第 41 卷第 5 期 土 壤 通 报 Vol.41,No. 5

2010 年 10 月 Chinese Journal of Soil Science Oct . , 2010

有机物料在重金属污染农田土壤修复中的应用研究

王意锟 1,2，张焕朝 1\*，郝秀珍 2，周东美 2

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院，江苏 南京 210037；2. 中国科学院 南京土壤研究所，  
土壤与农业可持续发展国家重点实验室，江苏 南京 210008)

摘 要：农田土壤的重金属污染，直接影响农作物的产量和品质，从而威胁人类健康，因此已成为人们十分关注的热点环境 问题。有机物料在农村地区价廉易得，对大面积重金属污染农田的修复具有较好的应用前景。对有机物料修复重金属污染 农田土壤的机理、影响因素以及提高有机物料修复效果的措施进行了综述，为提高农产品的安全性和农业废弃物的有效利 用等提供参考。

关 键 词：土壤；有机物料；重金属；修复

中图分类号：X131.3；X53 文献标识码：A 文章编号：0564-3945(2010)05- 1275-06

收稿日期 ： 2008- 09- 28 ；修改日期:2008- 11- 15

基金项目：中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-404)和国家自然科学基金项目(30700480)资助

作者简介 :王意锟(1984-)，男，江苏扬州人，硕士研究生，主要从事土壤环境修复研究。E-mail: wykknjfU@163.com；Tel: 13584051526,0514- 87350029 \* 通讯作者：E- mail: [hczhang@ijfU.edu.cn](mailto:hczhang@ijfU.edu.cn)

高强度人类活动，如矿山的开采冶炼、汽车、肥料 和农药大量使用等，使得土壤的重金属污染日益加 重，严重威胁环境以及人类健康［1,2］。一方面，土壤中的 重金属含量超过一定范围时，会影响植物生长。陶明 煊等［3］研究发现，在 5 mg L-1 的 CdCl2 培养液中，荇菜 的光合、呼吸等作用短暂升高后，即呈明显的回落状 态，且随处理时间的延长，受害损伤越趋明显。研究还 表明，培养液中 Cd 浓度越大，植物毒害损伤的现象出 现得越早［3］。另一方面，重金属可以通过食物链进入人 体。当体内蓄积浓度达到一定阈值时，就会对人体产 生毒害，如发生在日本的因食用镉米而引起的“痛痛 病”事件。

目前，对重金属污染土壤的治理方法主要有：物 理工程治理法、生物治理法和化学治理法等。物理法 包括客土法、换土法、翻土法等［4,5］，治理费用高，实施复 杂，仅适用于小面积、重污染的地方；生物治理是指利 用生物的某些习性来适应、抑制和改良重金属污染。 虽然费用低，实施方便，但效率不高，并且常具有专一 性［6,7］；化学治理法是利用化学物质来降低土壤中重金 属的迁移性和生物可利用率，从而达到污染土壤的治 理和修复。它包括淋洗法、施用改良剂法等。化学淋洗 法成本低、处理量大，但会导致土壤结构破坏，土壤养 分流失及地下水污染。改良剂法指通过添加某些改良 剂(如有机物料、碱性物质、磷酸盐、粘土矿物等)进行 离子交换、吸附、沉淀等钝化作用［8,9］，改变重金属在土 壤中的存在形态，降低重金属在土壤中的移动性及生 物有效性［10］。改良剂法因其取材方便，适用范围广等优 点，具有较好的实际应用前景。

目前，农田土壤重金属污染的现象普遍存在，施 加廉价易得的有机物料对土壤进行修复，是一种切实 可行的方法。有机物料多为农业废弃物，对其加以利 用可避免其对环境的污染，还可减少化肥的使用，从 而降低农业成本。施加有机物料可改善土壤结构，提 高土壤养分，从而促进农作物生长，发展可持续性的 生态农业。同时，使用有机物料可减少农作物对重金 属的吸收积累，缓解重金属通过食物链对人体健康的 威胁。因此，研究使用有机物料来加强对重金属污染 农田的利用，提高农作物的安全性和产量，具有一定 现实意义。可用于污染土壤修复的有机物料很多，常 见的有机物料见表 1［11~16］。

1. 有机物料修复农田土壤的作用机理
   1. 吸附性

有机物料中的腐殖质是一种复杂的高分子芳香 多聚物，带有苯羧基、酚羟基等很多活性基团，活性基 团之间以氢键相互结合，使得分子表面有许多孔，比 表面积大，对镉、锌离子的吸附能力远远超过矿质胶 体,是良好的吸附载体。Sauve呵研究发现:土壤有机物 质对重金属的吸附能力是粘土矿物的 30 倍，因此有 机物质含量高的土壤对重金属的吸附量也大,可有效 减弱土壤中重金属的迁移性。

* 1. 络合性

有机物料本身以及施入土壤后分解所产生的羟 基、羧基、酚羟基等活性基团,可以和土壤中的重金属

形成络合物，而络合物的稳定性会影响重金属的有效 性及植物对重金属的吸收量。金属络合物的稳定性， 决定于许多因素，包括金属离子的特性、有机质分子 活性基团与金属离子成键的数目、所形成环的数目以 及 pH 等 。

| 种类  Type | 用量  Amount (g kg- 1) | 土壤重金属含量(mgkg'1)  The Content of soil heavy metal | | | | 结果  Results |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cu | Pb | Zn | Cd |
| 粉煤灰 | 50.0 | 248.00 | 2557 | － | － | 土壤淋洗液中 Cu、Pb 含量分别降低 91.1 %、87.1 % |
| 泥炭 | 50.0 | 248.00 | 2557 | － | － | 土壤淋洗液中 Cu、Pb 含量分别降低 74.5 %、61.0 % |
| 牛粪 | 26.0 |  |  | 521.00 | 128 | 红心藜生物量从每盆12.3 mg增至1450 mg，  红心藜Zn积累量从5.585 mgkg-1降至0.476 mgkg-1 |
| 绿肥 | 200.0 |  |  | 9580.00 | 土壤淋洗液中Zn、Cd含量分别降低48.8 %、47 %；  黑麦草生物量增加3.2倍，重金属积累量显著降低 |
| 污泥 | 100.0 | 4.79 |  | 19.10 | － | 紫花苜蓿的生物量增加,Cu、Zn积累量降低 |
| 橄榄叶 | 21.4 | 42.00 | 1572 | 2602.00 | － | 土壤Pb、Zn的活性显著降低,Cu的活性增加 |
| 葡萄渣 | 80.0 | 9.50 | － | 10.25 | 1.42 | 土壤Cu、Cd的活性显著降低,Zn的活性增加 |
| 蘑菇渣 | 80.0 | 9.50 |  | 10.25 | 1.42 | 土壤Cd的活性降低,Zn的活性增加 |

表 1 有机物料在重金属污染土壤修复中的应用

Table 1 Application of organic materials to the remediation of heavy metal contaminated soil

金属络合物的稳定性与金属离子的特性有一定 的关系。根据金属离子与专性配位体原子的配位能 力，可将金属离子划分为两类，一类易与氟和氧作为 供体原子的配位体形成络合物；另一类易与含 N、P 和 S供体原子的配位体发生配位反应。Zn2+属于第二类, 易与P、S等供体形成高能键;Cu2+对两种类型的供体 原子都适合,可与富里酸和胡敏酸中所有活性基团配 位。因此与其它重金属相比,Cu2+更易于与土壤中的有 机质形成络合物［18］。

有机质中富里酸等低分子有机酸由于其较高的酸 性和较低分子量,它们与重金属形成的配位键及环的 数目少于胡敏酸等高分子有机酸,因此富里酸等金属 络合物的稳定性小于胡敏酸等。 研究表明,随着胡敏酸 用量增加,小白菜 Cd 含量不断降低。 当胡敏酸水平为 0 mg kg-1 时,小白菜地上部 Cd 含量为 3.74 mg kg- 1,但 当胡敏酸水平为5 mg kg-1时，小白菜地上部Cd含量 降至 2.88 mg kg-1。 富里酸对 Cd 在小白菜体内的富集 则有明显的促进作用。 随富里酸用量的增加,小白菜 地上部Cd含量不断增加。当富里酸水平为0 mg kg-1 时，小白菜地上部Cd含量为2.618 mg kg-1,但当富里 酸水平为5 mg kg-1时，小白菜地上部Cd含量增至 4.05 mg kg- 1［19］。

1.3 改变土壤酸碱性

土壤pH不仅影响土壤对重金属的吸附，还会影响 重金属在土壤中的存在形态及植物对重金属的吸收。 研究发现，土壤pH与植株对镉的吸收量之间存在线性 关系。随着pH的降低，植株内镉的含量显著提高㈣。有 机物料在矿质化过程中会产生CO2,在腐殖化过程中 会产生有机酸，这些都会导致土壤pH的降低，从而提 高土壤重金属的生物有效性。但张青等［21］发现，在酸性 镉锌污染土壤上施用有机肥后，与对照相比，土壤 pH 提高了1.4，并且小油菜的生物产量明显提高，土壤交 换态镉含量从55.6%降至 44%，小油菜中镉的浓度也 显著降低。 这可能与土壤的缓冲性及有机质分解释放 碱性物质有关。

1.4 改变土壤氧化还原性质

有机物料加入土壤后，它的分解会消耗大量氧 气，从而使土壤处于还原状态，同时降低土壤的 Eh。 Welker［12,22 ］在含硫量高的重金属污染土壤中施加牛粪 和堆肥后发现，空白处理和堆肥处理使得土壤pH下 降，土壤重金属生物有效性提高。 这是因为土壤中的 硫在发生氧化反应后，使可溶性硫的浓度增加，金属 硫化物沉淀减少;牛粪处理则可显著抑制土壤中硫的 氧化反应，促进硫与重金属形成沉淀，降低重金属生 物有效性。 这可能与新鲜畜禽粪肥富含可溶性有机 质，易于分解，耗氧量大有关。 堆肥腐殖化程度高、不 易分解，耗氧量少，因此短期内效果不如牛粪处理。 李 瑞美等［23］也认为施加有机肥后，随时间的延长，土壤的 氧化还原状态及微生物活性变化会导致土壤中有效 镉含量会有所下降。

1. 影响有机物料修复效果的因素

2.1 作物根际环境

一些作物的土壤根际环境条件有时会随着时间 推移而发生变化，从而导致有机物料抑制土壤重金属 有效态浓度能力的下降。 高山等［24］在加入外源镉的稻 作土和非稻作土中施加稻草和紫云英，结果表明稻草 和紫云英加入非稻作土培养30 d后，显著降低土壤交 换态镉的含量。与培养初期（30 d）相比，培养90 d后 土壤交换态镉的含量无显著变化。 稻草和紫云英加入 稻作土培养30 d后，土壤交换态镉的含量虽然显著降 低，但培养90 d后土壤交换态镉含量却均显著提高， 其原因是水稻根系分泌的H+和02,显著提高土壤氧 化还原电位，抑制土壤中游离二价硫的形成，从而抑 制硫化镉沉淀的形成。 说明在研究有机物料对土壤重 金属生物有效性影响的同时，也应考虑作物及环境变 化对土壤重金属化学行为的影响。

2.2 有机物料的分解

加入有机物料后，改善了土壤的营养状况，通过 络合、吸附等作用降低了重金属的活性，从而促进植 物生长。 但有机物料的分解，会使土壤中重金属的有 效性发生变化，进而影响有机物料修复土壤的效果。

1. 土壤重金属的重新释放 有机物料的分解会 使被吸附和络合的重金属释放出来，重新具有生物有 效性，对植物造成危害。 在未添加有机物料的情况下， 季节差异导致的气温及作物蒸腾强度的不同，会导致 早稻糙米中的Cd浓度比晚稻米中的Cd浓度要高回。 王凯荣等［26］发现，施用稻草和猪厩肥后，在早稻期间都 显著降低植株和糙米Pb、Cd含量；但在晚稻期间，有 机肥的改良效果出现了明显波动，其中施稻草处理虽 显著降低了植株Pb、Cd含量，但对糙米Pb、Cd含量的 影响不显著;而施猪厩肥的处理，植株和糙米Cd含量 都显著高于对照。 说明晚稻期间，土壤中被吸附和络 合的Pb、Cd因有机质的分解而重新释放出来。
2. 溶解性有机物 有机物料的分解会产生低分 子量的溶解性有机物（DOM ［27］。研究表明，在铜污染土 壤中施用猪粪初期，土壤水溶性Cu含量比对照处理 明显增加，随着处理时间的延长，土壤水溶性Cu含量 下降，水溶性Cu含量的变化与溶解性有机物在土壤 中的动态变化规律相似［28］。 说明在土壤中施加有机物 料后，产生的溶解性有机物会与土壤中的重金属结 合,形成了 DOM—重金属络合物，提高土壤重金属的 生物有效性㈣。徐应明等［30］也发现Cd与猪厩肥会发生 络合反应形成可溶性络合物，因而提高了植物对 Cd 的吸收量。

不同有机物料之间的分解速度有时存在差异。 研 究表明，经56 d养后新鲜牛粪和堆肥的矿质化程度分 别为 3.8%和 24%［15］，这是因为堆肥等腐殖化程度高的 有机物料抵抗微生物降解的能力较强，分解速度较 慢，溶解性有机物的含量也较低［31］。 而新鲜的畜禽粪肥 等腐殖化程度低的有机物料则易分解，溶解性有机物 的含量高，可在短期内增加土壤重金属的溶解性。 因 此，在修复重金属污染土壤时，应选择合适的有机物 料以提高修复效果。

2.3 有机物料的组分

1. 有机物料中重金属的含量 有机物料有时自 身会含有大量的重金属，因此在农田中使用有机物料 时，应该谨慎，要充分考虑有机物料中重金属的含量， 防止增加土壤中重金属有效态的含量，造成二次污 染。

在集约化养殖过程中，饲料添加剂和兽药的使用 使得鸡粪、牛粪和猪粪等畜禽粪肥中的 Cu、Zn、Fe、Mn 等重金属含量增加，且重金属有效态的含量远高于土 壤［32］。 郝秀珍等［33］在尾矿砂、菜园土混合土壤上加入重 金属含量较高的鸡粪，发现施加鸡粪处理虽可提高作 物的生物量，但其土壤有效态重金属含量较未使用鸡 粪的对照显著增加，且增加程度随鸡粪使用量提高而 增大。当鸡粪使用量为100 gkg-1时，各处理土壤有效 态Cu、Zn、Pb的含量约为对照的2倍。

污泥含有大量的有机质和养分，可有效的减少植 物对重金属的吸收，促进植物的生长［14］。随着工业的发 展，污泥污水中重金属含量的增加，使污泥在农业应 用过程中加重了土壤重金属的污染。Singh等网发现， 施加污泥后，土壤 Pb、Zn、Cu、Cd 的含量均显著提高， 甜菜的生物量、叶面积减小，根伸长受到抑制，而对重 金属的吸收量增加。 Guerra 等［35］也发现，城市污泥的使 用使土壤中重金属的全量及有效态含量增加。

1. 有机物料中酚类物质的含量 有机物料中的酚 类物质可显著提高土壤中重金属的有效性。 研究表明酚 类物质吸附于铁锰氧化物的表面，并向其传递电子，通 过氧化还原反应改变Fe、Mn的价态，提高其有效性閃; Clemente"］发现，向重金属污染土壤施加橄榄壳后，土 壤中重金属的有效性和植物对重金属的吸收量均显著 高于对照及其它处理。 这主要与橄榄壳中所含的酚类 物质与Cu、Zn等重金属发生的螯合反应有关。

2.4 土壤中的重金属浓度

有机物料施加在不同污染程度的土壤上，其产生 的作用效果也显著不同。研究表明，在低水平Zn污染 土壤上施用猪厩肥未降低小麦籽粒中的Zn含量网;而 在高水平Zn污染土壤上施用猪厩肥，小麦籽粒中Zn 的含量显著降低。 这是因为猪厩肥中的富里酸及氨基 酸等其它小分子有机酸与Zn形成络合物的速率有可 能高于胡敏酸。因此在低水平Zn污染土壤中,主要是 富里酸等小分子有机酸与Zn发生络合反应，可溶性 络合物占总有机Zn络合物的比例相对较高；在高水 平Zn污染土壤中，在土壤中小分子有机酸与Zn络合 的同时，胡敏酸等大分子有机物质对Zn的络合机率 也提高了，形成生物有效性低的络合物。

1. 提高有机物料修复效果的措施

3.1 有机物料和其它改良剂的配合使用

单施有机物料修复土壤，有时虽可降低土壤中重 金属的活性，并提高土壤肥力，但有机物料中可溶性 有机物含量及有机物料的分解等因素，会导致土壤中 重金属的有效性提高或被固定的重金属重新释放出 来。 粘土矿物、钙镁磷肥、石灰等改良剂可抑制土壤中 重金属活性，但有时会产生土壤肥力下降，土壤结构 性变差、土壤板结等问题［39］。 因此常将有机物料和其它 改良剂合理配合使用，以期获得更好的修复改良效 果。 沸石在短期内对土壤重金属活性无显著作用，但 在有机物料和沸石配合施用的处理中，随着有机物料 的降解，沸石会对土壤重金属活性产生显著影响。 研 究表明，钙镁磷肥和有机物料配合施用后，与其它处 理相比作物产量显著增加，而作物对重金属的吸收量 则明显降低［40］。

改良剂配施时，应考虑改良剂之间的相互影响。 堆肥和磷酸盐化合物在单独使用时，都有效降低了植 物中镉的含量。 但二者配施后，对作物却没有显著影 响。 说明改良剂之间会产生相互作用［41］。

3.2 不同施加方式

有机物料不同的施加方式，有时对土壤修复的效 果也会产生很大影响。 研究发现，将泥炭施于土壤表 层的处理，其修复效果明显优于将泥炭与土壤充分混 合的处理。 这是因为泥炭施于土壤表层后，在土壤表 面产生较厚的有机质层，稀释了土壤表面有效态重金 属的浓度，降低了重金属在种子的萌发期及植株的生 长初期对植物的毒害作用，从而提高了植物的生物 量，减少了植物对重金属的吸收［42］。

3.3 使用含磷、含盐量高的有机物料

Narwal 等［43］发现尽管牛粪和泥炭中可溶性有机物 的含量很高，但二者都降低了土壤中有效态 Cu、Zn 的 浓度。 这可能与有机物料中磷及盐分的含量有关。 有 机物料在矿化过程中释放出的磷酸盐及其它盐分会 跟重金属形成不溶性的盐，含磷量高的畜禽粪可将土 壤中大量的 Zn、Pb 由有机结合形态转变为残留态。 Herwijnen［13 ］发现使用富含硝酸盐的污泥修复重金属污 染土壤，增加了植株的生物量及叶片中氮元素的含 量，从而稀释了叶片中重金属的浓度。 因此使用含磷、 含盐量高的有机物料修复土壤，可以提高修复效果， 减轻有机物料中可溶性有机物等因素造成的负面影 响，但也需对其带入的大量盐分离子予以重视。

1. 结语

有机物料修复重金属污染土壤在国外已有较多 研究，但国内主要还处于实验室内培养和盆栽阶段。 有机物料虽然可降低土壤重金属的有效性，但实际并 未减少土壤中重金属总量，而有机物料中的重金属、 其分解产生的溶解性有机物等因素可能导致土壤重 金属污染的加重及土壤酸化。 因此，利用有机物料修 复土壤存在一定的环境风险，修复的效果取决与有机 物料的种类和组分以及土壤的环境条件。 今后，应加 强土壤环境条件、有机物料中不同分子量的组分对土 壤重金属有效性的影响，以及有机物料长期修复效果 等方面的研究，使有机物料更加有效地应用于重金属 污染土壤的修复与改良。

参考文献

[ 1 ] DE SOUSA C A. Turning brownfields into green space in the City of

Toronto[J]. Landscape and Urban Planning, 2003, 62: 181 - 198.

1. 陈怀满，土壤一植物系统中的重金属污染M.北京：科学出版社, 1996．
2. 陶明煊，吴国荣，顾龚平，等.Cd对荇菜光合、呼吸速率和ATPase 活性的毒害影响J].南京师范大学学报,2002, 25(3): 94 - 98.

[4 ]郑喜坤，鲁安怀.土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环

境, 2002, 11(1): 79 - 84.

[ 5 ] BOISSON J, RUTTENS A, MENCH M, et al. Immobilization of trace metals and arsenic by different soil additives: evaluation by means of chemical extractions [J]. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 1999, 30: 365 - 387.

[ 6 ] 冷 鹃, 揭雨成, 许 英. 植物治理重金属污染土壤的研究现状 及展望 J 土壤通报，2002, 33(6): 467 - 470.

[7 ]骆永明.金属污染土壤的植物修复[J]. 土壤，1999, 5: 261 - 265.

[ 8 ] MULE P, MELIS P. Methods for remediation of metal- contaminated soils: preliminary results [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2000, 31: 3193 - 3204.

[ 9 ] ROMAN R, FORTUN C, DE SA M, et al. Successful soil remediation and reforestation of a calcic regosol amended with composted urban waste[J]. Arid Land Research and Management, 2003, 17: 297 - 311.

1. MADEJON E, MORA A P, FELIPE E, et al. Soil amendments reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation[J]. Environmental Pollution, 2006, 139: 40 - 52.
2. KUMPIENE J, LAGERKVIST A, MAURICE C. Stabilization of Pb

and Cu- contaminated soil using coal fly ash and peat [J].

Environmental Pollution, 2007, 145: 365 - 373.

1. WALKER D J, CLEMENTE R, BERNAL M P. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of Chenopodium album L. in a soil contaminated by pyritic mine waste[J]. Chemosphere, 2004, 57: 215 - 224.
2. HERWIJNEN R, et al.Remediation of metal contaminated soil with mineral- amended composts [J]. Environmental Pollution, 2007, 150: 347 - 354.
3. SU D C, WONG J W C, JAGADEESAN H. Implications of rhizospheric heavy metals and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil[J]. Chemosphere, 2004, 56: 957 - 965.
4. CLEMENTE R, ESCOLAR A, BERNAL M P. Heavy metals fractionation and organic matter mineralization in contaminated calcareous soil amended with organic materials [J]. Bioresource Technology, 2006: 1894 - 1901.
5. KARACA A. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in soil [J]. Geoderma, 2004, 122: 297 - 303.
6. SAUVE S, MANNA S, TURMEL M C, et al. Solid solution partitioning of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn in the organic horizons of a forest soil[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37: 5191 - 5196.
7. STEVENSON FJ•著.夏荣基译.腐殖质化学M.北京:北京农业大 学出版社, 1994.
8. 何雨帆，刘宝庆，吴明文，等.腐植酸对小白菜吸收Cd的影响J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 84 - 86.
9. KUO S, HUANG B, BEMBENEK R. The availability to lettuce of zinc and cadmium in a zinc fertilizer[J]. Soil Science, 2004,169: 363 - 373.
10. 张 青, 李菊梅, 徐明岗, 等. 改良剂对复合污染红壤中镉锌有效 性的影响及机理[J].农业环境科学学报，2006, 25(4): 861 - 865.
11. WALKER D J, CLEMENTE R, ROIG A, et al. The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils[J]. Environ Pollut, 2003, 122: 303 - 312.
12. 李瑞美, 王 果, 方 玲. 钙镁磷肥与有机物料配施对作物镉铅 吸收的控制效果[J]. 土壤与环境,2002,11(4):348 - 351.
13. 高山, 陈建斌, 王果. 有机物料对稻作与非稻作土壤外源镉形态 的影响研究J]中国生态农业学报，2004, 12(1): 95 - 98.
14. 丁凌云, 蓝崇钰, 林建平, 等. 不同改良剂对重金属污染农田水稻 产量和重金属吸收的影响J].生态环境，2006, 15(6): 1204 - 1208.
15. 王凯荣, 张玉烛, 胡荣桂. 不同土壤改良剂对降低重金属污染土 壤上水稻糙米铅镉含量的作用 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (2): 476 - 481.
16. DEL CASTILHO P, et al.Influence of cattle manure slurry application on the solubility of cadmium, copper , and zinc in a manured acidic , loamy sand soil[J]. J. Environ Qual, 1993, 22: 689 - 697.
17. 王艮梅, 周立祥. 施用有机物料对污染土壤水溶性有机物和铜活 性的动态影响[J].环境科学学报，2003,23(4):452 - 457.
18. ALMAS A, SINGH B R, SALBU B. Mobility of cadmium- 109 and zinc- 65 in soil influenced by equilibration time, temperature, and organic matter[J]. J. Environ Qual, 1999, 28: 1742 - 1750.
19. 徐应明，林大松，吕建波，等.化学调控作用对Cd PbCu复合污 染菜地土壤中重金属形态和植物有效性的影响[J|.农业环境科学 学报, 2006, 25(2): 326 - 330.
20. BERNAL M P, PAREDES C, SANCHEZ- MONEDERO M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. Bioresour Technol, 1998, 63: 91 - 99.
21. 赵 明, 蔡 葵, 赵征宇, 等. 畜禽粪肥对土壤有效铜锌铁锰含量 的影响 J] 土壤通报，2007, 38(1): 93 - 96.
22. 郝秀珍, 周东美, 钱海燕. 改良剂对铜矿尾矿砂与菜园土混合土壤 性质及黑麦草生长的影响[J]•农村生态环境,2003, 19(2): 38 - 42.
23. SINGH R P, AGRAWAL M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants[J]. Chemosphere, 2007, 67: 2229 - 2240.
24. GUERRA P, AHUMADA I, CARRASCO A. Effect of biosolid incorporation to mollisol soils on Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn fractionation, and relationship with their bioavailability[J]. Chemosphere, 2007, 68: 2021 - 2027.
25. HUE N V, VEGA S, SILVA J A. Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendments [J]. Soil Sci Soc Am J, 2001, 65: 153 - 160.
26. CLEMENTE R, PAREDES C, BERNAL, M P. A field experiment investigating the effects of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 118: 319 - 326.
27. 陈世宝, 华 珞, 白铃玉, 等. 小麦籽粒中镉对锌的拮抗作用与有 机肥的调控[J].生态环境2003, 12(1): 15 - 18.
28. REHA KOVA M, CUVANOVA S, DZIVAK M, et al.Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State Materials Science, 2004, 8: 397 - 404.
29. KIRKHAM M B. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments [J]. Geoderma, 2006, 137: 19 - 32.
30. GUENTHER T, DORNBERGER U, FRITSCHE W. Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil [J]. Chemosphere, 1996, 33: 203 - 215.
31. NARWAL R P, SINGH B R. Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil[J]. Water Air Soil Pollut, 1998, 103: 405 - 421.
32. KABATA- PENDIAS A. Trace Elements in Soils and Plants[M]. Boca Raton: CRC Press, 2001.

A Review on Application of Organic Materials to the Remediation of  
Heavy Metal Contaminated Soils

WANG Yi- kun1, 2, ZHANG Huan- chao1\*, HA0 Xiu- zhen2, ZH0U Dong- mei2

(1. Nanjing Forestry University ，JiangsuNanjing 210037, China; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture,  
Institute of Soil Science,Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Soil heavy metal contamination is an important environmental issue due to its influences on yield and quality of crops and thus threatening human health. 0rganic materials have been considered to be the potential prospect in treating heavy metal contaminated soil because of its effectiveness, easily availability and low price. This paper introduces the mechanisms of organic materials in the contaminated soils remediation, the influencing factors and some measurements.

Key words: Soil; 0rganic materials; Heavy metal; Remediation