

长期施用有机肥对棕壤中主要重金属积累的影响

刘赫, 李双异*, 汪景宽

沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866

摘要: 以沈阳农业大学棕壤长期定位试验地为研究对象, 分别选取不同年限CK、M₂、M₄、N₄P₂、M₄+N₄P₂等10个处理的0~20 cm土壤, 测定土壤中Cu、Zn、Pb和Cd等重金属的含量。结果表明: 随着年限的增长, 土壤中Cu、Zn、Pb和Cd的含量均呈现增加的趋势, 以施用有机肥M₄和M₂及有机肥化肥配施M₄+N₄P₂对土壤中重金属Cu、Zn、Pb和Cd含量影响最为明显, 而在无肥对照CK和单施化肥N₄P₂处理下四种元素均有少量增加; 几种重金属元素增长的相对大小为: Cd>Cu>Zn>Pb, 其中目前Cu含量还未达到国家二级环境质量标准, Cd含量超标应引起足够重视。几种元素的相关分析表明, Cu、Zn之间具有极显著相关性, 表明它们的来源具有一定的相关性。

关键词: 有机肥; 重金属; 棕壤; 玉米

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2177-06

棕壤是暖温带落叶阔叶林和针阔混交林下形成的土壤, 是我国辽东半岛和山东半岛主要的旱地土壤。目前许多学者普遍关注于如何提高棕壤肥力和增加作物产量, 大量研究表明有机肥具有增加土壤养分、增强土壤微生物活性及降低污染土壤重金属毒性和改善作物品质等作用^[1-3], 然而大量施用有机肥可能加剧土壤中重金属的积累, 对作物、人畜带来潜在的危害。本实验以长期地膜覆盖及不同施肥处理的棕壤为研究对象, 分析了长期施用有机肥条件下, 土壤中重金属Cu、Zn、Pb和Cd含量变化情况, 并对四种金属含量积累情况进行了预测, 旨在准确掌握几种重金属在该施肥和管理条件下其含量随时间的积累状况, 为合理施肥及防止重金属污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土壤样品采于沈阳农业大学棕壤长期定位实验站(N 41°49', E 123°34'), 土壤为发育在黄土性母质上的壤质棕壤, 试验前土壤有机质含量 15.6 g·kg⁻¹, 全氮 1.0 g·kg⁻¹, 全磷 0.5 g·kg⁻¹, 碱解氮 67.4 mg·kg⁻¹, 有效磷 8.4 mg·kg⁻¹。施用的有机肥为猪厩肥, 其有机质含量为 150 g·kg⁻¹左右, 全氮为 10 g·kg⁻¹左右。

1.2 试验设计

该试验从 1987 年开始进行种植玉米(*Zea mays* L.), 每小区面积 69 m², 3次重复, 随机排列。连作玉米, 每年 4月25日左右施肥、播种, 并按常规进行田间管理, 每种种植方式选取五个

不同处理: ①无肥对照(CK); ②高量有机肥(M₄), 折合年施 N 量 270 kg·hm⁻²; ③中量有机肥(M₂), 折合年施 N 量 135 kg·hm⁻²; ④化肥(N₄P₂); ⑤高量有机肥和化肥配施 (M₄+N₄P₂), 年施有机肥 N 270 kg·hm⁻²; 化肥 N 270 kg·hm⁻², P₂O₅ 135 kg·hm⁻²。

选择 1987 年、1998 年、2000 年、2002 年、2004 年和 2006 年 0~20 cm 土层的风干土壤样品分析重金属元素含量。

1.3 测定方法

土壤及猪厩肥样品过 100 目筛, 按照中华人民共和国农业部发布的 NY/T 1613—2008 行业标准采用三酸 (HCl-HNO₃-HClO₄) 法消解, 采用电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES) 测定样品中全量 Cu、Zn、Pb、Cd, 数据分析采用 SPSS13.0 和 Excel 软件分析。其中肥料中重金属多年平均含量见表 1。

表 1 肥料中重金属含量
Table 1 Contents of heavy metals in fertilizers

肥料	w(重金属)/(mg·kg ⁻¹)			
	Cu	Zn	Pb	Cd
猪粪	918.46(±6.83)	882.18(±10.29)	1.62(±0.05)	0.33(±0.14)
尿素	10.59(±0.42)	5.26(±0.42)	0.01(±0.00)	0.03(±0.00)
磷酸二铵 (NH ₄) ₂ HPO ₄	5.42(±0.18)	93.78(±2.89)	2.81(±0.12)	0.92(±0.03)

括号内为标准差。

2 结果与分析

2.1 长期不同施肥处理对土壤 Cu、Zn、Pb、

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871142); 沈阳农业大学青年基金项目(20070225)

作者简介: 刘赫(1984年生), 男, 硕士研究生, 从事土壤肥力方面的研究。

*通讯作者: 李双异(1979年生), 男, 讲师, 从事土壤肥力方面研究与教学工作。E-mail: lishuangyi1979@163.com

收稿日期: 2009-10-12

Cd 含量影响

2.1.1 长期不同施肥处理对土壤 Cu 含量影响

Cu 是植物正常生命活动所必需的 7 种微量元素之一,参与植物生长发育过程中的多种代谢反应。含量过少时会影响植物生长,但吸收一旦超过正常量即可造成毒害,造成植株生长缓慢或停止生长,甚至死亡^[4]。

由图 1 可以看出,1987 年到 2006 年,无论何种施肥处理耕层 0~20 cm 土壤 Cu 含量均有增加的趋势,虽然某些年份有些波动,但总的趋势比较明显。不同施肥处理土壤中 Cu 含量以高量有机肥+化肥 M₄+N₄P₂ 配施最高,为 41.7 mg·kg⁻¹,比施肥前土壤增加了 21.5 mg·kg⁻¹,提高 106.5%。而单施化肥 N₄P₂ 处理对土壤 Cu 含量影响不大,20 年间增长 4.35 mg·kg⁻¹。由此可见,单施化肥 N₄P₂ 对于 Cu 的积累效果不明显,导致此现象的原因可能是施入的氮磷化肥中虽然含有一定量的 Cu 但同时每年植物也从土壤中带走一部分 Cu,二者含量相抵不会对 Cu 含量产生明显积累。而土壤本身的特性对于 Cu 含量的调节也至关重要。也有学者认为单施氮、磷化肥会使土壤全铜含量明显增加^[5],而本实验表明施用有机肥尤其是畜禽粪肥对于 Cu 的积累影响更为显著,高量有机肥 M₄ 处理和 中量有机肥 M₂ 处理分别比试验基础值增加了 21.2 mg·kg⁻¹ 和 17.6 mg·kg⁻¹。各施肥处理土壤 Cu 含量都高于无肥处理 CK。其原因是近年来人们所施用的有机肥与传统的有机肥肥源相比有了较大差异,当前有机肥肥源大多来源于集约化的养殖场,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^[6]。Komgeya 等(1976)研究发现,添加到饲料中的铜有超过 90% 将会在畜禽粪便中排出。因此有机肥中 Cu 含量较高(表 1),导致多年施用有机肥后土壤中 Cu 的积累。

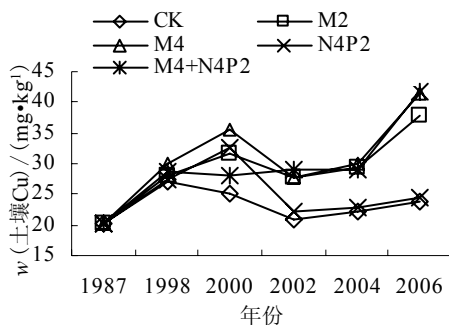


图 1 不同施肥处理及年份土壤 Cu 含量的变化

Fig.1 Changes of Cu content in different treatments with years

2.1.2 长期不同施肥处理对土壤 Zn 含量影响

Zn 是植物必需的营养元素,也是人体所必需的生命元素^[7],但同时也是重金属元素,过量的 Zn 会使植物中毒从而阻碍作物的生长和影响作物的品质。

由图 2 可以看出,长期不同施肥处理 0~20 cm 土壤中 Zn 的含量都呈现出增长的趋势,其中以有机肥+化肥 M₄+N₄P₂ 处理增长最为明显,经过 20 年的积累比试验基础土壤增长 58.49 mg·kg⁻¹,增加 101%。而单施化肥 N₄P₂ 处理对土壤中 Zn 含量的增长作用不明显,含量为 74.78 mg·kg⁻¹,仅比基础土壤增加 28.9%。这一结果同样说明畜禽粪便已成为土壤中 Zn 的重要来源,Nicholson 研究发现其对土壤 Zn 积累的年贡献率为 8~17%。高量有机肥 M₄ 和中量有机肥 M₂ 处理土壤分别比基础土壤增加了 67.6%和 56.8%。高于化肥单施 N₄P₂ 和无肥 CK,各施肥处理土壤 Zn 的增长量大小顺序为高量有机肥+化肥 M₄+N₄P₂>高量有机肥 M₄>中量有机肥 M₂>化肥 N₄P₂>无肥 CK。

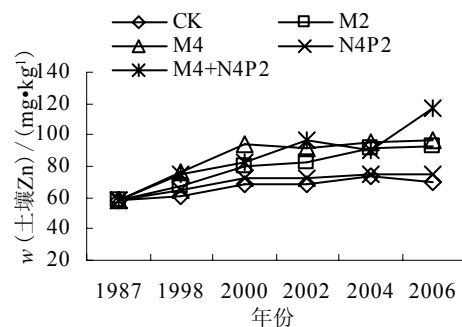


图 2 不同施肥处理及年份土壤 Zn 含量变化

Fig.2 Changes of Zn content in different treatments with years

2.1.3 长期不同施肥处理对土壤 Pb 含量影响

Pb 是危害植物生长的有毒元素^[8],其对植物种子的发芽率和呼吸强度有一定的影响,同时铅对幼苗生长也有明显的抑制作用。

图 3 表明,长期不同施肥条件下各处理 0~20 cm 土壤中 Pb 的含量除 N₄P₂ 处理基本一致外,其余处理土壤 Pb 含量均有一定程度的增加,但增加幅度不是很大。其中以高量有机肥 M₄ 处理增加量最高,为 52.7%;中量有机肥 M₂ 处理增加量次之,为 36.7%。各施肥处理土壤 Pb 含量增加量大小顺序为高量有机肥 M₄>中量有机肥 M₂>化肥 N₄P₂>高量有机肥+化肥 M₄+N₄P₂>无肥 CK。其中无肥 CK 处理土壤 Pb 含量较基础土壤增长了 7.17 mg·kg⁻¹,而施有机肥 M₂、M₄、M₄+N₄P₂ 三处理平均增长 9.66 mg·kg⁻¹,经显著性检验得无肥处理与施有机肥处理之间含量差异不显著,这说

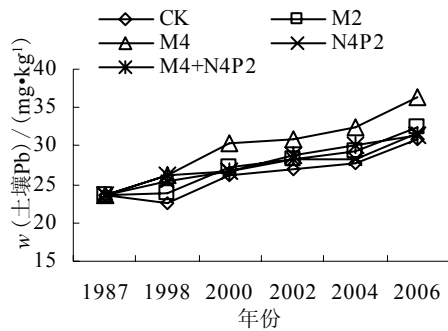


图3 不同施肥处理土壤 Pb 含量变化

Fig.3 Changes of Pb contents in different treatments with year

明 20 年来施有机肥并没有对土壤 Pb 的含量产生较大影响, Pb 不仅仅来源于人为施肥, 还很可能来自外界条件, 比如说可能与大气沉降、地下水的污染、灌溉有关, 而本研究区远离工业污染区地下水污染不太可能, 又不增添人为灌溉, 所以干湿沉降是影响试验区 Pb 含量的主要因素。

2.1.4 长期不同施肥处理对玉米土壤 Cd 含量影响

由图 4 可以看出各施肥处理土壤中 Cd 的含量在不同年限上都表现出增加的趋势, 但在 2006 年以前都是以施高量有机肥 M₄ 增加最多, 2006 年则是以施高量有机肥+化肥 M₄+N₄P₂ 增长最为显著, 20 年来增长了 1.23 mg·kg⁻¹, 增加 102%。分别是单施化肥 N₄P₂ 处理和无肥 CK 处理增加值的 2.15 倍和 1.46 倍, 是中量有机肥 M₂ 处理的 1.25 倍。通过不同年份无肥 CK 处理和单施化肥 N₄P₂ 处理比较得出, 除 2002 年单施化肥 N₄P₂>无肥 CK 外, 且两者之间差异不显著, 其余各年份均为无肥 CK>单施化肥 N₄P₂ 处理。虽然相关研究表明施入含 P 化肥可以增加土壤中 Cd 含量, 这主要是因为其所施磷肥中主要为过磷酸钙, 在其生产过程中含有较多的杂质, 其中含有很高的重金属元素, 尤其是磷矿石中镉含量较高, 但是本实验所施化肥为尿素和五氧化二磷, 其本身较为纯净, 所含杂质较少, 所以从 Cd 含量来看并没

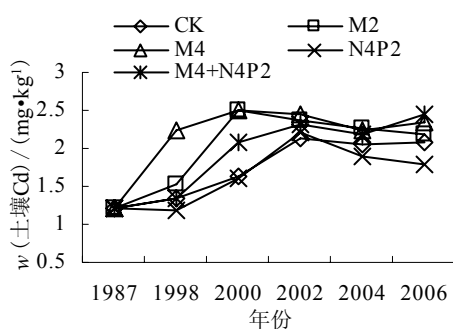


图4 不同施肥处理土壤 Cd 含量变化

Fig.4 Changes of Cd content in different treatments with years

有明显增加, 再者也与植物的吸收和土壤本身的调节有很大关系, 王开峰等^[8]研究也认为化肥配施程度对重金属全量的影响不明显。

2.2 20 年不同施肥条件下重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 在土壤中的积累

国内外许多研究观点认为, 不同类型土壤中微量元素和重金属的含量主要与该类型土壤相关的成土过程、成土母质及不同岩石和矿物抗风化作用有关, 但农田土壤由于存在人为因素, 大量施用化肥和有机肥使得土壤中微量元素和重金属含量存在一定的变化。由表 2 可以看出四种重金属在土壤中呈现的积累趋势很明显, 对 20 年后土壤中重金属的测定结果显示, 20 年间土壤中四种元素平均增长百分含量大小分别为 Cd>Cu>Zn>Pb, 其增长的百分含量平均值分别为 79.1%、67.9%、55.2%、37.3%。

对 Cu 在不同施肥处理下做方差分析结果显示, Cu 含量在 CK 和 N₄P₂ 处理、M₄ 和 M₄+N₄P₂ 处理差异不显著, 而 M₄、M₂ 和 M₄+N₄P₂ 处理土壤中 Cu 含量要显著高于 CK 和 N₄P₂ 处理, 其年平均增长量分别为 1.11 mg·kg⁻¹、0.92 mg·kg⁻¹、1.13 mg·kg⁻¹, 可见施肥对于土壤中 Cu 含量有很大影响, 但根据国家环境质量标准规定可知经过 20 年的施肥处理土壤中 Cu 含量仍然在环境质量二级标准以下^[9]。依据现有施肥水平来看, 土壤中 Cu 将在未来 52 年后达到污染水平, 因此应对施用有机肥处理尤其是对施用猪粪肥料加大重视, 从畜禽饲料上着手解决土壤污染问题。

各处理间锌的含量变化差异显著, 其变化范围在 70.17~116.48 mg·kg⁻¹ 之间, 其中 M₄、M₂、M₄+N₄P₂ 三个处理 Zn 含量远远高于 CK 处理, 分别高出 37.6%、31.4%和 66.0%。年均增长量分别为: 2.03、1.80 和 3.08 mg·kg⁻¹, 测定结果显示除 M₄+N₄P₂ 处理外其他各处理土壤中 Zn 含量都小于 100 mg·kg⁻¹, 在土壤环境质量标准一级以下, 但 M₄、M₂ 和 M₄+N₄P₂ 三个处理年增长量却不容忽视, 以现有增长趋势预测施有机肥各处理土壤中 Zn 含量将分别在 75 年、87 年、43 年后达到污染水平。其增长原因是目前在畜牧业生产中, 由于一些微量元素如 Cu、Zn、Fe 等不仅能作为畜禽的重要养分, 而且能防治畜禽的一些疾病、提高饲料的效率、促进畜禽生长和提高禽蛋产量等, 所以被广泛应用于饲料添加剂中, 这一现象应引起广泛关注。

M₄+N₄P₂、M₂ 和 N₄P₂ 处理中, 土壤 Pb 含量分别为 31.49 mg·kg⁻¹、32.42 mg·kg⁻¹ 和 31.77 mg·kg⁻¹, 经显著性检验可知三者之间并没有显著

性差异。其中 M_4 处理 Pb 含量略高于其他四个处理为 $36.23 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由此可见施肥可以影响 Pb 的含量,但并不是说施肥 Pb 含量一定升高。各处理间所表现出的波动情况可能还与其他因素有关,比如大气沉降、地下水污染等。这也与国内相关学者研究结论一致。

不同施肥处理土壤中 Cd 含量变化范围在 $1.79 \sim 2.44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, M_4 、 $M_4+N_4P_2$ 、 M_2 、 N_4P_2 处理之间除 N_4P_2 处理显著差异外,其他处理均差异不显著, M_4 、 $M_4+N_4P_2$ 处理分别是 N_4P_2 处理的 1.3 和 1.36 倍,同时施用有机肥处理 M_4 和 $M_4+N_4P_2$ 分别是实验基础值的 1.9 倍和 2.1 倍。由此可见单施化肥对于土壤中 Cd 含量无较大影响,而且单施化肥处理比无肥处理 Cd 含量还要低 $0.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,这主要是因为化肥的施用使得作物的长势要好于无肥处理,从而促进了作物对 Cd 的吸收,每年从土壤中吸收的 Cd 量高于施入土壤中化肥的 Cd 量。而施用有机肥尤其是畜禽粪

肥会显著提高土壤中 Cd 含量,由于实验地 Cd 的基础值较高,加之 20 多年的积累,参照国家土壤质量标准(GB15618-1995),各处理 Cd 含量均远远大于 $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的国家三级水平属于严重污染, Cd 污染正摆在我们面前,如何做好金属 Cd 的监测与治理是相关部门要着手解决的问题。

2.3 不同施肥处理土壤中各金属元素相关性分析

由于重金属污染具有多源性、隐蔽性和潜伏性、不可逆性、长期性等特点^[12-13],所以往往被人们所忽视,但近年来随着化肥及有机肥在农田土壤中的大量使用,使得重金属污染越来越严重,逐渐受到广泛重视。化肥原料及生产流程的污染、城市垃圾的堆放和污泥的大量使用均可造成土壤和作物中的重金属积累。但因本试验区为长期定位试验地,除人为施肥以外其它人为因素干扰可能性较小,从而为我们进一步分析实验地土壤重金属来源提供了可能。

由图 5 相关关系图可以看出 Cu 和 Zn、Pb 和

表 2 20 年不同施肥处理对土壤重金属积累的影响

Table 2 Accumulation of heavy metals under different fertilization patterns in past twenty years

处理	2006 年平均质量分数/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)				1987—2006 年增加的比例/%			
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd
M_4	41.36(± 0.03)a	96.57(± 1.08)b	36.23(± 0.04)a	2.33(± 0.03)a	106.4	66.5	52.7	92.7
M_2	37.73(± 0.06)b	92.17(± 1.78)c	32.42(± 0.11)b	2.19(± 0.01)ab	87.0	58.9	36.7	81.5
N_4P_2	24.53(± 0.71)c	74.78(± 0.54)d	31.77(± 0.06)b	1.79(± 0.02)b	21.6	28.9	33.9	48.1
$M_4+N_4P_2$	41.68(± 0.28)a	116.48(± 0.33)a	31.49(± 0.09)bc	2.44(± 0.01)a	106.5	100.9	32.8	102.2
CK	23.77(± 0.10)c	70.17(± 0.78)e	30.89(± 0.02)c	2.07(± 0.04)ab	17.8	21.0	30.2	71.2
平均					67.9	55.2	37.3	79.1

同一列中无相同字母表示在 $p < 0.05$ 水平显著,相同字母表示其处理间差异不显著,括号内为标准差。

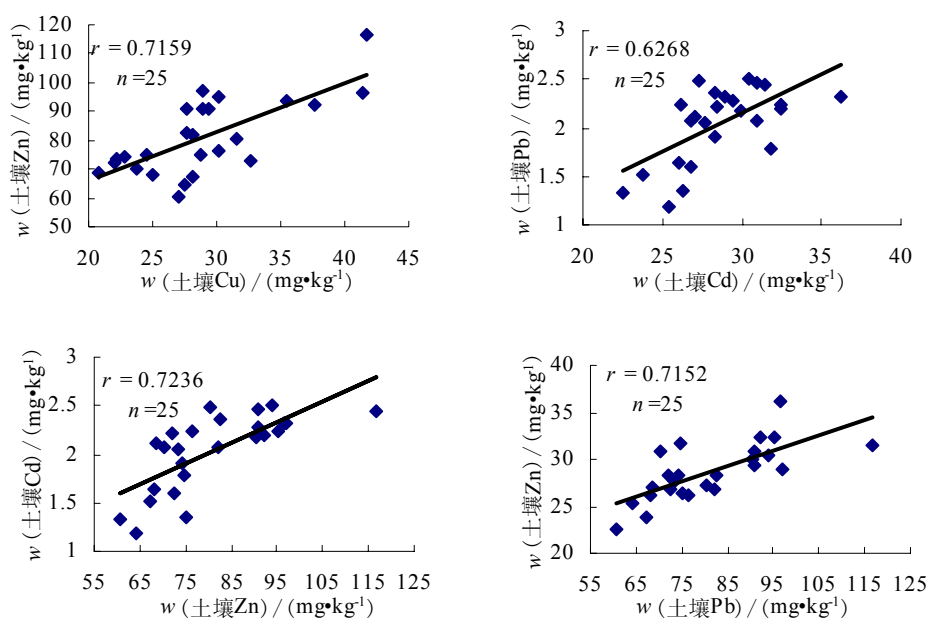


图 5 重金属元素间相关性

Fig.5 Correlation between heavy metals

Cd、Zn 和 Cd、Zn 和 Pb 均达到极显著正相关水平其相关系数分别为 0.715 9、0.626 8、0.723 6、0.715 2, 由此说明各重金属元素来源可能相同或相关, 不同施肥处理对于四种重金属的影响具有潜在的一致性, 土壤中 Zn 的累积与施用有机肥密不可分, 而 Zn 和 Cd、Zn 和 Pb 极显著相关说明, 施用有机肥同样对于土壤中 Cd 和 Pb 起着一定的作用, 这也与许多学者研究结果相似, 即有机肥的施用与土壤中重金属的积累关系密切。长期大量施用重金属含量高的禽畜粪便及各种厩肥, 将会造成重金属等有害物质在土壤中累积, 对施用的有机肥(猪粪)、化肥(尿素和二胺)进行测定结果如表 1 所示, 由表 1 可见猪粪中 Cu 和 Zn 含量要显著高于尿素和二胺, 而 Pb 和 Cd 含量则是二胺中含量最高, 尿素最低仅为 0.01 和 0.03 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 结果进一步验证了施用有机肥能显著提高土壤中 Cu 和 Zn 含量, 这也与目前的饲料添加剂中常含有高含量的 Cu 和 Zn^[14]有关, 虽然有机肥中 Pb 含量较低但由于 Pb 性质稳定不易分解迁移性较弱, 长期施入土壤会在土壤中产生富集, 对人类造成潜在威胁。而 Cd 在本试验区的超标除与试验地本身基础值较高有关外, 还多少受人为施入二胺的影响, 从对肥料的测定结果上看长期施肥对 Cd 含量影响应该为施化肥增长最为明显, 但情况并非如此仍然是施用有机肥增长明显, 具体原因有待进一步研究。

3 结论

(1) 经过 20 年来不同施肥处理, 土壤中重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 含量均呈增长趋势, 不同施肥处理对于土壤中重金属含量影响存在差异, 其中以有机肥作用最为明显, CK 含量增长可能是由于土壤本身的特性有关。20 年来各施肥处理条件下土壤中 Cu 含量均在二级标准以下。Zn 除 $\text{M}_4+\text{N}_4\text{P}_2$ 处理以外均在土壤环境一级标准以下。但 Cu、Zn 的增长趋势不容忽视, 应引起广泛关注。Cd 由于试验基础值较高, 实验地土壤 Cd 含量严重超标。

(2) 重金属间作相关性研究得出 Cu 和 Zn、Pb 和 Cd、Zn 和 Pb、Zn 和 Cd 呈极显著正相关, 更进一步说明施有机肥会增加土壤中重金属含量, 目前我国使用的有机肥与以前相比变化较大, 饲料添加剂的大量使用使得畜禽粪便中重金属含量显著提高, 长期施用将会对土壤产生污染, 从而影响粮食安全, 加之随着化学肥料的广泛使用, 污染的趋势进一步加强, 可能提前到达预测的污染时间, 为此相关部门应敲响警钟, 加强其生产管理, 从源头杜绝污染。

参考文献:

- [1] CLARK M S, HORWATH W R, et al. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low input farming practices[J]. *Agronomy Journal*, 1998, 90 (5): 662-671.
- [2] CARPENTER BOGGS L, KENNEDY A C, et al. Reganold organic and biodynamic management effects on soil biology[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64 (5): 1651-1659.
- [3] BOLAN N S, ADRIANO D C, et al. Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(1): 120-128.
- [4] 祝沛平. 铜在植物生长发育中的作用[J]. *生物学通报*, 2000, 35(10): 7.
ZHU Peiping. The role of the copper in plant growth and development[J]. *Bulletin of Biology*. 2000, 35(10): 7.
- [5] DARUSMAN, STONE L R, WHITNEY K A. Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(4): 1097-1100.
- [6] 郝秀珍, 周东美. 畜禽粪中重金属环境行为研究进展[J]. *土壤*, 2007, 39(4): 509-513.
HAO Xiuzhen, ZHOU Dongmei. A Review: Environmental Behaviors of Heavy Metals in Livestock and Poultry Manures[J]. *Soil*, 2007, 39(4): 509-513.
- [7] 刘福来. 土壤-植物体系中锌的研究概况[J]. *土壤肥料*, 1998(5): 10-14.
LIU Fulai. The Research Survey of Zinc in Soil-Plant System[J]. *Soil and Fertilizer*, 1998(5): 10-14.
- [8] 王开峰, 彭娜, 王凯荣, 等. 长期施用有机肥对稻田土壤重金属含量及其有效性的影响[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(1): 105-108.
WANG Kaifeng, PENG Na, WANG Kairong, et al. Effects of Long-term Manure Fertilization on Heavy Metal Content and Its Availability in Paddy Soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 105-108.
- [9] 中国环境保护标准汇编: 环境质量与污染物排放[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 96-99.
China's Environmental Protection Standard Assemble: Environmental Quality and Pollutant Emission[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004: 96-99.
- [10] THOMAS J. Soil pH effects on the distribution and plant availability of Mn, Cu and Cd[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1986, 150: 367-373.
- [11] 宋书巧, 吴欢, 黄胜勇. 重金属在土壤-农作物系统中的迁移转化规律研究[J]. *广西师学报*, 1999, 16(4): 87-92.
SONG Shuqiao, WU Huan, HUANG Shengyong. The research of Regulation of Transport and Transformation of Heavy Metal in the Soil-crop system[J]. *Journal of Guangxi Teachers College*, 1999, 16(4): 87-92.
- [12] 汪雅谷, 张四荣. 无污染蔬菜生产的理论和实践[M]. 中国农业出版社, 2001.
WANG Yagu, ZHANG Sirong. Theory and Practice of Pollution-free Vegetables Production[M]. China Agriculture Press. 2001.
- [13] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. *湖北农学院学报*, 2002, 22 (5): 476-480.
ZHOU Jianli, Chen Tongbin. Situation and Prospect of Research on Heavy Metal Pollution in Vegetables and Soils for Vegetable Cultivation in Urban Areas of China[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(5): 476-480.
- [14] 夏家淇. 土壤环境质量详解[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
XIA Jiaqi. Soil environmental quality adequate explanation[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.

Effects of Long-Term Application of Organic Manure on Accumulation of Main Heavy Metals in Brown Earth

LIU He, LI Shuangyi, WANG Jingkuan

Soil Fertility Research Lab., College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Liaoning Shenyang 110866, China

Abstract: The contents of soil heavy metals (Cu, Zn, Pb and Cd) in the treatments with application of pig manure and inorganic fertilizers were determined in the long-term brown earth field located experimental station, Shenyang Agricultural University, in order to make sure the accumulation of heavy metals in soil under these manure and inorganic fertilizer applied patterns (CK, M₂, M₄, N₄P₂, M₄N₄P₂). The results obtained from experiment showed that the contents of Cu, Zn, Pb and Cd increased with years, especially in the manure applied treatments (M₄, M₂ and M₄N₄P₂). The accumulated degrees (%) of the four heavy metals were as the follows: Cd> Cu> Zn> Pb. According to the National Environmental Quality Standard for soils, the content of Cu was less than the second grade of this standard, but the Cd contents exceeded, which should be paid great attention. The correlation analysis on those elements showed that Cu and Zn had a very significant correlation, indicating that they came from similar sources.

Key words: Manure; Heavy metal; Brown earth; Maize