

广西大岩洞洞穴动物体与环境重金属含量关系*

杨卫诚 黎道洪**

(贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001)

摘要 2007年7月,通过对广西大岩洞洞内软体动物、节肢动物和脊索动物的调查,共获标本3324号,隶属26科30属50种。其中,斑灶马、螺类、蜘蛛、两栖类4类动物类群3052号,隶属42种;同时测定了所采集的水样、土样及4类受测动物体内重金属Fe、Mn、Cu、Cd、Pb、Hg、As的含量,计算了水、土样中重金属在动物体内的富集系数。结果表明:水、土壤中Mn含量最高,水样 $6.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,土样 $2112 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,4个类群中斑灶马、螺类与两栖类Mn含量最高,分别为 45.3 、 858 和 $254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,蜘蛛体内Cu含量最高达 $79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;几种受试动物(或类群)除斑灶马对水中Fe含量富集系数 <1000 外,其余均对水中所测重金属富集系数 >1000 ;几种受试动物(或类群)都对土壤中Pb、Cd、Hg有富集作用,富集系数 >1 ;同种动物类群对不同重金属的富集系数不同,不同类群动物对同一重金属的富集也有差异。相关性分析表明,动物体内重金属的积累量与环境中重金属的含量呈正相关,洞穴动物对重金属的残留与富集,除了元素之间产生的协同、拮抗等复杂作用对重金属的影响外,还与洞穴土壤和洞穴水中重金属的含量密切相关。

关键词 洞穴动物;重金属;大岩洞

中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2010)8-1554-05

Correlations of heavy metal contents in cave animals and in environment in Danyan cave of Guangxi. YANG Wei-cheng, LI Dao-hong (School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1554–1558.

Abstract: In July 2007, an investigation was made on the mollusks, arthropods, and chordates in the Danyan cave of Guangxi Province. A total of 3324 specimens of the cave animals were collected, belonging to 26 families, 30 genera, and 50 species. Among these specimens, *Diastrammen*, Fruticicolidae, Araneida, and Amphibia occupied 3052 totally, belonging to 42 species. The contents of Fe, Cu, Cd, Pb, Hg and As in these four groups of cave animals and in the water and soil samples from the cave were determined, and the enrichment coefficients of the heavy metals for these four animal groups were calculated. In the water and soil samples, the content of Mn was the highest, being $6.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in water and $2112 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in soil. Among the four animal groups, *Diastrammen*, Fruticicolidae and Amphibia had the highest content of Mn ($45.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $858 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and $254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively), while Araneida had the highest content of Cu ($79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Except that the enrichment coefficient of Fe from water for *Diastrammen* was <1000 , the enrichment coefficients of the heavy metals from water for all the four groups were >1000 . The four animal groups could also enrich soil Pb, Cd and Hg, with the enrichment coefficients being >1 . For the same groups of test animals, the enrichment coefficients of the heavy metals differed; and for the same species of test heavy metals, their enrichment by different groups of the animals also differed. Correlation analysis showed that the accumulation of the heavy metals in the test animals was positively correlated with the contents of the heavy metals in environment. The enrichment of the heavy metals by the cave animals was not only affected by the synergistic and antagonistic effects among the heavy metals, but also closely related to the contents of the heavy metals in the cave water and soil.

Key words: cave animal; heavy metal; Danyan cave.

* 国家自然科学基金项目(30560024)、贵州省基金项目(黔科合J字[2008]2013号)和贵州省教育厅自然科学基金资助项目(黔科教2006205)。

** 通讯作者 E-mail: daohongli88@163.com

收稿日期: 2010-01-12 接受日期: 2010-04-20

近年来,随着地球生态环境的不断恶劣,环境的指示性物种得到广泛研究。目前,在植物(安丽等,2006)、土壤动物(常忠连等,2004;张永志,2006)等方面已取得了大量研究,尤其在动物的重金属污染方面研究较为突出,然而这些研究大多数都只是在地表动物或海洋动物等(刘福纯和赵永魁,1995;徐士霞等,2003;刘宗平,2005),对洞穴动物的研究主要集中在动物的分类(Pinto Da Rocha *et al.*,2002)、区系(Ortega *et al.*,2003)、生态(Trajano,2001)、物种和群落多样性(Bichuette & Trajano,2003)、遗传变异(Hayami & Kase,1996)、演化(Goodman,1998)等方面。黎道洪等(2003,2007)对贵州省和云南省洞穴软体动物、脊索动物、节肢动物的形态分类、群落结构、季节动态、区系等进行了系统研究;同时,黎道洪和 Sket(2005)对中国和斯洛文尼亚两国的洞穴生物生态学进行了比较研究。但通过洞穴动物体内的重金属含量来指示环境的分析还未见报道。为此,本文以广西大岩洞几类主要动物类群为对象,分析了其体内的重金属含量与土壤、水环境因子的相关性,为洞穴动物的相关研究提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

大岩洞位于广西桂林阳朔县兴坪镇画山村,该洞属于盲洞,洞口朝向北偏东 55° ,开口于半山腰,长22 m,高14 m,半圆形。该洞海拔183 m,地理坐标 $24^{\circ}56'13.5''\text{N}$, $110^{\circ}30'48.5''\text{E}$,洞口比较干燥,周围植被稀疏,有大量石块堵着洞口,洞口周围有少量苔藓和地衣,洞口前有大量柏树和少量禾本科植物。洞长约120 m,从洞口进入,有光带长30 m,宽约23 m,温度为 24°C ,湿度为98%,洞底干燥,有大量的泥土和碎石,洞壁光滑,洞顶有石钟乳,有少量滴水,滴水潮湿的地方有少量苔藓、地衣、蕨类植物。弱光带长47 m,宽约14 m,温度为 25°C ,湿度为99%,洞底有石柱,有少量积水,洞壁潮湿,洞顶有石钟乳。黑暗带长约55 m,宽10 m,温度为 24°C ,湿度为69%,洞底泥土较多,十分干燥,洞壁光滑,黑暗带有2个洞厅,每个洞厅约 15 m^2 。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 2007年7月对大岩洞洞内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个不同带:光照度在 10 lx 以上,光线可直接照射到洞穴内的区域为有光带,也称作直射光带;光照强度在 $0.1\sim 10\text{ lx}$ 为弱光带;光照强度 $<0.1\text{ lx}$ 为黑暗带;用WS508A型温湿度计测定各光带温湿度;精密pH试纸测定水pH值;按洞穴光带分别采集表层5 cm深的3个混合土样各1 kg,在有水源的光带水源点分别采集3个水样各500 ml。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,肉眼能见到上述几大类群动物用75%酒精固定后运回实验室镜检、鉴定。

1.2.2 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。水样取50 ml至于电沙浴上消煮至10 ml进行测定;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0.5 g进行测定。所有样品均取标准样做参照。AA800原子吸收光谱仪测定Fe、Mn、Cu、Cd、Pb;AF-640原子荧光光谱仪测定Hg、As。

1.3 数据处理

对大岩洞中几种动物类群体内重金属含量与环境中重金属含量采用Pearson相关系数进行相关性分析,并采用欧式距离公式计算其欧氏距离相关系数。

2 结果与分析

2.1 洞穴动物的种类组成

对该洞穴进行调查和标本采集,共获标本3324号,初步鉴定隶属3门6纲11目26科50种。其中测定的4类动物中,获得螺类28种,2890号,占总种数的56%;蜘蛛类12种,38号,占总种数的24%;斑灶马1种,122号,占总种数的2%;两栖类1种,2号,占总种数的2%。

2.2 洞穴中主要动物类群与土壤、水环境中重金属含量的关系

2.2.1 洞穴土壤、洞穴水和洞穴动物体内的重金属含量 从表1可见,大岩洞洞穴土壤内几种重金属含量的平均值为 $\text{Mn}>\text{Cu}>\text{As}>\text{Fe}>\text{Pb}>\text{Cd}>\text{Hg}$ 。大岩洞洞穴滴水中几种重金属含量的平均值为 $\text{Mn}>\text{Cu}>\text{As}>\text{Fe}>\text{Hg}>\text{Cd}>\text{Pb}$ 。在大岩洞的4种受测动物体内,体内重金属含量具有如下特征:斑灶马, $\text{Mn}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{Cd}>\text{Hg}>\text{Fe}$;螺类, $\text{Mn}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{As}>\text{Fe}>\text{Cd}>\text{Hg}$;蜘蛛, $\text{Cu}>\text{Mn}>\text{Cd}>\text{Pb}>\text{Hg}>\text{Fe}$;两栖类, $\text{Mn}>\text{Cu}>\text{Pb}>$

表 1 大岩洞洞内洞穴水、土壤和动物体内重金属的含量
Tab.1 Content of heavy metals in the water, soil and animal samples from Dayan cave

重金属	土样(mg · kg ⁻¹)				水样(μg · L ⁻¹)				动物(mg · kg ⁻¹)			
	1#	2#	3#	均值	1#	2#	3#	均值	斑灶马	螺类	蜘蛛	两栖类
Fe	3. 08	2. 26	2. 52	2. 62	0. 50	0. 007	0. 026	0. 178	0. 09	2. 38	0. 23	0. 45
Mn	2077	1104	3155	2112	7. 49	6. 34	6. 42	6. 75	45. 3	858	75. 9	254
Cu	68	64	169	100	3. 86	4. 06	4. 10	4. 01	35. 6	25. 2	79	15. 4
Cd	0. 94	1. 01	2. 31	1. 42	0. 035	0. 043	0. 031	0. 036	0. 53	1. 48	4. 36	1. 05
Pb	3. 86	2. 55	0. 077	2. 16	0. 004	0. 005	0. 006	0. 005	2. 31	14. 6	1. 48	3. 91
Hg	0. 31	1. 15	1. 29	0. 92	0. 063	0. 086	0. 068	0. 072	0. 31	0. 36	0. 93	0. 27
As	20. 7	8. 57	14. 8	14. 69	1. 14	1. 96	1. 25	1. 45	—	8. 87	—	—

1#表示有光带;2#表示弱光带;3#黑暗带;“-”表示未测出。

Cd>Fe>Hg。从 4 类动物体内的重金属含量可以看出:Mn 和 Cu 作为动物体内的必需元素,易于被动物主动吸收,故而在生物体内的含量较高。而 Fe 作为必需元素,却不能体现出明显的主动吸收,这与洞穴动物生存的环境中 Fe 含量有关,无论在土壤中还是在滴水中,Fe 的含量都比较低。不同动物体内重金属含量存在一定差异,这与动物栖息的水平分布与空间分布存在密切关系。在几类动物体内,虽然在洞穴土壤和洞穴滴水中都有重金属 As 的含量,但在动物体内,只有螺类对 As 有富集,其他几类动物均无富集能力。蜘蛛类对重金属元素 Cu 和 Mn 的吸收不同于其他几类动物,对 Cu 的吸收要大于对 Mn 的吸收,而其他几类动物却相反。

2.2.2 几种动物类群对部分重金属的富集 大岩洞内几种(或类群)受试动物对重金属在土壤中多数都有不同程度富集,少数除外(表 2)。主要为:斑灶马在土壤中对重金属 Pb 的富集系数>1;螺类在土壤中对重金属 Pb 和 Cd 的富集系数均>1;蜘蛛在土壤中对重金属 Cd 和 Hg 的富集系数>1;两栖类在土壤中对重金属的 Pb 的富集系数>1。斑灶马、螺类、两栖类对重金属 Pb 富集系数都很高,且螺类对重金属 As 有富集,其余几种对 As 均无富集;蜘蛛则表现出对重金属 Cd 和 Hg 的富集系数较大。

大岩洞各动物类群对重金属在洞穴水中的富集系数分别为:斑灶马:Pb>Cd>Cu>Mn>Hg>Fe;除 Fe 外,其中斑灶马对其他几种重金属在洞穴水中的富集系数均>1000,以 Pb 的富集最大;螺类:Pb>Mn>Cd>Fe>Cu>As>Hg,螺类对各种重金属的富集系数均>1000,以 Pb 的富集最大,也是几种动物类群对重金属的富集系数中最大的金属;蜘蛛:Pb>Cd>Cu>Hg>Mn>Fe,其中以 Pb 的富集系数最大。同种动物类群对同种重金属的残留量和富集系数不同,这主要是与环境中的重金属的含量有密切关系。

土壤动物对某种污染物的富集系数>1,认为有潜在的积累问题;水生生物对某种污染物的富集系数>1000 时,认为有潜在的严重积累问题(Kenaga, 1980)。从表 2 可以看出,几种类群的动物体内重金属残留量与土壤、水环境中的排序不相一致,同种动物对不同种重金属的富集系数不同,不同动物类群对同一种重金属的富集系数不同,同一种动物类群对同一重金属在土壤和洞穴水中的富集系数排序也不相同。李丽娜和陈振楼(2005)研究表明,影响生物体内重金属的富集因数主要取决于生物因数、环境因数、重金属的性质以及重金属浓度和作用时间等。在生物因数方面,在整个洞穴系统中,是一个封闭的系统,整个洞穴动物群落构成一个食物网,重金

表 2 大岩洞洞内动物对土壤和水中的重金属富集系数
Tab.2 Enrichment coefficients of heavy metals from soil and water in animals in Dayan cave

类别	土 壤				水 中			
	斑灶马	螺类	蜘蛛	两栖类	斑灶马	螺类	蜘蛛	两栖类
Fe	0. 034	0. 908	0. 088	0. 172	506	13371	1293	2528
Mn	0. 021	0. 406	0. 036	0. 120	6711	127111	11244	37630
Cu	0. 356	0. 252	0. 790	0. 154	8878	6284	19701	2282
Cd	0. 373	1. 042	3. 070	0. 739	14722	41111	121111	29166
Pb	1. 069	6. 759	0. 685	1. 810	462000	2920000	296000	782000
Hg	0. 337	0. 391	1. 011	0. 029	4306	5000	12917	3750
As	—	0. 604	—	—	—	6117	—	—

水中数据是根据重金属在动物样品中的含量与水中含量的比值,统一单位后计算所得数据,因此比值较大;“-”为未测得数据。

属在食物链中进行了积累,不仅与环境中重金属含量有密切关系,还与其他环境因子存在紧密联系,如,环境的湿度、温度、pH 值等都可能成为影响动物对环境中重金属残留和富集的影响因子。

2.2.3 几种动物类群对部分重金属富集的相关性
大岩洞内几种动物类群体内元素间的相关性(表3)可以看出,Fe 与 Mn 呈显著正相关;Fe 与 As 呈极显著正相关;Mn 与 As 呈极显著正相关;Cu 与 Hg 呈极显著正相关;其余的相关性均不明显。

大岩洞洞内几种(或类群)受试动物体内重金属含量与受试水、土样中重金属含量均呈正相关性,其中,螺类、蜘蛛、两栖类与土样呈现极显著正相关(表4)。可见,动物体内重金属含量与洞穴土壤、水中的重金属含量有较强的关联效应。

生物对重金属的残留与富集,除了元素之间的相互关联外,还与环境有密切的关系。在环境因数方面,pH 值对重金属的积累影响较大,且对各种动物的影响不同;其次,季节温度、盐度也对重金属在动物体内的富集有较大影响,这主要是随着季节变化、温度的变化,物质的溶解度和溶解氧也随着变化,因而所积累的重金属也有所变化;另外,几种重金属之间产生的协同、拮抗等复杂作用对重金属的积累有很大影响。刘长发等(2001)发现,镉与锌有明显的协同作用。重金属在环境中不会被降解,只会发生形态和价态上的变化,因而可在环境中长期

存在,环境中重金属的存在形态会影响生物对重金属的吸收积累(于志刚等,1999)。

2.2.4 几种动物类群对部分重金属富集的欧氏距离
在大岩洞内,斑灶马对部分重金属元素的吸收与螺类的距离最大,为 812.912,与蜘蛛的距离最小,为 53.251,即斑灶马对部分重金属的吸收和富集与蜘蛛的相关性较强;在环境因子中,与水的距离较小,为 49.917,即与水的相关性较强。螺类对部分重金属元素的吸收在与其他动物类群的比较中,与两栖类的距离最小,为 604.242,即螺类对部分重金属的吸收与两栖类的相关性较强;在环境因子中,与水的距离较小,为 851.675,即与水的相关性较强,两栖类与水的距离较小,相关性较强(表5)。在大岩洞4类动物体内的重金属测量值可以看出,Mn 和 Cu 作为动物体内的必需元素,易于被动物主动吸收,故而在生物体内的含量较高;而 Fe 作为必需元素,却不能体现出明显的主动吸收,这与洞穴动物生存环境中 Fe 的含量有关。无论在土壤中还是在滴水中,Fe 的含量都比较低;不同动物体内重金属含量存在一定差异,这与动物栖息的水平分布与空间分布存在密切关系;在几类动物体内,虽然在洞穴土壤和洞穴滴水中都有重金属 As 的含量,但在动物体内,只有螺类对 As 有富集,其他几类动物均无富集能力。蜘蛛类对重金属元素 Cu 和 Mn 的吸收不同于其他几类动物,对 Cu 的吸收要大于对 Mn 的吸收,而其他几种动物却相反。

总之,洞穴动物对重金属的残留与富集,除了元素之间的相互关联外,还与环境有密切的关系。在环境因素方面,pH 值对重金属的积累影响较大,且对各种动物的影响不同。温度、盐度也对重金属在动物体内的富集有较大影响,这主要是随着季节和温度的变化,物质的溶解度也随着变化,溶解氧也随着变化,因而所积累的重金属也有所变化。动物体内重金属的积累量与环境中重金属的浓度呈正相关,还与作用时间相关。另外,重金属之间产生的协

表3 大岩洞中几种动物类群体内部分重金属的各种 Pearson 相关系数矩阵

Tab.3 Pearson correlation coefficients of heavy metal contents in animals in Dayan cave

元素	Fe	Mn	Cu	Cd	Pb	Hg
Mn	0.905 *					
Cu	0.421	0.637				
Cd	-0.003	-0.011	0.611			
Pb	0.591	0.212	-0.212	0.007		
Hg	0.380	0.543	0.971 **	0.773	-0.134	
As	0.961 **	0.965 **	0.525	-0.063	0.360	0.437

** P≤0.01, * P≤0.05。

表4 大岩洞内4种受试动物体内重金属含量与土样、水样中重金属含量的 Pearson 相关系数矩阵

Tab.4 Pearson correlation coefficient matrix of heavy metal contents in four tested animal species and in soil and water in Dayan cave

	斑灶马	螺类	蜘蛛	两栖类	土壤
土样	0.776 *	1.000 **	1.000 **	1.000 **	-
水样	0.963 *	0.845 *	0.859 *	0.859 *	0.856 *

** P≤0.01, * P≤0.05。

表5 大岩洞中几种动物类群体内部分重金属的欧氏距离
Tab.5 Proximity matrix of the heavy metal elements in the animals in Dayan cave

	斑灶马	螺类	蜘蛛	两栖类	土壤
螺类	812.912				
蜘蛛	53.251	784.117			
两栖类	209.682	604.242	189.161		
土壤	2067.757	1256.304	2036.265	1859.985	
水	49.917	851.675	102.122	247.550	2107.482

同、拮抗等复杂作用对重金属的积累有很大影响。

3 结 语

本文仅对广西大岩洞几大动物类群体内部分重金属的元素残留与富集进行了研究,有助于了解洞穴动物对部分重金属的相关分析、各动物类群与环境资源的利用与功能。今后,若能对整个洞穴生态系统的食物网进行深入研究,就能精确地计算各动物类群的相关参数。由于洞穴生态系统比较脆弱,一经破坏,几乎无法恢复,所以,保护洞穴生态系统和洞穴动物意义重大。在洞穴生态系统这个特殊的领域,与外界动物相比,洞穴动物对环境具有更高的敏感性,那么洞穴动物作为环境监测动物应具有较强的说服力,有待今后深入研究。

致 谢 标本采集及实验得到了中国科学院动物研究所苏晓梅博士研究生、贵州师范大学重点实验室覃樊鑫老师的大力帮助,表示衷心感谢!

参考文献

- 安 丽,曹 同,俞老浩. 2006. 上海市小羽藓属植物重金属含量及其与环境的关系. 应用生态学报, **17**(8): 1490-1494.
- 常忠连,谭振军,范俊岗. 2004. 环境重金属污染监测研究的指示物: 小型哺乳动物和土壤动物. 辽宁林业科技, (5): 24-27.
- 黎道洪, Sket B. 2005. 斯洛文尼亚和中国贵州喀斯特洞穴动物群的比较研究. 中国岩溶, **24**(1): 65-70.
- 黎道洪,陈德牛,罗泰昌,等. 2003. 贵州洞穴螺类的物种多样性及分布初步研究. 中国岩溶, **22**(3): 212-218.
- 黎道洪. 2007. 贵州喀斯特洞穴动物研究. 北京: 地质出版社.
- 李丽娜,陈振楼. 2005. 非生物因子对河蚬重金属富集量的影响. 生态学杂志, **24**(9): 1017-1020.
- 刘长发,陶 澍,龙爱民,等. 2001. 铅与镉在被金鱼吸收积累过程中的相互作用. 生态学报, **21**(11): 1863-1868.
- 刘福纯,赵永魁. 1995. 大连湾、星海湾海域贻贝、海带、裙带

- 菜体内 25 种元素的分析探讨. 海洋环境科学, **4**(14): 34-38.
- 刘宗平. 2005. 环境铅镉污染对动物健康影响的研究. 中国农业科学, **38**(1): 185-190.
- 徐士霞,李旭东,王跃招. 2003. 两栖动物在水体污染生物监测中作为指示生物的研究概况. 动物学杂志, **38**(6): 110-114.
- 于志刚,张 经,史峰岩,等. 1999. 一种评价重金属污染对大型海藻毒性效应的新方法. 海洋与湖沼, (3): 199-204.
- 张永志. 2006. 重金属 Cu 污染对土壤动物的群落结构的影响. 农业环境科学学报, **25**(增刊): 127-130.
- Bichuette ME, Trajano E. 2003. A population study of epigeal and subterranean *Potamolithus* snails from southeast Brazil (Mollusca: Gastropoda: Hydrobiidae). *Hydrobiologia*, **505**: 107-117.
- Goodman S. 1998. Patterns of extensive genetic differentiation and variation among European harbor seals (*Phoca vitulina vitulina*) revealed using microsatellite DNA polymorphisms. *Molecular Biology and Evolution*, **15**: 104-118.
- Hayami I, Kase T. 1996. Characteristics of submarine cave bi-valves in the northwestern Pacific. *American Malacological Bulletin*, **12**: 59-65.
- Kenaga EE. 1980. Predicted bioconcentration factor and soil sorption coefficients of pesticides and other chemicals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **4**: 26-38.
- Ortega J, Maldonado JE, Wilkinson GS. 2003. Male dominance, paternity, and relatedness in the Jamaican fruit-eating bat (*Artibeus jamaicensis*). *Molecular Ecology*, **12**: 2409-2415.
- Pinto Da Rocha R, Machado G, Weygoldt P. 2002. Two new species of *Charinus* Simon, 1892 from Brazil with biological notes (Arachnida: Amblypygi: Charinidae). *Journal of Natural History*, **36**: 107-118.
- Trajano E. 2001. Ecology of subterranean fishes. *Environmental Biology of Fishes*, **62**: 133-160.

作者简介 杨卫诚,男,1981年生,硕士。主要从事洞穴动物学和生态学方面的研究,发表论文2篇。E-mail: yangweicheng0908@sina.com

责任编辑 刘丽娟