

三阶段温度控制接种法对堆肥有机物质变化影响

魏自民^{1,2}, 李英军³, 席北斗², 赵越^{1*}, 刘鸿亮², 何连生², 姜永海²

(1. 东北农业大学生命科学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国环境科学研究院城市环境系统工程研究室, 北京 100012; 3. 北京农业职业学院北苑分院, 北京 100012)

摘要:为提高堆肥效率,利用生活垃圾,采用三阶段温度控制技术进行微生物接种堆肥试验,并对堆肥过程中有机物的动态变化进行分析.结果表明,在堆肥336 h,与普通接种法(CK)比较,三阶段温度控制接种法(TSCT)堆肥总有机碳(TOC)、水溶性有机碳(DOC)含量依次降低6.37%、6.57%;而腐殖质(HS)、胡敏酸(HA)、腐殖化指数(HI)分别增加了8.61%、16.75%、18.40%.通过对胡敏酸分子元素组成分析证实,堆肥后,普通接种法处理胡敏酸分子中C/H、O/C依次增加8.33%、6.25%;而三阶段温度控制法堆肥中胡敏酸C/H、O/C依次增加了18.33%、11.48%.以上结果表明,三阶段温度控制法可明显加快堆肥腐殖化进程,进而提高堆肥效率.

关键词:堆肥;三阶段温度控制接种法;水溶性有机碳;腐殖质

中图分类号:X705 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2008)02-0540-05

Effect of Using Three Stages Inoculation Controlled by Temperature on Organic Matter Transformation During Composting Process

WEI Zi-min^{1,2}, LI Ying-jun³, XI Bei-dou², ZHAO Yue¹, LIU Hong-liang², HE Lian-sheng², JIANG Yong-hai²

(1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Laboratory of Urban Environmental Systems Engineering, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Beiyuan Branch, Beijing Vocational Agriculture College, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to accelerate composting efficiency, municipal solid wastes (MSW) composting was conducted using three stages inoculation controlled by temperature (TSCT). At different composting phases, the samples were taken for the determination of organic matter transformation. Compared to routine inoculation method (CK), total organic carbon (TOC), dissolved organic matter (DOM) of TSCT decrease by 6.37%, 6.57%; and humic substance (HS), humic acid (HA), and humification index (HI) of TSCT increase by 8.61%, 16.75%, 18.40% at 336 hours of composting, respectively. Elemental analysis indicates C/H, O/C of HA molecule in CK increase by 8.33%, 6.25%; and those of TSCT increase by 18.33%, 11.48% at final stage of composting, respectively. These results all lead to the similar conclusion that TSCT would accelerate humification degree, and increase the efficiency of composting.

Key words: composting; three stages inoculation controlled by temperature; dissolved organic carbon; humic substance

微生物接种堆肥技术是利用微生物群落的多样性和微生物间的相互间协同作用,生成复杂而稳定的生态系统,加速垃圾中有机物的分解,促进堆肥材料的腐熟,消灭某些病原体虫卵和杂草种子,并控制臭气的产生,提高堆肥效率^[1,2].但由于堆肥原料复杂,接种的微生物和大量的土生微生物之间存在竞争,过高的土生微生物浓度直接影响接种微生物的生长繁殖并威胁其在堆料中的优势地位^[3,4].因此,降低土生微生物浓度,有利于接种微生物的生长繁殖.为提高接种堆肥效率采用最经济有效的办法降低土生微生物的竞争,最大程度地发挥所接种微生物的作用,席北斗等^[5]提出三阶段温度控制堆肥接种法,即合理利用堆料开始时自身产热和少许外来热源,产生高温,降低土生微生物的浓度.然后接种复合微生物菌剂,使其充分发挥作用.并通过三阶段控温技术对堆肥过程中堆料的理化性质、微生物特

性进行了阐述,但缺乏堆肥过程中腐殖质(humic substance, HS)、水溶性有机物(dissolved organic matter, DOM)等有机物质变化特性的研究.由于堆肥的实质是有机物质稳定化和腐殖化的过程,堆肥中有机物质的含量及组成特性变化可作为表征堆肥的腐殖化进程及堆肥质量的重要影响因素之一^[3,6],同时,堆肥产品施入土壤后,HS、DOM等有机物质对土壤的理化性质及生物学特性具有十分重要的影响,并且对作物的生长发育产生积极的作用^[7,8].因此,国内外相关研究者对堆肥过程中各种有机物质转化

收稿日期:2007-04-13; 修订日期:2007-05-31

基金项目:国家科技支撑计划课题项目(2006BAC06B04); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB724203); 哈尔滨学科学后备带头人基金项目(2005AFXXJ043); 农业科技成果转化基金项目(2006GB24420465)

作者简介:魏自民(1969~),男,博士,主要研究方向为固体废物处理处置, E-mail: weizm691120@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yuezhaol_2005@163.com

进行了大量的研究报道^[9~21],研究成果也为不同工艺情景下的堆肥进程提供了定性、定量判断的科学依据.基于此,本研究以提高堆肥中物质转化效率为目的,采用新型接种工艺——三阶段温度控制接种技术,系统地阐明堆肥过程有机物质的变化规律,进一步探讨三阶段温度控制接种技术对提高堆肥效率的可行性,以期为固体废物堆肥的过程控制、缩短堆肥周期、提高堆肥质量提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌种:复合微生物菌剂(自制),主要菌种包括纤维素分解菌、木质素分解菌、霉菌、固氮菌等,菌落数: 1×10^9 CFU·mL⁻¹.

生活垃圾:取自中国环境科学研究院家属区,堆肥前将难降解物质塑料、纸张、金属、砖石等进行挑选,主要元素含量为 C: 323.24 g/kg、N: 14.60 g/kg、P₂O₅: 10.02 g/kg、水分: 53.56%.

1.2 堆肥装置

堆肥装置见图 1. 其中反应筒尺寸为: 高 400 mm, 直径 330 mm, 总容积 34 L, 出气管直径 6 mm. 配有渗滤液收集装置、供气及计量系统、温控系统、出口气体在线检测仪器.

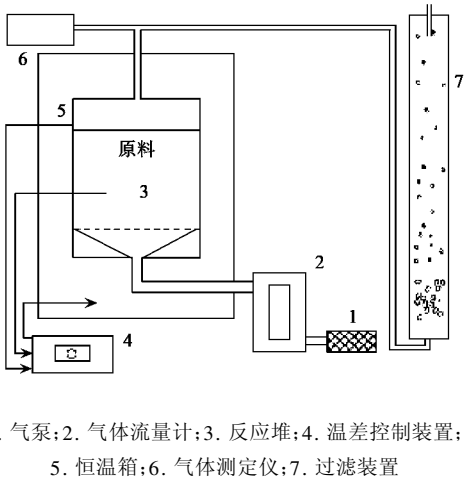


图 1 堆肥装置
Fig.1 Compost equipment

1.3 试验方法

复合微生物菌剂接种量体积与堆料干重比为 5:10(mL/kg),堆肥初期将含水率调节至 60%,供氧量为 0.5 L/(min·kg).堆料质量为 10 kg.

试验设 2 个处理,普通接种法(CK)与三阶段温度控制接种法(TSCT).

(1)普通接种法 在堆肥初期就开始接种复合微生物菌剂.

(2)三阶段温度控制堆肥法 在堆肥初期利用堆肥自身产热,然后通热空气使温度达到 70℃ 以上的高温维持 12 h,利用高温将降低土生微生物浓度,杀灭病原微生物,最后冷却到室温,然后再接种复合微生物菌剂,进行自然发酵.

1.4 样品采集

分别在堆肥的 0、48、96、144、192、240、288、336 h 采用四分法采集样品,样品总量为 500 g,风干粉碎后,过 1 mm 筛贮存备用.

1.5 测定项目与方法

有机碳测定:采用高温外加热重铬酸钾氧化-容量法.

腐殖质(HS)组分测定:采用 0.1 mol NaOH + Na₄P₂O₇ 混合液(pH = 13)提取.胡敏酸(HA)、富里酸(FA)的分离参照文献[22].腐殖酸碳、胡敏酸碳及富里酸碳均采用低温外热氧化-快速比色法^[23].

水溶性有机碳(DOC)测定:取一定质量的堆肥鲜样,按堆肥干物质重与双蒸馏水体积为 1:10(g:mL)加入蒸馏水,在室温条件下,于 200 r/min 下振荡提取 16 h,然后在 4℃,12 000 r/min 下离心 20 min,上清液过 0.45 μm 的滤膜,采用 TOC 分析仪(TOC-5000A,岛津)测定其有机碳含量.

胡敏酸元素组成分析:取 0.5 ~ 1 mg 冻干样品采用原素分析仪测定(Elementar Vario EL,德国).

2 结果与讨论

2.1 总有机碳含量(TOC)的变化

生活垃圾堆肥是在高温下,通过好氧微生物的生命活动,使有机物质分解的过程,因此生活垃圾堆肥实际上也是一个有机碳含量减少的过程,本试验也证明了这一点(图 2).随着堆肥的进行,各处理有机碳含量均呈现明显的降低趋势,与堆肥初期相比,TSCT、CK 堆肥后有机碳含量分别降低了 48.48%、45.28%.在堆肥 336 h,与 CK 比较,TSCT 有机碳的降低了 6.37%.并且在堆肥中、前期有机碳的下降幅度较大,而在堆肥后期下降幅度则趋于缓慢.这是由于在堆肥过程中,微生物首先利用易降解的在机物和简单的有机物(可溶性糖、有机酸、淀粉等)进行生命活动,有机碳的分解速率加快;而在堆肥后期,随着易分解物质被完全降解之后,微生物只能利用较难降解的有机物质(纤维素、半纤维素和木质素等)作为碳源,因此,在机碳降解速率相对缓慢.由图

2 可以看出,在堆肥不同时期内,TSCT 处理有机碳含量明显低于 CK.表明采用三阶段温度控制接种法可明显增加堆肥有机物质的降解速度.

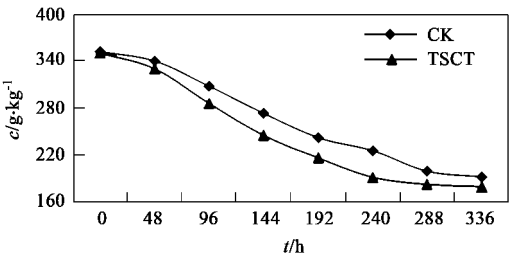


图 2 生活垃圾堆肥有机碳含量动态变化

Fig.2 Dynamic changes of organic C during the MSW composting

2.2 水溶性有机碳(DOC)含量的变化

图 3 表明,堆肥过程中,DOC 含量总体呈明显的下降趋势.但在堆肥的初期(0~48 h),DOC 浓度相对稳定,这是由于在堆肥的升温阶段,虽然微生物的生命活动要消耗一定的 DOC,但由于易分解脂肪、碳水化合物的快速降解,生成 DOC,使堆体中 DOC 得到补充.随着堆肥的进行,微生物迅速繁殖,堆体中 DOC 逐渐被微生物利用,至使 DOC 浓度明显降低.与堆肥初期相比,堆肥后 TSCT、CK 处理 DOC 下降幅度依次为:37.38%、41.20%.在堆肥的 336 h,与 CK 比较,TSCT 处理 DOC 降低了 6.57%.在堆肥周期内,TSCT 处理 DOC 浓度均明显低于 CK.由于微生物不能直接利用堆料中的固相成分,需通过微生物分泌胞外酶将堆料中的可降解成分水解为水溶性成分才能加以利用,因此通过水溶性成分随堆肥过程的变化,可以判断堆肥的腐熟度.研究者们通过堆体中 DOC 含量变化来评价堆肥腐熟度进行了有益的尝试,但由于堆肥条件及物料的不同,DOC 变化存在一定差异.

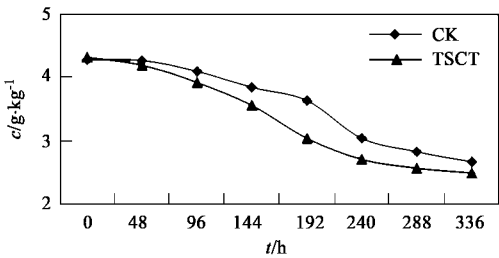


图 3 生活垃圾堆肥水溶性有机碳含量动态变化

Fig.3 Dynamic changes of DOC during the MSW composting

2.3 腐殖质及其组分含量的变化

2.3.1 腐殖质(HS)含量变化

堆肥过程中,堆体腐殖质呈现先降低后增加的趋势[图 4(a)].这是由于,一方面,堆肥初期,堆体中腐殖质结构较简单,芳构化程度较低,堆肥中腐殖质也存在一定程度的矿化.另一方面,堆肥初期降解的有机物质主要是简单的碳水化合物,腐殖质的形成率较低.因此,堆体中腐殖质含量减少;在堆肥的中后期,微生物主要利用较难降解的纤维素、木质素等物质为碳源,在这类物质降解的同时,逐渐形成了结构复杂的腐殖质类物质,使腐殖质的含量呈明显增加的趋势.由[图 4(a)]可以看出,在堆肥的 0~96 h,TSCT 处理腐殖质含量明显低于 CK;而在堆肥的腐熟时期(144~336 h),腐殖质含量则明显高于 CK.与最低点比较,堆肥后 TSCT、CK 处理腐殖质含量依次增加 15.34%、8.11%.在堆肥过程中,一方面是有有机物质在微生物作用进行分解,另一方面,分解产物在一定条件下又重新合成新的腐殖质类物质.堆肥产品培肥土壤后,腐殖质类物质对土壤的理化及生物学特性将产生重大的影响,因此,堆肥中腐殖质含量是堆肥质量的重要影响因素之一.由[图 4(a)]可见,与 CK 相比,堆肥 336 h 后,TSCT 处理腐殖质含量增加 8.61%.表明采用三阶段温度控制接种技术,对提高堆肥产品质量效果显著.

2.3.2 胡敏酸(HA)及富里酸(FA)含量变化

胡敏酸与富里酸是腐殖质重要组成成分,并对腐殖质性质具有十分重要的影响.堆肥过程中胡敏酸含量呈明显上升趋势[图 4(b)],在堆肥的 0~336 h,处理 TSCT、CK 分别由 25.0、26.5 g/kg 增加至 46.7、40.0 g/kg,其中 TSCT 处理在堆肥的各个时期均明显高于 CK.在堆肥 336 h,与 CK 比较,TSCT 处理胡敏酸含量增加了 16.75%.而富里酸含量在堆肥过程中呈明显降低趋势[图 4(c)],并且在堆肥的各个时期,处理 TSCT 富里酸含量明显低于 CK 处理,但堆肥后,CK、TSCT 处理富里酸含量差异不显著.由于堆肥原料及堆肥工艺条件的不同,对堆肥过程中腐殖质、胡敏酸、富里酸变化规律的研究报道也不完全一致^[3,10],但综合以往报道,堆肥过程中胡敏酸与富里酸的比值(胡富比,HI)均呈明显增加的趋势.因此,一些学者也尝试用 HI 值变化判断堆肥的腐熟度,虽然目前应用于不同物料堆肥腐熟度评价还存在一定的局限性,但堆肥过程中 HI 值升高,表明堆肥腐殖化、稳定化程度增强,这一点已基本达成共识.因此,由[图 4(d)]可见,采用三阶段堆肥技术可明显增加堆肥各个时期的 HI 值,堆肥第 336 h,与 CK 比较,TSCT 处理 HI 值增加了 18.40%,这说明了

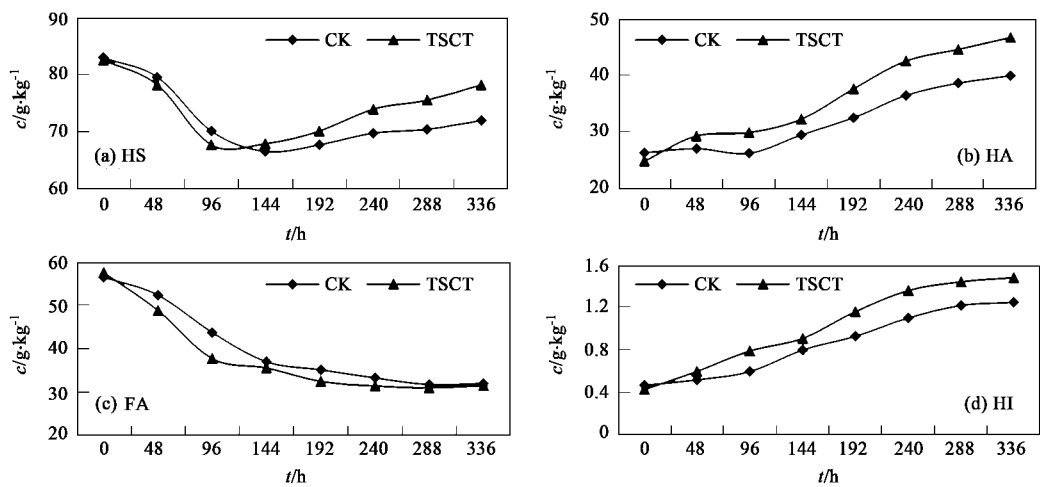


图 4 生活垃圾堆肥腐殖酸(HS)、胡敏酸(HA)、富里酸(FA)及腐殖化系数(HI)变化含量动态变化
Fig.4 Dynamic changes of HS, HA, FA, and HI during the MSW composting

TSCT 处理可促进堆肥腐殖质类物质的芳构化程度,提高堆肥腐熟度.

2.3.3 胡敏酸元素组成分析

堆肥初期及堆肥后期胡敏酸元素组成如表 1 所示,与堆肥初期相比,堆肥 C、H 元素含量呈明显降低的趋势,N 元素含量较为稳定,而 O 元素含量则呈增加态势.胡敏酸原子比率 C/N 值降低,C/H、O/C 值则表现为明显的增加.

堆肥前后,CK、TSCT 处理胡敏酸元素组成的变化趋势一致,但与堆肥初期相比,各种元素及其原子比率变化的幅度不同.CK 处理胡敏酸中 C、H 含量降低幅度依次为:5.84%、15.48%,O 元素含量、C/H、O/C 分别增加 2.62%、11.48%、6.25%;TSCT 处

理胡敏酸中 C、H 含量降低幅度依次为:8.28%、19.06%,O 元素含量、C/H、O/C 分别增加 6.61%、18.33%、8.33%.由于堆肥实质是有机物质在微生物作用下降解,同时也是腐殖质合成与复杂化的过程,堆肥后期胡敏酸 C/H、O/C 值增加是其分子缩合度、芳构化程度增加的体现,也是堆肥进入稳定化、腐熟化进程的标志^[24].因此,通过对堆肥后期胡敏酸分子元素分析表明,采用三阶段温度控制接种法可以缩短堆肥的腐熟进程,进而提高堆肥效率.但与土壤胡敏酸相比(表 1),堆肥中胡敏酸 C 元素含量较低、H 元素含量较高,因此 C/H 值较低,表明堆肥产品中胡敏酸分子中脂族类化合物相对较高,芳构化程度相对简单,活性较强.

表 1 堆肥前后胡敏酸元素组成分析

Table 1 Elemental composition of HA extracted from the MSW composting at initial and final stage								
处理	时间/h	C/%	N/%	H/%	O/%	C/N	C/H	O/C
CK	0	48.32	2.76	6.46	35.45	19.78	0.61	0.48
	336	45.50	2.80	5.46	36.38	16.22	0.68	0.51
TSCT	0	48.28	2.74	6.40	34.96	19.74	0.60	0.48
	336	44.28	2.84	5.18	37.27	15.35	0.71	0.52
HA ¹⁾		56.20	3.20	4.80	35.50	20.50	1.00	0.50

1) 土壤胡敏酸元素组成引自文献[25]

2.3.4 堆肥产品质量及成本分析

与普通接种法相比,采用三阶段温度控制接种法堆肥成本约提高 25 元/t,堆肥产品中营养元素(有机质除外)指标及病原菌死亡率明显优于普通接种法(表 2),产品售价可提高 50 元/t 以上.因此,综合分析表明,采用三阶段温度控制接种法虽然提高了堆肥成本,并且由于缩短了堆肥周期,提高了产品质量,提升

了产品附加值,进而增加了堆肥生产的净利润.

表 2 堆肥产品质量

Table 2 Quality of compost production							
处理	有机质 C/%	总氮 N/%	总磷 P/%	总钾 K/%	蛔虫卵死 亡率/%	大肠杆 菌值	堆肥周 期/d
TSCT	18.8	1.8	0.8	0.9	100	10 ⁻¹	11
CK	19.2	1.4	0.6	0.8	95	10 ⁻¹	14
标准值	≥10	≥0.6	≥0.4	0.8	95~100	10 ⁻¹ ~10 ⁻²	

3 结论

与 CK 对比,采用三阶段温度控制接种法,堆肥中 TOC、DOC、FA 含量降低速率明显加快.在堆肥的后期,腐殖质呈明显增加,其中 HA、HI 在堆肥周期内增加趋势明显.元素组成分析表明,胡敏酸分子中 C/H、O/C 均呈上升趋势.上述结果表明,三阶段温度控制法可明显加快堆肥腐殖化进程,进而提高堆肥效率.

参考文献:

- [1] 席北斗,刘鸿亮,孟伟,等.高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用[J].环境科学,2001,22(5):122-125.
- [2] Xi B D, Liu H L. Composting MSW and sewage sludge with effective complex microorganisms[J]. Journal of Environmental Sciences, 2002, 14(2): 264-268.
- [3] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [4] Hatakka A. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation[J]. FEMS Microbiol Rev, 1994, 13: 125-135.
- [5] 席北斗,孟伟,刘鸿亮,等.三阶段控温堆肥过程中接种复合微生物菌群的变化规律研究[J].环境科学,2003,24(2):152-155.
- [6] Lynch J M. Substrate availability in the production of composts[A]. In: Hoitink H A J, Keener H M.(ed). Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization Aspects[C]. Renaissance Publications, Worthington, OH, 1993. 24-36.
- [7] Chen Y, Inbar Y. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity[A]. In: Hoitink H A J, Keener H M.(ed). Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization Aspects[C]. Renaissance Publ, Worthington, OH, 1993. 551-600.
- [8] Chanyasak V, Kubota H. Carbon/organic nitrogen ration in water extracts as a measure of compost degradation[J]. Ferment Technol, 1981, 59: 215-221.
- [9] Aoyama M. Properties of fine and water-soluble fractions of several composts[J]. Soil Sci Plant Nut, 1991, 37(4): 629-637.
- [10] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste[J]. J Environ Qual, 1996, 25(4): 776-785.
- [11] Ciavatta C, Gavi M, Pasotti L, et al. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid waste[J]. Bioresource Tech, 1993, 43: 141-145.
- [12] Jimenez E I, Garcia V P. Determination of maturity indices for city refuse composts[J]. Agric Ecosystems Environ, 1992, 38: 331-343.
- [13] Inbar Y, Hardar Y, Chen Y. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity[J]. J Environ Qual, 1993, 22(4): 857-863.
- [14] Wei Z M, Xi B D, Liu H L, et al. Effect of inoculation microbes in municipal solid waste composting on the characteristics of humic acid[J]. Chemosphere, 2007, 68(2): 368-374.
- [15] Wei Z M, Xi B D, Wang S P, et al. The fluorescence characteristic changes of dissolved organic matter during municipal solid waste composting[J]. Journal of Environmental Science, 2005, 17(6): 953-956.
- [16] 魏自民,席北斗,赵越,等.生活垃圾微生物堆肥水溶性有机物光谱特性研究[J].光谱学与光谱分析,2007,27(4):735-738.
- [17] 魏自民,席北斗,赵越,等.城市生活垃圾外源微生物堆肥对有机酸变化及堆肥腐熟度的影响[J].环境科学,2006,27(2):376-380.
- [18] Goyal S, Dhull S K, Kapoor K K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity[J]. Bioresource Technol, 2005, 96(14): 1584-1591.
- [19] Huang G F, Wu Q T, Wong J W C, et al. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust[J]. Bioresource Technol, 2006, 97, 1834-1842.
- [20] Castaldi P, Alberti G, Merella R, et al. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity[J]. Waste Management, 2005, 25(2): 209-213.
- [21] Barrena R, Pagans E, Faltys G, et al. Effect of inoculation dosing on the composting of source-selected organic fraction of municipal solid wastes[J]. J Chem Technol Biot, 2006, 81: 420-425.
- [22] 严昶升.土壤肥力研究方法[M].北京:中国农业出版社,1988.
- [23] 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.
- [24] Baddi G A, Hafidi M, Gilard V, et al. Characterization of humic acids produced during composting of olive mill wastes: elemental and spectroscopic analyses[J]. Agronomie, 2003, 23: 661-666.
- [25] Schnitzer M. Humic substances: Chemistry and reactions[A]. In: Schnitzer M, Khan S U. (ed). Soil organic matter [C]. Amsterdam, Elsevier, 1978. 1-64.