

苹果渣添加量对猪粪好氧堆肥锌和铜形态的影响

毛晖, 蔡函臻, 季玉晓, 田冲涛, 申鹏飞, 苑丽新, 周莉娜* (西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 [目的]研究猪粪好氧堆肥中添加剂对锌和铜形态的影响。[方法]以猪粪和秸秆为原料,以果渣为添加剂,设置添加果渣比例为0%、5%、10%和20%。[结果]研究中的果渣添加处理均能达到堆肥腐熟要求,结束时各处理EC变化范围为1.5~2.7 mS/cm,发芽指数均超过0.7。在果渣添加量中,5%处理堆肥总锌和总铜增加为最高,达到35.7%和73.5%。在堆肥前后,Sposito形态分析表明,添加果渣10%处理,锌和铜的交换态和吸附态含量增加最高,分别达到1.8%和2.2%。添加果渣,残渣态锌比例小于对照,残渣态铜比例与对照相近。[结论]添加果渣能够促使锌和铜从有效性低的形态向有效性高的形态转化。

关键词 猪粪;添加剂;果渣;锌;铜

中图分类号 S158.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)29-11676-04

Effects of Apple Pomace Additives on Zn and Cu Forms of Pig Manure Aerobic Composting

MAO Hui et al (College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract [Objective] The effect of additive on forms of Zn and Cu was studied with aerobic composting of pig manure. [Method] Pig manure was mixed with wheat straw as bulking agent, additive was apple pomace with dosages of 0%、5%、10% and 20%. [Result] The results showed that all treatments reached the request of compost in the end, EC ranged from 1.5 to 2.7 mS cm⁻¹ while germination index exceeded 0.7 with all treatments. Total amount of Zn and Cu increased highest with the dosage of 5% apple pomace which reached 35.7% and 73.5%, respectively. Analysis of Sposito forms showed that apple pomace dosage of 10% got the highest increase of exchange and adsorption form of Zn and Cu, which reached 1.8% and 2.2%, respectively. Proportion of residual Zn was less than control with apple pomace additive while similar with control for Cu. [Conclusion] The form of Zn and Cu can be transformed from low available to high available with apple pomace additive during pig manure composting.

Key words Pig manure; Additives; Apple pomace; Zinc; Copper

畜禽业的集约化养殖模式在我国的发展越来越迅速,随之而来的是畜禽粪便处理压力的加大。将畜禽粪便作为有机肥进行农业利用,是有效的处理方式之一。促进堆肥的腐熟效果,要结合适当的添加剂和准确的控制条件。选择添加剂,必须结合本地资源,促进堆肥的资源化利用。我国年产苹果约2 000万t,加工后产生果渣达100多万t^[1]。陕西苹果产量在2009年达805万t,居全国第一位,其中20%用于生产果汁,果渣量达到原料总量的30%^[2]。因此,果渣的资源化利用是果汁企业的必由之路。

我国超过50%的地区属于低锌土壤区,主要包括内蒙古、山西、陕西、河南、四川、湖北、西藏、安徽和黑龙江以及沿海地区^[3]。有研究表明,有机质含量和土壤有效锌含量间存在显著相关关系^[4]。因此,通过调节堆肥过程,提高堆肥产品中有效锌比例,进而通过农业利用缓解土壤的锌缺乏状

况,具有重要意义和应用前景。同时,国家卫生部已废止相关的食品中铜的限量卫生标准(GB15199-1994)^[5]。可见,锌和铜已不再作为作物的污染指标进行研究。而目前堆肥的研究中针对锌和铜元素的钝化技术开展较多^[6-9],而改变条件进行堆肥中锌和铜的活化还鲜有报道。笔者以猪粪和小麦秸秆为原料,以苹果渣为添加剂,研究不同添加量对猪粪堆肥的重金属元素锌和铜活化的影响及其对堆肥过程的调控,为确定最佳的添加剂用量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与装置 鲜猪粪从西北农林科技大学养殖场获得;粉碎至3~5cm的小麦秸秆购自杨凌区附近农村;苹果渣由陕西省咸阳市礼泉县通达果汁厂赠送。各堆肥原料的基本性状见表1。

表1 堆肥物料的初始性质

物料	含水率//%	有机质//%	pH	粒径大小//mm	总氮//g/kg	总磷//g/kg	总锌含量//mg/kg	总铜含量//mg/kg
猪粪	70.9	62.0	8.4	-	27.9	15.1	1 123.6	690.2
小麦秸秆	14.5	98.5	7.3	30~50	5.0	1.1	6.5	9.5
苹果渣	8.0	97.9	3.9	<0.30	9.9	0.6	15.2	11.5

注:“-”表示未检出。

以自制的高温好氧堆肥器为堆肥装置,由密闭反应箱、

保温层、筛板、支架、空气泵、通气管、缓冲瓶和温度测定仪等组成(图1)。有效容积约为90L,反应箱外紧贴塑料泡沫保温层,夜间温度低时将电热毯(30~40℃)包在保温层外,以防热量散失。

1.2 堆制方案与采样方法 设4个处理:对照,将猪粪与秸秆按质量比10.5:1.0(以鲜重计),含水率调节为65%左右,总重约为25kg;其余3个处理为苹果渣添加量5%、10%、20%,分别命名为AP1、AP2和AP3。混合均匀后逐层堆放在

基金项目 国家自然科学基金项目(41201280);西北农林科技大学大学生科创国家级项目(1210712070);西北农林科技大学大学生科创校重点项目(2201210712081)。

作者简介 毛晖(1977-),男,陕西咸阳市人,讲师,从事农业环境保护方面的研究。*通讯作者,讲师,从事环境科学与农业环境保护方面的研究,E-mail:zhoulina@nwsuaf.edu.cn。

收稿日期 2013-09-10

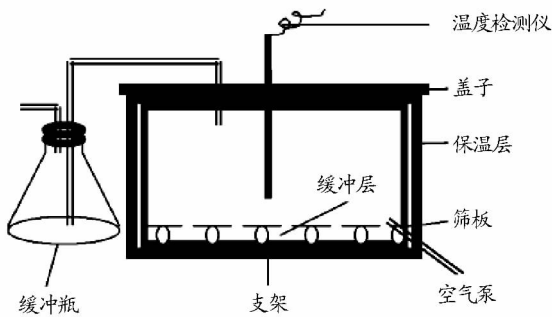


图1 堆肥试验反应箱示意图

反应箱的筛板上,装满但不压实,进行堆制。在堆制初期,从底部筛板向堆体均匀鼓风通气,设流量为 60 L/min,通气时间为每天上午、下午各 30 min,直至堆肥进入稳定期后停止通风,共堆制 38 d。每天上午 9 点和下午 3 点用智能 XMT616 温度测定仪于堆体中部测定温度,取平均值作为堆体温度,同时测定环境温度。根据温度变化,分别于堆肥第 0、5、11、16、23、30、38 天采集样品。取样前,先称取反应箱总重,然后将物料充分混匀后多点取样 500 g 左右,并分为 2 份,其中一份于 4 ℃ 冷藏,另一份于 40 ℃ 低温烘干后,在陶瓷研钵中研磨并过 1 mm 尼龙筛后备用。

1.3 测定指标及方法 EC 和 pH 测定采用电极法(鲜样质量:去离子水体积为 1:5,雷磁 pH5-3C 型酸度计);含水率的测定采用 105 ℃ 烘干失重法;有机质含量的测定采用干样 550 ℃ 灼烧失重法。Cu 和 Zn 总量的测定采用浓 HNO₃ + HClO₄ 消解法;Cu、Zn 的形态分级采用 Sposito 法^[10],其操作要点见表 2。为了表示堆肥过程中重金属形态,采用形态的百分含量表示,即形态百分含量 = (X/总提取量) × 100。式中, X 分别代表交换态和吸附态、有机结合态、碳酸盐结合态、硫化物结合态和残渣态;总提取量为各形态的总和。Cu、Zn 的测定采用日立 Z-3000 型石墨炉—火焰原子吸收分光光度计。试验中所有指标测定均设置 3 次重复,并取平均值。种子发芽指数(R_{gr})的测定用小白菜种子 25 ℃ 培养法^[11]。

表2 重金属形态分级中 Sposito 浸提法操作方法

步骤	试剂	提取条件	形态	标记
1	0.5 mol/L KNO ₃	16 h	交换态和吸附态	KNO ₃
	H ₂ O	2 h, 3 次		
2	0.5 mol/L NaOH	16 h	有机结合态	NaOH
3	0.05 mol/L EDTA	6 h	碳酸盐结合态	EDTA
4	4 mol/L HNO ₃	16 h, 85 ℃ 水浴	硫化物结合态	HNO ₃
5	浓 HNO ₃ + 浓 HClO ₄ (4:1)	消解	残渣态	Res

2 结果与分析

2.1 堆肥基本理化性质 由图 2 可知,添加果渣后,堆体温度变化在 27 ~ 65 ℃ 之间,温度 ≥ 50 ℃ 的天数超过 7 d,能够满足堆肥腐熟的温度要求。各添加果渣处理堆置过程中温度变化差异不大。各处理 pH 均呈现出先升高后逐渐降低达到平稳的趋势。各处理堆体的 pH 在 6.8 ~ 8.8 之间,在堆肥第 5 天达到最高(8.8)。在堆肥初期,随堆料中氨气的挥发损失和有机酸的逐步降解带来 pH 的升高;之后,随堆制的

进行,易分解有机质消耗以及体系中形成的碳酸氢盐缓冲体系导致体系的 pH 基本稳定在 8.4 左右。不同果渣添加量对 pH 的影响有所差异。添加 20% 果渣处理 pH 在 0.05 水平显著低于其他处理。造成的原因可能是它带入的有机酸量过多,不能完全降解。堆肥过程中的 EC 能够表明堆肥中水溶性盐分的含量高低。它是评价堆肥农业利用风险的重要指标。可见,随着堆制的进行,各处理 EC 均逐步增加,变化范围为 1.5 ~ 2.7 mS/cm,均低于 Garcia 推荐的腐熟堆肥的 EC 值(4.0)^[12]。各处理相比较,添加果渣处理,至堆肥结束,EC 均高于对照。分析原因,是由于果渣中易分解有机质的分解产物及其包含的有机酸的溶解作用,导致可溶性盐分增多。随着堆肥的进行,有机物料进行分解矿化和稳定腐殖化的过程。各处理有机质含量随堆制的进行逐渐降低。在堆肥前期,由于温度高,分解速率快,有机质含量降低幅度较大,在堆制 15 d 之后各处理有机质含量的降幅均变缓,添加果渣处理有机质含量在前期高于对照,后期差异不大。

2.2 种子发芽 试验中采用小白菜种子进行发芽试验,评价堆肥的植物毒性或腐熟程度。由图 3 可知,各处理开始至 15 d 左右,即高温期的末段,发芽指数有缓慢增加;之后,快速升高至稳定。各处理之间没有显著差异。至堆肥结束,发芽指数均超过 0.7,符合 Zucchini 等^[13]提出的发芽指数大于 0.5,表明堆肥没有毒性,腐熟程度可接受。

2.3 Zn 和 Cu 总量 由图 4 可知,添加果渣处理的总 Zn 和总 Cu 含量低于对照,分析原因为添加剂中 Zn 和 Cu 含量大大低于原料猪粪所致。随着堆制的进行,Zn 和 Cu 总量逐步增加,原因为在堆制过程中有机大分子的分解以及损失导致“浓缩效应”^[14]。至堆肥结束,对照以及添加果渣 5%、10%、20% 处理的总 Zn 含量分别增加 38.4%、35.7%、28.9% 和 22.6%,而总 Cu 含量分别增加 74.9%、73.5%、70.2% 和 55.1%。比较果渣添加量可知,添加 5% 为最高,随着添加量的增加,总 Zn 和总 Cu 含量都显著降低。分析原因为果渣添加过多降低大分子物质的分解和堆体的浓缩效应。Ihnat 等^[15]在研究家禽粪便堆肥中发现,Zn 和 Cu 总量没有显著增加趋势。Hsu 等^[16]报道猪粪堆肥中的增幅达到 170%,表明不同的堆肥原料选择和堆肥方式带来 Zn 和 Cu 总量的差异。

2.4 Zn 和 Cu 分级 由图 5 可知,堆肥中各种 Zn 形态所占的比例由大到小为 EDTA、HNO₃、NaOH、Res、KNO₃。其中,交换态、吸附态(KNO₃)所占比例小于 5%,随堆肥的进行,对照和 5% 添加量处理的可交换及吸附态差异不大,而添加量 10% 和 20% 的处理分别增加 1.8% 和 1.2%。分析原因为添加果渣能够活化堆肥中 Zn 离子,而试验中的最佳添加量为 10%。各处理的有机结合态(NaOH)在 10% ~ 14% 之间,其中对照和添加量 5% 分别降低 1.4% 和 0.6%,添加量 10% 和 20% 分别增加 1.9% 和 1.8%。各个 Zn 形态中以碳酸盐结合态(EDTA)和硫化物结合态(HNO₃)为主,总体变幅为 70% ~ 79%,处理间差异不大。这一结果和李荣华等^[14]报道的猪粪堆肥的研究基本一致。Res 为残渣态的比例,随着堆制进行,各处理残渣态比例均有所增加。对照增加 6.8%,果渣添

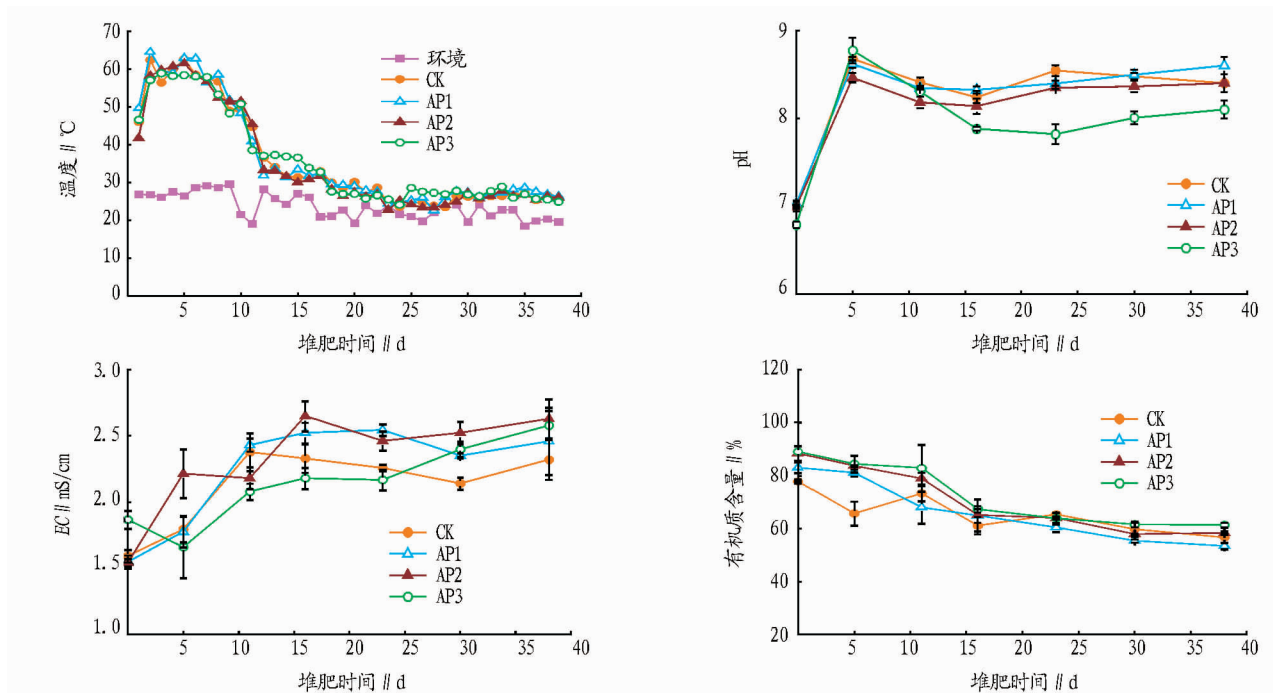


图2 堆肥过程中温度、pH、EC和有机质含量的变化

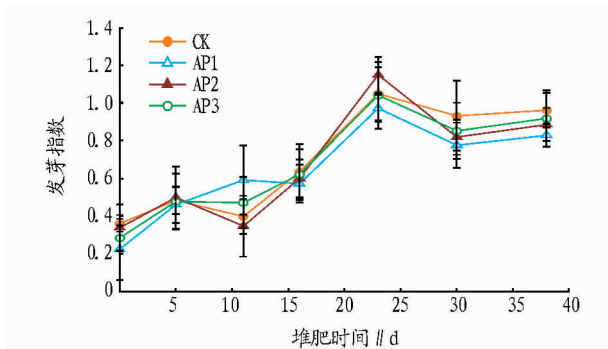


图3 小白菜种子发芽指数的变化

分别为0.9%、2.1%、1.5%和6.8%，可见果渣加入后能够显著提高堆肥的有机结合能力。其中，对照和添加量5%分别降低1.4%和0.6%，添加量10%和20%分别增加1.9%和1.8%。碳酸盐结合态(EDTA)和硫化物结合态(HNO_3)总体变幅为50%~72%，对照以及3个添加果渣用量处理分别减少2.7%、6.4%、10.9%和14.7%。残渣态变幅为14%~30%，对照以及3个添加果渣用量处理分别增加7.7%、5.2%、7.2%和6.0%。

总体上看，添加果渣能够促使Zn和Cu从有效性低的形态向有效性高的形态转化，其中以添加10%时效果最佳。

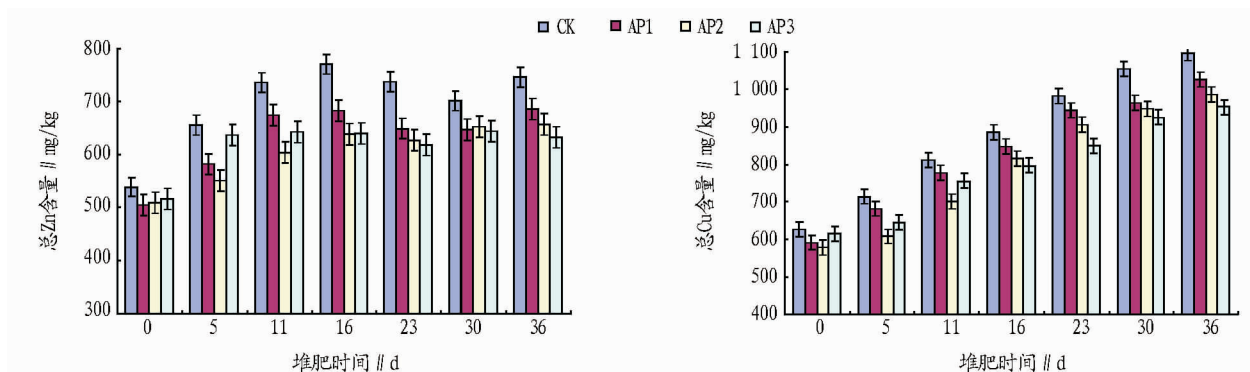


图4 各处理堆肥过程中总Zn和总Cu含量的变化

加量5%、10%和20%分别增加7.2%、4.4%和3.2%，可见添加果渣有促进堆肥Zn形态向有效性高转化的趋势。

不同处理的堆肥中各形态Cu含量的高低顺序为EDTA、 HNO_3 、Res、NaOH、 KNO_3 。交换态及吸附态(KNO_3)所占比例在5%~11%，随堆肥的进行，对照和5%添加量处理的可交换、吸附态分别降低5.8%和0.9%，添加量10%和20%的处理分别增加2.2%和1.8%。变化趋势与Zn类似。各处理有机结合态(NaOH)在7%~12%之间，堆肥前后增幅

Hsu研究表明，猪粪堆肥中，交换态和吸附态Zn和Cu分别达到9%和4%，与Hsu等^[16]研究类似。

3 结论

研究表明，各个处理堆肥均能达到腐熟条件，即到达高温期并维持一定时间。添加果渣处理的堆肥不会提高堆肥EC，农业利用不具有生理盐害。发芽指数表明，添加果渣处理的堆肥腐熟后没有植物毒害。与对照相比，添加果渣处理“浓缩效应”减弱。随着果渣添加量的增加，总Zn和Cu浓度

的增加量逐步降低。各处理堆肥 Zn 和 Cu 形态均以碳酸盐结合态和硫化物结合态为主。与对照相比,添加果渣增加了

Zn 和 Cu 向有效性高的形态转化。

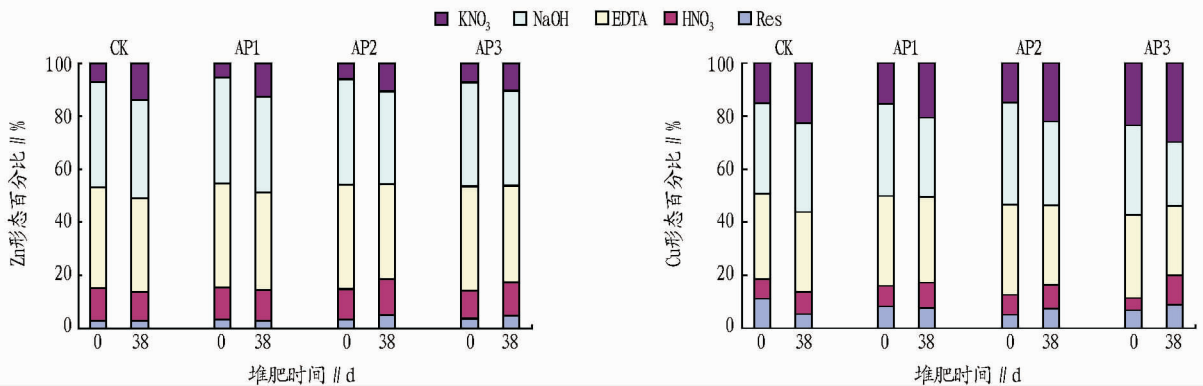


图5 各处理堆肥前、后不同 Zn 和 Cu 形态变化

参考文献

[1] 李志西. 苹果渣综合利用研究[J]. 黄牛杂志, 2002, 28(4): 58-62.
 [2] 刘璐, 刘映宇, 柏素凤. 陕西苹果果区热量资源变化及影响分析[J]. 陕西农业科学, 2011, 57(4): 45-47.
 [3] YANG X E, CHEN W R, FENG Y. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study [J]. Environ Geochem Health, 2007, 29(5): 413-428.
 [4] FOLLETT R, LINDSAY W. Changes in DTPA-extractable zinc, iron, manganese, and copper in soils following fertilization [J]. Soil Science Society of America Journal, 1971, 35(4): 600-602.
 [5] 李荣华, 孙西宁, 刁展, 等. 猪粪好氧堆肥对缺锌土壤种植大豆的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1343-1349.
 [6] 姜华, 吴波, 李国学. 添加不同钝化剂降低污泥堆肥的植物毒性研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(10): 1413-1415.
 [7] 李荣华, 张广杰, 秦睿, 等. 添加钝化剂对猪粪好氧堆肥过程中理化特性的影响[J]. 环境科学学报, 2012, 32(10): 2591-2599.
 [8] 刘浩荣, 宋海星, 荣湘民, 等. 好氧高温猪粪堆肥重金属(Cr, Cd, Pb)钝化剂及其添加比例研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(6): 967-972.
 [9] 毛晖, 李荣华, 黄懿梅, 等. 添加剂对猪粪好氧堆肥过程锌和铜形态的

影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 164-171, 202.
 [10] SPOSITO G, LUND L, CHANG A. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases [J]. Soil Science Society of America Journal, 1982, 46(2): 260-264.
 [11] 姜继部, 黄懿梅, 黄华, 等. 猪粪秸秆高温堆肥过程中碳氮转化特征与堆肥周期探讨[J]. 环境科学学报, 2011, 31(11): 2511-2517.
 [12] GARCÍA C, HERNÁNDEZ T, COSTA F. Study on water extract of sewage sludge composts [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1991, 37(3): 399-408.
 [13] ZUCCONI F, PERA A, FORTE M, et al. Evaluating toxicity of immature compost [J]. Biocycle, 1981, 22(1): 54-57.
 [14] 李荣华, 张萌, 秦睿, 等. 粉煤灰和猪粪好氧混合堆肥过程中铜锌化学形态的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(6): 186-193.
 [15] IHNAT M, FERNANDES L. Trace elemental characterization of composted poultry manure [J]. Bioresource Technology, 1996, 57(2): 143-156.
 [16] HSU J H, LO S L. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure [J]. Environmental Pollution, 2001, 114(1): 119-127.

(上接第 11675 页)

参考文献

[1] DUMANSKI J, PIERI C. Land quality indicators: research plan [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 81: 93-102.
 [2] 陈宜瑜. 中国湿地研究 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995: 108-117.
 [3] LIU Z G, MA X H. Effect of reclamation on soil environment in Sanjiang Plain [J]. Pedosphere, 1997, 7(1): 73-78.
 [4] 宋长春, 王毅勇, 王跃思, 等. 人类活动影响下淡水沼泽湿地温室气体排放变化 [J]. 地理科学, 2006, 26(1): 82-86.
 [5] 孙志高, 刘景双, 李新华. 三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 270-274.
 [6] 王书伟, 颜晓元, 林静慧, 等. 不同土地利用方式下三江平原东北部土壤有机碳和全氮分布规律 [J]. 土壤, 2010, 42(2): 190-199.
 [7] 李玉影, 刘双全, 刘颖, 等. 黑龙江省松嫩平原与三江平原土壤养分含量与空间分布特征研究 [J]. 黑龙江农业科学, 2010(2): 25-28.
 [8] 孙志高, 刘景双, 李新华. 三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 270-274.
 [9] 国志兴, 王宗明, 刘殿伟, 等. 三江平原农田生产力时空特征分析 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 249-253.
 [10] WOODMANSEE R G, DUNCAN D A. Nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grasslands [J]. Ecology, 1980, 61(4): 893-904.
 [11] HUGGETT R J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review [J]. CATENA, 1998, 32: 155-172.
 [12] 王国梁, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应 [J]. 水土保持通报, 2001, 22(1): 1-5.
 [13] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间分布

特征 [J]. 地理研究, 2004, 23(1): 63-70.
 [14] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 43-195.
 [15] 张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等. 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布 [J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2056-2065.
 [16] CAMBARDELLA C A, MOORMAN T B, PARKIN T B, et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.
 [17] TRANGMAR B B, YOST R S, UEHARA G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties [J]. Advances in Agronomy, 1986, 38: 45-94.
 [18] 张淑娟, 何勇, 方慧. 基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 39-44.
 [19] 徐新朋, 赵士诚, 张子贵, 等. 吉林省玉米种植区土壤养分空间变异特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1342-1350.
 [20] 程先富, 史学正. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局 [J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64.
 [21] MULLA D J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield [M] // ROBERT P C, RUST R H, LARSON W E, eds. Soil specific crop management. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA, 1993: 15-26.
 [22] 陈新平. 论建立我国养分资源宏观调控系统的必要性 [C] // 中国土壤学会, 迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学. 北京: 农业出版社, 1997: 295-299.
 [23] SAMAKÉ O, SMALING E M A, KROPFF M J, et al. Effects of cultivation Practices on spatial variation of soil fertility and millet yields in the Sahel of Mali [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 109(3/4): 335-345.