

许 梦,李 旭,丁鸿弼,等.蚯蚓堆置对农业和城市有机废弃物堆肥产品腐熟度的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):356-359.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.116

# 蚯蚓堆置对农业和城市有机废弃物堆肥产品腐熟度的影响

许 梦<sup>1</sup>,李 旭<sup>1</sup>,丁鸿弼<sup>1,2</sup>,王观竹<sup>1</sup>,李琳慧<sup>1</sup>,于济通<sup>1</sup>,郭 平<sup>1</sup>  
(1. 吉林大学环境与资源学院/地下水资源与环境教育部重点实验室,吉林长春 130012;  
2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,河北保定 071051)

**摘要:**采用实验室模拟培养方法,研究蚯蚓处理农业和城市混合有机废弃物过程中堆肥产品腐熟度的变化规律,同时确定蚯蚓堆置城市和农业有机废弃物的最佳混合比例。结果表明,在蚯蚓堆置不同比例混合的农业和城市有机废弃物过程中,有机混合物 C/N 的值随时间的延长而变小,这是因为堆肥过程中有机碳含量整体呈下降的趋势,总氮含量整体呈上升的趋势。随时间的延长,有机混合物的 HA/FA(胡敏酸的含量/富里酸的含量)的值变大,胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 的值变小,这表明在堆肥过程中有机混合物腐殖化程度越来越高,堆肥材料的缩合程度和芳香化程度越来越大。堆肥材料腐殖化速度与城市和农村有机废弃物比例有关。当牛粪占总有机废弃物总量 80% 时,腐殖化速率最大,获得堆肥产品质量最好。

**关键词:**蚯蚓堆肥;城市有机垃圾;农业有机废弃物;混合比例;腐熟度  
**中图分类号:** X171;S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)06-0356-04

随着人口数量和人类活动的增加,农业和城市有机废弃物急剧增加。如果这些有机废弃物不经处理弃于环境中,不仅侵占土地,还会严重污染生态环境,进而危害人们的健康。目前,蚯蚓堆肥是解决有机废弃物问题比较有效的技术,因为该技术利用蚯蚓和微生物协同分解转化有机废弃物<sup>[1]</sup>,在蚯蚓处理有机废弃物过程中,蚯蚓不仅能降低原废弃物中挥发性有机质和重金属的含量,消除其中的病原体,还能将废弃物转化为质量较高、性质稳定、增强植物抗病害性的粪糞<sup>[2]</sup>,从而实现有机废弃物减量化、无害化和资源化。目前,国内外学者研究了利用蚯蚓堆置城市垃圾(包括厨余、果类、纸类等有机成分)、农业废弃物(禽畜粪便、秸秆及废渣)、有机污泥等<sup>[3]</sup>。C/N 的值是堆肥产品成熟的一个重要指标,也是研究蚯蚓堆肥过程中常用的指标。在蚯蚓堆肥有机废弃物过程中,不仅存在有机质的降解转化,而且还伴随着有机物的腐殖化过程,所以在研究蚯蚓堆肥效果时,也应该考虑堆肥过程中腐熟度的变化。胡敏酸的含量/富里酸的含量(HA/FA)的值以及胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值是指示堆肥产品腐熟度的重要指标,然而在研究蚯蚓堆置农业和城市有机废弃物中很少被应用。腐殖化指数(HA/FA),代表堆肥产品的腐殖化程度<sup>[4]</sup>,能够指示腐殖质的质量。胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值是反映废弃物堆肥过程中合成的腐殖质分子量大小与分子结构复杂程度的重要指

标。利用蚯蚓堆肥法处理混合有机废弃物是当前的研究热点,目前在广东广州、山东烟台、辽宁沈阳等地区已经有相关的研究报道。蚯蚓堆置有机废弃物的堆肥效果受堆肥材料的组成和性质的影响很大<sup>[5]</sup>,不同地区有机废弃物的组成特点不同,这就导致在蚯蚓堆置过程中有机废弃物性质和腐殖化过程存在差别。吉林省长春地区的城市 and 农村有机废弃物引起的环境问题十分严峻,但尚无蚯蚓堆肥相关研究的报道。因此,本研究选择长春地区的有机废弃物牛粪和城市有机垃圾为研究对象,以 C/N、HA/FA、E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 的值为指标,研究蚯蚓处理农业和城市混合有机废弃物过程中堆肥产品腐熟度的变化规律,同时确定蚯蚓堆置城市和农业有机废弃物的最佳混合比例。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 蚯蚓 蚯蚓品种为赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*),购于吉林省宝龙蚯蚓养殖开发有限公司。

1.1.2 堆肥材料 城市有机垃圾取自长春市垃圾转运站和长春市干鲜菜批发市场;用作调节剂的秸秆采集于长春市郊区农村;牛粪取自吉林省长春皓月清真肉业集团股份有限公司养殖基地,此牛粪经过自然发酵预处理 2 周后,风干备用(表 1)。

表 1 堆肥材料的基本性质

材料	有机质含量 (%)	总氮含量 (%)	总磷含量 (%)	速效氮含量 (%)	速效磷含量 (%)	C/N 的值	C/P 的值
城市有机垃圾	82.06	2.33	0.46	0.70	0.26	20	103
秸秆	91.06	0.80	0.32	0.73	0.13	66	165
牛粪	78.05	2.07	1.06	0.07	0.11	22	43

收稿日期:2014-09-22  
基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07202-009);吉林省长春市科技项目(编号:08SF60)。  
作者简介:许 梦(1990—),女,山东济南人,硕士研究生,从事环境污染防治与生物修复研究。E-mail:dream\_822@163.com。  
通信作者:郭 平,博士,教授,研究生导师,从事环境污染防治与生物修复研究。E-mail:guoping@jlu.edu.cn。

将城市有机垃圾和作为调节剂的秸秆破碎(粒径为 40 mm),在自制的装置中进行好氧堆肥预处理。预处理的试验条件见文献[6]。预处理 50 d 取出适量好氧堆肥产品,将其风干破碎(粒径为 10 mm),用于蚯蚓堆肥。

### 1.3 蚯蚓堆肥

通过预试验可知,当预处理城市有机垃圾中没有添加牛粪进行蚯蚓堆肥时,蚯蚓均在 1 周内死亡。所以,本研究将预处理城市有机垃圾与牛粪按比例混合且设置 4 个处理,分别是牛粪所占比例为 100%、80%、60%、40%,各个处理总干质量为 200 g。然后,将混合材料放到花盆中,每个花盆中接种 45 条蚯蚓,而且整个蚯蚓堆肥过程中混合样品的含水率保持在 50%~60%,培养温度是 25℃。分别在蚯蚓堆肥处理 0、21、42、60 d 时进行堆肥产品取样,样品用于相关指标的测定。

### 1.4 样品测定指标和方法

采用 pH 计和电导率仪测定材料的 pH 值和电导率(EC 值);采用重铬酸钾氧化法、蒸馏法和焦磷酸钠提取-重铬酸钾法分别测定材料的有机质、速效氮和腐殖质含量<sup>[7]</sup>;采用重铬酸钾-硫酸消化法测定总氮含量<sup>[8]</sup>;采用 TOC 仪测定材料的总有机碳(TOC)和溶解性有机碳(DOM)含量;采用分光光度法测定胡敏酸的  $E_4/E_6$  的值<sup>[9]</sup>;采用碘量法和比色法测定材料中的淀粉酶和脲酶活性<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 蚯蚓堆置混合有机废弃物过程中 C/N 值的变化规律

由图 1 可知,蚯蚓堆肥刚开始时,随着牛粪在堆肥反应器中所占比例的减少,堆肥材料中 C/N 的值变大,这是由城市有机垃圾混合物中总氮含量高于牛粪中总氮含量引起的。随着蚯蚓堆肥时间的延长,不同比例牛粪堆肥产品中 C/N 的值整体呈变小的趋势。这与蚯蚓作用下产品中有机碳和总氮的含量变化有关。对于含有不同比例牛粪的堆肥材料来说,随着蚯蚓堆肥的继续,有机碳含量整体呈不断下降的趋势,然而堆肥产品中总氮含量整体呈上升趋势(图 2)。

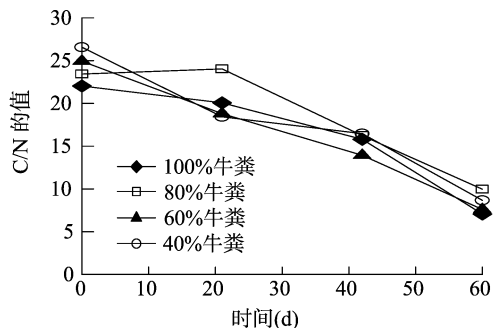


图1 蚯蚓堆置含有不同比例牛粪的有机废弃物过程中 C/N 值的变化规律

蚯蚓堆肥引起有机碳含量下降,这是因为蚯蚓和微生物在分解有机废物过程中引起有机质以  $\text{CO}_2$  形式的碳损耗和部分有机质转化到蠕虫的生物量中。蚯蚓堆肥引起总氮含量增加,其可能的原因包括:(1)当非氮有机化合物矿化时堆肥材料质量损失<sup>[11]</sup>;(2)蚯蚓分泌的黏液、酶和排放的含氮粪便<sup>[12]</sup>;(3)蚯蚓改变微环境增加固氮种群<sup>[13]</sup>。Morais 等指出,C/N 的值低于 20 表示堆肥产品达到成熟,且 C/N 的值  $\leq 15$

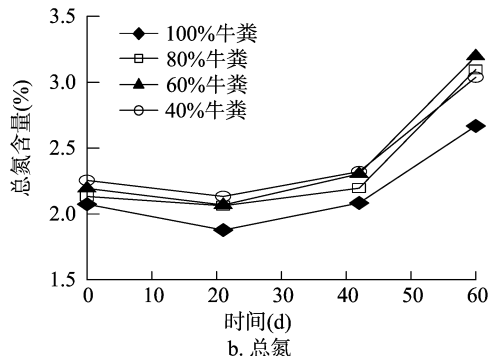
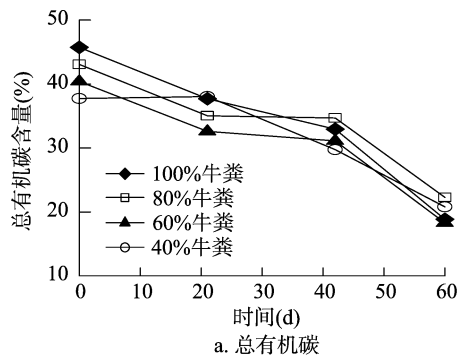


图2 蚯蚓堆置含有不同比例牛粪的有机废弃物过程中总有机碳和总氮的变化规律

的堆肥产品适合于农业生产<sup>[14]</sup>。由图 2 可知,含有不同比例牛粪的堆肥材料经过 42 d 蚯蚓处理后,C/N 的值分别降低到 15.80(100% 牛粪)、16.23(80% 牛粪)、13.93(60% 牛粪)、16.46(40% 牛粪),这些值均低于 20,接近于 15。经过 60 d 蚯蚓处理后,其 C/N 的值均降到 10 以下,即 7.06(100% 牛粪)、9.96(80% 牛粪)、7.60(60% 牛粪)、8.66(40% 牛粪)。由此可见,这些堆肥材料经过 60 d 处理之后获得的堆肥产品适合于农用,可以被植物利用。但是对于含有不同比例牛粪的堆肥材料来说,它们经过 60 d 堆肥处理后获得的 C/N 的值不同。这表明虽然本研究的堆肥材料均由牛粪和城市有机垃圾混合物组成,但是两者比例不同也会影响其达到稳定和成熟的速率。为了确定含有不同比例牛粪堆肥材料的成熟速率,本研究对含有不同比例牛粪的堆肥材料的 C/N 值与时间之间的关系进行拟合,结果发现,在所有处理中两者之间成一元二次方程的关系( $P_{100\% \text{牛粪}} < 0.01$ 、 $P_{80\% \text{牛粪}} < 0.05$ 、 $P_{60\% \text{牛粪}} < 0.01$ 、 $P_{40\% \text{牛粪}} < 0.05$ ),根据方程斜率获得含有不同比例牛粪堆肥材料的 C/N 值经过 60 d 堆肥处理的变化速率分别是 0.004 7%/d(100% 牛粪)、0.004 9%/d(80% 牛粪)、0.000 6%/d(60% 牛粪)和 0(40% 牛粪)。由此可见,含有牛粪为 80% 的堆肥材料经过蚯蚓堆肥达到成熟和稳定的速率最快,这是因为城市有机垃圾混合物和牛粪按照这个比例混合后形成的堆肥材料的性质更有利于蚯蚓堆肥。

在蚯蚓堆肥反应中,酶是促进有机碳和有机氮转化的重要成分,其活性越强,越有利于堆肥材料中有机碳和有机氮物质的降解和成熟。pH 值是影响蚯蚓堆肥过程另一个重要的参数。蚯蚓可以在 pH 值为 5~9 的范围内生存,但是蚯蚓和微生物活动的最适酸碱度是中性的或接近中性的。由表 2 可知,蚯蚓堆肥起始时,含有 80% 牛粪的堆肥材料的 pH 值和 EC 值最低,分别是 8.75、0.71 mS/cm;含有 80% 牛粪的堆肥

材料的脲酶和淀粉酶活性最强,为 4.64、5.60 mg/(g·d)。有利于有机废弃物的物质转化和腐熟。这是因为含有 80% 牛粪的堆肥材料更适合蚯蚓生存,所以更

表 2 蚯蚓堆置过程中含有不同比例牛粪的有机废弃物产品的 pH 值、EC 值、脲酶活性和淀粉酶活性的变化规律

牛粪含量 (%)	pH 值			EC 值(mS/cm)			脲酶活性[ mg/(g·d) ]			淀粉酶活性[ mg/(g·d) ]		
	平均值	起点值	终点值	平均值	起点值	终点值	平均值	起点值	终点值	平均值	起点值	终点值
100	8.63	9.04	8.29	1.3	1.34	1.55	3.57	2.9	4.23	4.27	5.44	2.85
80	8.69	8.75	8.58	1.33	0.71	1.93	4.09	4.64	5.19	2.92	5.6	1.06
60	8.85	8.92	8.65	1.55	0.8	2.2	4.26	3.81	6.2	3.24	4.78	2.64
40	8.76	8.86	8.71	1.46	0.73	1.87	3.94	4.32	3.76	2.9	5.04	0.73

2.2 蚯蚓堆置混合有机废弃物过程中 HA/FA 值的变化规律

由图 3 可知,随着时间的延长,经过蚯蚓处理的含有不同比例牛粪的堆肥材料中 HA/FA 值变大。可见,这些堆肥材料的腐殖化程度随着时间的延长不断提高,堆肥产品趋于腐熟。然而 Qian 等以新鲜牛粪和秸秆为堆肥材料进行研究时发现,HA/FA 的值随着时间的延长先变小后变大<sup>[15]</sup>。引起这 2 个研究结果不同的原因是用于堆肥的材料组成不同,本研究的堆肥材料是经预堆肥处理的,其中含有大量的难降解的木质素和纤维素等物质,这些成分在微生物作用下发生降解,并且逐渐形成结构稳定的腐殖质类物质,使胡敏酸含量增加(图 4)。通过计算发现,在蚯蚓作用 60 d 后含有不同比例牛粪的堆肥材料中的 HA/FA 值分别比未作用的增加 69.21% (100% 牛粪)、62.52% (80% 牛粪)、203.11% (60% 牛粪)、218.59% (40% 牛粪)。

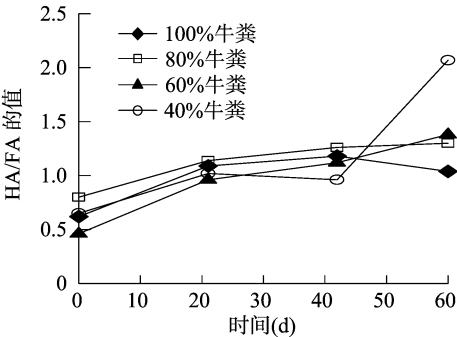


图 3 蚯蚓堆置含有不同比例牛粪的有机废弃物过程中 HA/FA 值的变化规律

由此可见,经过一定时间蚯蚓堆肥处理后,基本符合“堆肥材料中城市有机垃圾混合物所占的比例越大,其 HA/FA 的值的变大幅度越大”的规律。有研究表明,当腐殖化指数达到 1.4 以上时,腐熟已基本完成,且腐殖化指数和胡敏酸含量越高,腐殖质品质越好<sup>[16]</sup>。含有 60% 牛粪堆肥材料经过 60 d 蚯蚓堆肥处理后,其 HA/FA 值为 1.38,近似于 1.4,胡敏酸含量最高达到 7.31%;其次是含有 80% 牛粪的堆肥材料,经过 60 d 蚯蚓堆肥处理后,其 HA/FA 值为 1.30,接近于 1.4,胡敏酸含量居第 2 位,达到 6.01%。由此可见,含有 60%、80% 牛粪的堆肥材料经过 60 d 蚯蚓处理后基本腐熟,而且腐殖质品质都较好(图 4)。

2.3 蚯蚓堆置混合有机废弃物过程中胡敏酸 E4/E6 值的变化规律

胡敏酸 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 的值是反映废弃物堆肥过程中合成的腐殖质分子量大小与分子结构复杂程度的重要指标,E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值愈低,腐殖质的缩合程度和芳构化程度愈高,分子量愈大<sup>[17]</sup>,这

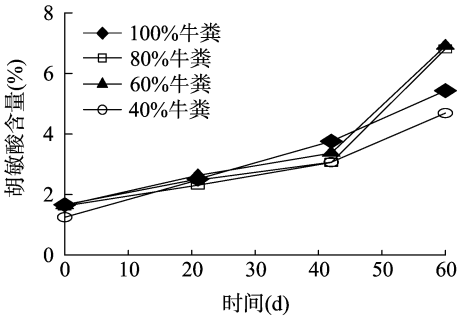


图 4 蚯蚓堆置含有不同比例牛粪的有机废弃物过程中胡敏酸含量的变化规律

表明堆肥材料的腐殖化程度和稳定程度愈高。由图 5 可知,在蚯蚓作用下,所有含有不同比例牛粪的堆肥材料中胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值则随着时间的延长而降低,经过 60 d 处理后,相比于未作处理的分别降低 21.33% (100% 牛粪)、35.41% (80% 牛粪)、24.53% (60% 牛粪)、19.64% (40% 牛粪)。这表明对含有不同比例牛粪的所有堆肥材料来说,随着时间的延长,腐植酸向分子量越来越大和缩合程度越来越高的方向转化,且堆肥材料腐殖化过程中腐殖质的缩合程度和芳构化程度随时间的变化率与其牛粪和城市有机垃圾混合物的比例有关。为了确定两者之间的关系,本研究对不同处理胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值与时间之间的关系进行拟合,结果发现,在所有处理中两者之间成一元二次方程的关系 ( $P_{100\% \text{牛粪}} < 0.05$ 、 $P_{80\% \text{牛粪}} < 0.05$ 、 $P_{60\% \text{牛粪}} < 0.05$ 、 $P_{40\% \text{牛粪}} < 0.01$ ),根据方程斜率获得含有不同牛粪堆肥材料中胡敏酸的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>。经过 60 d 堆肥处理的变化速率分别是 0.000 7 d<sup>-1</sup> (100% 牛粪)、0.053 1 d<sup>-1</sup> (80% 牛粪)、0.000 9 d<sup>-1</sup> (60% 牛粪)和 0.000 3 d<sup>-1</sup> (40% 牛粪)。由此可见,牛粪含量为 80% 的堆肥材料在蚯蚓作用下的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值变化速率最快,且经过 60 d 处理后,其 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值最低。这表明当堆肥材料中牛粪比例为

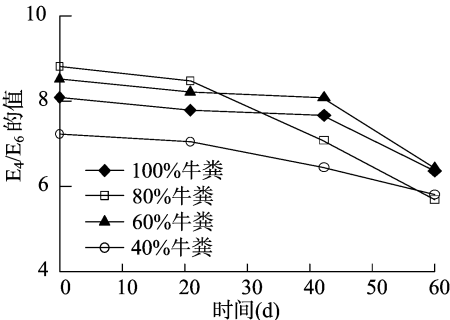


图 5 蚯蚓堆置含有不同比例牛粪的有机废弃物过程中 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值的变化规律

80% 时,堆肥材料的缩合程度和芳香化程度最快,而且在有限的时间内形成的大分子量组分最多,形成稳定堆肥成品的时间最短且产品也最稳定。

### 3 结论与讨论

在蚯蚓堆肥有机废弃物过程中,不仅存在有机质的降解转化过程,而且还伴随着有机物的腐殖化过程。在蚯蚓堆置城市和农村有机废弃物过程中,废弃物中有机碳含量整体呈下降趋势,总氮含量整体呈上升趋势,这使有机废弃物的 C/N 值随时间的延长而变小。经过预处理后的堆肥材料中含有大量难降解的木质素和纤维素等物质,这引起蚯蚓堆置过程中,随着时间的延长,堆肥材料的胡敏酸含量逐渐增加,进而导致产品的 HA/FA 值整体变大。在蚯蚓堆置过程中,随着时间的延长,胡敏酸的  $E_4/E_6$  值变小,这表明堆肥材料的缩合程度和芳香化程度越来越大。城市和农村混合有机废弃物经过蚯蚓处理 60 d 后,堆肥产品 C/N 的值小于 15,HA/FA 的值达到 1.4 以上,说明堆肥产品腐熟,适合用于农业生产。本研究结果表明,堆肥材料腐殖化速度与城市和农村有机废弃物比例有关。当牛粪占总有机废弃物总量 80% 时,腐殖化速率最大,获得堆肥产品质量最好,这是因为这个比例的堆肥材料酶活性最大且更适合于蚯蚓的生存。

### 参考文献:

- [1] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J]. 生态学报,1997,17(5): 556-560.
- [2] 高红莉,周文宗,张 璐,等. 城市污泥的蚯蚓分解处理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2008,16(3):788-793.
- [3] 陈巧燕,杨 健,王志强,等. 蚯蚓堆肥处理有机废弃物的国外研究进展[J]. 中国资源综合利用,2006,24(12):8-10.
- [4] 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.

- [5] 俞花美,邓 惠,陈 森,等. 蚯蚓处理农业废弃物技术研究进展及其在热区的应用[J]. 广东农业科学,2014,41(3):189-193.
- [6] Zhang Y C, Ma X F, Hang C, et al. Effects of ventilation on aerobic composting of organic wastes[C]//International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 2011: 3996-3999.
- [7] 傅积平. 土壤结合态腐殖质分组测定[J]. 土壤通报,1983,14(2):36-37.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [9] 杨克莲,陈甫华,邵洪波,等. 海河河口水体表层底质中腐殖质的提取及性能表征[J]. 南开大学学报:自然科学版,1994(4):26-30.
- [10] 关松荫,孟昭鹏. 不同垦殖年限黑土农化性状与酶活性的变化[J]. 土壤通报,1986,17(2):157-159.
- [11] Subramanian S, Sivarajan M, Saravanapriya S. Chemical changes during vermicomposting of sago industry solid wastes[J]. Journal of Hazardous Materials,2010,179(1/2/3):318-322.
- [12] Suthar S. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology[J]. Ecological Engineering,2010,36(8):1028-1036.
- [13] Kavian M F, Ghatnekar S D. Bio-management of dairy effluents using culture of red earthworms (*Lumbricus rubellus*) [J]. Indian J Environ Prot,1991,11:680-682.
- [14] Allison F E. Soil organic matter and its role in crop production[M]. Amsterdam:Elsevier Scientific Publishing Company Elsevier,1973.
- [15] 钱晓雍,沈根祥,黄丽华,等. 畜禽粪便堆肥腐熟度评价指标体系研究[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):549-554.
- [16] Hue N V, Liu J. Predicting compost stability[J]. Compost Science & Utilization,1995,3(2):8-15.
- [17] 李国学. 不同通气方式和秸秆切碎程度对堆制效果和养分转化的影响[J]. 农业环境科学学报,1999,18(3):106-110.

(上接第 291 页)

- [9] 马 森. 武夷岩茶茶多酚抑菌作用的研究[J]. 畜牧兽医杂志,2012,31(1):24-26.
- [10] 赖建平,顾采琴,朱冬雪,等. 香蕉果皮黄酮及与丙酸、茶多酚复配剂的抑菌防腐作用[J]. 食品科学,2012,33(13):53-57.
- [11] 潘素君,李向荣,谭周进,等. 茶多酚的抑菌作用研究[J]. 湖南农业科学,2009(11):96-97,100.
- [12] 刘晓辉,江和源,张建勇,等. 儿茶素酰基化修饰研究进展[J]. 茶叶科学,2009,29(1):1-8.
- [13] 吴佳敏. 茶多酚及其改性衍生物抗氧化性研究[J]. 中国食品添加剂,2009(1):110-113.
- [14] 张健奇,张玉军,晁 燕,等. 茶多酚脂溶性改性条件的确定及其抗氧化性能的研究[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2008,29(3):15-20.
- [15] 聂 芊,孔 琪,沈春艳. 豆油脂肪酸茶多酚酯的制备及其在油脂中的抗氧化性能[J]. 中国粮油学报,2008,23(3):93-95.

- [16] 聂 芊,沈春燕. 分子修饰法制备油溶性茶多酚及其抗氧化性能的研究[J]. 化学世界,2007,48(4):209-211.
- [17] 孙 达,张士康,朱跃进,等. 响应面设计优化脂溶性茶多酚合成工艺的研究[J]. 中国茶叶加工,2011(4):37-41,46.
- [18] 卢聪聪,邵卫梁,杭晓敏,等. 两种茶多酚化学改性制备的脂溶性茶多酚抗氧化性能研究[J]. 安徽医药,2008,12(3):201-204.
- [19] 张健奇,胡静波,张玉军,等. 茶多酚改性及其抗氧化性能的研究[J]. 粮食与食品工业,2008,15(2):33-37.
- [20] 侯美珍,韦红群,潘英明. 紫草不同溶剂提取物抑菌活性研究[J]. 食品工业科技,2006,27(11):52-54,57.
- [21] 陈乃东,周守标,罗 琦,等. 不同提取剂对春花胡枝子黄酮含量及抑菌活性影响的研究[J]. 中国卫生检验杂志,2007,17(2):193-196.
- [22] 张雪松,朱 媛. 不同提取剂对花椒油树脂抑菌活性影响的研究[J]. 中国调味品,2010,35(7):35-37.