

# 垃圾堆肥对难溶性磷转化及土壤磷素吸附特性影响

魏自民<sup>1,2</sup>, 席北斗<sup>1</sup>, 王世平<sup>3\*</sup>, 赵越<sup>2</sup>, 杨延梅<sup>1</sup>, 何连生<sup>1</sup>, 刘鸿亮<sup>1</sup>

(1. 中国环境科学研究院固体所, 北京 100012; 2. 东北农业大学生命学院, 哈尔滨 150030;

3. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100081)

**摘要:** 在城市生活垃圾进行工厂化堆肥过程中, 加入难溶性磷矿粉, 探讨堆肥对难溶性磷的转化能力及堆肥产品培肥后对土壤磷素吸附特性的影响。结果表明, 加入磷矿粉可使堆肥中活性有机磷、中等活性有机磷、中稳性有机磷、高稳性有机磷及速效磷含量均有不同程度的提高, 与对照相比分别增加 212.69%、80.36%、61.21%、62.74%、157.89%。通过电镜观察表明, 堆肥后磷矿粉典型的矿物特征消失, 表面呈蜂窝状。将堆肥后的产品进行培肥试验表明, 富磷垃圾肥处理可明显改善土壤磷素的吸附特性, 与施化肥相比, 最大吸附量 ( $Q_m$ ) 下降 8.76%, 最大缓冲容量 ( $Q_m \cdot K$ ) 下降 13.58%, 而磷素的吸附饱和度 ( $DPS$ )、零净吸附浓度磷 ( $EPC_0$ ) 则呈不同程度的增加, 幅度依次为 98.52%、7.13%。试验结果显示, 通过堆肥生产富磷垃圾肥可为解决中国磷素资源缺乏、化学磷肥利用率低等问题提供一条生物学途径。

**关键词:** 生活垃圾; 堆肥; 难溶性磷; 富磷垃圾肥; 磷素吸附特性

**中图分类号:** S141.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)02-0142-05

魏自民, 席北斗, 王世平, 等. 垃圾堆肥对难溶性磷转化及土壤磷素吸附特性影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 142-146.  
Wei Zimin, Xi Beidou, Wang Shingping, et al. Effects of municipal solid waste composting on solubilization of insoluble phosphate and soil phosphorus sorption characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 142-146. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

磷是植物必需的营养元素之一, 而中国有 74% 的耕地土壤缺磷, 化学磷肥的当季利用率也仅为 10%~25%<sup>[1]</sup>。目前, 中国农用磷肥主要是磷矿粉经加工而成, 需要大量硫酸, 生产成本较高, 长期施用不仅造成土壤板结, 也会污染环境。磷矿粉如直接施用于土壤时, 肥效又受许多因素限制<sup>[2]</sup>。中国的磷资源只占世界磷资源的 1.1%, 按照目前的开采速度, 这些磷矿仅够开采约 25 年。为缓解中国人口增长对粮食需求的压力, “高投入”的农业生产方式已经成为粮食生产的重要途径, 对磷肥的需求量也会日益增大, 这与中国有限的磷肥资源形成尖锐的矛盾。因此, 如何在中国磷资源有限的情况下研究和总结一套能在农业生产中应用的生物学途径, 以维持土壤的磷供应水平, 保证农业稳产高产, 是有关科研工作者普遍关心的课题。由于城市生活垃圾(municipal solid waste, MSW)在堆肥过程中将产生大量的有机弱酸类物质, 其中小分子有机酸中的多元酸类物质(琥珀酸、苹果酸、酒石酸、柠檬酸等)对难溶性磷具有较强的溶解能力<sup>[3,4]</sup>, 而大分子的腐殖酸类物质也可以对难溶性磷有一定的络合能力<sup>[5]</sup>。另外, 生活垃圾是微生物活

动的极佳场所, 其中也含有一定数量的解无机磷细菌<sup>[6]</sup>, 可将一部分无机磷转化为生物量磷。因此, 本研究从生活垃圾堆肥入手, 在堆肥过程中, 加入磷矿粉, 通过生活垃圾堆肥过程中产生的有机酸类物质以及微生物生命活动实现对难溶性磷的转化, 生产富磷垃圾肥(P-enriched MSW compost), 通过培肥土壤, 探讨磷素在土壤中的吸附特征, 为减少土壤中磷素的固定, 提高磷素利用率提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 城市生活垃圾堆肥材料与试验设计

**城市生活垃圾:** 选用大庆市城市生活垃圾。堆肥前将塑料、金属、玻璃、纸张等可回收利用的物质进行分选后, 剩余的可降解的有机物质, C, 323.82 g/kg、N, 13.88 g/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10.02 g/kg、水分, 53.56%。

**磷矿粉:** 粒径 < 0.25 mm, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 28.27%, 取自贵州开磷有限责任公司。

试验于 2003 年 3 月至 2003 年 6 月在大庆美商垃圾肥厂内进行, 共设 2 个处理, 分别为不加磷矿粉堆肥处理(MSW)、加入磷矿粉堆肥处理(PMSW), 磷矿粉的加入量为 5% (占生活垃圾干重质量百分数)。每个处理生活垃圾 5 kg, 装入透气尼龙网袋(PE), 埋入堆肥厂垃圾发酵条形堆中, 堆长 150 m, 宽 4.5 m, 高 2.2 m。采用二次堆肥发酵<sup>[7]</sup>, 通风速率为 0.11 m<sup>3</sup>/(min·m<sup>3</sup>), 一次发酵水分控制在 60% 左右, 大于 55℃ 不少于 5 d, 最高温度不超过 75℃。二次发酵初期水分控制在 55%, 后期控制在 30% 左右。每周翻堆一次, 堆肥周期为 63 d。在翻堆过程中将尼龙网袋取出通风、透气, 并采用四分法取各处理样品, 样品总量为 500 g, 样品风干粉碎后, 过 1 mm 筛贮存备用。

收稿日期: 2005-05-09 修订日期: 2005-08-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973)(2005CB724203); 哈尔滨市攻关项目(2002AA3CN109); 哈尔滨市基金(2005AFXXJ043)

作者简介: 魏自民(1969—), 男, 博士, 副教授, 主要从事生活垃圾资源化及生物肥料方面的研究。北京 中国环境科学研究院, 100012。Email: weizm691120@163.com

\*通讯作者: 王世平, 北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 100081。Email: wang744447@163.com

由于混在堆肥中的磷矿粉难以分离,为了观察堆肥对磷矿粉的溶解效果,另取几份磷矿粉 50 g, 分别放入尼龙网袋中,摊成薄层,埋入条形发酵堆深处,堆肥结束后取出供城市生活垃圾堆肥对磷矿粉溶解能力扫描电镜观察,作定性分析。

### 1.2 堆肥产品效果试验设计

主栽品种:作物品种为大豆,品种名称为东农 43。

供试无机肥料:尿素, N: 46%、磷矿粉, 28.27%、硫酸钾, K<sub>2</sub>O, 50%。

供试有机肥料:腐熟鸡粪, N: 1.35%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.75%、K<sub>2</sub>O, 1.05%;普通垃圾肥: N: 1.12%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.70%、K<sub>2</sub>O, 0.92%;富磷垃圾肥: N, 1.12%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3.01%、K<sub>2</sub>O, 0.92%。

试验于 2004 年 5 月于东北农业大学内试验地进行,共设 4 个处理 3 次重复,分别为化肥、垃圾肥、富磷垃圾肥及鸡粪处理。各处理以富磷垃圾肥施用量(3000 kg/hm<sup>2</sup>)其纯 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量(90 kg/hm<sup>2</sup>)为同一磷水平;N、K 施用量为:纯 N, 60 kg/hm<sup>2</sup>、纯 K<sub>2</sub>O, 45 kg/hm<sup>2</sup>。各有机肥处理纯 N、P、K 施入量经计算后,其施用量不足采用化肥补充,使各处理纯 N、纯 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、纯 K<sub>2</sub>O 施用总量相同,其肥料施用量见表 1。试验采用盆栽,每盆栽土 15 kg。种植两年后取各处理土壤样品测定磷素的吸附特性。

表 1 各处理肥料施用量

Table 1 Fertilizer quantity in different treatments

处理	/kg · hm <sup>-2</sup>					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	普通垃圾肥	富磷垃圾肥	鸡粪
化肥	60	90	45	-	-	-
垃圾肥	26.4	69	17.4	3000	-	-
富磷垃圾肥	26.4	-	17.4	-	3000	-
鸡粪	19.5	67.5	7.5	-	-	3000

### 1.3 测定方法

堆肥中速效磷、有机态磷及其组分的测定参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[8]</sup>。

城市生活垃圾堆肥对磷矿粉溶解能力的电镜观察:分别取自然状态下粒径小于 0.25 mm 的磷矿粉与经过生活垃圾堆肥处理的磷矿粉,置于样品平台,进行离子溅射镀膜导电处理。通过扫描电镜观察磷矿粉表面特征。所用扫描电子显微镜为 KYKY-1000B 型,放大倍数:×1000。

磷素等温吸附测定:参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[8]</sup>,简要叙述如下:

称量 2.5 g 风干土样,放入 50 mL 离心管,加入 P 浓度分别为 3.0、5.0、7.0、9.0、12.0、18.0、24.0、30.0、40.0、50.0 mg/L 的 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液 50 mL。在 25℃ 条件下振荡 24 h,离心,过滤,滤液中 P 浓度采用钼蓝比色法测定。P 吸附量(Q)为加入与吸附平衡时 P 浓度(C)之差。结果为 2 次重复的平均值。

Langmuir 等温吸附方程拟合及最大吸附量(Q<sub>m</sub>)和吸附能(K)计算:

根据上述测定结果,用 C/Q 和 C 作图,得一直线方程:

$$C/Q = 1/K Q_m + C/Q_m$$

式中 C——平衡溶液 P 浓度; Q——土壤对 P 的吸附量; Q<sub>m</sub>——在一定温度(一般指 25℃)条件下土壤吸附磷素的最大量,这个数值反映土壤吸附磷素量的大小。K 值是与吸附能有关的常数,其大小反映土壤吸附基质与磷素之间吸附力的变化。

利用等温吸附线的斜率 1/Q<sub>m</sub> 计算出最大吸附量 Q<sub>m</sub>,然后再利用已知截距 1/K Q<sub>m</sub> 计算出 K 值。

土壤 P 的吸附饱和度(Degree of P saturation, DPS):土壤可提取 P 量与最大吸附量之比的百分数。

$$DPS = (\text{土壤可提取 P/P 最大吸附量}) \times 100\%$$

式中的可提取 P 为 Olsen P, P 最大吸附量即 Langmuir 吸附等温线中的 P 最大吸附量<sup>[9]</sup>。

零净吸附浓度磷(EPC<sub>0</sub>):土壤 P 吸附量为零时平衡液中的 P 素浓度。通过线性吸附等温线计算得到:

$$S = bC - S_0$$

式中 S——土壤吸附 P 量; b——吸附系数; C——平衡液中 P 的浓度; S<sub>0</sub>——平衡液 P 浓度为零时,土壤吸附 P 量<sup>[10]</sup>。

所得数据采用 SAS6.12(1998) 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥结束后磷素组分的变化

由表 2 可以看出,加入磷矿粉处理堆肥后有机态磷、各种形态有机磷及速效磷含量与对照相比均有不同程度的增加,有机态磷、活性有机磷、中等活性有机磷、中稳性有机磷、高稳性有机磷及速效磷含量(三次重复的平均值)增加幅度依次为:74.93%、212.69%、80.36%、61.21%、62.74%、157.89%。其中活性有机磷增加的幅度最高,这部分磷主要来源于堆肥过程中有机弱酸类物质对难溶性磷的转化及微生物量磷;而中稳性、高稳性有机磷主要是堆肥后期所形成的富里酸态磷与胡敏酸态磷。

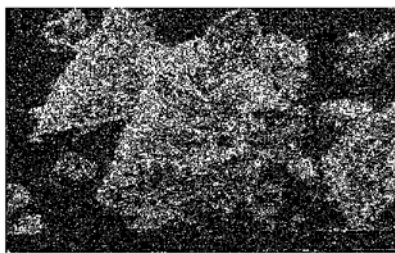
表 2 生活垃圾堆肥后磷素组分含量

Table 2 Contents of phosphate compositions in final MSW composting

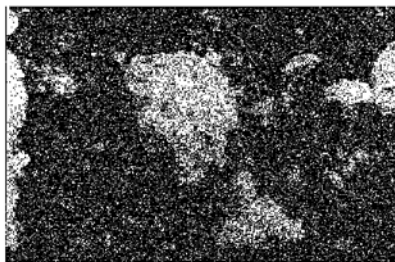
处理	有机态磷	增加值	活性有机磷	增加值	中等活性有机磷	增加值	中稳性有机磷	增加值	高稳性有机磷	增加值	速效磷	增加值
	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%	/kg · hm <sup>-2</sup>	/%
MSW	1805.37	-	120.36	-	276.35	-	600.35	-	808.31	-	0.95	-
PMSW	3158.06	74.93	376.35	212.69	498.43	80.36	967.83	61.21	1315.45	62.74	2.45	157.89

## 2.2 城市生活垃圾堆肥对磷矿粉溶解能力的电镜观察

图 1a( $\times 1000$ ) 为自然状态磷矿粉电镜观察图片, 图 1b( $\times 1000$ ) 为深埋于城市生活垃圾堆肥条型发酵堆中, 堆肥腐熟后取出的磷矿粉电镜观察图片。由两图可以看出, 自然状态下的磷矿粉电镜下观察, 表面呈较为明显的棱角状, 呈典型的矿物状态, 磷矿粉的碎小颗粒较多; 而经过城市生活垃圾堆肥对其溶解后, 表面棱角消失, 而呈现明显的蜂窝状态, 较小颗粒的磷矿粉基本消失。可见, 城市生活垃圾堆肥过程中对难溶性磷矿粉具有较强的溶解能力。



a. 自然状态下的磷矿粉



b. 堆肥后的磷矿粉

图 1 堆肥前后磷矿粉电镜图片( $\times 1000$ )

Fig. 1 SEM picture of phosphorus before and after composting

## 2.3 富磷垃圾肥对土壤磷素的等温吸附特性影响

根据各处理土壤样品对磷的吸附量  $Q$  及平衡液中磷浓度  $C$  建立 Lanfmuir 等温吸附拟合方程, 施用化肥、垃圾肥、富磷垃圾肥及鸡粪处理等温吸附方程的决定系

数见表 3。利用已建立的等温吸附方程计算出相关参数。施用富磷垃圾肥可以改变土壤对磷素的吸附量、吸附能、 $DPS$ 、以及  $EPC_0$ , 其结果见表 3。 $Q_m$  和  $K$  值, 分别表示土壤磷的最大吸附量和与吸附结合能有关的磷吸附反应常数, 是土壤磷吸附容量因素和强度因素特征参数。表 3 结果表明, 土壤经施肥后, 有机肥处理  $Q_m$  值与  $K$  值均比化肥处理有不同程度的降低, 各处理垃圾肥、富磷垃圾肥、鸡粪降低幅度依次为  $Q_m$  值: 2.86%、8.76%、2.16%;  $K$  值: 3.15%、4.72%、1.57%, 富磷垃圾肥处理  $Q_m$  与  $K$  值低于其它处理, 表明施入富磷垃圾肥可降低土壤对磷的最大吸附量, 从而减少对无机磷的固定, 通过  $Q_m \cdot K$  值比较表明, 有机肥处理明显低于化肥处理,  $Q_m \cdot K$  综合反映了土壤吸磷的强度因素( $K$ ) 和容量因素( $Q_m$ ), 是土壤对磷吸特性的特征参数, 是判断土壤供磷特性的一项综合指标, 通常称之为土壤磷的最大缓冲容量。通过对表 3 不同处理  $Q_m \cdot K$  值比较表明, 有机肥处理  $Q_m \cdot K$  值明显低于化肥处理, 垃圾肥、富磷垃圾肥、鸡粪处理降低幅度依次为 6.00%、13.58%、3.91%; 说明在磷吸附量相近时, 富磷垃圾肥处理吸附磷的强度最小, 所处的能态较高, 因而其供磷强度大, 而化肥处理则供磷强度较小, 磷的有效性降低。

磷素的吸附饱和度 ( $DPS$ ) 反映了土壤有效磷含量与最大吸附量之间的比例关系。由表 3 可以看出, 施用有机肥可提高  $DPS$  值, 垃圾肥、富磷垃圾肥、鸡粪处理与化肥相比依次提高 13.73%、98.52%、12.62%, 其中富磷垃圾肥  $DPS$  值提高尤为显著。

$EPC_0$  是评价土壤磷素有效性和淋失潜力的重要指标。在平衡液磷浓度为  $0 \sim 20 \mu\text{g}/\text{mL}$  范围内, 利用线性等温吸附方程式  $S = bC - S_0 (R_s^2 = 0.8342 \sim 0.9678)$  估算了土壤  $EPC_0$  的大小(表 3)。培肥后, 有机肥料处理  $EPC_0$  都呈现升高趋势, 与施化肥相比, 富磷垃圾肥处理  $EPC_0$  增加 7.13%, 而吸附系数 ( $b$ ) 则有一定程度的降低, 其中富磷垃圾肥明显低于其它处理, 表明施用富磷垃圾肥更有助于改变土壤的供磷状况。

表 3 土壤磷素吸附特性的变化

Table 3 Changes in P sorption parameters of soil

处理	$Q_m$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$K$ / $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1}$	$R_s^2$	$DPS$ /%	$EPC_0$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$b$ / $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	$R_s^2$	等温吸附拟合方程
化肥	303.93	0.127	0.9571	5.39	- 9.68	6.7974	0.8342	$C/Q = 0.0242 + 0.00329 \times C$
垃圾肥	295.23	0.123	0.9725	6.13	- 8.09	7.2639	0.9499	$C/Q = 0.0275 + 0.00339 \times C$
富磷垃圾肥	277.30	0.121	0.9594	10.70	- 8.99	6.3632	0.9678	$C/Q = 0.0299 + 0.00361 \times C$
鸡粪	297.35	0.125	0.9508	6.07	- 9.47	6.5220	0.9187	$C/Q = 0.0269 + 0.00336 \times C$

## 2.4 富磷垃圾肥对大豆产量、质量的影响

由表 4 可以看出, 不同有机肥处理大豆增产效果明显, 与化肥相比, 垃圾肥、富磷垃圾肥、鸡粪各处理大豆籽粒产量依次增加 267.7、371.4、286.8  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 蛋白质含量增加 2.54%、4.78%、2.84%。对大豆产量与品质多重比较表明, 富磷垃圾肥处理在提高大豆产量与品质方面明显优于其它处理, 垃圾肥与鸡粪处理差异不显著, 但与化肥处理相比差异极显著。

表 4 不同处理对大豆产量、蛋白质含量的影响

Table 4 Effect of different treatments on yields and protein contents in soybean grains

处理	产量 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	增加 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	蛋白质 /%	增加 /%
化肥	3003.6A	-	40.16A	-
垃圾肥	3271.3B	267.7	41.18B	2.54
富磷垃圾肥	3375.0D	371.4	42.08D	4.78
鸡粪	3290.4BC	286.8	41.30BC	2.84

### 3 结论与讨论

#### 1) 城市生活垃圾堆肥对外源无机磷素的转化

研究表明,城市生活垃圾堆肥过程中可明显提高难溶性磷矿粉的转化能力,与堆肥前相比,有机态磷、活性有机磷、中等活性有机磷、中稳性有机磷、高稳性有机磷及速效磷含量增加幅度依次为:74.93%、212.69%、80.36%、61.21%、62.74%、157.89%。一般情况下,城市生活垃圾堆肥过程中对外源无机磷的转化主要来源于堆肥过程中产生的有机酸类物质及微生物的代谢活动。试验证明在堆肥的中前期,各种形态的有机磷及速效磷含量增加明显,但在堆肥腐熟时期,由于有机酸的含量明显减少,一部分被转化的磷素可能又被重新固定。因此,在城市生活垃圾堆肥过程中提高对磷素转化能力,应将解磷的重点放在微生物量磷上,即通过微生物的代谢活动将难溶性磷转化为有机态磷贮存在体内。但目前市场的解无机磷细菌均为常温菌,不适合于堆肥的高温环境。由于城市生活垃圾含有较多的解磷及产酸微生物<sup>[6]</sup>,若能被筛选、纯化,经过诱导或基因重组技术,得到优势菌种,接种于堆肥中,将对难溶性磷的转化产生一个质的飞跃。

#### 2) 富磷垃圾肥对土壤磷素吸附特性及产量影响

施用富磷垃圾肥,可明显提高作物产量并能改善土壤对磷素的吸附特性。本试验条件下与化肥相比,施用富磷垃圾肥大豆籽粒增产 371.4 kg/hm<sup>2</sup>、蛋白质含量增加 4.78%;土壤磷素的吸附参数 ( $Q_m$ 、 $Q_m \cdot K$ 、 $EPC_0$ ) 均显著降低,而  $DPS$  则呈相反的趋势,这可能与有机肥中可溶性有机物质包被土壤磷素的吸附点<sup>[11]</sup>;有机肥中的有机酸分子对无机磷的活化作用<sup>[12]</sup>或者竞争吸附点和阻止溶液中磷素沉淀等多种因素有关<sup>[13]</sup>。由于富磷垃圾肥中含大量的有机磷,经矿化分解后可与磷素的吸附点发生作用<sup>[14]</sup>,在改善土壤磷素吸附特性及提高作物产量方面明显优于其它处理。因此通过生活垃圾堆肥生产富磷垃圾肥可为中国磷矿资源的短缺及磷素利用率低等问题提供一条生物学途径。

#### [参 考 文 献]

- [1] 赵小蓉,林启美. 微生物解磷的研究进展[J]. 土壤肥料, 2001, 3: 7- 11.
- [2] 钟传青,黄为一. 提高磷矿粉肥效的生物学途径[J]. 化肥工业, 2002, 29(2): 15- 17.
- [3] 陆文龙,曹一平,张福锁. 低分子量有机酸对不同磷酸盐的活化作用[J]. 华北农学报 2001, 16(1): 99- 104.
- [4] 陆海明,盛海君,毛健,等. 有机酸根阴离子对土壤无机磷生物有效性的影响[J]. 扬州大学学报, 2003, 24(2): 49- 53.
- [5] 李国学,张福锁. 固体废物堆肥化与复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [6] 尹瑞龄,许月蓉,顾希贤. 解磷接种物对垃圾堆肥中难溶性磷酸盐的转化及在农业上的应用[J]. 应用与环境生物学报, 1995, 4(1): 373- 378.
- [7] Wei Zimin, Wang Shiping, Xu Jinggang. The technology of the municipal solid wastes composting[J]. Nature and Science, 2003, 1(1): 91- 94.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 166- 186.
- [9] Sharpley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and Options[J]. Environ. Qual., 1994, 23: 437- 451.
- [10] Zhou M F, Li Y C. Phosphorus sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the southern evelades and adjacent farmlands [J]. Soil Sci Soc Am J, 2001, 65: 1404- 1412.
- [11] 赵晓齐,鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7- 13.
- [12] 章永松,林咸永,罗安程,等. 有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究 I. 有机肥(物)对土壤不同形态无机磷的活化作用[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145- 150.
- [13] Inskeep W P, Silvertooth J C. Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic, and tannic acids[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 52: 941- 946.
- [14] Lyamuremye F, Dick R P, Baham J. Organic amendments and phosphorus dynamics I. Phosphorus chemistry and sorption[J]. Soil Sci, 1996, 161(7): 426- 435.

## Effects of municipal solid waste composting on solubilization of insoluble phosphate and soil phosphorus sorption characteristics

Wei Zimin<sup>1,2</sup>, Xi Beidou<sup>1</sup>, Wang Shiping<sup>3\*</sup>, Zhao Yue<sup>2</sup>, Yang Yanmei<sup>1</sup>, He Liansheng<sup>1</sup>, Liu Hongliang<sup>1</sup>

(1. Institute of Solid Waste Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China;

2. Life Science College Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

3. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** There are a lot of organic acid substances during municipal solid waste(MSW) composting that can transform insoluble phosphate. Ground phosphate rock was mixed into MSW composting; the effects of composting on ability of insoluble phosphate solubilization and the effects of composting production (P-enriched MSW

composting) on soil phosphorus sorption characteristics after being amended for two years were studied. The authors observed that by mixing ground phosphate rock into composting, the active organic phosphate, middling active organic phosphate, middling stable organic phosphate and high stable organic phosphate were increased by 212.83%, 80.36%, 61.21%, 62.74%, 157.89%, respectively. At the final stage of composting, scanning electron microscopy revealed cavities of phosphate rock powder surface. After composting productions have amended soil for two years, the results showed, in comparison with the treatment of chemical fertilizer, amending with P-enriched MSW composting could influence phosphorus sorption characteristics of the soil. Maximum phosphorus sorption capacity ( $Q_m$ ), maximum buffer capacity ( $X_m \cdot K$ ) decreased by 8.76%, 13.58%, and the degree of phosphorus saturation ( $DPS$ ) and equilibrium phosphorus concentration at zero sorption ( $EPC_0$ ) increased by 98.52%, 7.13%, respectively. This study suggests that P-enriched MSW composting could provide a biological approach to the problem of phosphate resources shortage and limited availability rate of phosphorus fertilizer in China.

**Key words:** municipal solid waste; composting; insoluble phosphate; P-enriched MSW compost; phosphorus sorption characteristics