

# 不同碳氮比培养基质组合对赤子爱胜蚓 生长繁殖的影响

刘婷<sup>1,2</sup>, 任宗玲<sup>1</sup>, 陈旭飞<sup>1</sup>, 张池<sup>1</sup>, 戴军<sup>1</sup>

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

**摘要:**在实验室条件下,以不同配比的牛粪和稻秆作为培养基质,研究了赤子爱胜蚓 *Eisenia foetida* 在不同碳氮比培养基条件下生物量以及数量变化情况.结果表明:100%牛粪(碳氮比为21.8)和80%牛粪+20%稻秆组合(碳氮比为24.9)堆置30、60、90 d后的蚯蚓生物量显著高于其他处理;60%牛粪+40%稻秆组合(碳氮比为28.7)堆置60和90 d后蚯蚓总数量最多,显著高于其他处理,在第90天达到324条;另外,培养基质的碳氮比与蚯蚓的生物量和数量均呈显著负相关关系( $P < 0.001$ ).由此可知,碳氮比在21.8~24.9之间的牛粪和稻秆基质组合适宜蚯蚓生长,碳氮比为28.7的牛粪和稻秆基质组合适宜蚯蚓繁殖.

**关键词:**赤子爱胜蚓;牛粪;稻秆;碳氮比;生长;繁殖

中图分类号:X712

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)03-0321-05

## Effects of Vermibeds with Different C/N Ratios on the Growth and Fecundity of *Eisenia foetida*

LIU Ting<sup>1,2</sup>, REN Zong-ling<sup>1</sup>, CHEN Xu-fei<sup>1</sup>, ZHANG Chi<sup>1</sup>, DAI Jun<sup>1</sup>

(1 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Institute of Eco-Environment and Soil Science, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** Comparative studies were performed to evaluate the growth and fecundity of earthworm, *Eisenia foetida*, in the combination of cattle manure and rice straw with different C/N ratios under laboratory condition. The observations indicated that the biomass of *E. foetida* was significantly higher in cattle manure with C/N ratio of 21.8 and 80% cattle manure + 20% rice straw with C/N ratio of 24.9 when compared to other treatments at 30, 60, 90 days. Moreover, the population of worms in 60% cattle manure + 40% rice straw, which had a C/N ratio of 28.7, was significantly greater than that of others at 60 or 90 days, and the number of worms increased up to 324 after 90 days. The C/N ratio of vermibeds showed significantly negative relation with earthworm biomass and population. In conclusion, the optimum C/N ratio of cattle manure and rice straw combination is from 21.8 to 24.9 for *E. foetida* growth, and 28.7 for fecundity.

**Key words:** *Eisenia foetida*; cattle manure; rice straw; C/N ratio; growth; fecundity

据国家环保总局调查,1999年我国畜禽粪便产生量约为19亿t,是工业固体废弃物产生量的2.4倍,而广东地区规模化畜禽养殖场的粪便相当于本地区工业废弃物的40%<sup>[1]</sup>;且其上升趋势明显,据预

测,2020年中国畜禽粪便总量将达到约42亿t<sup>[2]</sup>.此外,我国农作物秸秆资源丰富,年产量达到7亿t以上,其中,以稻、麦、玉米秸秆为主,约占总量的3/4甚至更多<sup>[3]</sup>.随着我国农村经济水平提高和生产方

收稿日期:2011-05-26

作者简介:刘婷(1984—),女,硕士研究生;通信作者:戴军(1958—),男,教授,博士;E-mail:jundai@scau.edu.cn

基金项目:农业部生态农业重点开放实验室开放课题项目(2009K14);广东省科技计划项目(2008B080703010, 2007B080703011);广东省-教育部产学研结合项目(2011A090200038)

式的改变,畜禽粪便和秸秆数量已经超出农村消纳的能力,所引起的环境问题受到普遍关注<sup>[4-7]</sup>.而蚯蚓堆置处理是将传统的堆肥法与生物处理法相结合,通过蚯蚓的新陈代谢作用,将废弃物转化为物理、化学和生物学俱佳的蚯蚓粪,同时废弃物转化为稳定腐殖质类产物的生态-生物转化过程<sup>[8]</sup>.其具有环保优势,且处理过程简单,有明显的经济、社会及环境意义,目前已成为热门的研究课题之一<sup>[9-11]</sup>.

赤子爱胜蚓 *Eisenia foetida* 运动活跃,食性广,性成熟周期短、产茧率高,易于驯服,适应培养基的环境温度和湿度范围广<sup>[12]</sup>,肠道内纤维素酶活性较高,能有效地利用主要构成成份为纤维素的植物残体<sup>[13]</sup>,被广泛运用于蚯蚓处理废弃物工艺中.待处理的有机废弃物不仅是处理对象,同时也是蚯蚓新陈代谢和生长繁殖所需的物质和能量.对于所有的生物体来说,有机碳和无机氮用于细胞合成、生长和代谢,扮演着较重要的角色.物料的碳氮比(C/N)对蚯蚓的生长和繁殖有较大影响<sup>[14]</sup>.C/N 过高,氮素营养少,蚯蚓发育不良,生长缓慢;C/N 过低,氮素含量过高,容易引起蚯蚓蛋白质中毒症,导致蚓体腐烂<sup>[15]</sup>.因此,寻求适宜的碳氮比,以提高物料的适口性,促进蚯蚓的生长和繁殖,对蚯蚓处理效率的提高具有重要的意义.本文研究不同 C/N 的牛粪和稻秆组合基质中赤子爱胜蚓生长和繁殖情况,探讨适宜赤子爱胜蚓生长和繁殖的 C/N 范围,以期对牛粪和稻秆的资源化处理提供技术参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 蚯蚓 赤子爱胜蚓,采自江门市浩伦生态农业有限公司科研生产基地.在室温、含水率( $w$ )60%条件下,先将收集的蚯蚓用牛粪喂养3个月;之后挑选具有成熟环、健康活泼、每条质量0.2~0.3 g、长约5 cm的蚯蚓作为供试用蚓.

1.1.2 有机物料 牛粪和稻秆,采自华南农业大学宁西实验基地,其中牛粪在自然条件下堆置后,风干磨碎过2 mm筛,取筛下物;稻秆风干后剪成2~3 cm长;物料基本化学性质如表1所示.

表1 供试有机物料的基本化学性质

Tab.1 Basic chemical properties of organic materials

物料	$w/\%$				碳氮比	pH
	有机碳	全氮	全磷	全钾		
牛粪	37.1	1.70	0.74	1.55	21.8	8.42
稻秆	44.4	0.94	0.03	2.22	47.2	7.76

### 1.2 方法

1.2.1 试验方案 采用高约16 cm、上口直径18 cm和下底直径12 cm的塑料盆培养蚯蚓,底部粘贴纱网,以防止蚯蚓逃逸.按牛粪和稻秆的不同配比设置6个处理,每个处理物料总质量200 g,每一处理3次重复,各处理的牛粪和稻秆的质量及其碳氮比如表2所示.调节物料的含水率( $w$ )在60%~70%之间<sup>[16]</sup>,装入花盆中并接种20条成年蚯蚓,每条平均质量约为0.3 g,其总生物量约6 g,在室温条件下养殖且每隔1~2 d用称重法保持物料湿度在饱和持水量的60%~70%范围;分别在培养的0、30、60、90 d后,根据是否具有成熟环分选出成蚓和幼蚓,对其生物量及总数量进行测定和记录,并进行数据处理.

表2 蚯蚓接种试验设置情况

Tab.2 Details of earthworm inoculation in different combinations of cattle manure and rice straw

处理编号	$m/g$		碳氮比	蚯蚓数量/ 条
	牛粪	稻秆		
C	200	0	21.8	20
CS 4:1	160	40	24.9	20
CS 3:2	120	80	28.7	20
CS 2:3	80	120	33.4	20
CS 1:4	40	160	39.3	20
S	0	200	47.2	20

1.2.2 物料化学性质测试 pH测定选用pH计电位法(土水质量比1:10);有机质用重铬酸钾容量法-外加热氧化法;全氮用硫酸-过氧化氢消煮法,微量开氏法(KDN-102C定氮仪);全磷用硫酸-过氧化氢消煮,钼钒黄法(岛津UV-1700紫外分光光度计);全钾用硫酸-过氧化氢消煮,原子吸收法(HITACHI Z-5300原子吸收分光光度计)<sup>[17]</sup>.

1.2.3 数据处理 采用微软Excel 2003和SAS 9.0统计软件对试验数据进行分析,其中,方差分析(ANOVA)用于对蚯蚓生物量和数量进行分析,并通过多重比较(DMRT)对同一时期不同处理间各个变量平均值差异显著性进行比较;同时,分别将第30、60及90天的蚯蚓总生物量和数量与培养基质的碳氮比进行相关分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同碳氮比基质组合中蚯蚓的生长情况

如表3所示,在0~90 d的试验期间,除了处理

S外,其他各处理的蚯蚓总生物量随时间延长呈现相同的趋势,经历增加-降低-增加的过程,在接种蚯蚓后的前30 d,各处理蚯蚓体质量均急速增加,达到

最大值.而处理S蚯蚓的总生物量则随着时间增加一直降低.

表3 不同碳氮比牛粪和稻秆基质组合下蚯蚓的总生物量<sup>1)</sup>

Tab.3 Effects of cattle manure and rice straw in different C/N ratios on earthworm biomass

处理	蚯蚓总生物量/g			
	0 d	30 d	60 d	90 d
C	6.62 ± 0.02 a	15.47 ± 1.27 a	14.12 ± 2.46 ab	14.72 ± 1.62 a
CS 4:1	6.57 ± 0.03 a	15.34 ± 0.55 a	15.29 ± 0.39 a	13.30 ± 1.34 b
CS 3:2	6.60 ± 0.04 a	13.11 ± 0.09 b	12.83 ± 0.30 b	12.96 ± 0.68 b
CS 2:3	6.61 ± 0.06 a	11.10 ± 0.13 c	9.94 ± 0.43 c	11.42 ± 0.37c
CS 1:4	6.61 ± 0.02 a	8.41 ± 0.25 d	7.35 ± 0.17 d	9.42 ± 0.37 d
S	6.62 ± 0.06 a	6.23 ± 0.25 e	5.50 ± 0.24 d	5.45 ± 0.23 e

1)表中数据为平均值±标准差,n=3;表中同一时间各处理平均值采用Duncan's法进行比较,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示蚯蚓总生物量差异不显著(P>0.05).

堆置30、60和90 d后,同一时期,运用方差分析显示各处理蚯蚓总生物量差异极显著( $F_{30d} = 123.46$ 、 $F_{60d} = 41.88$ 、 $F_{90d} = 43.24$ , $P < 0.0001$ ).接种蚯蚓30 d后,处理C和处理CS 4:1的蚯蚓生物量显著高于其他处理,两者平均值分别是15.47和15.34 g;接种蚯蚓60 d后,处理CS 4:1生物量最高;接种蚯蚓90 d,以处理C生物量最高.结果表明:在30、60、90 d,随着基质组合的碳氮比升高,蚯蚓总生物量呈现降低趋势.

培养基质碳氮比与蚯蚓的总生物量相关性分析如图1所示,在整个培养过程中(30、60、90 d),基质的碳氮比与蚯蚓的总生物量之间均存在极显著的负相关关系;无论在培养的初期(30 d)还是末期(90 d),蚯蚓生物量的变化均随着基质碳氮比的升高而显著下降.表明在本研究条件下,培养基质的碳氮比对蚯蚓生物量的变化而言是关键因素.

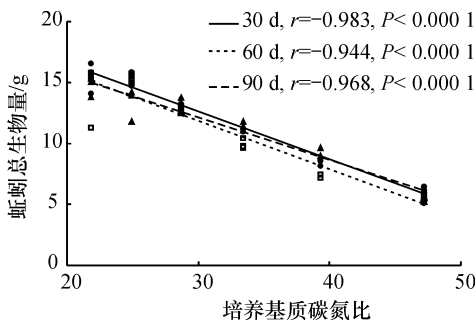


图1 培养基质碳氮比与接种30、60、90 d蚯蚓总生物量之间的相关关系

Fig.1 Relationship between C/N ratio of vermibeds and earthworm biomass at 30,60 and 90 days

2.2 不同碳氮比基质组合中蚯蚓的繁殖情况

如表4所示,接种30 d时蚯蚓数量不变,保持20条;之后随着时间增加,除了处理S,各处理的蚯蚓数量逐渐增加,试验结束时(90 d)到最大值.处理S中,接种60 d时蚯蚓数量不变,也没有发现蚓卵的存在;直到接种90 d后,堆料中蚓卵和幼蚓才出现,且蚯蚓数量少量增加.

表4 不同碳氮比牛粪和稻秆基质组合下蚯蚓的总数量<sup>1)</sup>

Tab.4 Effects of cattle manure and rice straw in different C/N ratios on earthworm population

处理	蚯蚓总数量/条			
	0 d	30 d	60 d	90 d
C	20	20	66.0 ± 28.0 c	143.0 ± 24.2 c
CS 4:1	20	20	118.0 ± 10.6 b	257.0 ± 25.7 b
CS 3:2	20	20	148.0 ± 11.4 a	324.0 ± 13.3 a
CS 2:3	20	20	110.0 ± 5.6 b	261.0 ± 10.7 b
CS 1:4	20	20	66.0 ± 10.7 c	157.0 ± 1.5 c
S	20	20	20.0 ± 0.6 d	30.0 ± 2.1 d

1)表中数据为平均值±标准差,n=3;表中同一时间各处理平均值采用Duncan's法进行比较,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示蚯蚓总数量差异不显著(P>0.05).

接种蚯蚓30 d后,各处理中蚯蚓主要进行生物量增长和产卵,而未发现幼蚓的出现,故蚯蚓的总数量(成蚓和幼蚓)不变.接种蚯蚓60 d后,蚓卵大量孵化,各处理蚯蚓的总数量差异极显著( $F = 32.76$ , $P < 0.0001$ ),CS 3:2总数量显著多于其他处理.接种90 d后,幼蚓数量剧增且蚓卵大量存在,各处理中蚯蚓总数量差异极显著( $F = 131.15$ , $P < 0.0001$ ),

其中处理 CS 3:2 蚯蚓数量依然最多,显著高于其他处理,在 90 d 上升为 324 条.结果表明,在 60、90 d 随着基质组合碳氮比的升高,蚯蚓总数量呈现先升高后降低的趋势,且处理 CS 3:2 的蚯蚓总数量均达到最大值.

培养基质碳氮比与蚯蚓总数量相关性分析如图 2 所示,在第 30 天,培养基质碳氮比与蚯蚓总数量之间相关性不显著;而自 60 d 起,培养基质碳氮比与蚯蚓总数量之间开始表现出极显著的负相关,且随着时间增加,两者的相关性程度表现出增强趋势.这表明蚯蚓进入繁殖期(30 d)以后,其繁殖速率的控制性因素是培养基质的碳氮比.

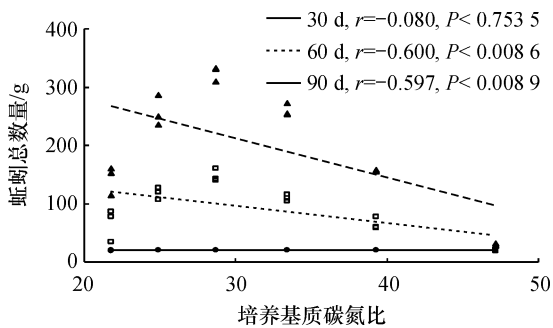


图 2 培养基质碳氮比与接种 30、60、90 d 蚯蚓总数量之间的相关关系

Fig. 2 Relationship between C/N ratio of vermicomposts and earthworm population at 30, 60 and 90 days

### 3 讨论与结论

赤子爱胜蚓在不同碳氮比的牛粪和稻秆的组合培养物料中先进行体质量增长,接种 30 d 后出现生长高峰期,随后主要进行产卵繁殖,接种 90 d 后出现繁殖高峰期,符合生物的生长曲线,与廖新伟等<sup>[18]</sup>的研究结果相一致.这可能是因为,在试验前期,物料组合中的营养成分充足,蚯蚓生长较快,达到性成熟,随着堆置物腐熟度进一步提高,物料的理化性质可能比较适合蚯蚓繁殖<sup>[19-20]</sup>.因此,在蚯蚓养殖期间,为了提高蚯蚓堆置处理的效率,需要定期添加新的物料,以保证蚯蚓得到充足的营养.

各处理温度、湿度、接种密度控制同一水平,物料的品质(即碳氮比)是影响蚯蚓生长和繁殖以及蚯蚓组成的主要因素.在限饲的条件下,因食物品质不同,蚯蚓喜欢把能量主要用于生长或者繁殖,培养基质的可利用性显著影响蚯蚓的生长和繁殖<sup>[21-22]</sup>.本研究结果表明:赤子爱胜蚓在不同碳氮比牛粪和稻秆组合中生物量和数量差异极显著;相关性分析显示培养基质的碳氮比与蚯蚓总生物量存在极显著

的负相关关系.其原因可能是,秸秆含有比较多难降解的木质素和多酚类物质,因而抑制了蚯蚓的生长,而木质素和多酚类含量和蚯蚓的生长之间存在着显著的负相关<sup>[23]</sup>,随着秸秆的比例越来越大,蚯蚓总生物量显著下降.

Edwards 等<sup>[24]</sup>研究食物对蚯蚓产卵量的影响指出,蚯蚓取食腐烂的动物性有机物比取食植物性有机物产卵量大,取食富含氮的食物其生长速度和产卵量都较快.将全氮含量丰富、碳氮比低的牛粪和全氮含量低、碳氮比较高的稻秆进行混合,可以保证蚯蚓繁殖中营养平衡<sup>[25]</sup>.另外加入适量的秸秆含量,不仅可以调节物料的环境,增加物料的通气性,而且可以固持吸收堆置过程中产生的部分渗滤液,为蚯蚓的繁殖和微生物生长提供营养<sup>[26]</sup>.本研究结果表明,培养基质碳氮比显著影响蚯蚓的总数量,且这种影响随着时间增加而增强,两者的相关性分析也证明了这一点.前人研究<sup>[27]</sup>表明在高碳氮比(19:1)的猪粪中,物料的微生物量和活性高于低碳氮比(11:1).这表明培养基质的碳氮比影响微生物的生长和繁殖.然而微生物又从以下 2 个方面同时影响蚯蚓的繁殖:一方面某些微生物可作为蚯蚓的食源<sup>[28]</sup>,为蚯蚓的繁殖提供能量;另一方面,微生物与蚯蚓相互作用加强了有机质降解、养分循环速率以及酶活性<sup>[29]</sup>,从而使蚯蚓获得更多可利用的碳和氮源<sup>[30]</sup>.因此,物料适宜的碳氮比对蚯蚓和微生物生长和繁殖具有重要的意义.另外,不同碳氮比的牛粪和稻秆组合培养基质同样影响蚯蚓数量的组成,与 Aira 等<sup>[27]</sup>的研究结果相一致,在稻秆含量低的处理中(低碳氮比)主要由成蚓组成,而在稻秆含量高的处理中(高碳氮比)主要由幼蚓组成.但是稻秆比例超过一定范围时,均不利于蚯蚓生长和繁殖<sup>[23]</sup>.

在相同温度、湿度和接种密度条件下,培养基碳氮比的差异对赤子爱胜蚓的生长和繁殖有显著影响.相关性分析结果表明,培养基碳氮比与蚯蚓的生物量和数量之间均呈极显著的负相关关系.其中分别在 30、60 和 90 d,处理 100% 牛粪(碳氮比:21.8)和处理 80% 牛粪 + 20% 稻秆组合(碳氮比:24.9)的蚯蚓生物量最高,显著高于其他处理,在第 30 天蚯蚓生物量高达 15.47 和 15.34 g;分别在第 60、90 天,处理 60% 牛粪 + 40% 稻秆组合(碳氮比:28.7)中蚯蚓总数量最多,显著高于其他处理,在第 90 天达到 324 条.因此,碳氮比在 21.8 ~ 24.9 之间的牛粪和稻秆组合适宜蚯蚓生长,碳氮比为 28.7 的牛粪和稻秆

组合适宜蚯蚓繁殖.

#### 参考文献:

- [1] 兰书林,周文晓,赵庆阳. 新编农业环境保护科技[M]. 郑州:中原农民出版社,2009:15-25.
- [2] 张福锁. 中国养分资源综合管理策略和技术[C]//中国农学会. 2006年中国农学会学术年会论文集:循环农业与新农村建设. 北京:中国农学会,2006:371-374.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 2000年中国农业统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2000.
- [4] 李远. 我国规模化禽畜养殖业存在的环境问题与防治对策[J]. 上海环境科学,2002,21(10):597-599.
- [5] 边炳鑫,赵由才. 农业固体废弃物的处理与综合利用[M]. 北京:化学出版社,2004:250-254.
- [6] 汪建飞,于群英,陈世勇. 农业固体有机废弃物的环境危害及堆肥化技术展望[J]. 安徽农业科学,2006,34(18):4720-4722.
- [7] 倪进. 焚烧秸秆对城市空气质量的影响及对策[J]. 污染防治技术,2007,76(3):73-75.
- [8] BENITEZ E, NOGALES R, MASCIANDRO G. et al. Isolation by isoelectric focusing of humic-urease complexes from earthworm (*Eisenia foetida*) processed sewage sludge[J]. Biol Fert Soils,2000,31:489-493.
- [9] 王丹丹,李辉信,胡锋,等. 蚯蚓处理城市生活垃圾的现状与趋势[J]. 江苏农业科学,2005(4):4-8.
- [10] 刘亚纳,田辉,司岸恒. 赤子爱胜蚓处理猪粪的研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(31):15282-15284.
- [11] 于建光,常志州,沈磊,等. 稻秸蚯蚓堆置后的物理、化学及微生物特性变化[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1503-1508.
- [12] REINECHE A J, VILJOEN S A, SAYMAN R J. The suitability of *Eudrilus Eugeniae*, *Perionyx Excavatus* and *Eisenia foetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements[J]. Biology & Fertility of Soils, 1992,24(12):1295-1307.
- [13] 张宝贵,李贵桐,孙钊. 两种生态类型蚯蚓几种消化酶比较研究[J]. 生态学报,2001,21(6):978-981.
- [14] DOMÍNGUEZ J, BRIONES M J I, MATO S. Effect of the diet on growth and reproduction of *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) [J]. Pedobiologia,1997,41:566-577.
- [15] KAPLAN DL, HARTENSTEIN R, NEUHAUSER E F, et al. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida* [J]. Soil Biology and Biochemistry,1980,12(4):347-352.
- [16] 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.
- [17] 中华人民共和国农业部. NY525 中华人民共和国农业行业标准:有机肥料[S]. 北京:[s. n.],2002:1-9.
- [18] 廖新梯,吴银宝,谢贺清. 不同蚯蚓对猪粪、牛粪利用特性及生长繁殖比较[J]. 福建畜牧兽医,1999(4):8-9.
- [19] 杨文霞,郑金伟,李志鹏,等. 果皮、菜叶混合垃圾的蚯蚓堆制处理[J]. 生态与农村环境学报,2006,22(2):49-53.
- [20] 周颖,陈泽光,宦霞娟,等. 蚯蚓堆制处理对不同物料4种酶活性的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(6):66-69.
- [21] SUTHAR S. Influence of different food substrate on growth and reproduction performance of composting epigeics: *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibari-cus* [J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2003,5(2):79-92.
- [22] DOMINGUEZ J, EDWARDS C A, WEBSTER M, Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei* [J]. Pedobiologia,2000,44:24-32.
- [23] HENDRIKSEN G M, MARINO F, MATO S. Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms [J]. Biology and Fertility of Soils,1990,10:17-21.
- [24] EDWARDS C A, LOFTY J R. Biology of Earthworm [M]. London:Chapman and Hall, 1977:58-59, 163-164.
- [25] 周颖. 秸秆与牛粪蚯蚓堆制处理时纤维素、半纤维素和木质素降解率及相关酶活性变化的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [26] 杨文霞. 城市有机混合垃圾和农业有机废弃物的蚯蚓堆置处理[D]. 江苏:南京农业大学,2006.
- [27] AIRA M, MONROY F, DOMINGUEZ J. C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia foetida* in vermicomposting systems[J]. European Journal of Soil Biology,2006(42):127-131.
- [28] EDWARDS C A, NEUHAUSER E F. et al. Earthworms in waste and environment management [M]. Netherlands: The Hague SPB Academic Press,1988:21-23.
- [29] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J]. 生态学报,1997,17(5):106-110.
- [30] TIUNOV A V, SCHEU S. Carbon availability controls the growth of detritivores (Lumbricidae) and their effect on nitrogen mineralization[J]. Oecologia,2004,138:83-90.

【责任编辑 周志红】