

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0721

伏小勇,崔广宇,陈学民,等.2015.蚯蚓处理对污泥中微生物碳量及脱氢酶活性的影响[J].环境科学学报,35(1):252-256

Fu X Y, Cui G Y, Chen X M, et al. 2015. Effects of earthworms on the microbial biomass carbon and dehydrogenase activity in decomposition treatment of sewage sludge [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(1): 252-256

蚯蚓处理对污泥中微生物碳量及脱氢酶活性的影响

伏小勇^{1,*}, 崔广宇¹, 陈学民¹, 黄魁²

1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070

2. 岐阜大学流域圏科学研究センター, 岐阜 501-1193

收稿日期: 2014-03-11

修回日期: 2014-04-30

录用日期: 2014-05-01

摘要: 将含水率 80.6% 的脱水污泥制成 5 mm 的污泥颗粒, 以添加蚯蚓 (赤子爱胜蚓) 为处理组, 无蚯蚓为对照组, 测定不同时期污泥的理化性质、微生物碳量 (MBC) 和脱氢酶活性 (DHA) 的变化, 重点研究了蚯蚓对污泥降解过程中 MBC 和 DHA 变化的影响。结果表明, 相比对照组, 蚯蚓处理组 pH 变化幅度较小; 实验结束时, 蚯蚓处理组的电导率 (EC) 和溶解性有机碳 (DOC) 显著高于对照组, 而有机质 (OM) 显著低于对照组。实验前 30 d, 蚯蚓处理组 MBC 显著高于对照组, 40 d 至实验结束, 蚯蚓处理组 MBC 显著低于对照组。DHA 的结果表明, 蚯蚓处理组和对照组在前 30 d 并没有显著性差异, 40 d 后蚯蚓处理组的 DHA 显著低于对照组, DHA 稳定在 2.98~6.40 mg·g⁻¹·h⁻¹ (以 TPF 计)。相关分析表明, DHA、MBC 和 OM 之间显著正相关。研究表明, 接种蚯蚓在实验前期显著提升了系统的微生物量, 加快污泥有机质的降解, 从而导致后期产物的微生物量及其活性较低, 最终产物更稳定。

关键词: 污泥; 蚯蚓; 微生物碳量; 脱氢酶活性

文章编号: 0253-2468(2015)01-252-05

中图分类号: X703

文献标识码: A

Effects of earthworms on the microbial biomass carbon and dehydrogenase activity in decomposition treatment of sewage sludge

FU Xiaoyong^{1,*}, CUI Guangyu¹, CHEN Xuemin¹, HUANG Kui²

1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070

2. River Basin Research Center, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

Received 11 March 2014;

received in revised form 30 April 2014;

accepted 1 May 2014

Abstract: This study investigated the effects of earthworms on changes of microbial biomass carbon (MBC) and dehydrogenase activity (DHA) in the sewage sludge at the different stages during the 60-day decomposition experiments through analyzing physicochemical properties, especially changes of MBC and DHA in the comparison between two groups of sludge-with and without addition of earthworms. The dewatering sludge with 80.6% water content was regulated into 5 mm particles for the study while the species of earthworms *Eisenia foetida* were chosen for the experiments. The results indicated that the sludge with earthworms showed less variation of pH values, significantly higher electrical conductivity (EC) and dissolved organic carbon (DOC) at the end of experiments, but only organic matter (OM) was apparently lower than the compared sludge without earthworms. However, higher values of MBC were found in sludge with earthworms during the first 30 days, then much less than in sludge without earthworms from 40 days until finishing the experiments. The analytical results of DHA proved that there was no big difference between the two groups of sludge during the first 30 days. Nevertheless, DHA value in sludge with earthworms appeared to be stable with 2.98~6.40 mg (TPF)·g⁻¹·h⁻¹ after 40 day treatment, which was obviously lower than in sludge without earthworms. In addition, the correlation analysis evidenced that significantly positive relationships existed for DHA, MBC and OM in the decomposition treatment. This study verified that the presence of earthworms could stimulate the microbial numbers at the beginning of vermicomposting and accelerate the degradation of organic materials in sewage sludge treatment. As a result, the final products became more stable with relatively lower values of both MBC and DHA.

Keywords: sewage sludge; earthworm; microbial biomass carbon; dehydrogenase activity

基金项目: 国家自然科学基金 (No.51168029); 甘肃省科技支撑计划项目 (No.1104FKCA157)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.51168029) and the Program of Gansu Province Science and Technology (No.1104FKCA157)

作者简介: 伏小勇 (1959—), 男, 教授, E-mail: fuxiaoyong7362@mail.lzjtu.cn; * 通讯作者 (责任作者)

Biography: FU Xiaoyong (1959—), male, professor, E-mail: fuxiaoyong7362@mail.lzjtu.cn; * Corresponding author

1 引言(Introduction)

活性污泥中的有机成分主要是由栖息在活性污泥上的微生物群体及被微生物吸附的有机物组成,微生物则主要由细菌、真菌、原生动物和后生动物构成。活性污泥中的微生物以异养好氧细菌为主,增殖速率较高,具有较强的分解有机物并将其转化为无机物的功能(张自杰等,2000)。但污泥脱水后微生物生存环境发生了变化,外源营养物质中断,微生物处于内源呼吸状态(尹军等,2001),代谢产物扩散难度大,微生物种群及数量变化较大,导致污泥稳定性差,在供氧不足时,极易腐化发臭,对环境产生二次污染。如何保持脱水污泥好养状态,加快微生物代谢速率,是污泥处理处置关注的重点之一。

蚯蚓在自然界物质循环过程中的重要作用已广为人知,其能把不溶性有机物转化为微生物可利用的有机物,增加微生物活性和基质利用程度(Hickman *et al.*, 2008; Sen *et al.*, 2009)。研究表明,蚯蚓与微生物的协同作用可加速有机物的分解(Domínguez *et al.*, 2013; Suthar, 2009; Gupta *et al.*, 2008; Sangwan *et al.*, 2008; Aira *et al.*, 2002)。根据蚯蚓的生活习性和生态位,结合污水处理工艺和污泥特点,将蚯蚓引入污水处理工程领域,目前已成为相关研究的热点之一(Zhao *et al.*, 2010; 吴敏等, 2007; 罗涛等, 2013)。研究发现,蚯蚓参与污泥处理过程,会显著影响污泥理化性质,对稳定处理系统、加快污泥降解具有促进作用(陈学民等, 2010a; 2010b; 2010c)。虽然微生物是污泥降解的关键者,但蚯蚓将直接或间接地改变微生物的活动,最终影响系统的处理效果,因此,探索接种蚯蚓后污泥微生物相的变化具有重要意义。基于以上考虑,本文主要研究蚯蚓对污泥微生物量及其活性的影响,旨在为探索该过程中微生物作用的机理和提高蚯蚓处理污泥的效率提供理论依据。

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 实验材料

实验所用赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)为实验室培养。污泥为取自兰州市七里河污水处理厂的脱水污泥,将此污泥制成 5 mm 粒径的颗粒污泥,作为实验用污泥。污泥含水率为 $80.62\% \pm 0.01\%$, pH = 6.77 ± 0.01 , 电导率(EC)为 $(573.00 \pm 8.49) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 有机质(OM)为 $71.2\% \pm 7.7\%$, 溶解性有机碳(DOC)为

$(16.69 \pm 0.16) \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 总氮(TN)为 $(51.7 \pm 1.6) \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, C/N 为 6.20 ± 0.03 , 微生物碳量(MBC)为 $(105.60 \pm 1.66) \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 脱氢酶活性(DHA)为 $(314.60 \pm 18.40) \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (以 TPF 计)。

实验用 6 个反应器,尺寸为 $\phi 36 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$, 每个反应器中加 4 kg 颗粒污泥。3 个对照组不添加蚯蚓,3 个蚯蚓处理组中各放 100 条蚯蚓,每条重约 1.0 g。反应器上覆盖塑料膜保湿,深色覆盖物遮光,每个反应器每天人工翻动 1 次。实验环境温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。实验共进行 60 d,每 10 d 取样进行测定。一部分鲜样直接用来测定 OM、MBC 和 DHA,另取一部分阴干,研磨,过 100 目筛,测其它理化指标。

2.2 测定方法

pH、EC 按照水土比 50:1 (mL/g) 溶解,磁力搅拌 0.5 h,离心取上清液用 pH 酸度计、电导率仪测定;OM 采用灼烧法(550°C , 5 h)测定;DOC 采用硫酸-重铬酸钾容量法(鲁如坤,2000)测定;MBC 测定时参考熏蒸提取-容量分析法(吴金水等,2006),并加以改进,在熏蒸处理前将污泥制成均一的细小颗粒;DHA 参考 TTC 还原法(尹军等,2004)进行测定。

2.3 数据处理

数据分析采用 SPSS 17.0 统计软件,通过 *T* 检验分析不同处理间的差异性,并进行指标间的相关性分析,显著性定义为 $p < 0.05$ 。

3 结果与讨论(Results and discussion)

3.1 理化性质的变化

在整个实验过程中,蚯蚓处理组与对照组的 pH、EC、OM、DOC 随时间的变化如图 1 所示。实验前 20 d,蚯蚓处理组与对照组的 pH、EC、OM 均无显著差异($p > 0.05$),20 d 后呈显著差异($p < 0.05$)。由图 1a 可看出,pH 稳定在 7 左右,蚯蚓处理组比对照组 pH 变化范围小,表明蚯蚓处理组污泥平抑有机酸与氨化作用的能力较强(李国学等,2000; Lazcano *et al.*, 2008; Fernández-Gómez *et al.*, 2010b)。基质代谢产物的积累会影响反应体系的 pH,pH 的变化又会对微生物生长繁殖和酶活性产生显著影响。反应体系 pH 变化幅度越小,表明代谢产物的不良积累越少,越有利于微生物分解代谢能力及其酶活性的高效发挥。脱水污泥好氧消化过程通常只发生在污泥表面水膜层的微环境中,因此,将实验污泥造粒(约 5 mm)来增加污泥表面水膜层的面积,通过每日翻混保证反应体系中氧的供给,使降解过程更近

似于活性污泥法的延续,因此,代谢产物积累速率缓慢,这可能是20 d后pH才发生变化的原因.图1b中蚯蚓处理组较对照组的EC高,说明蚯蚓的参与能提高污泥矿化速率(Suthar *et al.*, 2008).图1c表明,蚯蚓可加快OM的降解,蚯蚓与微生物协同作用效果优于微生物单独作用.由图1d可看出,前20 d蚯蚓处理组DOC小于对照组且呈显著差异($p < 0.05$),40~60 d蚯蚓处理组DOC大于对照组且呈

显著差异($p < 0.05$).由于DOC表征微生物易利用的有机碳,其含量与微生物量及活性有密切关系(卫东等, 2011).前期蚯蚓处理组DOC低可能是因为蚯蚓的刺激作用促进了微生物量的增长(Aira *et al.*, 2007; Brown *et al.*, 2000),从而加快了对DOC的利用.而后期蚯蚓处理组DOC较高可能源自蚯蚓摄食对微生物量的限制,减小了对DOC的利用.

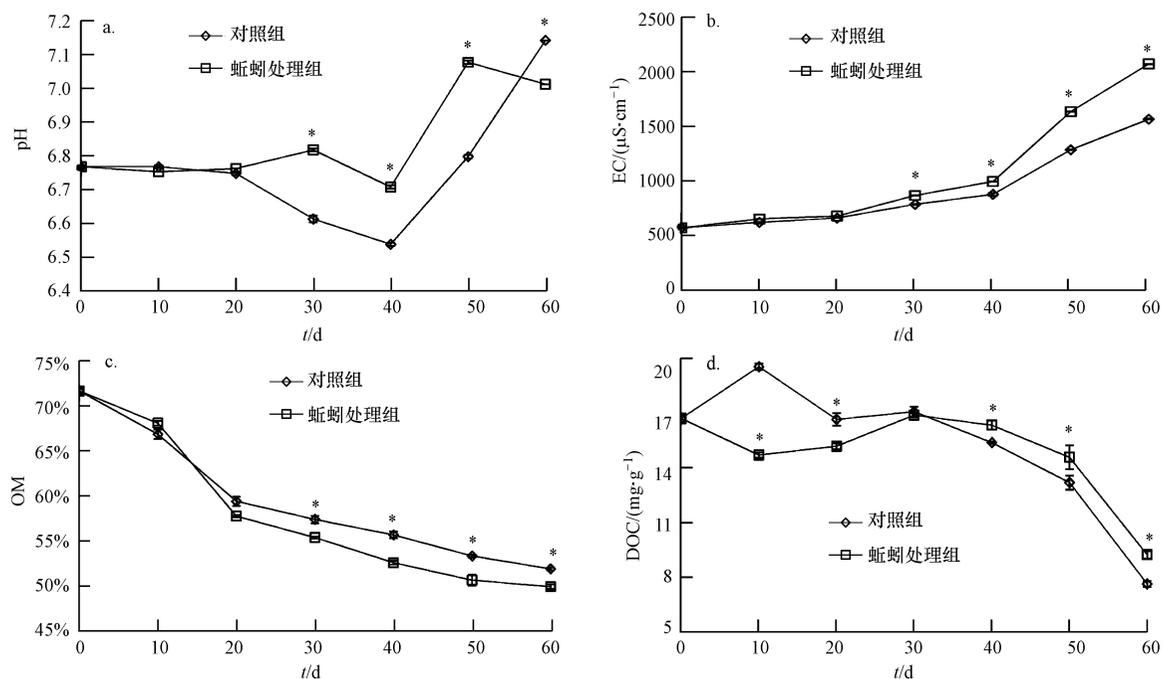


图1 pH、EC、OM、DOC 随时间的变化 (*表示在给定时间蚯蚓处理组和对照组之间有显著差异($p < 0.05$),下同)

Fig.1 Changes of pH, EC, OM and DOC during vermicomposting process

3.2 蚯蚓对 MBC 和 DHA 的影响

MBC 是反映微生物量大小的指标(张宝贵等, 2000).图2a中蚯蚓处理组和对照组MBC均呈大致相同的减小趋势,前10 d变化剧烈,10 d后相对平缓.MBC持续降低表明微生物数量在不断减少,这是因为一方面,活性污泥经沉淀脱水后,微生物处于内源呼吸期;另一方面,在脱水污泥颗粒表面附着的水膜中,有机物的降解依然在继续,但营养物质持续减少,两种因素均限制了微生物数量的增长,造成MBC不断降低.

图2a显示,前30 d蚯蚓处理组MBC显著高于对照组($p < 0.05$),之后又显著低于对照组($p < 0.05$),稳定在 $4.45 \sim 6.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间.这可能是由于前期蚯蚓黏液及排泄物对微生物的刺激作用促进了微生物的增长(Aira *et al.*, 2007);而后期随着营养物质的不断减少,蚯蚓取食微生物的作用导致

蚯蚓处理组MBC显著低于对照组(Lazcano *et al.*, 2008).

脱氢酶是一种胞内酶,参与有机物的氧化磷酸化,其活性大小能表征活性微生物对基质降解能力的强弱,可反映所有微生物的活性(Wolińska *et al.*, 2012; Barrera *et al.*, 2008; 周春生等, 1991; 严媛媛等, 2007).由图2b可看出,蚯蚓处理组与对照组DHA呈相同的减小趋势,前20 d下降明显,20 d后趋于平缓,40 d后基本稳定在较低水平,这表明污泥降解速率先快后慢(Fernández-Gómez *et al.*, 2010b);而DHA稳定在较低水平说明污泥中大部分有机物已被降解.前30 d蚯蚓处理组比对照组DHA高,但无显著性差异($p > 0.05$),40 d后蚯蚓处理组DHA显著低于对照组($p < 0.05$),稳定在 $2.98 \sim 6.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (以TPF计)之间.前期蚯蚓刺激作用提高了微生物量,加速了OM的降解,导致后期

OM 含量较低,又由于 DHA 和 OM 存在显著正相关性($p < 0.01$) (表 1),使得后期 DHA 处于较低水平,最终产物更加稳定(Fernández-Gómez *et al.*, 2010a).

此外,也有研究认为 DHA 较低是由于蚯蚓对微生物的摄食作用造成的(Suthar *et al.*, 2008).

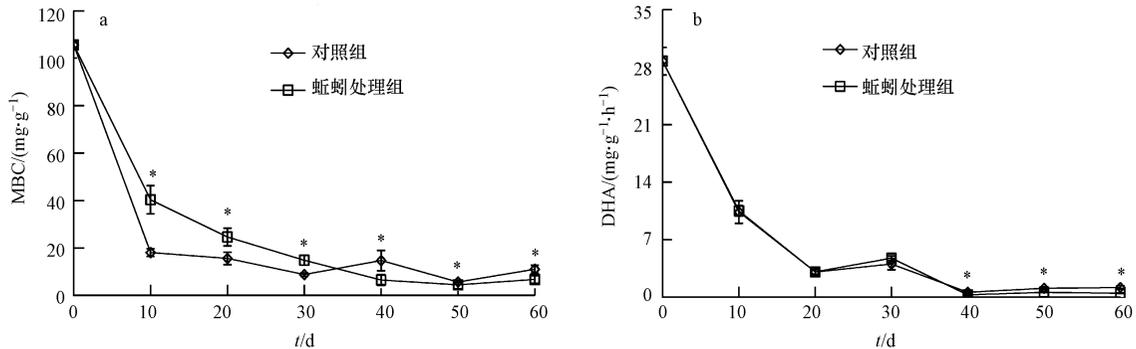


图 2 MBC 和 DHA 随时间的变化

Fig.2 Changes of MBC and DHA during vermicomposting process

3.3 MBC、DHA、pH、EC、OM、DOC 的相关关系

从表 1 可以看出,蚯蚓处理组和对照组中 MBC、DHA 与 OM 呈显著正相关,但与 pH 与 EC 之间无显著相关性,表明污泥 OM 是 MBC 和 DHA 的主要限制因素.由蚯蚓处理组和对照组 MBC、DHA 及 OM 的变化曲线(图 1c、图 2)推测,微生物对污泥 OM 的降解起主要作用,蚯蚓则加快了降解的进程,

这与 Sen 等(2009)利用蚯蚓处理制糖工业废弃物的研究结果一致.DOC 与 MBC、DHA 之间无相关关系,可能与基质性质不同有关(Fernández-Gómez *et al.*, 2010b).蚯蚓处理组与对照组中 MBC 和 DHA 均呈显著正相关,表明污泥微生物量与其活性存在密切关系(Sen *et al.*, 2009; Lazcano *et al.*, 2008).

表 1 对照组和蚯蚓处理组 MBC、DHA、pH、EC、OM、DOC 相关矩阵

Table 1 Correlation matrices of MBC, DHA, pH, EC, OM, and DOC during vermicomposting process

	对照组						蚯蚓处理组					
	MBC	DHA	pH	EC	OM	DOC	MBC	DHA	pH	EC	OM	DOC
MBC		0.960**	0.196	0.463	0.794*	0.223		0.998**	0.368	0.544	0.891**	0.352
DHA	0.960**		0.030	0.561	0.906**	0.389	0.998**		0.372	0.569	0.896**	0.383
pH	0.196	0.030		0.671	0.281	0.742	0.368	0.372		0.868*	0.517	0.629
EC	0.463	0.561	0.671		-0.802*	-0.934**	0.544	0.569	0.868*		-0.757*	-0.812*
OM	0.794*	0.906**	0.218	-0.802*		0.692	0.891**	0.896**	0.517	-0.757*		0.425
DOC	0.233	0.389	0.742	-0.934**	0.692		0.352	0.383	0.629	-0.812*	0.425	

注: $n=3$, * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关.

4 结论(Conclusions)

脱水污泥的降解速率呈先快后慢的变化趋势,接种蚯蚓可减小体系 pH 的变化幅度,加速有机物的矿化.相比对照组,蚯蚓处理污泥后, MBC 和 DHA 显著降低.蚯蚓显著提高了处理系统前期 MBC,加速 OM 的降解,从而导致后期 MBC 与 DHA 较低,处理产物更加稳定.

责任作者简介:伏小勇(1959—),男,教授,硕导,研究方向为污(废)水处理与资源化、污泥资源化技术与工程应用.

E-mail: fuxiaoyong7362@mail.lzjtu.cn.

参考文献(References):

- Aira M, Monroy F, Domínguez J, *et al.* 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure [J]. *European Journal of Soil Biology*, 38(1): 7-10
- Aira M, Monroy F, Domínguez J. 2007. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry [J]. *Science of the Total Environment*, 385(1/3): 252-261
- Barrena R, Vázquez F, Sánchez A. 2008. Dehydrogenase activity as a method for monitoring the composting process [J]. *Bioresource Technology*, 99(4): 905-908

- Brown G G, Barois I, Lavelle P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains [J]. *European Journal of Soil Biology*, 36(3/4): 177-198
- 陈学民, 黄魁, 伏小勇. 2010a. 微小双胸蚓处理城市污泥的试验研究 [J]. *安全与环境学报*, 10(2): 61-64
- 陈学民, 黄魁, 伏小勇, 等. 2010b. 2种表居型蚯蚓处理污泥的比较研究 [J]. *环境科学*, 31(5): 1274-1279
- 陈学民, 王惠, 伏小勇, 等. 2010c. 赤子爱胜蚓处理污泥对其性质变化的影响 [J]. *环境工程学报*, 4(6): 1421-1425
- Domínguez J, Gómez-Brandón M. 2013. The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting [J]. *Waste Management & Research*, 31(8): 859-868
- Fernández-Gómez M J, Nogales R, Insam H, et al. 2010a. Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops [J]. *Waste Management*, 30(12): 2461-2468
- Fernández-Gómez M J, Romero E, Nogales R. 2010b. Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling [J]. *Bioresource Technology*, 101(24): 9654-9660
- Gupta R, Garg V K. 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3): 1023-1030
- Hickman Z A, Reid B J. 2008. Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants [J]. *Environment International*, 34(7): 1072-1081
- Lazcano C, Gómez-Brandón M, Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure [J]. *Chemosphere*, 72(7): 1013-1019
- 李国学, 张福锁. 2000. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产 [M]. 北京: 化学工业出版社. 32
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社. 107-108
- 罗涛, 管政, 施小平, 等. 2013. 水蚯蚓-微生物共生系统泥水同步降解耦合建模及大规模现场校验研究 [J]. *环境科学学报*, 33(8): 2234-2242
- Sangwan P, Kaushik C P, Garg V K. 2008. Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients [J]. *Bioresource Technology*, 99(18): 8699-8704
- Sen B, Chandra T S. 2009. Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structure of microbial community in a lab-scale composting system? [J]. *Bioresource Technology*, 100(2): 804-811
- Suthar S, Singh S. 2008. Comparison of some novel polyculture and traditional monoculture vermicomposting reactors to decompose organic wastes [J]. *Ecological Engineering*, 33(3/4): 210-219
- Suthar S. 2009. Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1): 199-206
- 卫东, 戴万宏, 汤佳. 2011. 不同利用方式下土壤溶解性有机碳含量研究 [J]. *中国农学通报*, 27(18): 121-124
- Wolińska A, Stepniewska Z. 2012. Dehydrogenase Activity in the Soil Environment//Biochemistry, Genetics and Molecular Biology [M]. Rijeka: InTech. 183-210
- 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 2006. 土壤微生物生物量测定方法及其应用 [M]. 北京: 气象出版社. 54-64
- 吴敏, 马小杰, 杨健, 等. 2007. 蚯蚓生物反应器污泥减量与稳定效果试验研究 [J]. *环境污染与防治*, 29(6): 401-405
- 严媛媛, 孙力平, 冯雷雨. 2007. SBR法处理还原段DSD酸废水脱氢酶活性的研究 [J]. *环境科学与技术*, 30(3): 87-89
- 尹军, 刘韬, 宋显东. 2001. 污泥好氧消化处理的若干问题探讨 [J]. *中国给水排水*, 17(8): 23-25
- 尹军, 谭学军, 张立国, 等. 2004. 测定脱氢酶活性的萃取剂选择 [J]. *中国给水排水*, 20(7): 96-98
- 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 2000. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响 [J]. *生态学报*, 20(1): 168-172
- 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 2000. 排水工程(下册)(第4版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 95-96
- Zhao L M, Wang Y Y, Yang J, et al. 2010. Earthworm-microorganism interactions: a strategy to stabilize domestic wastewater sludge [J]. *Water Research*, 44(8): 2572-2582
- 周春生, 韩相奎. 1991. 剩余活性污泥好气消化中TTC-DHA与其它活性参数的相关性 [J]. *环境科学*, 12(1): 2-7