

# 果皮、菜叶混合垃圾的蚯蚓堆制处理

杨文霞, 郑金伟, 李志鹏, 刘 强, 胡 锋, 李辉信 (南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 在果皮、菜叶混合垃圾中, 加入不同比例木屑调节 C/N 比值和含水量后, 接种赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 进行室内堆制处理, 研究适宜含水量、接种密度和温度条件下蚯蚓的生长和繁殖特性以及堆制产物的化学性状。结果表明: 蚯蚓堆制处理明显加速有机质矿化, 促进有机物料降解, 提高堆制产物全 N 量, 降低堆制产物有机 C 含量和 C/N 比值。加入木屑虽然在一定程度上抑制了蚯蚓的生长和繁殖, 但是, 0~30 d 时 25% 和 40% 木屑堆制处理中赤子爱胜蚓生长良好, 繁殖较旺盛。相关分析表明, 接种蚯蚓并加入 25%~40% 木屑对促进果皮、菜叶垃圾降解以及提高和改善其化学性状是有效可行的, 有利于废弃物的减量化、无害化和资源化。

**关键词:** 堆制处理; 赤子爱胜蚓; 果皮; 菜叶; 垃圾; 木屑

**中图分类号:** X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673 - 4831 (2006) 02 - 0049 - 05

**Vermicomposting of Mixed Waste of Pericarp and Vegetable Offal Using *Eisenia foetida*.** YANG Wen-xia, ZHENG Jin-wei, LI Zhi-peng, LIU Qiang, HU Feng, LI Hui-xin (College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Saw dusts were added to mixed waste of pericarp and vegetable offal sampled from a food market in Weigang of Nanjing. *Eisenia foetida* was introduced with a proper density into the mixture, which was placed under optimal moisture, and proper temperature in the laboratory. Daily growth and reproduction of *Eisenia foetida* were monitored during vermicomposting, and so were dry weight and chemical characteristics of vermicomposts after 60 days of vermicomposting. Results show that *Eisenia foetida* significantly accelerated mineralization of the organic waste, increased total N and decreased organic C and C/N ratio of the vermicomposts. Addition of saw dusts had a certain adverse effect on growth and reproduction of the earthworms, which, however, developed and reproduced well in the treatments with 25% and 40% of saw dusts during the 60 days of incubation. It is indicated that the addition of saw dusts and inoculation of earthworms are effective and workable to reduce, recycle and reuse the organic waste.

**Key words:** vermicomposting; *Eisenia foetida*; pericarp; vegetable offal; waste; saw dust

随着人们对水果、蔬菜需求量的增加, 丢弃的果皮和菜叶量也迅速增长, 在生活垃圾中所占比例越来越大。其中除小部分被用于饲养家禽外, 大部分则与其他废弃物一起被运至垃圾场填埋。众所周知, 果皮、菜叶含有丰富的养分, 经过堆制后可作为有机肥料施入土壤, 从而减少化肥用量, 改善土壤物理化学性状。但是传统的堆肥方式分散、劳动强度大、生产周期长而肥效低, 使堆肥规模化生产始终未能得到很好发展<sup>[1]</sup>。因此采用接种蚯蚓堆制处理 (vermicomposting) 有机废弃物的方法<sup>[2-3]</sup>应运而生。该技术处理过程中蚯蚓不仅能促进微生物活性, 而且以其独特的生态学功能, 与环境中微生物协同作用, 加速垃圾中有机物质的分解转化, 使垃圾资源化、无害化和减量化, 同时能有效除去或抑制堆制

过程中产生的臭味<sup>[4-7]</sup>。果皮、菜叶经接种蚯蚓堆制处理后会产生产生双重效益: 一方面, 废弃物转化成为较高质量有机肥; 另一方面, 有效降低了环境污染, 达到消除二次污染、保护生态环境、促进农业生产中物质良性循环的目的<sup>[8-9]</sup>。

本研究旨在探讨蚯蚓在果皮、菜叶和木屑混合堆制处理中的生长和繁殖情况, 明确蚯蚓在堆制过程中的作用, 同时初步评价堆制产物化学性状, 筛选出果皮、菜叶与木屑的最优比例组合, 为更充分有效地利用果皮、菜叶等有机废弃物资源提供理论依据。

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2002AA601012 - 2)

收稿日期: 2005 - 11 - 17

通讯联系人

# 1 材料与amp;方法

## 1.1 供试材料

### 1.1.1 供试蚯蚓

赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*),由南京市大厂区长芦镇蚯蚓养殖场提供。

### 1.1.2 供试有机物料

蚓粪:取自南京农业大学奶牛场。新鲜牛粪经蚯蚓堆制处理,挑出蚯蚓与蚓茧,自然风干,过 2 mm 筛,备用。果皮、菜叶:取自南京市卫岗菜市场,均为鲜样。木屑:取自南京农业大学木工厂,风干,过 5 mm 筛,备用。

供试有机物料的基本理化性质见表 1。

## 1.2 试验设计

试验用塑料钵上口直径为 25 cm、下底直径为 18 cm、高 20 cm,底部有透水孔且放有细纱布,以防止蚯蚓逃逸。每钵内放蚓粪 500 g(干重),并接种大小相当且处于生殖期的蚯蚓 40 条<sup>[10-11]</sup>,总生物量 7.5 g 左右。蚓粪上面放有粗纱布(孔径 5 mm),

既便于垃圾分置,且可使蚯蚓自由穿过。按不同处理比例加 200 g(干重)果皮、菜叶和木屑混合物于粗纱布上,在钵口蒙上细纱布,防止蚯蚓逃逸。试验设 8 个处理,每个处理设 4 个重复,共 32 盆。于室内阴暗处培养,堆制过程中通过称重法判断含水量是否在最适范围,若含水量太高,则将盆钵放于通风处,使过多的水分蒸发,若含水量太低,则均匀洒入蒸馏水加以调节。整个堆制过程物料含水量控制在 600 ~ 800 g · kg<sup>-1</sup>,温度控制在 22 ~ 28 左右<sup>[12-13]</sup>。具体试验处理见表 2。

表 1 供试有机物料基本理化性质

试验材料	含水量 / (g · kg <sup>-1</sup> )	pH 值	有机 C <sup>(1)</sup> / (g · kg <sup>-1</sup> )	全 N <sup>(1)</sup> / (g · kg <sup>-1</sup> )	C/N 比值
菜叶 <sup>2)</sup>	928.3	5.82	597.97	38.16	15.7
果皮 <sup>3)</sup>	872.7	4.35	155.94	5.89	26.5
木屑	71.7	7.16	374.98	0.63	595.1
蚓粪	68.6	7.37	665.07	38.19	17.4

1)以干重计; 2)青菜、包菜、白菜、菜花等菜叶及腐烂萝卜; 3)腐烂的苹果、梨等水果及其果皮

表 2 各处理初始物料含量

Table 2 Contents of different wastes in initial period of the treatments

处理	蚓粪 /g	果皮、菜叶 <sup>1)</sup> /g	木屑 /g	C/N <sup>2)</sup> 比值
未加木屑 (100% GC)	500	200 (100) <sup>1)</sup>	0	16.2
25%木屑 (75% GC + 25% MX)	500	150 (75)	50 (25)	20.2
40%木屑 (60% GC + 40% MX)	500	120 (60)	80 (40)	24.2
50%木屑 (50% GC + 50% MX)	500	100 (50)	100 (50)	28.1
未加木屑 + E (100% GC + E)	500	200 (100)	0	16.2
25%木屑 + E (75% GC + 25% MX + E)	500	150 (75)	50 (25)	20.2
40%木屑 + E (60% GC + 40% MX + E)	500	120 (60)	80 (40)	24.2
50%木屑 + E (50% GC + 50% MX + E)	500	100 (50)	100 (50)	28.1

GC表示果皮、菜叶, MX表示木屑, E表示蚯蚓,第 3 和第 4 列括号内数据为该处理初始物料质量分数; 1)果皮和菜叶鲜样比例为 1:3(以干重计); 2)蚓粪、果皮、菜叶和木屑混合物料的 C/N 比值。

分别在堆制 15、30、45、60 d 时进行蚯蚓计数和称重。计数时先将上层堆制垃圾缓慢倒出,仔细挑出上层垃圾和粗网下蚓粪中成蚓、幼蚓和蚓茧,对成蚓和幼蚓进行计数和称重,对蚓茧进行计数。堆制 60 d 后,收集粗网上残留的果皮、菜叶物料并风干称重。处理完全的垃圾会通过蚯蚓的取食、排泄和携带等作用进入粗网下,将粗网下的垃圾处理物与蚓粪充分混匀作为堆制产物,测定其有机 C 和全 N 含量,进而初步评价堆制产物的化学性状。而未接种蚯蚓的处理,粗网上的有机物料除分解完全的少部分会落入网下外,其余仍留在网上。

## 1.3 蚯蚓生长、繁殖测定方法<sup>[14]</sup>

蚯蚓日增重倍数 = (堆制一定时间后蚯蚓总重 - 初始蚓重) / (初始蚓重 × 堆制时间) (1)

蚯蚓日增殖倍数 = (堆制一定时间后蚯蚓总数 - 初始蚯蚓数) / (初始蚯蚓数 × 堆制时间) (2)

式 (1)、式 (2) 中,蚯蚓总数包括成蚓数、幼蚓数和蚓茧数,每个蚓茧按 1 条蚯蚓计,堆制时间以 d 计,蚓重以 g 计。

## 1.4 样品测试项目及方法

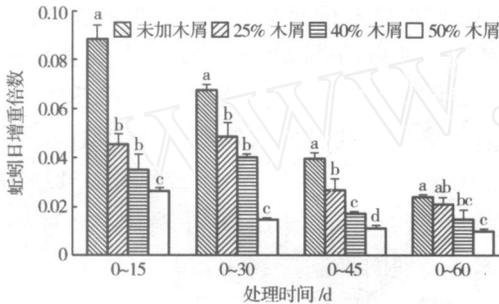
采用常规法测定含水量、干物质量<sup>[15]289-290</sup>、pH 值<sup>[15]112-114</sup>和全 N 含量<sup>[15]146-149</sup>;采用固体稀释法<sup>[16]</sup>

测定有机 C 含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蚯蚓在果皮、菜叶垃圾堆制过程中生长和繁殖特性分析

在利用蚯蚓处理有机废弃物时,蚯蚓生长和繁殖状况直接影响处理效果<sup>[17]</sup>,因而有必要对蚯蚓生长和繁殖状况进行统计。不同堆制处理对赤子爱胜蚓日增重倍数和日增殖倍数的影响见图 1 和图 2。



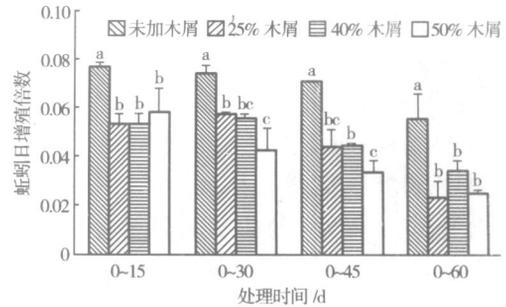
小写字母不同表示同一时期各处理间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 用 Duncan's 法进行多重比较

图 1 不同堆制处理对赤子爱胜蚓日增重倍数的影响  
Fig 1 Effect of the treatments on daily growth of Eisenia foetida in the experiment

由图 1 可以看出,各个处理时期未加木屑处理中蚯蚓的日增重倍数均高于加入木屑处理组,而加木屑处理中蚯蚓的日增重倍数又随木屑添加比例的增加而减小。混合有机物料堆制 15 d,未加木屑处理中蚯蚓的平均日增重倍数显著高于其他处理,且随木屑所占比例的增加而减小,其原因可能为:(1)由于木屑含较多芳烃类有机物质,刺激性气味较浓<sup>[18]</sup>,在一定程度上抑制了蚯蚓的生长;(2)加入木屑的处理在堆制初期 C/N 比值过高,N 素营养缺乏,使蚯蚓发育不良<sup>[10, 18]</sup>,故加入木屑处理中蚯蚓生长缓慢。蚯蚓在 0~30 d 的平均日增重倍数仍以未加木屑处理为最高,而加入木屑的处理又以 25% 木屑处理中蚯蚓日增重倍数最大,为 0.048 3,40% 木屑处理次之,但 2 处理间差异不显著。其原因首先是木屑对蚯蚓生长的抑制作用,使加入木屑处理中蚯蚓日增重倍数显著降低;其次是果皮、菜叶在堆制降解过程中产生大量渗滤液,适当加入木屑可使部分渗滤液被木屑固持吸收,为蚯蚓和微生物生长提供养分,因此,加入 25% 和 40% 木屑 2 处理的蚯蚓在 0~30 d 的日增重倍数均显著高于 50% 木屑处

理组。各个处理的蚯蚓在 0~45 d 的日增重倍数均显著低于 0~30 d 对应处理的蚯蚓日增重倍数,堆制 60 d 与 45 d 时差异不显著,说明蚯蚓的日增重倍数在堆制 45 d 时已基本稳定。随着堆制时间的延长,未加木屑处理中蚯蚓日增重倍数逐渐减小,而 25% 和 40% 木屑处理中蚯蚓日增重倍数则是先逐渐增大,且在堆制 0~30 d 时达到最大,这与李辉信等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,但是此时 2 处理间差异不显著,随后 2 处理中蚯蚓日增重倍数均又减小,并在堆制 45 d 时趋于稳定。各个堆制时期 50% 木屑处理中蚯蚓的日增重倍数均最小,且从刚开始堆制就逐渐降低,至堆制 30 d 时已趋于稳定。

上述结果表明:提高所加木屑的比例虽然增加了果皮、菜叶的通气性,调节了果皮、菜叶腐烂时产生的过量水分,避免因渗滤液流失而对环境造成污染,但是在一定程度上却抑制了蚯蚓生长<sup>[20]</sup>。尽管如此,本试验加 25% 和 40% 木屑处理中蚯蚓仍然生长良好。



小写字母不同表示同一时期各处理间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 用 Duncan's 法进行多重比较

图 2 不同堆制处理对赤子爱胜蚓日增殖倍数的影响  
Fig 2 Effect of the treatments on daily reproduction of Eisenia foetida in the experiment

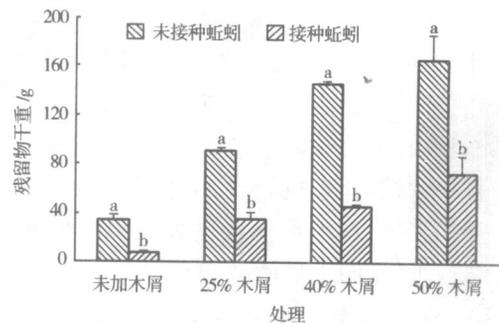
由图 2 可以看出,各个处理时期,未加木屑处理中蚯蚓日增殖倍数均高于加入木屑处理,加入木屑处理中又以 25% 和 40% 木屑处理日增殖倍数较高,这是因为 25% 和 40% 木屑处理初始物料的 C/N 比值分别为 20.2 和 24.2,比较适合有机物料的堆制和蚯蚓的生长。这与刘艳玲等<sup>[21]</sup>认为物料的 C/N 比值在 20 左右蚯蚓可以获得较高生殖率,以及 NDEWA 等<sup>[22]</sup>认为,在造纸厂污泥 C/N 比值为 25 时蚯蚓可以获得最高生殖率的研究结果一致。图 2 显示蚯蚓在堆制 15 d 时已开始繁殖,此时,未加木

屑处理在 0~15 d 的日增殖倍数最大,为 0.077,显著高于加入木屑各处理,而加入木屑各处理的日增殖倍数没有显著差异,均在 0.055 左右,其原因与堆制 15 d 时蚯蚓的日增重倍数相似,也是木屑的抑制作用。堆制 0~30 d 期间,加入木屑的各处理平均日增殖倍数以 25% 木屑处理为最大,达到 0.057,而 50% 木屑处理最小,表明在堆制 30 d 时随着木屑含量的增加和物料中果皮、菜叶垃圾所占比例的降低,蚯蚓的日增殖倍数逐渐减小,此结果与 KAUSHIK 等<sup>[13]</sup>的结论相同。可能原因是木屑中纤维素、木质素含量较高,不容易在短期内降解,因而抑制了蚯蚓的生长繁殖;同时,果皮、菜叶垃圾在堆制降解过程中产生大量渗滤液,而适量加入的木屑(25% 和 40% 木屑处理)固持吸收了部分渗滤液,为蚯蚓繁殖和微生物生长提供了养分。随着堆制时间的延长,未加木屑处理中蚯蚓的日增殖倍数逐渐减小,这是因为堆制过程中渗滤液大量流出,使该处理养分含量降低,尽管在堆制期间调节了有机物料的含水量,但是由于堆制后期未加木屑处理的堆制产物剩余量较小,再加上其保水性较差使物料含水量变化较大,抑制了蚯蚓的繁殖<sup>[20]</sup>,从而导致蚯蚓繁殖率降低。而 25% 与 40% 木屑处理中赤子爱胜蚓各个时期日增殖倍数均随着堆制时间的延长而逐渐增大,在堆制 30 d 时达到最大,但 0~45 以及 0~60 d 的平均值又迅速减小,与蚯蚓的日增重倍数的变化规律相似。50% 木屑处理则从刚开始堆制就逐渐降低,至 45 d 时趋于稳定。

从蚯蚓在果皮、菜叶垃圾堆制过程中的生长和繁殖特性分析可看出,加入木屑后蚯蚓的日增重倍数和日增殖倍数均小于未加木屑的处理,但是 25% 和 40% 木屑处理中赤子爱胜蚓总体上生长良好,繁殖较旺盛,且在堆制 30 d 时达到最大。0~60 d 堆制期内平均,未加入木屑处理中蚯蚓的生长和繁殖呈明显减小趋势,而加入木屑处理则经历了一个先增大后略有减小最后趋于平稳的过程。尽管有些相关报道认为农业有机废弃物对蚯蚓的生长和繁殖有不利影响<sup>[13]</sup>,但是从本试验中蚯蚓的生长和繁殖情况看,在果皮、菜叶垃圾和木屑的堆制处理中接种蚯蚓是有效的,与 MABOETA 等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。表明加入适量木屑不仅可以调节有机物料的 C/N 比值和含水量,使赤子爱胜蚓生长良好,繁殖较旺盛,同时还可以固持一定量渗滤液,减少环境污染。

## 2.2 蚯蚓对果皮、菜叶垃圾堆制残留物干重的影响

利用蚯蚓处理有机垃圾的一个主要依据就是通过蚯蚓与微生物的协同作用可以加速有机物质的分解转化。从赤子爱胜蚓对果皮、菜叶垃圾堆制残留物干重的影响(图 3)可以看出,经过 60 d 堆制,接种蚯蚓处理的粗网上果皮、菜叶垃圾堆制残留物干重显著小于未接种蚯蚓的对应处理。表明接种蚯蚓处理的堆制效果明显比未接种处理好,接种蚯蚓可以明显加速有机物料的降解。因此,通过公式:(果皮、菜叶垃圾经未接种蚯蚓堆制 60 d 后残留物干重 - 接种蚯蚓堆制 60 d 后残留物干重) / 初始垃圾干重,计算出未加木屑,加 25%、40% 和 50% 木屑处理由于接种蚯蚓而加速降解的有机物料干重占总干重的比例分别为 13.09%、27.49%、49.70% 和 45.56%。从这一计算结果可看出,接种蚯蚓后 40% 木屑处理的堆制产物干重减少最多,其原因可能为:(1)该处理初始有机物料 C/N 比值为 24.2,营养均衡,比较适合蚯蚓生长繁殖,因此蚯蚓有较强活力,对饵料需求较大;(2)接种蚯蚓提高了堆制产物中微生物生物量,微生物与蚯蚓协同作用加速了有机物料的降解,具体机理还需作进一步研究。



小写字母不同表示接种和未接种蚯蚓处理间有显著差异 (P < 0.05), 用 Duncan s 法进行多重比较

图 3 赤子爱胜蚓对果皮、菜叶垃圾经堆制 60 d 后残留物干重的影响

Fig 3 Effect of Eisenia foetida on dry weight of remnant of the waste after 60 days of vermicomposting

## 2.3 蚯蚓对果皮、菜叶垃圾堆制产物养分含量的影响

各处理堆制 60 d, 堆制产物有机 C、全 N 及 C/N 比值见表 3。

表 3 堆制 60 d 后各处理产物有机 C、全 N 含量及 C/N 比值

Table 3 Organic carbon, total nitrogen and C/N ratios of vermicomposts in different treatments

处理	有机 C/(g·kg <sup>-1</sup> )		全 N/(g·kg <sup>-1</sup> )		C/N 比值	
	未接种蚯蚓	接种蚯蚓	未接种蚯蚓	接种蚯蚓	未接种蚯蚓	接种蚯蚓
未加木屑	157.04 ± 5.38 cA	148.72 ± 10.45 bA	15.48 ± 0.71 aA	17.70 ± 1.56 aA	10.14 ± 0.18 dA	8.46 ± 1.34 bA
25%木屑	162.14 ± 4.33 bcA	155.35 ± 1.73 abA	15.07 ± 0.55 abB	17.08 ± 0.11 aA	10.77 ± 0.33 cA	9.09 ± 0.24 bB
40%木屑	171.63 ± 7.71 abA	156.00 ± 2.13 abB	14.42 ± 0.54 bB	15.66 ± 0.41 bA	12.27 ± 0.19 bA	10.93 ± 0.28 aB
50%木屑	176.92 ± 4.10 aA	171.21 ± 7.73 aA	12.89 ± 0.23 cA	13.35 ± 0.32 cA	13.31 ± 0.41 aA	11.69 ± 0.19 aB

同一列中小写字母不同表示各处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ );同一行中大写字母不同表示接种与未接种蚯蚓处理间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 用 Duncan's 法进行多重比较。

比较表 1 和表 3 结果可知,经过 60 d 堆制处理,堆制产物有机 C 含量比初始物料均有明显降低,而且接种蚯蚓处理的有机 C 含量比未接种的对应处理更低。其中 40%木屑处理差异达显著水平。表明加入蚯蚓促进了有机质的矿化,ELV RA 等<sup>[24]</sup>将其原因归结为有机物料中接种蚯蚓后大量有机 C 以 CO<sub>2</sub> 形式损失。伴随着有机 C 的矿化,堆制物料的全 N 量则有所增加,这已为很多研究<sup>[13,25]</sup>所证实。其原因可能是堆制过程中有机物矿化分解以及水分蒸发引起干物质减少;另外,堆制后期固氮菌的固氮作用也有助于增加堆制产物全 N 量<sup>[25]</sup>。本试验加入木屑各处理中接种蚯蚓后,堆制产物全 N 量均高于未接种处理,其中 25%和 40%木屑处理均达显著水平。当然,堆制产物中全 N 量高低最终还取决于原始物料中含 N 量和试验结束时物料的腐熟程度。

由表 2 和表 3 还可以看出,经堆制 60 d 后,各处理堆制产物 C/N 比值与初始物料相比均有明显降低,而且接种蚯蚓处理的 C/N 比值比未接种的对应处理更低,此结果与国外研究<sup>[13,23]</sup>结论一致。可能原因是:蚯蚓及其肠道内微生物和酶以及有机物料中微生物促进了堆制物料的降解<sup>[26]</sup>。各处理的有机物料 C/N 比值随着木屑含量的增加而增大则主要是受木屑的影响:木屑有机 C 含量高达 374.98 g·kg<sup>-1</sup>,C/N 比值为 595.1,而且主要含有纤维素、木质素等难降解有机物质,降解速度缓慢。

从以上分析可以看出,经堆制 60 d 后,有机物料中有机 C 含量和 C/N 比值均比初始物料有所降低,全 N 含量均有所增加。有机物料中接种蚯蚓,显著降低了 40%木屑处理的有机 C 含量,而显著增加了 25%和 40%木屑处理的全 N 含量。C/N 比值减小意味着有机物料的降解,表明接种蚯蚓可以加速有机物料的矿化分解。

### 3 结论

(1)从蚯蚓在果皮、菜叶垃圾堆制过程中的生长和繁殖可看出,加入木屑处理中蚯蚓的日增重倍数和日增殖倍数均小于未加木屑处理,但是 25%和 40%木屑堆制处理中赤子爱胜蚓总体上生长良好,繁殖较旺盛。

(2)经堆制 60 d 后,接种蚯蚓处理的果皮、菜叶垃圾堆制残留物干重显著小于未接种蚯蚓的对应处理。接种蚯蚓使 40%木屑处理的果皮、菜叶垃圾堆制残留物干重减少最多。

(3)经堆制 60 d 后,接种蚯蚓处理堆制产物的有机 C 含量比未接种的对应处理更低,其中 40%木屑处理差异达显著水平;同时,接种蚯蚓增加了堆制产物全 N 量,使 25%和 40%木屑处理均显著高于未接种蚯蚓的对应处理;而且接种蚯蚓处理的 C/N 比值比未接种蚯蚓的对应处理更低,其中加入木屑的各处理差异均达显著水平。

#### 参考文献:

- [1] 朴哲,崔宗均,温耀伟,等.高温堆肥体系中主要营养元素的动态变化[J].中国农学通报,2001,17(1):17-19.
- [2] LEE K E. Earthworms: Their Ecology and Relationships With Soil and Land Use[M]. Australia: Academic Press, 1985: 15-16.
- [3] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用: III 蚯蚓在处理有机废弃物和生活污水上的应用[J].上海农学院学报,2000,18(1):53-58.
- [4] 黄福珍. 蚯蚓[M].北京:农业出版社,1982:116-118.
- [5] 孙振钧,孙永明. 蚯蚓反应器与废弃物肥料化技术[M].北京:化学工业出版社,2004:34-35.
- [6] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J].生态学报,1997,17(5):556-560.
- [7] 张宝贵,李贵桐,申天寿. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响[J].生态学报,2000,20(1):168-172.
- [8] ELV RA C, SAMPEDRO L, DOMINGUEZ J, et al. Vermicom-

(下转第 64 页)

时,可发生重金属竞争吸附作用,竞争能力强弱顺序与吸附能力顺序相同,重金属之间的竞争作用随土壤 pH 值和重金属污染程度增加而增强。

#### 参考文献:

- [1] 王学锋,杨艳琴.土壤-植物系统重金属形态分析和生物有效性研究进展[J].化工环保,2004,24(1):24-28.
- [2] KABATA-PEND I A S A, PEND I A S H. Trace Elements in Soils and Plants[M]. 2nd ed Boca Raton: CRC Press, 1992: 324.
- [3] ADR I A N O D C. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risk of Metals[M]. 2nd ed New York: Springer-Verlag, 2001: 1-30.
- [4] 徐明岗,李菊梅,张青. pH对黄棕壤重金属解吸特征的影响[J].生态环境,2004,13(3):312-315.
- [5] 胡红青,陈松,李妍,等.几种土壤的基本理化性质与 Cu 吸附的关系[J].生态环境,2004,13(4):544-545.
- [6] 邹献中,徐建明,赵安珍,等.可变电荷土壤中铜离子的解吸[J].土壤学报,2004,41(1):68-73.
- [7] 胡振琪,杨秀红,高爱林.粘土矿物对重金属镉的吸附研究[J].金属矿山,2004(6):53-55.
- [8] 张增加,张一平,朱兆华.镉在土壤中吸持的动力学特征研究[J].环境科学学报,2000,20(3):370-375.
- [9] 龙新宪,倪吾钟,杨肖娥.菜园土壤铜吸附-解吸特性的研究[J].农村生态环境,2000,16(3):39-41.
- [10] 夏运生,万洪富,杨国义,等.东莞市不同区域菜地土壤重金属污染状况研究[J].生态环境,2004,13(2):170-172.
- [11] 马成玲,周健民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究——以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.
- [12] 陈凤,濮励杰.快速城市化地区土壤重金属污染物的分布——以昆山市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):54-57.
- [13] 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,1978:132-502.
- [14] SPARK D L. Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods[M]. Madison: SSSA and ASA, 1996: 739-768.
- 作者简介:符娟林(1978—),女,四川通江人,讲师,硕士,主要从事资源管理与环境方面研究。
- From Dairy and Paper Industries for Growth and Reproduction of *Eisenia andrei*[J]. Pedobiologia, 1998, 43(6): 766-770.
- [19] 李辉信,胡锋,仓龙,等.蚯蚓堆制处理对牛粪性状的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(3):588-593.
- [20] B N T O R O G, E D W A R D S C A. The Influence of Different Moisture Levels on the Growth, Fecundity and Survival of *Eisenia foetida* (Savigny) in Cattle and Pig Manure Solids[J]. European Journal of Soil Biology, 2003, 39(1): 19-25.
- [21] 刘艳玲,马忠海,黄丽华.室内蚯蚓养殖技术条件初探[J].微生物学杂志,2000,20(3):63-64.
- [22] N D E W A P M, T H O M P O S O N S A. Effects of C-to-N Ratio on Vermicomposting of Biosolids[J]. Bioresource Technology, 2000, 75(1): 7-12.
- [23] M A B O E T A M S, R E N S B U R G L V. Vermicomposting of Industrially Produced Woodchips and Sewage Sludge Utilizing *Eisenia foetida*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2003, 56(2): 265-270.
- [24] E L V I R A C, G O I C O E C H E A M, S A M P D R O L, et al. Bioconversion of Solid Paper-Pulp Mill Sludge by Earthworms[J]. Bioresource Technology, 1996, 75(3): 173-177.
- [25] B A N S A L S, K A P O O R K K. Vermicomposting of Crop Residues and Cattle Dung With *Eisenia foetida*[J]. Bioresource Technology, 2000, 73(2): 95-98.
- [26] W H I S T O N R A, S E A L K J. The Occurrence of Cellulases in the Earthworm *Eisenia foetida*[J]. Biological Wastes, 1988, 25(3): 239-242.
- posting of Waste Water Sludge From Paper-Pulp Industry With Nitrogen Rich Materials[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 29(3/4): 759-762.
- [9] 周文兵,刘大会,朱端卫,等.不同调理剂对猪粪堆肥过程及其养分状况的影响[J].华中农业大学学报,2004,23(4):421-425.
- [10] 仓龙,李辉信,胡锋,等.赤子爱胜蚓处理畜禽粪的最适湿度和接种密度研究[J].农村生态环境,2002,18(3):38-42.
- [11] 仓龙,李辉信,胡锋,等.蚯蚓堆制处理牛粪的腐熟度指标初步研究[J].农村生态环境,2003,19(4):35-49.
- [12] K A U S H I K P, G A R G V K. Vermicomposting of Mixed Solid Textile Mill Sludge and Cow Dung With the Epigeic Earthworm *Eisenia foetida*[J]. Bioresource Technology, 2003, 90(3): 311-316.
- [13] K A U S H I K P, G A R G V K. Dynamics of Biological and Chemical Parameters During Vermicomposting of Solid Textile Mill Sludge Mixed With Cow Dung and Agricultural Residues[J]. Bioresource Technology, 2004, 94(2): 203-209.
- [14] 胡秀仁,方田,李国鼎.蚯蚓处理垃圾的试验研究[J].农村生态环境,1991,7(4):44-49.
- [15] 鲁如坤.土壤农业化学分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [16] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学技术出版社,1983:67-73.
- [17] D O M N G U Z E J, E D W A R D S C A. Effect of Stocking Rate and Moisture Content on the Growth and Maturation of *Eisenia foetida* (Oligochaete) in Pig Manure[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 9(3/4): 743-746.
- [18] E L V I R A C, S A M P E D R O L, N O G A L E S R. Suitability of Sludges
- 作者简介:杨文霞(1979—),女,山东莘县人,硕士生,研究方向为有机废弃物的资源化利用。

#### (上接第 53 页)

posting of Waste Water Sludge From Paper-Pulp Industry With Nitrogen Rich Materials[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 29(3/4): 759-762.

- [9] 周文兵,刘大会,朱端卫,等.不同调理剂对猪粪堆肥过程及其养分状况的影响[J].华中农业大学学报,2004,23(4):421-425.
- [10] 仓龙,李辉信,胡锋,等.赤子爱胜蚓处理畜禽粪的最适湿度和接种密度研究[J].农村生态环境,2002,18(3):38-42.
- [11] 仓龙,李辉信,胡锋,等.蚯蚓堆制处理牛粪的腐熟度指标初步研究[J].农村生态环境,2003,19(4):35-49.
- [12] K A U S H I K P, G A R G V K. Vermicomposting of Mixed Solid Textile Mill Sludge and Cow Dung With the Epigeic Earthworm *Eisenia foetida*[J]. Bioresource Technology, 2003, 90(3): 311-316.
- [13] K A U S H I K P, G A R G V K. Dynamics of Biological and Chemical Parameters During Vermicomposting of Solid Textile Mill Sludge Mixed With Cow Dung and Agricultural Residues[J]. Bioresource Technology, 2004, 94(2): 203-209.
- [14] 胡秀仁,方田,李国鼎.蚯蚓处理垃圾的试验研究[J].农村生态环境,1991,7(4):44-49.
- [15] 鲁如坤.土壤农业化学分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [16] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学技术出版社,1983:67-73.
- [17] D O M N G U Z E J, E D W A R D S C A. Effect of Stocking Rate and Moisture Content on the Growth and Maturation of *Eisenia foetida* (Oligochaete) in Pig Manure[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 9(3/4): 743-746.
- [18] E L V I R A C, S A M P E D R O L, N O G A L E S R. Suitability of Sludges

From Dairy and Paper Industries for Growth and Reproduction of *Eisenia andrei*[J]. Pedobiologia, 1998, 43(6): 766-770.

- [19] 李辉信,胡锋,仓龙,等.蚯蚓堆制处理对牛粪性状的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(3):588-593.
- [20] B N T O R O G, E D W A R D S C A. The Influence of Different Moisture Levels on the Growth, Fecundity and Survival of *Eisenia foetida* (Savigny) in Cattle and Pig Manure Solids[J]. European Journal of Soil Biology, 2003, 39(1): 19-25.
- [21] 刘艳玲,马忠海,黄丽华.室内蚯蚓养殖技术条件初探[J].微生物学杂志,2000,20(3):63-64.
- [22] N D E W A P M, T H O M P O S O N S A. Effects of C-to-N Ratio on Vermicomposting of Biosolids[J]. Bioresource Technology, 2000, 75(1): 7-12.
- [23] M A B O E T A M S, R E N S B U R G L V. Vermicomposting of Industrially Produced Woodchips and Sewage Sludge Utilizing *Eisenia foetida*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2003, 56(2): 265-270.
- [24] E L V I R A C, G O I C O E C H E A M, S A M P D R O L, et al. Bioconversion of Solid Paper-Pulp Mill Sludge by Earthworms[J]. Bioresource Technology, 1996, 75(3): 173-177.
- [25] B A N S A L S, K A P O O R K K. Vermicomposting of Crop Residues and Cattle Dung With *Eisenia foetida*[J]. Bioresource Technology, 2000, 73(2): 95-98.
- [26] W H I S T O N R A, S E A L K J. The Occurrence of Cellulases in the Earthworm *Eisenia foetida*[J]. Biological Wastes, 1988, 25(3): 239-242.

作者简介:杨文霞(1979—),女,山东莘县人,硕士生,研究方向为有机废弃物的资源化利用。