

重金属污染对土壤动物的影响

杨旭¹, 向昌国², 刘志霄²

(¹湖北生态工程职业技术学院, 湖北武汉 430200; ²吉首大学旅游学院, 湖南张家界 427000)

摘要:随着工业污染的加剧和农用化学物质的增加, 土壤中的重金属污染日益严重, 其中一部分重金属残留物被土壤动物吸收和富集后, 通过食物链对动物和人类健康造成了很大的威胁。该文在讨论重金属富集特性的基础上, 从个体、种群及群落水平上综合分析了重金属污染对土壤动物的毒害作用, 并论述了土壤动物对重金属污染的解毒策略, 最后从重金属污染的毒性测定方法、复合污染机制、分子机理研究和土壤动物的生态恢复作用等几个方面, 阐述了当前研究主要动态和今后的发展趋势, 旨在为今后的研究提供参考依据。

关键词: 重金属污染; 土壤动物; 富集; 毒性毒理; 解毒策略

中图分类号: X503 **文献标识码:** A

Effect of Heavy Metal Pollution on Soil Animals

Yang Xu¹, Xiang Changguo², Liu Zhixiao²

(¹Hubei Ecology Vocational College, Wuhan, Hubei 430200;

²Tourism College of Jishou University, Zhangjiajie, Hunan 427000)

Abstract: With aggravation of industrial pollution and increase of agricultural chemical material, the problem of heavy metal pollution becomes more and more serious in soil; soil animals can absorb and accumulate part of residue of heavy metal which threatens health of animals and human through food chain. On the basis of discussion of Characteristics of heavy metals enrichment, the author analysis comprehensively toxic effect on the soil animals of heavy metal from individual, population and community level and detoxification strategy of soil animal in soil which is polluted by heavy metal. Finally, in order to provide a reference for further studying, the author analyzed these issues existed and forecast the research trends in terms of methods to detect toxicity of heavy metals, combined pollution mechanisms, research of molecular mechanisms and soil animals' ecological restoration function.

Key words: heavy metal pollution, soil animals, accumulation, toxicity, detoxicity strategy

随着工农业的迅速发展, 重金属引起的环境污染问题也随之出现。重金属在土壤中不易随水淋滤, 也不易被微生物降解, 常在土壤中积累, 当土壤中的有害重金属含量积累到一定程度时就会影响土壤生态系统的稳定性, 并可通过食物链途径而危及人类的健康^[1]。而土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分, 对重金属污染反应敏感, 是环境监测的重要指示种, 可为土壤质量评价和环境风险评估提供生物学指标^[2]。因此, 重金属污染对土壤动物的影响研究一直是国际上的热点研究课题, 笔者着重阐述了这一方面的研究进展, 希望能

为今后的研究工作提供有益的参考。

1 影响土壤动物富集重金属的因素

土壤中的有毒重金属能够通过各种途径富集到土壤动物体内, 而土壤动物处于食物链的下层, 且数量巨大, 因此其体内的重金属富集量直接影响到整个生态系统的健康水平。从当前的研究进展来看, 其富集量主要与以下几个方面的因素有关。

1.1 与土壤特性有关

重金属是具有潜在危害的污染物, 被土壤中的有机体吸收利用后能产生显著的毒性效应, 但其可利用

基金项目: 湖南省教育厅项目“张家界景区土壤生物多样性演变及其对策”(069C49)。

第一作者简介: 杨旭, 男, 1982 年出生, 湖南长沙人, 硕士, 从事土壤生态学研究, 已发表论文 3 篇。通信地址: 430200 湖北省武汉市江夏区纸坊大街 110 号, E-mail: yang520xu@163.com。

收稿日期: 2008-04-07, **修回日期:** 2008-09-24。

性仅取决于其有效态含量^[3]。而重金属的有效态含量在不同特性的土壤中会处于一种动态平衡^[4,5],直接影响到土壤动物体内的重金属富集量。例如,在有机质含量高的土壤中 Pb 的有效态含量显著更低,土壤动物体内的 Pb 富集量也明显偏低;而在 pH 值较低的土壤中, Pb 的有效态含量却显著偏高^[6]。Laing 等^[7]也发现蜘蛛 (*Pirata piraticus*) 体内的 Cd, Cu 和 Zn 含量与土壤中的氯化物含量呈负相关性,并且这些化合物之间的阳离子置换率也能影响重金属的生物有效性。

1.2 与土壤动物的空间分布有关

土壤动物在各土层中的分布极不均匀,因此其重金属富集量也显著不同。Morgan 等^[8]对废弃 Pb/Zn 矿土壤中蚯蚓的重金属 (Pb, Cd, Zn, Cu) 富集量进行测定,发现表层种 (*Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*) 有最高的 Pb 和 Cd 富集量,深穴居种 (*Lumbricus terrestris*, *A. caliginosa*) 则是 Zn 富集量最高,这可能是由于各物种具有不同的生理特性和环境适应性所造成的。另一方面,从土壤动物的水平分布来看,不同污染强度下土壤动物对重金属的富集量也显著不同。很多研究者通过超声波和乙酸提取、DTPA 提取、原子光谱吸收等方法对土壤动物的重金属含量进行了测定^[9-12],都得到了相似的结果:随着与污染源距离的增加,土壤动物体内的重金属富集量显著降低。

1.3 与土壤动物的取食习性有关

土壤动物的种类和数量繁多,不同的食物来源和摄食行为可能是各物种间重金属富集量存在差异的主要原因。Cheung 等^[13]观察了蜗牛 (*Nassarius festivus*) 的取食行为,发现它更喜欢取食含 Zn 的食物,而对含 Cu 的食物则不敏感。此外,土壤动物的取食量与重金属的富集量也有显著的相关性。Hobbelen 等^[14]发现蚯蚓 (*L. rubellus*) 的食物消耗量与其体内的 Cd 和 Zn 富集量呈正相关性,其原因可能是蚯蚓在调节体内重金属含量和解毒过程中需消耗更多的能量所致。

2 重金属污染对土壤动物的毒性影响

土壤动物对重金属具有一定的耐受限度,但当重金属含量超过这一限度时就会产生毒性效应,影响正常的生理功能和群落结构。近年来对土壤动物的生态毒理毒性研究已有相当广泛的报道,为土壤毒性评价和环境风险评估提供了重要依据。

2.1 对土壤动物个体的生理毒性影响

土壤动物各生理阶段的重金属富集量存在显著差异,因此对不同的生长和繁殖阶段产生的毒性影响也不尽相同。Reinecke 等^[15]发现 Pb 污染对蚯蚓的茧产出率并无显著影响,但对其生存力却影响很大。Salminen

等^[16]研究了线蚓 (*Cognettia sphagnetorum*) 对 Cu 的抵抗性,发现污染样地中成体线蚓偏小,且比幼体更能适应污染环境。此外,重金属污染还能破坏组织细胞的微结构,使酶活动异常,影响 DNA 的修复能力。郭永灿^[17]和王振中^[18]观察到重金属对蚯蚓体壁、胃肠道及细胞微结构会产生严重损伤,并且能够抑制蚯蚓酯酶的活性和激活过氧化物酶的活性,影响机体的正常生理功能,进而导致病变。这些病理特征的定性研究为重金属的毒性评价提供了重要的生物学指标。

2.2 对土壤动物群落结构的毒性影响

重金属污染对土壤动物群落结构和功能具有一定的制约性和破坏性,在这方面开展的研究工作较多,得出的分析结果也基本一致,就是随着重金属污染的加重,群落结构呈现简单化和不稳定化,土壤动物的种类和数量逐渐减少,优势类群和常见类群也明显减少^[19,20]。此外,Georgieva 等^[21]发现重金属污染对线虫的生活史策略影响较大,k 策略个体明显减少,而 r 策略个体显著增加。因此,土壤动物群落结构的变化可明显反应出土壤污染状况,对环境污染的早期预示具有重要的作用。

3 土壤动物的解毒策略

某些种类能够在重金属污染环境生存,并保持正常生理功能,说明其对有毒物有特殊的解毒策略。大量研究表明,土壤动物富集的重金属主要集中在食管、中肠、肝脏、肾脏,进入消化系统的有毒物可能就是在这些富集部位中经过某种特殊的处理方式,而使其毒性降低或直接排出体外,但是其解毒机制尚未有较为深入和全面的研究。近来许多研究者将注意力集中在酶活性方面,Chabicoovsky 等^[22]发现蜗牛 (*Helix pomatia*) 的肝胰腺和肠是主要的 Cd 富集部位,并且是金属硫蛋白(MT)异型体(Cd-MT)mRNA 表达的主要器官,Cd 与 MT 结合后毒性显著降低。Wilczek 等^[23](2004)发现在重金属污染土壤中,雌性蜘蛛 (*A. labyrinthica*) 的谷胱甘肽过氧化物酶(GPOX 和 GST-Px)活性和雄性蜘蛛 (*Pardosa lugubris*) 的谷胱甘肽 S-转移酶(GST)活性显著更高,研究者认为重金属污染的解毒策略可能有性别依赖性。从这些研究结果可以看出,土壤动物能够调节部分酶的活性水平,解除或减轻重金属的毒性影响。

另一方面,回避反应也能够使土壤动物免受有毒物的侵害,但不同种类对有毒物作出的响应又有差异。比如蚯蚓 (*Aporrectodea tuberculata*) 能够避开 Cu/Zn 污染的土壤^[24];甲螨类 (*Platynothrus peltifer*),弹尾类 (*Orchesella cincta*, *Folsomia candida*) 则对 Cd 毒性反

应敏感^[25];而等足类(*P. scaber*)也能够选择Cu含量低的食物来避免有毒物的侵害^[26]。这些土壤动物通过选择不同的栖息环境来避开重金属的毒性影响,大大减少了其体内的重金属富集量。

4 展望

土壤动物种类繁多,多样性丰富,研究难度较大,许多研究方向还处于初步探索阶段,试验结果有待进一步补充和完善,笔者认为应从以下几个方面开展研究工作。

(1) 重金属毒性测定方法

目前对土壤动物重金属富集度毒性的研究主要集中在少数种类,且缺乏标准的测定方法,在一定程度上增加了试验的误差性和有效性。有人对重金属急性毒性试验方法做过一些研究,发现有有毒物的处理时间^[27]、存在形式^[28]等都能够影响试验结果,而且实验室与野外的毒性试验结果相比较也存在一定的差异性。因此,确定标准的重金属毒性测定方法将是研究工作中首要解决的问题。

(2) 重金属的复合污染机制

多种重金属共存时会产生协同、加和、拮抗等作用,这些因素都影响了重金属的生物有效性,对土壤造成不同程度的污染。有关重金属复合污染的研究已有不少报道,但是由于复合污染的作用机制较复杂,有关土壤动物方面的毒性影响研究还处于初步阶段,在今后的工作中有待进一步发展和完善。

(3) 重金属污染的分子机理研究

近年来对土壤动物的个体、种群及群落上的生态毒理效应开展了广泛的研究,从宏观水平上取得了一定的研究进展;但是从微观水平来看,重金属胁迫下基因或细胞调控方面的研究较少,这种分子循环机制方面的研究必将成为今后污染生态学的重要研究内容。

(4) 土壤动物的生态恢复作用

为了保持土壤原有的生态结构,利用生物修复技术来治理重金属污染一直是进行土壤改良研究的热点,对生态环境的重建与恢复具有重要意义。大量研究表明,重金属污染环境下,土壤动物有利于改善土壤结构,增强土壤肥力,提高植物对重金属的吸收和富集效率。但是目前主要的研究对象是蚯蚓和线虫,而对于其它种类和类群的修复作用所知甚少。在今后的研究中,应逐步拓宽研究领域,不断补充和完善生物修复理论。

参考文献

- [1] 刘宗平.环境重金属污染物的生物有效性.生态学报, 2005, 25(2): 273-278.
- [2] Ma W.C.Critical body residues (CBRs) for ecotoxicological soil quality assessment: copper in earthworms. *Soil Biology*, 2005, 37: 561-568.
- [3] Lanno R., Wells J., Conder J., et al.The bioavailability of chemicals in soil for earthworms *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004, 57(1):39-47.
- [4] Vijver M.G., Vink J.P., Jager T., et al.Kinetics of Zn and Cd accumulation in the isopod *Porcellio scaber* exposed to contaminated soil and/or food. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7):1554-1563.
- [5] Vijver M.G., Vink J.P.M., Jager T., et al.Biphasic elimination and uptake kinetics of Zn and Cd in the earthworm *Lumbricus rubellus* exposed to contaminated floodplain soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(10):1843-1851.
- [6] Corp N., Morgan A.J. Accumulation of heavy metals from polluted soils by the earthworm, *Lumbricus rubellus*: Can laboratory exposure of 'control' worms reduce biomonitoring problems? *Environmental Pollution*, 1991, 74(1):39-52.
- [7] Laing G.D., Bogaert N., Tack F. M.G., et al. Heavy metal contents (Cd, Cu, Zn) in spiders (*Pirata piraticus*) living in intertidal sediments of the river Scheldt estuary (Belgium) as affected by substrate characteristics. *The Science of the Total Environment*, 2002, 289 (1~3): 71-81.
- [8] Morgan J E., Morgan A J.Heavy metal concentrations in the tissues, ingesta and faeces of ecophysiologicaly different earthworm species. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, 24 (12):1691-1697.
- [9] Dai J., Becquer T., Rouiller J.H., et al.Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(1): 91-98.
- [10] Lukkari T., Taavitsainen M., Väisänen A., et al.Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004, 59(3):340-348.
- [11] Skubala P., Kafel A.Oribatid mite communities and metal bioaccumulation in oribatid species (Acari, Oribatida) along the heavy metal gradient in forest ecosystems. *Environmental Pollution*, 2004, 132(1): 51-60.
- [12] Vliet P.C.J., Zee S.E.A., Ma W.C.Heavy metal concentrations in soil and earthworms in a floodplain grass land.*Environmental Pollution*, 2005, 138(3):505-516.
- [13] Protz R., Teesdale W.J., Maxwell J.A., et al.Earthworm transport of heavy metals from sewage sludge: a micro-PIXE application in soil science. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1993, 77(1~4): 509-516.
- [14] Cheung S. G., Tai K. K., Leung C. K., et al. M.Effects of heavy metals on the survival and feeding behaviour of the sandy shore scavenging gastropod *Nassarius festivus* (Powys). *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 45(1~12):107-113.
- [15] Reinecke A.J., Reinecke S.A., Maboeta M.S.Cocoon production and viability as endpoints in toxicity testing of heavy metals with three earthworm species. *Pedobiologia*, 2001, 45(1):61-68.
- [16] Salminen J., Haimi J.The asexual enchytraeid worm *Cognettia sphagnetorum* (Oligochaeta) has increased Cu resistance in polluted soil. *Environmental Pollution*, 2001, 113(2):221-224.

- [17] 郭永灿,王振中,张友梅.重金属对蚯蚓的毒性毒理研究.应用与环境生物学报, 1996, 2(1):132-140.
- [18] 王振中,张友梅,胡觉莲,等.土壤重金属污染对蚯蚓(*Opisthopora*)影响的研究.环境科学学报,1994, 14(2):236-243.
- [19] Nahmani J., Lavelle P., Lapied E., et al.Effects of heavy metal soil pollution on earthworm communities in the north of France:The 7th international symposium on earthworm ecology. *Pedobiologia*, 2003, 47(56):663-669.
- [20] Maboeta M. S., Reinecke S. A., Reinecke A. J.Linking lysosomal biomarker and population responses in a field population of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta) exposed to the fungicide copper oxychloride. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 56 (3): 411-418.
- [21] Georgieva S.S., McGrath S.P., Hooper D.J., et al. Nematode communities under stress: the long-term effects of heavy metals in soil treated with sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 2002, 20(1):27-42.
- [22] Chabicoovsky M., Niederstätter H., Thaler R, et al.Localization and quantification of Cd- and Cu-specific metallothionein isoform mRNA in cells and organs of the terrestrial gastropod *Helix pomatia*. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2003, 190(1):25-36.
- [23] Wilczek G., Babczyńska A., Augustyniak M., et al.Relations between metals (Zn, Pb, Cd and Cu) and glutathione-dependent detoxifying enzymes in spiders from a heavy metal pollution gradient. *Environmental Pollution*, 2004, 132(3):453-461.
- [24] Lukkari T., Haimi J.Avoidance of Cu- and Zn-contaminated soil by three ecologically different earthworm species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 62(1):35-41.
- [25] Crommentuijn T., Doodeman C. J. A. M., Vanderpol J. J. C., et al. Sublethal Sensitivity Index as an Ecotoxicity Parameter Measuring Energy Allocation under Toxicant Stress: Application to Cadmium in Soil Arthropods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1995, 31 (3):192-200.
- [26] Zidar P., Drobne D., Strus J., et al.Food selection as a means of Cu intake reduction in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda). *Applied Soil Ecology*, 2004, 25(3): 257-265.
- [27] Davies N.A., Hodson M.E., Black S.Is the OECD acute worm toxicity test environmentally relevant? The effect of mineral form on calculated lead toxicity.*Environmental Pollution*, 2003, 121(1):49-54.
- [28] Davies N.A., Hodson M.E., Black S.The influence of time on lead toxicity and bioaccumulation determined by the OECD earthworm toxicity test.*Environmental Pollution*, 2003, 121(1):55-61.