

# 贵州波多洞和甲良洞内部分环境因子与 动物群落结构的相关性

黎道洪

(贵州师范大学地理与生物科学学院,贵阳 550001)

**摘要** 在 2002 ~ 2005 年的 2 月和 7 月多次赴荔波波多洞和甲良洞对肉眼能见到的软体动物、节肢动物和脊索动物进行了观察和采集。在波多洞共获标本 1045 号,隶属 3 门 6 纲 13 目 27 科 45 种或类群,在甲良洞共获标本 469 号,隶属 3 门 6 纲 9 目 24 科 52 种或类群。根据上述两洞内各光带中动物种类和数量组成,可划分为 6 个动物群落。经群落多样性分析,物种丰富度、群落多样性、最大多样性、均匀度、优势度和相似性指数最高的分别是群落 D (8.3223)、D (3.4677)、D (3.8286)、D (0.9057)、C (0.0404)和 D-E (0.6611)。环境因子与群落多样性的相关分析结果显示:土壤中有机的含量与物种数、物种丰富度、群落多样性和群落最大多样性指数都呈极显著正相关(相关系数分别为 0.908、0.913、0.826 和 0.818),与群落均匀度指数呈显著正相关(相关系数为 0.674);空气中 CO<sub>2</sub> 的含量与物种数、物种丰富度、群落多样性、群落最大多样性和均匀度指数都呈负相关(相关系数分别为 -0.324、-0.552、-0.573、-0.345 和 -0.742)。这些结果暗示土壤有机的含量和空气中 CO<sub>2</sub> 的含量是影响洞穴动物群落变化的重要因子。

**关键词** 环境因子 动物群落结构 波多洞 甲良洞 贵州省

文章编号:1000-0933 (2007)06-2167-10 中图分类号:Q142,Q958 文献标识码:A

## The correlation between the environmental factors and animal community structure in Boduo cave and Jialiang cave of Guizhou Province

LI Dao-Hong

School of Geographic and Biologic Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2167 ~ 2176.

**Abstract** The mollusc, arthropod and chordate visible to naked eye in Boduo cave and Jialiang cave, Libo county, Guizhou, PR China were observed and collected several times on February and July of 2002 - 2005. 1045 samples collected in Boduo cave belong to 3 phyla, 6 classes, 13 orders, 27 families, 45 species or groups, including a new species (*Chamalycaeus libonensis* sp. nov.). 469 samples collected in Jialiang cave are subordinated to 3 phyla, 6 classes, 9 orders, 24 families, 52 species or groups. According to the animal species and their numbers in the light area of the two caves, 6 animal communities were classified. According to the analysis of community diversity, community D (8.3223), D (3.4677), D (3.8286), D (0.9057), C (0.0404), and D-E (0.6611) have the highest species richness index, diversity, maximum diversity, evenness, dominance and similarity index, respectively. The results of correlation analysis

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (No. 30560024),贵州省省长基金资助项目 (黔科教办 [2005]14 号)

收稿日期 2006-05-22;修订日期 2006-11-28

作者简介 黎道洪 (1952 ~ )男,贵州人,教授,主要从事洞穴动物学研究. E-mail: zlaohongli88@163.com

致谢 斯洛文尼亚 Peter 博士、中国科学院动物研究所陈德牛和张崇洲研究员帮助鉴定部分标本,在此一并致谢

**Foundation item** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30560024), Nomarch Foundation of Guizhou Province (QianKeJiaoBan [2005]14).

**Received date** 2006-05-22; **Accepted date** 2006-11-28

**Biography** : LI Dao-Hong, Professor, mainly engaged in cave zoology. E-mail: zlaohongli88@163.com

between environmental factors and community diversity showed that the content of organic matter in soil has the much significant correlation ( $r = 0.908, 0.913, 0.826$ , and  $0.818$  respectively) with species, species richness index, community diversity and maximum diversity index of community and has the significant correlation ( $r = 0.674$ ) with the evenness index of community. The content of  $\text{CO}_2$  in air has the negative correlation with species, the species richness index, and the diversity, maximum diversity and evenness index of community and their correlation coefficients are  $-0.324, -0.552, -0.573, -0.345$ , and  $-0.742$ , respectively. The above results indicated that the content of organic matter in soil and the content of  $\text{CO}_2$  in air are the important factors that influence the community change of cave animals.

**Key words :** environmental factor ; animal community structure ; Boduo Cave ; Jialiang Cave ; Guizhou Province

喀斯特洞穴是一个特殊而又较封闭的生态环境,它是研究地历的变迁、生态过程及动物起源和演化的理想场所。关于喀斯特洞穴环境的研究,国内外报道均较多<sup>[1,2]</sup>。而喀斯特洞穴生物特别是动物的研究,国外有较多的报道,国内则报道很少。国外除了对基础形态分类研究较深入且涉及类群广泛外<sup>[3,4]</sup>,还在其它方面也有许多深入细致的工作,如喀斯特洞穴动物多样性及分布的研究<sup>[5]</sup>、动物地理区划的研究<sup>[6]</sup>、生态学和生理学的研究<sup>[7,8]</sup>、遗传多样性的研究<sup>[9]</sup>、动物繁殖的研究<sup>[10]</sup>、起源和演化的研究<sup>[11]</sup>等。国内从事喀斯特洞穴动物的研究主要集中在形态分类<sup>[12]</sup>和生态学<sup>[13]</sup>等方面,其他方面则几乎是空白。

喀斯特洞穴动物群落结构与环境因子关系的研究是比较新的领域,国内外均少有报道<sup>[14,15]</sup>。虽然国外曾报道过温度、湿度和 pH 值对洞穴动物分布的影响<sup>[16,17]</sup>,也报道过洞穴内的硫和氧对洞穴动物生活的影响<sup>[18]</sup>,国内也有过类似的零星报道<sup>[19]</sup>,但对于空气中的  $\text{CO}_2$  含量、土壤有机质和钙质含量等因素与动物群落结构的关系,国内外还均未见报道。为此,本文对此进行了比较详细的研究,旨在加深了解影响喀斯特洞穴动物群落结构变化的主要环境因子。

1 环境概况

波多洞位于中国贵州省荔波县翁昂乡的巴乐村,地理位置为北纬  $25^{\circ}16'35.7''$ ,东经  $107^{\circ}55'32.1''$ 。洞口开于半山腰,海拔高 773m,朝向正北,洞口宽 5m、高 1m,周围植被较多。波多洞为廊道式洞穴,全长 495m。“有光带”长 65m,其内有少量苔藓、地衣和蕨类植物,洞壁较干燥,地面有大量的碎石,洞顶钟乳石发育成熟。“弱光带”长 30m,其内有少量苔藓,洞顶和洞壁潮湿,有滴水,钟乳石较多,有石笋石柱。“黑暗带”长 400m,钟乳石丰富,有大量滴水,洞内潮湿。

甲良洞位于中国贵州省荔波县甲良镇的甲良村,位置为北纬  $25^{\circ}34'50.9''$ ,东经  $107^{\circ}42'12.1''$ 。洞口开于半山腰,海拔高 843m,朝向东南  $70^{\circ}$ ,洞口最高处 4m,最宽处 10m,周围是一片马尾松林。该洞全长 238m,其中“有光带”长 17.4m,洞底有一些崩塌的石块,壁和底生长有少量的苔藓、地衣等低等植物,有少量滴水;“弱光带”长 15.6m,洞顶钟乳石不发育,洞底泥土较少,主为碳酸钙沉积;“黑暗带”长 205m,洞底主为崩塌石块,泥土较少。

2 研究方法

分别在 2002 ~ 2005 年的 2 月和 7 月多次赴荔波波多洞和甲良洞进行实地调查,调查对象主要是肉眼能看到的软体动物、节肢动物和脊索动物。关于光带的划分、样点和取样面积的设置及标本的采集和处理,与已做的研究工作基本相同<sup>[15]</sup>。洞穴的地理坐标和海拔高度,用美国出产的奇遇 (eTrex Venture)GPS 接收机进行测定。温、湿度的测定,采用北京亚光仪器有限责任公司生产的 JWS A2-2 型温湿度表。洞穴滴水 pH 值,用精密 pH 试纸测定。气体样品的收集,分别在不同的光带(即有光带、弱光带和黑暗带)中各采集与篮球大小的气样一袋,将气体带回室内,用日本岛津公司出产的气象色谱仪 GC-16A 分析检测氧气、氮气和二氧化碳含量。土壤样品的收集,是在不同的光带中并在典型的地带分别取混合土样 1kg,土样带回室内后,主要检测其有机质、钙、钾、磷和钠的含量,检测方法采用土壤分析标准方法,主要仪器有 PE ICP 5300V 等。由于缺乏

一些动物类群的资料或一些动物只采到幼体,故部分标本只鉴定到属或科。

3 结果与分析

3.1 种类组成和相对数量

经调查,在上述两洞内共获软体动物、节肢动物和脊索动物标本 1514 号,波多洞内有 1045 号,隶属 3 门 6 纲 13 目 27 科 45 种或类群,其中发现一个新种(荔波双边凹螺 *Chamalycaeus libonensis* sp. nov.)<sup>[20]</sup>,甲良洞内有 469 号,隶属 3 门 6 纲 9 目 24 科 52 种或类群,详细情况见表 1、表 2 和表 3。

表 1 贵州波多洞和甲良洞内动物的分类统计

Table 1 Statistics of the classification of the animals in Boduo and Jialiang caves of Guizhou province

| 洞穴名称<br>Cave name | 门<br>Phylum | 纲<br>Class | 目<br>Order | 科<br>Family | 种(或类群)<br>Species or group |
|-------------------|-------------|------------|------------|-------------|----------------------------|
| 波多洞 Boduo cave    | 3           | 6          | 13         | 27          | 45                         |
| 甲良洞 Jialiang cave | 3           | 6          | 9          | 24          | 52                         |

表 2 波多洞内软体动物、节肢动物和脊索动物的种类(或类群)组成及相对数量

Table 2 The species (or group) composition and relative individual numbers of mollusca,arthropoda and chordata in Boduo cave

| 种类(或类群)Species or group                        | LB  | RLB | DB  | P     |
|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| 环口螺科 Cyclophoridae                             |     |     |     |       |
| 高大环口螺 <i>Cyclophorus exaltatus</i>             | 1   |     |     | 0.10  |
| 矮小褶口螺 <i>Ptychopoma humile</i>                 | 58  |     |     | 5.55  |
| 湖南扁脊螺 <i>Platyrhaphe hunana</i>                | 62  |     |     | 5.93  |
| 细锥倍唇螺 <i>Diplommatina apicina</i>              | 55  |     |     | 5.26  |
| 荔波双边凹螺 <i>Chamalycaeus libonensis</i> sp. nov. | 28  |     | 9   | 3.54  |
| 钻头螺科 Subulinidae                               |     |     |     |       |
| 柑卷轴螺 <i>Tortaxis mandarinuse</i>               | 16  |     |     | 1.53  |
| 细钻螺 <i>Opeas gracile</i>                       | 7   |     |     | 0.67  |
| 条纹钻螺 <i>O. striatissimum</i>                   | 2   | 1   |     | 0.29  |
| 小细钻螺 <i>O. gracilior</i>                       | 2   | 2   |     | 0.38  |
| 坚齿螺科 Camaenidae                                |     |     |     |       |
| 暗色毛蜗牛 <i>Trichochloritis percussa</i>          | 10  |     |     | 0.96  |
| 烟管螺科 Clausiliidae                              |     |     |     |       |
| 真管螺 <i>Euphaedusa</i> sp.                      | 10  |     | 1   | 1.05  |
| 艾纳螺科 Enidae                                    |     |     |     |       |
| 海氏奇异螺 <i>Mirus hartmanni</i>                   | 3   |     | 1   | 0.38  |
| 拟阿勇蛞蝓科 Ariophantidae                           |     |     |     |       |
| 小丘恰里螺 <i>Kaliella munipurensis</i>             |     | 5   |     | 0.48  |
| 真卷螺 <i>Euplecta</i> sp.                        | 7   | 40  | 201 | 23.73 |
| 三重真卷螺 <i>E. tripilaris</i>                     | 41  | 26  | 8   | 7.18  |
| 虹蛹螺科 Pupillidae                                |     |     |     |       |
| 角似喇叭螺 <i>Anauchen angulinus</i>                | 9   |     |     | 0.86  |
| 湖南喇叭螺 <i>Boysidia hunana</i>                   | 4   |     |     | 0.38  |
| 贵阳喇叭螺 <i>B. guiyangensis</i>                   | 13  |     |     | 1.24  |
| 瞳孔蜗牛科 Corillidae                               |     |     |     |       |
| 窄唇圈螺 <i>Plectopylis stenochila</i>             | 2   |     |     | 0.19  |
| 巴蜗牛科 Bradybaenidae                             |     |     |     |       |
| 平顶巴蜗牛 <i>Bradybaena strictotaenia</i>          | 3   |     |     | 0.29  |
| 同型巴蜗牛 <i>B. similaris</i>                      | 4   |     |     | 0.38  |
| 小婴石螺 <i>Chalepotaxis infantilis</i>            | 121 | 2   | 5   | 12.25 |
| 拟锥螺 <i>Buliminopsis buliminus</i>              | 4   |     |     | 0.38  |

续表 2

| 种类 (或类群 )Species or group               | LB    | RLB  | DB    | P    |
|-----------------------------------------|-------|------|-------|------|
| 轮状平瓣蜗牛 <i>Platypetatus trochomorpha</i> | 14    |      |       | 1.34 |
| <i>P. trephostoma</i>                   | 36    |      |       | 3.44 |
| 潮虫科 Oniscidae                           |       |      |       |      |
| 粗糙鼠妇 <i>Pocellio scaber</i>             | 1     | 12   |       | 1.24 |
| 长踦盲蛛科 Phalangidae                       |       |      |       |      |
| 盲蛛 <i>Opilio</i> sp.                    |       |      | 35    | 3.35 |
| 球蛛科 Theridiidae                         |       |      |       |      |
| 温室希蛛 <i>Achaearanea tepidariorum</i>    | 1     |      |       | 0.10 |
| 狼蛛科 Lycosidae                           |       |      |       |      |
| 拟水狼蛛 <i>Pirata subpiraticus</i>         | 1     |      |       | 0.10 |
| 跳蛛科 Salticidae                          |       |      |       |      |
| 小带斑蛛 <i>Euophrys undulato vittata</i>   | 3     |      | 1     | 0.38 |
| 类球蛛科 Nesticidae                         |       |      |       |      |
| 荔波类球蛛 <i>Nesticus libo</i>              |       | 1    | 1     | 0.19 |
| 翁外类球腹蛛 <i>N. wengwai</i>                | 2     |      |       | 0.19 |
| 肖蛸科 Tetragnathidae                      |       |      |       |      |
| 大银鳞蛛 <i>Leucauge magnifica</i>          | 1     |      |       | 0.10 |
| 漏斗蛛科 Agelenidae                         |       |      |       |      |
| 阴暗隙蛛 <i>Coelotas luctrosus</i>          | 1     | 1    |       | 0.19 |
| 泰莱蛛科 Telemidae                          |       |      |       |      |
| 凉席泰莱蛛 <i>Telema liangxi</i>             | 4     | 1    | 2     | 0.67 |
| 蚰蜒科 Scutigeridae                        |       |      |       |      |
| 大蚰蜒 <i>Thereuopoda clunifera</i>        |       |      | 4     | 0.38 |
| 山蛩科 Strongylosomidae                    |       |      |       |      |
| 山蛩虫 <i>Orthomorpha</i> sp.              |       |      | 14    | 1.34 |
| 奇马陆科 Paradoxosomatidae                  |       |      |       |      |
| 雅丽酸马陆 <i>Oxidus grasilis</i>            |       |      | 22    | 2.11 |
| 奇马陆 <i>Hylomini</i> sp.                 |       |      | 8     | 0.77 |
| 蟋蟀科 Cryllacridae                        |       |      |       |      |
| 斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>       |       | 11   | 45    | 5.36 |
| 夜蛾科 Noctuidae                           |       |      | 2     | 0.19 |
| 大蚊科 Tipulidae                           |       |      |       |      |
| 大蚊 <i>Tipula</i> sp.                    |       |      | 3     | 0.29 |
| 蚁甲科 Pselaphidae                         |       |      |       |      |
| 丽旋角蚁甲 <i>Batrídodellus callissimus</i>  |       |      | 22    | 2.11 |
| 菊头蝠科 Rhinolophidae                      |       |      |       |      |
| 绒毛菊头蝠 <i>Rhinolophus pearsoni</i>       |       |      | 32    | 3.06 |
| 鼠科 Muridae                              |       |      |       |      |
| 小泡巨鼠 <i>Rattus edwardsi</i>             |       |      | 1     | 0.10 |
| 合计 Total                                | 525   | 103  | 417   | 100  |
| 百分比 (%)                                 | 50.24 | 9.86 | 39.90 |      |

LB 为有光带 Light belt ,RLB 为弱光带 Reflection light belt ,DB 为黑暗带 Dark belt ,P 为百分比 Percentage (%) ;占总数的 15% 以上为优势种  
Species over 15% of the total are dominant ,占 1% ~ 15% 为普通种 Species between 1% — 15% of the total are common ,占 1% 以下为稀有种 Species  
below 1% of the total are rare

表 3 甲良洞内软体动物、节肢动物和脊索动物的种类 (或类群 )组成和相对数量

| Table 3 The species (or group ) composition and relative individual numbers of mollusca ,arthropoda and chordata in Jialiang cave |    |     |    |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|----|------|
| 种类 (或类群 )Species or group                                                                                                         | LB | RLB | DB | P    |
| 环口螺科 Cyclophoridae                                                                                                                |    |     |    |      |
| 小柱倍唇螺 <i>Diplommatina paxillus</i>                                                                                                | 2  |     |    | 0.43 |
| 细小倍唇螺 <i>D. herziana</i>                                                                                                          | 4  |     |    | 0.85 |
| 光秃兔唇螺 <i>Lagochilus glabratus</i>                                                                                                 | 3  |     |    | 0.64 |
| 长羽兔唇螺 <i>L. longipilus</i>                                                                                                        | 12 | 4   |    | 3.41 |
| 矮小双边凹螺 <i>Chamalycaeus nanus</i>                                                                                                  | 21 | 5   | 2  | 5.97 |
| 多毛粗糙螺 <i>Scabrina hirouta</i>                                                                                                     | 6  | 1   |    | 1.49 |
| 科氏沟螺 <i>Dioryx kobeltiana</i>                                                                                                     | 5  |     |    | 1.07 |
| 美妙假盖螺 <i>Pseudopomatias amoenus</i>                                                                                               | 1  |     |    | 0.21 |
| 褐带环口螺 <i>Cyclophorus martensianus</i>                                                                                             | 5  | 2   |    | 1.49 |
| 钻头螺科 Subulinidae                                                                                                                  |    |     |    |      |
| 柑卷轴螺 <i>Tortaxis mandarinuse</i>                                                                                                  | 10 | 3   | 1  | 2.99 |
| 细钻头螺 <i>Opeas gracile</i>                                                                                                         | 4  | 1   |    | 1.07 |
| 条纹钻头螺 <i>O. striatissimum</i>                                                                                                     | 2  |     |    | 0.43 |
| 坚齿螺科 Camaenidae                                                                                                                   |    |     |    |      |
| 同旋小丽螺 <i>Ganesella conispira</i>                                                                                                  | 4  | 1   |    | 1.07 |
| 小台小丽螺 <i>G. microbembix</i>                                                                                                       | 3  | 2   |    | 1.07 |
| 小丽螺 <i>G. sp.</i>                                                                                                                 | 5  |     |    | 1.07 |
| 烟管螺科 Clausiliidae                                                                                                                 |    |     |    |      |
| 尖真管螺 <i>Euphaedusa aculus</i>                                                                                                     | 7  | 3   | 3  | 2.77 |
| 艾纳螺科 Enidae                                                                                                                       |    |     |    |      |
| 海氏奇异螺 <i>Mirus hartmanni</i>                                                                                                      | 4  |     |    | 0.85 |
| 内齿螺科 Endodontidae                                                                                                                 |    |     |    |      |
| 浅圆盘螺 <i>Discus pauper</i>                                                                                                         | 4  |     |    | 0.85 |
| 瞳孔蜗牛科 Corrillidae                                                                                                                 |    |     |    |      |
| 裂开圈螺 <i>Plectopylis schistoptychia</i>                                                                                            | 6  | 2   |    | 1.71 |
| 圈螺 <i>P. sp.</i>                                                                                                                  | 9  | 4   | 2  | 3.19 |
| 拟阿勇蛞蝓科 Ariophantidae                                                                                                              |    |     |    |      |
| 扁恰里螺 <i>Kaliella deressa</i>                                                                                                      | 6  | 2   |    | 1.71 |
| 金字塔恰里螺 <i>K. pyramidata</i>                                                                                                       | 3  |     |    | 0.64 |
| 真锥恰里螺 <i>K. eucoaus</i>                                                                                                           | 10 | 3   | 2  | 3.19 |
| 多旋恰里螺 <i>K. polygyra</i>                                                                                                          | 2  |     |    | 0.43 |
| 猛巨楯蛞蝓 <i>Macrochlamys rejecta</i>                                                                                                 | 12 | 6   | 26 | 9.38 |
| 树脂巨楯蛞蝓 <i>M. resinacea</i>                                                                                                        | 8  | 3   | 3  | 2.99 |
| 真卷螺 <i>Euplecta sp.</i>                                                                                                           | 1  |     |    | 0.21 |
| 巴蜗牛科 Bradybaenidae                                                                                                                |    |     |    |      |
| 同型巴蜗牛 <i>Bradybaena similaris</i>                                                                                                 | 4  | 1   | 1  | 1.28 |
| 小婴石螺 <i>Chalepotaxis infantilis</i>                                                                                               | 18 | 8   | 4  | 6.40 |
| 欧氏大脐蜗牛 <i>Aegista aubryana</i>                                                                                                    | 2  |     |    | 0.43 |
| 潮虫科 Oniscidae                                                                                                                     |    |     |    |      |
| 粗糙鼠妇 <i>Pocellio scaber</i>                                                                                                       |    |     | 5  | 1.07 |
| 长踠盲蛛科 Phalangidae                                                                                                                 |    |     |    |      |
| 盲蛛 <i>Opilio sp.</i>                                                                                                              |    | 2   |    | 0.43 |
| 漏斗蛛科 Agelenidae                                                                                                                   |    |     |    |      |
| 家偶蛛 <i>Tegenaria domestica</i>                                                                                                    | 8  | 2   | 2  | 2.56 |
| 球蛛科 Theridiidae                                                                                                                   |    |     |    |      |

续表 3

| 种类 (或类群) Species or group            | LB    | RLB   | DBP   |       |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 温室希蛛 <i>Achaearanea tepidariorum</i> | 2     | 1     | 1     | 0.85  |
| 风雅丽蛛 <i>Chrysso venusta</i>          | 1     |       |       | 0.21  |
| 阿氏球蛛 <i>Theridion adamsoni</i>       | 1     |       |       | 0.21  |
| 肖蛸科 Tetragnathidae                   |       |       |       |       |
| 大鳞银蛛 <i>Leucauge magnifica</i>       | 2     |       |       | 0.43  |
| 圆蛛科 Araneidae                        |       |       |       |       |
| 山地艾蛛 <i>Cyclosa monticola</i>        | 1     |       |       | 0.21  |
| 侧斑艾蛛 <i>C. laticauda</i>             | 1     |       |       | 0.21  |
| 泰莱蛛科 Telemidae                       |       |       |       |       |
| 董背泰莱蛛 <i>Telema dongbei</i>          | 2     | 1     | 1     | 0.85  |
| 妩蛛科 Uloboridae                       |       |       |       |       |
| 中华涡蛛 <i>Octonoba sinensis</i>        | 1     |       |       | 0.21  |
| 皿蛛科 Linyphiidae                      |       |       |       |       |
| 日本盖蛛 <i>Nerienne japonica</i>        | 1     |       |       | 0.21  |
| 黑斑盖蛛 <i>N. nigripectoris</i>         | 2     | 1     | 1     | 0.85  |
| 盖蛛 <i>N. sp.</i>                     | 2     |       |       | 0.43  |
| 巨蟹蛛科 Heteropodidae                   |       |       |       |       |
| 严特巨蟹蛛 <i>Thelecticopsis severa</i>   | 1     |       |       | 0.21  |
| 狩猎巨蟹蛛 <i>Heteropoda venatoria</i>    | 1     | 1     |       | 0.43  |
| 奇马陆科 Paradoxosomatidae               |       |       |       |       |
| <i>Kronopus sp.</i>                  |       | 2     | 5     | 1.49  |
| <i>Kronopolites sp.</i>              |       | 3     | 12    | 3.19  |
| 夜蛾科 Noctuidae                        |       |       |       |       |
| 夜蛾 <i>Sypna sp.</i>                  | 2     | 3     | 3     | 1.71  |
| 蟋螽科 Cryllacridae                     |       |       |       |       |
| 斑灶马 <i>Diestrammena marmorata</i>    | 12    | 18    | 23    | 11.30 |
| 菊头蝠科 Rhinolophidae                   |       |       |       |       |
| 绒毛菊头蝠 <i>Rhinolophus pearsoni</i>    |       |       | 36    | 7.68  |
| 蝙蝠科 Vespertilionidae                 |       |       |       |       |
| 西南鼠耳蝠 <i>Myotis altarium</i>         |       |       | 28    | 5.97  |
| 合计 Total                             | 223   | 85    | 161   | 100   |
| 百分比 (%)                              | 47.55 | 18.12 | 34.33 |       |

注释与表 2 同 Annotation is same to table 2

从表 2 看出 ,波多洞内的优势动物种群是真卷螺 (*Euplecta* ) ,占该洞总捕获数的 23.73% ,其余均为普通种和稀有种。表 3 中数据表明 ,甲良洞内的优势动物种群不明显 ,但所占比例最高的是斑灶马 (*Diestrammena marmorata* ) ,占该洞总捕获数的 11.30%。

3.2 群落组成

根据不同洞穴和不同光带中动物种类和数量的组成不同及有关环境因子的差异 ,可将波多洞和甲良洞内的动物群划分为 6 个动物群落 ,具体划分如下 :

群落 A 小婴石螺 (*Chalepotaxis infantilis* ) + 湖南扁脊螺 (*Platyrhaphe hunana* )群落。分布在波多洞的有光带 ,前者为优势种而后者为普通种 ,分别占该带总捕获数的 23.05% 和 11.81%。

群落 B 真卷螺 (*Euplecta* ) + 三重真卷螺 (*E. tripilaris* )群落。分布在波多洞的弱光带 ,两者均为优势种 ,分别占该带总捕获数的 38.83% 和 25.24%。

群落 C 真卷螺 + 盲蛛 (*Opilio* )群落。分布在波多洞的黑暗带 ,前者为优势种而后者为普通种 ,分别占

该带总捕获数的 48.20% 和 10.79%。

群落 D 矮小双边凹螺 (*Chamalycaeus nanus*) + 小婴石螺群落。分布在甲良洞的有光带 ,两者都是普通种 ,分别占该带总捕获数的 9.42% 和 8.07%。

群落 E 斑灶马 + 小婴石螺群落。分布在甲良洞的弱光带 ,前者为优势种而后者为普通种 ,分别占该带总捕获数的 21.18% 和 9.41%。

群落 F 绒毛菊头蝠 (*Rhinolophus pearsoni*) + 西南鼠耳蝠 (*Myotis altarium*) 群落。分布在甲良洞的黑暗带 ,两者都是优势种 ,分别占该带总捕获数的 22.36% 和 17.39%。

3.3 群落多样性分析

按照 Margalf 的物种 Richness index 公式计算物种的丰富度  $D = (S - 1) / \ln N$ 。根据 Shannon-Weiner index 公式计算群落的多样性  $H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\ln P_i)$  ;  $J' = \frac{H'}{H'_{max}}$ 。采用 Simpson 优势度指数公式计算群落的优势度  $C = \sum (n_i / N)^2$ 。按 Whittaker 的相似性指数公式来分析群落的相似性程度  $I = 1 - 0.5 (\sum_i |a_i - b_i|)$  )。上述几种指标的计算结果列于表 4 和表 5。

表 4 不同群落的多样性、均匀度和优势度指数  
Table 4 Diversity evenness and dominance indexes of different community

| 群落 Community | S  | D      | H'     | H' <sub>max</sub> | J'     | C      |
|--------------|----|--------|--------|-------------------|--------|--------|
| A            | 31 | 4.7889 | 2.6747 | 3.4340            | 0.7789 | 0.1077 |
| B            | 12 | 2.3734 | 1.7290 | 2.4849            | 0.6958 | 0.2431 |
| C            | 20 | 3.1493 | 1.9126 | 2.9957            | 0.6384 | 0.2652 |
| D            | 46 | 8.3223 | 3.4677 | 3.8286            | 0.9057 | 0.0404 |
| E            | 27 | 5.8524 | 2.9365 | 3.2958            | 0.8910 | 0.0790 |
| F            | 20 | 3.7391 | 2.3028 | 2.9957            | 0.7687 | 0.1367 |

S 物种数 No. of species ;D 物种丰富度 Richness of species ;H' 群落多样性 Diversity of community ;H'<sub>max</sub> 群落最大多样性 The biggest diversity of community ;J' 群落均匀度 Evenness of community ;C 群落优势度 Dominance of community

从表 4 中数据可以看出这样一个问题 :首先 ,物种丰富度指数最高是群落 D (8.3223 )和群落 A (4.7889 ) ,分别分布在波多洞和甲良洞的有光带 ,说明那里的物种相对于个体数量来说是相当丰富的。其次 ,群落多样性指数最高的也是群落 D (3.4677 )和群落 A (2.6747 ) ,说明群落总体中的物种数和各物种数量分布的均匀程度都比较高。第三 ,均匀度指数从高到低的顺序是群落 D (0.9057 ) > E (0.8910 ) > A (0.7789 ) > F (0.7687 ) > B (0.6958 ) > C (0.6384 ) ,而优势度指数从高到低的顺序则是群落 C (0.2652 ) > B (0.2431 ) > F (0.1367 ) > A (0.1077 ) > E (0.0790 ) > D (0.0404 ) ,二者顺序刚好相反。

表 5 中的相似性指数结果表明 ,群落 D 与 E (0.6611 )、B 与 C (0.5336 )、E 与 F (0.4335 )之间很相似 ,它们都分布在相邻光带中 ,说明相邻群落 (或光带 )之间的差异较小 ,而相离较远的群落 (或光带 )之间则差异较大。

3.4 部分环境因子与群落多样性的相关性

为了查清以上现象是不是与环境因子有关 ,本文对部分环境因子进行了测定 (见表 6 ) ,并用 SPSS12.0 统计软件对不同群落中环境因子与群落多样性的相关性进行了检验。检验之前还对群落多样性与环境因子的原始数据进行了标准化处理 ,以消除量纲影响 ,计算结果见表 7。

表 5 不同群落的相似性指数

Table 5 Similarity index between every two communities

| 群落 Community | A      | B      | C      | D      | E      |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B            | 0.1408 |        |        |        |        |
| C            | 0.0840 | 0.5336 |        |        |        |
| D            | 0.1440 | 0.0871 | 0.0778 |        |        |
| E            | 0.1459 | 0.1262 | 0.1481 | 0.6611 |        |
| F            | 0.0412 | 0.1575 | 0.2015 | 0.2596 | 0.4335 |

表 6 各群落中部分环境因子的测定值

| Table 6 Measure value on part of environmental factors in different community |                                 |            |     |                       |                       |                        |            |               |               |                |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|-----|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------|---------------|---------------|----------------|------------|
| 群落<br>Community                                                               | $T_a$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $H$<br>(%) | pH  | AO<br>( $\varphi\%$ ) | AN<br>( $\varphi\%$ ) | ACO<br>( $\varphi\%$ ) | SCa<br>(%) | SK<br>(mg/kg) | SP<br>(mg/kg) | SNa<br>(mg/kg) | SOM<br>(%) |
| A                                                                             | 21.9                            | 81.0       | 7.0 | —                     | —                     | 0.089                  | 13.82      | —             | —             | —              | 2.15       |
| B                                                                             | 19.6                            | 92.1       | 6.7 | —                     | —                     | 0.082                  | 11.00      | —             | —             | —              | 1.66       |
| C                                                                             | 17.2                            | 96.0       | 6.7 | —                     | —                     | 0.083                  | 6.26       | —             | —             | —              | 2.21       |
| D                                                                             | 15.0                            | 97.0       | 6.0 | 21.0                  | 78.0                  | 0.058                  | 11.30      | 1974          | 702           | 567            | 4.86       |
| E                                                                             | 14.0                            | 98.0       | 6.5 | 20.6                  | 76.3                  | 0.046                  | 2.73       | 927           | 1631          | 693            | 2.49       |
| F                                                                             | 13.0                            | 99.0       | 6.5 | 21.0                  | 77.2                  | 0.057                  | 12.20      | 2809          | 2389          | 931            | 1.91       |

$T_a$  :气温 Air temperature ; $H$  湿度 Humidity pH pH 值 pH value ;AO :空气中氧的含量 Content of oxygen in air ;AN :空气中氮的含量 Content of nitrogen in air ;ACO :空气中二氧化碳的含量 Content of dioxide in air ;SK :土壤中钾的含量 Content of potassium in soil ;SNa :土壤中钠的含量 Content of sodium in soil ;SCa :土壤中钙的含量 Content of calcium in soil ;SP :土壤中磷的含量 Content of phosphorus in soil ;SOM :土壤中有机质的含量 Content of organic matter in soil ;— 未测定 Not measure ;下同 the same below

表 7 标准差标准化后不同动物群落的多样性及部分环境因子的各项数据

Table 7 The standardized data of community diversity and part of environmental factors in different animal community by standard deviations

| 项目 Item                 | 群落 Community |          |          |          |          |          |
|-------------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                         | A            | B        | C        | D        | E        | F        |
| 物种数 ( $S$ )             | -0.42440     | -1.18832 | -0.50928 | 1.69760  | 0.08488  | -0.50928 |
| 物种丰富度 ( $D$ )           | 0.03962      | -1.08217 | -0.72195 | 1.67965  | 0.53298  | -0.44813 |
| 群落多样性 ( $H'$ )          | 0.26136      | -1.18562 | -0.90470 | 1.47469  | 0.66193  | -0.30767 |
| 群落最大多样性 ( $H'_{\max}$ ) | 0.57092      | -1.50081 | -0.38582 | 1.43227  | 0.26925  | -0.38582 |
| 群落均匀度 ( $J'$ )          | -0.00808     | -0.76761 | -1.34296 | 1.19665  | 1.05698  | -0.10499 |
| 群落优势度 ( $C$ )           | -0.41665     | 1.08174  | 1.32630  | -1.16141 | -0.73425 | -0.09572 |
| 温度 ( $T_a$ )            | 1.48289      | 0.81632  | 0.12076  | -0.51684 | -0.80666 | -1.09647 |
| 湿度 ( $H$ )              | -1.90533     | -0.27219 | 0.32168  | 0.47015  | 0.61861  | 0.76708  |
| pH 值 (pH)               | 1.30261      | 0.40080  | 0.40080  | -1.70341 | -0.20040 | -0.20040 |
| 氧气 (AO)                 | —            | —        | —        | 0.57735  | -1.15470 | 0.57735  |
| 氮气 (AN)                 | —            | —        | —        | 0.97983  | -1.01902 | 0.03919  |
| 二氧化碳 (ACO)              | 1.12326      | 0.72682  | 0.78345  | -0.63242 | -1.31204 | -0.68906 |
| 钙 (SCa)                 | 1.01883      | 0.34571  | -0.78571 | 0.41732  | -1.62830 | 0.63215  |
| 钾 (SK)                  | —            | —        | —        | 0.07494  | -1.03536 | 0.96042  |
| 磷 (SP)                  | —            | —        | —        | -1.03202 | 0.06746  | 0.96456  |
| 钠 (SNa)                 | —            | —        | —        | -0.88360 | -0.20197 | 1.08557  |
| 有机质 (SOM)               | -0.33972     | -0.75937 | -0.28833 | 1.98120  | -0.04853 | -0.54526 |

利用 Pearson 相关系数公式对表 7 中动物群落的各项指数、指标之间分别计算其 Pearson 相关系数 ,得到表 8 中的各种相关系数矩阵。

从表 8 可见 ,钠 (SNa)与优势度指数呈极显著正相关 (相关系数为 0.998 ,双尾显著性检验 $\leq 0.05$ ) ;有机质 (SOM)与物种数 ( $S$ )、物种丰富度 ( $D$ )、群落多样性 ( $H'$ )和群落最大多样性 ( $H'_{\max}$ )均呈极显著正相关 (相关系数分别是 0.908、0.913、0.826 和 0.818 ,双尾显著性检验均 $\leq 0.05$ ) ,其余相关性均不显著。

从物种和群落多样性的各种指标间的相关性上看  $S$  与  $D$ 、 $H'$ 和  $H'_{\max}$  都呈极显著正相关 ,相关系数分别为 0.959、0.939 和 0.975 (双尾显著性检验均 $\leq 0.01$ ) ;与优势度指数 ( $C$ )呈极显著负相关 ,相关系数为  $-0.825$  (双尾显著性检验 $\leq 0.05$ ) 。  $D$  与  $H'$ 、 $H'_{\max}$  和均匀度指数 ( $J'$ )均是极显著正相关 ,相关系数分别为 0.983、0.929 和 0.891 (双尾显著性检验前两者 $\leq 0.01$  ,而后者则 $\leq 0.05$ ) ;与  $C$  呈极显著负相关 ,相关系数是

-0.889 (双尾显著性检验 $\leq 0.05$ )。  $H'$ 与  $H'_{\max}$ 和  $J'$ 都是极显著正相关 相关系数分别是 0.937 和 0.931 (双尾显著性检验前者 $\leq 0.01$  ,后者则 $\leq 0.05$ ) ;与  $C$  呈极显著负相关 相关系数是 -0.952 (双尾显著性检验 $\leq 0.01$ )。  $H'_{\max}$ 与  $C$  呈极显著负相关 相关系数为 -0.839 (双尾显著性检验 $\leq 0.05$ )。  $J'$ 与  $C$  呈极显著负相关 相关系数是 -0.959 (双尾显著性检验 $\leq 0.01$ )。 其余相关性均不显著。

表 8 波多洞和甲良洞内动物群落的各种 Pearson 相关系数矩阵

| Table 8 The matrix on Pearson correlation coefficient of different species of animal community in Boduo cave and Jialiang cave |          |          |           |                          |           |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|--------------------------|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| <i>R</i>                                                                                                                       | <i>S</i> | <i>D</i> | <i>H'</i> | <i>H'</i> <sub>max</sub> | <i>J'</i> | <i>C</i> | AT        | H       | pH       | AO      | AN     | ACO    | SCa   | SK     | SP     | SNa    |
| <i>D</i>                                                                                                                       | 0.959 ** |          |           |                          |           |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>H'</i>                                                                                                                      | 0.939 ** | 0.983 ** |           |                          |           |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>H'</i> <sub>max</sub>                                                                                                       | 0.975 ** | 0.929 ** | 0.937 **  |                          |           |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>J'</i>                                                                                                                      | 0.761    | 0.891 *  | 0.931 **  | 0.750                    |           |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>C</i>                                                                                                                       | -0.825 * | -0.889 * | -0.952 ** | -0.839 *                 | -0.959 ** |          |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>T</i> <sub>a</sub>                                                                                                          | -0.158   | -0.344   | -0.330    | -0.192                   | -0.436    | 0.345    |           |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| <i>H</i>                                                                                                                       | -0.038   | 0.152    | 0.080     | -0.052                   | 0.187     | -0.030   | -0.918 ** |         |          |         |        |        |       |        |        |        |
| pH                                                                                                                             | -0.587   | -0.710   | -0.616    | -0.486                   | -0.620    | 0.513    | 0.714     | -0.708  |          |         |        |        |       |        |        |        |
| AO                                                                                                                             | 0.257    | 0.045    | -0.051    | 0.159                    | -0.413    | 0.114    | 0.000     | 0.000   | -0.500   |         |        |        |       |        |        |        |
| AN                                                                                                                             | 0.682    | 0.509    | 0.425     | 0.605                    | 0.064     | -0.367   | 0.470     | -0.470  | -0.849   | 0.882   |        |        |       |        |        |        |
| ACO                                                                                                                            | -0.324   | -0.552   | -0.573    | -0.345                   | -0.742    | 0.624    | 0.899 *   | -0.745  | 0.709    | 0.997 * | 0.915  |        |       |        |        |        |
| SCa                                                                                                                            | 0.134    | -0.043   | -0.018    | 0.056                    | -0.103    | -0.088   | 0.421     | -0.523  | 0.128    | 0.996   | 0.839  | 0.443  |       |        |        |        |
| SK                                                                                                                             | -0.197   | -0.402   | -0.488    | -0.294                   | -0.774    | 0.542    | -0.443    | 0.443   | -0.065   | 0.897   | 0.583  | 0.861  | 0.931 |        |        |        |
| SP                                                                                                                             | -0.980   | -1.000   | -0.994    | -0.995                   | -0.885    | 0.985    | -0.998 *  | 0.998 * | 0.894    | -0.058  | -0.521 | -0.133 | 0.028 | 0.390  |        |        |
| SNa                                                                                                                            | -0.906   | -0.976   | -0.992    | -0.944                   | -0.969    | 0.998 *  | -0.985    | 0.985   | 0.765    | 0.175   | -0.309 | 0.100  | 0.259 | 0.593  | 0.973  |        |
| SOM                                                                                                                            | 0.908 *  | 0.913 *  | 0.826 *   | 0.818 *                  | 0.674     | -0.655   | -0.309    | 0.247   | -0.824 * | 0.331   | 0.736  | -0.395 | 0.036 | -0.121 | -0.961 | -0.871 |

\* \* 双尾显著性检验 $\leq 0.01$  (at the 0.01 level (2-tailed)) ; \* 双尾显著性检验 $\leq 0.05$  (at the 0.05 level (2-tailed)) ; *R* :相关系数 Pearson correlation coefficient

4 讨论

本文研究结果显示出 ,喀斯特洞穴内的动物群落 ,在结构组成上 ,是与环境因子有较大关系的。洞口附近的“有光带”显然是多样性最丰富的地方 ,那里光线多 ,生长的植物种类也多 ,因而动物的食物也丰富。洞口外的一些周围动物 ,如小婴石螺等 ,也会暂时迁入洞内 ,或适应后定居下来 ,以躲避洞外环境中的冬季低温或夏季干旱。因此 ,洞内外的各种环境因子显然会影响和制约洞内动物的丰富度和分布。而本文对部分环境因子的测定结果 ,则证明了这一点。

在测定的几个环境因子中 ,土壤中的有机质 (见表 6 中的 SOM )含量表现为主流因子 ,它与物种 ( $S$ )、物种丰富度 ( $D$ )、群落多样性 ( $H'$ )和群落最大多样性 ( $H'_{\max}$ ) ,以及均匀度指数均呈正相关。接近洞口的土壤有机质来源主要包括气流带入、洞口植物自身形成、蝙蝠及其他动物带入等几种方式 ,但远离洞口的土壤有机质则主要靠洞穴岩缝的渗水带入。由于洞穴内的食物比较贫乏 ,土壤有机质实际上是许多无脊椎动物 (如杂食的螺类、马陆等)的主要食物来源 ,也构成了无脊椎动物食物链 (顶级消费者是蜘蛛、蝙蝠等)的基础。

空气中二氧化碳 (见表 6 中的 ACO )含量是第二个主流性因子 ,它们与  $S$ 、 $D$ 、 $H'$ 、 $H'_{\max}$ 和均匀度指数 ( $J'$ )都呈负相关 ,说明能负面影响物种和群落的多样性。经本文的测定 ,溶洞内的空气  $\text{CO}_2$  含量 ( $692\mu\text{mol/mol}$  ,6 个样品的平均数 )要比洞外的 (一般为  $330\mu\text{mol/mol}$  [21] )高出 209.69% ,这主要是因为洞内有机物质在堆积的过程中和洞内化学堆积物在形成过程中能形成大量  $\text{CO}_2$  所致。而当空气中  $\text{CO}_2$  含量增加到  $10000 \sim 30000\mu\text{mol/mol}$  时 ,不仅脊椎动物的呼吸会明显加快 ,一些昆虫也会进入休眠状态 [22] 。

溶洞是个特殊的环境 ,它昏暗无光、植物少、食物贫乏、 $\text{CO}_2$  含量高 ,因而动物能形成变异 ,波多洞的真卷螺 (*Euplecta*) 等就出现了螺壳变薄变淡的现象。如果这些变异长期积累 ,最终还可能形成新的亚种或物种 ,例如波多洞发现的新种“荔波双边凹螺” (*Chamalycaeus libonensis* sp. nov. ) ” [20] 。可见 ,深入开展洞穴生态的研

究 ,对动物起源演化及地史变迁等均具有重要的理论意义。

References :

[1 ] Strahler A N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. Geol Soc Am Bull ,1958 69 270 — 300.

[2 ] Zhang D. The meteorological features and the analysis of climate zone in karst cave in Guizhou. Carsologica Sinica ,1985 4 ( 1 ) :140 — 147.

[3 ] Sket B. *Niphargus aquilex dohati* ssp. n. (Crustacea ,Amphipoda ) from the karst of Slovenia. Mitt. Verb. dt. Höhlen-u. Karstforsch ,1999 45 ( 2 ) : 54 — 56.

[4 ] Elliot W R. The cave fauna of California. Proc. NSS Ann. Meet. in NSS Bull . 1985 48 ( 1 ) 59.

[5 ] Stewart B P. A summary of diversity and distribution of the obligate cave-inhabiting faunas of the United States and Canada. Journal of Cave and Karst Studies ,1998 60 ( 1 ) :18 — 26.

[6 ] Decu V G. A review of the terrestrial cavernicolous fauna of Romania. NSS Bull ,1983 45 ( 4 ) :86 — 97.

[7 ] Tercafs R ,Brouwir C. Population size of Pyrenean troglobiont coleopters (Speonomus species ) in a cave in Belgium. Int. J. Speleol ,1991 20 ( 1 ) : 23 — 25.

[8 ] Biswass J. Metaboliency and regulation of body weight a comparison life in hypogen and ecosystem. Int. J. Speleol ,1991 20 ( 1 ) :15 — 22.

[9 ] Courbault N. Nouvelles donnees morphologiques et caryologie du triclade hypoge pyreneen dendrocoelum Lescherae. Int. J ,1985 14 ( 1-4 ) 9 — 18.

[10 ] Griffith D M. The effects of substrate moisture on survival of adult cave beetles (*Neaphaenops tellkampfi* ) and cave cricket eggs (*Hadenoeus subterraneus* ) in a Sandy deepcave sit. NSS Bull ,1991 53 ( 2 ) 98 — 103.

[11 ] Kane T C ,Richardson R C. Regressive evolution an historical perspective. NSS Bull , 1985 47 ( 2 ) 71 — 77.

[12 ] Li D H ,Luo T C and Chen D N. A new species of land snail from Guizhou Province ,China (Pulmonata ,Stylommatophora ,Clausiliidae ). Acta Zootaxonomica Sinica 2003 28 ( 3 ) :446 — 447.

[13 ] Chen Z F. The study of spider ecology of Shuanglong cave in Jinhua of Zhejiang. Acta of Hangzhou Normal University ,1985 4 ( 1 ) :140 — 147.

[14 ] Peck S B. Community composition and zoogeography of the invertebrate cave fauna of Barbados. Fla. Entomol ,1981 64 ( 4 ) 519 — 527.

[15 ] Li D H ,Luo R ,Chen H. Study on the animal communities in Dadongkou cave ,Guizhou Province. Acta Ecologica Sinica ,2001 21 ( 1 ) :126 — 130.

[16 ] Gunther Lamprecht ,Friedrich Weber. Time-keeping mechanisms and their ecological significance in cavemicolous animals. NSS Bull ,1985 47 ( 2 ) :147 — 162.

[17 ] Chapman P. Quantitative. Analysis of cave-dwelling invertebrates in estado falcon. Venezuela. NSS Bull ,1983 45 ( 2 ) :40 — 44.

[18 ] Sket B. The ecology of anchihaline caves. Trends Ecol. Evol. ,1996 11 ( 5 ) 221 — 225.

[19 ] Li D H ,Luo R. Study of the relationship between the animal community structure and distribution and part of environmental factors in Longdong cave of Guizhou province. Carsologica Sinica 2001 20 ( 4 ) 315 — 320.

[20 ] Chen D N ,Li D H ,Luo T C. Study on fauna of freshwater and land snails from cave of Guizhou Province ,China ,with descriptions of a new species. Acta Zootaxonomica Sinica ,2003 28 ( 4 ) :614 — 620.

[21 ] Yu J B ,Zhang H S ,Huang X H , et al. The study of tourious resources of Huangguoshu area. Shanghai :Shanghai Technological Education Press ,1990. 286 — 331.

[22 ] Huadong Normal University et al. Animal zoology. Beijing :People 's Education Press ,1982. 1 — 114.

参考文献 :

[2 ] 张典. 贵州喀斯特洞穴的气象特征和气候分带研究. 中国岩溶 ,1985 4 ( 1 ) :140 ~ 147.

[12 ] 黎道洪 ,罗泰昌 ,陈德牛. 贵州洞穴陆生贝类一新种 (肺螺亚纲 柄眼目 烟管螺科 ). 动物分类学报 ,2003 28 ( 3 ) :446 ~ 447.

[13 ] 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.

[15 ] 黎道洪 ,罗蓉 ,陈汧. 贵州大洞口内若干动物群落研究. 生态学报 ,2001 21 ( 1 ) :126 ~ 130.

[19 ] 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.

[20 ] 陈德牛 ,黎道洪 ,罗泰昌. 贵州洞穴淡水和陆生贝类区系及新种记述. 动物分类学报 ,2003 28 ( 4 ) :614 ~ 620.

[21 ] 俞锦标 ,章海生 ,黄象洪等. 黄果树区域旅游资源研究. 上海 :上海科技教育出版社 ,1990. 286 ~ 331.

[22 ] 华东师范大学 ,等. 动物生态学上册. 北京 :人民教育出版社 ,1982. 1 ~ 114.