

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.028

塑料和麦秸膨胀剂对猪粪好氧堆肥的影响试验*

王永江 黄光群 韩鲁佳 张安琪 葛金怡

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要:以麦秸膨胀剂为对照,利用3组小型好氧堆肥反应器同时试验,并进行比较研究塑料膨胀剂对猪粪好氧堆肥过程的影响。将等量猪粪分别与等体积的麦秸和塑料管分别混合进行好氧堆肥试验,监测了堆肥过程中温度、氧气体积分数、含水率、可挥发性固体含量、可溶性糖含量、纤维素含量、粗脂肪含量和粗蛋白含量的变化,并利用数学模型表达了堆肥过程中自由空域的变化及其对有机质降解的影响因子。试验结果表明:塑料膨胀剂抵抗堆体自压实作用的效果要优于麦秸膨胀剂,而麦秸膨胀剂比塑料膨胀剂更利于堆肥初始阶段升温 and 整个堆肥过程中含水率的保持。

关键词:猪粪 好氧堆肥 膨胀剂 塑料 麦秸

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)05-0158-06

Effects of Plastic and Straw Bulking Agents on Swine Manure Composting

Wang Yongjiang Huang Guangqun Han Lujia Zhang Anqi Ge Jinyi

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to study the effects of plastic bulking agents on processing of swine manure composting, three parallel composting experiments were conducted with laboratory scale composting reactors. Same amount of swine manure was mixed with equal volume of wheat straw or plastic bulking agents. Temperature, oxygen concentration, moisture content, volatile solid content, soluble carbohydrate content, cellulose content, crude fat content and crude protein content were monitored and recorded respectively. Mathematical models were employed to detect changing of free space and its effect on composting substrate decomposition. According to the results of composting experiments, temperature of composting pile using wheat straw as bulking agents raised faster than the one with plastic bulking agents at the beginning of the composting. Meanwhile wheat straw bulking agents showed better performance on water holding capacity. However, plastic bulking agents was better at keeping free air space of the whole composting pile.

Key words: Swine manure Aerobic composting Bulking agents Plastics Wheat straw

引言

随着我国肉猪养殖业规模化和集约化的发展,生猪粪尿产量巨大而且相对集中,造成了一定的环境生态问题。猪粪好氧堆肥处理是实现其资源化和肥料化利用的有效途径之一^[1]。自然状态下,猪粪含水率约为70%且流动性相对较强,常需要加入一

定量的堆肥膨胀剂来保证堆体的通气性,实现好氧堆肥过程的顺利进行^[2~4]。与传统膨胀剂相比,塑料膨胀剂循环利用率高,不易压实,易分离且自身性质相对稳定^[1],能够显著降低猪粪的体积含水率,能够显著降低筛分能耗,保证堆肥产品质量。另外,塑料膨胀剂与堆肥分离彻底,这对研究堆肥过程的物质变化,掌握堆肥有机质的降解规律,研究堆肥过

收稿日期:2012-05-29 修回日期:2012-06-26

* 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201003063)

作者简介:王永江,博士生,主要从事生物质资源与利用研究,E-mail: yongjiang_cau@yahoo.com.cn

通讯作者:韩鲁佳,教授,博士生导师,主要从事生物质资源与利用研究,E-mail: hanlj@cau.edu.cn

程的质量平衡和能量守恒都有重要意义。然而专门针对塑料膨胀剂的研究鲜见报道。

本文分别采用等粒径且等体积的麦秸和塑料管作为膨胀剂与等质量的猪粪混合堆肥,利用实验室小型好氧堆肥反应器进行3组好氧堆肥试验,研究3种不同情况下膨胀剂对猪粪好氧堆肥过程中温度、含水率、氧气体积分数以及挥发性固体、粗蛋白粗脂肪、纤维素和可溶性糖含量变化的影响。为更好表达堆肥膨胀剂的作用效果,利用数学模型表达3种情况下堆体自由空域的变化过程及其对猪粪有机质降解的影响系数。

1 材料与方法

1.1 试验原料

供试猪粪为北京市昌平区中国农业科学研究院养猪场幼猪当日鲜粪。小麦干秸秆取自北京市郊区,利用铡刀铡切处理获取约3 cm长度麦秸。试验用塑料膨胀剂为中国农业大学食堂餐饮塑料吸管自制而成,长度约为3 cm,直径约为5 mm。

1.2 小型好氧堆肥反应器系统

图1为试验用小型好氧堆肥反应器系统结构示意图。反应器主反应装置材料为不锈钢,外层附有保温层。反应器配有通风控制系统、尾气处理装置、数据采集与处理系统。其中,数据采集与处理系统包括:氧气体积分数传感器、温度传感器、数据采集卡和计算机终端。

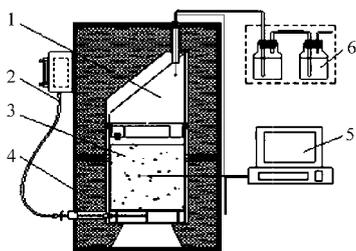


图1 反应器系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of reactor system

1. 反应装置 2. 通风控制系统 3. 堆肥原料 4. 保温箱 5. 温度和氧浓度采集系统 6. 尾气处理装置

1.3 试验设计

使用3组规格和性能相同的好氧堆肥反应器系统^[5]同时进行猪粪好氧堆肥试验。每组堆肥反应器使用的鲜猪粪质量均为6 kg,其中1份与0.43 kg麦秸混合堆肥(记为处理1),另外2个处理分别与2份和麦秸相同体积的塑料管(各为0.42 kg)混合堆肥(分别记为处理2和处理3),在处理3中加入0.02 kg煤粉。鲜猪粪试样的含水率为72.56%,总固体质量分数为27.36%,基于干基的可挥发性固体质量分数为83.86%,碳氮比为13.2,pH值为

7.52;麦秸试样的含水率为3.25%,总固体质量分数为96.81%,基于干基的可挥发性固体质量分数为93.86%,碳氮比为98.2。

通风供氧是保证好氧堆肥过程顺利进行的重要条件^[6~9],试验通风供氧方式为连续通风,适宜猪粪好氧堆肥的通风速率为0.18~0.42 L/(min·kg)^[10](以每kg猪粪含有的可挥发性固体每min所需的通风量为计算依据),根据堆肥过程中温度的变化将堆肥过程划分为升温期、高温期和降温期,每个堆肥阶段采用不同的通风速率。3组好氧堆肥试验的初始条件如表1所示。

表1 3组堆肥试验的初始条件

Tab. 1 Initial conditions of composting experiments

初始条件	处理1	处理2	处理3
自由空域/%	57.3	61.4	60.9
通风速率/L·(min·kg) ⁻¹	0.4/0.5/ 0.3	0.4/0.5/ 0.3	0.4/0.5/ 0.3
含水率/%	68.4	69.3	69.2
可挥发性固体质量分数/%	86.2	86.1	86.2
pH值	7.49	7.51	7.51
密度/g·cm ⁻³	0.32	0.34	0.34

1.4 试验方法

1.4.1 测定分析方法

含水率和可挥发性有机质含量测定分别使用热风干燥法和灼烧法。堆体密度通过堆体质量与堆体体积的相关关系间接测量得到。将膨胀剂从堆料中分离之后采用Retsch ZM100型旋风磨过0.5 mm筛粉碎后进行粗蛋白、粗脂肪、纤维素和可溶性糖的测定。粗蛋白使用Foss Kjeltex 2300型凯氏定氮仪测定;粗脂肪采用索氏提取法测定(Foss Soxhlet 2050型);纤维素的测定采用酸性洗涤纤维法,使用Foss Fibertex 2010型纤维素测定仪测定;可溶性糖的测定采用蒽酮硫酸比色法(SHIMADZU UV-2550型)。

温度测量采用温度传感器(铂电阻,PT100型)测定,将传感器置于堆体中部,以堆体中部温度代表堆体温度,试验使用DT85型数据采集卡同时采集3组好氧堆肥反应器内部和外部环境的温度;堆肥反应器内部氧气体积分数采用OMS-B型氧气传感器测定,选取反应器上盖靠近气体出口位置作为氧气体积分数的测量点(图1);空气体积流量采用RK-1650型气体流量计测定。

1.4.2 孔隙率的测量方法

堆料中固体、液体、气体三者的比例可以使用自由空域描述^[3],本试验中使用自由空域来衡量堆肥膨胀剂的膨胀效果和计算堆体的孔隙率。利用堆料

相对密度、含水率和密度等相关参数计算堆体自由空域的公式为

$$F = 1 - \frac{mS_m}{VG_s\delta_w} - \frac{m(1-S_m)}{V\delta_w} \quad (1)$$

$$\frac{1}{G_s} = \frac{V_s}{G_v} + \frac{1-V_s}{G_f} \quad (2)$$

式中 V_s ——堆料中可挥发部分质量分数, %
 G_s ——堆料的相对密度
 G_v ——挥发部分的相对密度, 约 1.0^[3]
 G_f ——灰分的相对密度, 约 2.5^[3]
 m ——堆料的质量, g
 V ——堆料的体积, cm³
 δ_w ——水的密度, g/cm³
 S_m ——堆料总固体质量分数, %

好氧堆肥过程中随着有机质的降解、水分的蒸发和堆肥膨胀剂结构的变化^[8], 堆体质量和体积也随着堆肥的进行不断发生变化。由于堆体质量和体积容易测量, 堆肥过程中堆体质量和体积的状态函数可以使用回归方程表达

$$m = m_0(1 - z_m t) \quad (3)$$

$$V = V_0(1 - z_v t) \quad (4)$$

式中 m_0 ——堆料初始质量, g
 V_0 ——堆料初始体积, cm³
 t ——堆肥进行时间, d
 z_m ——堆料单位质量损失率, g/(g·d)
 z_v ——堆料单位体积损失率, cm³/(cm³·d)

1.4.3 孔隙率对有机质降解的影响系数

由于堆肥过程中堆料自身含水率高和重力压实的作用, 自由空域会随着堆肥的进行不断变化, 从而影响氧气在堆体内的传输及堆肥有机质的好氧降解速度, Haug^[3]指出自由空域是影响有机质降解的重要因素, 并在分析大量试验数据的基础上给出了自由空域对有机质降解的影响系数方程

$$k_F = \frac{1}{e^{-23.675F+3.4945} + 1} \quad (5)$$

式中 k_F ——自由空域对反应速率的影响系数, 取值范围 0 ~ 1

2 结果和讨论

2.1 温度

温度是反映堆肥过程中微生物活动能力和有机质降解速率的一个重要过程参数^[1,7,11,12]。图 2 为 3 组堆肥处理的温度变化曲线, 各处理的温度变化表现出了明显的升温期、高温期和降温期。各堆肥处理组在堆肥初始阶段的升温速率比较缓慢, 可能是因为各堆肥处理组的初始温度较低, 抑制了好氧

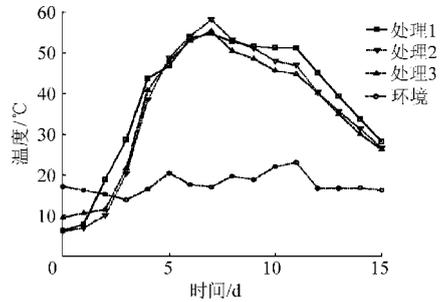


图 2 温度变化曲线

Fig. 2 Curves of substrate temperatures

堆肥微生物的快速生长和繁殖。

处理 1 在升温阶段的升温速率要优于使用塑料膨胀剂的处理 2 和处理 3, 可能是因为在堆肥初始阶段堆料含水率较大的情况下, 麦秸膨胀剂的持水性能优于塑料膨胀剂, 使得处理 1 的有效孔隙率较大, 通风供氧能力较强, 好氧堆肥微生物得以相对快速的生长和繁殖。在好氧堆肥降温阶段含水率较低的情况下, 处理 2 和处理 3 的降温速率要高于处理 1, 可能是因为麦秸膨胀剂在经历了高温和微生物的降解作用之后, 骨架结构变的松弛, 相对不利于空气的流通, 从而更好地保持了堆体的温度。然而麦秸膨胀剂与塑料膨胀剂对温度的影响并无显著差异。另外, 处理 2 与处理 3 的温度变化趋势基本一致, 说明堆肥微生物对煤粉这种碳源并不敏感, 一定程度上表明好氧堆肥微生物只能选择性的利用某些种类的碳源。

2.2 氧气体积分数

好氧堆肥过程是一个好氧堆肥微生物利用氧气氧化降解堆肥有机质的过程^[9], 所以氧气体积分数的变化是好氧堆肥微生物活性的一个直接反应。堆肥试验 3 个处理下堆体氧气体积分数的变化如图 3 所示, 氧气体积分数的变化与温度变化表现出了一定的负相关性, 与文献观测结果^[4, 13]一致, 3 个处理都表现出了升温期氧气体积分数下降和降温期氧气体积分数上升的变化规律。3 组处理氧气体积分数的变化在堆肥初始阶段的区分不明显, 处理 1 同处理 2 和处理 3 相比在堆肥降温阶段保持了更低的氧

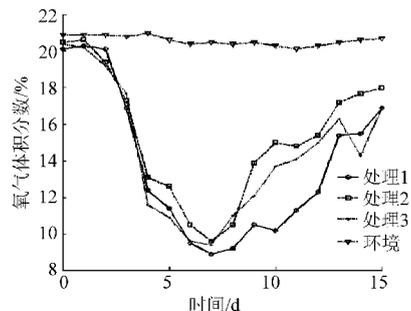


图 3 氧气体积分数变化曲线

Fig. 3 Curves of oxygen content

气体积分数,间接反映了使用麦秸膨胀剂比使用塑料膨胀剂更利于在堆肥降温期保持好氧堆肥微生物的活性,这可能是因为在降温阶段,麦秸中的纤维素、半纤维素等不易被好氧堆肥微生物利用的有机质开始分解和被微生物利用,可见麦秸不但可以作为膨胀剂保持堆体的孔隙率,还可以为堆肥微生物新陈代谢提供一部分能量。

2.3 含水率

堆肥过程中绝大部分有机质只有溶解于水之后才能被好氧堆肥微生物利用,保持一定的堆体含水率是保持好氧发酵顺利进行的必要条件^[14],然而含水率过高容易导致自由空域下降,导致厌氧发酵。研究表明,适宜的堆体含水率除由堆肥原料本身的性质决定外,受堆肥膨胀剂的影响也很大,Haug^[3]研究发现秸秆类膨胀剂与锯末膨胀剂在相同的含水率下相比有更大的孔隙率。如图4所示,3个处理的堆肥含水率表现出整体下降的趋势。在堆肥初始阶段,处理1的堆体含水率有上升的趋势,这是因为堆肥微生物生命活动产生的水大于堆体损失的水,这与处理2和处理3在此阶段含水率的持续下降不同,一定程度上表明了相似初始堆体含水率的情况下,麦秸膨胀剂比塑料膨胀剂更利于好氧堆肥微生物的活动。在整个堆肥过程中麦秸膨胀剂对堆体的持水能力也优于塑料膨胀剂,处理1在第14天的堆体含水率为62.9%,而处理2和处理3在第14天的堆体含水率分别为58.4%和56.9%。

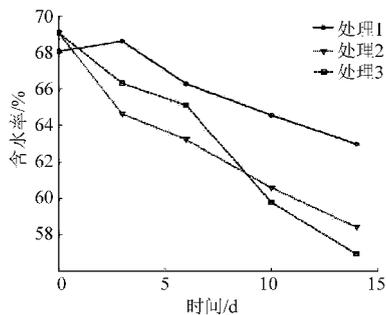


图4 含水率变化曲线

Fig.4 Curves of moisture content

2.4 有机质含量

堆肥过程中有机质含量的变化是表征堆肥腐熟程度的重要指标^[2,3,5,12,13]。堆肥过程中分别取样监测了3个处理中可挥发性有机质、粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖和纤维素含量的变化。

由图5可知,可挥发性有机质质量分数是不断降低的,处理1的有机质质量分数降低相对平缓。处理2和处理3在堆肥初始阶段有机质降解速率较处理1慢,可能是因为这个阶段处理2和处理3的微生物活性较低。处理2和处理3在堆肥降温阶

段的有机质质量分数较处理1低,可能是因为此时处理1中麦秸有机质开始被堆肥微生物转化利用。

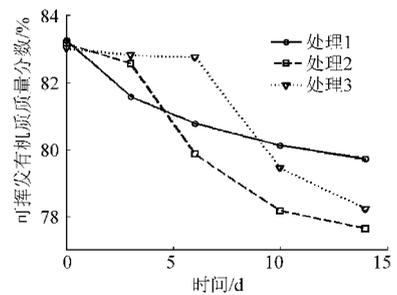


图5 可挥发性有机质变化曲线

Fig.5 Curves of volatile solids content

粗蛋白含量的变化如图6a所示,加入麦秸膨胀剂的处理1更利于堆料氮素的保存,可能是因为麦秸膨胀剂是一种碳氮比较高的膨胀剂,与猪粪混合后使得堆体的碳氮比较处理2和处理3更为合理。包括使用麦秸膨胀剂的处理1在内,粗蛋白的降解主要发生在堆肥初始阶段,这表明,即便麦秸中含有充足的碳源,但这些纤维类的碳源不易被堆肥微生物快速充分利用。

堆肥过程中粗脂肪、可溶性糖和纤维素质量比的变化分别如图6b、6c和6d所示。3个处理中粗脂肪和可溶性糖质量比的变化较处理2和处理3更快,这与温度、氧气体积分数、含水率的变化相一致。堆肥过程中纤维素的质量比不断上升,这是因为堆肥过程中纤维素难于被微生物降解利用,随着其他易降解有机质的不断消耗,纤维素等难降解有机质所占的比例反而有所上升,处理1中纤维素质量比上升较快,这与粗蛋白、粗脂肪和可溶性糖降解较快的变化规律是一致的。

2.5 自由空域

2.5.1 自由空域的变化

自由空域对好氧堆肥过程有重要的影响^[15],将直接影响氧气在堆体内的传输和堆肥微生物的活性,从而影响堆肥腐熟进度和产品质量^[1,3,4]。自由空域在堆肥过程中是不断变化的(图7),3个处理的自由空域都不断增大,是因为随着堆体水分逐步蒸发和有机质的不断降解,堆体中固体和液体的部分不断减少,从而堆体中气相部分所占的比例不断增大。添加塑料膨胀剂的处理2和处理3比使用麦秸膨胀剂的处理1自由空域增加的幅度更大,说明塑料膨胀剂比麦秸膨胀剂有更强的保持堆体结构的性能。

2.5.2 自由空域对有机质降解的影响

堆肥过程中有机质的降解受堆体自由空域等参数的影响^[1]。本试验3个处理自由空域对有机质降

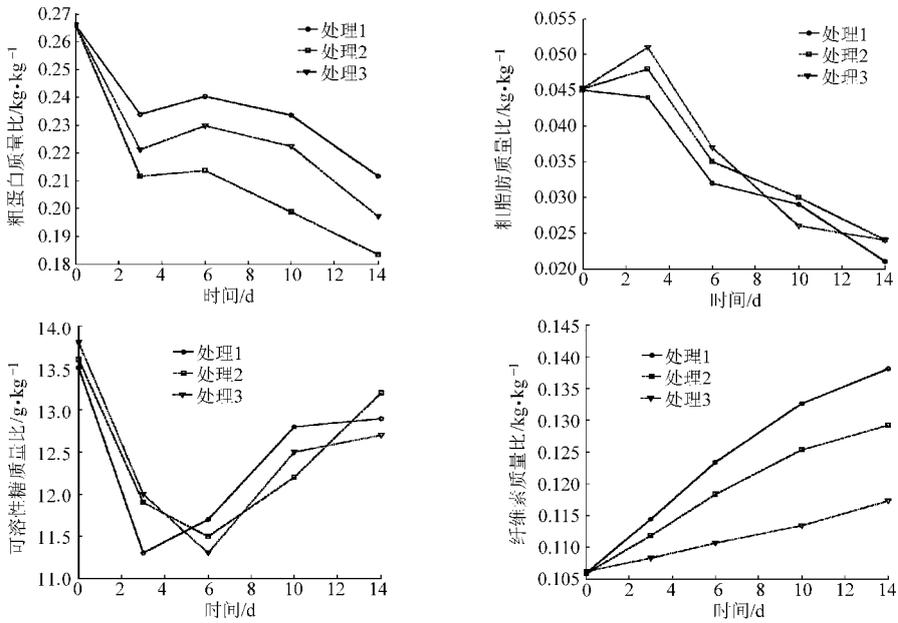


图6 有机质含量变化曲线

Fig.6 Curves of different kinds of organic matter content

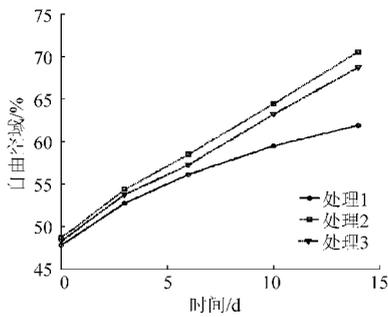


图7 自由空域变化曲线

Fig.7 Curves of free air space

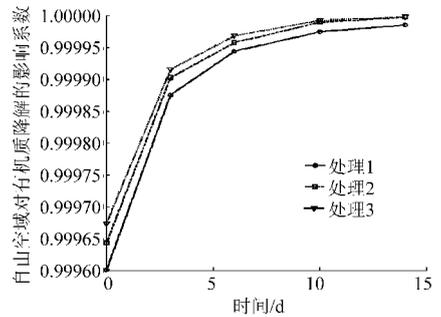


图8 自由空域对有机质降解的影响系数

Fig.8 Curves of effect of free air space on substrate decomposition

解的限制是趋于降低的(图8),说明自由空域在一定范围内增大有利于有机质降解,处理2和处理3自由空域对有机质降解的限制要低于处理1,说明塑料膨胀剂比麦秸膨胀剂形成的自由空域对有机质降解的限制更小。

3 结论

(1)利用等质量的猪粪与等体积的麦秸和塑料膨胀剂分别混合进行好氧堆肥,研究发现不同类型的膨胀剂对堆肥过程中温度、氧气体积分数、含水率

和有机质的降解均有一定的影响,麦秸膨胀剂更利于堆肥初始阶段温度的提升和整个堆肥过程中堆体水分的保持。

(2)对堆肥过程自由空域变化的监测发现塑料膨胀剂形成的骨架结构比麦秸膨胀剂形成的骨架结构更牢固,塑料膨胀剂在抵抗堆体自压实作用的效果要优于麦秸膨胀剂。

(3)所添加的煤粉碳源量对好氧堆肥进程的影响不显著。

参考文献

- 1 蔡建成. 堆肥工程与堆肥工厂[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- 2 Adhikari B K, Barrington S, Martinez J, et al. Effectiveness of three bulking agents for food waste composting [J]. Waste Management, 2009, 29(1): 197 ~ 203.
- 3 Haug R T. The practical handbook of composting engineering[M]. Washington, DC: Lewis Publishers, 1993.
- 4 王永江, 黄光群, 韩鲁佳. 自由空域对猪粪麦秸好氧堆肥的影响实验分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 122 ~ 126. Wang Yongjiang, Huang Guangqun, Han Lujia. Effects analysis of free airspace to pig slurry wheat straw aerobic composting in laboratory reactor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 122 ~ 126. (in Chinese)
- 5 张锐. 小型实验室好氧堆肥反应器系统研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.

- Zhang Rui. Study on the bench-scale aerobic composting reactor system [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 6 Chen T, Luo W, Gao D, et al. Stratification of free air space and its dynamics in the process of co-composting [J]. Environmental Science, 2004, 25(6): 150 ~ 153.
- 7 Gea T, Barrena R, Artola A, et al. Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting [J]. Waste Management, 2007, 27(9): 1 108 ~ 1 116.
- 8 Huerta-Pujol O, Soliva M, Martínez-Farré F X, et al. Bulk density determination as a simple and complementary tool in composting process control [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(3): 995 ~ 1 001.
- 9 Yañez R, Alonso J, Díaz M. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(23): 5 827 ~ 5 833.
- 10 吕黄珍, 韩鲁佳, 杨增玲. 猪粪麦秸反应器好氧堆肥工艺参数优化[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 101 ~ 105.
Lü Huangzhen, Han Lujia, Yang Zengling. Optimization of aerobic composting parameters on pig slurry-wheat straw reactor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 101 ~ 105. (in Chinese)
- 11 Ponsá S, Pagans E, Sánchez A. Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer [J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(4): 433 ~ 443.
- 12 王永江, 黄光群, 韩鲁佳. 猪粪好氧堆肥过程有机质降解和热量平衡模型[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 121 ~ 124, 115.
Wang Yongjiang, Huang Guangqun, Han Lujia. Modeling of organic matter degradation and thermal balance during pig slurry aerobic composting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 121 ~ 124, 115. (in Chinese)
- 13 Jolanun B, Towprayoon S. Novel bulking agent from clay residue for food waste composting [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(12): 4 484 ~ 4 490.
- 14 Iqbal M K, Shafiq T, Ahmed K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(6): 1 913 ~ 1 919.
- 15 Yu S H, Grant Clark O, Leonard J J. Influence of free air space on microbial kinetics in passively aerated compost [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(2): 782 ~ 790.

(上接第 257 页)

- 9 Jurado M, Lopez-Granados F, Stenciano S, et al. Discrimination of weed seedings, wheat (*Triticum aestivum*) stubble and sunflower (*Helianthus annuus*) by near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) [J]. Crop Protection, 2003, 22(3): 1 177 ~ 1 180.
- 10 陈树人, 栗移新, 毛罕平, 等. 基于光谱分析技术的作物中杂草识别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 463 ~ 466.
Chen Shuren, Li Yixin, Mao Hanping, et al. Weed detection based on the technical of spectral [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(2): 463 ~ 466. (in Chinese)
- 11 Gaston E, Frias Jesus M, Cullen Patrick J, et al. Visible-near infrared hyperspectral imaging for the identification and discrimination of brown blotch disease on mushroom (*Agaricus bisporus*) caps [J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2010, 18(5): 341 ~ 353.
- 12 陈全胜, 赵杰文, 蔡健荣, 等. 利用高光谱图像技术评判茶叶的质量等级[J]. 光学学报, 2008, 28(4): 669 ~ 674.
Chen Quansheng, Zhao Jiewen, Cai Jianrong, et al. Estimation of tea quality level using hyperspectral imaging technology [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(4): 669 ~ 674. (in Chinese)
- 13 许禄, 邵学广. 化学计量学方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 163 ~ 174.
- 14 Jia G J, Burke I C, Kaufmann M R, et al. Estimates of forest canopy fuel attributes using hyperspectral data [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 229(1): 27 ~ 38.
- 15 Dobrowski S Z, Greenberg J A, Ramirez C M, et al. Improving image derived vegetation maps with regression based distribution modeling [J]. Ecological Modeling, 2006, 192(1): 126 ~ 142.
- 16 毛文华, 张银桥, 王辉, 等. 杂草信息实时获取技术与设备研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 190 ~ 195.
Mao Wenhua, Zhang Yinqiao, Wang Hui, et al. Advance techniques and equipments for real-time weed detection [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 190 ~ 195. (in Chinese)
- 17 彭彦昆, 张雷蕾. 农畜产品品质安全高光谱无损检测技术进展和趋势[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 137 ~ 145.
Peng Yankun, Zhang Leilei. Advancement and trend of hyperspectral imaging technique for nondestructive detection of agro-product quality and safety [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 137 ~ 145. (in Chinese)