

# 贵州山岚桥洞内动物重金属富集的初步研究

梅杰 黎道洪\* 徐承香

(贵州师范大学生命科学学院 贵阳 550001)

**摘要:** 2009年6月对贵州安顺市山岚桥洞内软体动物和节肢动物进行了采集。共获标本637号,初步鉴定隶属于2门4纲7目12科25种,合并为螺类、马陆、盲蛛、斑灶马、山蛭虫5个类群。利用原子吸收光谱仪和原子荧光仪测定洞内水、土壤及洞穴中5个类群动物体内的Pb、Cd、Hg、As、Cu、Zn、Cr、Ni 8种重金属含量,计算水、土壤中重金属在动物体内的富集系数。结果表明,水、土壤及动物体内的Zn含量最高,水样为112.90  $\mu\text{g/L}$ ,土样为224.60 mg/kg,5个动物类群体内,螺类146.80 mg/kg,马陆252.20 mg/kg,盲蛛556.80 mg/kg,斑灶马233.30 mg/kg,山蛭虫722.50 mg/kg;5个类群动物对洞穴土壤中Cd、Cu和Zn有明显的富集作用,富集系数均大于1;对洞穴水中As、Cu、Zn、Ni等有明显富集作用,富集系数大于1000。同种动物类群对不同重金属的富集系数不同,不同类群对同种重金属元素的富集系数也有差别。洞穴动物对重金属的富集作用,除了与元素之间相互关联外,还与环境有密切关系。

**关键词:** 洞穴动物组成;重金属;富集;贵州山岚桥洞

中图分类号:Q958.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)03-110-06

## Preliminary Study on the Accumulations of Heavy Metals at Shanlanqiao Cave, Guizhou Province

MEI Jie LI Dao-Hong\* XU Cheng-Xiang

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

**Abstract:** We sampled invertebrates, water, and soil at Shanlanqiao Cave, Anshun County, Guizhou Province in June 2009. We identified 25 species belonging to 12 families, 7 orders, 4 classes and 2 phyla from 637 samples and grouped them into spiral shells, millipedes, *Opiliones*, *Diestrammena marmorata*, *Orthomorpha* 5 groups. We measured the content of 8 heavy metals Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn, Cr, Ni in the five animal groups and in the water and soil samples by atomic absorption spectrometer and atomic fluorescence spectrometer. The content of Zn was highest among 8 metals, in water (112.90  $\mu\text{g/L}$ ), soil (224.60 mg/kg), spiral shells (146.80 mg/kg), millipedes (252.20 mg/kg), *Opiliones* (556.80 mg/kg), *Diestrammena marmorata* (233.30 mg/kg) and *Orthomorpha* (722.50 mg/kg). Animal samples contained higher Cd, Cu and Zn than the soil samples did with an accumulation index  $>1$ ; while the accumulation index of As, Cu, Zn, Ni was  $>1000$  in the animal samples compared with water samples. The same animal group had different accumulation index on different heavy metals, and different groups had different accumulation index on same heavy metal. The content and enrichment of heavy metal in animal samples might be related with the

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30560024),贵州省基金项目(黔科合J字[2008]2013号),贵州省教育厅自然科学基金项目(黔科教2006205);

\* 通讯作者, E-mail: daohongli88@163.com;

第一作者介绍 梅杰,男,硕士研究生;研究方向:洞穴动物学;E-mail: meiyi102@163.com.

收稿日期:2009-10-19,修回日期:2010-03-08

environment and with the relation between elements of heavy metal.

**Key words:** Cave species composition; Heavy metals; Accumulation; Shanlanqiao Cave, Guizhou Province

关于喀斯特洞穴动物的研究,1870年后国际上洞穴生物研究工作有了较大发展。国外研究主要集中在动物分类<sup>[1]</sup>、区系<sup>[2]</sup>、生态<sup>[3]</sup>、物种和群落多样性<sup>[4]</sup>等方面。我国对洞穴生物研究直到1976年才开始发展,从20世纪80年代后研究内容从单一分类学向生态等方面发展<sup>[5-8]</sup>。随着地球环境变化,环境问题日趋明显。近年来在动物重金属污染方面取得了大量成果<sup>[9-14]</sup>。重金属污染是环境污染的一种形式,通过富集作用在生物体内累积后通过食物链传递进入人体,影响人体健康。关于重金属与洞穴动物关系方面的研究鲜见报道。洞穴动物是研究遗传、系统进化与动物地理方面的好材料,洞穴生态环境极其脆弱,易破坏、难恢复<sup>[15]</sup>。为此,研究洞穴动物与相关环境因子(水及土壤)重金属含量的关系,为进一步保护洞穴动物及环境提供一定依据。

## 1 环境概况

山岚桥洞位于贵州省安顺市七眼桥镇郑家屯山岚桥附近,洞口开于山脚,东经106°02'31.7",北纬26°17'20.3",海拔1340 m,北偏东320°朝向。洞口宽15.20 m,高6 m,主要长有乔木、禾本科植物、杉木灌丛和少量藤本植物。洞穴横剖面以矩形和椭圆为主。有光带长约36.1 m,均宽约7.8 m,植被较丰富,有苔藓、蕨类等,洞顶有滴水,温度16℃,湿度95%,滴水的pH 5.5;弱光带长约42.0 m,均宽9.70 m,洞底为碎石泥土混合且潮湿,洞顶有少量石钟乳,温度13.5℃,湿度90%,滴水的pH 5.5;黑暗带较长,约137.50 m,第一段均宽约13.60 m,第二段均宽约3 m,洞底有崩塌石块和泥土,较为干燥,温度15℃,湿度96%,滴水的pH 6.0。洞内化学沉积形态有钟乳石和石帘等。

## 2 研究方法

**2.1 样品采集** 2009年6月对贵州山岚桥洞

内的软体动物和节肢动物进行了详细调查;用GPS(eTrex Venture)确定该洞地理坐标和海拔;用指北针(上海嘉定学联仪器厂)确定洞口朝向;根据各洞段光照强度不同,将整个洞穴人为分为3个带:光照度在10 lx以上,光线直接照射到洞穴内的区域为有光带,也称直射光带;光照强度0.1~10 lx的为弱光带;光照强度小于0.1 lx的为黑暗带;用WS508A型温湿度计测定各光带的温湿度;精密pH试纸测定水的pH;按洞穴光带分别采混合土样1 kg。在不同光带分洞顶、洞壁和洞底进行随机取样,采集软体动物、节肢动物,洞顶主要调查翼手类动物;在各取样点,肉眼可见的上述几大类群动物用75%酒精固定后运回实验室镜检、鉴定;由于资料缺乏,标本破损或有些标本为幼体等原因,少数标本只能鉴定到属或科。

**2.2 样品重金属测定** 水样、土样、动物样重金属测定采用国家标准方法<sup>[16-18]</sup>。由于原子吸收光谱仪有一定的检测范围,而水样品中有些重金属含量较低,不易被测出,所以水样浓缩后再测;土样烘干、研磨,过100目筛后,取0.5 g进行测定;动物样洗净,整体烘干研磨后取0.2 g进行测定。所有样品均取标准样作参照。

**2.3 测定仪器** AA800原子吸收光谱仪测定Cr、Cu、Ni、Zn、Pb、Cd;AF-640原子荧光光谱仪测定Hg、As。

## 3 结果与分析

### 3.1 洞穴动物种类组成和相对数量与分布

对山岚桥洞进行调查和标本采集,共获标本637号,经鉴定分类共计25种,隶属2门4纲7目12科25种(表1、2)。其中,占总数15%以上为优势种,占总数1%~15%为普通种,占1%以下为稀有种。

**3.2 洞穴中水、土壤及洞穴动物体内的重金属含量** 山岚桥洞内水、土壤及动物体内8种常见重金属含量见表3。

表 1 山岚桥洞内动物分类统计

Table 1 Animals classification in samples collected at Shanlanqiao Cave

门	纲	目	科	属或种
Phylum	Class	Order	Family	Genus or species
软体动物门 Mollusca	1	2	5	18
节肢动物门 Arthropoda	3	5	7	7
合计 Total	4	7	12	25

山岚桥洞洞穴水中 8 种重金属含量平均值为 Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Hg > Cd > As (表 3); Zn 含量最高 (112.90 μg/L)。在洞穴土壤含有的 8 种重金属中, Zn 平均含量最高 (224.60 mg/kg); Cd 平均含量最低 (0.04 mg/kg)。这与重金属元素在土壤中背景值大

表 2 山岚桥洞洞穴动物组成和相对数量

Table 2 Species composition and relative abundance of Mollusca and Arthropoda

种类 (或类群)	有光带	弱光带	黑暗带	百分比 (%)
Species or group	Light belt	Reflection light belt	Dark belt	Percentage
环口螺科 Cyclophoridae				
微小双边凹螺 <i>Chamalycæus diminutus</i>	2			0.31
细毛兔唇螺 <i>Lagochilus tenuipilis</i>	1			0.16
六线兔唇螺 <i>L. sexfiluris</i>	1			0.16
钻头螺科 Subulinidae				
细长钻螺 <i>Opeas gracile</i>	5			0.78
丝钻螺 <i>O. filare</i>	2			0.31
坚齿螺科 Camaenidae				
扁平毛蜗牛 <i>Trichochloritis submissa</i>	1			0.16
巴蜗牛科 Bradybaenidae				
拟锥螺属 <i>Buliminopsis</i>	1			0.16
中华灰巴蜗牛 <i>Bradybaena ravida sieboldiana</i>	8			1.26
同型巴蜗牛 <i>B. asimilaris</i>		8		1.26
中国大脐蜗牛 <i>Aegista chinensis</i>	1	4		0.63
烟管螺科 Clausiliidae				
真管螺属 <i>Euphaedusa</i>	1			0.16
尖真管螺指名亚种 <i>E. aculus aculus</i>	2			0.31
细长真管螺 <i>E. tau</i>	2			0.31
伏氏真管螺 <i>E. a. fitzgeraldae</i>	7			1.10
江西丽管螺 <i>Formosana kiangsiensis</i>	9			1.41
八褶管螺 <i>Phaedusa delavayana</i>	5			0.78
包氏管螺 <i>P. bocki</i>	11			1.73
四川管螺 <i>P. szechuanensis</i>	3			0.47
暗蛛科 Amaurobiidae				
阴暗隙蛛 <i>Coelotes luctuosus</i>		3		0.47
球蛛科 Theridiidae				
温室希蛛 <i>Achaearanea tepidariorum</i>		8		1.26
长跨盲蛛科 Phalangidae				
盲蛛 <i>Opilio</i> sp.		14	101	18.05
马陆科 Talidae				
马陆 <i>Spolbolus</i> sp.		23	312	52.59
山蛭虫科 Strongylo somidae				
山蛭虫 <i>Orthomorpha</i> sp.		3	6	1.41
驼蠹科 Rhaphidophoridae				
斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>		12	60	11.30
夜蛾科 Noctuidae				
夜蛾		1	20	3.30
合计 Total (%)	62 (9.73)	76 (11.93)	499 (78.34)	100

表 3 山岚桥洞内水、土壤及洞穴动物体内重金属含量测定值  
Table 3 The content of heavy metals in the water, soil and animals samples

		Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
水样 Water samples ( $\mu\text{g/L}$ )	弱光带 Reflection light belt	7.29	1.04	0.34	ND	9.97	10.45	7.18	70.79
	黑暗带 Dark belt	ND	ND	0.71	0.23	18.61	9.86	14.15	155.00
	均值 Average	7.29	1.04	3.05	0.23	14.29	10.16	10.67	112.90
土样 Soil samples ( $\text{mg/kg}$ )	有光带 Light belt	11.67	0.04	1.05	14.55	27.04	52.92	93.42	426.90
	弱光带 Reflection light belt	12.04	0.03	0.86	15.21	26.43	35.80	109.00	109.10
	黑暗带 Dark belt	21.71	0.04	2.12	7.20	44.39	53.03	150.00	147.80
	均值 Average	15.14	0.04	1.34	12.32	32.62	47.25	117.47	224.60
动物 Animals samples ( $\text{mg/kg}$ )	螺类 Spiral shells	5.37	2.65	0.69	5.42	20.44	0.54	35.32	146.80
	马陆 <i>Spolobolus</i> sp.	1.54	0.52	0.39	6.43	80.99	ND	ND	252.20
	盲蛛 <i>Opilio</i> sp.	0.59	1.70	0.28	4.82	18.03	11.34	19.41	556.80
	斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>	1.03	0.33	0.25	6.02	26.13	16.44	84.98	233.30
	山蛭虫 <i>Orthomorpha</i> sp.	2.37	ND	0.42	2.76	166.70	13.81	122.10	722.50

ND. 未测出。ND. Not determined.

小有关<sup>[19]</sup>,造成各元素在土壤中含量不同。洞内 5 种(或类群)受测动物类群体内重金属含量,螺类:Zn > Ni > Cu > As > Pb > Cd > Hg > Cr; 马陆:Zn > Cu > As > Pb > Cd > Hg; 盲蛛:Zn > Ni > Cu > Cr > As > Cd > Pb > Hg; 斑灶马:Zn > Ni > Cu > Cr > As > Pb > Cd > Hg; 山蛭虫:Zn > Cu > Ni > Cr > As > Pb > Hg。5 种(或类群)动物体内 Zn、Cu 和 Ni 含量较高,一方面主要是洞内水和土壤中 Zn、Cu、Ni 含量较高,更主要的是 Zn、Cu 和 Ni 作为动物体的必需元素,容易被动物主动吸收,被吸收后大部分参与了机体生理活动,因此在动物体内含量较高<sup>[20]</sup>。不同动物体内重金属含量有差异,与不同动物栖息环境,空间分布有密切联系。在洞穴土壤和洞穴水中都测得 Cr 和 Ni,而在马陆体内没有测出,可能是无富集能力或能降解这两种元素。山蛭虫体内 Cu、Zn、Ni 含量大于其他 4 类受试

动物。

3.3 几种动物类群对部分重金属的富集 富集系数即生物体内某种元素或化合物的浓度与其所生存的环境中该物质浓度的比值<sup>[10, 21]</sup>。山岚桥洞内几种动物类群对水及土壤中 8 种重金属的富集系数见表 4、5。其中螺类对 As、Ni、Cd、Cu、Zn 的富集系数大于 1 000; 马陆:As > Cu > Zn > Cd > Pb > Hg,除 Pb、Cd、Hg,马陆对其他几种重金属富集系数大于 1 000; 盲蛛:As > Zn > Ni > Cd > Cu > Cr > Hg > Pb,除 Pb 和 Hg,盲蛛对其余几种重金属富集系数大于 1 000; 斑灶马:As > Ni > Zn > Cu > Cr > Cd > Pb > Hg,斑灶马对 As、Ni、Zn、Cu、Cr 富集系数大于 1 000; 山蛭虫:As > Cu > Ni > Zn > Cr > Pb > Hg,除 Pb 和 Hg,其余几种重金属富集系数大于 1 000。5 种(或类群)动物均以水中 As 富集系数最高,可能在水体中重金属是以不同结合

态存在,因而对生物的可给性不同。研究表明水体中以残渣形态沉淀在水底的重金属最容易被动物体吸收<sup>[22-24]</sup>。其次,山岚桥洞邻近市

区,外围有工厂,水体在不同程度上受到污染。

山岚桥洞动物类群对土壤中重金属富集系数,螺类: Cd > Zn > Cu > Hg > As > Pb > Ni > Cr,

表 4 山岚桥洞洞内动物对洞穴水中重金属的富集系数

Table 4 Accumulation index of heavy metals in cave animals versus the content of water samples

	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
螺类 <i>Spiral shells</i>	736	2 548	226	23 565	1 430	53	3 310	1 300
马陆 <i>Spolbolus sp.</i>	211	500	127	27 956	5 600	ND	ND	2 233
盲蛛 <i>Opilio sp.</i>	80	1 634	91	20 956	1 261	1 161	1 819	4 931
斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>	141	317	81	26 174	1 829	1 618	7 964	2 066
山蛭虫 <i>Orthomorpha sp.</i>	325	ND	138	12 000	11 666	1 359	11 443	6 399

ND. 未测出。ND. Not determined.

表 5 山岚桥洞洞内动物对土壤中重金属的富集系数

Table 5 Accumulation Index of the heavy metals in cave animals versus the content in soil samples

	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Ni	Zn
螺类 <i>Spiral shells</i>	0.35	66.25	0.51	0.44	0.63	0.01	0.30	0.65
马陆 <i>Spolbolus sp.</i>	0.10	13.00	0.29	0.52	2.48	ND	ND	1.12
盲蛛 <i>Opilio sp.</i>	0.04	42.50	0.21	0.39	0.55	0.24	0.17	2.48
斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>	0.07	8.25	0.19	0.49	0.80	0.35	0.72	1.04
山蛭虫 <i>Orthomorpha sp.</i>	0.16	ND	0.31	0.22	5.11	0.29	1.04	3.22

ND. 未测出。ND. Not determined.

Cd 富集系数大于 1; 马陆: Cd > Cu > Zn > As > Hg > Pb, Cd、Cu、Zn 富集系数大于 1; 盲蛛: Cd > Zn > Cu > As > Cr > Hg > Ni > Pb, Cd、Zn 富集系数大于 1; 斑灶马: Cd > Zn > Cu > Ni > As > Cr > Hg > Pb, Cd、Zn 富集系数大于 1; 山蛭虫: Cu > Zn > Ni > Hg > Cr > As > Pb, Cu、Zn、Ni 富集系数大于 1。5 类受测动物体内 Cd、Zn、Cu 富集系数较高; Zn、Cu 是所有生命体必需的重要微量元素,结合在酶活性中心,Zn 是 200 多种金属酶和金属生物复合物的组成部分,对维持 DNA 等生物大分子及细胞膜、核糖体等生物结构的稳定性起着积极的作用<sup>[25]</sup>; 动物对必需元素存在明显选择性吸收作用,生命必需元素含量相对较高。Cd 虽不是必需元素,但贵州是 Cd 污染严重区<sup>[26]</sup>,可能造成 Cd 含量较高。

从表 3~5 得出,5 种(或类群)受试动物类群体内重金属含量不同,同种动物对不同重金属的富集系数不同,这可能与重金属性质有关,在同等条件下,同种动物对重金属吸收和积累不同,有些重金属对某些组织或器官有较高亲

和性或某些内源性物质(蛋白质或多肽)结合,可以较长时间存留机体内,并在一定时间内不断积累增多,导致富集系数较大<sup>[27]</sup>;同时也与洞穴其他环境因子,如洞穴水和土壤中重金属含量等相关,比较洞穴水和土壤中重金属含量看出,洞穴水、土壤等环境因子中的重金属含量不相同,也是造成动物体内重金属富集系数不同的原因。受试的 5 种(或类群)动物对同一重金属富集也不一样,其原因可能是因为洞穴是一个较为封闭的生态系统,整个洞穴动物群落构成一个食物网<sup>[28]</sup>,重金属在食物链中进行了累积,由于动物所在营养级不同,对重金属的富集系数不一样。

#### 4 结 论

从总体看,山岚桥洞内动物类群和数量较为丰富(表 2)。洞口处良好的环境(溪流、农田及灌丛)为该洞内动物提供了食源;该洞受人为影响较小;洞穴的生境较为多样化等保证了动物种群的稳定。但是随着工业的发展,重金

属污染带来的环境问题日趋严重。喀斯特地貌特征之一是地下通道十分发达,而贵州喀斯特地貌占全省总面积过半,污染物很容易进入洞穴造成污染;洞穴生态系统是一个特殊生态系统,比较脆弱,易受人为破坏和污染且难以恢复。计算富集系数得出 5 种(或类群)受测动物体内对 Cd、Cu、Zn 和 Ni 有明显富集作用,富集系数大于 1,且受测动物均为无脊椎动物,它们对环境污染较为敏感,应该能和蚯蚓一样可作为监测环境变化的指示生物。因此,在监测重金属对环境的污染状况时,既要监测对地表的污染,还应监测对洞穴环境和生物的影响,以及如何利用洞穴动物作为监测环境的指示生物,处理好开发利用和保护洞穴之间的矛盾。

### 参 考 文 献

- [1] Simone L R L, Moracchioli N. Hydrobiidae (Gastropoda: Hydrobiidae) from the Ribeira valley, SE Brazil, with descriptions of two new cave micolousspecies. *J Moll Stud*, 1994, 60: 445 - 459.
- [2] Pinto-Da-Rocha R. Sinopse da fauna cavernicola do Brasil (1907 - 1994). *Papeis Avulsos de Zoologia*, 1995, 39 (4): 61 - 173.
- [3] Cope E R. On the Wyandotte Cave and Its Fauna. *American Naturalist*, 1872, 6: 406 - 412.
- [4] Sket B. Cave fauna and speleobiology in Slovenia. *Nase Jame (Our Caves)*, 1993, 35(1): 35 - 42.
- [5] 黎道洪, 罗蓉, 宋锡章. 贵州龙天洞和郑家大洞内软体动物、节肢动物和脊索动物群落的比较研究. *中国岩溶*, 1999, 18(1): 80 - 88.
- [6] 黎道洪, 罗蓉. 贵州龙洞内动物群落结构和分布与部分环境因子的关系研究. *中国岩溶*, 2001, 20(4): 315 - 320.
- [7] 陈樟福. 金华双龙洞蜘蛛生态学研究. *杭州师范学院学报:自然科学版*, 1985, 12(1): 24 - 28.
- [8] 王福星, 曹建华. 桂林洞穴无脊椎动物的区系研究. *中国岩溶*, 1998, 17(2): 161 - 167.
- [9] 刘宗平. 环境铅隔污染对动物健康影响的研究. *中国农业科学*, 2005, 38(1): 185 - 190.
- [10] 李丽娜, 陈振楼, 许世远, 等. 铜锌铅铬镍重金属在长江口滨岸带软体动物体内的富集. *华东师范大学学报:自然科学版*, 2005, (3): 65 - 70.
- [11] 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.
- [12] 孙贤斌, 刘红玉, 李玉成, 等. 重金属污染对土壤动物群落结构及空间分布的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 2080 - 2084.
- [13] Klein R, Paulus M. Umweltproben fuer die schadstoffanalytik in biomonitoring. Jenö, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995, 183 - 202.
- [14] Straalen N M, van Butovsky R O, Pokarzhevskii A D, et al. Metal concentrations in soil and invertebrates in the vicinity of a metallurgical factory near Tula (Russia). *Pedobiologia* 2001, 45(5): 451 - 466.
- [15] 黎道洪. 贵州喀斯特洞穴动物研究. 北京:地质出版社, 2007, 127 - 128.
- [16] 朱明华. 仪器分析(3版). 北京:高等教育出版社, 2000, 225 - 265.
- [17] 中国标准出版社第二编辑室. 环境监测方法标准汇编:土壤环境与固体废物. 北京:中国标准出版社, 2007, 327 - 440.
- [18] 邓勃. 应用原子吸收与原子荧光光谱分析(2版). 北京:化学工业出版社, 2007, 482 - 499.
- [19] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京:中国环境科学出版社, 1990, 346 - 380.
- [20] 王夔. 生命科学中的微量元素:上卷. 北京:中国计量出版社, 1991, 6.
- [21] 李枫, 张微微, 刘广平. 扎龙湿地水体重金属沿食物链的生物累积分析. *东北林业大学学报*, 2007, 35(1): 44 - 46.
- [22] 杨震. 水环境中重金属的生物可给性研究进展河流重金属污染研究. 北京:中国环境科学出版社, 1986, 317 - 337.
- [23] 杨震, 章惠珠, 孔莉. 长江南京段沉积物中铜、镉形态对水生生物富集的影响. *中国环境科学*, 1996, 16(3): 200 - 203.
- [24] 袁维佳, 俞膺浩, 谷瑗, 等. 螺蛳对重金属元素的富集作用. *上海师范大学学报*, 2000, 29(3): 73 - 78.
- [25] Valle B L, Falchuk K H. The biochemical basis of zinc physiology. *Physiol Rev*, 1993, 73(1): 79 - 118.
- [26] 宋春然, 何锦林, 谭红, 等. 贵州省农业土壤重金属污染的初步评价. *贵州农业科学*, 2005, 33(2): 13 - 16.
- [27] Faverney C R, Devaux A, Lafaurie M, et al. Cadmium induces apoptosis and genotoxicity in rainbow trout hepatocytes through generation of reactive oxygen species. *Aquatic Toxicology* 2001, 53: 65 - 76.
- [28] 王剑, 程星, 彭建. 喀斯特洞穴生态系统浅析. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 2000, 18(3): 22 - 25.