

# 畜禽粪中重金属环境行为研究进展

郝秀珍<sup>1,2</sup>, 周东美<sup>1\*</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 随着畜禽养殖业向集约化、规模化发展, 饲料添加剂被大量使用, 畜禽粪中重金属问题日益严重。本文综述了国内外畜禽粪中重金属污染状况、施用后对土-水-生物系统的影响、堆肥过程中重金属的迁移分配以及减少重金属污染的控制措施, 为有机食品发展和养殖业废弃物安全利用提供参考。

**关键词:** 畜禽粪; 重金属; 土壤

**中图分类号:** X713; S141.2

随着工农业的发展, 畜禽业经营方式和饲养规模均发生了重大变化, 从小型化养殖逐步走向了集约化养殖, 养殖规模和产值每年的递增速度均超过 10%<sup>[1]</sup>。然而, 集中在城郊结合部的集约化养殖场产生了大量的畜禽粪便, 畜禽养殖已经成为我国新的污染大户。据统计, 1999 年全国畜禽粪便产生量约为 19 亿 t, 是工业废弃物的 2.4 倍<sup>[2]</sup>。由于运输处理费用比较高, 未经处理的畜禽粪便通常任意堆放在养殖场附近或者就近施入农田。大量粪便及污水难以得到及时处理和合理利用, 从而造成了严重的环境污染, 带来一系列的环境问题: 如占用和污染农田、水体, 产生恶臭和造成生物污染<sup>[3]</sup>。20 世纪 60 年代, 日本用“畜产公害”概念高度概括了这一问题的严重性<sup>[4]</sup>。

畜禽粪便作为土壤的改良材料已经有好几百年的历史, 恰当地施用可以提高土壤肥力, 改善土壤的理化性质, 增加作物产量<sup>[5-7]</sup>。农用虽然是处理这些废弃物最经济有效的措施之一, 但目前畜禽粪便的成分与以往比已经发生了质的变化。当今畜牧业生产中大量使用各种能促进生长和提高饲料利用率、抑制有害菌的微量元素添加剂, 如 Zn、Cu、As 等金属元素添加剂, 而这些无机元素在畜禽体内的消化吸收利用率极低, 在排放的粪便中含量相当高<sup>[8]</sup>。这些畜禽粪便施入土壤后, 其中的重金属元素在土壤-水-植物系统中积累转化, 并可通过食物链对人体健康造成威胁, 超过一定限度时能产生毒害<sup>[9]</sup>。近年来, 这一问题已经引起了国内外环保工作者的关注。

## 1 畜禽粪便中重金属污染状况

集约化养殖是我国未来养殖业的发展趋势, 其潜在的污染能力不容忽视。在畜禽养殖过程中, 由于追求经济价值和防病的需要, 普遍采用含有重金属元素的饲料添加剂, 而畜禽粪便中重金属含量跟饲料中重金属含量有直接的联系。不同地区、不同种类的动物粪便其重金属含量有很大差异。Nicholson 等<sup>[10]</sup>对英国境内 183 份畜禽饲料和 85 份动物粪便样品的重金属含量进行了分析, 结果表明: 猪的不同生长期饲料中 Zn 和 Cu 浓度范围分别在 150 ~ 1920 mg/kg 和 18 ~ 217 mg/kg, 而在禽类饲料中 Zn 和 Cu 浓度范围分别在 28 ~ 4030 mg/kg 和 5 ~ 234 mg/kg。并且, 猪粪中的 Zn 和 Cu 含量高于其他粪便, 均值为 500 mg/kg 和 360 mg/kg。Cang 等<sup>[11]</sup>对江苏省 10 个地区 31 个大型养殖场的饲料和畜禽粪便中 14 种金属元素含量进行了调查, 发现以 Cu、Zn 污染最为严重, 其中 15% 饲料样品和 30% 畜禽粪样品 Cu 含量超过 100 mg/kg, 50% 饲料样品和 95% 畜禽粪样品 Zn 含量超过 100 mg/kg。

畜禽粪便是商品有机肥料的主要原料, 畜禽粪便中重金属含量增加, 势必影响商品有机肥的质量。刘荣乐等<sup>[12]</sup>研究发现以鸡粪为原料生产的有机肥中 Zn 含量较高, 以猪粪为原料生产的有机肥中 Zn、Cu 含量较高, 这可能与饲料添加剂的种类有关。

## 2 畜禽粪肥农用对土-水-生物系统的影响

### 2.1 畜禽粪肥中重金属在土-水-生物系统中的分配运移

土壤: 畜禽粪由于含有丰富的有机质、N、P、K 等养分而作为一种优良的土壤改良剂被长期施用于农

①基金项目: 中国科学院知识创新方向性项目 (KZCX3-SW-435) 和江苏省前期预研项目 (BK2004219) 资助。

\* 通讯作者 (dmzhou@issas.ac.cn)

作者简介: 郝秀珍 (1977—) 女, 山东寿光人, 助理研究员, 主要研究方向为重金属的土壤环境化学与污染控制。E-mail: xzhao@issas.ac.cn

田。张庆利等<sup>[13]</sup>研究发现南京城郊菜地有效 Cu 主要与有机肥施用关系密切, 有机肥施用量越大, 土壤中有效 Cu 含量越高。而对于不同的土壤, 含重金属的畜禽粪施用后其影响也会不同。如每年以小麦-水稻轮作方式种植, 长期施用高 Zn 猪粪 (以施用量最低 10 g/盆计), 根据土壤 pH 的不同, 则土壤中 Zn 含量在 12~28 年间可能超过国家土壤环境质量的二级标准, 且 pH 值愈低, 情况愈严重<sup>[14]</sup>。因此酸性土壤中施用畜禽粪肥时尤其要密切关注其中的重金属含量。Han 等<sup>[15]</sup>研究了经过 25 年禽粪废弃物改良的土壤, 已经观察到 Zn 在改良的土壤剖面中发生迁移。

水体: 由于资金短缺, 几乎所有的畜禽养殖场在建场时均未能投资建设畜禽粪便处理设施, 致使畜禽污水未经处理任意流失, 污染附近河流。近几年来, 畜禽粪便流失污染地表水环境的现象已成为长江三角洲地区最引人注目的非点源污染问题之一<sup>[16]</sup>。更为严重的是, Jackson 和 Miller<sup>[17]</sup>研究发现, 禽粪废弃物中有 72% 的 As 可以用水提取出来。del Castillo 等<sup>[18]</sup>在用牛粪改良的酸性土壤中, 发现可溶性 Cu 含量跟 DOC 浓度显著相关, 并且还发现有相当数量的可溶性 Cu 跟高分子量化合物结合在一起。在养殖过程中 Cu 和 Zn 是以硫酸盐或者氧化物形式加入到动物饲料中的, 但是在禽粪废弃物淋出液中可溶性有机 C 浓度非常高, Cu 和 Zn 两种元素就可以形成较稳定的可溶性金属有机复合物。这种金属有机复合物可能是影响 Cu 和 Zn 移动性的非常重要的形态, 重金属 As 也有类似的结果<sup>[19]</sup>。

生物: 畜禽粪便还可以作为鱼类的添加饲料, 其所含有重金属同样对动物组织造成影响。Wong 等<sup>[20]</sup>以猪粪和鸡粪作为罗非鱼的添加饲料, 发现鱼组织 (腮、内脏和肉) 中 Mn、Fe、Cu 和 Pb 含量跟猪粪和鸡粪添加量有关, 且观察到鱼蛋白含量显著降低。养殖鲤鱼时同样发现鱼肉中有 Pb、Cu、Zn 和 Mn 的积累。这表明用猪粪和鸡粪作为饲料时, 需要做前处理, 去除有毒物质后方能应用<sup>[21]</sup>。

长期施用含 Cu 量高的粪便于牧地后, 牧草含 Cu 量升高, 而牛、羊对过量的 Cu 很敏感, 容易引起 Cu 中毒<sup>[22]</sup>。Wong<sup>[23]</sup>研究了猪粪和马粪堆肥对金合欢树苗生长情况的影响, 施入猪粪和马粪堆肥后土壤 pH 和重金属浓度都增加, 但是植株中重金属浓度并没有相应增加。这可能与树苗生物量大, 并且对重金属吸收转移的效率低有关。而含重金属的畜禽粪的施用对于蔬菜重金属吸收的影响就比较明显。Zhou 等<sup>[24]</sup>研究了土壤用含有不同重金属 Zn 和 Cu 的猪粪和鸡粪处理后对萝卜和青菜生长期吸收 Zn、Cu 的影响。研究发

现青菜和萝卜植株中 Zn 和 Cu 含量随着畜禽粪中 Zn 和 Cu 含量的增加而增加, 并且猪粪 Zn 最高处理时萝卜地上部 Zn 含量为 28.7 mg/kg (鲜重计), 超过了我国食品卫生标准 (20 mg/kg)。

## 2.2 畜禽粪肥施用后对土壤重金属行为的影响

除了土壤本身含有的水溶性有机质 (DOM) 外, 从外部进入土壤的 DOM 对重金属吸附、解吸行为也有明显影响。畜禽粪本身的组分与土壤或水溶液的外源重金属同样发生吸附或络合作用, 影响其迁移分配。Miller 等人<sup>[25]</sup>的试验证实, 新鲜有机物的浸提液具有络合 Zn 的能力, 3 种有机物浸提液络合 Zn 的能力分别为: 苜蓿 > 厩肥 > 畜粪。新鲜有机物的络合能力较强, 有机物经腐熟分解后, 其浸提液所具有的络合能力就明显下降。此外, 溶液的 pH 值对浸提液的络合能力也有显著影响。在 pH 2~7 之间, 随着 pH 值升高, 络合能力逐渐增强; 但当 pH > 8 后, 其络合能力又有所下降。畜禽粪本身对水溶液中的重金属离子同样也有很好的吸附效果, 如 Kandah<sup>[26]</sup>研究表明, 以羊粪废弃物作为水溶液中 Zn<sup>2+</sup> 的吸附材料, 效果良好; 当水溶液 pH 为 4 和 Zn<sup>2+</sup> 的初始浓度为 100 mg/kg 时, 10 g/L 羊粪废弃物对 Zn<sup>2+</sup> 的去除率达到 93.3%。这些畜禽粪的浸提液中含有高含量的 DOM, 有利于重金属的吸附<sup>[27]</sup>。

虽然畜禽粪浸提液对外源重金属有很强的吸附能力, 却也促进了植物的吸收。Rupa<sup>[28]</sup>等研究发现小麦对外源 Zn 的利用效率非常低, 仅为 0.58%~2.38%, 但是农家肥的加入显著增加了小麦对外源 Zn 的吸收利用率。孙波等<sup>[29]</sup>研究施用猪粪后显著增加了土壤生物有效性 Cd 的含量, 红薯根系中重金属含量与土壤生物有效性重金属含量之间显著相关。

## 3 堆肥过程中重金属的迁移分配情况

有机肥在施入土壤之前一般需进行堆腐处理, 形成相对稳定的产品。这样不但减少了体积和重量, 还可避免由于未腐熟而产生的对植物或微生物有害的中间产物, 如酚类化合物、氨以及各种有机酸等<sup>[30]</sup>。在堆腐过程中畜禽粪肥中的重金属含量以及在各形态中的分配会发生很大变化。

Hsu 等<sup>[31]</sup>研究猪粪历时 122 天的堆腐过程, 发现由于有机质的分解, Cu 和 Zn 总量在腐熟后增加了 2.7 倍。通过分级连续提取发现, 堆腐过程中 Cu 和 Zn 的主要存在形态分别为有机结合态和有机络合态。一般来说, 重金属在不同组分中的分配比例跟堆腐时间和各自在堆肥中的含量无关。黄国锋等<sup>[32]</sup>运用 DTPA 浸提、化学分级提取、透析及 G-75 凝胶色谱分离等方法,

研究不同堆肥工艺及不同原料对猪粪混合堆肥过程中重金属化学形态的影响及其机理。结果表明, Cu 更易与高分子腐殖质组分结合, 而且结合较紧密; Zn 更易与高分子腐殖质组分结合, 但结合不紧密, 这与污泥堆腐过程中 Cu 和 Zn 在各组分中的分配变化相一致<sup>[33]</sup>。猪粪与锯末的混合物在腐熟的过程中, 水提取态重金属浓度随着腐殖物质的增加而显著降低<sup>[30]</sup>。

为了评估露天堆放的畜禽堆肥中各种元素的潜在淋溶能力, 以及可能对地表水和地下水造成的威胁, Ihnat 等<sup>[34]</sup>以水和 1 mol/L 硝酸作为提取剂来代表实际田间条件下可能遇到的极限 pH 值。研究发现, 经过堆腐过程水提取态 Zn 以及酸提取态 Cu 含量均有降低的趋势, 而酸提取态 Zn 含量则有增加的趋势。

种子发芽和根伸长试验作为一种简单、快速、可靠的技术可以用来评价堆肥产品的毒性大小。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度被认为是影响种子发芽的重要化学因子, 但是在白菜根伸长试验中, 根长的增加与水提取态 Cu<sup>2+</sup> 浓度的降低之间的相关系数高于其与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的降低之间的相关系数, 因此认为 Cu<sup>2+</sup> 浓度是影响白菜根长的最重要的影响因素<sup>[35]</sup>。

#### 4 控制畜禽粪肥重金属含量的措施

微量元素不但对作物和牲畜的产量和品质有影响, 而且还可能削弱或破坏参与土壤养分循环的微生物的功能<sup>[34]</sup>。因此需要采取积极有效的措施来减少畜禽粪肥中的重金属浓度或降低重金属的有效性。

##### 4.1 从源头着手, 加强管理和监督

某些微量元素如 Cu 和 Zn 是畜禽生长、繁育所必需的微量元素。但是受经济利益驱动, 个别饲料生产企业或个人不按规定, 往往加入过量的添加剂。因此需要建设饲料安全保障体系, 加强饲料生产和安全监管, 完善饲料卫生标准和检测标准, 依法开展饲料质量检测监督, 坚决查处在饲料产品中使用违禁药品和滥制乱用饲料添加剂的行为。同时积极开展优质环保型配合饲料生产及质量保证关键技术研究, 从动物营养配方方面考虑如何减少环境污染, 研究对环境有益的动物食粮配方<sup>[8]</sup>。

##### 4.2 堆肥过程降低重金属活性含量

堆肥是一个腐殖化过程。堆肥化是在微生物的参与下把有机物降解、转化成腐殖质的生物化学处理过程, 是实现畜禽粪便无害化、安全化的有效手段。研究表明, 堆肥后, 固体废物中重金属的活性被钝化, 生物有效性显著降低<sup>[36-37]</sup>。黄国锋等<sup>[32]</sup>研究了经添加物料处理后, 猪粪堆肥中 Cu、Zn、Ni、Cd、Cr 及 Pb 的浓度均比开始时有所增加, 这是由于水分散失, CO<sub>2</sub>

及挥发性物质挥发损失, 以及堆体变小引起堆料中重金属浓缩所致。但是加入树叶或采用强制通风结合翻堆的通风方式有助于降低猪粪堆肥的重金属活性。

##### 4.3 添加钝化剂或生物处理

人们正试图在堆肥中添加各种生物、化学调理剂来控制堆肥过程, 减少 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的挥发, 达到缩短堆肥时间、控制恶臭产生和减少 N 损失的目的, 常用的一些吸附性的调理剂有: 膨润土<sup>[38]</sup>、草炭、沸石、过磷酸钙<sup>[39]</sup>。但是这些调理剂的加入对畜禽粪中重金属形态及有效性影响的研究有待加强。吴健桦等<sup>[40]</sup>对经家蝇幼虫生态处理后的猪粪肥料养分和微量元素含量变化进行了研究。结果表明, 利用蝇蛆对猪粪进行生态处理, 不但臭味明显减少, 而且粪质疏松, 猪粪物理性状好, 全 P、全 K 和速效 P 含量显著增高, Cu 和 Zn 的含量无显著性变化, 而 Fe 和 Mn 的含量却明显增加, 其机制及意义有待进一步研究。

#### 5 研究展望

早期的很多研究均表明畜禽粪肥的农用效果好, 甚至优于污泥, 作物产量高、成熟早。但随着社会的发展, 集约化养殖导致畜禽粪肥中重金属含量的升高以及粪肥施用量的增加, 其对土壤-水-生物系统造成的潜在环境风险日益突出。

(1) 畜禽粪肥本身含有丰富的有机物质, 根据来源不同其组分差异较大, 使得有机质、重金属有效性以及生物吸收之间的关系非常复杂, 导致各研究结果间会出现不一致的结论。因此需要引入新的分析技术针对深层次的机理问题进行深入的研究。同时, 迄今的许多研究结果都是在实验室内或盆栽试验条件下获得的, 但畜禽粪肥农用在城郊结合带或者蔬菜大棚内是大面积且广泛存在的, 因此需要通过田间试验进一步探讨和长期跟踪研究重金属的环境行为, 这对于充分了解和评价畜禽粪肥的安全施用, 发展无公害食品至关重要。

(2) 堆肥过程方面需要加强堆肥添加剂的研究, 开发出性能良好、可操作性强的添加剂, 从而使得畜禽粪肥含有的重金属有效性在堆肥过程中加以控制, 降低其进入土壤后对环境造成的风险。同时, 针对目前商品有机肥是直接以畜禽粪肥为原料生产的, 而我国对商品有机肥中重金属的限量没有标准, 因此今后需要加强环境立法, 制订科学合理的标准。

(3) 对于已经施入农田的畜禽粪肥, 为了减少其带入的重金属进入食物链, 需要加强采取不同的改良物质、选择作物品种以及调整种植制度等农艺措施对规避重金属风险的效果进行研究。

## 参考文献：

- [1] 李芳柏, 钟继洪, 谭军. 广东集约化养猪业的环境影响及其防治对策. 土壤与环境, 1999, 8(4): 245-249
- [2] 中国环境保护总局. 中国环境状况公报, 2000
- [3] 沈玉英. 畜禽粪便污染及加快资源化利用探讨. 土壤, 2004, 36(2): 164-167
- [4] 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 刘杰. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 456-460
- [5] Bhatti AU, Khan Q, Gurmani AH, Khan MJ. Effect of organic manure and chemical amendments on soil properties and crop yield on a salt affected entisol. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 46-51
- [6] McConnell DD, Shiralipour A, Smith WH. Compost application improve soil properties. *Bio. Cycle.*, 1993, 34: 61-63
- [7] Tam NFY, Wong YS. Spent litter as fertilizer for growing vegetables. *Bioresource Technol.*, 1995, 53: 151-155
- [8] 徐伟朴, 陈同斌, 刘俊良, 何延青. 规模化畜禽养殖对环境的污染及防治策略. 环境科学, 2004, 25(增刊): 105-108
- [9] 陈怀满等著. 土壤-植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996: 8
- [10] Nicholson FA, Chambers BJ, Williams JR, Unwin RJ. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technol.*, 1999, 70: 23-31
- [11] Cang L, Wang YJ, Zhou DM, Dong YH. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *J. Environ. Sci.*, 2004, 16(3): 371-374
- [12] 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 王敏. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况分析. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 392-397
- [13] 张庆利, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰, Blombaek K, Oboern I. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究. 土壤, 2005, 37(1): 41-47
- [14] 杨定清, 傅绍清. 施用高锌猪粪对土壤环境污染的影响. 四川环境, 2000 (2): 30-34
- [15] Han FX, Kingery WL, Selim HM, Gerard PD. Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. *Soil Science.*, 2000, 165(3): 260-268
- [16] 陈振楼, 许世远, 徐启新, 胡雪峰, 俞立中. 长江三角洲地表水环境污染规律及调控对策. 长江流域环境, 2001 (4): 353-359
- [17] Jackson BP, Miller WP. Soluble arsenic and selenium species in fly ash/organic waste amended soils using ion chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Environ. Sci. Technol.*, 1999, 33: 270-275
- [18] Del Castilho P, Chardon WJ, Salomons W. Influence of cattle manure slurry application on the solubility of cadmium, copper and zinc in a manured acidic, loamy-sand soil. *J. Environ. Qual.*, 1993, 32: 689-697
- [19] Jackson BP, Bertsch PM, Carera ML, Camberato JJ, Seaman JC, Wood CW. Trace element speciation in poultry litter. *J. Environ. Qual.*, 2003, 32: 535-540
- [20] Wong MH, Chan KM, Liu WK. Trace metal concentrations in tilapia fed with pig and chicken manure. *Conservation Recycling*, 1984, 7(2/4): 351-360
- [21] Wong MH, Cheung YH, Lau WM. Toxic effects of animal manures and sewage sludge as supplementary feeds for the common carp, *Cyprinus carpio*. *Toxicology Letters.*, 1982, 12(1): 65-73
- [22] 乔伟, 王之盛, 宾石玉. 高铜在养猪生产中应用的利弊. 当代畜牧, 2004 (1): 37-39
- [23] Wong MH. Effects of animal manure composts on tree (*Acacia confusa*) seedling growth. *Agricultural Wastes*, 1985, 13(4): 261-272
- [24] Zhou DM, Hao XZ, Wang YJ, Dong YH, Cang L. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere*, 2005, 59: 167-175
- [25] Miller MH, et al. Characterization of chelating agents and their reaction with trace metals in soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 1958, 22: 225
- [26] Kandah M. Zinc adsorption from aqueous solutions using disposal sheep manure waste. *Chemical Engineering Journal*, 2001, 84: 543-549
- [27] 陈同斌, 黄泽春, 陈煌. 废弃物中水溶性有机质对土壤吸附Cd的影响及其机制. 环境科学学报, 2002, 22(2): 150-155
- [28] Rupa TR, Srinivasa Rao Ch, Subba Rao A, Singh M. Effect of farmyard manure and phosphorus on zinc transformation and phytoavailability in two alfisols of India. *Bioresource Technol.*, 2003, 87: 279-288
- [29] 孙波, 孙华, 张桃林. 红壤重金属复合污染修复的生态环境效应与评价指标. 环境科学, 2004, 25(2): 104-110
- [30] Tiquia SM, Tam NY, Hodgkiss IJ. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environ. Pollu.*, 1996, 93: 249-256
- [31] Hsu JH, Lo SL. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environ. Pollu.*, 2001, 114: 119-127
- [32] 黄国锋, 张振佃, 钟流举, 吴启堂, 黄焕忠. 重金属在猪粪堆肥过程中的化学变化. 中国环境科学, 2004, 24(1): 94-99
- [33] 张雪英, 周顺桂, 周立祥, 黄焕忠, 吴启堂. 堆肥处理对污泥腐殖物质形态及其重金属分配的影响. 生态学杂志, 2004, 23(1): 30-33
- [34] Ihnat M, Fernandes L. Trace elemental characterization of composted poultry manure. *Bioresource Technol.*, 1996, 57:

- 143-156
- [35] Tiquia SM, Tam NY. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technol.*, 1998, 65: 43-49
- [36] 李国学, 孟凡乔, 姜华, 史雅娟. 添加钝化剂对污泥堆肥处理中重金属 (Cu, Zn, Mn) 形态影响. *中国农业大学学报*, 2000, 5(1): 105-110
- [37] 郑国砥, 陈同斌, 高定, 罗维, 李艳霞. 好氧高温堆肥处理对猪粪中重金属形态的影响. *中国环境科学*, 2005, 25(1): 6-9
- [38] 李吉进, 郝晋珉, 邹国元, 张有山, 王美菊. 添加剂在猪粪堆肥过程中的作用研究. *土壤通报*, 2004, 35 (4): 483-486
- [39] 黄懿梅, 曲东, 李国学. 调理剂在鸡粪锯末堆肥中的保氮效果. *环境科学*, 2003, 24 (2): 156-160
- [40] 吴健桦, 徐大刚, 杨鹤萍, 薛纯良. 猪粪经家蝇幼虫生态处理后肥料养分和微量元素含量变化的研究. *农业环境科学学报*, 2004, 23 (1): 119-121

## A Review: Environmental Behaviors of Heavy Metals in Livestock and Poultry Manures

HAO Xiu-zhen<sup>1,2</sup>, ZHOU Dong-mei<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;*

*2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Serious environmental problems caused by livestock and poultry manures are arousing increasing concern because large amounts of additives are added in forage during intensive animal farming. A review was presented addressing status quo of heavy metal contamination of livestock and poultry manures, effects of their application as manure in farming on the soil-water and biology system, heavy metal migration and distribution in composting of the manures, and measures to control heavy metal contamination.

**Key words:** Manures, Heavy metals, Soil