

赤子爱胜蚓处理土壤重金属 Pb 和 Cu 复合污染效果研究

李瑞娟 李娜 曹嘉萌 剡文龙 王艳 王友玲*

(甘肃农业大学资源与环境学院,甘肃兰州 730070)

摘要 近年来,土壤重金属污染日益严重且大多数以复合污染的形式出现,因而寻求一种有效处理重金属复合污染的方法迫在眉睫。本文模拟在不同浓度 Pb、Cu 污染的土壤中接种赤子爱胜蚓,研究其对 Pb、Cu 2 种重金属的单一耐受力以及 Pb、Cu 复合污染下赤子爱胜蚓对重金属污染土壤的重金属富集及耐受力变化情况。结果表明,赤子爱胜蚓对 Pb 的耐受力明显高于对 Cu 的耐受力。在 Pb 胁迫下,蚯蚓对 Cu 的富集降低;在 Cu 的胁迫下,蚯蚓对 Pb 的富集明显降低。赤子爱胜蚓对重金属 Pb 的富集量随着土壤中重金属浓度增加而增加。蚯蚓体内重金属 Pb、Cu 浓度升高对蚯蚓活动造成一定程度的抑制,导致蚯蚓对土壤中重金属 Pb、Cu 富集效果降低。

关键词 赤子爱胜蚓;重金属;复合污染

中图分类号 X53 **文献标识码** A **文章编号** 1007-5739(2019)11-0174-03

Treatment Effect of *Eisenia foetida* on Heavy Metals Pb and Cu Compound Pollution Soil

LI Rui-juan LI Na CAO Jia-meng YAN Wen-long WANG Yan WANG You-ling*

(College of Resources and Environmental, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract In recent years, soil heavy metal pollution has become increasingly serious, and most occur in the form of compound pollution. Therefore, it is extremely urgent to find an effective method to control heavy metal compound pollution. In this paper, we simulated the inoculation of *Eisenia foetida* in the soil contaminated by different contents of Pb and Cu, and studied the single tolerance of *Eisenia foetida* to the two kinds of heavy metals. Then the enrichment and tolerance of *Eisenia foetida* to heavy metals in the Pb and Cu compound pollution soil were also studied. The results showed that the tolerance of *Eisenia foetida* to Pb was significantly higher than that of Cu. Under the Pb stress, the enrichment of Cu by earthworms decreased. Under the Cu stress, the enrichment of Pb by earthworms decreased obviously. The enrichment of heavy metal Pb in *Eisenia foetida* increased with the increase of heavy metal concentration in soil. The increase of the Pb and Cu concentrations in earthworms can inhibit the activities of earthworms to a certain extent, which decreased the enrichment effect of earthworms on the heavy metals Pb and Cu in the soil.

Key words *Eisenia foetida*; heavy metal; compound pollution

土壤是人类赖以生存的自然资源之一,也是人类生态环境的重要组成部分。随着全球经济的飞速发展,含重金属污染物通过各种途径进入土壤,造成土壤中重金属元素富集。重金属污染可影响土壤生物群落结构和生物活性等^[1],不仅影响农产品产量与品质,还可通过食物链危害动物和人类的生命和健康^[2]。

铅被列为五大毒物之一,它不仅是一种重要的重金属环境激素,而且是一种积累性剧毒元素,能导致各种生物的生殖功能和机体免疫力下降,从而引起各种生理异常,尤其对儿童智力发育造成严重障碍,铅易通过食物链进入人体造成毒害^[3]。铜是生命必需的微量元素,但若过量摄入铜会导致铜中毒,会造成肝肿大、肝功能异常、肝小叶中央坏死、溶血性贫血等^[4]。我国土壤重金属污染源主要包括采矿业和金属冶炼、工业废渣、废水、污水灌溉、农业污泥应用和大气沉降等^[5]。重金属造成的土壤污染在危险特性上表现出难降解、长期残留、生物蓄积、迁移性以及具有较大毒性等特征,因而对土壤重金属污染的防治不仅要控制污染源,还要加强污染土壤的修复。

土壤修复技术种类繁多,可分为物理修复法、化学修复法和生物修复法等^[6]。近年来出现的动物修复技术,尤其是蚯蚓对土壤重金属污染的修复,与传统的化学修复以及物理和工程修复等技术手段相比,具有投资和维护成本低、操作简便、不造成二次污染、具有潜在或显著经济效益等优点。蚯蚓不仅可以作为土壤重金属污染的重要指示生物,而且

可以处理重金属污染土壤^[7-8]。因此,研究利用蚯蚓进行土壤重金属的污染治理,具有很强的现实意义。本文模拟在铜、铅复合污染的土壤中接种耐受蚯蚓,通过研究蚯蚓对重金属的富集作用,探讨蚯蚓修复铜、铅复合污染土壤的可行性,并揭示蚯蚓对重金属的动力学吸附过程,为重金属污染土壤修复技术提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 供试蚯蚓与土壤

供试蚯蚓选用对重金属耐受力较好的赤子爱胜蚓,购自甘肃天耀生物科技有限公司。新购置的蚯蚓用基质土在室温、自然光照条件下驯养 2 周。驯养期结束后,选取行为活跃、体色鲜亮的蚯蚓开展修复试验,蚯蚓饲养在口径 25 cm、底部有孔洞的花盆内,于盆底垫上一层滤纸,在保证透气性的同时也能防止蚯蚓逃逸。在盆口封上保鲜膜,扎孔保证空气流通,将花盆置于阴暗处,保证土壤潮湿,每天早、晚各翻动 1 次土壤。试验用土壤采自甘肃省兰州市榆中县农田土壤。

1.2 试剂和仪器

试剂包括高氯酸、浓硝酸、浓盐酸(配置王水)、去离子水等。仪器包括 novAA400 火焰原子吸收光谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司);SKD-20S2 红外智能消化炉(上海沛欧分析仪器有限公司);抽滤装置等。

1.3 试验设计

1.3.1 Pb、Cu 对蚯蚓的急性毒性效应试验。设置 4 个 Pb 浓度处理,分别为 1 000、1 500、2 000、2 500 mg/kg;4 个 Cu 浓度处理,分别为 120、160、200、240 mg/kg。土壤含水率保持在 35%,温度为室温,每盆放入大小相近、生命体征活跃的蚯蚓 10 条,给盆上封上保鲜膜,保鲜膜上扎孔保证空气流通,给

基金项目 甘肃省大学生创新创业训练计划项目(2017110733051);甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金(GSAU-STS-1534)。

* 通信作者

收稿日期 2019-02-23

盆底垫上滤纸防止蚯蚓钻出盆底。统计不同处理下的蚯蚓死亡率。

1.3.2 Pb、Cu 复合浓度对蚯蚓富集量的影响试验。根据急性毒性效应试验结果,保证蚯蚓在试验期间良好地存活而不出现死亡,设置 4 个 Pb 浓度处理,分别为 800、950、1 100、1 250 mg/kg;4 个 Cu 浓度处理,分别为 80、95、110、125 mg/kg。测定 Pb、Cu 分别在蚯蚓体内随时间的变化情况及其相互作用下的变化情况。

1.4 试验方法

1.4.1 试验准备与采样。选取直径为 25 cm 的花盆,每盆干土重 750 g,含水率保持在 35%,温度为室温。选取大小相近、生命体征活跃的蚯蚓若干条放入盆中(每盆标明放入蚯蚓的条数),保证土壤中蚯蚓密度为 3 g/kg。每 2 d 采样 1 次,测定蚯蚓体内 Pb、Cu 的富集量。

1.4.2 重金属测定。采用王水-高氯酸消煮-火焰原子吸收光谱仪测定。

(1)土壤消化。称取风干土 0.500 0 g,将其研磨细致,过筛。置于 100 mL 锥形瓶中,用去离子水润湿,加入王水 15 mL,置于通风橱内 90 °C 加热 30 min、200 °C 加热 2 h。待氮氧化物和有机物基本消解后,取下冷却,加入 3~5 mL 高氯酸,继续加热消化至三角瓶中土样为白色糊状,然后定容到 100 mL 容量瓶中。之后用抽滤机进行过滤,取过滤液为样液。

(2)蚯蚓消化。将取出的蚯蚓放入培养皿中吐泥 3 d,用蒸馏水洗净,冰冻致死,于烘箱中 105 °C 烘 4 h,取出冷却后研磨过 20 目筛,制成粉备用。称取适量蚯蚓粉末于 50 mL 小烧杯中,加入浓硝酸 20 mL,加盖放置过夜后,加入 5 mL 高氯酸,在通风橱中加热消解至冒出大量白烟为止。冷却后加入 1 mL 浓硝酸和少量水,转入 100 mL 容量瓶中,定容后过滤。

(3)铅、铜测定。用火焰原子吸收光谱仪进行测定。铅特征谱线为 283 nm,铜特征谱线 324 nm;电流 3 mA,燃烧头类型为 100 mm,燃气为 99.9% 纯度乙炔气体,流量设定为 60 L/h,助燃气为空气,流量设定为 400 L/h。

根据 Pb²⁺浓度和相应的吸光度绘制铅标准曲线,见图 1。根据 Cu²⁺浓度和相应的吸光度绘制铜标准曲线,见图 2。

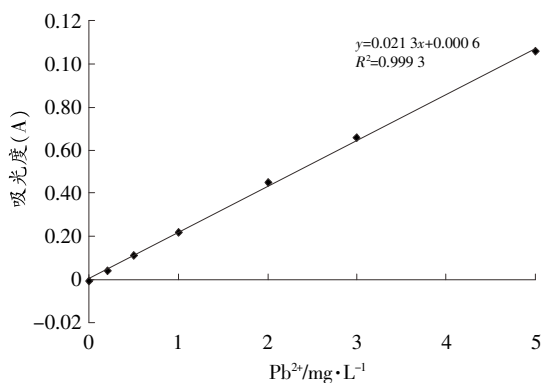


图 1 铅标准曲线

1.5 数据处理

使用 Origin、Excel 进行数据处理与分析。

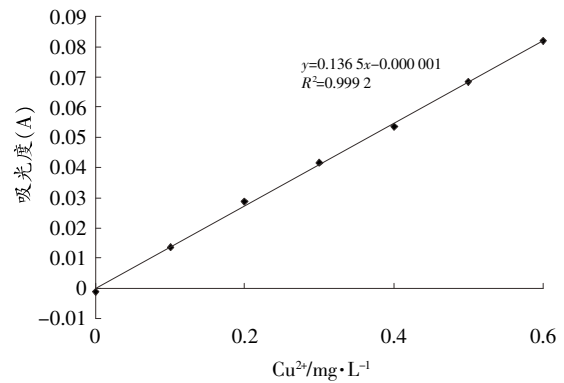


图 2 铜标准曲线

2 结果与分析

2.1 Pb、Cu 对蚯蚓的急性毒性效应

由表 1 可以看出,Pb 浓度在 2 000 mg/kg 以下时,蚯蚓未出现明显的毒性效应,说明蚯蚓对重金属 Pb 有一定的耐受性;当 Pb 浓度达到 2 500 mg/kg 时,供试组蚯蚓死亡率达 100%,说明蚯蚓对 Pb 的耐受性有一定的限度。Cu 浓度在 160 mg/kg 以下时,蚯蚓未出现明显的毒性效应;当 Cu 浓度达到 240 mg/kg 时,供试组蚯蚓全部死亡,说明蚯蚓对 Pb 的耐受性比对 Cu 的耐受性要强。这一结果与宋玉芳等^[9]、伏小勇等^[10]的研究结果基本吻合。

表 1 不同浓度梯度下 Pb、Cu 对蚯蚓的急性毒性效应

重金属	浓度 mg·kg ⁻¹	投放条数 条	死亡条数 条	死亡率 %
Pb	1 000	10	0	0
	1 500	10	0	0
	2 000	10	2	20.0
	2 500	10	10	100.0
Cu	120	10	0	0
	160	10	0	0
	200	10	3	33.3
	240	10	10	100.0

2.2 不同重金属 Pb、Cu 复合浓度对蚯蚓富集量的影响

2.2.1 蚯蚓体内 Pb 富集量随时间的变化规律。按试验设计的 4 种不同 Pb 浓度进行试验,蚯蚓对 Pb 富集量随时间变化规律见图 3。

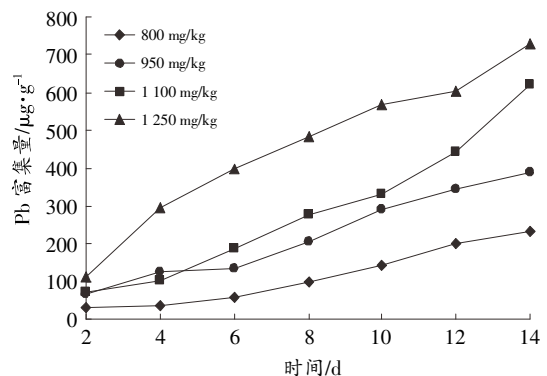


图 3 不同 Pb 浓度在蚯蚓体内的富集过程

由图 3 可以看出,在试验初始时赤子爱胜蚓就开始对重金属 Pb 富集,2 周后,富集量最高可达 727 μg/g。对比不同土壤 Pb 浓度,可以明显看出,赤子爱胜蚓对重金属 Pb 的

富集量随着土壤中重金属浓度的增加而增加,这说明蚯蚓对重金属有一定的耐受性和富集能力,这与邓继福等^[11]的研究结果一致。

2.2.2 蚯蚓体内 Cu 富集量随时间的变化规律。按试验设计的 4 种不同 Cu 浓度进行试验,蚯蚓对 Cu 富集量随时间变化规律见图 4。可以看出,赤子爱胜蚓对重金属 Cu 的富集量随着土壤中重金属浓度增加而增加。蚯蚓在铜浓度为 80 mg/kg 的土壤中第 14 天的富集量是 26 $\mu\text{g/g}$,在铜浓度为 125 mg/kg 的土壤中第 14 天的富集量达到 78 $\mu\text{g/g}$,说明赤子爱胜蚓对重金属 Cu 有着明显的富集作用。

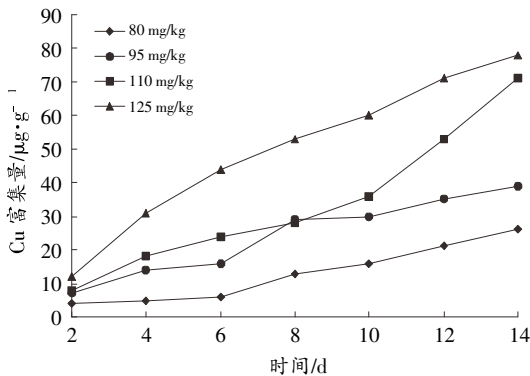


图 4 不同 Cu 浓度在蚯蚓体内的富集过程

2.2.3 Pb 胁迫下蚯蚓体内 Cu 富集量的变化规律。Pb、Cu 复合污染土壤中,在 Pb 的胁迫下不同浓度的 Cu 在蚯蚓体内富集量变化规律见图 5。

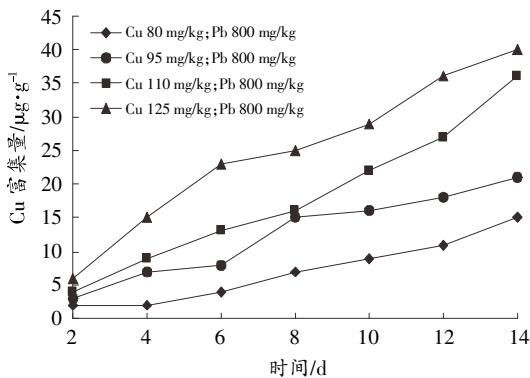


图 5 Pb 胁迫下 Cu 在蚯蚓体内的富集规律

Pb 胁迫下,蚯蚓对 Cu 的富集降低,富集速率也有所降低。铜污染浓度提高与污染培养时间延长均会加剧铜对蚯蚓生长的抑制程度^[12]。因此,蚯蚓体内重金属 Pb、Cu 会对蚯蚓活动造成一定程度的抑制,但是蚯蚓仍能通过其生命活动对土壤中的 Cu 进行富集。蚯蚓对不同重金属的耐受性和富集能力有限,在其耐受范围内,当蚯蚓吸收的重金属积累到一定程度就会通过粪便和身体分泌物排出,使富集速率降低^[13]。

2.2.4 Cu 胁迫下蚯蚓体内 Pb 富集量的变化规律。Pb、Cu 复合污染土壤中,在 Cu 的胁迫下,不同浓度的铅在蚯蚓体内富集量变化规律见图 6。可以看出,在 Cu 的胁迫下,蚯蚓对 Pb 的富集明显降低,富集速率也有所降低,富集 Pb 的速率在第 10 天后明显降低。这可能是蚯蚓体内重金属 Pb、Cu 对

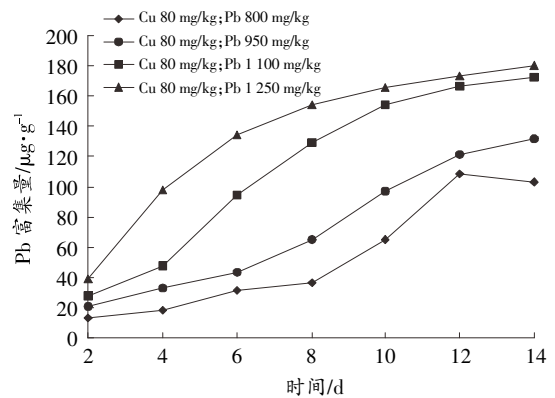


图 6 Cu 胁迫下 Pb 在蚯蚓体内的富集规律

蚯蚓造成毒害,蚯蚓活动受到了严重抑制,以致第 10 天以后富集速率明显降低。若蚯蚓吸收的重金属超过了其耐受范围,则会直接毒害蚯蚓,影响其生命活性,使其生长受到抑制,导致富集速率降低^[14]。

3 结论

(1)根据急性毒性效应试验,Pb 浓度在 2 000 mg/kg 以下时,蚯蚓未出现明显的毒性效应,Cu 浓度在 160 mg/kg 以下时,蚯蚓未出现明显的毒性效应,故 Cu 对蚯蚓的毒性作用比 Pb 大。

(2)赤子爱胜蚓对 Pb、Cu 的耐受性有一定的限度,蚯蚓对 Pb 的耐受性比对 Cu 的耐受性要强。

(3)赤子爱胜蚓对重金属 Pb、Cu 具有明显的富集作用,且对重金属 Pb、Cu 的富集量均随着土壤中重金属浓度的增加而增加。赤子爱胜蚓对重金属 Pb 的富集比 Cu 强。蚯蚓体内重金属 Pb、Cu 浓度升高对蚯蚓的活动会造成一定程度的抑制,导致蚯蚓对土壤中重金属 Pb、Cu 的富集效果降低。

4 参考文献

- [1] 李敏. 铅镉污染土壤的稳定化及蚯蚓联合植物修复[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
- [2] 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[J]. 土壤通报, 2006(4): 809-814.
- [3] 贺欣. 污泥蚯蚓堆肥对重金属稳定及四环素的吸附影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2017.
- [4] 孙思杨. 铜、锌的水质标准及水质对水生生物的生态安全影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [5] 王坤. 蚯蚓对长期重金属污染土壤的生态适应性及其解毒机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [6] 黄民生. 铅镉污染土壤的稳定化及蚯蚓联合植物修复[D]. 上海: 东华师范大学, 2018.
- [7] 李秀娣, 顾圣啸, 郑文杰, 等. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(增刊 2): 203-208.
- [8] 姚巍. 蚯蚓对土壤污染的修复作用[J]. 陕西林业科技, 2018, 46(5): 105-108.
- [9] 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(2): 187-190.
- [10] 伏小勇, 秦赏, 杨柳, 等. 蚯蚓对土壤中重金属的富集作用研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 78-83.
- [11] 邓继福, 王振中, 张友梅, 等. 重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究[J]. 环境科学, 1996(2): 1-6.
- [12] 李志强, 王彬彬, 聂俊华. 铜污染对蚯蚓体重的影响与其铜富集特征[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1408-1414.
- [13] 张友梅, 王振中, 邢协加. 土壤污染对蚯蚓的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1996, 19(3): 84-90.
- [14] 伏小勇, 杨柳, 黄魁, 等. 蚯蚓对城市污泥中铅的富集作用[J]. 安全与环境工程, 2008, 15(2): 69-71.