

接种微生物条件下牛粪+麦秸堆腐过程有机组分的动态变化

陈鲜妮, 来航线, 田霄鸿, 王旭东

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:大量排放的畜禽粪便若利用不当则会对环境构成威胁,经微生物发酵、制成高效有机肥料是粪肥与秸秆综合利用的一种重要方式。试验以牛粪添加不同比例的小麦秸秆为原料,在接种和非接种微生物的条件下进行堆腐,研究了腐解过程有机组分及腐殖物质的动态变化。结果表明,随着腐解进行,乙醇溶性组分含量逐渐降低;水溶性组分含量先升高再降低;半纤维素和纤维素含量随腐解进行呈现一定波动,但总体呈降低趋势;木质素含量呈增加趋势;全碳含量降低,腐殖物质碳占全碳的比例逐渐增加,H/F比值逐渐升高。秸秆的加入比例越高越有利于木质素的积累,牛粪所占比例越大则越有利于腐殖物质的形成。接种微生物可促进有机物料中各有机组分的分解,并有利于腐殖物质的形成。

关键词:牛粪+秸秆;堆肥过程;有机组成;外源微生物;接种

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)11-2417-05

Dynamics of Organic Fractions of Cow Manure Plus Wheat Straw During Decomposition with Microbial Inoculation

CHEN Xian-ni, LAI Hang-xian, TIAN Xiao-hong, WANG Xu-dong

(College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: More than 4 billion tons of livestock and poultry manure were discharged annually at present in China which has become a serious threat to the environment. The production of organic fertilizer through composting of the manure in the present of straw is an effective method for handling livestock waste. The objective of this study was to investigate changes in the organic fractions in cow manure-wheat straw compost during decomposition with and without microbial inoculation. The experiment included three ratios of cow manure to wheat straw: 100:0, 75:25, and 50:50. These mixtures were inoculated with efficient cellulose-lignin degrading bacteria, and uninoculated samples were used as control. The decomposition lasted 28 days. The results showed that the concentration of the alcohol soluble fraction decreased gradually during decomposition, whereas the concentration of the water soluble fraction increased during the first 14 days and then decreased. Semi-cellulose and cellulose concentrations fluctuated but decreased slightly across time, whereas the lignin concentrations increased. There was a drop in the concentration of total organic carbon (TOC) and a rise in the humic substance carbon to TOC ratio. The humic acid to fulvic acid (H:F) ratio increased across time, but it was always less than 1.0, suggesting that fulvic acid was more than humic acid during humification process. Addition of wheat straw to manure increased the accumulation of lignin, and a high proportion of cow manure in the mixture was beneficial to the formation of humic substances; inoculation with microorganism resulted in faster decomposition of organic fractions and more formation of humic substances.

Keywords: cow manure plus wheat straw; composting process; organic fractions; exogenous microorganisms; inoculation

收稿日期:2009-03-03

基金项目:国家科技支撑项目(2007BAD89B16);中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-07);西北农林科技大学青年骨干支持计划资助项目

作者简介:陈鲜妮(1986—),女,河南浉池人,2008级硕博连读研究生,主要研究方向为土壤与环境化学。E-mail: xncn0701@yahoo.cn

通讯作者:王旭东 E-mail: wangxudong01@126.com

随着农业及畜禽养殖业的发展,秸秆、粪便等有机物料越来越多,2007 年全国畜禽粪便年排放量超过 40 亿 t,这些物质一方面是重要的资源,另一方面如果处置不当会成为重要的污染物质,给环境带来极大威胁。经过微生物发酵后制成高效有机肥料是粪肥、秸秆综合利用的一种重要方式。秸秆、粪肥等有机物料在堆腐过程中其物质组成呈现动态变化^[1-2],这直接影响到有机肥料的施用效果和安全程度^[3]。牛粪中纤维素含量高,腐熟、降解速度慢,依靠自然存在的微生物而进行的传统堆肥方法因腐熟速度慢而难以满足大规模养殖业的需要。因此,近几年来越来越多地采用发酵剂、接种微生物菌剂等措施来加速牛粪的腐熟化过程,并对添加发酵剂、接种微生物菌剂后牛粪堆腐过程的温度、有机碳、腐殖质(胡敏酸和富里酸)以及养分含量变化等进行了研究^[4-8]。但在这些研究中,对木质素、纤维素等有机组分变化的研究较少。本研究以自己筛选的高效纤维素-木质素降解菌^[9]为接种微生物菌剂,选择牛粪和小麦秸秆为原料进行不同的配比,在接种和非接种纤维素分解菌的条件下,进行生物降解堆腐试验,研究不同腐解期腐解材料的有机组分(水溶性物质、苯醇溶性物质、半纤维素、纤维素、木质素)以及腐殖物质的变化,为畜禽粪便、秸秆的合理化高效利用奠定一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 堆肥试验

选取西北农林科技大学畜牧场牛粪,晾干后按粪:草(粉碎小麦秸秆<2 mm)=100:0(配比 1)、75:25(配比 2)、50:50(配比 3)的 3 种比例(重量比)混合,用尿素调节 C:N=25:1,调节湿度为干重的 60%,每一配比设接种纤维素分解菌(Y)和不接种纤维素分解菌(N)两种处理,重复 2 次。在 50 L 的塑料桶中进行堆腐(桶周围用保温材料包裹,上面用透气保温材料覆盖),每 3 d 上下搅拌混匀 1 次,不通风静态发酵。堆腐试验始于 2007 年 5 月,在腐解 0、7、14、21、28 d 时分别取样,取样前对腐解材料进行搅拌、混匀,并多点采集混合样。

1.2 有机组分测定

粪肥+秸秆腐解过程中各有机组分的测定采用系统分析方法^[10],即对有机物料中的乙醇溶性物质、水溶性物质、半纤维素、纤维素和木质素等组分进行测定。

1.3 总碳量及腐殖物质测定

有机物料总碳采用重铬酸钾氧化法测定,腐殖物

质采用氢氧化钠-焦磷酸钠提取,重铬酸钾氧化法测定^[11],一部分浸提液用 1:1 稀盐酸(HCl)调节其酸度为 1.0,静止后分离其中的胡敏酸和富里酸。

2 结果与分析

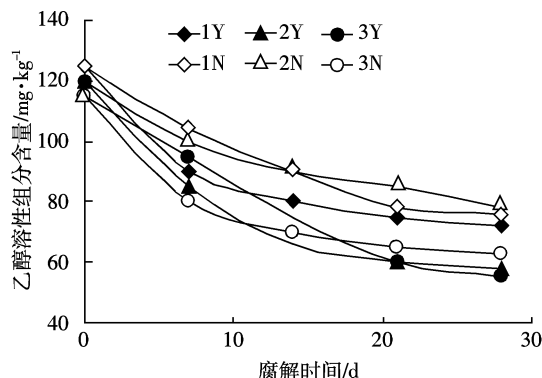
2.1 非腐殖物质变化

2.1.1 乙醇溶性有机组分变化

粪肥、植物残体中的乙醇溶性有机组分主要是脂肪、蜡质以及色素等物质。图 1 显示,未腐解样品中,随着秸秆添加比例的增大,乙醇溶性组分含量有所降低。在整个腐解过程,乙醇溶性组分含量呈下降趋势,说明脂肪、蜡质以及色素等物质在腐解过程中有所分解,且在腐解前期(0~14 d)分解较快,后期相对较慢。接种微生物的处理乙醇溶性组分的含量相应地比不接种微生物的低,说明接种微生物促进了乙醇溶性组分的分解。堆腐到 28 d 时,未接种微生物的配比 2 和配比 1,乙醇溶性组分相对较高,而接种微生物的配比 2 和配比 3 则相对较低,之间差异达显著水平(LSD_{0.05}=12)。

2.1.2 水溶性有机组分变化

水溶性组分代表有机物料中的淀粉、蔗糖、低聚糖、果糖和氨基酸等水溶性化合物。在初始样品中,随着小麦秸秆添加比例的增加,水溶性组分含量逐渐增加。在腐解过程中,水溶性组分含量呈“马鞍型”变化(图 2)。腐解 0~14 d,水溶性组分含量呈增加趋势,增加幅度表现为配比 1>配比 2>配比 3;之后随着腐解进行,其含量逐渐降低,降低的幅度则为配比 3>配比 2>配比 1;到 28 d 时,以配比 1 的水溶性组分含量相对较高,配比 3 的相对较低,两者之间差异达显著水



图中 1, 2, 3 分别代表配比 1(粪:草=100:0), 配比 2(粪:草=75:25), 配比 3(粪:草=50:50); Y 代表接种微生物, N 代表没有接种微生物(下同)。

图 1 乙醇溶性组分含量变化

Figure 1 Changes in the alcohol soluble fraction concentration across time

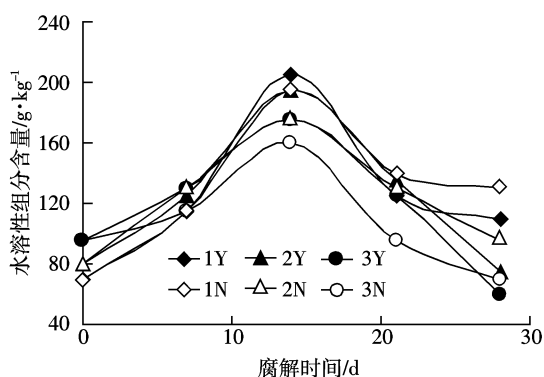


图 2 水溶性组分含量变化

Figure 2 Changes in the water soluble fraction concentration across time

平($LSD_{0.05}=33$)。说明牛粪中随秸秆添加比例的增加,腐解的后期水溶性组分的含量相对降低。同一配比条件下,接种微生物的处理,其水溶性组分含量在腐解 0~14 d 的增加幅度较大,14~28 d 的降低幅度也较大,这说明微生物对水溶性组分含量的双重影响,既可以增加有机物料中水溶性成分(一些次生代谢物质为水溶性有机化合物),又可以促进对水溶性组分的消耗。

2.1.3 半纤维素组分变化

在未腐解样品中随着小麦秸秆添加比例的增加,半纤维素含量明显降低(图 3)。堆腐过程各处理的半纤维素含量总体呈下降趋势,但有一定的上下波动。堆腐到 28 d 时,不同配比样品中半纤维素含量为配比 1>配比 2>配比 3,可见牛粪所占比例的高低决定着半纤维素含量。同一配比条件下,接种微生物的处理半纤维素含量相应比未接种处理的低,且在配比 3 中差异达到显著水平($LSD_{0.05}=21$)。说明接种微生物对半纤维素分解有一定促进作用。

2.1.4 纤维素含量变化

在未腐解样品中随着秸秆添加比例增加,纤维素

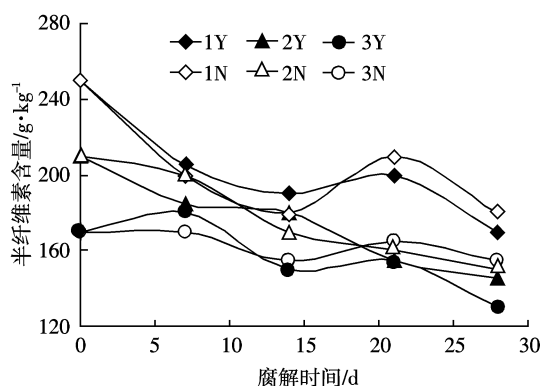


图 3 半纤维素含量变化

Figure 3 Changes in the semi-cellulose concentration across time

含量有所降低,配比 3<配比 2<配比 1(图 4)。与半纤维素变化趋势相似,在堆腐过程中纤维素含量呈现出一定的波状变化。3 种配比相比较而言,配比 1(纯牛粪)的纤维素在腐解前期(14 d)下降幅度大,堆腐到 28 d 时,不同配比处理纤维素含量的高低顺序是配比 1>配比 2>配比 3,且前者与后两者之间差异达显著水平($LSD_{0.05}=18$)。相同配比条件下,接种微生物的处理纤维素含量相对较低,说明微生物加速了纤维素的分解。

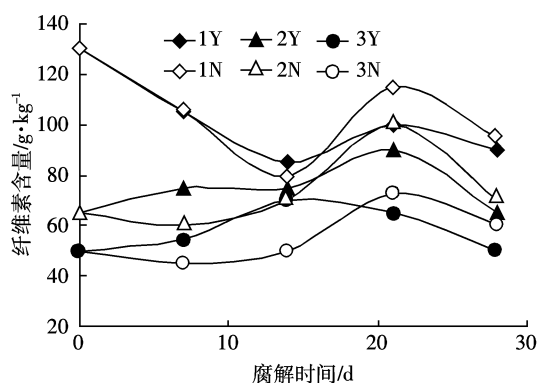


图 4 纤维素含量变化

Figure 4 Changes in the cellulose concentration across time

2.1.5 木质素含量变化

随着腐解进行,不同配比处理的木质素含量均呈上升趋势(图 5),且在腐解 0~14 d 上升幅度较大,之后趋于平缓;到 28 d 时,木质素含量表现为配比 3>配比 2>配比 1,说明随着粪肥中添加秸秆量的增加,有利于木质素的积累。向牛粪中添加秸秆(配比 2、配比 3),接种微生物的处理其木质素含量明显低于不接种的处理,达到显著水平,说明接种微生物可明显促进木质素的分解。

2.2 全碳及腐殖物质变化

2.2.1 全碳含量变化

向牛粪中添加小麦秸秆使样品的全碳含量增加

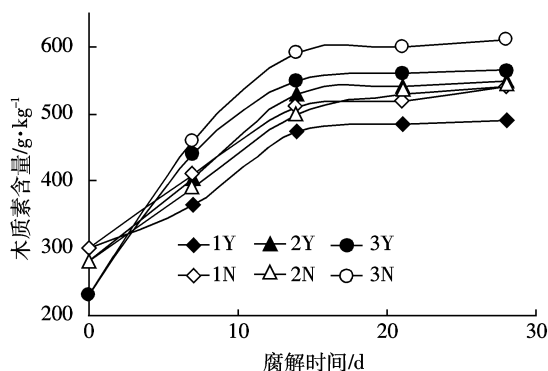


图 5 木质素含量变化

Figure 5 Changes in the lignin concentration across time

(图 6)。随腐解进行,不同配比的样品其全碳含量均呈降低趋势,腐解到 28 d 时,各处理平均全碳含量为 $268 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,比原来下降了 23.9%。添加秸秆比例越高,则堆腐产物的有机碳含量也越高。同一配比条件下,接种微生物的处理其全碳含量比没有接种的相对较低,这表明接种微生物对有机碳矿化有促进作用,但两者之间差异不显著。

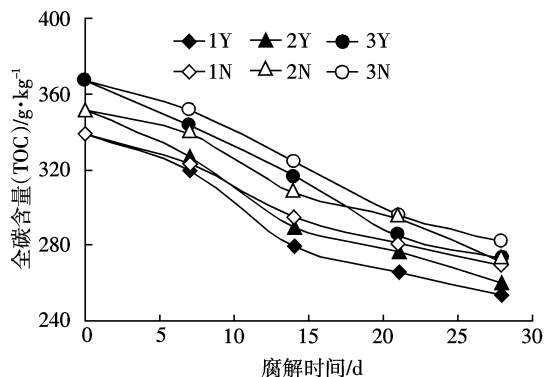


图 6 全碳含量变化

Figure 6 Changes in the total organic carbon (TOC) concentration across time

2.2.2 腐殖物质含量及组成变化

图 7 显示,随腐解进行,各处理腐殖物质碳占全碳的比例呈增加趋势,增加幅度表现为配比 1>配比 2>配比 3,说明腐解样品中牛粪所占的比例越大则越有利于腐殖物质的形成。同一配比,接种微生物的样品腐殖物质碳占全碳的比例相对较高,说明接种微生物可促进腐殖物质的形成。图 8 显示,整个腐解过程中胡敏酸和富里酸的比值(H/F)逐渐增大,这与胡敏酸含量逐渐增加,而富里酸含量减少有关^[12]。到腐解 28 d 时,不同配比之间相比,配比 2 的 H/F 较高;同一配比,接种微生物的 H/F 比未接种微生物的较高。

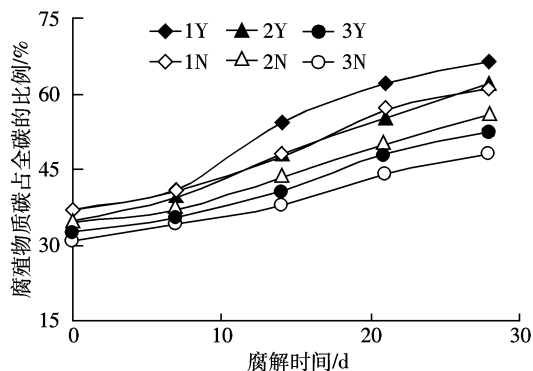


图 7 腐殖物质碳占全碳比例的变化

Figure 7 Changes in the ratio of humic substance carbon to TOC across time

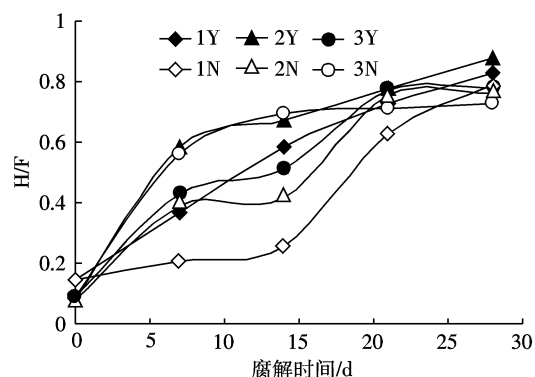


图 8 胡敏酸与富里酸含量比值(H/F)变化

Figure 8 Changes in the H:F ratio across time

3 讨论

粪肥、秸秆由有机组分和矿质元素(灰分)构成,按组织形态可分为氨基酸、单糖、蛋白质、淀粉、半纤维素、纤维素、单宁、木质素等,这些物质的降解以及被微生物分解的难度依次增加^[13],本研究中随腐解进行,木质素含量逐渐增加的结果也验证了这一点。有机物料腐解时,微生物首先对有机物料中的易分解组分(蔗糖、果糖、淀粉、氨基酸、蛋白质等水溶性组分)进行分解,这些组分是微生物的能源物质,微生物靠消耗这些组分来维持其生命活动,促进自身繁殖;同时,微生物的活动也会产生一些水溶性次生代谢物质如糖类、氨基酸等。因此,对于水溶性组分来说,其含量并非持续下降,而是受到底物浓度和微生物活动及数量共同作用的影响。在整个腐解过程中,半纤维素、纤维素呈现出波动变化,这是因为一方面半纤维素、纤维素随着自身的降解而减少,另一方面则又随着水溶性、醇溶性组分的消耗而相对增加。木质素相对稳定、不易分解,因此随着样品中其他有机组分的分解,木质素含量增加。

向粪肥中添加不同比例的秸秆,会导致其各有机组分的含量发生变化。随着秸秆添加比例的升高,使得腐解产物的有机碳含量升高,木质素含量增加,但纤维素、半纤维素含量降低。本研究将已筛选的高效纤维素-木质素分解菌接种到粪肥中,很好地促进了对各有机组分的分解,并促进腐殖质的形成。随着粪肥中秸秆添加比例增加,为了控制 C/N 比相等而添加了较多的氮素(尿素),因此,不同配比之间的差异还受到尿素的影响。木质素残体是构成胡敏酸的骨架^[14],有机物料在渍水条件下腐殖物质的形成以木质素的衍生学说为主,即先由木质素氧化形成胡敏酸,再进

一步氧化降解转化为富里酸。另外,腐殖物质形成也可以由一些小分子的有机化合物通过缩合反应形成,表现出先形成小分子腐殖物质,再逐渐向大分子演化的趋势。本试验控制的湿度较低,没有形成渍水条件,再加上接种了微生物,分解和次生合成较旺盛,因此,腐殖物质的形成以缩合为主,随腐解进程 H/F 逐渐增加。

4 结论

牛粪中随着秸秆添加比例的增大,水溶性组分和有机碳增加,乙醇溶性组分、半纤维素和纤维素含量有所降低,木质素含量变化较小。随着堆腐的进行,乙醇溶性组分含量下降,水溶性组分含量先升高再降低;纤维素、半纤维素含量变化呈现一定波动,但整体呈下降趋势;木质素含量增加,腐殖物质碳占全碳的比例增加,H/F 也呈增加趋势。秸秆的加入比例越高,越有利于木质素的积累,而牛粪所占比例越大则越有利于腐殖物质的形成。接种微生物可促进乙醇溶性组分、半纤维素、纤维素和木质素的降解,增加水溶性组分的消耗,促进腐殖物质的形成,提高 H/F 值。

参考文献:

- [1] 李自刚,黄为一.微生物腐熟菌剂对牛粪堆肥产品种低分子量有机物的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):437-444.
LI Zi-gang, HUANG Wei-yi. Effect on low-molecular weight organic matters of cow dung composted production by micro-inoculants[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3):437-444.
- [2] 鲍艳宇,颜丽,娄翼来,等.鸡粪堆肥过程中各种碳有机化合物及腐熟度指标的变化[J].农业环境科学学报,2005,24(4):820-824.
BAO Yan-yu, YAN Li, LOU Yi-lai, et al. Dynamics of organic carbons during composting of chicken manure and evaluation of maturity parameters[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005, 24(4):820-824.
- [3] 王旭东,胡田田,张一平.不同腐解期玉米秸秆对壤土胡敏酸基本性质及级分变异的影响[J].生态学报,2001,21(6):993-998.
WANG Xu-dong, HU Tian-tian, ZHANG Yi-ping. Effect of corn straw on the fraction variation and properties of humic acid in loess soil during different decaying periods[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6):993-998.
- [4] 李瑜,王琦,陈五岭.牛粪堆肥高效降解菌的筛选及复合微生物菌剂的制备[J].安徽农业科学,2008,36(35):15653-15655.
LI Yu, WANG Qi, CHEN Wu-ling. Selection of highly efficient degradation bacteria and preparation of complex microbial inocula for cow dung compost[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(35):15653-15655.
- [5] 赵明梅,牛明芬,何随成,等.不同微生物菌剂对牛粪堆肥发酵影响的研究[J].农业环境科学学报,2007,26:587-590.
ZHAO Ming-mei, NIU Ming-fen, HE Sui-cheng, et al. Effects of inoculating different microorganism agents on composting of cow manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26:587-590.
- [6] 解开治,徐培智,张仁陟,等.一种腐熟促进剂配合微生物腐熟剂对鲜牛粪堆肥的效应研究[J].农业环境科学学报,2007,26(3):1142-1146.
XIE Kai-zhi, XU Pei-zhi, ZHANG Ren-zhi, et al. Effects of one chemical composting promoter and microorganism composting preparations on fresh cow dung compost[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3):1142-1146.
- [7] 王伟东,王小芬,王彦杰,等.接种木质纤维素分解复合菌系对堆肥发酵进程的影响[J].农业工程学报,2008,24(7):193-198.
WANG Wei-dong, WANG Xiao-fen, WANG Yan-jie, et al. Effect of microbial inoculum with high lignocellulose degradation ability on composting process[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7):193-198.
- [8] 国洪艳,徐凤花,万书名.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.
GUO Hong-yan, XU Feng-hua, WAN Shu-ming, et al. Effects of inoculating complex microbial inoculants to cattle manure compost on dynamic characteristics of humic carbon[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):1231-1234.
- [9] 杨莹,来航线,陈雄,等.牛粪降解优良菌株的筛选及发酵剂配方的优化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(12):125-128.
YANG Ying, LAI Hang-xian, CHEN Xiong, et al. Selection of high efficient strains for decomposing cow manure and the optimization of fermentation formula[J]. *Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition)*, 2007, 35(12):125-128.
- [10] 文启孝.土壤有机质研究法[M].北京:农业出版社,1984:250-271.
WEN Qi-xiao. Study of soil organic matter[M]. Beijing: Agriculture Press, 1984:250-271.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:439-440.
BAO Shi-dan. Soil-agrochemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000:439-440.
- [12] 张亚宁,李国学.化肥作为补充N源对堆肥碳素转化和污染物去除的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(1):154-157.
ZHANG Ya-ning, LI Guo-xue. Effect of supplementary nitrogen chemical fertilizer on carbon change and degradation of organic pollutants during composting[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005, 24(1):154-157.
- [13] 王旭东,于天富,陈多仁,等.玉米秸秆腐解过程物质组成及胡敏酸的动态变化I.物质组成的动态变化[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):78-82.
WANG Xu-dong, YU Tian-fu, CHEN Duo-ren, et al. Dynamic change of chemical composition of corn straw and humus acid during different decomposition periods I. The change of corn straw chemical composition[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(3):78-82.
- [14] 吴景贵,王明辉,万忠梅,等.玉米秸秆腐解过程中形成胡敏酸的组成和结构研究[J].土壤学报,2006,43(3):443-451.
WU Jing-gui, WANG Ming-hui, WAN Zhong-mei, et al. Chemical composition and structure of humic acid from composted corn stalk residue[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3):443-451.