

堆肥渗滤液循环喷淋对城市生活垃圾 好氧堆肥效果的影响

曾现来^{1,2}, 张增强¹, 张永涛¹, 孙西宁¹

(1 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国环境管理干部学院 环境工程系, 河北 秦皇岛 066004)

[摘 要] 以城市生活垃圾中的可腐有机物和一次发酵堆肥为研究对象, 以直接堆肥、回喷自来水堆肥和回喷渗滤液堆肥 3 种处理方式研究了堆肥过程中好氧堆肥渗滤液对堆肥过程的影响。结果表明, 经过 12 d 的堆肥后, 回喷渗滤液堆肥处理的温度明显高于直接堆肥和回喷自来水堆肥; 一次发酵结束后, 与初始物料相比, 回喷渗滤液堆肥处理的挥发性固体(VS)含量下降 38%, 大于直接堆肥的 13% 和回喷自来水的 25%; 发酵结束后, 回喷渗滤液堆肥处理的 NH_4^+-N 含量低于直接堆肥和回喷自来水处理; 堆料中的 NO_3^--N 含量在 3 种堆肥处理中, 前 3 d 没有明显区别, 但在第 6 天降温阶段, 回喷渗滤液堆肥处理的 NO_3^--N 含量为 5.2 mg/g, 高于直接堆肥处理的 3.0 mg/g 和回喷自来水处理的 3.5 mg/g; 对于堆料高度, 回喷渗滤液堆肥的堆高下降了 60%, 大于其他 2 种堆肥处理; 从堆料 pH 的变化来看, 回喷渗滤液处理比回喷自来水处理更能加速堆肥的进程; 以 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 之比作为堆肥腐熟的判断指标, 回喷渗滤液堆肥处理的 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 比值为 0.019, 比其他处理的更小。可见, 回喷渗滤液在一定条件下可加速堆肥的腐熟。

[关键词] 城市生活垃圾; 好氧堆肥; 渗滤液; 堆肥腐熟度

[中图分类号] X705

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)07-0183-05

Leachate recycling during municipal solid waste aerobic composting process

ZENG Xian-lai^{1,2}, ZHANG Zeng-qiang¹, ZHANG Yong-tao¹, SUN Xi-ning¹

(1 College of Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Department of Environmental Engineering, Environmental Management College of China, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract : Municipal solid waste was composted in laboratory device with aeration to study the effect of compost leachate recycling on biodegradation. The three types of composting including direct composting, tap water recycling composting and leachate recycling composting were studied during the main biodegradation phase. The results indicated as follows: the temperature of leachate recycling composting was much higher than those of direct composting and water recycling composting; volatile solid (VS) content of leachate recycling composting decreased 38%, VS content of direct composting decreased 13%, and VS content of water recycling composting decreased 25%; NH_4^+-N content of leachate recycling composting was higher than that of the other composting, owing to NH_4^+-N accumulating; there was no distinction about NO_3^--N content among all the composting at the beginning, but in the end NO_3^--N content of leachate recycling composting was 5.2 mg/g, while the content of direct composting was over 3.0 mg/g and 3.5 mg/g

* [收稿日期] 2006-05-26

[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2003 K02- G13-03; 2005 K02- G05-04)

[作者简介] 曾现来(1980-), 男, 山东东平人, 硕士, 主要从事固体废物控制与资源化研究。

[通讯作者] 张增强(1963-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事固体废物处理与处置研究。

E-mail: zqzhang@nwsuaf.edu.cn

of water recycling composting ;compost height of leachate recycling composting decreased more than that of the other composting ;Judging from variation of p H ,composting was accelerated by leachate recycling ;compost maturity could depend on $\text{NH}_4^+ \text{-N/NO}_3^- \text{-N}$ ratio .Leachate recycling composting was better than the other composting because $\text{NH}_4^+ \text{-N/NO}_3^- \text{-N}$ ratio of leachate recycling composting was lower than that of the others .

Key words : municipal solid waste (MSW) ;aerobic composting ;leachate ;maturity

城市生活垃圾由于含有大量的水分和可腐有机物,易于腐败,在卫生填埋过程中会产生一定量的渗滤液。垃圾填埋渗滤液属于高浓度有机废水,如果不加处理,则会对环境造成严重污染。此外,城市生活垃圾在好氧堆肥过程中也会产生渗滤液,但由于通风环境好,渗滤液产生量较填埋过程中要小,但其同样是一种高浓度的有机废水,具有一定的可生化性^[1-3]。有研究表明,填埋渗滤液中含有发酵过程所需的驯化微生物,如果将渗滤液回喷至填埋场,其将促进物料的分解^[4]。虽然垃圾堆肥过程中渗滤液产生量较小,但其对环境的污染不可忽视。目前,有关

城市生活垃圾堆肥渗滤液的研究罕见报道。本试验以城市生活垃圾和一次发酵堆肥为原料,研究垃圾堆肥渗滤液对堆肥过程的影响,以为垃圾堆肥渗滤液的处理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试堆料由垃圾中可腐部分与一次发酵堆肥组成,其特性见表 1。两部分总质量 30 kg,按质量比 1 1 混合,混合堆料的 C/N 为 27.5 1,物料粒径 3~6 cm,挥发性固体(VS)的含量为 65.0 %。

表 1 供试堆料的特性

Table 1 Characteristics of experimental material

原料 Material	含水率/ % Moister content	VS/ %	C/ N	p H
可腐垃圾 Biodegradable MSW	75.0	85.0	35 1	6.2
一次发酵堆肥 Main degradation compost	45.0	45.0	20 1	7.1

1.2 试验设备

堆肥仓由布水系统、布气系统和堆料 3 部分组成,主体大小为 1.0 m ×0.5 m ×0.6 m。试验装置如图 1 所示,装置的结构参数见参考文献[5]。堆肥

过程中,通风周期为每 40 min 通风 5 min,通风量 0.055 m³/ min。供试堆料在堆肥仓中呈立方体,堆高为 0.42 m,在仓中均匀混合。

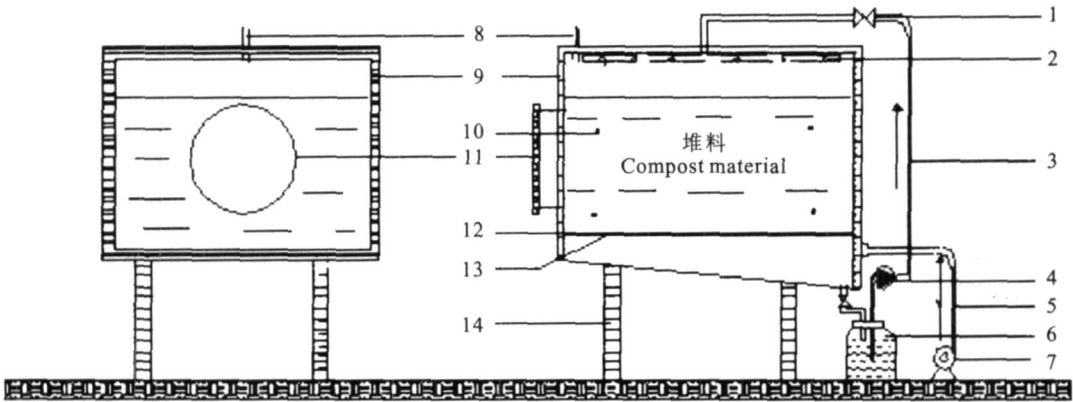


图 1 堆肥装置的正视图 and 侧视图

1. 阀门;2. 布水孔;3. 给水管;4. 水泵;5. 给气管;6. 水桶;7. 风机;8. 排气管;9. 保温层;10. 温度计插孔;11. 进出料口;
12. 布气板;13. 布气孔;14. 支持架

Fig.1 Front elevation and end elevation of composting device

1. Valve;2. Bore for water distribution;3. Pipe for water supply;4. Bump;5. Pipe for air supply;6. Water barrel;7. Air blower;
8. Bore for air discharge;9. Foam door for the sample;10. Bore for thermometer;11. Door for composting material;
12. Screen;13. Bore for air distribution;14. Bracket

1.3 试验方法

为进行对比试验,堆料进行以下 3 种处理:(1)直接堆肥。堆料初始含水率(moister content,MC)为 60.0 %。(2)回喷渗滤液堆肥。堆料先风干到含水率为 53.8 %,堆肥第 1 天回喷渗滤液 4 L(此渗滤液是以前堆肥试验产生的,其体积为 2 L,稀释 1 倍后进行回喷,目的是调节堆料的含水率约为 60.0 %);第 2 天产生渗滤液 1.9 L,该渗滤液全部回喷;第 3 天产生渗滤液 0.6 L,截至第 4 天共产生渗滤液 1.0 L,该渗滤液也全部回喷;在以后时间无渗滤液产生。(3)回喷自来水堆肥。为了与回喷渗滤液进行对比,回喷自来水堆肥的堆料先风干至含水率为 53.8 %,堆肥第 1 天回喷自来水 4 L,第 2 天均匀加入 1.9 L,第 4 天加入 1.0 L。

1.4 测定方法

每次取样前,均匀翻堆,根据需要取适量的样品测定。通过温度计插孔(图 1)测定堆肥仓中间的温度,结果取 5 支温度计的平均值。堆料高度通过直尺测定。含水率的测定是将一定量的鲜样置于 105 的烘箱(DL109)中烘至恒重,需时约为 24 h;取一定量的风干样置于 550 马弗炉(MFJ-10 T)里灼烧 4 h 后,计算减重量。将新鲜堆肥样品与去离子水

按质量体积比 1 10 浸提后,用 pH 计(Thermo 210A+)测定 pH 值。新鲜堆肥样品与去离子水按质量体积比 1 5 浸提,将浸出液经微孔玻璃纤维滤膜($\varphi=0.45\ \mu\text{m}$)抽滤后,用比色法(Orion AQ4000 比色计)测定滤液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量。

2 结果与分析

2.1 3 种堆肥方式下城市生活垃圾好氧堆肥过程中的参数变化

2.1.1 温度 合适的温度是堆肥过程顺利进行的最关键因素之一。3 种堆肥处理的外界温度在 26 ~ 28 ,均大于堆肥顺利进行的温度 5.8 [6-7]。由图 2 可知,直接堆肥处理的堆肥温度(compost temperature,CT)上升缓慢,直到第 5 天才达到最高温度 52 。回喷自来水堆肥处理的 CT 上升较快,于第 3 天达到最高温度 45 ,随堆肥时间延长,CT 下降较快,大约在第 8 天,CT 降至室温。回喷渗滤液堆肥处理的 CT 上升很快,于第 4 天上升到最高温度 62 ,第 3 ~ 5 天温度保持在 55 左右;随着堆料中有机质的减少,CT 下降,堆肥 11 天时 CT 为 35 左右。由此可知,回喷渗滤液可使堆料温度上升快、保持时间长,更能满足堆肥的要求。

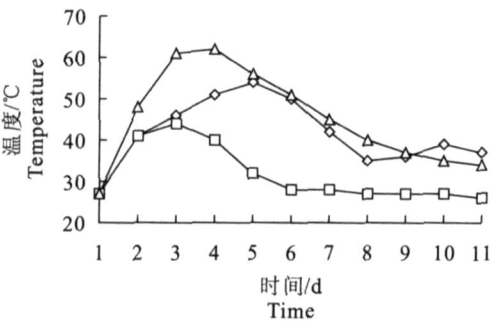


图 2 3 种堆肥方式下堆肥温度(CT)的变化

- - - 直接堆肥; - □ - 回喷自来水; - △ - 回喷渗滤液

Fig.2 Variation of CT during 3 treatments composting

- - - Direct composting; - □ - Water recycling;
- △ - Leachate recycling

2.1.2 挥发性固体(VS)的含量 堆肥过程是利用微生物分解和转化原料中的不稳定有机质的过程。VS 代表堆肥中可被微生物利用的总能量,影响着堆肥过程的温度变化[8]。从图 3 可以看出,3 种堆肥处理 VS 含量均呈下降的趋势。其中直接堆肥处理的 VS 含量从第 1 天至第 8 天下降缓慢,这是直接堆肥温度上升缓慢的主要原因;与第 1 天相比,第 8

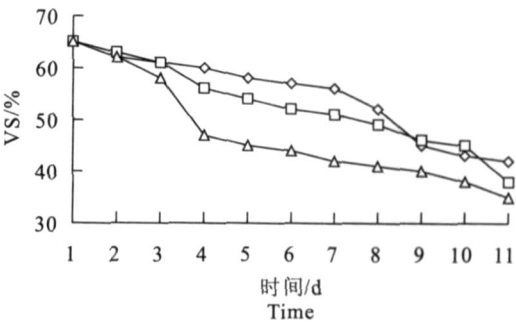


图 3 3 种堆肥方式下挥发性固体(VS)含量的变化

- - - 直接堆肥; - □ - 回喷自来水; - △ - 回喷渗滤液

Fig.3 Variation of VS content during 3 treatments composting

- - - Direct composting; - □ - Water recycling;
- △ - Leachate recycling

天的 VS 含量下降了 13 %。回喷自来水堆肥处理中,VS 含量几乎呈直线性下降,与第 1 天相比,第 8 天的 VS 含量下降了 25 %。回喷渗滤液处理中,VS 含量变化可分为 2 个阶段:第 1 阶段为 VS 含量快速下降阶段(第 1 ~ 4 天),由于 VS 剧烈分解促使该阶段 CT 上升很快;第 2 阶段为 VS 含量缓慢下降阶段(第 4 ~ 10 天),这段时间内 CT 快速下降,从反面

验证了 VS 的变化规律;一次发酵结束后,与该处理方式的初始物料相比,VS 含量下降了 38 %。由此可以看出,回喷渗滤液处理可以加速堆料中有机质的分解,促进堆料的腐熟。

2.1.3 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是由垃圾中含氮有机物在高温条件下发生氨化作用生成的,其变化趋势主要取决于堆肥温度和堆料中氨化细菌的活性^[9]。图 4 表明,3 种堆肥处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量变化规律均呈倒“V”形。即在堆肥初期,由于温度逐渐升高,含氮有机物降解, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大量产生,使堆料中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量增高。随着堆肥的进行,可降解氮成分减少, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 产生量随之减少;同时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 因硝化作用增强和通风而挥发,其含量逐步减少。图 4 显示,回喷渗滤液堆肥处理的堆料中,由于渗滤液回喷造成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的积累和氨化作用,使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量先急剧上升,这与王琪等^[10]的研究基本一致。堆料中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量最高值为 0.68 mg/g,大于其他两种堆肥处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量最

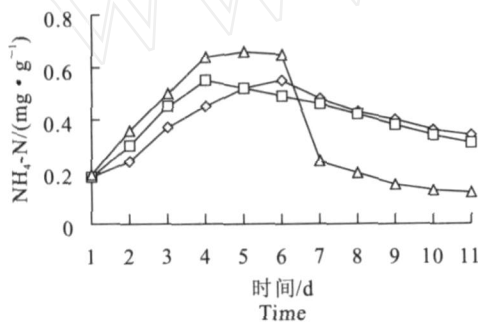


图 4 3 种堆肥方式下 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的变化
- - - 直接堆肥; - □ - 回喷自来水; - △ - 回喷渗滤液

Fig. 4 Variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content during 3 treatments composting

- - - Direct composting; - □ - Water recycling;
- △ - Leachate recycling

2.1.5 堆料高度 堆料高度在一定程度上反映了堆肥的进程,受堆料湿度、堆肥进程和堆肥部位等因素的影响^[15]。图 6 给出了 3 种堆肥处理堆料高度的变化,即 3 种堆肥处理的堆料高度均呈下降趋势,其中在第 2 天堆料高度变化较快,主要原因是堆料的自身重力压实所致;从第 3 天至一次发酵结束,堆料高度降低的主要原因是堆肥温度上升,微生物对堆料的发酵分解,使其体积减小。回喷自来水堆肥处理在第 8 天堆料体积较最初减少 46 %;回喷渗滤液的堆肥处理在第 11 天堆高降至最低,体积减少 60 %。

高值(0.55 mg/g),表明渗滤液回喷更大程度地促进了堆料的降解;堆肥结束时,堆料中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量为 0.10 mg/g,低于直接堆肥和回喷自来水堆肥处理,表明该堆肥更接近腐熟^[11]。

2.1.4 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量是堆肥进行到一定程度,在硝化细菌的作用下由 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化成的,因而其增加可以作为堆肥腐熟的指标之一^[11-13]。由图 5 可知,3 种堆肥处理的 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量变化基本一致:堆肥前期(前 2 天), $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量保持在一个较低的水平;升温阶段(第 4 天后),堆料中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量由于硝化细菌活动的加剧而上升,其中由于回喷渗滤液处理的堆料温度更高,抑制了硝化细菌的活动,图 5 显示第 8 ~ 9 天,回喷渗滤液处理的 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量增速极缓;降温阶段(9 ~ 11 天),细菌活性增强,使得各处理方式下堆料中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量增大,这与李承强等^[14]在污泥堆肥试验中所得堆肥结束时, $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量显著增加的结论一致。

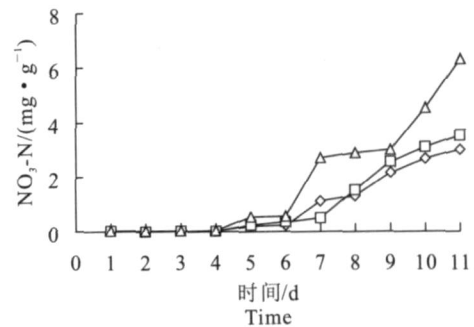


图 5 3 种堆肥方式下 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量的变化
- - - 直接堆肥; - □ - 回喷自来水; - △ - 回喷渗滤液

Fig. 5 Variation of $\text{NO}_3^+\text{-N}$ content during 3 treatments composting

- - - Direct composting; - □ - Water recycling;
- △ - Leachate recycling

2.1.6 pH 值 pH 值的变化是揭示堆肥进程比较直观的参数,适宜的 pH 值可使微生物有效地发挥作用,保留堆料中有效氮的成分,pH 太高或太低均会影响堆肥的效率。Epstein E 等^[16]发现,堆肥过程中高温阶段维持时间最长时,pH 值在 6.5 ~ 9.6。从图 7 可以看出,直接堆肥处理的 pH 值先上升然后在第 3 天下降到 6.0 以下,这与 H_2CO_3 的生成有关^[17];从第 3 天以后,由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的生成,堆料的 pH 上升,在第 10 天升至 8.5 左右。堆肥初期(第 1 ~ 2 天),回喷自来水和回喷渗滤液堆肥处理的 pH 值均没有下降,从最初的 6.1 升至第 4 天的 8.5 和

7.8,然后由于 NH_4^+-N 的挥发而使 pH 值略有下降,这与 Emeterio IJ 等^[18]的堆肥试验中 pH 的变化趋势基本一致。堆肥结束(第 11 天)时,回喷自来水和回喷渗滤液处理的 pH 值分别为 8.1 和 7.3。

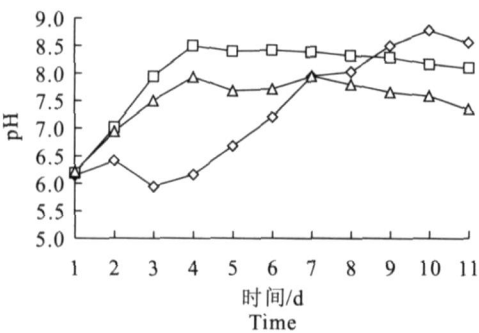


图 6 3 种堆肥方式下堆料高度的变化
- - -直接堆肥; - □- .回喷自来水; - . - .回喷渗滤液
Fig.6 Variation of compost pile height during 3 treatments composting
- - -Direct composting; - □- .Water recycling; - . - .Leachate recycling

2.2 3 种堆肥方式下城市生活垃圾的堆肥腐熟度
堆料中 NH_4^+-N 含量的减少和 NO_3^--N 含量的增加可作为堆肥腐熟的标志^[20],且前人研究表明,当 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 的比值小于 0.16 时,说明堆肥基本腐熟^[21]。本研究也以 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 的比值作为判定堆肥腐熟度的指标。据此可知,一次发酵结束后,直接堆肥、回喷自来水堆肥和回喷渗滤液堆肥处理的 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 分别为 0.113,0.088 和 0.019,证明 3 种堆肥处理都是成功的,只是回喷渗滤液处理更能加快堆肥的腐熟。

3 结 论

垃圾堆肥渗滤液是高浓度有机废水,如果不加以处理会严重污染堆肥场的环境。本研究以可腐有机垃圾和腐熟垃圾的混合物为研究对象,将垃圾堆肥过程中产生的渗滤液回喷到堆肥物料中,通过监测不同处理堆料的温度、VS 含量、 NH_4^+-N 含量、 NO_3^--N 含量及堆料高度等的变化,以 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N} < 0.16$ 作为判断堆肥腐熟度的指标,验证了城市生活垃圾好氧堆肥渗滤液再循环与直接堆肥和回喷自来水堆肥相比,可促进堆肥的稳定、加速堆肥腐熟的进程。

[参考文献]

[1] Nuray ̇,Nagehan D K. The ability of plant compost leachates to control black mold and to induce the accumulation of anti-

有研究指出,堆肥腐熟时堆料一般呈中性或弱碱性^[19]。从 pH 变化也可以看出,回喷渗滤液比回喷自来水和直接堆肥更能加速堆肥的进程。

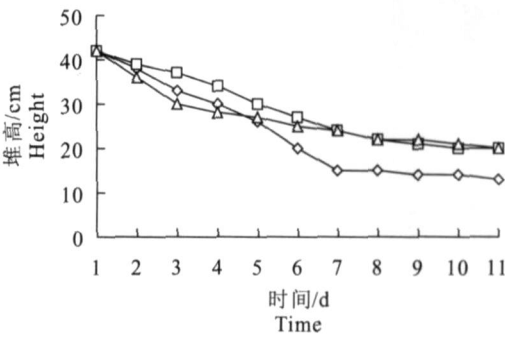


图 7 3 种堆肥方式下 pH 的变化
- - -直接堆肥; - □- .回喷自来水; - . - .回喷渗滤液
Fig.7 Variation of pH during 3 treatments composting
- - -Direct composting; - □- .Water recycling; - . - .Leachate recycling

fungal compounds in onion following seed treatment [J]. Bio Control ,2006 ,51 (2) :229-243.
[2] Stewart D P C,Cameron K C,Cornforth I S,et al. Release of sulphate-sulphur, potassium, calcium and magnesium from spent mushroom compost under field conditions [J]. Biology and Fertility of Soils,2000 ,31 (2) :128-133.
[3] 闵庆文,裴晓菲,余卫东. 我国城市垃圾及其处理现状、问题与对策[J]. 城市环境与城市生态,2002 ,15 (6) :51-54.
[4] 孙英杰,宫殿松. 渗滤液回灌加速填埋场稳定化的机理与影响因素[J]. 青岛建筑工程学院学报,2003 ,24 (1) :18-21.
[5] 曾现来,张增强,张永涛,等. 城市生活垃圾堆肥试验装置的设计[J]. 环境污染治理技术与设备,2006 ,7 (10) :109-112.
[6] 金 樑,顾宗濂,林先贵,等. 垃圾堆肥资源化若干问题研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2000 ,6 (4) :388-393.
[7] 李艳霞,王敏健,王菊思. 环境温度对污泥堆肥的影响[J]. 环境科学,1999 ,20 (6) :63-66.
[8] 徐 红,樊耀波,贾智萍,等. 时间温度联合控制的强制通风污泥堆肥技术[J]. 环境科学,2000 ,21 (6) :51-55.
[9] 贺 琪,李国学,张亚宁,等. 高温堆肥过程中的氮素损失及其变化规律[J]. 农业环境科学学报,2005 ,24 (1) :169-173.
[10] 王 琪,董 路,李 姮,等. 垃圾填埋场渗滤液回流技术的研究[J]. 环境科学研究,2000 ,13 (3) :1-5.
[11] Zucconi F,de Bertoldi M. Compost specification for the production and compost from municipal solid waste[C] de bertoldi M,Ferranti M P,Hermite P L,et al. Compost: Production, Quality and Use. London: Elsevier Applied Science, 1987 :30-50.
[12] 李国学,张福锁. 固体废弃物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京:化学工业出版社,2000.

(下转第 192 页)

3 结 论

GICA 检测法由于不用接触到黄曲霉毒素标准品,所以检验人员的安全性有了很大提高,其快速、简便的优势已使其成为检测发展的趋势。本研究结果初步证实了盐、重金属离子和脂肪等成分对检测结果具有影响,其中重金属离子的影响程度为: $\text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{As}^{3+}$ 。进一步研究表明,由于 GICA 方法中的金纳米颗粒的活性较高,对某些基质特殊的样品检测时会出现假阳性(阴性)结果,对这些样品进行特殊处理后(如氯仿萃取),可消除其对纳米金颗粒稳定性的影响,防止出现假阳性或假阴性,提高了测定的准确性^[11-12]。由于所检测的样品种类繁多,体系各不相同,预处理的提取步骤很多,这既影响测定速度,也影响回收率,怎样使预处理既快又准,还需后续研究才能确定。

[参考文献]

- [1] Paek S H, Lee C W, Yook S, et al. Performance control strategies of one-step immuno-chromatographic assay system for *Salmonella typhimurium*[J]. *Anal Lett*, 1999, 32:335-360.
- [2] Richard J L, Payne G A. Mycotoxins: risks in plant, animal and humans[M]. Iowa: Council of Agricultural Science and Technology (CAST), 2003:139-199.
- [3] Horton J K, Swinburne S, Sullivan M J. A novel, rapid, single-step immunochromatographic procedure for the detection of mouse immunoglobulin[J]. *J Immuno Method*, 1991, 140:131-134.
- [4] Sun X L, Zhao X L, Tang J, et al. Preparation of gold-labeled antibody probe and its use in immunochromatography assay for detection of aflatoxin B₁[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, 99(3):185-194.
- [5] Sun X L, Zhao X L, Tang J, et al. Development of an immuno-chromatographic assay for detection of aflatoxin B₁ in foods[J]. *Food Control*, 2006, 17(1):256-262.
- [6] Horwitz W. Official Methods of Analysis of AOAC[M]. Gaithersburg: AOAC International, 2000:56-70.
- [7] 赵晓联, 龚 燕, 孙秀兰, 等. 金标免疫层析法检测黄曲霉毒素 B₁ 的方法[J]. *食品粮油科技*, 2005, 13(6):49-51.
- [8] 赵晓联, 赵春城, 纽伟民, 等. 酶联免疫吸附法测定黄曲霉毒素 B₁ 误差分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2001, 11(4):473-474.
- [9] 孙秀兰, 赵小联, 汤 坚. 大米中黄曲霉毒素 B₁ 提取方法优化[J]. *食品科学*, 2004, 25(7):128-131.
- [10] 孙秀兰, 张银志, 汤 坚, 等. 黄曲霉毒素 B₁ 金标检测体系建立过程中的影响因素[J]. *食品与生物技术学报*, 2006, 25(6):37-41.
- [11] 龚 燕, 赵春城, 张东升, 等. ELISA 法检测五类食品中黄曲霉毒素 B₁ 前处理方法的改进研究[J]. *食品工业科技*, 2003, 24(4):82-84.
- [12] 陆茂林, 蔡建荣, 赵晓联, 等. 标记免疫分析技术在食品分析中的应用[J]. *中国卫生检验杂志*, 2002, 2(11):60-62.
- [13] Riffaldi R, Levi-Minzi R P, de Bertoldi M. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses[J]. *Waste Management & Research*, 1986, 4:87-96.
- [14] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度[J]. *环境科学*, 2001, 22(3):60-65.
- [15] Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Integrated solid waste management-engineering principles and management issues[M]. 北京:清华大学出版社, 2000:305.
- [16] Epstein E, Willson G B, Parr J F. The Beltsville aerated pile method for composting sewage sludge[C]. *New Process of Waste Water Treatment and Recovery*. London: Soc of Chem Ind, 1977:201-213.
- [17] 蔡建成, 李国珍, 范 毅, 等编译. 堆肥工程与堆肥工厂[M]. 北京:机械工业出版社, 1990:132-141.
- [18] Emeterio I J, Garcia V P. Composting of domestic refuse and sewage sludge. I: Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity[J]. *Resource, Conservation and Recycling*, 1991, 6:45-60.
- [19] Tiquai S M, Richard T L, Honeyman M S. Carbon, nutrient, and mass loss during composting[J]. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 2002, 62:15-24.
- [20] Riffaldi R, Levi-Minzi R P, Bertoldi M. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses[J]. *Waste Management & Research*, 1986, 4:87-96.
- [21] 张 桥, 吴启堂, 黄焕忠, 等. 城市污泥与稻草堆肥的腐熟度指标研究[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(4):782-786.

(上接第 187 页)