

蚯蚓及其在生态环境保护中的应用

郝桂玉, 黄民生, 徐亚同

(华东师范大学 环境科学与技术系, 上海 200062)

摘要: 蚯蚓是土壤生态系统中非常重要的生物类群。笔者从环境生态学角度简要介绍了蚯蚓的主要种类、蚯蚓生物学特性、蚯蚓与微生物的关系以及蚯蚓的资源化利用价值。蚯蚓在生态环境保护中重要而特殊的作用主要体现在其在固体废物处理、臭气净化、污水处理等方面的应用以及蚯蚓在环境监测中作为指示生物的重要价值。同时, 提出了蚯蚓作为生物指示物进行环境监测的当务之急, 应建立严格的标准化试验方法和科学的评价体系, 应充分考虑环境条件、污染物的类型、蚓种及其生理状态对监测效用的影响, 结合理化监测结果进行综合评价。

关键词: 蚯蚓; 生物学特性; 污染治理; 生态环境保护; 应用

中图分类号: X174 文献标识码: A 文章编号: 1001-692X(2004)03-0075-03

Earthworms and Their Application to Eco-Environmental Protection

HAO Gui-yu, HUANG Min-sheng, XU Ya-tong

(Department of Environmental Science & Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Earthworms are biological species of great significance in soil eco-system. The authors have concisely introduced the main species and the biological characteristics of earthworms, and the relationships between earthworms and microorganisms. The important and typical roles of earthworms in the eco-environmental protection are illustrated through their application in the treatment of solid waste, odor and wastewater purification as well as the important function as the indicators of environmental monitoring. Meanwhile, necessary measures to have earthworms as biological indicators for environmental monitoring are proposed, including establishing strict standard testing methods and scientific assessment system, fully considering the impact of environmental conditions, pollutant types, earthworm species and their physiological status on the monitoring effects, and performing comprehensive assessment in combination with physicochemical monitoring results.

Key words: earthworm; biological characteristics; pollution control; eco-environmental protection; application

蚯蚓是土壤中最常见的杂食性环节动物, 在土壤生态系统中具有极其重要的地位。蚯蚓喜潮湿的土壤环境, 可利用皮肤呼吸, 在氧分压低于 2.533 kPa 时也能维持正常呼吸, 在暂时缺氧条件下还能利用体内糖元的嫌气进行分解, 为生命活动提供能源, 对环境变化具有较强的适应能力。

1 蚯蚓的主要种类及其特性

目前已经记载的蚯蚓有近 300 种, 根据其生境类型及生态功能可以将它们分为 3 种类型^[1]: ①表层种, 生活在富含有机质的表层土壤中, 个体较小、性成熟快、种群数量大、呼吸作用强, 并以极高的繁殖能力来补偿因其他动物捕食造成的种群数量损失, 对环境(温度、湿度、pH 值等)的适应性很强, 它们以有机质为食, 在枯枝落叶的分解中及在森林生态系统中具有极其重要的作用; ②内层种, 生长于垂直的土壤洞穴中, 性成熟较慢、种群数量较少、呼吸作用弱、繁殖能力中等, 以有机质及土壤为食, 对改良土壤结构、提高土壤通气及排水性能具有重要作用; ③深层种, 生活于深层土壤中, 个体大(可达 1 m 以上), 性成熟慢、种群数量少、呼吸作用弱、繁殖能力低, 以土壤及少量

有机质为食, 其砂囊发达, 可以磨碎坚硬的有机质, 挖掘的洞穴深达数米, 可促进土壤深层结构的改良。

2 蚯蚓与微生物

蚯蚓在取食土壤及有机质的过程中不可避免地要摄食大量的微生物。实验研究表明^[2]: 真菌是蚯蚓食物的一部分, 在通过消化道时真菌营养体被杀死, 只有真菌孢子存活; 生长缓慢的细菌通过蚯蚓消化道后群体数量下降, 而生长快的细菌却在消化道内得到快速繁殖。

在有机质分解过程中, 大块有机物经过蚯蚓砂囊磨碎后, 其表面积大大增加, 便于微生物对其快速转化, 而经过微生物的处理又反过来有效地促进了蚯蚓对有机物的吸收利用^[3]。有研究表明, 蚯蚓的消化酶部分直接来源于与其共生的微生物, 在有机质分解中发挥重要作用。

同时, 蚯蚓是土壤有机质和微生物的“搅拌机”和“传播器”, 对提高土壤中微生物的活力及有机质的转化效率起重要作用。张宝贵等^[4]研究了蚯蚓与微生物相互作用对土壤微生物量、磷库、土壤磷酸酶活性及其在土壤中空间分布的影响。结果表明, 蚯蚓活动促进有机残体向下层土壤运输, 提高了 20~30 cm 土层微生物量、无机和有机磷量及酸性磷酸酶的活性, 这对于增大磷的移动性、促进植物对磷的利用具有一定意义。

收稿日期: 2003-05-16

基金项目: 上海市科委重大攻关项目(02DZ12105); 上海市生态重点学科项目(41195004-17)

作者简介: 郝桂玉(1966-), 女, 山东招远人, 副教授, 博士研究生。

3 蚯蚓的资源化利用价值

蚯蚓全身都是宝。蚯蚓的蛋白质含量高达 60% (质量分数,干重),营养齐全且价值高,还具有适口性好、诱食性强等特点,是畜、禽、鱼等的优质饲料;蚯蚓入药在我国已有上千年历史,蚯蚓药物具有助产、活血化淤、溶栓降压、清热平肝、消炎止痛、抗肿瘤等多种功能^[5];蚓粪是优质高效的有机肥和臭气吸附剂。

4 蚯蚓在固体废物处理中的应用

蚯蚓的杂食性特点使得其在有机性固体废物处理中极具应用前景。

加拿大在 1970 年建立了一个蚯蚓养殖厂,至今已运行 10 多年,目前每星期可以处理约 75 t 的垃圾。

20 世纪 80 年代,世界著名蚯蚓专家爱德华设计的一种有机废物处理装置,最初在英国用于处理植物生产废物(土豆加工废物)和动物粪便,随后通过改进、提高,目前已在 10 多个国家得到推广应用。

法国 1991 年在罗纳河畔的 Lavoulte 市建立的第一座利用蚯蚓处理城市生活垃圾的垃圾处理场,现代化程度较高,日处理垃圾 20~30 t,仅需 4 个工人操作,垃圾的处理成本每吨约为 360 法国法郎^[6]。

2000 年澳大利亚悉尼奥运会期间,利用 4 000 条蚯蚓处理奥运村生活垃圾,可以做到垃圾不出村就地消纳。

国内利用蚯蚓处理生活垃圾和其他固体废物也有较多实践。早在 20 世纪 80 年代中期^[7],清华大学环境工程研究所便开始开展养殖蚯蚓处理城市生活垃圾的可行性研究,2000 年北京海淀区环卫所在清华大学工作的基础上,在三星庄垃圾处理场建立了 1 座蚯蚓处理生活垃圾中试装置,并投入生产运行。近年来,福建省农科院利用蚯蚓处理果蔬加工业固体废物实验研究^[8],结果表明,采用人工养殖蚯蚓的方式处理菠萝及香蕉假茎叶是可行的,经过蚯蚓处理后的残渣可以作为优质的农用有机肥。

利用蚯蚓处理工业固体废物也有较多研究,薛进军等^[9]引进日本大平 2 号蚯蚓处理石灰法造纸废水沉降污泥获得了较大的成功,每天每克蚯蚓可以处理沉降污泥 0.97 g 左右,明显优于当地蚯蚓。该技术在日本已进入工程化试验阶段。

有机固体废物的堆肥技术在实践中已获得长足的进展,但微生物堆肥需要对固体废物进行分拣、破碎等预处理以及堆肥产品的深化加工(如改良堆肥产品的物理性状等),这需要使用大量的机械设备,处理过程中能耗也较高。蚯蚓是固体废物的活体破碎机、分离机和堆肥产品的高效造粒机,蚯蚓体内消化酶对有机物具有高效的降解作用,蚓粪酸碱中性、湿度适宜、孔隙大、耐水冲刷,适合于农作物的生长发育,是一种优质的有机肥及土壤改良剂。因此利用蚯蚓的特殊功能,将微生物与蚯蚓共同构建有机固体废物的新型组合生物技术,将具有良好的应用前景。

5 蚯蚓在臭气处理中的应用

除作为优质有机肥外,蚓粪亦可作为脱臭剂^[10]。蚓粪是具有很高孔隙率和比表面积的颗粒状物质,是臭气的高效吸附剂,蚓粪中含有大量微生物,对臭气物质具有良好的吸收净化功能。蚓粪经简单加工后,作为生物除臭剂将具有广阔的市场

应用前景。

6 蚯蚓在污水处理中的应用

近年来将蚯蚓引进生物滤池构建新型污水处理生物滤池在法国等国家已有较多研究与实践。

蚯蚓生物滤池的作用原理主要是利用蚯蚓的活动实现滤池通气供氧和解决滤池堵塞问题。另外,通过蚯蚓对滤池中生物污泥的取食可以实现生物滤池运行过程中剩余污泥的就地削减,省去污泥处理构筑物及其相应的运行费用。同济大学在国内该领域首先开展了相关的研究工作,图 1 为同济大学处理城市污水中采用的蚯蚓生物滤池模型。

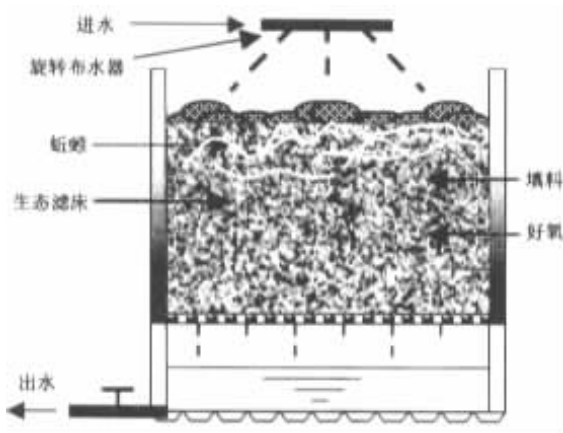


图 1 蚯蚓生物滤池模式图

Fig.1 Model chart of earthworm bio-filter

该技术经上海曲阳水处理厂中试结果表明^[11]:以蚯蚓生物滤池为功能主体的城市污水处理技术,其 COD 的去除率高达 83%~89%,BOD 的去除率高达 94%~97%,SS 的去除率高达 96%~98%,出水可以达到国家一级排放标准,运行数月后,基本无剩余泥排放,无需机械充氧设备,装置简单,能耗低,易管理,运行稳定,非常适用于小型城市污水处理厂。

重庆建筑大学罗固源等^[12]将蚯蚓引入污水土地处理系统构建新型生态污水处理技术,研究结果表明:蚯蚓的活动提高了土地处理系统的供氧速度,有利于好氧微生物对污水的快速净化,蚯蚓和微生物协同“作战”可以提高原有污水土地处理系统的运行效率,蚯蚓的挖掘作用及蚓粪的堆积可以实现土壤的快速改良,收获的蚯蚓可以作为农村家禽养殖的良好饲料,具有较高的经济价值。据此,蚯蚓污水土地处理系统将在农村生态环境保护中发挥重要作用。

7 蚯蚓在环境监测中的应用

污染物进入生态环境后,将对生态系统的各级生物学水平产生影响,从而引起生态系统固有结构及功能的变化。

生物监测以其特异性在环境监测中具有重要地位。生物监测就是应用对环境毒物特异敏感的物种作为指示生物,通过指示生物对毒物的多种响应(急性、亚急性和慢性毒性测定,生理生化分析等)来评价毒物的生态环境影响程度。蚯蚓位于陆地生态系统中食物链的底端,对多种环境污染物都有显著的富集作用,其个体大、易于繁殖、分布广泛,是监测土壤及水体环境污染状况的良好指示生物。

蚯蚓的生态毒理学研究^[13]主要包括实验室毒理试验、田间

生态毒理试验和生物检定。目前采用较多的实验室毒理试验主要是人工土壤试验和人造土壤试验,二者的相关系数在 90% 以上,而后者方法较为简便易行,易于标准化。蚯蚓的田间毒理试验能够直接反应被测物质对环境的实际影响,但由于不同的土壤性质、蚯蚓的行为、不同的蚯蚓种类及其活动都可能影响试验的结果,因此,不同田间毒理试验结果往往不具有可比性。生物监测可以通过比较受污染土壤与未受污染土壤中蚯蚓体内污染物的残留情况,评估某种或某类化学药品的生态毒性,费用较低,结果可以直接反映化学药品对整个土壤动物区系的生态毒性。

8 讨论

蚯蚓不仅能促进植物残枝落叶的降解、有机物质的分解和矿化,并具有耕作土壤、改善土壤团粒结构,提高土壤透气、排水和深层持水的能力,可以将酸性、碱性土壤改良为近于中性的土壤,增加土壤中钙、磷等速效成分,还可以促进土壤中消化细菌的活动。因此,蚯蚓对土壤的挖掘能力从本质上改善了土壤的化学成分和物理结构。

蚯蚓肠道分泌物种类很多,包括纤维素酶、几丁质酶、蛋白酶、淀粉酶、过氧化物酶等多种生物酶,尽管目前还不清楚这些消化酶是由蚯蚓自身分泌而来还是由蚯蚓肠道微生物分泌而来,但这些天然酶制剂活性极高,能够与微生物协同分解腐烂有机物,并可有效阻止病原菌对土壤和农作物的危害。蚯蚓的新鲜粪便培养了大量的微生物,以及蚓粪堆积的特殊形状和特性,从环保角度来讲蚓粪是一种典型的生态除臭器。

在传统高温堆肥系统中引入蚯蚓,利用蚯蚓对大块固体废物的研磨、破碎预处理作用,发挥其活体机械的效能,省却了切割设备,为微生物的有效分解提供条件。

蚯蚓在生物滤池的作用相当于活体供氧机和清道夫,省硬件投资、省运行管理、省能耗。蚯蚓的存在等于重建了生物滤池中的生态系统,延长了食物链,微生物、原生动物和蚯蚓共同协作实现了滤池内生态系统中物质流和能量流的良性循环,可以实现零污泥排放。

由于蚯蚓环境生物技术还存在一定的局限性,应从以下 3 个方面做进一步完善:

a. 提倡组合技术解决实际问题往往存在诸多不足。由于蚯蚓适宜的生存温度为 9~25℃,相对湿度为 70%~80%,并要避免出现长期缺氧的情况,因此实际应用中要充分依据蚯蚓的这些特点,创造最适宜条件以发挥其最大效用。

b. 蚯蚓环境生物技术的强化及运行调控:在蚯蚓分解有机物过程中,可以接种功能性微生物菌剂,通过强化蚯蚓与功能性微生物的协同作用,提高污染物的转化效率,并提高蚓粪的应用价值,对处理系统进行优化构建及运行调控,如养殖并应用对有机垃圾具有极高嗜食性的蚯蚓品种(如爱胜蚓属和黑蚯蚓),采用分期饲养、薄饲勤除、适时采收、轮换更新等养殖技术和科学的养殖管理方法提高蚯蚓的产出率,提高污染物的转化效率。

c. 利用蚯蚓作为生物指示物进行环境监测的当务之急:应建立严格的标准化试验方法和科学的评价体系,使研究结果具有可比性;应充分考虑环境条件、污染物的类型、蚓种及其生理状态对监测效用的影响,结合理化监测结果进行综合评价。

参考文献:

- [1] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用 I: 蚯蚓及其在自然生态系统中的作用[J]. 上海农学院学报, 1999, 17(3): 227-232.
- [2] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 556-560.
- [3] 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.
- [4] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 两种生态类型蚯蚓几种消化酶活性的比较研究[J]. 生态学报, 2001, 21(6): 979-981.
- [5] Edwards C A, Bohlen P J. Biology and Ecology of Earthworms[M]. [s. l.]: Chapman & Hall, 1996.
- [6] 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): 53-66.
- [7] 霍维周, 丁雪梅. 蚯蚓处理垃圾及产业化问题的讨论[J]. 科学管理研究, 2002, 4(1): 16-18.
- [8] 陈玉水. 蚯蚓处理菠萝皮渣的研究报告[J]. 农业环境与发展, 1997, 5(4): 25-27.
- [9] 薛进军, 刘其昌, 余德才, 等. 蚯蚓处理石灰法造纸废水沉降物试验[J]. 农业环境保护, 1998, 17(6): 266-267.
- [10] Scheu S. Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts (Lumbricidae) [J]. Biology and Fertility of Soils, 1987, 5: 230-234.
- [11] 杨健, 陆雍森, 王树乾. 绿色生态滤地处理城市污水的中试研究[J]. 江苏环境科技, 2000, 13(4): 1-3.
- [12] 罗国源. 蚯蚓污水土地处理[J]. 中国给水排水, 1997, 13(2): 40-42.
- [13] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用 II: 蚯蚓生态毒理学[J]. 上海农学院学报, 1999, 17(4): 301-308.

本刊将编入《中国知识资源总库·科技期刊精品库》的声明

《中国知识资源总库·科技期刊精品库》系 CNKI 世纪光盘工程的组成部分,由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社主办。CNKI 工程已经国家新闻出版总署批准,并被列入国家新闻出版总署发展规划。


《科技期刊精品库》是通过对中国期刊全文数据库中近 8 000 种期刊 10 a 的引文统计分析后,筛选出文献引用频次排名

在前 500 位的高水平科技期刊进行全面、系统、完整的数字化整合。

本刊自创刊以来编辑出版的文章均将编入该《精品库》,作者如不同意将文章编入该《精品库》,请从速函告或在来稿时声明,以便删除。此告!

《环境科学研究》编辑部

蚯蚓及其在生态环境保护中的应用

作者: 郝桂玉, 黄民生, 徐亚同
作者单位: 华东师范大学, 环境科学与技术系, 上海, 200062
刊名: 环境科学研究 
英文刊名: RESEARCH OF ENVIRONMENTAL SCIENCES
年, 卷(期): 2004, 17(3)
被引用次数: 33次

参考文献(13条)

1. 邱江平 蚯蚓及其在环境保护上的应用 I : 蚯蚓及其在自然生态系统中的作用 1999(03)
2. 张宝贵 蚯蚓与微生物的相互作用 1997(05)
3. 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[期刊论文]-生态学报 2000(01)
4. 张宝贵;李贵桐;申天寿 两种生态类型蚯蚓几种消化酶活性的比较研究[期刊论文]-生态学报 2001(06)
5. Edwards C A;Bohlen P J *Biology and Ecology of Earthworms* 1996
6. 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[期刊论文]-上海农学院学报 2000(01)
7. 霍维周;丁雪梅 蚯蚓处理垃圾及产业化问题的讨论[期刊论文]-科学管理研究 2002(01)
8. 陈玉水 蚯蚓处理菠萝皮渣的研究报告 1997(04)
9. 薛进军;刘其昌;余德才 蚯蚓处理石灰法造纸废水沉降物试验 1998(06)
10. Scheu S *Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts(Lumbricidae)* 1987
11. 杨健;陆雍森;王树乾 绿色生态滤地处理城市污水的中试研究[期刊论文]-江苏环境科技 2000(04)
12. 罗固源 蚯蚓污水土地处理 1997(02)
13. 邱江平 蚯蚓及其在环境保护上的应用 II : 蚯蚓生态毒理学 1999(04)

本文读者也读过(5条)

1. 黄健. 徐芹. 孙振钧. 王冲. 郑东梅. Huang Jian. Xu Qin. Sun Zhengjun. Wang Chong. Zheng Dongmei 中国蚯蚓资源研究: I. 名录及分布[期刊论文]-中国农业大学学报2006, 11(3)
2. 乔艳云. 邴伟. 彭高军. 董仁杰 蚯蚓在环境保护中的作用[会议论文]-2003
3. 周颖. 刘维平. 陈泽光. ZHOU Ying. LIU Weiping. CHEN Zeguang 蚯蚓堆制处理技术及发展前景[期刊论文]-中国牛业科学2009(4)
4. 黄初龙. 张雪萍. HUANG Chulong. ZHANG Xueping 蚯蚓环境生态作用研究进展[期刊论文]-生态学杂志2005, 24(12)
5. 邱江平. QIU Jiang-ping 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[期刊论文]-上海农学院学报2000, 18(1)

引证文献(33条)

1. 刘朝发 花亭湖旅游码头生态处理技术浅析[期刊论文]-低碳世界 2013(17)
2. 白桂芬. 李冰 多菌灵与博士1:4单一与复合污染对蚯蚓的毒性效应研究[期刊论文]-四川动物 2012(5)
3. 王曦曦. 郭飞宏. 张继彪. 郑正 蚯蚓对毛细管渗滤沟生活污水处理效果的影响[期刊论文]-环境工程学报 2011(10)
4. 郭飞宏. 方彩霞. 罗兴章. 张继彪. 郑正 多级蚯蚓生态滤池处理生活污水研究[期刊论文]-环境化学 2010(6)
5. 尚丽勤. 白林. 谭兵. 刘羞菲. 张红涛 采用PCR-SSCP技术分析蚯蚓粪便的微生物群落结构[期刊论文]-家畜生态学报 2008(2)
6. 白桂芬. 李冰. 王然 灭蝇胺对蚯蚓的毒性效应研究[期刊论文]-廊坊师范学院学报: 自然科学版 2011(6)
7. 姜海燕. 闫伟. 李晓彤. 樊永军 兴安落叶松林土壤真菌的群落结构及物种多样性[期刊论文]-西北林学院学报 2010(2)
8. 刘玉婷. 刘聪. 孙永会. 尹大伟 现应用的染整助剂环境毒理概述[期刊论文]-环境科学与技术 2009(1)

9. [杨健, 杨健, 娄山杰](#) 一种新型环境友好污水处理工艺——蚯蚓生态滤池[期刊论文]-[中国资源综合利用](#) 2008(1)
10. [杨明, 段建军, 王小利, 崔雯雯, 黄春, 郭端华](#) 蚯蚓生物处理造纸污泥及蚓粪应用的研究进展[期刊论文]-[贵州农业科学](#) 2011(8)
11. [巨天珍, 陈源, 常成虎, 安黎哲](#) 天水小陇山红豆杉(*Taxus chinensis* (Pilg.) Rehd)林土壤真菌多样性及其与生态因子的相关性[期刊论文]-[环境科学研究](#) 2008(1)
12. [白桂芬, 王强](#) 多菌灵对蚯蚓体内几种抗氧化酶活性的影响[期刊论文]-[河南农业科学](#) 2013(9)
13. [唐浩, 朱江, 黄沈发, 邱江平](#) 蚯蚓在土壤重金属污染及其修复中的应用研究进展[期刊论文]-[土壤](#) 2013(1)
14. [袁英兰](#) 北方村镇水污染现状及处理技术探讨[期刊论文]-[环境保护与循环经济](#) 2011(6)
15. [陆志波, 娄山杰, 杨健, 陈巧燕](#) 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(8)
16. [娄山杰, 杨健, 陈巧燕, 杨健](#) 蚯蚓在环境污染治理中的应用[期刊论文]-[水科学与工程](#) 2007(5)
17. [刘廷凤, 刘振宇, 孙成](#) Cu²⁺与草甘膦单一及复合污染对蚯蚓的急性毒性研究[期刊论文]-[环境污染与防治](#) 2009(6)
18. [汪倬](#) 蚯蚓作为新型动物性蛋白饲料的可行性研究[期刊论文]-[江西饲料](#) 2008(2)
19. [方彩霞, 罗兴章, 郭飞宏, 郑正, 李喆钦](#) 蚯蚓生态滤池对生活污水中氮的去除作用[期刊论文]-[环境科学](#) 2010(2)
20. [贾静, 傅大放, 马强, 石峻青, 蒋俊](#) 苏南农村地区分散式污水的处理与回用[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2007(6)
21. [陈斌, 张妙仙, 单胜道](#) 沼液的生态处理研究进展[期刊论文]-[浙江农业科学](#) 2010(4)
22. [方彩霞, 罗兴章, 郑正, 徐巡军](#) 改进型蚯蚓生态滤池处理生活污水研究[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2009(1)
23. [张德利, 吴永魁, 张西臣, 稍唑尼特](#) 对斑马鱼和赤子爱胜蚓的急性毒性试验[期刊论文]-[动物医学进展](#) 2011(7)
24. [周美荣, 孙振江, 申晓强](#) 蚯蚓粪的研究及应用[期刊论文]-[山西农业科学](#) 2012(8)
25. [汪倬, 周骏江, 周念波, 杨学领](#) 蚯蚓作为新型动物性蛋白饲料的可行性研究[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2008(13)
26. [孙文娟, 梅海真](#) 污水生态工程处理技术进展[期刊论文]-[净水技术](#) 2007(1)
27. [周世霞, 梅春升](#) 蚯蚓在现代化畜牧养殖业中的开发与应用前景[期刊论文]-[江西饲料](#) 2007(4)
28. [贾晓竞, 毕东苏, 周雪飞, 张亚雷](#) 农村生活污水生态处理技术研究与应用进展[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2011(31)
29. [叶宏萌](#) 农村生活污水处理技术模式与进展[期刊论文]-[武夷学院学报](#) 2013(2)
30. [左轶臻, 王文国, 卢俊平](#) 关于蚯蚓堆肥机理的研究进展[期刊论文]-[阴山学刊\(自然科学版\)](#) 2013(1)
31. [成杰民, 解敏丽, 朱宇恩](#) 赤子爱胜蚓对3种污染土壤中Zn及Pb的活化机理研究[期刊论文]-[环境科学研究](#) 2008(5)
32. [王丹丹, 李辉信, 胡锋, 王霞, 杨文霞](#) 蚯蚓处理城市生活垃圾的现状与趋势[期刊论文]-[江苏农业科学](#) 2005(4)
33. [冯凤玲, 成杰民, 王德霞](#) 蚯蚓在植物修复重金属污染土壤中的应用前景[期刊论文]-[土壤通报](#) 2006(4)

引用本文格式: [郝桂玉, 黄民生, 徐亚同](#) 蚯蚓及其在生态环境保护中的应用[期刊论文]-[环境科学研究](#) 2004(3)