第 40 卷 第 5 期
2003 年 9 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 40, No. 5
Sep., 2003

不同相伴阴离子对镉污染红壤的微生物活性影响*

滕 应 黄昌勇 姚槐应 龙 健
(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

摘 要 通过外加醋酸镉和氯化镉的室内培养试验研究了相伴阴离子对镉污染红壤微生物活性的影响。结果表明, 在相同镉浓度下相伴 OAc^- 对镉污染红壤的微生物生物量碳、基础呼吸和代谢商以及脲酶和酸性磷酸酶活性的抑制作用大于相伴 Cl^-, 统计分析显示, 镉相伴 OAc^- 与 Cl^- 除对红黄泥的代谢商未达明显影响外, 对供试红壤的其它微生物活性指标均达到显著差异 ($p < 0.05$)。用醋酸镉处理的土壤有效态镉含量明显高于氯化镉处理。钾盐试验结果表明, 相伴 OAc^- 与 Cl^- 对土壤微生物活性没有产生明显抑制作用, OAc^- 甚至还存在一定的刺激效应。可见, 相伴 OAc^- 对镉污染红壤的微生物毒害作用大于相伴 Cl^-, 其直接原因可能是用醋酸镉处理的生物有效性镉明显高于氯化镉处理所致。

关键词 相伴阴离子, 红壤, 镉, 微生物活性
中图分类号 S154.36

镉是一种环境优先污染物。人们对镉在土壤中的环境化学行为以及植物的生理生态效应进行了大量研究, 取得了一定的进展[1,2]。为了较全面地揭示镉污染的环境效应, 不仅要强调镉对地上部分植被的影响, 还要重视土壤中数量庞大、生物多样性丰富、生态功能活跃的土壤微生物及其微生物生态的研究。土壤微生物不仅是土壤的肥力和土壤营养元素转化的原动力, 而且对重金属及其化合物的污染敏感, 具有较好的指示作用[3]。近 30 年来, 国内外学者对重金属胁迫下(包括 Cd、Cu、Pb、Zn 等元素) 土壤微生物生物量、基础呼吸、代谢商、酶活性以及土壤微生物群落功能和结构多样性等微生物生态特征进行了一系列研究[3~12]。

众所周知, 土壤体系中的重金属并非都是单一游离重金属离子, 而常常与阴离子(包括无机阴离子、有机阴离子) 相伴在一起, 以络合物、络合离子等复杂形式存在。这些相伴阴离子在一定程度上会影响到土壤对其相应的重金属阳离子的吸附和解吸, 从而影响到重金属阳离子在土壤中的生物有效性或毒性[13~17]。另外, 在许多实验室或温室试验中, 常发现以不同阴离子配位的某一重金属络合物、络离子对植物地上部分的毒性或生物有效性是不同的[15~17]。因此, 在研究重金属污染土壤的微生物生态效应时, 不可忽视相伴阴离子对重金属的影响。

本研究以红黄泥和红砂泥两个土属作为供试红壤, 采用室内培养方法比较相伴醋酸根离子(OAc^-) 和氯离子(Cl^-) 对镉污染红壤的微生物生物量、土壤呼吸以及酶活性等微生物生态特征影响, 旨在为镉污染土壤环境质量评价提供理论依据和生物学指标。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤为第四纪红色粘土和第三纪红砂岩母质发育的旱地, 按《中国土种志》分别命名为红黄泥(红壤亚类粘红泥土属) 和红砂泥(红壤亚类红砂泥土属), 采自浙江省龙游县境内的橘园旱地 0~20 cm 表层。新鲜土样去除植物残体、砾石, 过 2 mm 筛, 置于塑料袋内, 放于 4℃下冰箱内保存备用。土壤的基本理化性质见表 1。

* 国家重点基础研究发展规划项目课题(批准号: G1999011809); 国家自然科学基金项目(批准号: 40171054)
收稿日期: 2001-12-17, 收到修改稿日期: 2002-05-22

表 1　供试土壤基本理化性质

Table 1　Basic physical and chemical properties of the red soils used

土壤类型 Soil types	pH (H_2O)	有机碳 Organic C (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	碱解氮 Avail. N (mg kg^{-1})	阳离子交换量 CEC (cmol kg^{-1})	颗粒组成 Size composition(%)		
						2~0.02mm	0.02~0.002mm	<0.002mm
红黄泥	5.45	17.46	1.92	127.52	12.16	27.12	37.85	35.03
红砂泥	6.68	7.81	0.65	78.27	6.43	68.54	18.78	12.68

1.2　试验设计

在供试土样红黄泥和红砂泥中分别外加分析纯的醋酸镉和氯化镉,镉设计 5 个水平, 分别为 Cd 0、15、30、50 和 100 mg kg^{-1}。其相应的相伴 OAc^- 和 Cl^- 的摩尔浓度分别为: 0、0.27、0.53、0.89、1.78 mmol kg^{-1}。为了验证相伴阴离子本身是否对土壤微生物具有毒性效应,本研究还设计一个辅助试验, 以醋酸钾、氯化钾作为阴离子来源, 设计了上述相同浓度的 OAc^- 和 Cl^- 培养试验。试验中每处理设 3 次重复。

1.3　培养和测试

培养试验: 在试验之前, 将供试土样置于 25℃条件下的生化培养箱中活化 3d。称取相当 100g 干重的新鲜土壤样品,然后根据处理要求将镉溶液与土壤充分混匀, 调节土壤含水量至田间最大持水量的 60%,后装于 250ml 的塑料烧杯中, 用具有透气作用的薄膜封口, 于 25℃培养箱内培养。培养过程中为了保持土壤湿度不变,用称重差减法每隔 3d 调节一次土壤水分。整个试验培养 1 个月, 然后取样分析土壤微生物活性指标。

土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸—0.5 mol L^{-1} K_2SO_4 提取法[18],TOC 自动分析仪测定; 土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法, 土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法[19]; 土壤基础呼吸采用室内密闭培养碱液吸收法[20]; 土壤有效态 Cd 采用 0.1 mol L^{-1} HCl 提取, 待测液用 AAS 法测定, 其它指标均采用常规分析方法测定[20]。

1.4　数据统计

试验数据运用 SAS(V6.12) 统计分析软件处理。

2　结　果

2.1　相伴阴离子对镉污染红壤的微生物生物量碳的影响

土壤微生物生物量通常以微生物生物量碳(Soil microbial biomass carbon SMBC) 含量表示。从图 1 可以看出, 在两个供试土壤(红黄泥、红砂泥) 上, 外加较低浓度镉(Cd 15 mg kg^{-1}) 下, 用醋酸镉和氯化镉盐处理, 均对微生物活性有一定的刺激作用, 微生物生物量碳都有所上升。然后, 随着外加镉盐浓度增加(Cd 30 mg kg^{-1}) , 对微生物活性产生抑制作用, 微生物生物量碳逐渐下降。并且, 用醋酸镉处理的微生物

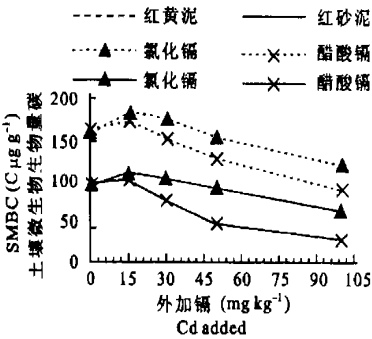

图 1　相伴阴离子对镉污染红壤的微生物生物量碳的影响

Fig. 1　Effect of accompanying anions on microbial biomass carbon in red soils polluted with cadmium

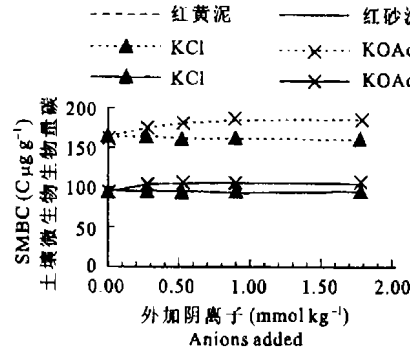

图 2　KOAc、KCl 对红壤微生物生物量碳的影响

Fig. 2　Effect of different anions on microbial biomass carbon in red soils

生物量碳下降比用氯化镉处理的更为明显,与对照(Cd 0 mg kg^{-1})相比,在红黄泥中醋酸镉各处理的土壤微生物生物量碳平均降低了17.4%,氯化镉各处理的土壤微生物生物量碳则平均降低了7.2%;在红砂泥中醋酸镉各处理的土壤微生物生物量碳平均降低了35.7%,氯化镉的处理则降低了8.5%。统计分析表明,两种供试土壤中因相伴阴离子不同而产生的微生物生物量碳的差异均达极显著水平($p<0.01$),且这种差异在红砂泥中表现更为明显,这与Khan[15]等人的研究结果相一致。为了解释醋酸镉和氯化镉二者之间的差异原因,设计了一个钾盐的辅助试验。从图2可见,用KCl处理对土壤微生物生物量碳没有明显影响,用KOAc处理却使红黄泥和红砂泥的土壤微生物生物量碳分别增加了11.2%和10.7%(与对照相比)。此结果表明醋酸根离子(OAc^-)对镉污染土壤的微生物生物量碳的抑制作用不是OAc^-本身的毒性效应。

2.2 相伴阴离子对镉污染红壤基础呼吸及代谢商(qCO_2)的影响

相伴阴离子对镉污染红壤的基础呼吸影响如图3所示。在相同Cd浓度下,醋酸镉处理红黄泥和红砂泥的基础呼吸明显低于氯化镉的处理,与对照(Cd 0 mg kg^{-1})相比,红黄泥中醋酸镉各处理的土壤基础呼吸平均降低了26.6%,氯化镉的处理则降低了11.1%;在红砂泥中醋酸镉各处理的土壤基础呼吸平均降低了59.9%,氯化镉的处理则降低了25.6%。统计分析表明,在两种供试土壤中因相伴阴离子不同而引起的基础呼吸的差异也均达极显著水平($p<0.01$)。用醋酸钾和氯化钾的辅助试验(图4)可见,醋酸钾还增强了土壤的基础呼吸(与对照相比提高了11.4%),尤其在红黄泥上更为突出。这同样说明OAc^-可能不是引起土壤基础呼吸下降的原因。

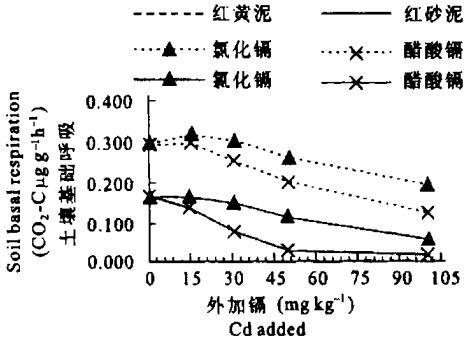

图3 相伴阴离子对镉污染红壤基础呼吸的影响

Fig 3 Effect of accompanying anions on basal respiration of red soils polluted with cadmium

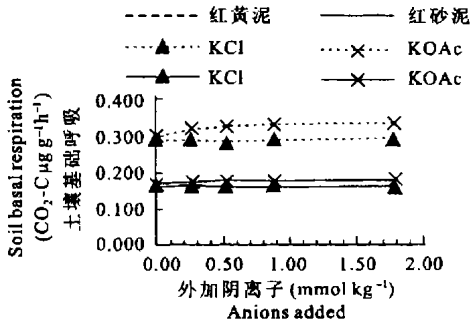

图4 KOAc、KCl对红壤基础呼吸的影响

Fig 4 Effect of different anions on soil basal respiration

Anderson[6]等提出土壤代谢商(qCO_2)的概念,即每单位微生物生物量碳的基础呼吸量。一些研究者用土壤代谢商(qCO_2)来反映重金属胁迫下土壤微生物活性的大小,并作为重金属胁迫下土壤微生物生理代谢特征的敏感指标[6-8]。本研究结果表明,在不同相伴阴离子镉盐污染条件下,红黄泥和红砂泥的微生物代谢商呈下降趋势,这一结果与Insam[8]等报道相一致。他们把污染土壤代谢商降低解释为重金属污染土壤和非污染土壤中的微生物对不同基质的利用率不同,或许是不同污染程度土壤中的微生物区系组成存在差异,从而影响到土壤中微生物生物量的合成及有机碳源的矿化。而本研究结果说明重金属的相伴阴离子不同亦能致使微生物代谢商下降。在相同Cd浓度下,用醋酸镉处理的红壤的微生物代谢商所受到的影响大于氯化镉的处理,与对照(Cd 0 mg kg^{-1})相比,红黄泥中醋酸镉各处理的土壤代谢商平均降低了14.8%,氯化镉的处理则降低了8.0%;在红砂泥中醋酸镉各处理的土壤代谢商平均降低了46.4%,氯化镉的处理则降低了26.5%。

2.3 相伴阴离子对镉污染红壤酶活性的影响

土壤中重金属一方面占据了酶的活性中心或与酶分子的巯基、胺基和羧基的结合影响酶活性,另一方面重金属通过影响微生物的活性从而间接影响土壤酶活性。前人曾把土壤酶活性作为重金属污染土壤的微生物活性指标之一[9]。通常以单一酶活性或整体酶活性来表征土壤重金属的污染状况。周礼

恺[12]等研究指出土壤脲酶和酸性磷酸酶活性是比较敏感反映土壤镉污染状况的生化指标。因此, 本文采用这两个酶活性指标来进一步探讨相伴阴离子对镉污染红壤的微生物活性的影响。

从图 5、图 7 可见, 在相同 Cd 浓度条件下, 醋酸镉处理的红黄泥和红砂泥的脲酶和酸性磷酸酶活性的抑制作用大于氯化镉的处理, 统计分析表明, 相伴 OAc^- 与 Cl^- 处理在红黄泥土壤中的脲酶和酸性磷酸酶活性的差异均达极显著水平($p < 0.01$), 在红砂泥中的脲酶和酸性磷酸酶活性的差异达显著水平($p < 0.05$)。由图 6、图 8 可以看出, OAc^- 对土壤酶活性没有表现抑制效应, 反而激发了脲酶和酸性磷酸酶活性; Cl^- 对土壤脲酶和酸性磷酸酶活性的影响不明显。

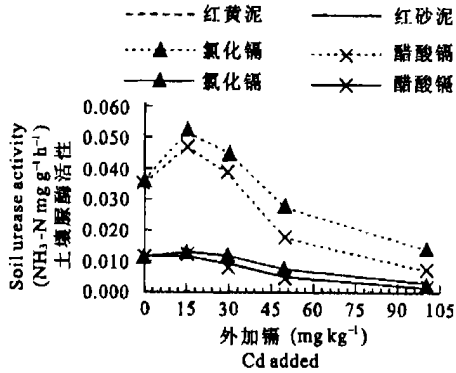

图 5　镉相伴阴离子对红壤脲酶活性的影响(37℃)

Fig 5　Effect of accompanying anions on urease activity of red soils polluted with cadmium

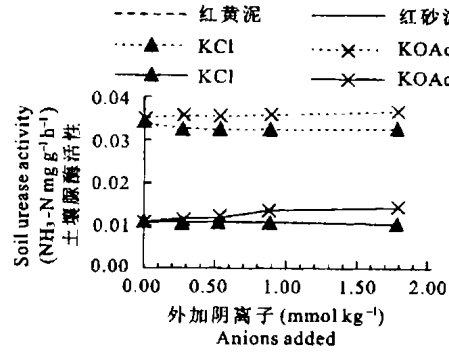

图 6　KOAc、KCl 对红壤脲酶活性的影响(37℃)

Fig 6　Effect of different anions on urease activity in red soils

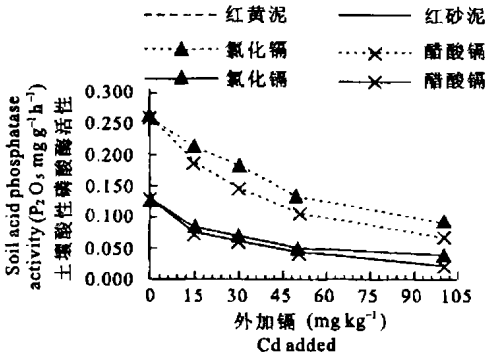

图 7　相伴阴离子对镉污染红壤酸性磷酸酶活性的影响(30℃)

Fig. 7　Effect of accompanying anions on acid phosphatase activity of red soils polluted with cadmium

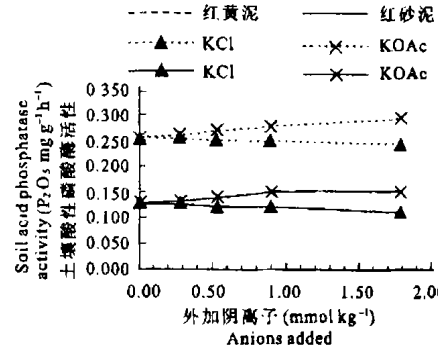

图 8　KOAc、KCl 对红壤酸性磷酸酶活性的影响(30℃)

Fig 8　Effect of different anions on acid phosphatase activity in red soils

2.4　相伴阴离子对镉污染红壤的 pH 值和有效态镉的影响

从表 2 看出, 用醋酸镉和氯化镉处理红黄泥和红砂泥的 pH 值发生不同程度的变化, 统计分析表明, 相伴 OAc^- 与 Cl^- 对红黄泥土壤 pH 值的影响差异未达显著水平, 而对红砂泥 pH 值的影响差异则达极显著水平($p < 0.01$)。同时, 土壤 pH 值随着外加镉浓度的增加呈现下降趋势, 特别在红砂泥上更为明显, 这可能与红砂泥土壤的酸碱缓冲能力较低有关。

用醋酸镉和氯化镉处理对红黄泥和红砂泥的有效镉含量的影响如表 2 所示。可见, 在红黄泥和红砂泥中醋酸镉各处理的有效镉含量大于氯化镉的处理, 统计分析表明, 因相伴 OAc^- 与 Cl^- 两种阴离子种类不同, 镉污染红黄泥和红砂泥的有效镉含量的差异达显著水平($p < 0.05$), 且在红砂泥上更为明显。

表 2 相伴阴离子对镉污染红壤 pH 值和有效镉的影响

Table 2 Effects of accompanying anions on soil available cadmium and pH values

处理 Treatment ($Cd\ mg\ kg^{-1}$)	红黄泥 Red clayey soil				红砂泥 Red sandy soil			
	外加氯化镉 Cadmium chloride added		外加醋酸镉 Cadmium acetate added		外加氯化镉 Cadmium chloride added		外加醋酸镉 Cadmium acetate added	
	pH (H_2O)	有效态镉 Available Cd($mg\ kg^{-1}$)	pH (H_2O)	有效态镉 Available Cd($mg\ kg^{-1}$)	pH (H_2O)	有效态镉 Available Cd($mg\ kg^{-1}$)	pH (H_2O)	有效态镉 Available Cd($mg\ kg^{-1}$)
0	5.45a	N. De	5.45a	N. De	6.68a	N. De	6.68a	N. De
15	5.43b	11.91d	5.43b	13.00d	6.34b	12.85d	6.66ab	14.95d
30	5.43bc	20.98c	5.43b	24.56c	6.31c	21.27c	6.63b	26.11c
50	5.38c	31.95b	5.42b	40.68b	6.15d	34.58b	6.58c	43.83b
100	5.36d	61.85a	5.42b	72.10a	6.06e	67.97a	6.50d	82.90a

注: 不同小写字母间表示新复极差SSR 检验差异达显著水平($p = 0.05$); N. D 表示在检测限以下

3 讨 论

在本试验中,用醋酸镉和氯化镉作为外源镉盐加入红黄泥和红砂泥土属的两个供试红壤经培养后,红壤的微生物活性在一定程度上受到抑制,其受抑制的大小不仅与外源镉的浓度有关,而且还明显受所用镉盐相伴阴离子的影响。结果表明,在相同镉浓度条件下,在两个供试土壤上外加醋酸镉处理的土壤微生物生物量碳、基础呼吸、代谢商及土壤酶活性等微生物学指标均显著低于外加氯化镉的处理。从这一结果,几乎可以认为醋酸根离子(OAc^-)比氯离子(Cl^-)对微生物有更大的毒性。但从外加醋酸钾和氯化钾的另一辅助试验可见,在等量钾浓度条件下,与用氯化钾(KCl)相比,用醋酸钾(KOAc)处理不仅没有对土壤微生物活性产生抑制作用,降低土壤微生物生物量碳含量,反而有刺激作用,微生物生物量碳有一定幅度的增加。在红黄泥中增加了11.2%,红砂泥中增加了10.7%(与对照比)。土壤基础呼吸、脲酶和酸性磷酸酶活性均存在完全类似的趋势。可见,红壤中外加等量镉浓度的醋酸镉和氯化镉后,产生对土壤微生物抑制作用或者说土壤微生物活性的差异,不是因为 OAc^- 本身毒性效应较 Cl^- 大所致。

本试验结果表明,在两个供试土壤上,凡是外加醋酸镉处理的土壤有效镉均明显高于氯化镉的处理。鉴此,可以推测在土壤复杂体系中,镉的不同相伴阴离子种类可能直接或间接地影响镉的生物有效性。究其原因可能有两方面:一是与醋酸镉和氯化镉的溶解特性存在差异有关。$CdCl_2$ 易溶于水,其液相中以 $CdCl_2^0$、$CdCl_3^-$ 以及 $CdCl_4^{2-}$ 占优势,游离态 Cd^{2+} 相对较少,而 $Cd(OAc)_2$ 极易溶于水,液相中以游离态 Cd^{2+} 占优势,因而两种镉盐溶液的有效态镉出现差异,这也可能是导致相伴 OAc^- 对镉污染红壤的微生物毒性比相伴 Cl^- 要大的原因之一[1]。二是与土壤固相的吸附性质有关。前人研究结果表明土壤吸附有机酸根离子(CH_3COO^-)的能力大于氯离子(Cl^-)[13]。Benjamin[14] 等认为醋酸根作为一种配位体,优先被土壤组分吸附,降低了土壤对重金属的吸附能力,从而增加了土壤中重金属的有效性。陈怀满[16, 17]等在研究相伴阴离子对土壤中铅的吸附—解吸时发现 $Pb(OAc)_2$ 污染土壤的有效态铅含量大于 $PbCl_2$ 和 $Pb(NO_3)_2$ 污染的土壤,这种差异在实践上较为直观地反映了土壤对不同化合物中重金属的固持能力,也反映了不同相伴阴离子对重金属在土壤中的迁移、转化的影响。可见,用醋酸镉和氯化镉处理红壤后,其有效态镉含量的差异可能是导致它们镉污染红壤微生物活性变化的原因之一。正如其它土壤化学反应一样,当外源物质加入多相复杂的土壤体系后,反应过程变得更复杂。当等浓度镉的醋酸镉与氯化镉外加入红黄泥和红砂泥后,OAc^- 和 Cl^- 对镉污染红壤微生物活性的影响亦存在一定的差异。在本试验中,红砂泥土壤微生物生物量碳、基础呼吸、代谢商、酶活性的抑制明显大于红黄泥,这无

疑与两个供试红壤的粘粒含量、有机质、CEC 等理化性质上的差异有密切的关系。

4 结　论

本研究通过对红黄泥和红砂泥两个红壤试样外加醋酸镉和氯化镉的培养试验以及醋酸钾和氯化钾的辅助试验,比较了相伴 OAc^- 和 Cl^- 对镉污染红壤微生物活性的影响,获得如下结果:

1. 相同镉浓度下,相伴 OAc^- 对镉污染红壤的微生物生物量碳、基础呼吸和代谢商以及脲酶和酸性磷酸酶活性的抑制作用大于相伴 Cl^-。

2. 在供试土壤中,外加醋酸镉处理的土壤有效镉含量均明显高于氯化镉的处理。同时,醋酸镉和氯化镉的加入对红黄泥的 pH 值无明显影响,但对红砂泥的 pH 值产生一定程度的影响。

3. 相伴 OAc^- 和 Cl^- 对镉污染供试红壤的微生物活性影响的差异主要是由于两种相伴阴离子影响到镉污染土壤中镉的有效性所致,并非相伴阴离子的直接影响。同时,两者之间的影响差异与土壤理化性质密切相关(在红砂泥上表现更为明显)。

参考文献

1. 陈怀满等编. 土壤—植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996. 71~ 125
2. 张金彪, 黄维南. 镉对植物的生理生态效应的研究进展. 生态学报, 2000, 20(3): 514~ 523
3. Giller K E, Witter E. Toxicity of heavy metals to micro-organisms and microbial processes in agricultural soils. Soil Biol. Biochem., 1998, 30: 1 389~ 1 414
4. Khan K S, Xie Z M, Huang C Y. Effects of cadmium, lead and zinc on the size of microbial biomass in a red soil. Pedosphere, 1998, 8(1): 27~ 32
5. Brookes P C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fertil. Soils, 1995, 19: 269~ 279
6. Anderson T H, Domsch K H. The metabolic quotient for CO_2 a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions. Soil Biol. Biochem., 1993, 25: 393~ 395
7. Landi L, Renella G. Influence of cadmium on the metabolic quotient, L-:D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: Microbial biomass ratio under laboratory conditions. Biol. Fertil. Soils, 2000, 32: 8~ 16
8. Insam H, Hutchinson T C. Effects of heavy metals on the metabolic quotient of the soil microflora. Soil Biol. Biochem., 1996, 28: 691~ 694
9. Nannipieri P. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. *In*: Pankhurst C E, Double B M, Gupta V V S R, *et al*. eds. Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems. CSIRO, Australia. 1994. 238~ 244
10. Kell J J, Tate R L. Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. Journal of Enviromental Quality, 1998, 27(3): 609~ 617
11. 顾宗濂, 谢思琴, 吴留松. 土壤中镉、砷、铅的微生物效应及其临界值. 土壤学报, 1987, 24(4): 327~ 334
12. 周礼恺, 张志明, 曹承绵. 土壤的重金属污染与土壤酶活性. 环境科学学报, 1985, 5(2): 176~ 183
13. 朱祖祥主编. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983. 59~ 61
14. Benjamin M M, Leckie J O. Conceptual model for metal-ligand-surface interaction during adsorption. Environ. Sci. Technol., 1981, 15: 1 050~ 1 057
15. Khan K S, Xie Z M, Huang C Y. Effect of anions on toxicity of cadmium applied to microbial biomass in red soil. Pedosphere, 1997, 7: 231~ 235
16. Chen H M, Zheng C R, Sun X H. Effect of anions on adsorbility and extractability of lead added in soil. Pedosphere, 1991, 1(1): 51~ 62
17. Chen H M, Zheng C R, Sun X H. Effect of different lead compounds on growth and heavy metal uptake of wetland rice. Pedosphere, 1991, 1(3): 253~ 264
18. Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., 1987, 19: 703~ 707
19. 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 274~ 339
20. 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 107~ 240

INFLUENCE OF ACCOMPANYING ANIONS ON MICROBIAL ACTIVITIES IN RED SOILS POLLUTED WITH CADMIUM

Teng Ying Huang Chang-yong Yao Huai-ying Long Jian
(College of Natural Resources and Environmental Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Summary

A laboratory incubation experiment was conducted to evaluate the influence of accompanying anions on microbial activities in red soils polluted with cadmium. The results indicated application of cadmium as cadmium acetate markedly inhibited the soil microbial biomass, basal respiration, urease and acid phosphatase activity compared to cadmium applied as cadmium chloride at all cadmium levels. T-test showed that soil microbial biomass, basal respiration, urease and phosphatase activity were significantly different between red soils contaminated with cadmium acetate and chloride except for the metabolic quotients (qCO_2) in red clayey soil. Similarly, there were significant effects of cadmium with different anions on available cadmium contents in red soils after incubation. The available cadmium contents in red soils polluted by cadmium acetate were more than those by cadmium chloride. Another laboratory incubation experiment was carried out to argue the effect of associated anions on microbial activities in red soils added with potassium both acetate and chloride. Its results demonstrated that accompanying acetate anion can enhance soil microbial activities, but associated chloride anion has no remarkable effect on soil microbial activities. Thus it can be seen that difference of available cadmium contents which were resulted in by accompanying anions could be one of factors determining their relative toxicity to the soil microbial activities.

Key words Accompanying anions, Cadmium, Microbial activities, Red soils