

# 蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果及其影响因素

吴敏, 娄山杰, 杨健, 陈巧燕

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 研究不同工况、不同滤料(陶粒和石英砂)条件下蚯蚓生物滤池对污泥的减量化效果, 分析滤池中影响污泥减量化的因素, 结果表明, 系统污泥减量率可达 38.20%~48.20% (质量分数), 系统总体效果与蚯蚓对污泥的消减效率呈正相关; 23~28℃时, 蚯蚓消减污泥的效率达到最高值, 系统污泥减量化效果最佳; 水力负荷过大影响蚯蚓的正常生命活动及其消减污泥的效率; 与石英砂相比, 陶粒为滤料时蚯蚓消减污泥的效率更高, 系统污泥减量化效果更好, 这主要与滤料对蚯蚓个体的胁迫程度有关。

**关键词:** 蚯蚓生物滤池; 污泥减量化; 影响因素; 蚯蚓

**中图分类号:** X 703.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-374X(2008)04-0514-05

## Sludge Reduction of Earthworm Biofilter and Its Influencing Factors

WU Min, LOU Shanjie, YANG Jian, CHENG Qiaoyan

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The paper presents the sludge reduction of earthworm biofilter in the conditions of different operating modes and filter mediums as well as factors that affect sludge reduction in the filter. The results show that the sludge reduction rate is about 38.20%~48.20%. The whole effect of the system is mainly reacted to earthworms' sludge reduction efficiency. The proper temperature for the efficiency is 23~28℃. Hydraulic overloading is somehow negative to earthworms' normal activities and the sludge reduction. Compared with quartz sands, earthworms' sludge reduction efficiency in ceramsites is higher, and the whole effect of the system is better. It is mostly due to the damage to earthworms caused by filter mediums.

**Key words:** earthworm biofilter; sludge reduction; factors; earthworms

从生态学角度讲, 系统食物链越长, 能量损耗就越多, 用于生物体合成的能量就越少<sup>[1]</sup>. 近年来, 通过延长系统食物链来实现污泥减量化的研究日趋增多<sup>[2-5]</sup>. 蚯蚓生物滤池(earthworm biofilter)就是从这一角度出发, 在传统污水生物反应器中引入蚯蚓等物种, 延长和扩展了反应器中原有食物链. 系统中微

生物以污水中的有机污染物为食料. 蚯蚓则生长在滤料表层 0.5~20.0 cm 之间, 以污水中悬浮物和生物污泥为食料. 所以, 该工艺通过微生物和蚯蚓的协同共生作用, 最终使污水得以净化, 并形成以蚯蚓粪为主的少量稳定污泥, 同步实现污泥的减量化与稳定化<sup>[6-7]</sup>.

收稿日期: 2007-07-12

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划资助项目(2003AA601020)

作者简介: 吴敏(1964—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为水污染控制与资源化, E-mail: weizun@vip.sina.com

本文立足于蚯蚓生物滤池的污泥减量化作用,经长期运行,考察不同工况、不同滤料(陶粒和石英砂)时系统对污泥的减量化效果,并分析影响因素,为蚯蚓生物滤池的正常、高效运行提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

蚯蚓生物滤池中试装置设在上海某污水厂内,它处于“厌氧水解—高负荷生物滤池—蚯蚓生物滤池”组合工艺的末端,起保证出水水质,减量并稳定污泥的作用。装置(图1)采用旋转布水器布水,滤池直径 $\phi=3.7\text{ m}$ ,高1.83 m,滤料层高0.2 m。滤池分为2个区域,其一装填滤料为陶粒,其二装填滤料为石英砂,所选滤料都具有硬度大、耐风化、耐水蚀等

特点,其他相关物理性状见表1。滤料层表面铺一层弹性纤维填料,约0.1 m,起到2次布水的作用,其孔隙率达96%,遮光率为83.71%~92.34%,对蚯蚓的生存、生长有利。滤池中投加的蚯蚓为赤子爱胜蚓,正蚓科,爱胜蚓属,俗称红蚯蚓,属于粪蚯蚓类。

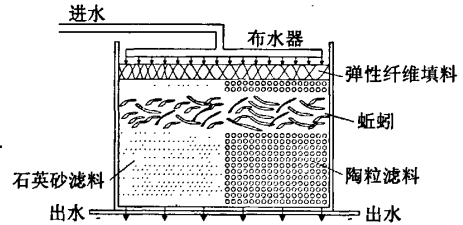


图1 蚯蚓生物滤池中试装置

Fig.1 Schematic diagram of earthworm biofilter apparatus

表1 2种滤料的相关物理性状

Tab.1 Two types of filter mediums' physical character

滤料	粒径/mm	固相密度/ ( $10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	堆积密度/ ( $10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	空隙率/ %	持泥率/ ( $0.01\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
石英砂	1.68~2.05	2.57	1.45	42.69	1.65
陶粒	2.80~8.00	1.34	0.82	39.02	0.78

### 1.2 试验工况及进水条件

试验共分为4个工况,其具体条件及进水水质

见表2。其中 $\rho(\text{SS})$ , $\rho(\text{COD})$ , $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 分别为悬浮物、有机物和氨氮的质量浓度。

表2 各工况的主要运行参数

Tab.2 Major operational parameters of different operating modes

工况	运行时间	气温/ $^{\circ}\text{C}$	进水流量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ )	水力负荷/ ( $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ )	pH值	$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
1	2006-05-2006-06	20~25	1.00	2.40	7.27~7.79	22.30~52.30	63.82~99.80	5.94~27.12
2	2006-06-2006-07	23~28	2.00	4.80	7.47~7.90	14.60~40.50	48.83~103.79	19.62~29.16
3	2006-07-2006-08	28~32	2.50	6.00	7.45~7.97	13.80~37.20	43.65~89.84	8.29~21.68
4	2006-08-2006-09	28~34	2.80	6.70	7.59~7.89	14.80~45.40	42.47~75.75	14.57~21.70

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 污泥减量化效果的分析指标

污水、污泥的性质指标均按国家标准方法测定<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.2 影响因素的分析指标

(1) 污泥及蚓粪的有机质质量分数 $w(\text{OM})$ 采用灼烧法<sup>[9]</sup>测定。

(2) 相对蚓粪产率:从滤池中挑选体重约0.20~0.30 g的健康成蚓15条左右培养24 h后,收集其排泄的蚓粪于105 $^{\circ}\text{C}$ 下烘2 h,测得干重,然后准确称量蚯蚓总重,计算式为:相对蚓粪产率=蚓粪干重/(蚯蚓总重 $\cdot$ 1 d)。

(3) 以蚯蚓吞食、排泄前后污泥中的无机成分

基本不变为前提,由污泥有机质质量分数 $w(\text{OM}_{\text{污泥}})$ 、蚓粪有机质质量分数 $w(\text{OM}_{\text{蚓粪}})$ 、相对蚓粪产率三者计算得滤池中蚯蚓摄食量的相对值,即相对摄食量。相对摄食量=相对蚓粪产率 $\times$ (1- $w(\text{OM}_{\text{蚓粪}})$ )/(1- $w(\text{OM}_{\text{污泥}})$ )。

相对消化量为单位质量蚯蚓1 d内消化掉的有机质总量。相对消化量=相对摄食量-相对蚓粪产率;相对消化率=相对消化量/相对摄食量 $\times$ 100%。

为提高准确度, $w(\text{OM}_{\text{蚓粪}})$ 、相对蚓粪产率、相对摄食量、相对消化量均用SPSS软件分析。

(4) 蚯蚓超氧化物歧化酶(SOD)及过氧化氢酶(CAT)活性使用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒测定(方法见产品说明书)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 滤池对污泥的减量化作用

根据实验结果(图2),蚯蚓生物滤池具有良好的污泥减量化效果,平均减量率可达38.20%~48.20%(质量分数),且在第2工况条件下效果最佳(石英砂滤料中为44.70%,陶粒滤料中为48.20%),之后随着温度继续升高及水力负荷提高而呈现下降趋势.整体上看,污泥减量率以陶粒为滤料时的质量分数为40.50%~48.20%,在各工况条件下都优于以石英砂为滤料时的38.20%~44.70%<sup>[10]</sup>.

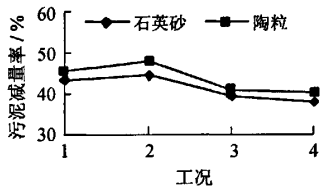


图2 各工况条件下滤池的污泥减量化效果

Fig.2 Effects of the sludge reduction in earthworm biofilter

蚯蚓生物滤池对污泥的减量化作用是通过微生物和蚯蚓的协同作用实现的.微生物将滤池中截留的有机物降解、转化,用于自身的生长、繁殖,并形成活性较高的生物污泥.蚯蚓则将生物污泥吞食,利用蚓体分泌的多种酶将污泥分解、消化,最终转化为自身的增殖及少量的排泄物<sup>[11]</sup>,从而实现污泥的减量化.并且蚯蚓肠道对微生物的群体结构及生物活性具有调节作用,提高生长快的微生物种群的繁殖速度及其呼吸代谢活性<sup>[12]</sup>,在一定程度上强化微生物

降解有机物的作用,提高了其降解污泥的效率.

微生物生命力旺盛,世代周期短,适应能力及抗外界干扰能力都很强,不易受滤池运行条件变化的影响,在系统中发挥的污泥减量化作用稳定.而蚯蚓则不同,它受滤池环境因素影响较大,其消减污泥的效率在不同工况条件下的变化幅度较大,所以滤池污泥减量化的总体效果主要随蚯蚓对污泥消减效率的变化而变化.

### 2.2 蚯蚓对污泥消减效率的变化规律

蚯蚓对污泥的消减作用主要是通过蚯蚓对污泥的吞食、消化和排泄活动实现的,但在滤池实际运行中,不能直接测得上述蚯蚓活动指标的准确数值,因此本研究通过考察蚯蚓摄食量、消化量及排泄量的相对值来定性分析蚯蚓对污泥消减效率的变化规律.

由表3可见,2种滤料中蚯蚓摄食量、消化量、消化率的相对值皆随工况条件的变化而变化,最高值都出现在第2工况.2种滤料相比,相对摄食量的大小随工况不同交替变化,但陶粒中蚯蚓的相对消化量和相对消化率都高于石英砂中的蚯蚓.以第2工况为例,虽然陶粒中蚯蚓的相对摄食量比石英砂中大,但其对所吞食污泥的相对消化率(41.47%)仍大于石英砂中的(26.21%).整体上看,陶粒中蚯蚓对它所吞食污泥的相对消化率可达33.01%~41.47%,而石英砂中仅为16.35%~26.21%,这也是系统以陶粒为滤料时污泥减量率在各工况条件下都优于以石英砂为滤料时(图2)的根本原因.综上所述,蚯蚓对污泥消减效率的变化趋势与系统处理效果的变化趋势相一致,进一步说明系统污泥减量化的总体效果主要随蚯蚓对污泥消减效率的变化而变化.

表3 各工况下不同滤料中蚯蚓相关指标的比较

Tab.3 Comparison of earthworms' related items in different operating modes and filter mediums

工况	滤料	$w(\text{OM}_{\text{污泥}})/\%$	$w(\text{OM}_{\text{蚓粪}})/\%$	相对蚓粪产率/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	每 mg 有机质含 量相对摄食量/ ( $\text{g}\cdot\text{d}$ )	每 mg 有机质含 量相对消化量/ ( $\text{g}\cdot\text{d}$ )	相对消化率/ $\%$
1	石英砂	60.70	53.00±0.89	9.21±1.34	11.01±1.65	1.80±0.36	16.35
	陶粒	60.70	37.67±1.11	6.44±0.88	10.21±1.27	3.77±0.40	36.92
2	石英砂	63.30	50.26±3.54	14.80±0.21	20.07±1.71	5.26±1.50	26.21
	陶粒	63.30	37.24±2.21	11.97±3.65	20.45±5.52	8.48±1.87	41.47
3	石英砂	58.90	44.79±5.00	10.27±0.43	13.80±1.82	3.53±1.40	25.58
	陶粒	58.90	36.50±0.70	8.40±0.89	12.97±1.29	4.58±0.42	35.31
4	石英砂	58.20	43.42±4.46	6.80±1.96	9.18±1.96	2.38±0.23	25.93
	陶粒	58.20	37.57±0.76	5.54±0.84	8.27±1.23	2.73±0.39	33.01

### 2.3 影响蚯蚓消减污泥效率的因素

#### 2.3.1 温度

温度变化对蚯蚓的摄食、消化、排泄等活动影响

较大,英国研究人员<sup>[11]</sup>对蚯蚓产粪量的统计表明,产粪量受到温度和降水的协同作用,在降水量一定的前提下,温度升高有利于蚯蚓产粪,但超过40℃

时蚓粪产量明显减少.本研究的结果与上述相符,滤池中蚯蚓的产粪率、摄食量和消化量的相对值都在第2工况时达到最高值(图3),之后随着温度的持续升高及水力负荷的提高而呈现下降趋势.

对比滤池第1、第2工况下蚯蚓的摄食、消化和排泄指标(图3)可以发现:温度变化对蚯蚓消减污

泥效率的影响大于水力负荷所带来的影响,虽然第2工况中水力负荷较第1工况提高了1倍,但随着温度的逐渐升高,蚯蚓的相对摄食量和相对消化量也逐渐升高,进而提高了蚯蚓消减污泥的效率,最终使得系统污泥减量化的整体效果达到最优(图2).

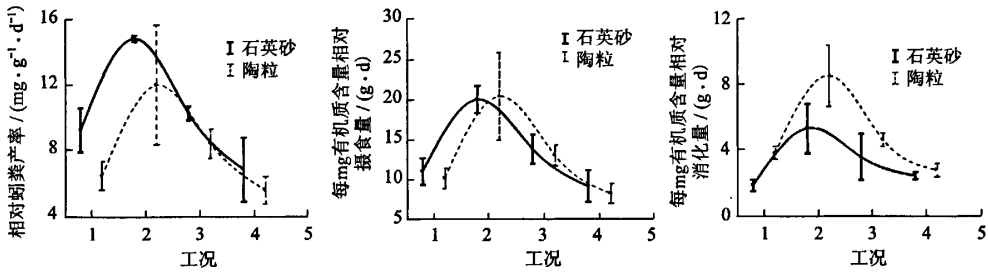


图3 各工况条件下不同滤料中蚯蚓相关指标的变化

Fig.3 Variation of earthworms' related items in different operating modes and filter mediums

2.3.2 水力负荷

滤池第3、第4工况的温度条件基本相同(28~34℃),但随着水力负荷从第3工况的6.00 m·d<sup>-1</sup>提高到第4工况的6.70 m·d<sup>-1</sup>,蚯蚓摄食量、消化量和蚓粪产率的相对值都出现不同程度的降低(图3),可见水力负荷过大不利于蚯蚓对污泥的消减作用.这主要是因为水力负荷升高时,滤池进水流量增大,使得进水水流对滤料中蚯蚓的水力冲击作用增加,最终影响到蚯蚓的正常生命活动及其消减污泥的效率.在第4试验工况时,蚯蚓出现向布水较少的池壁区域逃避的现象,以躲避超过它们自身承受能力的水力冲击,同时滤池有积泥现象,较易发生堵塞,需要人工冲洗滤池.

从系统污泥减量化总体效果来看,第4工况在不将堵塞时滤池冲洗掉的积泥量计算在内的情况下,其污泥减量率仍低于第3工况(图2).这与上述蚯蚓对污泥消减效率的变化趋势相一致.

2.3.3 滤料

图3显示,2种滤料中蚯蚓对污泥的相对摄食量基本相同,但陶粒中蚯蚓对污泥的相对消化量却明显高于石英砂中.可见陶粒中蚯蚓的活性更高,能更有效地利用它所吞食污泥中的有机成分,用以自身的呼吸代谢、生长、繁殖等一系列生命活动,这也是陶粒中w(OM<sub>蚓粪</sub>)(36.5%~37.67%)比石英砂中(43.42%~53.00%)低(表3)的根本原因.

蚯蚓生物滤池在相同的进水水质、水力负荷、外界温度、光照强度等条件下,陶粒中蚯蚓对污泥的消

减效率高,使得陶粒滤池对污泥的减量化效果更好(图2).这可能与滤料本身对蚯蚓个体的胁迫程度有关.生物体受到的胁迫程度越大,其体内SOD酶及CAT酶的合成量越大<sup>[13-14]</sup>.图4为2种滤料中蚯蚓体内SOD酶及CAT酶的活性.

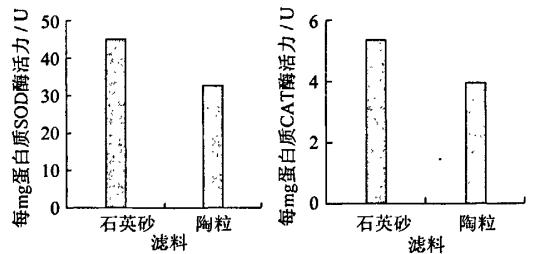


图4 蚯蚓SOD及CAT酶活性的比较

Fig.4 Comparison of earthworms' SOD and CAT

图4表明,在其他外界影响因素(进水水质、温度、水力负荷等)相同的条件下,石英砂中蚯蚓体内SOD酶及CAT酶的活力都比陶粒中高.由此可见,2种滤料相比,陶粒对蚯蚓个体的胁迫程度较小.究其原因,这主要与滤料本身的物理性状有关.蚯蚓在滤池里活动、觅食的过程中,蚓体与滤料不断地摩擦,受到不同程度的磨损,进而影响到蚯蚓正常的消化、代谢等活动.对比2种滤料的具体性状(见表1),石英砂粒径较小(1.68~2.05 mm),相对密度及堆积密度都较大,且形状不规则,有棱角,对蚓体磨损相对较大;陶粒粒径较大(2.80~8.00 mm),形状规则,呈球状,且质轻,对蚓体磨损较小.

### 3 结论

(1) 蚯蚓生物滤池通过微生物和蚯蚓的协同作用实现污泥的减量化,污泥减量率可达 38.20%~48.20%。系统污泥减量化的总体效果与蚯蚓对污泥的消减效率呈正相关。

(2) 温度是影响滤池中蚯蚓消减污泥效率的重要因素,系统温度在 23~28℃时,蚯蚓消减污泥的效率达到最高值,系统污泥减量化效果最佳。

(3) 水力负荷过大不利于蚯蚓生物滤池的污泥减量化作用,水力负荷提高使水流对蚯蚓的冲击作用增强,最终影响到蚯蚓的正常生命活动及其消减污泥的效率。

(4) 滤料也是影响滤池中蚯蚓消减污泥效率的重要因素。与石英砂相比,陶粒为滤料时蚯蚓消减污泥的效率更高,污泥减量化效果更好,这主要与滤料本身的物理性状有关。选择合适的滤料,尽可能减少滤料对蚯蚓的不利胁迫,对保证滤池内蚯蚓的正常生长,乃至整个蚯蚓生物滤池的稳定、高效运行都具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 刘琳,宋碧玉. 污泥减量化技术新进展[J]. 工业用水与废水, 2005,36(3): 5.  
LIU Lin, SONG Biyu. A new progress of sludge reduction technology[J]. Industrial Water & Wastewater, 2005,36(3):5.
- [2] Lee N M, Welander T. Reducing sludge production in aerobic wastewater treatment through manipulation of the ecosystem[J]. Water Res, 1996, 30(8): 1781.
- [3] Ghyoot W, Verstraete W. Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor[J]. Water Res, 1999, 34(1):205.
- [4] Rensink J H, Rulkens W H. Using metazoa to reduce sludge production[J]. Water Sci Technol, 1997, 36(11): 171.
- [5] 翟小蔚,潘涛,Ghyoot W, 等. 利用原生动物消减剩余活性污泥产量[J]. 中国给水排水, 2000, 16(11): 6.  
ZHAI Xiaowei, PAN Tao, Ghyoot W, et al. Study on reducing excess sludge production by using protozoa in activated sludge system[J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(11): 6.
- [6] 吴敏,杨健,马运才,等. 生物—生态过滤工艺处理城镇污水[J]. 中国给水排水,2002,18(4):37.  
WU Min, YANG Jian, MA Yuncai, et al. Bio-ecology filtration technology treatment with urban wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(4):37.
- [7] 吴敏,杨健. 蚯蚓生态床处理剩余污泥[J]. 中国给水排水, 2003,19(5):59.  
WU Min, YANG Jian. Residual sludge treatment by earthworm ecology bed[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(5):59.
- [8] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.  
State Environmental Protection Administration of China. Water and wastewater monitoring and analysis methods[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press,2002.
- [9] 王关禄,张国治. 土壤知识与土壤普查技术[M]. 北京: 水利电力出版社,1983.  
WANG Guanlu, ZHANG Guozhi. Soil knowledge and soil survey technology [M]. Beijing: China Waterpower Press, 1983.
- [10] 姚阔为. 蚯蚓生态滤池污泥减量化与稳定化效果的研究[D]. 上海:同济大学环境科学与工程学院, 2007.  
YAO Kuowei. The study of reduction and stabilization on the sludge of earthworm eco-filter[D]. Shanghai: Tongji University. School of Environmental Science and Engineering, 2007.
- [11] 爱德华兹,洛夫蒂. 蚯蚓生物学[M]. 戴爱云,范国仪,译. 北京: 科学出版社,1984.  
Edwards C A, Lofty J R. Biology of earthworms [M]. Translated by DAI Aiyun, FAN Guoyi. Beijing: Science Press, 1984.
- [12] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J]. 生态学报,1997, 17(5): 556.  
ZHANG Baogui. Interaction between earthworms and microorganisms[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(5):556.
- [13] 左海根,林玉锁,龚瑞忠. 农药污染对蚯蚓毒性毒理研究进展[J]. 农村生态环境,2004, 20(4):1.  
ZUO Haigen, LIN Yusuo, GONG Ruizhong. Toxicology of pesticide pollution to earthworms[J]. Rural Eco-Environment, 2004, 20(4):1.
- [14] 方中允,李文杰. 自由基与酶——基础理论及其在生物学和医学中的应用[M]. 北京: 科学出版社,1989.  
FANG Zhongyun, LI Wenjie. Radicals and enzyme: basic theory and its application in biology and medicine [M]. Beijing: Science Press, 1989.

# 蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果及其影响因素

作者: [吴敏](#), [娄山杰](#), [杨健](#), [陈巧燕](#), [WU Min](#), [LOU Shanjie](#), [YANG Jian](#), [CHENG Qiaoyan](#)  
 作者单位: [同济大学, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海, 200092](#)  
 刊名: [同济大学学报 \(自然科学版\)](#) **ISTIC EI PKU**  
 英文刊名: [JOURNAL OF TONGJI UNIVERSITY \(NATURAL SCIENCE\)](#)  
 年, 卷(期): 2008, 36(4)  
 被引用次数: 10次

## 参考文献(14条)

1. 刘琳;宋碧玉 [污泥减量化技术新进展](#)[期刊论文]-[工业用水与废水](#) 2005(03)
2. Lee N M;Welander T [Reducing sludge production in aerobic wastewater treatment through manipulation of the ecosystem](#) 1996(08)
3. Ghyoot W;Verstraete W [Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor](#)[外文期刊] 1999(01)
4. Rensink J H;Rulkens W H [Using metazoa to reduce sludge production](#) 1997(11)
5. 翟小蔚;潘涛;Ghyoot W [利用原生动物的消减剩余活性污泥产量](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2000(11)
6. 吴敏;杨健;马运才 [生物-生态过滤工艺处理城镇污水](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2002(04)
7. 吴敏;杨健 [蚯蚓生态床处理剩余污泥](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2003(05)
8. 国家环境保护总局 [水和废水监测分析方法](#) 2002
9. 王关禄;张国治 [土壤知识与土壤普查技术](#) 1983
10. 姚阔为 [蚯蚓生态滤池污泥减量化与稳定化效果的研究](#) 2007
11. 爱德华兹;洛夫蒂;戴爱云;范国仪 [蚯蚓生物学](#) 1984
12. 张宝贵 [蚯蚓与微生物的相互作用](#) 1997(05)
13. 左海根;林玉锁;龚瑞忠 [农药污染对蚯蚓毒性毒理研究进展](#)[期刊论文]-[农村生态环境](#) 2004(04)
14. 方中允;李文杰 [自由基与酶一基础理论及其在生物学和医学中的应用](#) 1989

## 本文读者也读过(8条)

1. [陆志波](#). [邓德汉](#). [陈巧燕](#). [赵丽敏](#). [LU Zhibo](#). [DENG Dehan](#). [CHEN Qiaoyan](#). [ZHAO Limin](#) [蚯蚓处理污泥的环境适应性](#)[期刊论文]-[同济大学学报 \(自然科学版\)](#) 2009, 37(5)
2. [杨健](#). [赵丽敏](#). [陈巧燕](#). [易当皓](#). [YANG Jian](#). [ZHAO Limin](#). [CHEN Qiaoyan](#). [YI Danghao](#) [水力负荷对滤池中蚯蚓生态生理适应性的影响](#)[期刊论文]-[同济大学学报 \(自然科学版\)](#) 2009, 37(8)
3. [杨健](#). [赵丽敏](#). [陈巧燕](#). [杨居川](#). [娄山杰](#). [YANG Jian](#). [ZHAO Li-min](#). [CHEN Qiao-yan](#). [YANG Juc-huan](#). [LOU Shan-jie](#) [石英砂和陶粒蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果比较](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#)2008, 24(7)
4. [王凤](#). [邹斌](#). [杨健](#). [邢美燕](#) [蚯蚓生物滤池的研究与应用进展](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#)2010, 26(8)
5. [徐轶群](#). [封克](#). [王子波](#). [许健](#). [XU Yi-qun](#). [FENG Ke](#). [WANG Zi-bo](#). [XU Jian](#) [城市生活污水蚯蚓处理过程中相关酶活性的动态变化特征](#)[期刊论文]-[农业环境科学学报](#)2010, 29(5)
6. [王玉洁](#). [朱维琴](#). [金俊](#). [梅凌菲](#). [周幸](#) [农业固体有机废弃物蚯蚓堆制处理及蚓粪应用研究进展](#)[期刊论文]-[湖北农业科学](#)2010, 49(3)
7. [陆志波](#). [娄山杰](#). [杨健](#). [陈巧燕](#). [LU Zhibo](#). [LOUShanjie](#). [YANG Jian](#). [CHEN Qiaoyan](#) [蚯蚓生物滤池两种滤料中蚯蚓体壁损伤的比较](#)[期刊论文]-[同济大学学报 \(自然科学版\)](#) 2008, 36(8)
8. [杨健](#). [易当皓](#). [赵丽敏](#). [邓德汉](#). [YANG Jian](#). [YI Dang-hao](#). [ZHAO Li-min](#). [DENG De-han](#) [蚯蚓生物滤池处理剩余污泥的效果](#)[期刊论文]-[中国环境科学](#)2008, 28(10)

## 引证文献(10条)

1. [戴一琦](#), [李银生](#), [李旭东](#), [陆燕](#), [沈小虎](#), [欧文韬](#), [邱江平](#) [蚯蚓生物滤池污水处理技术研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学与技术](#) 2010(11)
2. [臧思同](#), [李丽娟](#), [郭经宝](#) [蚯蚓养殖基床配比成分优化组合试验探究](#)[期刊论文]-[饲料工业](#) 2013(21)
3. [闫家怡](#), [聂丽曼](#) [废水处理中污泥减量化技术研究进展](#)[期刊论文]-[科技信息](#) 2010(24)
4. [李洪枚](#) [蚯蚓生态滤池污泥减量技术的研究进展](#)[期刊论文]-[科技信息](#) 2010(27)
5. [陈学民](#), [黄魁](#), [伏小勇](#), [倪少仁](#) [2种表居型蚯蚓处理污泥的比较研究](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2010(5)
6. [刘云兴](#), [迟晓德](#) [污泥减量化技术研究进展与发展趋势](#)[期刊论文]-[环境科学与管理](#) 2013(6)
7. [臧兰兰](#), [张松林](#) [西北半干旱区蚯蚓堆肥对污泥理化性质的影响](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2013(34)
8. [党俐](#), [徐岳阳](#), [曹雯](#), [张伟军](#) [生物法实现污泥减量技术综述](#)[期刊论文]-[广州化工](#) 2011(5)
9. [盛倩](#), [吴星五](#) [蚯蚓堆肥在污泥处理中的应用](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2011(4)
10. [李洪枚](#) [微型动物捕食污泥减量工艺研究现状](#)[期刊论文]-[环境科技](#) 2010(6)

引用本文格式: [吴敏](#), [娄山杰](#), [杨健](#), [陈巧燕](#), [WU Min](#), [LOU Shanjie](#), [YANG Jian](#), [CHENG Qiaoyan](#) [蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果及其影响因素](#)[期刊论文]-[同济大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(4)