

镉与柠檬酸、EDTA 在几种典型土壤中交互作用的研究*

周东美 郑春荣 陈怀满

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 采用批平衡实验方法研究了镉在青黑土(1B)、黄棕壤(YB)和红壤(R)三种土壤上的吸附和解吸过程以及吸附介质酸度、共存有机酸等对此过程的影响。结果表明:柠檬酸、EDTA 的存在明显降低了镉在黄棕壤和青黑土上的吸附,同时镉解吸率较在硝酸钠体系要小,有机物的存在增加了土壤中镉的相对非饱和吸附点位。而在红壤上有机物的存在对镉的影响则随介质 pH 的改变而发生显著变化。酸性条件下,有机物的存在增加镉在红壤上的吸附,而随 pH 的增加,有机物减少镉的吸附。同时镉在硝酸钠体系中的解吸率随总吸附量的增加而呈现峰形的变化规律。土壤类型变化显著影响镉与有机物之间的交互作用过程。

关键词 土壤, 镉, 有机酸, 交互作用, 吸附—解吸

中图分类号 S153.4

进入农业和生态系统中的镉主要来源于自然发生和人为影响两个方面。由于人为因素带来的环境中镉大部分存在于土壤表面,从而对动植物以及人类具有更为直接的危害^[1,2]。土壤的阳离子交换容量、有机质含量、粘土矿物组成以及平衡溶液酸度等都将对镉的物理化学行为、生物有效性等产生影响^[3-5]。

由于有机农药在农业生产中的大量使用,工业废水及固体废弃物的排放,导致自然条件下镉的存在不是单一的,并且这些共存的物质势必影响植物对镉的吸收过程^[6-8],由此引起的复合污染问题越来越普遍和严重。许多研究小组报道有机物的加入将会引起镉的生物有效性的改变^[9-11]。可是,自然土壤的性质差别比较大,因此有机酸对镉在土壤上吸附解吸行为的影响将随土壤类型的改变而发生相应变化。进一步研究有机物对不同类型土壤中镉的理化行为的影响,对于深入理解镉在土壤—水—植物系统中的迁移、转化等将具有非常重要的理论和实际意义。

1 实验部分

1.1 实验材料

青黑土(1B)采自安徽宿县,为耕作土壤的下层(20~60cm);黄棕壤(YB)采自江苏江宁,为荒地土壤(20~80cm);红壤(R)采自江西进贤,为荒地土壤(20~80cm)。所有样品经风干后捣碎,剔去草根和其他

* 国家自然科学基金(No. 29877027)和中国博士后科学基金资助

收稿日期:2000-04-04;收到修改稿日期:2000-07-31

较粗大的有机物质,木棍磨碎,用有机玻璃静电吸引法除去碎有机质,然后在玛瑙研钵中研磨,过 60 孔筛,储于磨塞广口瓶中储存备用。

土壤及胶体全量分析采用碳酸锂-硼酸熔融,等离子发射光谱法测定。土壤中活性铁、铝的测定采用 pH 3.2 的草酸-草酸铵提取后用等离子发射光谱法测定^[12],土壤的阳离子交换容量(CEC)采用常规方法进行^[13]。供试土壤理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Chemical properties of soils used

土壤 Soil	pH (1:2.5)	有机质 O. M.	氧化铁		氧化铝		二氧化硅 SiO ₂	氧化锰 MnO	阳离子交换量 CEC
			F ₂ O ₃		Al ₂ O ₃				
			总量 Total	活性部分 Active	总量 Total	活性部分 Active			
g kg ⁻¹									
青黑土 (IB)	7.45	10.6	46.2	1.2	136.4	2.9	692.5	0.6	34.77
黄棕壤 (YB)	6.50	7.2	49.9	3.7	128.3	2.4	705.2	0.8	21.76
红壤 (R)	4.95	7.6	65.7	4.2	173.7	4.1	642.2	5.2	14.06

1.2 镉的吸附和解吸实验

分别称取 0.200 ± 0.005g 的青黑土、黄棕壤和红壤于塑料离心管中,加入 1.0 毫升 15.0mg L⁻¹的镉(以氯化镉配置)储备液,平衡溶液的总体积为 15ml,支持电解质为 0.01mol L⁻¹硝酸钠,镉的起始平衡浓度为 1.0mg L⁻¹。溶液的酸度用 1 × 10⁻³ mol L⁻¹盐酸和 1 × 10⁻³ mol L⁻¹氢氧化钠进行调节。

平衡液经水平振荡 24 小时后离心,采用玻璃电极测定离心液的 pH 来确定吸附介质的酸度。镉的解吸采用加入 10ml 的 0.10mol L⁻¹硝酸钠经水平振荡 24 小时后离心测定。

1.3 柠檬酸、EDTA 存在下镉的吸附—解吸实验

同 1.2 处理,并在镉的平衡溶液中分别加入柠檬酸、EDTA 储备液,使柠檬酸的起始平衡浓度分别为 0,0.5,1.0 和 2.0mmol L⁻¹,EDTA 的起始平衡浓度为 0,0.016 和 0.20mmol L⁻¹。保持溶液的总体积为 15ml。其中,支持电解质为 0.01mol L⁻¹硝酸钠。平衡液经水平振荡 24 小时后离心。镉的解吸采用 10ml 的 0.10mol L⁻¹硝酸钠经水平振荡 24 小时后离心分离及测定。

1.4 重金属的定量分析

镉的浓度采用 Hitachi 180-80 原子吸收光谱仪进行测定。另外,镉的吸附率为:镉吸附量/镉总加入量;镉的脱附率为:镉脱附量/镉总吸附量。

2 结果与讨论

2.1 镉在三种土壤上的吸附等温线

图 1 显示了镉在青黑土、黄棕壤以及红壤三种土壤上的吸附等温线。其中,青黑土和黄棕壤上镉的吸附介质酸度约为 6.85,而红壤上镉的吸附介质酸度为 5.05。由图 1 可知,青黑土和黄棕壤较之红壤对镉具有较高的吸附能力,这是因为青黑土和黄棕壤体系除了比红壤体系有较高的 pH 外,它们还较红壤具有较大的阳离子交换容量^[14]。

运用 Freundlich 吸附方程对图 1 中镉在几种土壤中的吸附等温线进行拟合,其拟合结果可分别用下列方程来表示。

$$\text{IB: } Q = 905.62c^{0.486} \quad R = 0.992 \quad (P < 0.01)$$

YB: $Q = 547.06c^{0.692} \quad R = 0.958 \quad (P < 0.01)$
 R: $Q = 27.99c^{1.07} \quad R = 0.987 \quad (P < 0.01)$

其中: Q 为镉在土壤中的吸附量 (mg kg^{-1}); c 为镉的平衡浓度 (mg L^{-1})。

可见, 镉在三种土壤上的吸附都可以采用 Freundlich 吸附方程进行拟合, 且相关性较好。而用 Langmuir 吸附方程对 Cd 的吸附进行拟合的结果要较 Freundlich 吸附方程要差(未列拟合数据)。土壤对镉的吸附强弱顺序依次为: 青黑土 > 黄棕壤 > 红壤。

2.2 pH 对镉在土壤上吸附的影响

图2显示了 pH 对镉在不同土壤上吸附的影响。随着平衡溶液酸度的改变, 镉在土壤上的吸附量呈现出明显的变化。当 pH 增加时, 平衡溶液中镉的含量逐渐减少, 而镉在土壤上的吸附量将相应增加。

镉的吸附与土壤的表面电荷以及阳离子交换容量有关。溶液酸度的增加, 必然导致土壤表面负电荷的减少, 从而对镉的吸附相应减弱。由图2可知酸度对镉在红壤上的吸附行为影响最大, 在酸性条件下, 镉基本上不在红壤上发生吸附。而对于黄棕壤和青黑土, 虽然它们对镉的专性吸附较红壤少, 但因其含有较大的阳离子交换容量, 所以它们对镉表现出较强的吸附能力。当 $\text{pH} > 6.5$ 时, 由于土壤可提供充分的吸附位, 从而镉在三种土壤上都表现出完全的吸附。

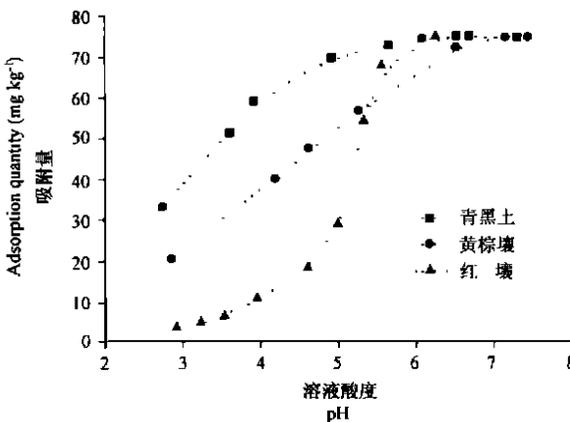


图2 pH 对镉 ($c_0 = 1.0 \text{mg L}^{-1}$) 在土壤中吸附的影响

Fig. 2 Influence of pH on Cd ($c_0 = 1.0 \text{mg L}^{-1}$) adsorption by soils

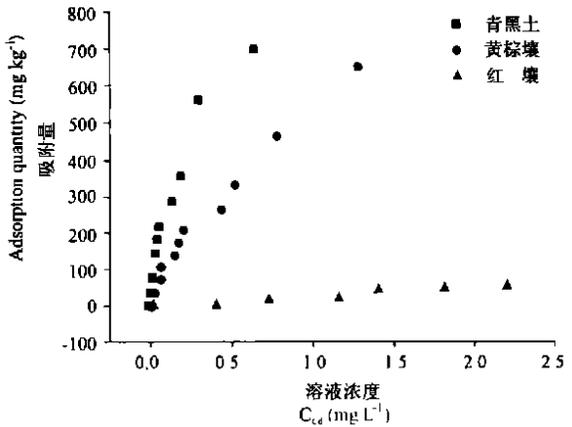


图1 镉在三种不同土壤中的吸附等温线

Fig. 1 Adsorption isotherms of Cd on soils

2.3 柠檬酸、EDTA 与镉在土壤上吸附过程的交互作用

有机酸的存在将会影响重金属在土-水界面上的行为, 它通常有三种作用模式。第一, 它本身与重金属络合形成带正电荷的金属配合物从而与土壤发生离子交换, 导致重金属在土壤表面上的吸附增加; 第二, 有机酸在土壤表面吸附以后, 其本身的功能性基团与重金属发生络合作用形成三元配合物, 从而增加重金属在土壤表面的吸附。第三, 有机酸与重金属之间发生配位作用, 其产生的配合物不在土壤上发生吸附, 从而降低土壤对镉的吸附。酸度在此交互作用过程中具有非常重要的作用。因为酸度的改变必然导致有机酸离子形态以及

在此交互作用过程中具有非常重要的作用。因为酸度的改变必然导致有机酸离子形态以及

土壤表面电荷的变化,从而影响重金属与有机酸之间配合物的稳定性及其在土壤表面的吸附。

图3(A)显示了镉分别在 0.01mol L^{-1} 硝酸钠、 $2.0 \times 10^{-3}\text{mol L}^{-1}$ 柠檬酸、 $1.6 \times 10^{-5}\text{mol L}^{-1}$ EDTA 存在下于红壤上的吸附率与平衡介质酸度的关系。在硝酸钠体系中,红壤在低 pH 时对镉吸附较小,在 pH3.5~ 5.5 之间吸附量快速增加, pH5.5 以后镉基本被吸附。而当存在柠檬酸、pH 低于 3.75 时,镉表现出非常大的吸附,然后逐渐减少,在高 pH 介质中基本不发生镉的吸附。

土壤溶液中二价柠檬酸离子随 pH 变化呈现峰形曲线^[5]。在低 pH 条件下土壤表面负电荷比较少,这时由于静电作用而吸附一定量的有机酸负离子,这些有机酸的羧酸根离子将进一步与镉结合,从而导致对镉的吸附量增加。可是当 pH 进一步增加时,镉与有机酸形成的配合物(不在红壤上发生吸附)也将相应增加,同时土壤表面负电荷的增加将导致其对有机酸的吸附能力相应减弱,其共同作用的结果是红壤对镉的吸附随酸度的降低而减少。

EDTA 是一种应用非常普遍的络合剂,它能够与镉、铜、锌、镍等许多重金属发生络合作用。通常 EDTA 本身在土壤和矿物上的吸附作用较小,而其与镉的络合作用则相当强,从而导致镉在土-水界面上的分配减小。可是对于溶液中含有较低浓度的 EDTA 时,它们在溶液中的量较之被土壤吸附的要少,从而可能增加镉在土壤中的吸附。

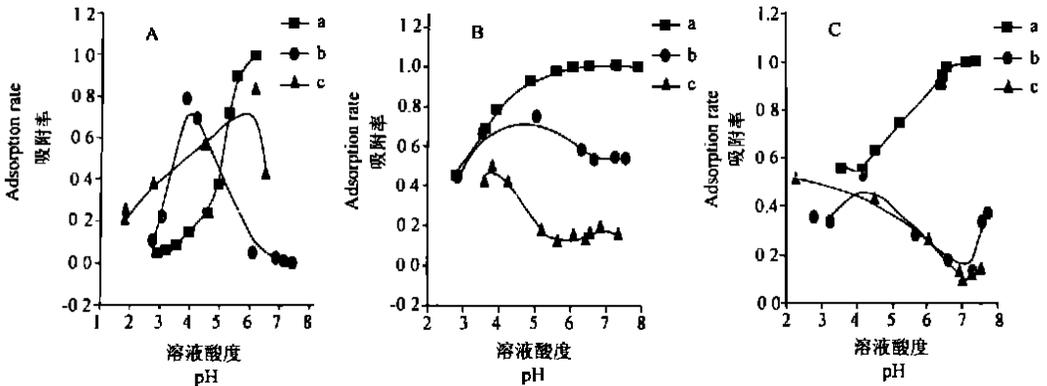


图3 0.01mol L^{-1} NaNO_3 (a), $2.0 \times 10^{-3}\text{mol L}^{-1}$ 柠檬酸(b)和 $1.6 \times 10^{-5}\text{mol L}^{-1}$ EDTA (c) 存在条件下 pH 对镉 ($c_0 = 1.0\text{mg L}^{-1}$) 在红壤(A)、青黑土(B)和黄棕壤(C)上吸附的影响

Fig. 3 Effect of pH on Cd ($c_0 = 1.0\text{mg L}^{-1}$) adsorption on R(A), IB(B) and YB(C) soils in the presence of 0.01mol L^{-1} NaNO_3 (a), $2.0 \times 10^{-3}\text{mol L}^{-1}$ Citric acid (b) and $1.6 \times 10^{-5}\text{mol L}^{-1}$ EDTA (c)

图3(B)显示了青黑土上镉分别在硝酸钠、 $2.0 \times 10^{-3}\text{mol L}^{-1}$ 柠檬酸、 $1.6 \times 10^{-5}\text{mol L}^{-1}$ EDTA 存在条件下吸附量与酸度之间的关系。镉在青黑土上具有较强的吸附能力,在 pH > 4.5 时镉就基本被吸附。而柠檬酸的存在则明显降低了镉的吸附,且随 pH 的增加,其对镉吸附的影响越大。EDTA 的存在导致镉的吸附量大大减少,在高于 pH5.0 时几乎没有镉的吸附现象发生,镉主要以络合物的形式存在于溶液中。由于柠檬酸、EDTA 在青黑土表面上的吸附较弱,对镉的吸附影响主要是通过对其的络合作用来实现的。

黄棕壤对镉的吸附较青黑土要弱。在 pH 高于 6.5 时, 镉才基本上被吸附。当分别存在 $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 柠檬酸、 $1.6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ EDTA 时, 黄棕壤对镉的吸附明显降低(图 3(C)), 其中在柠檬酸存在下镉的吸附随酸度的改变呈现出一峰形的曲线, 这与镉在柠檬酸条件下吸附于红壤和青黑土上的行为有类似之处。随 pH 的进一步增加, 镉的吸附量明显减少。pH 高于 4.5 时, EDTA 对镉在黄棕壤上吸附行为的影响与柠檬酸的作用相似。

2.4 柠檬酸、EDTA 与镉在土壤上解吸过程的交互作用

图 4(A) 显示了镉在硝酸钠、柠檬酸及 EDTA 存在条件下吸附于土壤以后用 0.1 mol L^{-1} 的硝酸钠解吸后镉的解吸率与吸附介质酸度的关系。将图 4(A) 与图 3(A) 相比, 表现出一个非常明显的峰形。在吸附介质为硝酸钠时, 当 $\text{pH} < 5.5$, 解吸率随介质酸度增加而减少, 也就是说解吸率随吸附率增加而增加; 而当 $\text{pH} > 5.5$, 解吸率随 pH 增加而减少, 也即是随吸附率的增加而减少, 这可能是由于 pH 低于 5.5 时镉在红壤表面上的吸附主要以交换形式即非特性吸附被固定在土壤表面¹⁹。

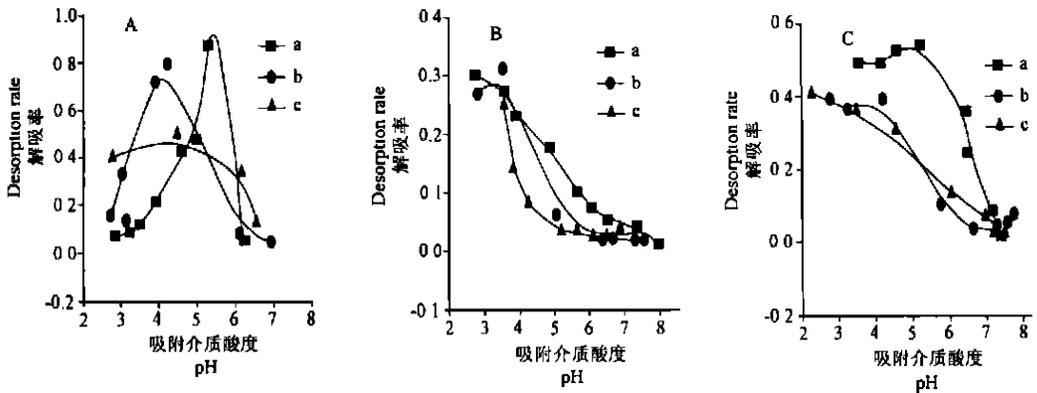


图 4 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ (a), $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 柠檬酸(b)和 $1.6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ EDTA (c) 存在条件下 pH 对镉 ($c_0 = 1.0 \text{ mg L}^{-1}$) 在红壤(A)、青黑土(B)和黄棕壤(C)上解吸率的影响

Fig. 4 Effect of pH on Cd ($c_0 = 1.0 \text{ mg L}^{-1}$) desorption rate on R(A), IB(B) and YB(C) soils in the presence of $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ (a), $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ Citric acid (b) and $1.6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ EDTA (c)

对于柠檬酸—镉体系的解吸过程, 其解吸率随酸度的改变与吸附率随酸度改变的趋势相一致。即吸附率高时, 其解吸率也大, 镉仍表现出以交换态形式被吸附在土壤表面, 这种结合形态较易从土壤表面被解吸出来, 其主要原因是在此介质中吸附于土壤中的有机酸易被解吸出来, 从而使得镉与有机酸以及土壤三者之间形成的三元配合物体系被破坏。对于 EDTA—镉体系, 虽然在 $\text{pH} 2.0 \sim 6.2$ 之间镉的吸附率随 pH 增加呈现增加的趋势, 但其解吸量没有显示出明显的变化。在 pH 高于 6.2 时, 镉的吸附较小, 绝大部分镉与溶液中存在的 EDTA 形成配合物, 所以镉在土壤中相对吸附点位增加, 镉的解吸率也较小。

与红壤相比, 镉在青黑土上的解吸率与其吸附率成反比, 即在高的酸度条件下虽然吸附镉的量较之在低酸度条件下的吸附量要小(图 4(B)), 但是其在硝酸钠体系中的解吸率反而随 pH 的减少而增加, 镉主要以非交换态形式存在于土壤表面。而对于柠檬酸—镉

和 EDTA- 镉体系, 其镉的解吸率均随酸度的增加而增加, 同样说明镉的吸附与空白介质中的吸附机理相似, 有机酸的存在只能影响溶液中镉的形态。不过, 在柠檬酸(或 EDTA) - 镉体系中, 镉的解吸量较硝酸钠体系中要小, 表明在相同条件下, 有机物的存在由于减少了镉的吸附从而增加了土壤对镉的相对非饱和吸附点位。

硝酸钠对吸附在黄棕壤上的镉表现出较强的解吸能力(图 4(C))。在酸性条件下, 镉的解吸率较大, 可是当 pH 进一步增加时, 镉的解吸率相应减少。在 pH 高于 6.0 时, 镉的解吸较之在红壤和青黑土上要高得多, 说明镉在黄棕壤上的吸附作用力相对比较弱。

2.5 柠檬酸、EDTA 浓度对镉在土壤上吸附的影响

当红壤、青黑土和黄棕壤的 pH 分别为 5.05, 6.53 和 6.52 时, 考察添加不同浓度有机酸对镉在土壤表面上吸附的影响。通常随有机酸浓度的增加, 其在水相中与重金属的络合作用将增强, 从而对重金属的影响也增大。

表 2 显示了添加柠檬酸时镉在三种土壤中的吸附百分比随有机酸浓度变化的关系。对于青黑土和黄棕壤, 随有机酸浓度的增加, 镉的吸附百分比明显降低。在柠檬酸浓度为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 和 $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 时, 镉在青黑土上的吸附与不存在柠檬酸、EDTA 时相比(pH6.53)由 100% 吸附减小到 73% 和 55%。有机酸明显降低了镉的吸附。

黄棕壤上有机酸的存在对镉的吸附影响较之在青黑土上更为明显。在柠檬酸浓度为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 和 $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 时, 镉在黄棕壤上的吸附与不存在柠檬酸、EDTA 相比(pH6.52)由 97% 减小到 40.9% 和 17.6%。

红壤上镉的吸附与加入外源有机酸的关系与其在黄棕壤和青黑土上存在明显的差别。首先红壤对于镉在 pH5.05 介质中不表现出完全的吸附, 而加入有机酸以后, 低浓度时反而增加了镉在红壤上的吸附, 而在较高浓度时可能由于溶液中有有机酸与镉形成络合物的可能性增加, 导致镉在红壤表面上的表观吸附量减少。

改变 EDTA 浓度对镉在土壤上吸附的影响见于表 3。对于青黑土和黄棕壤, 加入 EDTA 以后明显降低了镉的吸附, 在 EDTA 浓度高于 $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 时, 两种土壤都基本上不再对镉产生吸附, 镉在吸附介质中主要以 EDTA 的络合物形式存在。而对于红壤, 由于在此酸度条件下, EDTA 在红壤上的吸附能力可能相对较强, 吸附在红壤表面上的 EDTA 进一步对镉发生配位作用, 从而增加了镉的吸附。

表 2 柠檬酸浓度对镉在三种不同土壤中吸附的影响

Table 2 Influence of concentration of citric acid on Cd adsorption

柠檬酸浓度(mmol L^{-1}) Concentration of citric acid	Cd 吸附(%) (Cd adsorbed)		
	青黑土 IB	黄棕壤 YB	红壤 R
0.0	100	97	37.8
0.5	99	82.7	54.1
1.0	73	40.9	49.5
2.0	55	17.6	37.5

表 3 EDTA 浓度对镉在三种不同土壤中吸附的影响

Table 3 Influence of concentration of EDTA on Cd adsorption

EDTA 浓度 (mmolL ⁻¹) Concentration of EDTA	Cd 吸附 (%) (Cd adsorbed)		
	青黑土 IB	黄棕壤 YB	红壤 R
0.0	100	97	37.8
0.016	14.2	19.2	51.8
0.20	1.6	5.5	76.5

参 考 文 献

1. Naidu R, Harter R D. Effect of different ligands on cadmium sorption by and extractability from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, 62: 644~ 650
2. Puls R W, Powell R M, Clark D, Eldred C J. Effects of pH, solid/solution ratio, ionic strength, and organic acids on Pb and Cd adsorption on kaolinie. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, 57~ 58:423~ 430
3. 陈怀满, 郑春荣. 用吸附势 $\log K_a$ 评估河流悬浮物对水体重金属的净化功能. *土壤学报*(增刊), 1995, 25(1): 66~ 72
4. 廖敏, 黄昌勇, 谢正苗. pH 对镉在土水体系中的迁移和形态的影响. *环境科学学报*, 1999, (1): 81~ 86
5. Inskip W P, Baham J. Competitive complexation of cadmium (II) and copper (II) by water soluble organic ligands and sodium-montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47:1 109~ 1 115
6. Amacher M C, Amacher-Kotuby J, Selim H M, Iskander I K. Retention and release of metals by soils-Evaluation of several models. *Geoderma*, 1986, 38: 131~ 154
7. Davis J A, Leckie J O. Effect of adsorbed complexing ligands on trace metal uptake by hydrous oxides. *Environ. Sci. Technol.*, 1978, 12: 1 309~ 1 315
8. Elliot H A, Dennerly C M. Soil adsorption of cadmium from solutions containing organic ligands. *J. Environ. Qual.*, 1982, 11(4): 658~ 663
9. Hass C N, Horowitz N D. Adsorption of cadmium to kaolinite in the presence of organic material. *Water, Air and Soil Pollution*, 1986, 27: 131~ 140
10. Krishnamurti G S R, Cieslinski G, Huang P M, Van Rees K C J. Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: Implication in cadmium availability. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26: 271~ 277
11. 张敬锁, 李花粉, 衣纯真, 张福锁. 有机酸活化土壤中镉与小麦吸收镉的影响. *土壤学报*, 1999, 36(1): 61~ 69
12. 沈壬水, 郑春荣, 钱钦文. 直流氩等离子火焰发射光谱法在土壤分析中的应用: 土壤中大量元素的测定. *分析化学*, 1983, 11: 599~ 603
13. 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科学出版社, 1978. 283
14. Naidu R, Kookana R S, Summer 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
15. Jones D L, Brassington D S. Sorption of organic acids in acid soils and its implication in the rhizosphere. *European J. of Soil Sci.*, 1998, 49: 447~ 455
16. Tiller K G, Gerth J, Bruemmer G. The relative affinities by Cd, Ni, and Zn for different clay fractions and goethite. *Geoderma*, 1984, 34: 17~ 35

INTERACTION OF CADMIUM AND CITRIC ACID, EDTA IN SEVERAL KINDS OF SOIL

Zhou Dong-mei Zheng Chun-rong Chen Huai-man

(Laboratory of Material Cycling in Pedosphere, Laboratory of Soil Chemistry and Environmental Protection, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

The process of cadmium adsorption and desorption on Indicotic Black (IB, Cambisols), Yellow Brown (YB, Luvisols) and Red (R, Ferrisols) soils as well as the influence of media's pH were investigated in detail. The presence of organic chemicals obviously influenced the processes of cadmium adsorption and desorption. Adsorption of Cd in YB and IB soils decreased in the presence of citric acid and EDTA, meanwhile, its desorption rate was lower than that obtained in the absence of organic chemicals, which suggests that the relatively unsaturated adsorption sites for Cd increased in the present of organic chemicals. For Red soil, Cd adsorption in the presence of citric acid and EDTA increased with pH in low pH media but decreased in high pH one, which was very different from YB and IB soils. Further studies indicated that adsorbed Cd in red soil existed significantly as unexchangeable one, and desorption rate by $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ gave a peak-shape curve.

Key words Soil, Cadmium, Organic chemicals, Interaction, Adsorption and desorption