

贵州郑家小洞内动物重金属含量 及与土壤和水体的关系研究

徐承香,黎道洪,梅杰

(贵州师范大学生命科学学院,贵州 贵阳 550001)

摘要:通过对安顺郑家小洞内的动物和重金属污染进行调查研究,共获动物标本551号,隶属3门6纲10目20科29种(或类群)。对5个动物类群(蝶类、马陆、斑灶马、蝙蝠粪和山蛰虫)、洞穴土壤和洞穴水的重金属含量进行了测定,研究了各动物类群的富集系数和洞穴土壤的污染指数并进行了评价。结果显示蝙蝠粪便中Zn的含量最高(670.5 mg/kg),间接说明了洞穴外围环境中的Zn污染较为严重,马陆对Ni与斑灶马对Cr和Ni无富集能力。各元素在3个光带土壤中的平均值含量都超过了我国的土壤背景值,按顺序排列为 $Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > As > Hg > Cd$,水体为 $Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Hg > As > Cd$ 。单项污染指数表明Hg、Ni和Zn为重污染,在3个光带中的平均值分别为5.11、3.18和3.20。从综合污染指数看,3个光带的平均值为2.17,属轻污染,说明该洞穴有重金属污染但不严重。

关键词:洞穴动物;重金属含量;郑家小洞;贵州省

中图分类号:Q958.118

文献标识码:A

0 引言

研究洞穴动物重金属含量及与土壤和水体的关系可对洞穴土壤和水体的质量评价和污染监测提供重要依据,对探讨和确保洞穴水流域发达地区农作物净化及人体健康均具有重要的科学和实践意义。关于洞穴动物的形态分类和多样性等的研究在国内外均有不少报道^[1,2],对地表动物重金属含量及相关内容的报道也较多。如在国外,研究重金属对动物的毒害作用^[3]、重金属污染与线虫群落结构的关系^[4]、线虫对铜的耐受性及线虫关键种的指示作用^[5,6]、对有壳变形虫作为指示生物的研究^[7]、重金属对纤毛虫的毒性顺序研究^[8]、近20年来国际上用蚯蚓作为重要土壤污染物的指示动物研究^[9]、土壤重金属含量与蚓体含量的相关关系研究^[10]等;在国内,如土壤原生动物对环境污染的生物指示作用研究^[11]、土壤线虫对环境污染的指示作用研究^[12]、应用甲螨监测土壤污染的研究^[13]、研究重金属污染对土壤动物群落的生态

影响^[14]、湖南省清水塘工业区重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究^[15]、湘江流域工业污染源对农田生态系统土壤动物群落影响的研究^[16]、土壤重金属污染对蚯蚓(*Opisthopora*)影响的研究^[17]、蚯蚓在德兴铜矿废弃地生态恢复中的作用研究^[18],以及环境重金属污染监测研究的指示物——大型野生哺乳动物、鸟类和花粉虫媒^[19]、环境重金属污染监测研究的指示物——小型野生哺乳动物和土壤动物^[20]等的研究。但是,关于研究喀斯特洞穴动物重金属含量及相关的内容在国内外未见相关报道。为此,我们对贵州郑家小洞内洞穴动物重金属含量及与土壤和水体的关系进行了研究,现将研究结果报道如下。

1 环境概况

郑家小洞位于安顺市七眼桥镇郑家屯村,为一穿洞,洞口开于半山腰,前洞口的地理位置为东经106°01'30.7",北纬26°17'13.6",海拔1 372 m。洞口周围主

基金项目:国家自然科学基金(N:30560024)、贵州省基金(黔科合J字[2008]2013号)、贵州省教育厅自然科学基金(黔科教2006205)

第一作者简介:徐承香(1984—),女,在读硕士研究生,研究方向:洞穴动物学。E-mail:xcxiang119@163.com。

通讯作者:黎道洪(1952—),男,教授,研究方向:洞穴动物学和动物生态学。E-mail:daohongli88@163.com。

收稿日期:2009-08-19

要为灌丛,洞口前的乔木主要为柏树。洞口为人工砖砌门,高2 m,宽1.25 m。全洞长345 m,有光带长11 m,最宽处7.1 m,分布的植物主要为苔藓、地衣和藻类,如小高山苔 *Athalamia nana*、羊角藓 *Herpetineuron toccoeae*、长松萝 *Usnea longissima*、槽梅衣 *Parmelia sulcata*、山地隐球藻 *Aphanocapsa montana* 和韧氏席藻 *Phormidium retzii* 等。从洞口往里,洞体向下倾斜,洞底为石梯,泥土较少,洞顶有少量石钟乳,有滴水,滴水pH值5.5,温度19℃,湿度88%。弱光带长17.2 m,最宽处8.3 m,只分布有少量的藻类植物,洞底为石阶路,泥土较少,洞顶钟乳石较发育,有少量较大石柱,滴水较多,滴水pH值5.5,温度18℃,湿度91%。黑暗带长295 m,最宽处13 m,无植物分布,洞顶钟乳石很发育,石柱较多,洞底主要为碳酸钙沉积且石笋较发育,滴水丰富,洞内很潮湿,滴水pH值5.5,温度11℃,湿度95%。后洞口有光带和弱光带的环境概况与前洞口方向基本相同故不详述。该洞发育在东北向贵阳—安顺复向斜西段,下三叠统安顺组中厚层的白云岩中,岩层产状为125°∠5°。全洞无支洞,为单一洞道,多具串珠状厅室,横剖面以椭圆和近圆形为主。

2 研究方法

2009年6月下旬赴安顺郑家小洞进行实地调查,调查的动物对象主要是肉眼能看到的软体动物、节肢动物和脊索动物。用上海JD-3型数字式照度计测量洞穴内不同洞段的光照度,根据各洞段接受光照强度的不同将整个洞穴划分为3个光带,即有光带、弱光带和黑暗带。有光带为洞口段,光照度一般在10个lx以上,是太阳光直接照射的区域,也叫直射光带;弱光带的光照度一般在0.1~10个lx之间,此光带是洞内入射光反射后所照射到的区域,也叫反射光带;黑暗带的光照度在0~0.1个lx。采集标本样点分别设置在洞底、洞壁和洞顶,面积大小为9 m²(3 m×3 m)。洞穴的地理坐标用美国生产的奇遇(eTrex Venture)GPS接收机进行测定;温、湿度采用北京亚光仪器有限公司生产的JWS A2-2型温湿度表测定;洞穴水pH值用精密pH试纸测定;土壤样品的收集分别在有光带、弱光带和黑暗带洞底进行,通过梅花型取样法取混合土样1kg带回室内检测分析;分别在各光带取洞穴积水500 mL。土壤样品经风干、研磨,过100目筛,然后进行定容处理,最后用AA800原子吸收光谱仪和6300原子荧光仪检测其重金属元素的含量;水样经消解、定容处理,然后用AA800原子吸收光谱仪和6300原子荧光光谱仪检测其重金属元素的含量;动物样品经清洗、烘干、研磨、消解、定容,然后用

AA800原子吸收光谱仪和6300原子荧光光谱仪检测其重金属元素的含量。本文重金属元素的研究对象主要是我国土壤环境质量标准(GB15618-1995)中限定含量的8种,即汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)、锌(Zn)、铜(Cu)和镍(Ni)。

3 结果与分析

3.1 种类组成和相对数量

通过野外调查和对动物标本的采集,共获各类动物标本551号,经鉴定和分类,共计有29种(或类群),隶属3门6纲10目20科,种类组成和相对数量见表1。

表1 郑家小洞内动物的种类组成和相对数量
Tab. 1 Species composition and relative number of animal in the Zhengjia small cave

动物类群	有光带	弱光带	黑暗带	百分比 /%
钻头螺科 Subulinidae				
索形钻头螺 <i>Opeas funicularae</i>	4			0.73
柑卷轴螺 <i>Tortaxis mandarinus</i>	40	6		8.35
烟管螺科 Clausiliidae				
八褶管螺 <i>Phaedusa delavayana</i>	5			0.91
江西丽管螺 <i>Formosana kiangsiensis</i>	35			6.35
太平丽管螺 <i>F. pacifica</i>	21			3.81
伏氏真管螺 <i>Euphaedusa fitzgeraldae</i>	47			8.53
双真管螺 <i>E. gemina</i>	32			5.81
坚齿螺科 Camaenidae				
皱巴坚螺 <i>Camaena cicatricosa</i>	1			0.18
巴蜗牛科 Bradybaenidae				
小腰石螺 <i>Chalepotaxis infantilis</i>	27	10		6.72
原来大脐蜗牛 <i>Aegista initialis</i>	2			0.36
灰巴蜗牛 <i>Bradybaena ravida</i>	2	3		0.91
平顶巴蜗牛 <i>B. strictotaenia</i>	2	5		1.27
拟锥螺 <i>Pseudobuliminus sp.</i>	2			0.36
瞳孔蜗牛科 Corillidae				
窄唇圆螺 <i>Plectopylis stenocila</i>	1			0.18
潮虫科 Oniscidae				
粗糙鼠妇 <i>Porcellio scaber</i>	4	12		2.90
暗蛛科 Amaurobiidae				
阴暗隙蛛 <i>Coelotes luctuosus</i>		2	5	1.27
弱蛛科 Leptonetidae				
弱蛛 <i>Leptometa sp.</i>		3	4	1.27
球蛛科 Theridiidae				
温室希蛛 <i>Achaearanea tepidariorum</i>		5	3	1.45
跳蛛科 Salticidae				
条纹蝇虎 <i>Plexippus setipes</i>		2	2	0.73
山蛭科 Spirobolidae				
山蛭虫 <i>Orthomorpha sp.</i>	8	3		2.00
雕饰姬马陆科 Glyptiulidae				
雕饰姬马陆 <i>Glyptiulus valgatus</i>	2	8	24	6.17
奇马陆科 Paradoxosomatidae				
奇马陆 <i>Kronopus sp.</i>	4	5	21	5.44
角囊马陆科 Cambalidae				
角囊马陆 <i>Podoglyptus sp.</i>	2	7	13	3.99

续表 1

动物类群	有光带	弱光带	黑暗带	百分比 /%
驼螭科 Rhabdophoridae				
斑灶马 <i>Diestrarmena marmorata</i>	5	26	29	10.89
步甲科 Carabidae				
步甲 <i>Onycholabis sp.</i>	2			0.36
夜蛾科 Noctuidae				
涂闪夜蛾 <i>Sypna picta</i>		5	8	2.36
大蚊科 Tipulidae				
大蚊 <i>Tipula sp.</i>	32	17	15	11.62
蹄蝠科 Hipposideridae				
大蹄蝠 <i>Hipposideros armiger</i>		16		2.90
菊头蝠科 Rhinolophidae				
栗黄菊头蝠 <i>Rhinolophus rouxi</i>			12	2.18
合 计	280	135	136	100.00

注:10%以上表示优势种或类群,1%~10%表示普通种或类群,1%以下表示稀有种或类群。

从表 1 看出,郑家小洞内的动物种类或类群组成较丰富(29 种或类群),从科这个水平看,优势类群为烟管螺类、大蚊类和驼螭类,分别占总捕获数的 25.41%、11.62%和 10.89%。从水平分布看,有光带的数量最多(280 号),黑暗带次之(136 号),弱光带最少(135 号),分别占总捕获数的 50.82%、24.68%和 24.50%。

3.2 郑家小洞主要动物类群体内、土壤和水体中重金属含量分析

由于有的动物种类其捕获数量极少,故只测定数量较多的主要动物种类或类群的重金属含量,即螺类、马陆类、斑灶马、蝙蝠粪(未捕到蝙蝠用其粪便代替)和山蛰虫共 5 个类群,样品的测定值见表 2~4。

表 2 郑家小洞内主要动物类群的重金属含量(单位:mg/kg)

Tab. 2 Contents of eight heavy metal elements in five animal groups in the Zhengjia small cave

项目	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
螺类	4.89	2.59	0.68	20.03	20.66	1.34	60.06	184.2
马陆	0.81	2.29	0.42	6.73	62.86	1.87	ND	314.8
斑灶马	0.72	0.80	3.77	7.12	29.38	ND	ND	279.4
蝙蝠粪	1.76	0.51	0.43	6.70	53.83	0.40	75.22	670.5
山蛰虫	2.85	1.12	0.48	3.30	391.70	6.27	230.80	180.50
平均值	2.21	1.46	1.16	8.78	111.69	2.47	122.03	329.48

注:ND 表示未检测出。

表 3 郑家小洞内土壤的重金属含量(单位:mg/kg)

Tab. 3 Contents of eight heavy metal elements in soil samples in the Zhengjia small cave

项目	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
有光带	28.77	0.08	0.48	17.31	41.30	35.37	128.20	381.10
弱光带	32.84	0.29	0.85	15.54	80.93	90.73	120.90	323.00
黑暗带	48.18	0.20	0.97	8.01	105.40	89.73	132.10	255.50
平均值	36.60	0.19	0.77	13.62	75.88	71.94	127.07	319.87

从表 2 可以看出,除马陆未检测出 Ni,斑灶马未检测出 Cr 和 Ni 外,所有动物类群都能检测出表中列出的元素,由此证明马陆对 Ni、斑灶马对 Cr 和 Ni 无富集能力。从表 2 中还可看出,不同的元素在同一类群动物体内的含量差异很大,按含量的高低排列其顺序是:螺类为 Zn>Ni>Cu>As>Pb>Cd>Cr>Hg,马陆为 Zn>Cu>As>Cd>Cr>Pb>Hg,斑灶马为 Zn>Cu>As>Hg>Cd>Pb,蝙蝠粪为 Zn>Ni>Cu>As>Pb>Cd>Hg>Cr,山蛰虫为 Cu>Ni>Zn>

Cr>As>Pb>Cd>Hg。同一元素在不同类群动物体内的含量也不一样,如 Pb 的含量,螺类是马陆的 6.04 倍,是斑灶马的 6.79 倍;Hg 的含量,斑灶马是马陆的 8.98 倍,是螺类的 5.54 倍等。Zn 和 Cu 在各类动物体内的含量普遍较高,这和土壤和水体中的含量有密切关系(表 3、表 4),此外,Zn 和 Cu 作为动物体内的必需元素,容易被动物主动吸收,所以,在各类动物体内的含量都较高;又如 Pb 则是动物体内的非必需元素,不易被动物主动吸收,故在各类动物体内的含量均较

低。蝙蝠类虽然是生活在洞穴内,但主要是到洞外去取食,并将粪便留在洞内供其他动物取食其中的有机物,从蝙蝠粪便的重金属含量看,最高的是Zn(670.5 mg/kg),这就间接地说明了洞穴外围环境中的Zn污染较为严重。

表3中数据表明,在不同光带中同一元素的含量有差异,如Hg的变化趋势是有光带<弱光带<黑暗带而Zn则是有光带>弱光带>黑暗带。在同一光带中不同元素的含量其差异更大,如黑暗带的变化趋势是Zn>Ni>Cu>Cr>Pb>As>Hg>Cd。各元素在3

个光带中的平均含量都超过了我国的土壤背景值,这可能与洞穴土壤的成壤母质和岩石种类有关。由于该区的成土母岩主要为白云岩,其溶蚀残余堆积物大多经过红土化作用,土中氧化铁含量一般较高,而氧化铁的积累对微量元素有富集作用^[21],从而使白云岩土壤中的重金属元素含量大大提高。此外,还可能与洞穴外围环境的重金属污染有关,在该洞附近的安顺市有不少的工矿企业,企业生产产生的重金属元素可通过废水从岩缝渗入到洞穴土壤中或由人为带入到洞内(该洞为半开发洞穴)。

表4 郑家小洞内水体的重金属含量(单位:mg/kg)

Tab. 4 Contents of eight heavy metal elements in water samples in the Zhengjia small cave

项目	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
有光带	4.83	0.36	2.69	5.59	7.82	23.28	23.00	236.50
弱光带	2.84	0.14	0.83	1.23	12.18	12.50	2.64	272.00
黑暗带	4.38	0.99	0.47	0.18	6.04	8.49	10.70	5.93
平均值	4.02	0.50	3.99	2.33	8.68	14.76	12.11	171.48

从表4中列出的数据来看,各元素在各光带水体中的含量没有一定的规律性,同一光带水体中不同重金属元素的含量差异也较大。从平均水平看,3个光带的水体中含量最高的是Zn(171.48 mg/kg)而最低是Cd(0.50 mg/kg),高低顺序为Zn>Cr>Ni>Cu>

Pb>Hg>As>Cd。

3.3 主要动物类群对重金属的富集分析

富集分析主要通过计算富集系数来进行。富集系数是指重金属在各类动物体内的含量与在其它环境因子中含量的比值,通过计算,结果见表5~6。

表5 郑家小洞内主要动物类群对土壤中重金属的富集系数(单位:mg/kg)

Tab. 5 Accumulation coefficient of heavy metal elements by main animal groups from the soil samples in the Zhengjia small cave

项目	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
螺类	0.134	13.632	0.883	1.471	0.272	0.019	0.473	0.576
马陆	0.022	12.053	0.545	0.494	0.828	0.026	—	0.984
斑灶马	0.020	4.211	4.896	0.523	0.387	—	—	0.873
蝙蝠粪	0.048	2.684	0.558	0.492	0.709	0.006	0.592	2.096
山蛰虫	0.078	5.895	0.623	0.242	5.162	0.087	1.816	0.564

表6 郑家小洞内主要动物类群对水体中重金属的富集系数(单位:mg/kg)

Tab. 6 Accumulation coefficient of heavy metal elements in main animal groups from the water samples in the Zhengjia small cave

项目	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
螺类	1.216	5.180	0.170	8.597	2.380	0.091	4.960	1.074
马陆	0.201	4.580	0.105	2.888	7.242	0.127	—	1.836
斑灶马	0.179	1.600	0.945	3.056	3.385	—	—	1.629
蝙蝠粪	0.438	1.020	0.108	2.876	6.201	0.027	6.211	3.910
山蛰虫	0.709	2.240	0.120	1.416	45.127	0.425	19.059	1.053

从表 5 看出,各动物类群对土壤同一重金属元素的富集系数最大是 Cd,富集系数均大于 1,较低是 Pb 和 Cr,富集系数均小于 1,这说明各类动物对 Cd 的富集能力较强,对 Pb 和 Cr 的富集能力较弱。

从表 6 也可看出,各动物类群对水体不同重金属元素的富集系数除 Pb、Hg 和 Cr 外,对其余元素的富集系数都大于 1。表 6 中还显示同一动物类群对水体不同重金属元素的富集系数差异较大,如山蛭虫对 Cu 的富集系数为 45.127,对 Hg 的富集系数仅为 0.120,从高到低的排列顺序是 Cu>Ni>Cd>As>Zn>Pb>Cr>Hg;不同动物类群对水体同一元素的富集系数变化也很大,如对 Pb 的富集系数最大为螺类(1.216)而最小是斑灶马(0.179),从高到低的排列顺序是螺类>山蛭虫>蝙蝠粪>马陆>斑灶马。

一些学者认为水生生物对某种污染物的富集系数大于 1000 时有潜在的严重积累问题,土壤动物对某种污染物的富集系数大于 1 时有潜在的积累问题^[22]。从表 2~6 可以明显的看出,各类动物体内的重金属残留量与环境(土壤、水)中的含量排序不一致,造成这种现象的原因主要是洞穴动物对不同重金属元素的富集能力存在着差异。影响生物体内重金属富集的因素较多,如生物的生理和生态因素、环境因素、各种重金属的性质和浓度等。有关这方面的研究报道较多,如污染物质的理化特性,水体的温度和盐度及光照等环境因素,生物的生命周期、生理状况和摄食习惯等均会影响重金属元素在海洋生物中的积累^[23];Morgan et al(1998)认为,土壤 pH 和 Ca 的含量对 Pb 的吸收有显著影响,土壤有机质对 Cd 的积累有抑制作用^[20]等。利用 SPSS 统计软件对环境物理化学因子与重金属元素在动物体内的富集系数进行相关分析,结果显示:铅与二氧化碳呈显著负相关,相关系数为-0.999;隔与钙呈显著负相关,相关系数为

-0.997;砷与温度和二氧化碳均呈显著正相关,相关系数均为 0.998;铜与钠呈显著正相关,相关系数为 0.998;铬与有机质呈显著负相关,相关系数为-1.000;锌与湿度呈显著负相关,相关系数为-0.999,其余相关性均不显著。这说明不同的环境因子对同一重金属元素的富集程度的影响不同,同一环境因子对不同的重金属元素的影响程度也有差异。

3.4 郑家小洞内土壤重金属污染评价

喀斯特洞穴土壤是洞穴动物赖以生存的主要环境条件之一,在洞穴黑暗地带无光照也无植物生长,洞穴内的食物非常贫乏,食物来源主要是气流带入植物的枯枝落叶及孢粉,以及蝙蝠留在洞内的粪便等,特别是在离洞口较远的深洞区,食物来源主要是靠地表含有机质的水通过岩缝渗透带到洞内泥土中。生活在深洞区的洞穴动物主要靠取食土壤中的这些有机物为生,洞穴土壤被污染可直接影响到洞穴动物的生存,所以,要深入研究洞穴动物的丰富度和多度就必须研究洞穴土壤的受污染状况。现通过研究洞穴土壤的单项污染指数(P_i)和综合污染指数(P)来对洞穴土壤进行重金属污染评价^[14],公式如下:

$$P_i = C_i/S_i ; \quad P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

式中, P_i 为单项污染指数; C_i 为污染物*i*的实测值(mg/kg); S_i 为污染物*i*的评价标准(mg/kg); P 为综合污染指数; n 为土壤中污染物质的种类数。单项污染指数 $P_i < 1$ 时,表示未污染;当 $1 \leq P_i < 2$ 时,表示轻污染;当 $2 \leq P_i < 3$ 时,表示中污染;当 $P_i \geq 3$ 时,表示重污染^[24]。综合污染指数 $P < 1.0$ 时未污染,1.0~2.5 轻污染,2.5~5.0 中污染,5.0~10.0 重污染, $P > 10.0$ 严重污染^[15]。

通过计算,郑家小洞土壤重金属的污染指数如表 7 所示。

表 7 郑家小洞内土壤重金属污染情况

Tab. 7 Pollution of heavy metal in soil samples in the Zhengjia small cave

光带	单项污染指数								综合污染指数	污染程度等级
	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn		
有光带	0.82	0.40	3.20	1.15	1.18	0.39	3.21	3.81	1.77	轻污染
弱光带	0.94	1.45	5.67	1.04	2.31	1.01	3.02	3.23	2.33	轻污染
黑暗带	1.38	1.00	6.47	0.53	3.01	1.00	3.30	2.56	2.41	轻污染
平均值	1.05	0.95	5.11	0.91	2.17	0.80	3.18	3.20	2.17	轻污染

从表7看出,单项污染指数在3个光带中的平均值显示Hg、Ni和Zn为重污染,污染指数分别为5.11、3.18和3.20,这说明在郑家小洞内土壤重金属污染较严重的是Hg、Ni和Zn。从综合污染指数看,3个光带的平均值为2.17,属轻污染。总体看郑家小洞内土壤有重金属污染,但污染不严重。洞穴土壤的重金属污染主要有两方面的原因,其一是地表土壤或水体中重金属元素随地表水通过岩缝渗透到洞穴内土壤中,其二是土壤成土的母质中含有各种重金属元素。此外,该洞为半开发洞穴,也不能排除重金属元素的人为带入。

4 小 结

喀斯特洞穴是一个特殊而又较封闭的生态系统,和地表生态系统相比,在黑暗带无光照也无植物分布,所以,洞穴内的食物非常贫乏,洞穴内的生态过程(物质循环、能量流动、信息传递等)具有一定的局限性。研究洞穴内的重金属污染,不仅为进一步研究洞穴动物的种类和数量变化及对洞穴的开发利用进行评价提供科学的参考数据,而且还间接了解洞穴外环境被重金属污染的状况。

对郑家小洞内重金属污染的研究结果表明,蝙蝠粪便中Zn的含量最高(670.5 mg/kg),这也间接说明了洞穴外周围环境中的Zn污染较为严重,马陆对Ni与斑灶马对Cr和Ni无富集能力。各元素在3个光带土壤中的平均值含量都超过了我国的土壤背景值,按顺序排列为 $Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > As > Hg > Cd$,水体为 $Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Hg > As > Cd$ 。同一动物类群对土壤和水体不同重金属元素的富集系数差异较大,不同动物类群对水体同一元素的富集系数变化也很大,其因与生物的生理和生态因素、环境因素、各种重金属的性质和浓度等有关。单项污染指数显示Hg、Ni和Zn在各光带土壤中均为重污染,从综合污染指数看,3个光带均为轻污染,说明该洞有重金属污染但不严重。

参考文献

- [1] Sket B. Cave fauna and speleobiology in Slovenia[J]. Nase Jame (Our Caves), 1993, 35(1): 35—42.
- [2] 黎道洪,罗蓉. 贵州大洞口内若干动物群落研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 126—130.
- [3] Elliott et al. Competitive adsorption of heavy metals by soils [J]. Journal of Environment Quality, 1986, 15(3): 214—219.
- [4] Gyedu-Ababio et al. Nematodes as indicators of pollution: A case study from the Swartkops River system[J]. South Africa. Hydrobiologia, 1999, 397: 155—169.
- [5] Rod NM and Akastair G. Assessing the impact of copper on nematode communities from a chronically metal-enriched estuary using pollution-induced community tolerance[J]. Mar Pollu Bull, 1995, 30: 701—706.
- [6] Yeates GW and van der Meulen H. Recolonization of methylbromide sterilized soil by plant and soil nematodes over 52 months[J]. Biol Fert Soil, 1996, 21: 1—6.
- [7] Aeschl E and Foissner W. Auswirkungen organomineralischer dunger auf bodenorganismen des bohmerwaldes in oberosterreich [J]. Forstliche Schriftenreihe Universitat fur Bodenkultur Wien, 1995, 9: 107—146.
- [8] Forge et al. Protozoan bioassays of soil amended with sewage sludge and heavy metals, using the common soil ciliate *Colpoda steinii*[J]. Biol Fert Soils, 1993, 16: 282—286.
- [9] Klein R and Paulus M. Umweltproben fuer die schadstoffanalytik in biomonitoring [M]. Jenos, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995: 183—202.
- [10] Abudul Rida AMM and Bouche MB. Heavy metal linkages with mineral, organic and living soil compartment[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 27(3/4): 649—655.
- [11] 宋雪英,宋玉芳,孙铁珩,等. 土壤原动物对环境污染的生物指示作用研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1979—1982.
- [12] 张薇,宋玉芳,孙铁珩,等. 土壤线虫对环境污染的指示作用[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1973—1978.
- [13] 陈国定,朱文,黎明达,等. 应用甲螨监测土壤污染的研究[J]. 中国环境科学, 1991, 11(2): 100—103.
- [14] 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, 17(2): 1—5.
- [15] 王振中,胡觉莲,张友梅,等. 湖南省清水塘工业区重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究[J]. 地理科学, 1994, 14(1): 64—72.
- [16] 王振中,张友梅. 湘江流域工业污染源对农田生态系统土壤动物群落影响的研究[J]. 应用生态学报, 1990, 1(2): 156—164.
- [17] 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[J]. 环境科学学报, 1994, 14(2): 236—243.
- [18] 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.
- [19] 张风杰,范俊岗,张玉伟,等. 环境重金属污染监测研究的指示物——大型野生哺乳动物、鸟类和花粉虫媒[J]. 辽宁林业科技, 2004, (3): 32—34.
- [20] 常忠连,谭振军,范俊岗. 环境重金属污染监测研究的指示物——小型野生哺乳动物和土壤动物[J]. 辽宁林业科技, 2004, (5): 24—27.
- [21] 朱其清,尹楚良. 石灰岩土中微量元素的含量与分析[J]. 土壤学报, 1984, 21(1): 58—69.

- [22] Kennaga E E. Predicted bioconcentration factors and soil sorption coefficients of pesticides and orther chemicals [J]. Ecotoxicol Environ. Safety, 1980, (4): 26—38.
- [23] 潘金培,王肇鼎. 中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站研究年报[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [24] 徐新阳,于庆波,孙丽娜,等. 环境评价教程[M]. 北京:化学工业出版社,2004: 94—96.

Heavy metal content in animal body and its relations with soil and water in the Zhengjia small cave, Guizhou Province

XU Cheng-xiang, LI Dao-hong, MEI Jie

(College of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: In this paper, cave animal and heavy metal pollution in Zhengjia small cave in Anshun City, Guizhou Province is studied. The collected samples are 551, belonging to 3 phyla, 6 classes, 10 orders, 20 families and 29 groups. The content of heavy metals in 5 groups of animals (snail, diplopod, *Diestrammena marmorata*, bat guano and *Orthomorpha*) and that in the soil and water in cave is determined, and the accumulation coefficient of all animal groups and pollution index of soil in cave is studied. The results show that content of Zn in bat guano (670.5 mg/kg) is the highest, inferring indirectly the pollution of Zn in the environment around the cave is more serious. Diplopod has not accumulation ability to Ni and *Diestrammena marmorata* has not accumulation ability to Cr and Ni. The average content of all elements in the soil with light belt, dim light belt and dark belt exceed the background value of soil in China, ordering as $Zn > Ni > Cu > Cr > Pb > As > Hg > Cd$, and $Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Hg > As > Cd$ in water body. The single pollution index shows that Hg, Ni and Zn pollution are severe in the soil, averaging 5.11, 3.18 and 3.02 in light belt, dim light belt and dark belt respectively. The average of comprehensive pollution index (2.17) shows that the pollution is light in light belt, dim light belt and dark belt, which means that this cave has been polluted by heavy metal, but not seriously.

Key words: cave animals; heavy metal content; the Zhengjia small cave; Guizhou province