

# 蚯蚓强化土地处理农村污水的试验研究

张晓伟, 李剑超, 卢堂俊, 付格娟

(陕西师范大学旅游与环境学院环境科学系, 陕西 西安 710062)

**摘要:**一般的污土地处理方式存在容易堵塞、水力负荷小等缺点。为了提高土地处理的效率,将一种特殊的蚯蚓引入土地处理中,形成一种新型的蚯蚓强化土地处理系统,它能利用蚯蚓的生活习性强化土地处理效果。通过在试验室内搭建土地处理和蚯蚓强化土地处理系统,对农村生活污水进行模拟处理试验,并且对两种处理系统出水进行水质测试。结果表明,蚯蚓强化土地处理系统对水中污染物的去除率比土地处理系统的高出很多。土地处理和蚯蚓强化土地处理对于 COD、TP 和 TN 的去除率分别为 40.5%、37.7%、9.6%和 66.1%、50.6%、16.8%。试验表明,蚯蚓强化土地处理系统的污水处理率是土地处理的 6 倍,而且蚯蚓强化土地处理系统相比土地处理系统不易发生堵塞,有效地提高了土地处理的效率。蚯蚓强化土地处理系统是一种节能省地的污水处理系统,对于农村生活污水的处理将会起到积极的作用。

**关键词:** 蚯蚓; 土地处理; 农村生活污水; COD

中图分类号: X703.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2009)06-1225-05

## Experiment in Improving Land Treatment of Village Sewage by Earthworm

ZHANG Xiao-wei, LI Jian-chao, LU Tang-jun, FU Ge-juan

(Environmental Science Department, Tourism and Environment College, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** There are some shortcomings restricting the land treatment of wastewater (LTW), such as soil jam and low hydraulic loading rate, etc. For improving the efficiency of LTW to treat wastewater, a kind of special earthworm was combined with LTW form a novel treatment system, improving land treatment of waster by earthworm (E-LTW). In the E-LTW, the habitual action and dung of earthworm could be adequately utilized to intensify the treatment capability. A E-LTW microcosm and a contrasted LTW were built in laboratory for treating village sewage. And village sewage was regularly imported into the two systems for two months. In this period, the properties of raw flow, treated water, soil and earthworm were investigated continually to determining the performance of the two system. The experimental results showed that the removal percentages of contaminants were much higher in E-LTW system than that in the contrast. Concretely, the removal efficiency of COD, TP, and TN in LTW and E-LTW were 40.5%, 37.7%, 9.6% and 66.1%, 50.6%, 16.8%, respectively. In addition, the continuous feed flux experiment revealed that the treating capability of E-LTW was 6 times higher than the contrastive LTW. And this marked improvement may profit from the digest of solid organic contaminants by earthworm and microbe which means E-LTW is a kind of ground-saving technology and will be activated in treatment of village sewage.

**Keywords:** earthworm; land treatment; village sewage; COD

我国农村每年产生生活污水超过 80 亿 t,而 96% 的村庄没有排水渠道和污水处理系统<sup>[1-2]</sup>,生活污水随意排放,造成土地和地下水污染,湖泊水体富营养化和一些疾病扩散等等,加重了农村生活环境的恶化。

土地处理系统是利用土地及其中微生物和植物

根系对污水进行物理、化学和生物净化的工程设施。该技术从 19 世纪初英国简单的污水灌溉农田发展到现在已有快速渗透技术、慢速渗透技术、地下渗透技术、人工湿地技术和地表漫流技术等<sup>[3-4]</sup>。而且各种强化、改进处理方法也比较多,如增强土壤富氧、序批式土地处理系统、污水曝气运用强效微生物等。在美国和法国,土地处理广泛应用于处理农场混合废水、污泥等<sup>[5-7]</sup>,澳大利亚等国研究了对土地处理无害化的土地处理模型<sup>[8]</sup>。国内土地处理技术已经广泛应用于处理工业污水,并开始在农村和社区进行试验应用<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2008-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(50309011) 国家级星火计划(2006EA850047) 教育部留学回国人员科研启动基金

作者简介: 张晓伟(1983—),男,陕西泾阳县人,硕士生,主要从事环境修复方面的研究。E-mail: zhangxiaowei309@163.com

本试验将具有耐寒耐水和易繁殖的爱胜蚓(*Eisenia foetida*)<sup>[9-10]</sup>引入到土地处理中,利用该蚯蚓吞食土壤、钻孔和耐水等生活习性强化土地处理污水能力,并将它和土地处理系统的出水进行比较。蚯蚓强化土地处理系统在农村污水处理方面研究不多。该技术操作简单,运行方便,比土地处理能力强,适合应用于农村污水处理。在北方地区,冬季气温低,土地处理效果会受到很大影响,由于该蚯蚓耐寒、活性强,能提高土地处理在冬季的处理效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验结构与材料

#### 1.1.1 试验装置

如图 1 所示,试验结构主要由集水池和处理系统组成。集水池通过水量调节布水器将污水分布于各处理系统上部。处理系统内由下向上分别铺设石粒层、沙层和土壤层。石粒层与沙层之间设一孔径为 0.1 cm 过滤网。每个处理系统出水由底部汇集流出。蚯蚓强化土地处理系统中按 2 500 条·m<sup>-2</sup> 投放活蚯蚓。

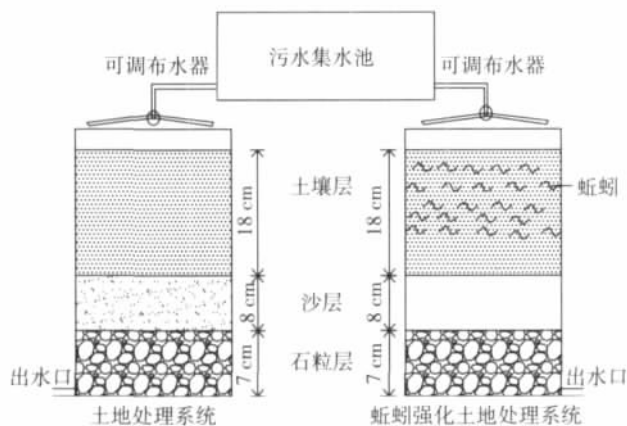


图 1 试验装置结构

Figure 1 Device and construction of LTW and E-LTW

#### 1.1.2 试验材料

试验系统中石粒选用粒径为 0.2~1 cm 冲洗干净的石粒,沙粒选用 20~40 目筛过滤后冲洗干净的河沙。土壤采自陕西关中地区农村田边无污染的表层黄土,风干,破碎至无大土块,土壤主要矿物元素组成及

含量如表 1。本研究选用由陕西迪隆养殖技术开发有限公司提供的大平二号蚯蚓作试验品种,该蚯蚓属赤子爱胜蚓。陕西关中地区农村污水成分见表 2,本试验采用原料制备的方法,尽最大可能还原农村污水进行污水配制,污水由洗涤水、泔水、腐烂蔬菜、动物粪便和水果等经混合发酵配制。

表 2 农村生活污水部分成分及特性

Table 2 Partial attributes and contents of village sewage

项目	COD/mg·L <sup>-1</sup>	TP/mg·L <sup>-1</sup>	TN/mg·L <sup>-1</sup>	pH
含量	300~500	4~5	20~40	6~9

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 系统适应试验

为了使蚯蚓适应污水环境和营造系统内土壤微生物环境,试验系统搭建完成后,每天以少量污水配入系统,维持 10 d,使系统进入适应污水状态。并通过对比两种系统的过水率,计算出每日水力负荷。

#### 1.2.2 农村污水处理试验

通过测试各处理系统的过水速率,以过水速率小的处理系统的每日进水量作为两个处理系统的日进水量。将污水置于集水池中,经过可控布水器将污水布于处理系统内,污水经过处理系统下渗,再收集出水进行各污染物含量的测定。处理完所配污水后,系统停止供水进行系统恢复。在试验期间,对土壤的一些性质变化也进行测定。

#### 1.2.3 测试指标及测定方法

水质 COD 测试采用重铬酸钾法,总磷测试采用过硫酸钾消解法,总氮测试采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法,电导率测试采用便携式电导率仪法(以上方法均参考 2002 年中国环境出版社出版的《水和废水监测分析方法》)。土壤有机物含量测定用重铬酸钾容量法(GB 9834—1988)。数据分析采用 Origin 7.5 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 系统过水率变化

蚯蚓活动会导致土壤空隙率发生变化,致使单位时间内两种处理系统过水量会有差别。为了在相同水

表 1 土壤主要矿物元素及含量

Table 1 Mineral elements and content of experimental soil

元素	Ba	Ce	Cl	Cr	Mn	P	Rb	S	Sr	Ti	Zr	N	Si
含量/mg·kg <sup>-1</sup>	511	79	69.6	87	722	711	103	194	196	4 053	216	1 940	2 244

力负荷下对比两种系统处理污水的能力,测出单位时间内两种处理系统的最大进水量,以计算它们每日能处理的总水量和决定每日水力负荷。每 2 d 测试 1 次,分 6 次测得两种处理系统的进水情况,如表 3。

表 3 单位时间过水率比较

Table 3 Comparison of permeability between LTW and E-LTW in unit time

时间/d	1	3	5	7	9	11
土地处理/ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	0.042	0.033	0.031	0.031	0.028	0.028
蚯蚓强化土地处理/ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$	0.081	0.099	0.134	0.142	0.144	0.142

9 d 以后,测试土地处理系统过水率为  $0.028 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  左右,全天处理水  $0.71 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  左右,蚯蚓强化土地处理系统过水率为  $0.14 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,全天处理水  $3.36 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  左右。在单位时间内,蚯蚓强化土地处理系统的处理量是土地处理系统的 5~6 倍。土地处理方式上限为  $0.71 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  左右,和农村日产污水量相当,所以两种处理系统每日按照  $0.71 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  进污水。

## 2.2 污染物去除效果

每日对进出水进行水质检测,比较两种系统的污染物去除效果。检测项目包括 COD、总磷、总氮、pH 值和电导率。农村污水浓度每日变化不定,所以试验进水也模拟这种形式,参照表 2,每日以不同浓度污水配入集水池中。

### 2.2.1 COD 的去除效果

图 2 是两种处理系统对 COD 的去除率比较,从图中可以看出去除率均随时间的延长表现出升降变化,而且它们的差距也越来越大。两种处理系统从第 1 d 到第 7 d 左右去除率较高,为试验前期。第 10 d 左右到第 37 d 左右去除率降低,为试验中期。第 36 d 左右到试验完毕去除率上升,为试验后期。去除率表现出由高到低再到高的变化。在试验中后期蚯蚓强化土

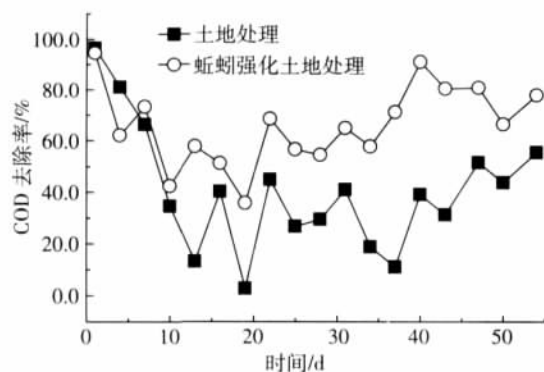


图 2 土地处理和蚯蚓强化土地处理对于 COD 去除率的比较  
Figure 2 Comparison between LTW and E-LTW on removal percentage of COD

地处理系统和土地处理系统对 COD 的去除率分别为 65.4% 和 33.1%, 蚯蚓强化土地处理的去除率是土地处理的 2 倍左右。

试验前期,由于新加土壤对污水 COD 的吸附和截留作用比较强,使得两种处理系统的去除率都在 70% 以上。试验中期,由于土地处理系统透水率比较低,所以全天该系统中土壤处在持水状态,没有恢复时间,水中有机物不能及时被降解,使土壤吸附的有机物连续积累而降低了 COD 的去除率。在蚯蚓强化土地处理系统中,因为蚯蚓使土壤空隙率提高,系统持水时间缩短,导致系统不能对污水中有机物完全吸附和截留而使其流走,导致 COD 去除率比试验前期有所下降。但是,又因为空隙率的提高,使土壤氧量增加,微生物的数量随之增加,大量的微生物对 COD 的去除起到重要作用。而且,蚯蚓具有惊人的吞噬能力和消化道分泌多种酶类,对有机物有较强的分解作用<sup>[11]</sup>,又增加了 COD 的去除作用。和土地处理系统相比, COD 的去除率又相对较高。试验后期,由于系统和污水的长时间接触,系统内生长大量厌氧、好氧等微生物,这些微生物使污水中有机物被消耗的速率提高,两种系统的去除率开始上升。在蚯蚓强化土地处理系统内,存在大量蚓粪,蚓粪有快速吸附降解有机物的作用,而且蚓粪中也存在大量微生物团<sup>[11]</sup>,由于大量蚓粪和微生物的降解作用,使该系统对 COD 的去除率相对土地处理系统有大幅度的上升。

### 2.2.2 总磷的去除效果

图 3 是两种处理系统对于污水总磷去除率的比较。两种处理系统在试验前期去除率很高,去除率都达到 80% 以上。试验中期和后期去除率降低,且呈较平稳状态,蚯蚓强化土地处理和土地处理对污水总磷的平均去除率分别是 33.1% 和 10.4%, 蚯蚓强化土地

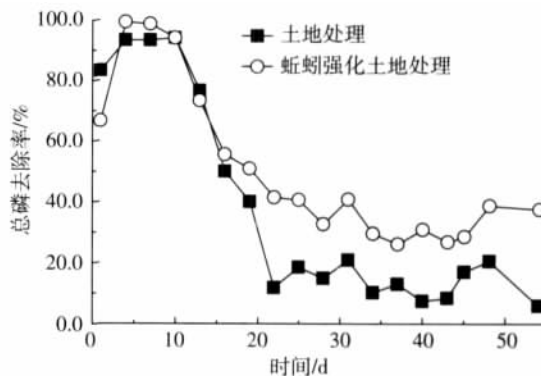


图 3 土地处理和蚯蚓强化土地处理对于总磷的去除率比较  
Figure 3 Comparison between LTW and E-LTW on removal percentage of TP



处理的去除率是土地处理的3倍左右。

水中磷容易被土壤胶体吸附,并和土壤中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 等离子发生化学反应形成吸附态磷和各种沉淀态磷,固着于土壤颗粒上,几乎不再发生迁移<sup>[12]</sup>。在试验初期,两种处理方式主要以土壤这种吸附作用为主,去除效果比较明显;试验中期和后期,在土地处理系统中,随着土壤内积累的磷增多,土壤对磷的吸附、转化和降解的速率落后于污水进入土壤的速率,后续污水中磷得不到及时处理而流走,导致去除率下降。由于微生物的增加对磷的去除有所帮助,但土壤中微生物相对含量少,总磷的去除率比较低。在蚯蚓强化土地处理系统中,土壤空隙率较高,污水停留时间短,污水中部分磷不能得到及时处理而随水流走,使去除率比前期降低。正因为土壤空隙的增加又使好氧等微生物增加,蚯蚓粪巨大的表面积存在大量微生物团<sup>[11]</sup>,因此能提高磷的富集和增加微生物对磷的固持,在一定程度上又提高了磷的去除率。所以相对土地处理系统,总磷的去除率较高。

### 2.2.3 总氮的去除效果

图4是两种处理系统对于污水总氮去除率的比较,去除率相对比较平稳,但两种方式对于总氮的去除效果都不明显。试验中期和后期土地处理总氮平均去除率为9.56%,蚯蚓强化土地处理总氮平均去除率为16.8%。蚯蚓强化土地处理的去除率是土地处理的1.8倍左右。蚯蚓强化土地处理对总氮的去除相对土地处理要高,这是由于蚯蚓粪表面带负电荷可吸附污水中带正电荷的 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,有蚯蚓粪的土壤的微生物量及活性较高<sup>[13]</sup>,使土壤对氮氮的交替吸附和微生物对氮的固持增加。

### 2.2.4 其他理化性质变化

对于进出水的其他理化性质,也进行了测试和比

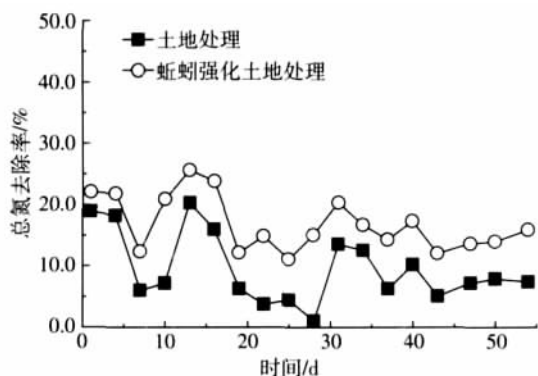


图4 土地处理和蚯蚓强化土地处理对于总氮的去除率比较  
Figure 4 Comparison between LTW and E-LTW on removal percentage of TN

较。经过连续检测进出水的pH值,发现前期两种系统对pH较低的进水有趋中性的作用,后期进出水基本保持一致,三者之间差异很小。两种处理系统的出水电导率和进水电导率相似,去除电解质不明显。两种处理系统的出水在试验前期和中期出水比较清澈,并无明显差异。到试验后期,土地处理系统的出水开始发黑,并有少许污泥流出,流速缓慢。而蚯蚓强化土地处理系统出水则维持清澈。

### 2.3 土壤性质变化

在试验过程中,土壤对污水起了重要的净化作用。随之,土壤性质会发生一些变化,我们取样测定了相关参数。表4是试验过程中土壤有机物的变化。由表4可知,所采土壤的有机物为8.3%,含量极低。经过污水处理试验后,土地处理系统的有机物有微量增加,增加了0.17%左右。蚯蚓强化土地处理系统的有机物也有增加,增加了0.65%左右。土壤对污水中有机物的吸附会导致土壤有机物增加,但由于土壤微生物对有机物的降解作用,会使有机物增加量减少。在蚯蚓强化土地处理系统中,由于蚯蚓粪含有较丰富的有机物<sup>[11]</sup>,随着蚯蚓粪的增加,使得蚯蚓强化土地处理系统有机物的增加相对土地处理系统的增加较高。

土壤pH值变化如表5。试验初期,由于所取土壤偏碱性,进水也偏碱性,所以测试土壤偏碱性。在试验中后期,由于进水pH值下降,保持在7.5左右,在进水长期的影响下,土壤pH值也下降,和进水pH值相似,趋于中性。

## 3 结论

(1)蚯蚓强化土地处理方式在相同水力负荷下对于农村生活污水中COD、TP和TN去除率,明显高于土地处理。

(2)单位时间内蚯蚓强化土地处理污水量是土地

表4 土壤有机物的含量

Table 4 Organic contents of experimental soils									
时间/d	1	7	15	25	35	45	55	65	
土壤处理系统/%	0.83	0.88	1.18	1.00	1.37	1.19	1.18	1.00	
蚯蚓强化土地处理系统/%	0.85	0.91	1.03	1.21	1.35	1.2	1.7	1.5	

表5 土壤的pH值

Table 5 Experimental soils pH									
时间/d	1	7	15	25	35	45	55	65	
土壤处理系统/%	8.6	7.8	7.3	7.9	7.5	7.7	7.7	7.5	
蚯蚓强化土地处理系统/%	8.4	7.9	7.4	7.6	7.4	7.5	7.5	7.6	

处理的 5~6 倍。这种强化方式可以很大程度上增强土地处理的能力。

(3) 蚯蚓可以改善土地处理系统内部环境,减少污泥产量,能维持长期处理效果。而且这种处理技术容易搭建和运行,成本低,很适合在农村推广。

#### 参考文献:

- [1] 徐洪斌, 吕锡武, 李先宁, 等. 农村生活污水(太湖流域)水质水量调查研究[J]. 河南科学, 2008, 26(7): 854-857.  
XU Hong-bin, LV Xi-wu, LI Xian-ning, et al. Investigation on village sewage pollution in the zone of Tai Lake[J]. *Henan Science*, 2008, 26(7): 854-857.
- [2] 梁 祝, 倪晋仁. 农村生活污水处理技术与政策选择[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2007, 7(3): 18-22.  
LIANG Zhu, NI Jin-ren. Treatment technologies and approaches for rural domestic sewage[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2007, 7(3): 18-22.
- [3] 钱文敏, 陆轶峰, 普红平, 等. 分散生活污水的土地处理综析[J]. 云南环境科学, 2005, 24(4): 40-43.  
QIAN Wen-min, LU Yi-feng, PU Hong-ping, et al. Land treatment for decentralized sewage[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2005, 24(4): 40-43.
- [4] 成先雄, 严 群. 农村生活污水土地处理技术[J]. 四川环境, 2005, 24(2): 39-43.  
CHENG Xian-xiong, YAN Qun. Land treatment techniques of rural domestic wastewater[J]. *Sichuan Environment*, 2005, 24(2): 39-43.
- [5] J H Pardue, R D DeLaune, W H Patrick Jr, et al. Treatment of alligator farm wastewater using land application[J]. *Aquacultural Engineering*, 1994, 13(2): 129-145.
- [6] N Garrec, F Picard-Bonnaud, A M Pourcher. Occurrence of *Listeria* sp. and *L. Monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species[J]. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 2003, 35(3): 275-283.
- [7] Carrie L Hawkins. Earthworm populations in septic system filter fields and potential effects on wastewater renovation[J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40(1): 195-200.
- [8] F Stagnitti. A model of the effects of nonuniform soil-water distribution on the subsurface migration of bacteria: implications for land disposal of sewage[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 1999, 29(4): 41-52.
- [9] 王树乾, 杨 健, 陆雍森. 蚯蚓微生物生态滤池处理城镇生活污水研究[J]. 环境导报, 2002(5): 14-15.
- [10] 罗固源, 周 健, 吉方英, 等. 污水蚯蚓强化土地处理与资源回归[J]. 重庆环境科学, 1997, 19(2): 27-29.  
LUO Gu-yuan, ZHOU Jian, JI Fang-ying, et al. Land treatment of sewage by earthworm and regression of resources[J]. *Chongqing Environmental Science*, 1997, 19(2): 27-29.
- [11] 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.
- [12] 赵建芬, 马香玲, 靳路明, 等. 污水慢速渗滤土地处理系统的改进试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 85-88.  
ZHAO Jian-fen, MA Xiang-ling, JIN Lu-ming, et al. Improved and treatment system with slow rate for sewage and its test[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(9): 85-88.
- [13] 徐德福, 李映雪. 蚯蚓在污水土地处理中的应用分析[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(7): 65-68.  
XU De-fu, LI Ying-xue. Potential application of earthworm to land treatment of wastewater[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(7): 65-68.