

蚯蚓对金属元素的富集作用分析

戈峰¹, 刘向辉¹, 江炳镇²

(1. 中国科学院动物研究所, 北京 100080; 2. 江西省吉安市农业局, 江西 吉安 343000)

摘要: 在测定饲养在牛粪中和饲养在生活垃圾中的蚯蚓体内金属含量的基础上, 采用蚯蚓饵料(牛粪)中加入亚硒酸钠和铜矿尾矿砂以喂养蚯蚓, 进一步分析和比较了蚯蚓对硒和铜元素的富集作用。结果表明: 饲养在牛粪和生活中的蚯蚓体内砷、汞、铅含量超过国家食品卫生标准; 蚯蚓对硒和铜元素的富集能力很强, 且富集铜的能力比富集硒的能力强, 其最高富集硒和铜量分别为 $332.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1376.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

关键词: 蚯蚓; 富集作用; 硒; 铜

中图分类号: X503.233 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)01-0016-03

Accumulation of Several Metals in Earthworm (*Eisenia foetida*)

GE Feng¹, LIU Xiang-hui², JIANG Bing-zhen²

(1. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, P. R. China; 2. Agricultural Beal of Ji'an City, Jiangxi 343000, P. R. China)

Abstract: Earthworm (*Eisenia foetida*) was fed with bait mixture of cattle manure, sodium selenite and tailing sand from a copper mine in order to evaluate its accumulation on selenium and copper with an aid of determination of metals contents in the animals bodies. It has been found that the animal exhibited strong accumulation ability on either selenium or cooper. The highest concentrations of selenium and cooper were 332.5 mg and $1376.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, suggesting that the earthworm had a greater accumulation on cooper than on selenium.

Keywords: earthworm; accumulation; selenium; copper

近年来, 随着可持续性发展的需要, 有关蚯蚓的生物学和生态学已有大量报道^[1-3]。研究表明, 它在疏松土壤、增加土壤肥力、促进物质循环等方面起重要作用, 因而又称之为“农业的犁手”和“改良土壤的能手”^[4]。由于蚯蚓主要以土壤中有机质为食, 土壤中某些重金属易随之而在蚯蚓中积累起来, 因此, 蚯蚓还被作为土壤环境污染的重要生物指示剂^[2]。

硒是生物体内不可缺少的重要微量元素, 而铜则是铜矿尾矿中的有害元素, 有关蚯蚓对它们的富集作用尚未见有报道。为此, 我们在分析蚯蚓体内重金属含量的基础上, 选择硒和铜这二种有益和有害的元素为试验材料, 观察并比较蚯蚓对它们富集能力, 以充分利用蚯蚓资源, 保护生态环境。

1 材料与方法

1.1 试验材料

收稿日期: 2001-05-23

基金项目: “九五”科技攻关项目(96-920-13-03)的一部分

作者简介: 戈峰(1963—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事动物生态学研究。

赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 为本实验室室内饲养的; 饵料为发酵的牛粪; 亚硒酸钠药品为 99% 的商品; 尾矿砂采用于江西德兴铜矿; 生活有机垃圾来自于食堂剩菜剩饭等。

1.2 处理方法

1.2.1 蚯蚓处理

将蚯蚓分别饲养在牛粪中和生活有机垃圾中。

1.2.2 亚硒酸钠处理

在饲养蚯蚓的牛粪饵料中加入不同浓度的亚硒酸钠: (1) 对照, 不加亚硒酸钠; (2) 加入 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的亚硒酸钠; (3) 加入 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的亚硒酸钠; (4) 加入 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的亚硒酸钠。

1.2.3 铜矿尾矿砂处理

在饲养蚯蚓的牛粪饵料中加入不同比例的德兴铜矿尾矿砂, 形成如下的试验处理: (1) 对照, 不加德兴铜矿的尾矿砂; (2) 加 1% 的尾矿砂; (3) 加 2% 的尾矿砂; (4) 加 3% 的尾矿砂; (5) 加 5% 的尾矿砂。

1.3 饲养方法

取口径为 12 cm、底部有透气孔的塑料盆, 在盆底垫一层纱布, 保证透气性良好; 再铺一层潮湿的泥土,

防止蚯蚓从底部钻出;然后分别装入不同浓度亚硒酸钠或不同比例的德兴铜矿尾矿砂处理的牛粪各 300 g,每个处理梯度做 3 个重复。之后在各盆中分别放入 100 条蚯蚓,盆上做好标记。将它们放在阴凉的暗处培养,定期喷射少量的水以保持饵料的湿度。实验在室温下进行。

1.4 测定方法

1.4.1 主要金属元素测定

从在牛粪和生活垃圾中将饲养一个月后的各处理蚯蚓取出,采用参考文献[5]方法,测定金属含量。

1.4.2 富硒和富铜测定

每隔两周换一次蚯蚓的饵料,并记录每个盆中的蚯蚓现存条数,在万分之一的电子天平上称重,同时从各处理每盆中随机取出 15 条蚯蚓样品留做测硒或测铜用。采用参考文献[5]方法,测定铜和硒。

1.5 数据统计分析

利用所得数据在 Excel 和 SPSS 软件上进行统计分析,分析蚯蚓对硒和铜的富集作用。

2 结果分析

2.1 蚯蚓对金属元素的富集作用

以牛粪饵料和以生活有机垃圾为饵料所饲养出来的蚯蚓体内重金属含量测定结果(表 1)表明:蚯蚓体内硒(Se)为 3.97—4.24 mg·kg⁻¹,铜(Cu)为 16—21.5 mg·kg⁻¹,锌(Zn)为 94.51—119 mg·kg⁻¹,它们的含量较丰富;但蚯蚓体内 As、Hg 和 Pb 含量超过国家保健食品的标准(As 的标准为 1.0 mg·kg⁻¹,Hg 为 0.3 mg·kg⁻¹,Pb 为 1.5 mg·kg⁻¹)^[5],且生活在有机垃圾中的蚯蚓重金属含量高于商品化牛粪饲养中的蚯蚓。

表 1 饲养在牛粪和生活垃圾中蚯蚓体内重金属等元素含量(mg·kg⁻¹)

Table 1 The main contents of several metals in earthworm raised with cattle manure and organic wastes, respectively. (mg·kg⁻¹)

重金属	以牛粪饲养的蚯蚓	以垃圾饲养的蚯蚓
Cu	16	21.5
Se	3.97	4.24
As	18.91*	28.8*
Hg	0.385*	0.456*
Pb	1.98*	2.90*
Zn	94.51	119

* 表示超过了国家保健食品通用卫生标准^[5]。

2.2 对硒的富集作用

对饲养在不同浓度亚硒酸钠的饵料中的蚯蚓体

内含硒量测定结果(表 2)表明,蚯蚓对硒具有很强的富集能力,而且随着时间的延长,蚯蚓体内的硒含量逐渐增加,其中饲养到 84 d 时,蚯蚓体内的含硒量为 195.7—332.5 mg·kg⁻¹。但不同的浓度增加的幅度不一样。与对照相比较,200 mg·kg⁻¹ 的增加最快,蚯蚓对硒的富集作用最明显,而 100 mg·kg⁻¹ 的硒含量增加较慢甚至比对照还低。由于高浓度的硒对蚯蚓有很大的毒害作用,因此当蚯蚓饲养在 300 mg·kg⁻¹ 亚硒酸钠饵料中 84 d 时全部死亡。蚯蚓对硒的富集分数(即现有的含硒量与初始的含硒量相比)为 50.83—86.36。F 方差分析表明,各处理浓度之间硒含量差异显著(P=0.02),各观测时间之间差异极显著(P=0.001)。即饵料中亚硒酸钠浓度越大,蚯蚓体内硒含量越大;时间越长,蚯蚓所富集的硒越多。

表 2 饲养在不同浓度亚硒酸钠的牛粪中蚯蚓体内硒含量(mg·kg⁻¹)

Table 2 The contents of selenium in earthworm raised with cattle manure mixed with various contents of sodium selenite(mg·kg⁻¹)

处理	0 d	28 d	42 d	70 d	84 d	富集系数
CK	3.85	32	94	150	228	59.22
100 mg·kg ⁻¹	3.85	20	61	97.1	195.7	50.83
200 mg·kg ⁻¹	3.85	34	118	187.85	332.5	86.36
300 mg·kg ⁻¹	3.85	36	148.7	241.13	—	62.63

注:富集系数除 300 mg·kg⁻¹ 处理以第 70 d 测定时的含硒量计算外,其它均以 84 d 测定值计算。

2.3 对铜的富集作用

由于铜矿尾矿砂中含有高浓度的铜(2 524 mg·kg⁻¹),将饲养蚯蚓的牛粪饵料中加入不同比例的尾矿砂饲养蚯蚓,发现蚯蚓对铜的富集能力也很强,随着饲养时间拉长,蚯蚓体内铜的富集量呈现出增加的趋势,且以牛粪:尾矿砂为 8:2 和 7:3 时富集量最高。在 90 d 时,体内含铜量为 57.5—1 218.4 mg·kg⁻¹,以组织内含铜量 1 218.4 mg·kg⁻¹ 计算,相当于体重的 0.12%,富集系数为 2.4—51.2(表 3)。

3 小结与讨论

(1) 本研究结果表明,蚯蚓体内重金属含量较高,均超过了国家规定的作为保健食品的标准,因此,应通过合理的措施,去除其内的重金属,而不宜直接食用蚯蚓,以免引起慢性中毒。正因为如此,我们国家很多中药材因重金属超标而不能出口。随着我国加入 WTO,有关蚯蚓重金属污染问题,应引起重视。

(2) 通过蚯蚓对硒和铜的富集能力比较研究,发现蚯蚓对硒和铜的富集能力均很强,而且随着饲养的

表3 饲养在不同比例的尾矿砂中的蚯蚓体内
含铜量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 3 The contents of cooper in earthworm raised with cattle manure mixed with various contents of tailing sand

from a cooper mine ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	0 d	15 d	30 d	60 d	90 d	
100%牛粪	23.8	59.3	62.0	59.9	82.5	(3.5)
9:1牛粪:尾矿砂	23.8	28.8	973.0	782.3	972.5	(40.9)
8:2牛粪:尾矿砂	23.8	458.8	453.0	1 376.9	1 218.4	(51.2)
7:3牛粪:尾矿砂	23.8	526.3	833.1	416.7	562.5	(23.6)
5:5牛粪:尾矿砂	23.8	221.3	545.1	296.8	700.0	(29.4)

注:括号内值为90 d时的富集系数。

时间拉长,蚯蚓对硒和铜的富集量也逐渐增加,其中富集铜的含量和富集系数均比富集硒的要高,这可能与硒对生物有机体的毒性较大有关。事实上,当蚯蚓在含有 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 亚硒酸钠饵料时第 84 d 全部死亡;而在含有 50% 的尾矿砂饵料中在 105 d 时仍存活着。

(3) 硒是生物有机体必需的微量元素,而铜是矿

山废弃地的有毒物质。蚯蚓对硒和铜的富集能力很强,在本试验中,其最高富硒量和富铜量可达到 $332.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1 367.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别相当于其体重的 0.03% 和 0.12%。因此可以通过蚯蚓富硒作用生产高硒产品,作为人类食品;通过蚯蚓富铜作用去除矿山中的有毒物质(如铜),改良土壤。此外,还可以用蚯蚓作为土壤重金属的监测指示物。

参考文献:

- [1] Edwards C A, Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworm*. Chapman Hall. London. 1996.
- [2] Edwards C A. *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press, 1998.
- [3] GE Feng(戈峰), Shuster W D, Edwards C A, et al. The Aggregate stability of casts produced by earthworm in animal manure and inorganic fertilizer amended soil agroecosystem[J]. *Pedobiologia*, 2001, 45: 12-26.
- [4] Marinissen J C Y and de Ruiter P C. Contribution of earthworms to carbon and nitrogen cycling in agro-ecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1993, 47: 59-74.
- [5] 吕圭源,王 涛. 中药新产品开发学[M]. 北京:人民卫生出版社, 1997. 424-958.

(上接第 15 页)

消减作用,混合处理较隔层处理对 Cr 的抑制更明显。实验用粉煤灰含 Cr 量略高于土壤,淋溶液中 Cr 的浓度相对较大,为 $1.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,这与 Cr 在粉煤灰颗粒中的赋存状态、淋溶液的碱性和所处的还原状态有关。As 的移动度在其它处理中很低,但与煤矸石混合处理措施有助于增加 As 的移动性。

2.3.3 P、Fe、Zn、Cd、Cu 的淋溶特征

由于淋溶液的 pH 值较高,Fe、Zn、Cd、Cu 在上述 3 种处理措施下移动度极低,在淋溶液中基本检测不到。淋溶液中 P 的含量很低,但在长时间淋溶作用下,与煤矸石混合可增加 P 的淋溶。

3 结论

由于粉煤灰的元素富集特性,粘粒成分又少,故粉煤灰中大部分元素在淋溶液中含量高,淋溶作用强烈。因此,粉煤灰在干旱半干旱地区土壤水的蒸发作用下,可使盐分在覆盖土壤表层积累,对作物的正常生长极为不利。

根据粉煤灰淋溶液中元素的绝对含量,可将各元素分为强淋溶元素、弱淋溶元素和极弱淋溶元素。大多数污染重金属元素在淋溶液中的含量极低,为极弱

淋溶元素。

实验粉煤灰中 Cd 的含量很高,但其移动性很弱,淋溶液中检测不到。只有 Cr 的含量略高,掺土处理及土壤层处理均可有效地减低土壤溶液中 Cr 的含量。

粉煤灰 pH 较高,与土壤均匀混合、设置土层以及煤矸石混合,利用土壤巨大的缓冲能力和煤矸石中 S 份,均可不同程度地减小粉煤灰的 pH 值。

粉煤灰虽然具有较高的重金属含量,但由于粉煤灰及土壤均为碱性,因此,污染重金属在淋溶液中的含量极低。但另一方面,这也影响了植物对 Cu、Zn 等必需营养元素的吸收。

参考文献:

- [1] 赵玉萍. 土壤化学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1991. 345, 387.
- [2] Wei Zhongyi, Hu Zhenqi, et al. The leaching characteristics of soil elements on reclaimed land filled with flyash - Beijing International Symposium on Land Reclamation. China Coal Industry Publishing House, 2000: 225-230.
- [3] Wadge A, Hutton M. The leachability and chemical speciation of selected trace elements in fly ash from coal combustion and refuse incineration[J]. *Environment Pollution*, 1987, 34: 48-76.