

王富强,王海花,张 禹,等. 蚯蚓处理热带农业废弃物木薯渣的可行性[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):457-460.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.134

# 蚯蚓处理热带农业废弃物木薯渣的可行性

王富强<sup>1,2</sup>, 王海花<sup>2,3</sup>, 张 禹<sup>1,2</sup>, 程华民<sup>2,3</sup>, 刁晓平<sup>2,3</sup>

(1. 海南大学环境与植物保护学院,海南海口 570228;2. 海南大学海口市环境毒理学重点实验室,海南海口 570228;  
3. 海南大学农学院,海南海口 570228)

**摘要:**以赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)为试验对象,用典型热带农业废弃物木薯渣为基质直接饲养蚯蚓,研究不同配比木薯渣与牛粪复合基质对蚯蚓平均增质量、生长率、日增质量倍数、产茧量、孵化率等生长繁殖指标及处理前后基质速效养分含量的影响。结果表明:蚯蚓可以直接对热带农业废弃物木薯渣进行生物处理,A6 组最适合蚯蚓生长,A7 组最适合蚯蚓繁殖;蚯蚓处理后复合基质的速效养分含量均有所提高,A7 组速效磷含量增幅最大,且增幅与牛粪比例有较好的相关性;A2 组速效钾含量增幅最大;A7 组碱解氮含量增幅最大。综合比较可知,A7 组(90% 牛粪 + 10% 木薯渣)不仅能使蚯蚓生长繁殖效果更好,而且能最大程度提高物料的速效养分含量。

**关键词:**赤子爱胜蚓;木薯渣;生长繁殖;速效养分

**中图分类号:** X712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0457-04

木薯主要用于加工淀粉、乙醇,全球木薯年产量在 2.68 亿 t 以上<sup>[1]</sup>。生物能源的快速发展推动木薯成为我国第六大热带非粮食作物,年产量约 1 000 万 t,每年产生的木薯渣超过 150 万 t<sup>[2]</sup>。新鲜的木薯渣由于富含可溶性营养物质和高含水率(80%~90%),容易引起微生物孳生,短时间内木薯渣便会被黄曲霉素污染,作为动物饲料易引起中毒,因此木薯渣深加工利用一直受到限制<sup>[3-4]</sup>。生产单细胞蛋白是目前国内外研究热点<sup>[5-6]</sup>。由于木薯渣含有植酸、氢氰酸、单宁等抗营养因子,大大限制了木薯渣的应用。因此,合理利用木薯渣不仅能改善环境,而且对热带地区木薯产业可持续发展具有重要意义。1974 年,Graff 率先研究利用蚯蚓处理有机废弃物<sup>[7]</sup>。蚯蚓堆肥产物价值高于有机废弃物的初始营养价值<sup>[8]</sup>。因此通过蚯蚓和微生物的协同作用处理各种有机废弃物应用广泛,包括利用蚯蚓处理畜禽粪便<sup>[9-13]</sup>、植物残体<sup>[14]</sup>、工业废弃物、污泥<sup>[15]</sup>、生活垃圾等<sup>[16-17]</sup>。利用蚯蚓处理农业废弃物的能量转换率、资源利用率较传统方式更高,为农业废弃物资源化利用提供了新思路。蚯蚓处理简单易行而且具有效率高、无污染等优势,但由于海南省的热带气候条件,关于利用蚯蚓直接处理木薯渣废弃物的研究较少。本试验初步研究蚯蚓直接处理热带地区木薯渣的可行性及其在处

理过程中的生长繁殖情况,分析处理前后基质的速效养分含量变化规律,以期为木薯渣废弃物的资源化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)取自海南大学环植学院蚯蚓养殖场。木薯渣取自海南省琼中县某淀粉厂,自然风干,经粉碎机研磨过 2 mm 尼龙筛备用。牛粪取自海南大学农学院秀英基地,自然风干,经粉碎机研磨过 2 mm 尼龙筛备用。供试木薯渣、牛粪的理化性质见表 1。

表 1 供试木薯渣和牛粪的理化性状

材料	含水率 (%)	pH 值	速效钾含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)
木薯渣	64.50	8.17	8 175.3	3 263.0	269.7
牛粪	8.22	7.17	2 866.0	3 722.0	215.8

### 1.2 方法

根据基质含水率,按干物质质量(共 200.0 g)对木薯渣、牛粪两两组合进行不同比例混合,共分为 8 种处理组合:100% 木薯渣(A1)、90% 木薯渣 + 10% 牛粪(A2)、80% 木薯渣 + 20% 牛粪(A3)、60% 木薯渣 + 40% 牛粪(A4)、40% 木薯渣 + 60% 牛粪(A5)、20% 木薯渣 + 80% 牛粪(A6)、10% 木薯渣 + 90% 牛粪(A7)、100% 牛粪(A8)。每个处理设 3 个重复,共 24 盒,调整含水率至 70% 左右,放入规格为上口 16.5 cm × 10.0 cm、下底 13.5 cm × 8.0 cm、高 6.5 cm 的 PVC 塑料盒中,每盒接种 20 条体质量在 300 mg 左右、环带明显的

收稿日期:2015-11-11

基金项目:国家科技与支撑计划(编号:2014BAD02B00);海南省研究生创新课题(编号:Hys2014-11)。

作者简介:王富强(1991—),男,安徽宣城人,硕士研究生,从事废弃物资源化研究。E-mail:wabgfuqiang1991@126.com。

通信作者:刁晓平,教授,从事生态毒理和废弃物资源化研究。

[3]王 丰,靳艳玲,方 扬,等. 清洁高效甘薯淀粉加工技术[J].

农业工程技术·农产品加工业,2013(11):38-40.

[4]王 乾. 甘薯淀粉废水处理工艺研究及设计[D]. 青岛:中国海洋大学,2011.

[5]木泰华,陈井旺. 甘薯淀粉加工副产品综合利用前景广阔[J].

农产品加工·综合刊,2011(1):10-11.

[6]肖继波,赵委托,褚淑祎,等. 薯类淀粉废水处理技术及资源化利用研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(2):292-298.

[7]梅长青,王心源,李文达. BP 网络模型在巢湖富营养化评价中的应用[J]. 能源与环境,2008(1):9-11.

赤子爱胜蚓。试验期间每隔 1~2 d 雾状喷水 1 次,物料湿度控制为 70% 左右,温度控制为 25 ℃ 左右,每隔 7 d 将所有蚯蚓挑出,计数称质量后放回,同时挑出蚓茧并记录个数,处理周期为 35 d。处理后各组合基质自然风干,取适量样品,按照分析测定的要求研磨过筛,留作基质速效养分分析用。

1.3 方法

1.3.1 生长繁殖的测定方法 相关公式为:

蚯蚓平均增质量 = ( 终末蚓质量 - 初始蚓质量 ) / 蚯蚓条数;

生长率 = ( 最终蚓质量 - 初始蚓质量 ) / ( 蚯蚓条数 × 养殖时间 );

蚯蚓日增质量倍数 = ( 养殖一定时间后蚓质量 - 初始蚓质量 ) / ( 初始蚓质量 × 养殖时间 );

孵化率 = 幼蚓条数 / 蚓茧个数。

以上各式中,养殖时间以 d 计,蚓质量以 g 或 mg 计。

1.3.2 样品分析方法 参见鲍士旦的方法<sup>[18]</sup>测定样品速效磷、速效钾、碱解氮含量。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2013, SPSS 19.0 软件处理数据和进行单因素方差分析,每个数据取平均值 ± 标准差。

2 结果与分析

2.1 不同处理对蚯蚓生长状况的影响

2.1.1 蚯蚓平均增质量和生长率 如图 1 所示,除 A3 组外,各处理蚯蚓平均增质量均呈现先上升后下降的趋势,A1 组下降趋势最为明显,试验结束时平均增质量最少 (83.52 ± 36.78) mg; A1、A2、A4、A5 组蚯蚓平均增质量最大值分别为 (264.05 ± 5.20)、(291.01 ± 46.37)、(279.69 ± 100.55)、(299.47 ± 48.63) mg,均出现在 2 周后; A6、A7、A8 组平均增质量最大值分别为 (319.64 ± 16.91)、(280.85 ± 104.88)、(320.34 ± 42.29) mg,均出现在 3 周后。与处理 1、2、3 周不同,处理 4、5 周 A5、A6、A7、A8 组蚯蚓平均增质量均高于 A1、A2、A3、A4 组,即试验前期木薯渣与牛粪均能促进蚯蚓生长,但试验后期,牛粪比例高的处理组蚯蚓生长较好,增质量较多,更能促进蚯蚓体质量增加。对 8 个处理组木薯渣含量与蚯蚓平均增质量进行双变量相关分析可知,  $P = 0.006$ ,  $r = -0.864$ ,说明木薯渣含量与蚯蚓增质量呈负相关,对蚯蚓的增质量有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。

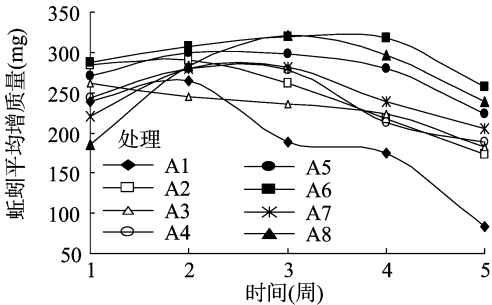


图1 不同处理下蚯蚓平均增质量变化

如表 2 所示,所有处理组蚯蚓均在 1 周后生长最快,最大值出现在第 1 周 A6 组,随后呈逐渐下降趋势。A1 组的蚯蚓个体生长率在处理 5 周最低,下降幅度最大。A6 组的蚯蚓个

体生长率在处理 5 周相对其他组最大,蚯蚓的生长仍有很大潜力,说明在合适的木薯渣与牛粪比例下蚯蚓生长更快。多个独立样本非参数检验结果显示,试验期间不同处理下蚯蚓个体生长率之间差异显著。

表 2 不同处理下蚯蚓生长率变化

处 理	生长率[ mg/( d · 条 ) ]				
	1 周	2 周	3 周	4 周	5 周
A1	34.09 ± 1.84	18.86 ± 0.37	9.00 ± 2.22	6.27 ± 0.13	2.33 ± 1.12
A2	40.61 ± 4.61	20.79 ± 3.31	12.49 ± 2.88	7.75 ± 0.65	4.97 ± 1.24
A3	37.31 ± 8.56	17.06 ± 3.39	10.64 ± 3.93	7.57 ± 2.92	5.02 ± 2.20
A4	34.19 ± 13.28	19.61 ± 7.64	12.69 ± 5.28	6.97 ± 3.06	5.04 ± 2.75
A5	38.71 ± 6.65	21.39 ± 3.47	14.19 ± 2.76	9.22 ± 2.40	5.91 ± 1.61
A6	41.11 ± 5.69	20.60 ± 3.58	14.20 ± 0.85	10.36 ± 0.28	6.68 ± 1.90
A7	30.95 ± 11.25	19.43 ± 6.10	12.66 ± 5.21	8.09 ± 3.39	5.49 ± 3.23
A8	25.73 ± 5.26	19.80 ± 5.61	14.20 ± 3.44	9.89 ± 2.36	6.33 ± 1.55

2.1.2 蚯蚓平均日增质量倍数 如图 2 所示,所有处理下蚯蚓平均日增质量倍数均随时间延长而逐渐下降,A1 组最后下降明显,其余配比逐渐趋于平稳;所有配比的蚯蚓平均日增质量倍数最大值均出现在第 1 周,其中 A6 组达到了整个试验期间的最大值(0.113 1)。试验期间蚯蚓平均日增质量倍数始终大于零,表明试验过程中蚯蚓的体质量相对于试验前均有所增加。单因素方差分析表明,处理 1 周 A6 组显著高于 A7、A8 组;2—4 周 8 个处理中蚯蚓平均日增质量倍数之间无显著差异;处理 5 周 A6 组蚯蚓平均日增质量倍数相对其他配比最高,显著高于 A1 组,最适合蚯蚓生长。

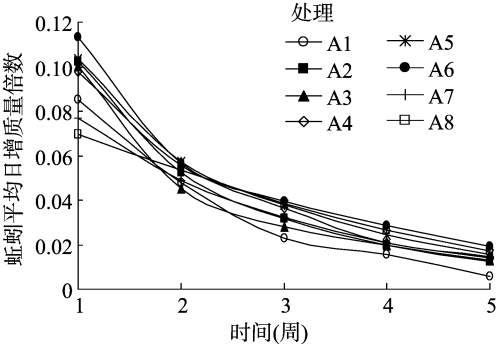


图2 不同处理下蚯蚓平均日增质量倍数变化

2.2 不同处理对蚯蚓繁殖状况的影响

2.2.1 蚯蚓产茧量 由图 3 可以看出,蚯蚓产茧量均随时间延长而呈先升高后降低的趋势,处理 3 周达到峰值,而后产茧量逐渐下降; A7 组蚯蚓每周的产茧量均最高, A6—A8 组从处理 1 周开始产茧,其余处理组均从处理 2 周开始产茧,35 d 总产茧量从大到小依次为 A7 > A8 > A6 > A4 > A5 > A3 > A2 > A1 (总产茧数分别为 276.33、254.33、242.00、212.33、206.67、175.67、131.00、119.33 个),表明牛粪含量相对高的配比利于蚯蚓产茧,产茧量最大值为 A7 组。Duncan's 多重比较结果表明, A7 组与其他处理组蚯蚓总产茧量之间存在显著差异, A7 配比蚯蚓总产茧量最大,最适合蚯蚓繁殖。

2.2.2 蚓茧孵化率 由图 4 可以看出, A7 组蚯蚓茧孵化率最高(91.12%),其次是 A8 组(89.21%), A1—A6 组随木薯渣比例下降,蚯蚓茧孵化率逐渐升高,分别为 69.53%、71.34%、81.22%、81.87%、82.81%、85.88%,都超过了

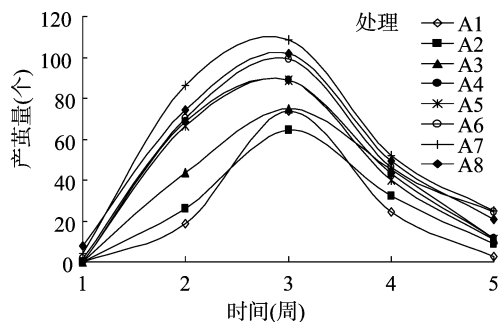


图3 不同处理下蚯蚓产茧量变化

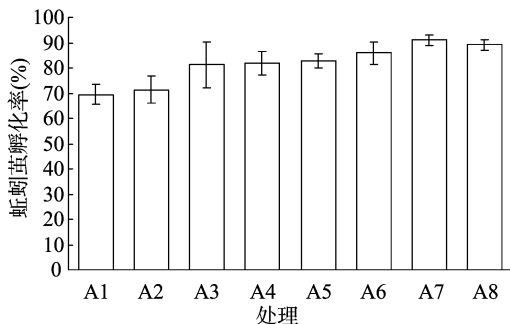
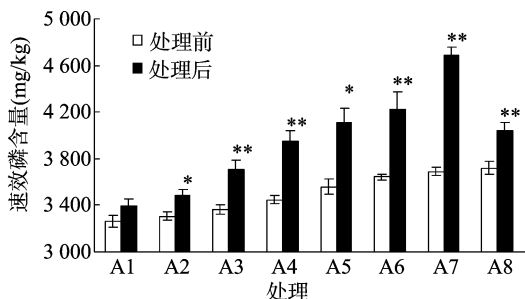


图4 不同处理下蚯蚓茧孵化率

65%，表明蚯蚓处理木薯渣后所产蚯蚓茧能够正常孵化，与木薯渣含量呈负相关，但最高蚯蚓茧孵化率出现在 A7 组，表明复合基质可能更适合蚯蚓繁殖。

### 2.3 蚯蚓处理对基质速效养分的促进情况

速效磷是植物能直接吸收利用的一种磷的形态，速效养分的供应状况对于有机肥农有着直接的指导意义。由图 5 可以看出，与处理前相比，各处理速效磷含量均有明显提高，增幅分别为 4.04%、5.51%、10.32%、14.71%、15.50%、16.01%、27.01%、8.62%，这可能是由于基质经蚯蚓处理后，蚯蚓肠道分泌物具有较高的磷酸酶活性，可促进缓效磷转化为速效磷<sup>[19]</sup>。*t* 检验比较结果表明，A2、A5 处理组处理前后速效磷含量差异显著；A3、A4、A6、A7、A8 处理组处理前后速效磷含量差异极显著，A7 组速效磷含量提高幅度最大。



“\*” “\*\*\*” 分别表示与处理前相比差异显著( $P<0.05$ )、极显著( $P<0.01$ )。图7同

图5 蚯蚓堆肥处理前后速效磷含量的变化

由图 6 可以看出，蚯蚓堆肥处理前后速效钾含量与速效磷含量变化趋势较为一致。与处理前相比，处理后速效钾含量均有所提高，增幅分别为 7.14%、10.50%、3.36%、3.98%、3.12%、1.32%、4.57%、8.99%。*t* 检验结果表明，各组处理前后速效钾的含量无显著性差异。

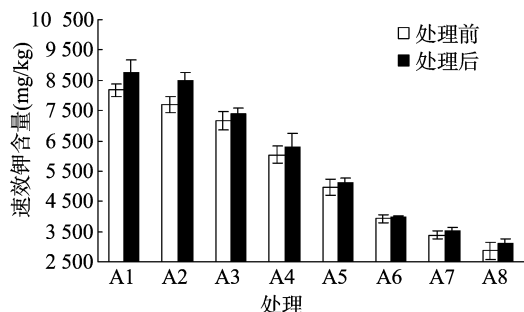


图6 蚯蚓堆肥处理前后速效钾含量的变化

由图 7 可以看出，与处理前相比，处理后基质的碱解氮含量均有所提高，增幅分别为 12.71%、1.94%、1.53%、19.14%、6.16%、3.60%、47.14%、3.78%。*t* 检验结果表明，A1、A4 组处理后碱解氮含量与处理前相比差异显著，A7 组处理后达到极显著差异，其余处理组差异均不显著，A7 组能大幅度提高碱解氮含量。

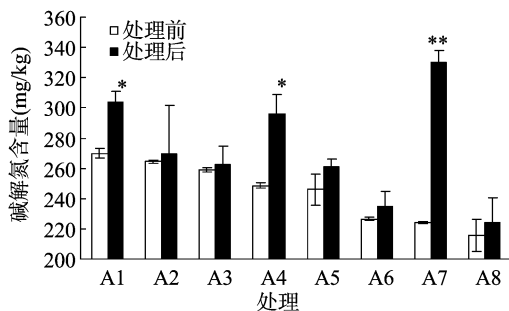


图7 蚯蚓堆肥处理前后碱解氮含量变化

## 3 结论与讨论

本研究结果表明，A1 处理组（100% 木薯渣）中蚯蚓的存活率为 95%，说明蚯蚓可以直接处理木薯渣，蚯蚓在不同配比基质中均能正常生长、繁殖；随着牛粪含量逐渐增加，蚯蚓平均增质量和平均日增质量倍数均呈现出逐渐增加的趋势，但 2 项指标的最大值均出现在 A6 组而不是 A8 组，这与高娟等的研究结果<sup>[19-20]</sup>相似，即蚯蚓在牛粪和秸秆物料中，蚯蚓的日增质量、最大质量均高于纯牛粪组合，即食物的可利用性影响蚯蚓生长。木薯渣中粗纤维含量高达 10% 以上<sup>[3]</sup>。Hendriksen 研究认为，纤维素和多酚类可以对蚯蚓的生长和繁殖产生负面影响<sup>[21]</sup>，这与本试验中木薯渣含量与蚯蚓增质量呈负相关的结论相似。本试验结果表明，A7 组除处理 1 周后外，蚯蚓每周的产茧量及总产茧量均最多，即 90% 牛粪 + 10% 木薯渣的配比更有利于蚯蚓的繁殖，这与杨文霞等研究结果<sup>[13,22]</sup>一致。

木薯渣和牛粪配比基质在蚯蚓处理后，各处理速效磷含量均有所增加，这一结论已经被多位学者研究证实<sup>[23-25]</sup>，蚯蚓消化道分泌的磷酸酶<sup>[26]</sup>和体内存在的磷细菌加快了有机磷的脱磷速度，引起速效磷含量的上升，提高其生物有效性<sup>[27]</sup>。木薯渣和牛粪混合物中碱解氮的含量在蚯蚓处理后有所增加，A1、A4、A7 组处理前后均达到了显著差异，这是因为氮素和磷素一样，大部分处于有机化合态，蚯蚓与其体内微生物的协同作用加速有机质分解，从而促进氮的矿化。A1 ~ A8 组速效钾含量随着木薯渣比例下降逐渐减少，说明木薯渣

是基质中速效钾含量主要来源,这可能与木薯生长需要较多的钾元素有关<sup>[28-29]</sup>,蚯蚓处理后速效钾含量高于处理前但差异不显著,这是因为植物残体中的钾元素与氮、磷不同,并不紧密结合于有机化合物中,所以钾的释放微生物并不起主要作用,但仍会释放一部分<sup>[30-31]</sup>。

本研究表明,蚯蚓可以直接对热带农业废弃物木薯渣进行生物处理,A6组最适合蚯蚓生长,A7组最适合蚯蚓繁殖。蚯蚓处理后复合基质的速效养分含量均有所提高,速效磷含量以A7组增幅最大,达27.01%,且增幅与牛粪比例有较好的相关性;速效钾含量以A2组增幅最大,达10.50%;碱解氮含量以A7组增幅最大,达47.14%。综合而言,A7组(90%牛粪+10%木薯渣)不仅能使蚯蚓生长繁殖效果更好而且能最大程度提高物料的速效养分含量。海南省利用蚯蚓处理热带农业废弃物不仅操作简单、经济环保、二次污染小,而且可实现废弃物资源化利用,提高产品附加值,具有实际推广意义。

#### 参考文献:

- [1]梁欣锐.广西木薯机械化生产关键技术研究[J].广西农业机械化,2015(1):29-31.
- [2]彭天沁,徐刚,高文瑞,等.木薯渣资源化利用的研究进展[J].江苏农业科学,2013,41(11):10-12.
- [3]郝静,刘钢,左福元.木薯渣的饲用价值及应用[J].饲料研究,2007(11):64-66.
- [4]胡忠泽,刘雪峰.木薯渣饲用价值研究[J].安徽技术师范学院学报,2002,16(4):4-6.
- [5]汤燕花,谢必峰.利用木薯渣发酵生产啤酒酵母单细胞蛋白的研究[J].药物生物技术,2006,13(1):51-54.
- [6]谢文伟,赵宁,孙一峰.木薯渣综合利用研究[J].农牧产品开发,1999(10):10-11.
- [7]刘广青,侯吉聪,孟海玲,等.国内外蚯蚓处理废弃物发展现状[C].全国固体废弃物处理及综合利用技术与设备交流研讨会论文集,2003.
- [8]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):53-58,66.
- [9]Elvira C, Sampedro L, Benítez E, et al. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*; a pilot-scale study[J]. Bioresource Technology, 1998, 63(3):205-211.
- [10]白春节.低繁殖量蚯蚓养殖法处理剩余污泥的可行性研究[J].安全与环境学报,2006,6(6):9-12.
- [11]Contreras-Ramos S M, A'Lvarez-Bernal D, Dendooven L. Characteristics of earthworms (*Eisenia fetida*) in PAHs contaminated soil amended with sewage sludge or vermicompost[J]. Applied Soil Ecology, 2009, 41(3):269-276.
- [12]杨敬辉,张松林.蚯蚓堆肥污泥研究述评[J].湖北农业科学,

2011,50(9):1729-1730,1758.

- [13]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):49-53,64.
- [14]Khawairakpam M, Bhargava R. Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(23):5846-5852.
- [15]Fu X, Huang K, Chen X, et al. Feasibility of vermistabilization for fresh pelletized dewatered sludge with earthworms *Bimastus parvus* [J]. Bioresource Technology, 2014, 175:646-650.
- [16]陈玉成,皮广洁,黄伦先,等.城市生活垃圾蚯蚓处理的因素优化及其重金属富集研究[J].应用生态学报,2003,14(11):2006-2010.
- [17]赖发英,周颖,王国锋,等.蚯蚓对农村有机生活垃圾分解处理的研究[J].农业环境科学学报,2011,30(7):1450-1455.
- [18]鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [19]高娟,杨京平,杨虎.蚯蚓处理猪粪与秸秆的最适碳氮比及混合物腐熟度评价[J].应用生态学报,2012,23(3):765-771.
- [20]刘波.蚯蚓处理不同禽畜粪和秸秆组合试验研究[D].雅安:四川农业大学,2012.
- [21]Hendriksen N B. Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms[J]. Biology and Fertility of Soils, 1990, 10(1):17-21.
- [22]张威.蚯蚓处理不同禽畜粪和秸秆组合试验研究[D].长春:东北师范大学,2008.
- [23]Krishnamoorthy R V. Mineralization of phosphorus by faecal phosphatases of some earthworms of Indian tropics[J]. Proceedings: Animal Sciences, 1990, 99(6):509-518.
- [24]Sharma S. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms [J]. Bioresource Technology, 2003, 90(2):169-173.
- [25]Tognetti C, Laos F, Mazzarino M J, et al. Composting vs. vermicomposting: a comparison of end product quality[J]. Compost Science & Utilization, 2005, 13(1):6-13.
- [26]Satchell J E, Martin K. Phosphatase activity in earthworm faeces [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1984, 16(2):191-194.
- [27]赵海涛,狄霖,刘平,等.蚯蚓生物床工程处理对牛粪性质的影响[J].农业工程学报,2011,27(9):255-259.
- [28]岑湘涛,沈伟,杨美纯,等.木薯组织培养外植体选择和灭菌研究[J].江苏农业科学,2014,42(11):71-72.
- [29]黎萍,黄秋伟,彭靖茹,等.木薯胚性愈伤组织诱导及其离体保存的研究[J].江苏农业科学,2015,43(2):48-52.
- [30]张宝贵.蚯蚓与微生物的相互作用[J].生态学报,1997,17(5):556-560.
- [31]Basker A, Macgregor A N, Kirkman J H. Influence of soil ingestion by earthworms on the availability of potassium in soil: an incubation experiment[J]. Biology and Fertility of Soils, 1992, 14(4):300-303.