

不同堆置措施对园林有机废弃物堆肥有机物降解的影响

郑卫聪¹, 王 俊², 王晓明¹, 陈晓蓉², 毛小云^{2,3}

(1 深圳市绿化管理处, 广东 深圳 518000; 2 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642;
3 华南农业大学 理学院, 生物材料研究所, 广东 广州 510642)

摘要:采取不同的堆置措施,研究了调节 C/N 和添加复合菌剂对园林废弃物堆肥过程中有机物降解的动态变化和生物学指标的影响.结果表明:调节 C/N 和添加复合菌剂有利于堆肥温度的升高和腐熟的加快,降低堆肥的毒性,促进挥发性固体的降解,能加速有机质、总腐植酸和游离腐植酸的分解,提高堆肥中的胡富比,加快堆肥的腐熟和提高堆肥质量;调节 C/N 并添加复合菌剂的堆置措施比只进行 C/N 调节的措施更有利于堆肥的快速腐熟以及堆肥产品质量的提高.

关键词:堆置措施; 园林有机废弃物; 堆肥; 有机物

中图分类号:S141.4;X705

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)01-0028-05

Effects of Different Disposing Measures on the Organics Degradation During the Organic Garden Waste Composting

ZHENG Wei-cong¹, WANG Jun², WANG Xiao-ming¹, CHEN Xiao-rong², MAO Xiao-yun^{2,3}

(1 Shenzhen Greening Management Office, Shenzhen 518000, China;

2 College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3 Institute of Biomaterial, College of Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to investigate the effects of the C/N ratio and bacterial reagent addition on dynamic changes of organics degradation and biological indicators during the organic garden waste composting, a compost test with different disposing measures was conducted. The results showed that the adjustment of C/N ratio and the bacterial reagents addition benefited the compost temperature rising and acceleration of maturity, reduced the compost toxicity, promoted the degradation of volatile solids, accelerated the decomposition of organic carbon, the total and free humic acid, increased the HA/FA ratio, and improved the compost quality. The results indicated that the adjustment of C/N ratio combined with the bacterial reagents addition was more effective to the maturity and quality improvement of compost than the only regulating C/N ratio.

Key words: disposing measures; organic garden waste; compost; organics

园林有机废弃物是指城市园林绿化养护过程中所产生的乔灌木修剪物、草坪修剪物、杂草、枯枝落叶等废弃物.早在20世纪90年代,不少发达国家已颁布法令禁止园林有机废弃物的填埋和焚烧处理^[1],受政策、资金和技术等多方面的影响目前国内

大部分城市的园林有机废弃物仍然采用填埋或焚烧等处理途径^[2-3],随着城市绿化建设的快速发展,园林有机废弃物的产生量迅速增加,填埋或焚烧等非资源化的处理方式在填埋土地紧张和潜在的环境污染风险等压力下,已越来越不适应城市发展要求.园

收稿日期:2010-12-01

作者简介:郑卫聪(1972—),男,工程师;通信作者:毛小云(1972—),男,副教授,E-mail:xymao@scau.edu.cn

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2010B090400232);国家自然科学基金(30600374,41071162);华南农业大学“211工程”三期重点建设项目(2009B010100001);深圳市城市管理局科研项目(2007)

林有机废弃物含有丰富的有机质,堆肥处理后应用于园林绿化等方面可补充土壤有机质和养分,实现养分的物质循环,被业内认为是适合城市可持续发展的处置方式^[4-6]。然而,由于园林有机废弃物 C/N 高,以纤维素和木质素等难降解成分为主,自然堆腐时间长,传统耗时占地的堆肥处理方法不能适应现代城市经济发展需要,针对园林有机废弃物特点研发快速堆肥化处理技术对促进其资源化利用实现城市节能减排具有重要意义。过去我国关于废弃物堆肥的研究主要侧重于禽畜粪便、城市污泥、生活垃圾和农业秸秆等,近年来关于园林有机废弃物堆肥方面的研究逐渐受到关注,但由于研究者多采用混合物料堆肥,在腐熟时间、腐熟评价指标等方面的研究结果存在较大的差异^[7-9]。本文对单一园林有机废弃物采用不同堆置措施,研究了堆肥过程中有机物的动态变化和生物学指标,为评价堆肥产品的品质、判定单纯园林有机废弃物堆肥的腐熟度和稳定性提供理论依据,为实现园林有机废弃物的可持续资源利用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 堆肥原料和装置

堆肥原料:园林修剪树枝等,粉碎至 5 cm 以下,由深圳市绿化管理处树枝粉碎场提供,其主要理化性状为: $w(\text{水})$ 为 40.1%,全氮 6.54 g/kg,全磷 6.17 g/kg,全钾 4.73 g/kg, $w(\text{有机质})$ 为 58.52%,C/N 为 80;复合微生物菌种(包括放线菌、真菌、细菌、芽孢杆菌、酵母菌等,总含菌不少于 $6.5 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$,各菌种不少于 $3 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$),由华南农业大学新肥料资源研究中心提供; $w(\text{N})$ 为 46% 的尿素,产自海南; $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 12% 的过磷酸钙,产自广东湛江。

堆肥场地及设备:试验在堆肥水泥槽内进行,堆肥槽长×宽×高为 12.5 m×2.0 m×1.2 m;翻堆采用槽式强力堆肥翻抛机。

1.2 堆置方案及采样方法

试验于 2008 年 4—5 月在深圳市绿化管理处树枝粉碎场进行。共设 3 个处理(每处理堆肥物料 30 m³):对照(CK),不调节 C/N 且不加菌种仅调节物料 $w(\text{水})$ 至 65%;T1,添加尿素 5 kg/m³,调节物料 C/N 至 30 左右,同时添加过磷酸钙 1 kg/m³,T2,在 T1 的基础上再添加复合菌剂 0.3 kg/m³,用水稀释后喷洒于堆肥物料中。各处理通过翻堆机将物料混合均匀并调节物料 $w(\text{水})$ 至 65% 左右,在堆肥槽中堆成长×宽×高为 12.5 m×2.0 m×1.2 m 的条形堆。

每天上午 10:00 和下午 3:00 测定堆体温度,并观察其颜色和气味变化。堆置第 3 天当堆温升至 65℃ 左右时进行第 1 次翻堆,其后每隔 2 d 翻堆 1 次。分别于堆肥第 5、11、16、25 和 31 天时取样测定相关指标,每处理分层多点取样混合以保障样品的代表性。

1.3 测定项目及方法

有机质采用 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 外加热法(NY525—2002);总腐植酸采用焦磷酸钠($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)浸提- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法;游离腐植酸采用 1% NaOH 浸提- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法^[8];胡敏酸和富里酸的测定采用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 浸提 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法;挥发性固体(VS)的测定采用 550℃ 灼烧 4 h 差重法测定^[8]。

取第 16 和 31 天样品采用稀释平板计数法测定细菌、真菌、放线菌数量。

堆肥对种子发芽的影响测定:称取 2.00 g 风干的堆肥样置于直径为 9 cm 的培养皿中,把 2 张大小合适的滤纸放入培养皿中,吸取 20 mL 蒸馏水于培养皿中,均匀放 30 粒颗粒饱满的番茄种子(品种为益丰 4 号,广州市蔬菜研究所提供),对照为蒸馏水。每个处理作 5 次重复,每 24 h 测定种子发芽率和发芽种子的芽长^[9]。发芽指数(Germination index, GI)用下式计算:

$$\text{GI} = \frac{\text{堆肥处理的种子发芽率} \times \text{种子根长}}{\text{对照的种子发芽率} \times \text{种子根长}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 堆体温度的变化情况

堆肥过程中的温度变化是评价堆肥是否腐熟的重要指标之一,高温不仅能够杀死堆料中所含致病微生物,而且能分解其中的有毒物质,保证堆肥无害化和腐熟^[9-10]。图 1 是各处理堆体的温度变化曲线。图 1 的结果表明,各处理在堆制第 3 天均已达到 55℃ 以上的高温,其中 T1 升温最快,在堆制第 2 天时达到 60℃,第 3 天时达到 65℃。T2 升温亦明显快于 CK,堆肥第 2 天即达 60℃ 高温,但最高温低于 T1。这说明合理的 C/N 有利于堆温的快速升高,而复合菌剂的添加则有利于控制堆体温度过高,这也许与复合菌剂中的腐解功能菌(真菌类)的繁殖对产热菌(细菌类)的生长有抑制作用有关。在本试验中,T1 和 T2 在 60℃ 左右的高温阶段维持了 15 d 左右,CK 在 52~60℃ 之间持续了 13 d 左右,随后堆温开始下降,32 d 后稳定在 40℃ 左右。

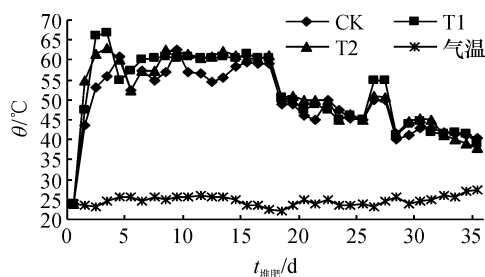


图1 堆肥过程堆体温度及气温变化情况

Fig 1 Changes of temperature during composting

2.2 有机质含量和挥发性固体 (VS) 的动态变化

堆肥腐熟是有机物的降解过程,表现为堆肥物料有机质含量的降低.由图 2a 可知,各处理有机质含量在堆肥期间呈明显的下降趋势,且表现为前期(前 11 d)降低较快,后期相对较小.这与堆肥前期易降解的有机物(如可溶性糖、有机酸、淀粉等)分解速率较快,而中后期随着易降解物质的减少,微生物需利用较难降解的有机物质(如纤维素、半纤维素和木质素等)作为碳源,分解相对缓慢有关^[11-12]. T2 堆肥有机质含量最低,在 31 d 时较堆肥开始时降低了 25.5%;其次是添加了氮磷肥的 T1,降低了 23.0%;CK 有机质降幅最小,为 19.3%.

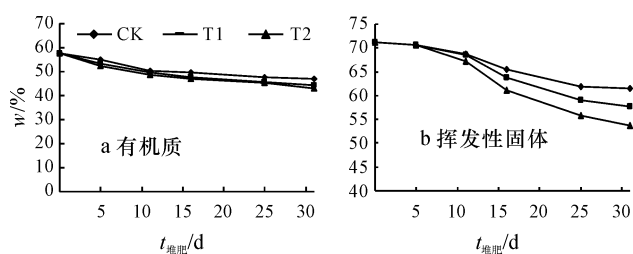


图2 堆肥有机质和挥发性固体变化情况

Fig 2 Changes of organic matter and volatile solid contents during composting

挥发性固体 (VS) 含量的变化可反映堆肥有机物降解程度的变化^[7]. VS 代表着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.在适宜的条件下,当 VS 含量高时(堆肥初期),微生物有大量可以利用的能量,使堆体温度上升,随 VS 含量的

减少,堆体温度降低^[13].

如图 2b 所示,在堆肥的过程中,VS 含量逐渐减少,其中 T2 减少幅度最大,CK 的降低幅度最小.说明在微生物的作用下,堆肥过程中部分难降解有机物也被降解.同时说明 C/N 的调节及复合菌剂的添加能促进挥发性固体的降解,有利于加快堆肥的腐熟并提高堆肥的质量.

2.3 腐植酸的变化

堆肥进程中,微生物不仅降解有机质,而且还伴随着腐殖化过程,产物中腐殖质含量及组成是评价堆肥质量的关键^[14-15]. 胡敏酸(HA)和富里酸(FA)是腐殖质的重要组成成分,在很大程度上决定腐殖质的质量^[5,8,16],游离腐殖酸指结合态的大分子腐殖酸,具有相对较高的活性,是总腐殖酸的主要组成成分,其在堆肥中的含量会直接影响到堆肥的质量及应用效果^[17].

由图 3a 可知,在堆肥的过程中,富里酸的变化经历了先降后升再降低的过程.堆肥结束时,CK 的降幅为 37.94%,T1 和 T2 分别比 CK 下降 4.54% 和 7.69%. 胡敏酸的变化情况如图 3b 所示,3 处理的胡敏酸含量变化经历了先升后降再升,最后趋于稳定,在堆肥结束时,T1 和 T2 与堆肥起始相比胡敏酸含量分别上升了 46.24% 和 59.19%,分别比 CK 高 13.37% 和 26.32%.表明 C/N 的调节及复合菌剂的添加都能促进堆肥过程中富里酸向胡敏酸转化,且添加复合菌剂能促进堆肥中胡敏酸的合成.堆肥总腐植酸与游离腐植酸含量见图 3c 和 3d,在堆肥前 16 d 各处理总腐植酸含量迅速降低,其后趋于稳定,堆肥结束时,CK、T1 和 T2 分别下降了 51.09%、59.84% 和 65.02%. T1 和 T2 相对 CK 下降速度快,说明合适的 C/N 以及复合菌剂可加速堆肥过程中总腐植酸的分解.至堆肥腐熟时,T1 和 T2 游离腐植酸含量下降幅度分别为 39.60% 和 45.29%,分别比 CK 高 10.99% 和 16.68%.表明堆肥过程中游离腐植酸中不稳定成分在合适 C/N 和复合菌剂下易被分解.

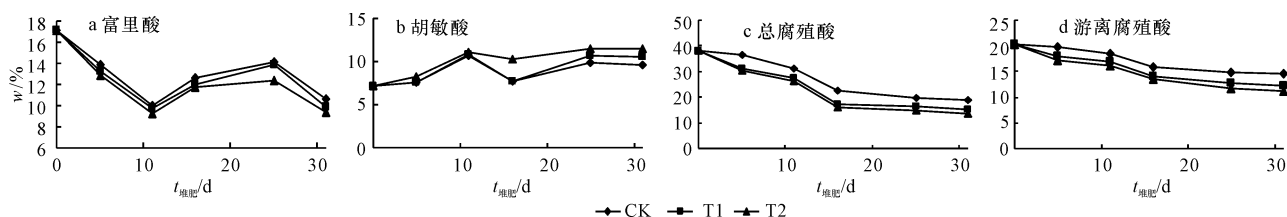


图3 堆肥过程中富里酸、胡敏酸、总腐植酸和游离腐植酸含量动态变化

Fig 3 Changes of fulvic acid, humic acid, total humic acid and free humic during composting

堆肥的腐熟度评价指标因堆肥物料的不同差异显著,尚无统一标准. Roletto 等^[18]将胡富比 $[w(\text{HA})/w(\text{FA})] \geq 1.0$ 、腐殖化速率 $(\text{HR}) \geq 7.0\%$ 、总胡敏酸碳与总有机碳之比 $(\text{CHA}/\text{CO}) \geq 3.5\%$ 、腐殖质质量分数小于3%作为木质素-纤维素类堆肥腐熟的指标,吕子文等^[9]在对园林有机废弃物与城市污泥混合堆肥的研究中认为这些指标可以作为单绿化植物废弃物堆肥腐熟评价指标. 如图4所示,胡富比在整个过程总体保持增加趋势,CK、T1、T2 分别从初始的0.41增加到堆肥结束时的0.89、1.04、1.2,

说明C/N的调节及复合菌剂的添加都可以提高堆肥中的胡富比,促进胡敏酸形成,提高堆肥产物中腐殖质含量与质量. 有研究表明^[14, 19],当HR趋于稳定时,表明堆肥已达到腐熟. 本研究T1和T2的HR在堆肥16d时变化趋于平缓,而CK在25d时趋于平缓,说明调节C/N比能显著缩短园林有机废弃物的腐熟时间.

与Roletto等^[18]提出的堆肥腐熟标准比较结果(表1)表明,在堆肥结束时,T1、T2的各指标均达到腐熟标准,而CK的胡富比指标尚未达标.

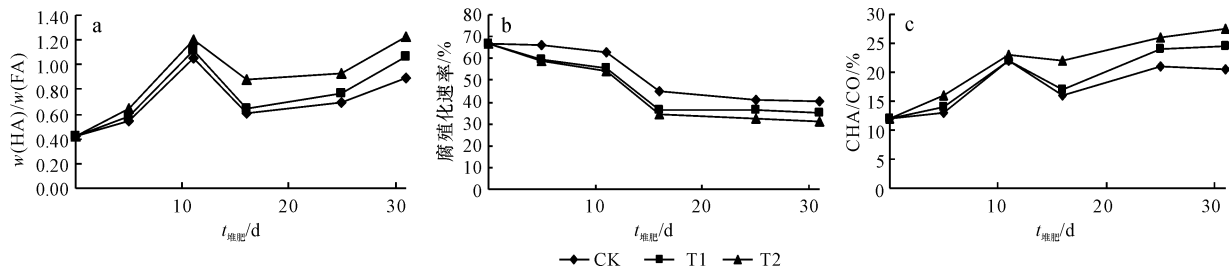


图4 不同堆肥处理中胡富比、腐殖化速率和 $w(\text{CHA})/w(\text{CO})$ 的变化

Fig 4 Changes of $w(\text{HA})/w(\text{FA})$, HR and $w(\text{CHA})/w(\text{CO})$ during composting

表1 堆肥结束时胡富比、HR、CHA/CO、腐殖质含量与 Roletto 标准比较

Tab. 1 Comparison between Roletto criteria and $w(\text{HA})/w(\text{FA})$, HR, CHA/CO and total humic acid

处理	胡富比	HR/%	CHA/CO/%	$w(\text{腐殖质})/\%$
CK	0.89	40.11	20.62	18.67
T1	1.04	34.73	23.34	15.33
T2	1.20	31.22	26.20	13.35
Roletto 标准 ^[18]	≥ 1.0	≥ 7.0	≥ 3.5	≥ 3.0

2.4 种子发芽指数的变化情况

种子发芽指数(GI)是评价堆肥腐熟度的一个非常重要的指标. 当 $\text{GI} > 50\%$ 时,即表明这种堆肥已达到可接受的腐熟度;若 $\text{GI} > 80\%$ 则表明堆肥已达到完全腐熟^[15].

由图5可知,3个处理的GI变化趋势完全相同:在堆肥的初期,呈现出短暂的上升,然后又下降,在

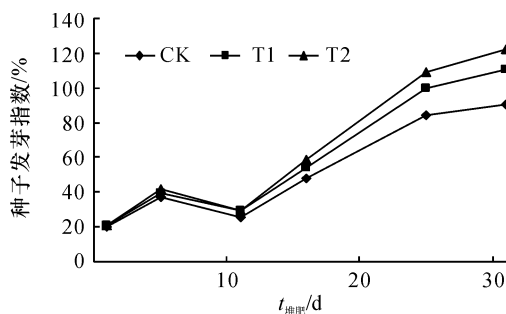


图5 种子发芽指数变化情况

Fig 5 Changes of germination index

经过一段时间的种子抵制期后,开始回升. 到第31天,各处理GI均大于等于80%,表明堆肥已基本无害于植物生长. 至堆肥腐熟时,CK的GI为90.8%,较初始值升高了351.1%,T1和T2的GI分别为110.3%和121.9%,较初始值上升了436.7%和488.0%.

2.5 微生物数量的变化情况

堆肥是由群落结构演替非常迅速的多个微生物群体共同作用而实现的动态过程,是微生物与其周围环境相互影响和相互作用的结果,所以对该过程微生物生态学过程进行监控有利于有效地管理堆肥过程^[20]. 从表2可见,堆肥中的细菌数量比放线菌和真菌高2~4个数量级. 堆肥过程中,细菌的数量最多,T2达到 $30.0 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,CK $28.0 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$. CK的细菌总数在腐熟后大幅度减少,而T1、T2的细菌总数均有明显的提高,分别达到 34.0×10^9 与 $67.0 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,由始至终,T2的细菌数量都是3种处理中最高的. 在整个堆肥过程中真菌数量都显示出明显的增加趋势,CK、T1、T2的真菌数量分别从 1.2×10^5 、 2.6×10^5 、 $11.0 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 3.1×10^6 、 7.1×10^6 、 $27.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,增加了1个数量级. 与真菌相反,放线菌数量在堆肥过程中表现出下降的趋势,从 10^7 降到 10^5 ,降低了接近2个数量级,T2的真菌和放线菌数量也高于其他2种处理. 在堆肥化过程中,微生物数量总的趋势是细菌数量最多,放线菌次之,真菌数量最少,腐熟后细菌数量仍然最多,但真

菌次之,放线菌数量最少.总的来说,T₂的三大菌数量都是最高的,再次证明T₂的堆肥处理效果最好.

表2 堆肥过程中三大菌数量变化¹⁾

Tab. 2 Changes of bacterium, fungi and actinomycetes during composting Mcfu · g⁻¹

处理	堆肥 16 d			堆肥 31d		
	细菌	真菌	放线菌	细菌	真菌	放线菌
CK	28 000a	0.12c	90b	5 300c	3.1c	0.46b
T ₁	5 400b	0.26b	53c	34 000b	7.1b	0.16c
T ₂	30 000a	1.10a	180a	67 000a	27.0a	1.70a

1) 同列数据后凡是有一个小写字母相同者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

3 讨论与结论

调节 C/N 和添加复合菌剂可以加速有机碳的分解和腐熟,加速堆肥过程中总腐植酸和游离腐植酸的分解,促进挥发性固体的降解,提高堆肥中的胡富比.堆温的升高和腐熟的加快有利于加快堆肥的腐熟和堆肥质量的提高.

采取合理的堆肥措施处理城市枯枝落叶等固体废弃物可提高堆肥品质. C/N 比是影响堆肥腐熟速度及堆肥质量的重要因素,而复合菌剂的添加不仅能加快堆肥的腐熟进程,还能增加堆肥中微生物种群和数量,有利于提高土壤肥力,减轻作物病虫害并提高作物品质.

陈广银等^[7-8]采用落叶、鸡粪、蘑菇渣等在实验室自制堆肥反应器中经过 50 d 的好氧堆肥研究了物料腐熟过程中有机物的动态变化,认为堆肥物料中腐殖质碳占总有机碳比例趋于稳定时可视为腐熟;吕子文等^[9]研究了城市污泥与园林废弃物混合堆肥,认为绿化植物废弃物的高木质素含量决定了 C/N、T 值、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{NO}_3^- - \text{N}$ 不宜作为其腐熟评价指标,但温度、腐殖化参数、种子发芽指数可作为绿化植物废弃物和污泥混合堆肥的腐熟评价指标.目前园林废弃物堆肥腐熟标准还存在争议.由于堆肥产品最终要回归土壤,为植物提供养分,堆肥腐熟的生物学指标和物理化学指标相结合有利于在实际生产中的应用.

参考文献:

- [1] SCOULDING K, REVEL R. Collecting, processing and financing yard trimming programs [J]. Biocycle Magazine, 1999(9):66.
- [2] 吕子文, 方海兰, 黄彩娣. 美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J]. 中国园林, 2007(8):90-94.

- [3] 梁晶, 吕子文, 方海兰. 园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J]. 中国园林, 2009(4):1-5.
- [4] 顾兵, 吕子文, 方海兰, 等. 绿化植物废弃物堆肥对城市绿地土壤的改良效果[J]. 土壤, 2009, 41(6):940-946.
- [5] 孙克君, 阮琳, 林鸿辉. 园林有机废弃物堆肥处理技术及堆肥产品的应用[J]. 中国园林, 2009(4):12-14.
- [6] 周肖红. 绿化废弃物堆肥化处理模式和技术环节的探讨[J]. 中国园林, 2009(4):7-11.
- [7] 陈广银, 王德汉, 吴艳, 等. 落叶堆肥过程中有机物的动态变化[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2):1-4.
- [8] 陈广银, 王德汉, 吴艳, 等. 不同时期添加蘑菇渣对落叶堆肥过程的影响[J]. 环境化学, 2008, 27(1):81-86.
- [9] 吕子文, 顾兵, 方海兰, 等. 绿化植物废弃物和污泥的堆肥特性研究[J]. 中国土壤与肥料, 2010(1):57-64.
- [10] 陈世和, 谌建宇. DANO 动态堆肥装置的特性研究[J]. 上海环境科学, 1991(12):10-13.
- [11] 陈同斌, 罗维, 郑国砥, 等. 翻堆对强制通风静态垛混合堆肥过程及其理化性质的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1):117-122.
- [12] 魏自民, 王世平, 席北斗, 等. 生活垃圾堆肥过程中腐殖质及有机态氮组分的变化[J]. 环境科学学报, 2007, 27(2):235-240.
- [13] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J]. 环境科学, 1999(2):98-103.
- [14] 刘艳华, 魏颖, 李成, 等. 生活垃圾接种微生物堆肥对腐殖组分的影响[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(1):43-47.
- [15] 国洪艳, 徐凤花, 万书名, 等. 牛粪接种复合发酵剂堆肥对腐植酸变化特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):1231-1234.
- [16] 王光玉, 陈雷, 宣世伟, 等. 生活垃圾好氧堆肥微生物接种的初步研究[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(2):20-22.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] ROLETTTO E, BARBERIS R. Chemical parameters for evaluating compost maturity[J]. Biocycle, 1985, 26(2):46-47.
- [19] 李吉进, 郝晋珉, 邹国元, 等. 高温堆肥碳氮循环及腐殖质变化特征研究[J]. 生态环境, 2004(3):332-334.
- [20] 牛俊玲, 崔宗均, 王丽莉, 等. 堆肥化过程中有机污染物生物降解的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2006(1):185-189.

【责任编辑 周志红】