郊区老污灌区土壤 Cd 的含量最高达  $228 \text{ mg kg}^{-1}$ , 平均为  $6.68 \text{ mg kg}^{-1}$  [1]。土壤中过量的 Cd 会抑制植物生长, 在可食部分的残留还会通过食物链影响人体的健康, 因此对 Cd 污染土壤的治理已引起国内外的广泛重视。国内外的治理方法目前主要有: 生物法, 施用化学改良剂法, 客土法等。尽管这些方法都具有一定的改良效果, 但也都有一定的局限性 [2]。本文试图利用有机肥料来钝化模拟污染土壤中的有效性 Cd, 从而降低植物对 Cd 的吸收, 为有机肥料改良 Cd 污染土壤提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

黄泥土采自江苏省宜兴市, 采样深度 0~20 cm, 土样经风干磨细后, 分别过筛备用。土壤有机碳  $13.2 \text{ g kg}^{-1}$ , 全氮  $1.5 \text{ g kg}^{-1}$ , 速效磷  $7 \text{ mg kg}^{-1}$ , 速效钾  $77 \text{ mg kg}^{-1}$ , 总镉  $0.11 \text{ mg kg}^{-1}$ , pH(1:2.5 土水比) 5.03, 游离铁  $120 \text{ mg kg}^{-1}$ , 游离锰  $114 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

有机肥料选用猪粪、稻草和麦秆(晒干后粉碎过 20 目筛)。其基本性状见表 1。

供试作物为水稻(品种: 9516)。

### 1.2 培养试验

各处理添加 Cd 浓度相同, 均为  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ; 有机肥料设置下列处理: CK(不施), 猪粪 1%; 猪粪 2%;

\* 国家自然科学基金重点项目(批准号 39830220)

收稿日期: 2000-03-24; 收到修改稿日期: 2000-12-08

表1 供试有机肥料的基本性状

Table 1 Some properties of the organic manure used in the experiments

有机肥料	全C	全N	全P	全K	C/N	C/P	Cd
Organic manure	Total C (g kg <sup>-1</sup> )	Total N (g kg <sup>-1</sup> )	Total p (g kg <sup>-1</sup> )	Total K (g kg <sup>-1</sup> )			(mg kg <sup>-1</sup> )
猪 粪	330	12.8	12.6	7.6	26	26	nd
稻 草	382	6.0	3.7	17.5	64	103	nd
麦 秆	424	5.8	4.5	18.0	73	94	nd

稻草 1%; 稻草 2%; 麦秆 1%; 麦秆 2%。按试验处理分别称取有机肥料加入 100 g 土中, 充分混匀后装入 100 ml 烧杯中, 1999 年 1 月 8 日开始投加 Cd<sup>2+</sup> 溶液, 淹水恒温 25 (± 1) °C 培养, 分别于第 15, 30, 60, 90, 120 天取样。

### 1.3 盆栽试验

按试验处理称取有机肥料加入 3 kg 土中, 基肥一致, 分别称取 N(尿素), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(过磷酸钙), K<sub>2</sub>O(硫酸钾)各 0.1 g kg<sup>-1</sup>, 充分混匀后装入塑料桶, 加水调节至田间持水量的 70%。室温下培养一个月后, 按处理(见表 2)投加 Cd<sup>2+</sup> 溶液, 钝化一周后于 1999 年 4 月 16 日播种, 一周后定苗, 重复 9 次。全部用去离子水浇灌, 于孕穗期追加 0.05 g N kg<sup>-1</sup>(尿素), 9 月 20 日结束。分蘖期、齐穗期分别按地上与地下部分采样, 收获期分别按茎叶、籽粒、地下部分采样。

### 1.4 分析方法

土壤中 Cd 的形态分级采用 Tessler 等<sup>[3]</sup>提出的经蒋廷惠<sup>[4]</sup>、韩凤祥<sup>[1]</sup>修正的形态分组方法, 将土壤分为交换态(简称 Exch)、松结合有机态(简称 WBO)、氧化锰结合态(简称 OxMn)、紧结合有机态(简称 SBO)、无定形氧化铁结合态(简称 AmorFe)、晶形氧化铁结合态(简称 CoxFe)、矿物结合态(简称 Min)。经多次分组发现, 后三组含量均在原子吸收检测限以下, 故没有再做分离。

植株中 Cd 含量采用 1 mol L<sup>-1</sup> HCl 浸提<sup>[5]</sup>; 土壤中有效态 Cd 用 0.05 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> 浸提<sup>[2]</sup>, 土液比为 1:5, 振荡 90 min; 待测液中的 Cd 用原子吸收分光光度法测定。其他均参照文献 [5]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 有机肥料对污染土壤有效态 Cd 的影响

从表 3 可以看出, 与对照相比, 施用有机肥料使有效态 Cd 含量减少, 降幅在 3%~20%, 其中不同种类有机肥料的抑制效果差异显著。猪粪的效果最好, 降幅在 15% 左右; 麦秆和稻草次之, 降幅均在 5% 左右。有机肥料不同用量对土壤有效态 Cd 的影响也不同。猪粪用量由 1% 增至 2% 时, 土壤有效态 Cd 的降幅由 10.4% 增至 19.5%; 而秸秆类有机肥

1) 韩凤祥. 南京农业大学硕士论文. 1987

2) 郑绍建. 南京农业大学博士论文. 1991

表2 盆栽试验处理

Table 2 Pot treatments

Cd	Cd (10mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (100mg kg <sup>-1</sup> )
有机肥0	有机肥0	有机肥0
有机肥0	猪粪2%	猪粪2%
	稻草1%	稻草1%
	稻草2%	稻草2%

表3 有机肥料对土壤中有效性Cd含量的影响

Table 3 Effect of organic manure on soil available Cd (mg kg<sup>-1</sup>)

处 理 Treatment	培 养 时 间 Incubation time					平均值 Average	降幅(%) Decreased percentage
	15d	30d	60d	90d	120d		
CK	31±1.52	26±3.00	40±2.32	31±1.08	26±1.98	30.8a	
稻草1%	24±3.40	22±3.05	42±1.78	33±2.81	22±3.01	29.4	4.5
稻草2%	20±2.58	25±2.47	42±1.13	34±2.38	22±2.17	29.8a	3.3
麦秆1%	27±2.01	22±1.03	41±3.03	32±3.19	21±4.56	28.6	7.2
麦秆2%	25±1.80	26±2.10	40±2.48	33±2.52	20±2.60	29.4a	4.6
猪粪1%	24±2.00	26±2.41	35±1.19	30±2.30	21±2.70	27.6	10.4
猪粪2%	23±1.60	24±2.50	29±1.00	29±1.48	20±1.30	24.8b	19.5

注: a, b, c代表LSD<sub>05</sub> 差异显著性

料用量增加对土壤有效态 Cd 的抑制效果不明显。加入有机肥对 Cd 污染土壤的改良原理主要有两个方面: 一是有机肥料施入土壤后, 增加的土壤有机质可络合 Cd<sup>2+</sup>, 降低 Cd<sup>2+</sup> 有效性<sup>[6~9]</sup>。培养试验结果表明(表 6), 培养 60 天时, 施用有机肥料均提高了土壤有机碳含量, 在供试条件下, 提高幅度随有机肥用量增加而增加。二是有机肥料影响了土壤其他基本性状(如理化性质)所产生的间接作用。土壤中金属离子的活动很大程度上受土壤 pH 值支配。pH 值升高, 土壤胶体负电荷增加, H<sup>+</sup> 竞争作用减弱, 作为土壤吸附重金属的主要载体如有机质、锰氧化物等与重金属结合更牢固; 相反 pH 值降低, 土壤中可溶性和交换性金属离子的比例会高些。从表 4 可看出, 与对照相比, 猪粪处理在整个培养期都使土壤 pH 值有所升高; 而稻草处理在培养前期(15~60 天)土壤 pH 值均比对照高, 但增幅没有猪粪明显, 60 天后 pH 值急剧下降。这可能与有机肥料性质及其在土壤中的腐解速度有关<sup>[10]</sup>。猪粪 C/N 低, 分解速度快, 由于有 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的释放会导致土壤 pH 值升高; 而稻草 C/N 高达 70, 其分解速度慢, 且有机酸释放量多, 所以培养后期 pH 值下降。其 pH 值下降原因还有待进一步研究。

表4 有机肥料对土壤pH的影响

Table 4 Effect of organic manure on soil pH

处 理 Treatment	培 养 时 间 Incubation time				
	15d	30d	60d	90d	120d
CK	5.06±0.08	5.08±0.15	5.13±0.12	5.10±0.07	5.11±0.09
猪粪1%	5.42±0.11	5.30±0.13	5.31±0.07	5.14±0.05	5.30±0.10
猪粪2%	5.50±0.07	5.41±0.09	5.39±0.12	5.16±0.17	5.35±0.13
稻草1%	5.20±0.13	5.24±0.08	5.21±0.17	4.88±0.16	4.83±0.09
稻草2%	5.23±0.09	5.30±0.11	5.17±0.14	4.77±0.12	4.73±0.11

## 2.2 有机肥料对污染土壤 Cd 各形态的影响

Cd 的形态可分为交换态、松结合有机态、锰氧化物结合态、紧结合有机态、无定形氧化铁结合态、晶形氧化铁结合态及硅酸盐态等。从表 5(5 次测定结果的平均值)可以看出,

表5 有机肥料对土壤中Cd各形态含量和分配系数的影响

Table 5 Effect of organic manure on soil Cd

处 理 Treatment	Exch		WBO		OxMn		SBO		总 和 Total
	含量 Content	分配系数 Distribution coefficient	含量 Content	分配系数 Distribution coefficient	含量 Content	分配系数 Distribution coefficient	含量 Content	分配系数 Distribution coefficient	
	(mg kg <sup>-1</sup> )	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> )	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> )	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> )	(%)	
CK	41.4	82.0	2.00	3.9	6.52	12.9	0.55	1.09	50.47
猪粪1%	37	70.8	4.32	8.3	9.80	18.7	1.15	2.20	52.27
猪粪2%	32.2	65.9	4.90	10.1	10.7	21.9	1.65	2.33	49.45
麦秆1%	38	75.4	4.04	8.0	7.4	14.7	0.96	1.90	50.16
麦秆2%	36	71.8	4.50	9.0	8.6	17.2	1.04	2.07	50.14
稻草1%	38	74.5	4.06	8.0	8.0	15.7	0.93	1.82	50.99
稻草2%	37	70.2	4.68	8.9	9.96	18.9	1.06	2.01	52.70

(1) 施有机肥料使土壤交换态 Cd 含量明显降低。与对照相比,施有机肥料处理交换态 Cd 分配系数(即该形态 Cd 占全量的百分数)降幅为 7%~17%。其中不同有机肥处理对交换态 Cd 的影响差异明显。猪粪处理土壤交换态 Cd 平均下降 6.8 mg kg<sup>-1</sup>,而同属秸秆类有机肥的稻草和麦秆分别下降 3.9 mg kg<sup>-1</sup>和 4.4 mg kg<sup>-1</sup>。从分配系数看,猪粪处理的交换态 Cd 下降了 15% 左右,而秸秆类有机肥降幅在 10% 左右。由此可见,猪粪对污染土壤中交换态 Cd 抑制效果优于秸秆类有机肥料;而且随着有机肥料用量增加其抑制效果更明显。

(2) 施用有机肥料后,土壤有机结合态 Cd 的含量增加是以松结合有机态为主,其分配系数为 8.3%~10.1%,与对照相比,施有机肥的处理增幅在 5% 左右;而紧结合有机态 Cd 的分配系数为 1.82%~2.33%,增幅仅为 1% 左右。这是由于土壤有机质增加和土壤 pH 值提高的效应。

(3) 施用有机肥料后,锰氧化物结合态 Cd 含量明显增加,而且不同有机肥处理差异明显。与对照相比,猪粪处理的锰氧化物结合态 Cd 的分配系数增幅在 8% 左右,而秸秆类有机肥料处理的仅上升 4% 左右。这与有机肥料施入土壤后对土壤 pH 值的影响关系密切。相关分析表明,锰氧化物结合态 Cd 含量与土壤 pH 值之间有一定的正相关关系,相关系数为 0.784~0.898\* ( $n = 5, r_{0.05} = 0.811, r_{0.01} = 0.917$ )。这说明有机肥料施入土壤后,通过影响土壤 pH 值而导致土壤锰氧化物对 Cd 的吸附增加,从而降低了土壤 Cd 的活性。

表6 有机肥料对土壤有机碳的影响(培养60天)

Table 6 Effect of organic manure on soil organic matter (Incubated for 60 days)

处 理 Treatment	有 机 碳 Organic C (g kg <sup>-1</sup> )	处 理 Treatment	有 机 碳 Organic C (g kg <sup>-1</sup> )
CK	13.2	麦 秆2%	18.0
稻 草1%	15.3	猪 粪1%	15.1
稻 草2%	17.6	猪 粪2%	17.6
麦 秆1%	15.1		

从表 6 可看出,猪粪和秸秆类有机肥料的施用明显提高土壤有机碳含量,不同种类有机肥料对土壤有机碳的影响差异不明显。在本试验条件下,松结合有机态 Cd 的含量与土壤有机碳含量呈显著正相关,相关系数在  $0.826^* \sim 0.916^{**}$  ( $n = 5, r_{0.05} = 0.811, r_{0.01} = 0.917$ )。猪粪处理在整个培养期都使土壤 pH 值有所升高,所以猪粪处理的土壤有机结合态 Cd 增加幅度比秸秆类有机肥料处理的大。

表7 施用有机肥料后污染土壤中交换态Cd和松结合有机态Cd与有效态Cd的关系

Table 7 Relationships between the available Cd and the exchangeable Cd or WBO in polluted soil with organic manure applied

相关因素 Interrelated factors	处理 Treatment	回归方程 Regression equation	回归系数 <i>r</i>
交换态Cd和有效态Cd	猪粪1%	$y = -11.6 + 1.06x$	0.920 <sup>**</sup>
	猪粪2%	$y = 3.54 + 0.67x$	0.910 <sup>*</sup>
	稻草1%	$y = -77.3 + 2.65x$	0.934 <sup>**</sup>
	稻草2%	$y = -21.4 + 1.41x$	0.815 <sup>*</sup>
松结合有机态和有效态Cd	猪粪1%	$y = -14.4 + 9.63x$	0.922 <sup>**</sup>
	猪粪2%	$y = 8.65 + 3.07x$	0.903 <sup>*</sup>
	稻草1%	$y = -38.4 + 16.8x$	0.872 <sup>*</sup>
	稻草2%	$y = -4.81 + 7.52x$	0.910 <sup>*</sup>

相关分析表明,土壤交换态 Cd 和松结合有机态 Cd 与土壤有效态 Cd 之间呈显著或极显著正相关(表 7)。这表明污染土壤中施用有机肥料后增加了有机结合态 Cd 含量,其中以松结合有机态为主。但由于受培养时间的限制,尚未向有机结合态的非活性部分—紧结合有机态转化。由此可推断,在本试验条件下,有机肥料本身络合 Cd 不是主要原因,而是有机肥料影响土壤其他性状所产生的间接作用。

总之,猪粪比秸秆类有机肥料对土壤各形态 Cd 的影响大,且随有机肥用量增加而增大其影响效果。

### 2.3 有机肥料对 Cd 污染土壤上水稻生长发育的影响

2.3.1 有机肥料对水稻生物量的影响 与对照相比,未施有机肥的土壤 Cd 污染水平为  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  时,分蘖期水稻生物量减产 15% 左右,齐穗期生物量减产 25% 左右,收获期糙米产量仅为对照的 70% 左右,这说明在 Cd 污染水平为  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  的土壤上,水稻在整个生育期受到 Cd 的毒害。未施有机肥的土壤 Cd 污染水平为  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  时,水稻分蘖期生物产量减产 40% 左右,到了生育后期水稻生物产量下降至 50% 左右,在此污染水平下水稻出现没有分蘖,根系生长严重受阻。在不同的污染水平水稻地下部分生物量下降幅度大于地上部分,可见水稻地下部分对 Cd 毒害的反应比地上部分敏感。

从表 8 可看出,施用有机肥料均提高了水稻各生育期的生物产量。其中猪粪处理效果好于稻草处理。这可能是因为有机肥料施入土壤后从两方面影响水稻生长:(1)降低了土壤中重金属的活性;(2)为作物生长提供营养物质。猪粪降低土壤中重金属活性的能力比稻草强;它的全 N、P 含量高,且 C/N、C/P 低,施入土壤后易分解,能很快释放出速效养分供水稻吸收。而稻草全 N、P 含量低,且 C/N、C/P 高,在分解初期 N、P 易被“生物固定”。正是由于秸秆类有机肥的养分特点,才导致稻草处理的水稻分蘖期对水稻生长的促

表8 有机肥料对Cd污染土壤上水稻不同生育期生物量的影响

Table 8 Effect organic of manure on biomass of rice in some stages (g/pot)

处 理 Treatment	分蘖期 Tillering stage		齐穗期 Ear stage		收获期 Reaping stage		糙 米 Brown rice
	地上部分 Upground	地下部分 Underground	地上部分 Upground	地下部分 Underground	地上部分 Upground	地下部分 Underground	
0~0%	0.82±0.30	0.75±0.25	26.0±5.31	10.8±2.94	26.4±4.14	17.3±1.74	14.4±0.97
10~0%	0.72±0.18	0.64±0.11	18.4±2.01c	8.82±1.50c	18.1±3.60c	12.7±1.89c	10.1±0.51c
10~稻草1%	0.69±0.20	0.71±0.24	21.9±2.49bc	10.0±2.67bc	20.5±1.89bc	13.1±1.32bc	10.8±1.08bc
10~稻草2%	0.66±0.23	0.72±0.25	25.4±1.29ab	11.6±1.68ab	25.1±0.93ab	15.9±2.37ab	13.0±1.14ab
10~猪粪2%	0.85±0.16	0.82±0.22	27.9±1.20a	17.4±1.02a	27.5±0.93a	17.2±2.43a	13.9±0.99a
100~0%	0.49±0.12	0.43±0.17	10.7±2.04c	5.64±1.32c	12.8±2.67c	7.92±2.22c	4.14±1.23c
100~稻草1%	0.53±0.18	0.51±0.22	12.8±1.08bc	6.54±1.44bc	17.1±1.02bc	8.76±0.51bc	5.91±0.81bc
100~稻草2%	0.55±0.22	0.51±0.13	17.4±1.08ab	6.75±0.39ab	17.2±1.89ab	9.09±0.69ab	8.22±1.20ab
100~猪粪2%	0.69±0.23	0.59±0.10	19.4±2.34a	7.59±0.87a	19.9±2.34a	10.6±2.10a	8.70±0.84a

注: a, b, c代表LSD<sub>0.05</sub>差异显著性

进作用不明显,甚至还有减产现象;而在水稻生育后期则明显促进了水稻的生物产量和经济产量。

2.3.2 有机肥料对水稻吸收和转移 Cd 能力的影响 从表 9 可看出, 不论是否施用有机肥料, 水稻地上与地下部分的含 Cd 量随污染水平提高而增大。添加 Cd 100 mg kg<sup>-1</sup>与 10 mg kg<sup>-1</sup>相比, 添加量增加了 10 倍, 水稻地下部分相对含量增加了 2.5 倍, 地上部分含 Cd 量略有增加, 这说明水稻从污染土壤中吸收的 Cd 大部分积累在根部, 向地上部输送很少。

表9 有机肥料对水稻吸收Cd的影响

Table 9 Effect organic of manure on Cd content absorbed by rice (mgkg<sup>-1</sup>)

处 理 Treatment	分蘖期 Tillering stage		齐穗期 Ear stage		收获期 Reaping stage		糙 米 Brown rice
	地上部分 Upground	地下部分 Underground	地上部分 Upground	地下部分 Underground	地上部分 Upground	地下部分 Underground	
0—0%	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10—0%	35	375	36	278	23	249	2.00
10—稻草1%	34	312	25	250	20	218	1.90
10—稻草2%	31	300	19.5	237	19	217	1.85
10—猪粪2%	28	243	19.8	188	13	205	0.75
100—0%	40	1056	45.0	1350	46	1350	2.12
100—稻草1%	38	712	24.5	810	23.5	1216	2.00
100—稻草2%	36	675	23.7	686	22	991	1.88
100—猪粪2%	34	600	14	650	12	685	1.00

与未施有机肥料的处理相比, 有机肥料的施用明显降低水稻各生育期地上与地下部分的含 Cd 量。其中猪粪的效果好于稻草。这主要是由于猪粪降低土壤有效态 Cd 的幅度大于稻草; 且猪粪提供的养分远比稻草多, 猪粪处理的水稻生物产量比稻草处理的大, 稀

释效应明显。相关分析表明,齐穗期土壤中交换态 Cd、松结合有机态 Cd 分别与地下部分含 Cd 量呈显著正相关,相关系数分别为 0.875<sup>\*</sup>、0.838<sup>\*</sup> ( $n=5$ ,  $r_{0.05} = 0.811$ ,  $r_{0.01} = 0.917$ )。这说明水稻吸收的 Cd 主要来自于交换态和松结合有机态 Cd。

### 参 考 文 献

1. 吴燕玉, 周启星, 田均良. 制定我国土壤环境标准(汞铅和砷)的探讨. 应用生态学报, 1991, 2(4): 334~349
2. 王凯荣. 我国农田镉污染现状及其治理利用对策. 农业环境保护, 1997, (6): 274~278
3. Tessier M, Campbell P G C, Usson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal. *Anal. Chem.*, 1979, 51: 844~851
4. 蒋廷惠, 胡藻堂, 秦怀英. 土壤形态区分方法的选择. 环境科学学报, 1990, (3): 280~286
5. 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1992
6. 华路, 陈世宝. 有机质在土壤重金属污染治理中的作用. 农业环境与发展, 1999(3): 26~29
7. 王果, 谷勋刚, 高树芳等. 三种有机肥水溶性分解产物对铜、镉吸附的影响. 土壤学报, 1999, 36(2): 179~188
8. Huang C P, Yang Y L. Adsorption characters of Cu(II) on humus-kaolin complexes. *Water Research*. 1995, 29(11): 2455~2460
9. Taylor M D, Theng B K G. Sorption of cadmium by complexes of kaolinite with humid acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1995, 26(5~6): 765~776
10. 陈同斌. 农业废弃物对土壤中 N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 释放和土壤 N 素转化及 pH 的影响. 中国环境科学, 1996, 16(3): 196~199

## EFFECTS OF ORGANIC MANURE ON THE AMELIORATION OF CD-POLLUTED SOIL

Zhang Ya-li Shen Qi-rong Jiang Yang

(College of Resources and Environmental Sciences and MOA Key Lab of Plant Growth Regulation, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

### Summary

Incubation and pot experiments were carried out to study the effect of organic manure on the amelioration of Cd-polluted soil. The results showed that application of organic manure could significantly reduce the content of chemically available Cd in soil. Pig manure was more effective than straw. Application of organic manure could accelerate the transformation of exchangeable Cd into WBO and OxMn. There were positive correlations between the contents of exchangeable Cd and WBO and those of chemically available Cd and Cd taken up by rice.

**Key words** Organic manure, Cd, Polluted-soil Amelioration