

土壤中 Cu 和 Pb 单一及复合污染对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响

郇托娅^{1,2}, 林玉锁², 贺 静^{1,2}

(1.南京农业大学资源与环境学院, 江苏 南京 210095; 2.国家环境保护总局南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘 要:采用蚯蚓毒性试验方法,以赤子爱胜蚓(*Eisenia Foetida*)为试验蚓种,研究了土壤中重金属 Cu 和 Pb 单一及复合污染对赤子爱胜蚓体内蛋白含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响,为重金属污染土壤的生物学诊断和风险评价提供科学依据。试验结果表明,Cu 和 Pb 单一作用时,对蚯蚓体内的蛋白含量和 SOD 活性呈现不同变化。单独添加 Cu 处理时,随着 Cu 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量呈现轻微升高趋势,SOD 活性表现出下降趋势;随着暴露时间的延长,蚯蚓体内蛋白含量均降低;单独添加 Pb 处理时,随着 Pb 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量呈现轻微降低趋势,SOD 活性表现出升高趋势,延长暴露时间,未观察到蚯蚓体内的 SOD 活性有明显变化规律。以不同浓度 Cu 作为背景与 Pb 复合时,Cu 和 Pb 的复合效应与暴露时间和不同浓度的组合密切相关,时间不同,浓度不同,对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响也就不同。与单一 Pb 作用相比,与 Cu 复合使蚯蚓体内 SOD 酶活性有所升高,说明这两种重金属复合后使蚯蚓受到的环境胁迫作用增强。

关键词:Cu;Pb;单一、复合污染;蚯蚓;蛋白含量;SOD

中图分类号:X503.223 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)05-1985-06

Effect of Cu,Pb Single and Combined Pollution on Total Soluble Protein Content and SOD Activity of the *Eisenia Foetida* Earthworm in Soils

TAI Tuo-ya^{1,2}, LIN Yu-suo², HE Jing^{1,2}

(1.College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing ,Jiangsu 210095; 2.Nanjing Institute of Environmental Sciences, State Environmental Protection Administration, Nanjing 210042, China)

Abstract: Recently, soil heavy metal contamination becomes more and more serious in certain areas in China. Adverse effect caused by heavy metals in contaminated soils has been a wide concern for many years. In this study, a bioassay experiment with the earthworm (*Eisenia Foetida*) was conducted to investigate the effects of single and compound application of Cu and Pb in soil on total soluble protein content and superoxide dismutase (SOD) activity in earthworms. Different changes in total soluble protein content and SOD activity in the tested earthworms were observed for single application of Cu or Pb. When Cu only was applied to the soil, total soluble protein content in earthworms slightly went up and SOD activity slightly decreased with increases in the concentrations of applied Cu. Meanwhile, total soluble protein content in the earthworms decreased with expose time. When Pb only was applied to the soil, total soluble protein content in the tested earthworms slightly decreased and SOD activity slightly went up with increases in the concentrations of applied Pb. No obvious effects of Pb on SOD activity was observed in this study with the exposure time. When soil was treated with multiple concentrations of Cu and a fixed concentration of Pb, compound effect of Cu and Pb in the soil was closely related to the combinations of the expose time and the applied metal doses. Difference in exposure time, combination of Cu and Pb concentrations led to different effects on total soluble protein content and SOD activity in the earthworms. When comparing to the Pb only treatment, application of Cu increased SOD activity in the earthworm, which indicated that compound treatment of Cu and Pb had enhanced environmental threat to the tested earthworms. The results of this study will be helpful for a bio-diagnosis and risk assessment of heavy metal contaminated soils.

Keywords: Cu;Pb;single and combined pollution;*Eisenia foetida* earthworm;total soluble protein content;SOD

收稿日期:2007-11-12

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973-2002CB410805)

作者简介:郇托娅(1982—),女,河北张家口人,硕士研究生,研究方向为土壤环境风险评价与污染控制研究。E-mail:taituoya_82@126.com

通讯作者:林玉锁 E-mail:lys@nies.org

随着人类活动加剧,大量的重金属污染物通过各种途径进入到土壤环境中,土壤的重金属污染问题越来越严重,而且土壤重金属污染越来越呈现出复合污染的趋势。因此,土壤重金属复合污染的生态效应已成为研究的热点。

蚯蚓毒性试验是诊断和鉴别土壤污染生态效应的常用方法。蚯蚓是完全的土壤环节动物,通过土壤中食物链而富集重金属,蚯蚓体内重金属含量随着重金属污染程度的加深而增加,是监测土壤重金属污染、评价土壤质量最常用的指示物^[1]。蛋白质是生物体生命过程中三大结构与功能分子之一,是执行生命过程各种活动的主要分子,生命中的许多过程都是由蛋白质来实现完成的。蚯蚓特殊的生活习性赋予其体内抗性成分含量很高,如超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)。超氧化物歧化酶是一类广泛存在于生物体内的氧化还原酶,也是重要的氧自由基清除剂,因而具有抗辐射、抗肿瘤及延缓机体衰老等功能^[2]。

目前国内外关于蚯蚓急性毒性试验的研究很多^[3~10],大部分都集中在农药和重金属污染对蚯蚓死亡率的影响上,对蛋白含量和 SOD 活性影响的报道^[10~15]相对较少。本试验通过对赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)在单一 Cu 和 Pb 及其复合污染条件下其体内蛋白含量和 SOD 活性的变化的研究,初步阐明重金属 Cu 和 Pb 对蚯蚓的毒性效应,为土壤重金属污染控制及土壤生态风险评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试蚯蚓

赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*),由南京养殖场提供。先预养 2~3 周,选择体重 200 mg 左右、具有环带的健康成蚓进行试验。

1.1.2 供试土壤

采自中国科学院农业生态试验站所在地江苏省常熟的黄泥土^[11,12],采集农田 0~15 cm 表层土壤,质地为重壤质,有机质含量为 2.42%,全 N 为 0.143%,全 P 为 428 mgP·kg⁻¹,速效 P 为 8.4 mgP·kg⁻¹,pH 值为 6.8。风干后过 10 目筛,试验时备用。

1.1.3 药品与试剂

CuSO₄·5H₂O, PbNO₃, 均为分析纯。考马斯亮兰蛋白测定试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)测试盒,均由

南京建成生物研究所提供。

1.1.4 仪器

微电脑人工气候箱(SPX-300IC,上海博迅仪器有限公司);低温低速离心机(德国 Eppendorf);722 光栅分光光度计(上海第三分析仪器厂)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验浓度设计

本试验采用土壤法^[13]。正式试验前首先确定污染浓度范围。根据预备试验结果确定 Cu 单一毒性试验的浓度为 200、400、600、800、1 000 mg·kg⁻¹, Pb 单一毒性试验浓度为 300、600、900、1 200、1 500 mg·kg⁻¹,每一处理重复 1 次,并设一个不加重金属的空白对照组。

复合毒性试验的浓度根据单一毒性试验的结果设定。在以上投加 Pb 的试验中分别加入 3 个浓度的 Cu 作为背景(200、600 和 1 000 mg·kg⁻¹)。称取 500 g 土,水土比为 1:4,分别将 Cu 和 Pb 按设计好的浓度溶于 125 mL 水中,与 500 g 土搅拌均匀后放入 1 L 塑料烧杯中,平衡 48 h。

1.2.2 蚯蚓染毒

将预先培养好的蚯蚓洗净,在黑暗处放置 24 h,清肠后,每个烧杯中随机放入 10 条蚯蚓,杯口用纱布盖好,防止水分的蒸发和蚯蚓的逃逸。将塑料烧杯放入温度为(20±2)℃,湿度为 80%的人工气候培养箱中培养,实验周期为 14 d。

1.2.3 观察与统计

分别于第 3、7、14 d 观察并记录蚯蚓的中毒症状、死亡率,并测定蚯蚓体内的蛋白含量和 SOD 活力。试验数据采用 SPSS13.0 软件分析处理。

2 结果与讨论

2.1 Cu 和 Pb 单一作用对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响

2.1.1 Cu 和 Pb 单一作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化

单一 Cu 和 Pb 作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化见图 1 所示。

由图 1 可以看出,随着 Cu 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量总体呈现略有升高的趋势,而对于 Pb,随着 Pb 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量总体呈现略有降低的趋势;随着 Cu 和 Pb 暴露时间延长,蚯蚓体内蛋白含量均降低。这可能是因为蚯蚓染毒后机体多种功能受损,蛋白的生成来源受到破坏,进而影响蛋白的合成^[14~20]。

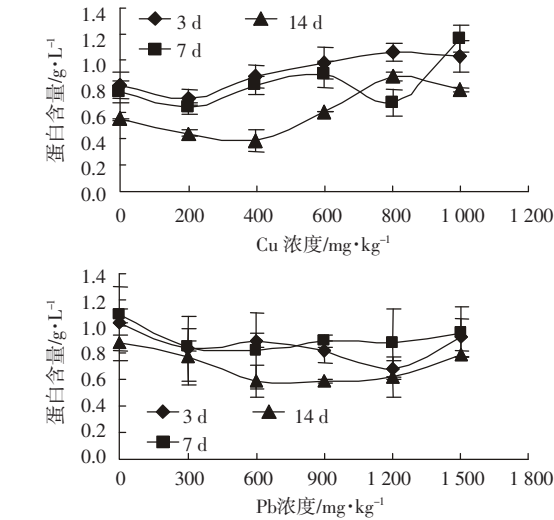


图 1 单一 Cu、Pb 作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化
Figure 1 Effect of single Cu or Pb on total soluble protein contents of earthworm (*Eisenia foetida*)

2.1.2 Cu 和 Pb 单一作用下蚯蚓体内 SOD 的变化

Cu 和 Pb 单一作用下蚯蚓体内 SOD 的变化见图 2 所示。

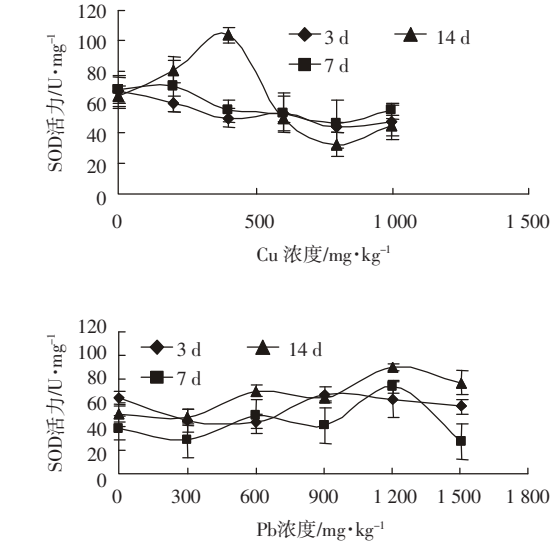


图 2 Cu、Pb 单一作用下蚯蚓体内 SOD 活力的变化
Figure 2 Effect of single Cu or Pb on SOD activity of earthworm(*Eisenia foetida*)

由图 2 可以看出,当 Cu 单一作用时,蚯蚓体内的 SOD 活性随着 Cu 浓度的增加总体上表现出下降的趋势,而当 Pb 单一作用时,蚯蚓体内的 SOD 活性随着 Pb 浓度的增加总体上表现出升高的趋势。随着暴露时间的延长,蚯蚓体内的 SOD 活性变化没有一

定规律。一般认为,当蚯蚓受到轻度环境胁迫时,体内 SOD 酶活性往往有所提高,而当受到重度逆境胁迫时,SOD 活性通常降低^[14-16,19,20]。

2.1.3 方差分析

用 SPSS13.0 软件对蚯蚓体内蛋白含量影响因子(暴露时间和浓度)进行方差分析,显著性概率(P 值)见表 1。结果表明,暴露时间和 Cu 的浓度对蚯蚓体内的蛋白含量的影响的差异性极显著 ($P<0.01$),Cu 和 Pb 的浓度对蚯蚓体内 SOD 酶活性的影响差异性显著($P<0.05$),而且暴露剂量对 Cu 作用下蚯蚓的蛋白含量和 SOD 活性也有显著影响($P<0.05$),但 Pb 作用的 R^2 值偏小些,Pb 对蚯蚓的毒性相对 Cu 对蚯蚓的毒性弱一些。

表 1 Cu、Pb 单一作用对蚯蚓体内蛋白含量、SOD 活性影响的显著性分析

Table 1 Significant level analysis on the total soluble protein content and SOD activities of *Eisenia foetida* in the effect of Cu、Pb single pollution

参数	Cu		Pb	
	蛋白	SOD	蛋白	SOD
时间	0.000	0.061	0.030	0.005
浓度	0.000	0.000	0.027	0.021
暴露剂量 *	0.027	0.001	0.872	0.399
R^2	0.889	0.891	0.660	0.729

注:* 为染毒时间与浓度之乘积。

2.2 Cu 与 Pb 复合作用对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响

2.2.1 Cu 与 Pb 复合作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化

Cu 与 Pb 复合作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化见图 3 所示。由图 3 可以看出,以不同浓度 Cu 作为背景与 Pb 复合时,随着暴露时间延长,表现出不同的影响。在试验第 3 d,以 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 作为背景使蚯蚓体内的蛋白含量明显高于单一 Pb 的对照组; $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 作为背景使蚯蚓体内蛋白含量明显降低,并显著低于对照组;而以 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 作为背景与 Pb 复合时,蚯蚓体内蛋白含量又有所升高,与对照组相近。在试验第 7 d, $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 与 Pb 复合,蛋白含量比对照组降低; $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 与 Pb 复合,蛋白含量明显升高,显著高于对照组;而 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Cu}$ 与 Pb 复合时,蛋白含量达到最低。在试验第 14 d,不同浓度的 Cu 作为背景与 Pb 复合对蚯蚓体内蛋白含量影响差异不大。

2.2.2 Cu 与 Pb 复合作用下蚯蚓体内 SOD 活性的变化

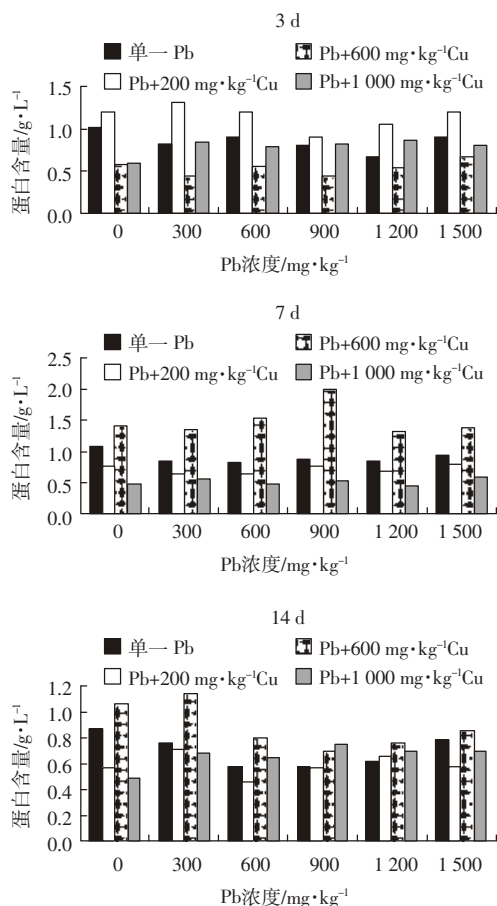


图3 Cu、Pb 复合作用下蚯蚓体内蛋白含量的变化

Figure 3 Effect of combination of Cu and Pb on total soluble protein contents of earthworm (*Eisenia foetida*)

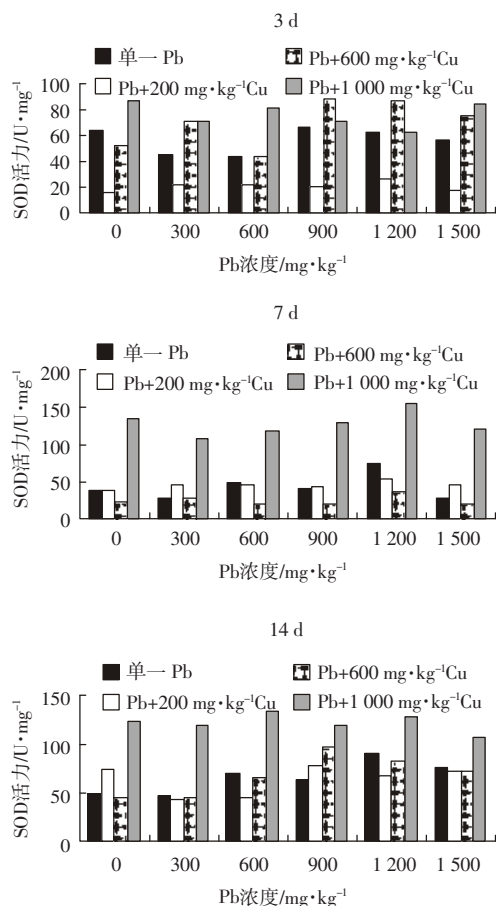


图4 Cu、Pb 复合作用下蚯蚓体内 SOD 活力的变化

Figure 4 Effect of Cu、Pb combined pollution on SOD activity of *Eisenia foetida*

Cu 与 Pb 复合作用下蚯蚓体内 SOD 活力的变化见图 4 所示。

由图 4 可以看出,在实验第 3 d,200 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合使蚯蚓体内 SOD 活性明显低于单一 Pb 的对照组,而 600 和 1 000 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合使蚯蚓体内 SOD 活性增强,略高于对照组;在实验第 7 d,200 和 600 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合使蚯蚓体内 SOD 活性与对照组相近,而 1 000 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合使蚯蚓体内 SOD 活性显著高于对照组和其他两种情况;在第 14 d,200 和 600 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合使蚯蚓体内 SOD 有所升高,1 000 mg·kg⁻¹Cu 时蚯蚓体内的 SOD 活性还是显著高于其他组。这同样说明,随着复合反应时间的延长和浓度的加大,蚯蚓体内 SOD 活性明显高于其他情况。上述结果也说明,Cu 和 Pb 的复合效应与暴露时间和不同浓度的组合密切相关,时间不同,浓度不同,对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响也就不同。与单一 Pb 试验相比,与 Cu 复合使蚯蚓体内 SOD 酶活性有所升高,说明这两种重金属

复合后使蚯蚓受到的环境胁迫作用增强。

2.2.3 方差分析

用 SPSS13.0 对 Cu 和 Pb 复合试验数据进行分析,显著性概率见表 2。由表 2 可以看出,暴露时间对各浓度下蚯蚓体内蛋白含量的影响差异性极显著($P < 0.01$)。200 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合,浓度和暴露剂量对蛋白含量影响显著($P < 0.05$)。600 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合,浓度和暴露剂量对蛋白含量影响极显著($P < 0.01$);1 000 mg·kg⁻¹Cu 与 Pb 复合,浓度对蛋白含量影响显著($P < 0.05$),暴露剂量对蛋白含量影响不显著($P > 0.05$)。

3 结论

(1)Cu 和 Pb 单一作用时,对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性呈现不同变化。当 Cu 单一作用时,随着 Cu 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量总体呈现略有升高的趋势,随着 Cu 暴露时间延长,蚯蚓体内蛋白含量均降低,蚯蚓体内的 SOD 活性随着 Cu 浓

表 2 Cu、Pb 复合污染对蚯蚓体内蛋白含量、SOD 活性影响的显著性概率

Table 1 Significant level analysis on the total soluble protein content and SOD activities of *Eisenia foetida* in the effect of Cu、Pb combined pollution

参数	蛋白			SOD		
	低浓度	中浓度	高浓度	低浓度	中浓度	高浓度
	Cu+Pb	Cu+Pb	Cu+Pb	Cu+Pb	Cu+Pb	Cu+Pb
时间	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
浓度	0.048	0.006	0.037	0.568	0.016	0.731
暴露剂量	0.012	0.000	0.820	0.333	0.224	0.589
R ²	0.951	0.967	0.790	0.827	0.877	0.771

度的增加总体上表现出下降的趋势；而当 Pb 单一作用时,随着 Pb 浓度的增大,蚯蚓体内蛋白含量总体呈现略有降低的趋势,蚯蚓体内的 SOD 活性随着 Pb 浓度的增加总体上表现出升高的趋势,随着暴露时间的延长,蚯蚓体内的 SOD 活性变化没有一定规律。

(2)以不同浓度 Cu 作为背景与 Pb 复合时,Cu 和 Pb 的复合效应与暴露时间和不同浓度的组合密切相关,时间不同,浓度不同,对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响也就不同。与单一 Pb 作用相比,与 Cu 复合使蚯蚓体内 SOD 酶活性有所升高,说明这两种重金属复合后使蚯蚓受到的环境胁迫作用增强。

参考文献:

[1] 赵 丽,邱江平,沈嘉林,等.重金属镉、铜对蚯蚓的急性毒性试验[J].上海交通大学学报(农业科学版),2005,23(4):366-370.
ZHAO Li , QIU Jiang-ping , SHEN Jia-lin , et al. Acute toxicity of heavy metal cadmium and copper to earthworms[J]. *Journal of Shang Hai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2005, 23(4):366-370.

[2] 赵学兰,王景安.蚯蚓超氧化物歧化酶理化性质的研究[J].天然产物研究与开发,2006,18:207-209.
ZHAO Xue-lan , WANG Jing-an . Staudy on biochemical properties of superoxide dismutase in earthworm[J]. *Nat Prod Res Dev*, 2006, 18: 207-209.

[3] 宋玉芳,周启星,许华夏,等.土壤重金属污染对蚯蚓的急性毒性效应研究[J].应用生态学报,2002,13(2):187-190.
SONG Yu-fang , ZHOU Qi-xing , XU Hua-xia , et al. Acute toxicological effects of heavy metal pollution in soils on earthworms[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2):187-190.

[4] 梁继东,周启星.甲胺磷、乙草胺和 Cu 单一与复合污染对黑土环境安全的胁迫研究[J].环境科学学报,2004,24(3):474-481.
LIANG Ji-dong , ZHOU Qi-xing . Single and combined pollution of metba midophos , acetochlor and copper in phaiozem and its environmental safety significance[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24 (3):474-481.

[5] 贾秀英,李喜梅,杨亚琴,等.Cu、Cr (VI)复合污染对蚯蚓急性毒性

效应的研究[J].农业环境科学学报,2005,24(1):31-34.
JIA Xiu-ying , LI Xi-mei , YANG Ya-qin , et al. Acute toxicological effects of Cr(VI) and Cu single and combined pollution on earthworm *Eisenia foetida*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1):31-34.

[6] 赵作媛,等.镉- 菲复合污染对蚯蚓急性毒性效应的研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2006,24(6):553-557.
ZHAO Zuo-yuan , et al. Acute toxicological effects of Cd and Phe single and combined pollution on earthworm *Eisenia andrei*[J]. *Journal of Shang Hai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2006, 24(6):553-557.

[7] 高敏苓,戴树桂,张 平,绿麦隆、阿特拉津单一与复合污染对蚯蚓的毒性效应研究[J].生态环境,2006,15(3):525-528.
GAO Min-ling , DAI Shu-gui , ZHANG Ping . Single and binary-combined toxicity of chlorotoluron and atrazine on earthworm[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(3):525-528.

[8] 刘德鸿,刘德辉,成杰民.土壤 Cu、Cd 污染对两种蚯蚓种的急性毒性[J].应用与环境生物学报,2005,11(6):706-710.
LIU De-hong , LIU De-hui , CHENG Jie-min . Acute toxicity of Cu Cd to two species of earthworms in soil[J]. *Chin J Appl Environ Bio I*, 2005, 11(6):706-710.

[9] Arnaud C , SaintDenis M, Narbonne J F , et al . Influences of different standardized test methods on biochemical responses in the earthworm *Eisenia Fetida Andrei* [J]. *Soil Biol Biochem*, 2000, 32 (1):67-73.

[10] Morgan A J, Evans M, Winters C, et al. Assaying the effects of chemical ameliorants with earthworms and plants exposed to a heavily polluted metalliferous soil[J]. *European Journal Soil Biology*, 2002, 38: 323-327.

[11] 左海根,林玉锁,龚瑞忠.土壤中呋喃丹、杀虫双和 DDT 对蚯蚓 (*Eisenia foetida*) 的单一和复合毒性[J].农业环境科学学报,2005,24 (5):861-864.
ZUO Hai-gen , LIN Yu-suo , GONG Rui-zhong . Single and binary-combined toxicology of carbofuran, dimehypo and p' p -DDT on earthworms[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(5): 861-864.

[12] 左海根,林玉锁.呋喃丹、杀虫双对蚯蚓(*Eisenia foetida*)的单一和复合毒性[J].农村生态环境,2005,21(1):67-69.
ZUO Hai-gen , LIN Yu-suo , GONG Rui-zhong . Single and combined toxicology of carbofuran and dimehypo to earthworms[J]. *Rural Eco Environment*, 2005, 21(1):67-69.

[13] OECD. Earthworm acute toxicity tests[Z]. OECD Guideline for testing of chemicals.No.207.1984.

[14] 胡 玲,林玉锁.呋喃丹对赤子爱胜蚓体内蛋白含量、SOD 和 AChE 活性的影响[J].安徽农业科学,2006,34(13):3165 - 3167.
HU Ling , LIN Yu-suo. Effect of carbofuran on protein content and the SOD and TChE activity of the *Eisenia Foetida* earthworm[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2006, 34(13):3165-3167.

[15] 孙 维,林玉锁,胡 玲.不同温度条件下呋喃丹对赤子爱胜蚓体内蛋白含量以及 SOD 和 AChE 活性的影响[J].生态与农村环境学报,2007,23(1):57-62.
SUN Wei , LIN Yu-suo , HU Ling . Effect of carbofuran on protein content SOD and AChE activity of *Eisenia foetida* under different tem-

1990	郇托娅等:土壤中 Cu 和 Pb 单一及复合污染对蚯蚓体内蛋白含量和 SOD 活性的影响	2008 年 9 月
	peratures [J]. <i>Journal of Ecology and Rural Environment</i> , 2007, 23(1): 57–62.	究[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2002,25(3):303–307.
[16]	孙 维,郇托娅,林玉锁.两种温度条件下杀虫单对赤子爱胜蚓体内蛋白含量以及 SOD 和 AChE 活性的影响[J].农业环境科学学报, 2007,26(5):1816–1821.	NAN Xu–yang . Study of erythrocytes nucleus and hemoglobin and blood cells by chromium in <i>Carassius Auratus</i> [J]. <i>Journal of Zhejiang Normal University(Nature Science)</i> , 2002, 25(3):303–307.
	SUN Wei , TAI Tuo–ya , LIN Yu–suo . Effect of monosultap on protein Content , SOD and AChE activity of <i>Eisenia.foetida</i> under two different temperatures [J]. <i>Journal of Agro–Environment Science</i> , 2007, 26(5): 1816–1821	[19] 董爱华,贾秀英.Cd、Pb 对蟾蜍肝脏超氧化物歧化酶活性及其同工酶的影响[J]. 四川动物,2005,24(2):152–156.
[17]	焦芳婵,毛 雪,李润植.金属结合蛋白基因及其在清除重金属污染中的应用[J]. 遗传,2002,24(1):82–86.	DONG Ai–hua , JIA Xiu–ying . Effects of cadmium and lead on SOD and their isozymes in liver of <i>Bufo bufo Gargarizans</i> [J]. <i>Sichuan Journal of Zoology</i> , 2005, 24(2):152–156.
	JIAO Fang–chan , MAO Xue , LI Run–zhi . Genes of metal–binding proteins and their application in bioremediation of heavy metals [J]. <i>Hereditas</i> , 2002, 24(1):82–86.	[20] 王俊虹,周 蔚,王世鑫,等.铅对大鼠肾脏 SOD 活性和 MDA 含量影响的研究[J].武警医学院学报,2002,11(3):146–149.
[18]	南旭阳.铬离子对鲫鱼红细胞核、血细胞数和血红蛋白量影响的研	WANG Jun–hong , ZHOU Wei , WANG Shi–xin . Effects of lead on changes of SOD MDA in the kidn ey [J] . <i>Acta Academiae Medicinae CPAPF</i> , 2002, 11(3):146–149.