

蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收及影响因素研究

吴国英, 贾秀英, 郭 丹, 来凯凯, 姜洪芳

(杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036)

摘 要: 由于饲料添加剂的使用, 猪粪重金属污染已非常普遍, 尤其是铜(Cu)、锌(Zn)污染最为明显。为了探讨利用蚯蚓萃取猪粪重金属 Cu、Zn 从而减少猪粪中重金属 Cu、Zn 含量的技术途径, 采用室内接种法研究了赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收及影响因素。结果表明, 蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 具有一定的吸收能力, 富集系数分别为 0.43、0.73; 物料 C/N 比、温度、湿度和蚯蚓接种密度均能影响蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收, 在物料 C/N 比为 17:1~22:1、温度为 14~21℃、湿度为 70%~75%、接种密度为 10~20 尾·200 g⁻¹ 物料(2.4~5.0 g·200 g⁻¹ 物料)条件下, 蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收量较高。

关键词: 蚯蚓, 猪粪, 铜, 锌

中图分类号: X174 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)06-1293-05

Study on Cu and Zn Uptake in Pig Manure by Earthworm(*Eisenia foetida*) and Its Influencing Factors

WU Guo-ying, JIA Xiu-ying, GUO Dan, LAI Kai-kai, JIANG Hong-fang

(College of Life and Environment Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China)

Abstract: Use of additives containing heavy metal in animal feeds and heavy metals(e.g. Cu and Zn) in pig manure is ubiquitous causing a serious pollution hazard. It is assumed that earthworm acts like a bioreactor that likely removes heavy metal from pig manure. However, limited information is available on the heavy metal extracting ability of earthworms. The objective of this study was to assess the effect of earthworm presence on Cu and Zn uptake from pig manure and its influencing factors such as C/N ratio, temperature, humidity and inoculated density. After collection, manure was blended with straw to cultivate earthworm(*Eisenia foetida*) under different conditions. The results showed that earthworm could accumulate Cu and Zn from pig manure, and the bioaccumulation coefficient of Cu and Zn was 0.43 and 0.73, respectively. The C/N ratio, temperature, humidity and inoculated density were supposed to greatly influence on accumulation of Cu and Zn in pig manure by earthworms. The optimal conditions were the C/N ratio of 17:1~22:1, temperature 14~21 °C, humidity 70%~75% and inoculation density of 10~20 earthworms per 200 g manure(as dry weight)(i.e. 4.59 g earthworm per 200 g manure). It is concluded that the earthworm bioaccumulation could be used as alternative method to remove heavy metal from pig manure.

Keywords: earthworm; pig manure; Cu; Zn

近年来, 国内外畜禽养殖中使用微量元素饲料添加剂, 如 Cu、Zn 等提高畜禽生产的经济效益已非常普遍^[1-2]。但由于这些元素在畜禽体内的消化吸收利用率低, 大部分又随畜禽粪便排出体外, 致使粪便中重金属含量相当高^[3-4]。Cang 等^[5]调查研究发现, 猪粪中 Cu 最高浓度可达 1 726.3 mg·kg⁻¹, Zn 为 1 505.6 mg·kg⁻¹。国外也有不少报道表明, 畜粪便中重金属元素含

量过高^[6-7]。如果这样的畜粪便不经处理直接排入环境中, 日积月累, 会造成土壤的重金属大量积累, 不但影响植物的生长, 更为严重的是通过植物吸收而污染人、畜的食物, 进一步危害人、畜的健康。因此, 猪粪中的 Cu、Zn 污染亟待治理。但目前还缺乏这方面的研究。

蚯蚓是一种杂食性的低等腐生动物, 具有很强的分解有机废弃物的能力。有资料表明, 蚯蚓能直接生长于畜粪中, 消耗大量的有机废弃物^[8]。众多的研究报道, 蚯蚓对重金属元素具有很强的富集作用^[9-11]。因此, 能否利用蚯蚓作为生物反应器, 将畜粪中过量的重金属元素进行生物萃取, 从而达到减少畜粪中重金属含量的目的, 应该是很值得探讨的一个课题,

收稿日期: 2008-08-07

基金项目: 浙江省科技厅计划项目(2007C23041)

作者简介: 吴国英(1982—), 女, 硕士研究生, 主要从事固体废弃物污染治理及资源化研究。

通讯联系人: 贾秀英 E-mail: xy_jia@163.com

对此目前还未见有系统报道。本研究以畜粪中数量最大、分布最广的猪粪为供试对象,初步探讨了蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收及影响因素,为进一步开展蚯蚓对猪粪重金属的萃取效应及其技术提供重要信息。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蚯蚓 选用的蚯蚓品种为赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)。试验前先对蚯蚓进行清肠和预培养,选择体重相近、环带明显、个体基本相近的蚯蚓用于试验。

蚯蚓饵料:饲养蚯蚓所用的饵料为腐熟后的猪粪和水稻秸秆。猪粪采自杭州某规模化养猪场,经堆肥发酵腐熟后使用。水稻秸秆采自某农家,用剪刀剪成一定长度后备用。试验采用猪粪和水稻秸秆一起培养的方法。腐熟后的猪粪与水稻秸秆的理化性状如表 1 所示。

表 1 主要原料的基本理化性质

Table 1 Properties of pig manure and auxiliary materials

物料	总 C/ mg·kg ⁻¹	总 N/ mg·kg ⁻¹	C/N 比值	Cu/ mg·kg ⁻¹	Zn/ mg·kg ⁻¹	pH
猪粪	0.369	0.028	13.07	270	810	6.05
稻草	0.409	0.004	99.78	9.85	66.34	6.40

1.2 方法

1.2.1 蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收试验

以 60 cm×50 cm×40 cm 的竹筐作为试验容器,内铺一层纱网防止蚯蚓逃逸。将腐熟猪粪与水稻秸秆按 7:3(重量比)混合后放入竹筐内(调节 C/N 比为 19:1),每筐 20 kg,调节水分含量保持在 75%,每筐放入蚯蚓 1 500 条,设置 3 个重复。试验在温度为 15 ℃的人工气候室内进行,每 3 d 补 1 次水,保持基质湿度不变。于处理后的第 1、7、15、30、45 d 从每筐中取出 10 条蚯蚓作为样品。

1.2.2 蚯蚓吸收 Cu、Zn 的影响因素试验

试验 1 C/N 比影响试验

调节辅料与猪粪的不同比例,设计 5 个不同水平的 C/N 比为 13:1、17:1、19:1、22:1、26:1,每处理 3 个重复,每盘接种蚯蚓 10 尾,湿度保持在 75%,温度为 15 ℃。

试验 2 温度影响试验

在试验 1 确定的适度 C/N 比条件下,设计 5 个温度处理:7、14、21、28、35 ℃,每个处理 3 个重复,每盘接种蚯蚓 10 尾,湿度保持在 75%。

试验 3 湿度影响试验

在试验 1 确定的适度 C/N 比和试验 2 确定的适度温度条件下,设计 5 个湿度处理:60%、65%、70%、75%、80%,每个处理 3 个重复,每盘接种蚯蚓 10 尾。

试验 4 接种密度影响试验

在上述试验确定的各适度条件下,分别接种 5 种密度的蚯蚓:5、10、20、30、40 尾·盆⁻¹,每个处理 3 个重复。

以上试验均采用上口直径为 20 cm,下底直径为 10 cm,高为 15 cm,底部有透水孔的塑料钵,底部放有细纱网防止蚯蚓逃逸。每钵物料风干重为 200 g,按试验设计要求放入不同密度的蚯蚓。花盆用塑料薄膜封口,并用解剖针在塑料薄膜上扎孔。试验期为 30 d,试验期间每隔 3 d 浇 1 次水,保持各处理组物料湿度基本不变。

1.3 取样方法及测试指标

1.3.1 样品处理

试验结束后,采集蚯蚓体,用去离子水洗净、吸干,对蚯蚓进行计数、称重后,置于培养皿中吐土 2 d,冷冻致死,将蚯蚓在 105 ℃烘箱里烘干后,用玛瑙研钵研磨,放入锥形瓶,分别加入 HNO₃ 和 HClO₄,瓶口盖上小玻璃漏斗,放置过夜,然后在电热板上加热至近干,定容后过滤,待测。

1.3.2 测定方法

蚯蚓体内重金属 Cu、Zn 含量的测定采用原子吸收分光光度法(AAS)。

1.4 数据处理

用 DPS 软件进行方差分析,差异显著性检验采用 Tukey 方法^[18]。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收

蚯蚓对猪粪中 Cu、Zn 的吸收随时间的变化如图 1 所示。随着培养时间的延长,蚯蚓体内 Cu、Zn 的浓度逐渐增加,其中 Zn 的增加较为显著。培养 21 d 后 Cu、Zn 在蚯蚓体内的浓度达到最高,此时蚯蚓体内 Cu 的浓度为 67.82 mg·kg⁻¹,富集系数(蚯蚓体内重金属的浓度与基质中重金属的浓度之比)为 0.34,Zn 的浓度为 432.56 mg·kg⁻¹,富集系数为 0.76。而后随着培养时间的继续延长,蚯蚓体内 Cu、Zn 浓度反而降低,这说明当蚯蚓体内 Cu、Zn 的浓度达到一定程度后,蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收能力减弱,而排泄能力增强。可见,对不同的重金属,蚯蚓的富集能力不同,且

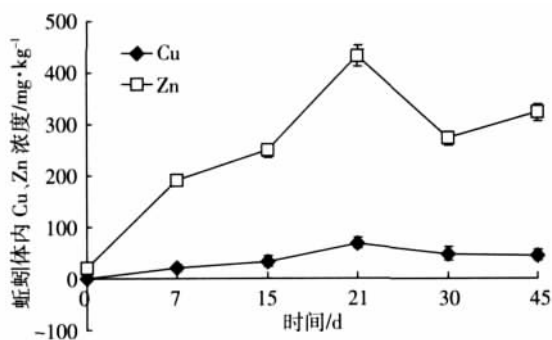


图1 蚯蚓对猪粪中 Cu、Zn 的吸收
Figure 1 Cu, Zn accumulation in earthworm

与培养时间有一定的关系。

2.2 蚯蚓积累猪粪 Cu、Zn 的影响因素

2.2.1 温度对蚯蚓积累 Cu、Zn 的影响

不同温度条件下蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收情况见图2。从图2可以看出,蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收总量在不同的温度条件下呈现不同的情况,其中在14、21℃条件下,蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的平均吸收总量均最高。说明蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 高吸收量的适宜温度范围在14~21℃左右。

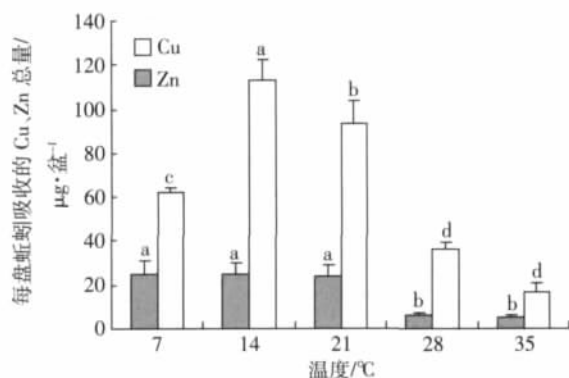


图2 不同温度条件下蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收总量
Figure 2 Cu, Zn accumulation in earthworms under different temperature

孙振军等^[12]曾研究报道,蚯蚓在略低的温度下个体增重较快,陈玉成等^[13]研究也发现,环境温度在20℃左右时,特别适合蚯蚓生长繁殖,温度过高或过低都对蚯蚓产生负面影响。由此可见,温度是影响蚯蚓生长的重要因素,蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 高吸收量的温度范围在14~21℃左右,可能与蚯蚓在此温度下生长较快有着密切的关系。

2.2.2 湿度对蚯蚓吸收 Cu、Zn 的影响

不同湿度条件下蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收情况见图3。从图3可以看出,蚯蚓对猪粪 Cu 的平均吸收

总量在湿度为65%~75%条件下较高,与其他处理均有显著差异($P<0.05$),其中湿度70%条件下吸收总量最高;蚯蚓对猪粪 Zn 的平均吸收总量在湿度为70%、75%条件下较高,其中湿度75%条件下吸收总量最高。综合蚯蚓对猪粪中 Cu、Zn 的吸收,70%~75%是适宜的湿度范围。蚯蚓属于湿生动物,它的机体保持水分的功能很不发达,而蚯蚓的呼吸是通过扩散作用吸收溶解在体表含水层的氧气,因此保持体表合适的水分对蚯蚓的生长尤为重要^[14]。仓龙等^[15]研究报道,湿度过大或过小均会抑制蚯蚓的生长。正因为湿度能影响蚯蚓的生长繁殖,引起蚯蚓生物量的变化,从而在一定程度上影响了蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收。

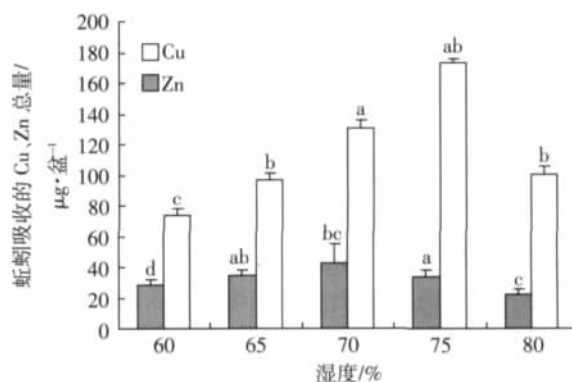


图3 不同湿度条件下蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收总量
Figure 3 Cu, Zn accumulation in earthworms under different moisture condition

2.2.3 C/N 比对蚯蚓吸收 Cu、Zn 的影响

从图4可以看出,蚯蚓对猪粪 Cu 的平均吸收总量以 C/N 比为17:1和22:1时为最高, C/N 比为19:1时次之,蚯蚓对猪粪 Zn 的平均吸收总量以 C/N 比为19:1和22:1时为最高, C/N 比为17:1和26:1时次之, C/N 比为13:1时 Zn 的积累总量较低。综合蚯蚓对猪

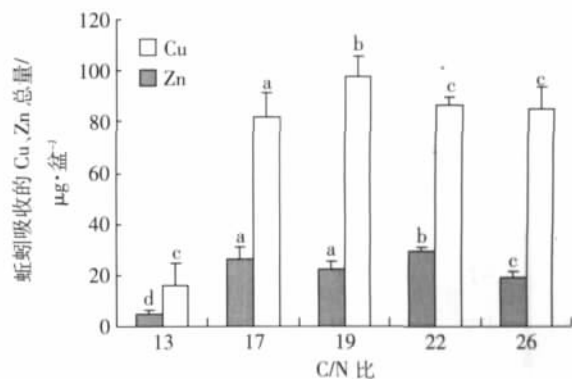


图4 不同 C/N 比条件下蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收总量
Figure 4 Cu, Zn accumulation in earthworms under different C/N ratio condition

粪重金属 Cu、Zn 的吸收总量,认为 C/N 比为 17:1~22:1 时比较有利于蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收。这可能主要是由于不同的 C/N 比可以影响蚯蚓的生长,C/N 比过高,氮素营养少,会导致蚯蚓发育不良,生长缓慢;C/N 比过低,氮素含量过高,容易引起蚯蚓蛋白质中毒症。仓龙等^[5]认为,赤子爱胜蚓在猪粪 C/N 比 17 中生长最快。刘艳玲等^[16]的研究认为,物料的 C/N 比在 20 左右比较适合,这与本试验得出的 C/N 比范围基本相近。

2.2.4 接种密度对蚯蚓吸收 Cu、Zn 的影响

从图 5 可以看出,接种密度也影响蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收,其中接种 10、20 尾蚯蚓处理中 Cu 的吸收总量最高,显著高于其他各处理组($P<0.05$);而蚯蚓对猪粪 Zn 的吸收总量也以接种 10、20 尾处理组为最高,显著高于其他各处理组($P<0.05$)。由此可见,接种密度太大或太小均不利于蚯蚓对猪粪中 Cu、Zn 的吸收,在 200 g 物料中接种 10~20 尾蚯蚓比较有利于蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收。有研究表明^[15],即使在温度、湿度等物理条件都理想的情况下,由于过分的拥挤仍然会影响蚯蚓的生长和繁殖,而蚯蚓生长和繁殖的好坏直接影响对有机物料的处理效果^[17]。由此推测,不同接种密度下蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 吸收量的不同,可能主要与不同接种密度下蚯蚓的生长和繁殖有关。

3 结论

(1) 赤子爱胜蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 具有一定的吸收能力,其中,对 Zn 的吸收能力较强,富集系数为 0.73,对 Cu 的吸收能力较弱,富集系数为 0.43。

(2) C/N 比、温度、湿度和蚯蚓接种密度均能影响

蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收。试验结果表明,在物料 C/N 比为 17:1~22:1、温度为 14~21 ℃、湿度为 70%~75%、接种密度为 10~20 尾·200 g⁻¹ 饵料(2.4~5.0 g·200 g⁻¹ 饵料)条件下,蚯蚓对猪粪 Cu、Zn 的吸收量较高。

参考文献:

- [1] 王余丁,赵国先,卢艳敏,等.微量元素锌与畜禽营养研究进展[J].河北农业大学学报,2002,25(1):110-114
WANG Yu-ding, ZHAO Guo-xian, LU Yan-min, et al. Advance in the study of trace element zinc and animal nutrition[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002, 25(1):110-114.
- [2] 田允波,曾书琴.高铜改善猪生产性能和促生长机理的研究进展[J].粮食与饲料工业,2000,10:31-33.
TIAN Yun-bo, ZENG Shu-qin. Research advance of improving production performance of pigs by high copper and its growth promoting mechanism[J]. *Cereal & Feed industry*, 2000, 10:31-33.
- [3] Menzi H, Kessler J. Heavy metal content of manures in Switzerland // Proceedings of the Eighth International Conference of the FAO Network on Recycling of Agriculture, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 1998:26-29.
- [4] 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖畜禽粪中主要化学物质调查[J].应用生态学报,2006,17(10):1989-1992.
YAO Li-xian, LI Guo-liang, DANG Zhi. Major chemical components of poultry and livestock manures under intensive breeding[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1989-1992.
- [5] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province[J]. *Journal of Environmental Science*, 2004, 16(3):371-374.
- [6] L'Herroux L, Le Roux S, Appriou P, et al. Behavior of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment process in Brittany (France)[J]. *Environ Poll*, 1997, 97(1-2):119-130.
- [7] Payne G G, Mrtens D C, Kornegay E T, et al. Availability and form of copper in three soils following eight annual applications of copper-enriched swine manure[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1988, 17:740-746.
- [8] Gunadi B, Blount C, Edwards C A. The growth and fecundity of *Eisenia foetida* in cattle solids pre-composted for different periods[J]. *Pedo-Biologia*, 2002, 46(1):15-23.
- [9] 戈峰,刘向辉,潘卫东,等.蚯蚓在德兴铜矿废弃地生态恢复中的作用[J].生态学报,2001,21(11):1790-1795.
GE Feng, LIU Xiang-hui, PAN Wei-dong, et al. The role of earthworm in the ecological restoration of mining wasteland of Dexing copper mine in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11):1790-1795.
- [10] 高岩,骆永明.蚯蚓对土壤污染的指示作用及其强化修复的潜力[J].土壤学报,2005,42(1):140-148.
GAO Yan, LUO Yong-ming. Earthworm as bioindicators of soil pollution and their potential for remediation of contaminated soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1):140-148.
- [11] 陈巧燕,杨健,王志强,等.蚯蚓堆肥处理有机废弃物的国外研究

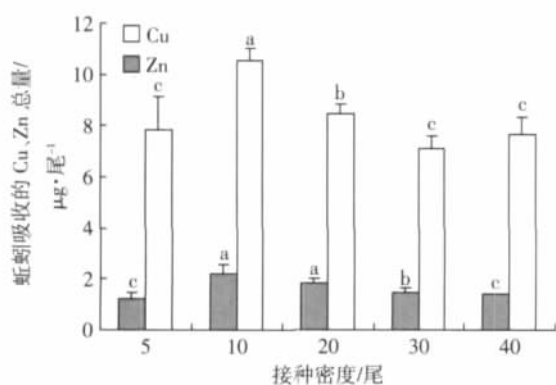


图 5 不同接种密度条件下蚯蚓对 Cu、Zn 的吸收总量
Figure 5 Cu, Zn accumulation in earthworms under inoculation density

- 进展[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(12) 8-10.
- CHEN Qiao-yan, YANG Jian, WANG Zhi-qiang, et al. Worldwide progress on vermicomposting of organic waste [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2006, 24(12) 8-10.
- [12] 孙振军, 刘玉庆, 李文立. 温度、湿度和酸碱度对蚯蚓生长与繁殖的影响[J]. 莱阳农学院学报, 1993, 10(4) 297-300.
- SUN Zhen-jun, LIU Yu-qing, LI Wen-li. Effects of temperature, moisture and acidity on the growth and reproduction in *Eisemia foelida*[J]. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 1993, 10(4) 297-300.
- [13] 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.
- CHEN Yu-cheng, PI Guang-jie, HUANG Lun-xian, et al. Factor optimization for municipal domestic wastes treatment by earthworms and its concentration of heavy metals[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11) 2006-2010.
- [14] Edwards C A, Lofty J R. Biology of earthworm[M]. London :Chapman and Hall, 1977.
- [15] 仓 龙, 李辉信, 胡 锋, 等. 赤子爱胜蚓处理畜禽粪的最适湿度和接种密度研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(3) 38-42.
- CANG Long, LI Hui-xin, HU Feng, et al. Optimal moisture condition and inoculation density of *Eisenia foetida* for vermicomposting of domestic animal manure[J]. *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(3) 38-42.
- [16] 刘艳玲, 马忠海, 黄丽华. 室内蚯蚓养殖技术条件初探[J]. 微生物学杂志, 2000, 20(3) 63-64.
- LIU Yan-ling, MA Zhong-hai, HUANG Li-hua. The preliminary study on optimal conditions for earthworm cultivation in laboratory[J]. *Journal of Microbiology*, 2000, 20(3) 63-64.
- [17] Dominguze J, Edwards C A. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia foetida* in pig manure[J]. *Soil Biol Biochem*, 1997, 9(3) 743-746.
- [18] 唐启义, 冯明光, 著. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.