

云南建水燕子洞游客和雨燕 生态环境质量的研究

卢云亭

(北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

肖 诚

(云南建水县燕子洞风景管理处, 建水 654316)

提 要 本文是在调查云南省建水燕子洞雨燕和游人两大生物主体的洞穴活动以及它们所依赖的洞穴各环境要素值的基础上, 着重研究分析了该洞在微气候、空气和水体质量、自然通风量、噪声等生态环境的特性及其与游客、雨燕等生物体之间的相容相悖关系, 并以此为依据, 进一步提出保护该洞生态环境的一系列重要对策。

关键词 洞穴 生态环境 生物体 保护对策

燕子洞风景区座落于云南省建水县城东 28 km 处的群山之中。东经 $102^{\circ}55'$, 北纬 $23^{\circ}38'$ 。海拔 1 220 m~1 270 m。燕子洞是游人和雨燕共同利用的喀斯特洞穴空间场所。每年 5 月~10 月约有 10 万只以上白腰雨燕来此筑巢和生息, 自古以来就有“燕洞奇景”之称。

1 燕子洞生态环境的调查结果和特性分析

洞穴生态环境是游人在洞穴游览过程中和其他动物在洞内生息中所依托的气、水、噪声等环境的总称。它包括进入洞穴的人和雨燕两类生物体生息活动的所有环境载体以及这些载体与它们之间的相互影响。为了全面而深入的认识生物体与洞穴自然环境之间互促互悖的关系, 我们与云南省红河州环境科学学会和城乡建设环境保护局等单位曾对该洞微气候、空气、水体、自然通风量、环境噪声的质量进行了现场观测和取样分析。

(1) 溶洞内微气候测定结果与生态主体间相容相悖关系。为测定洞内微气候, 而在洞内、洞口布署了 10 个观测点, 分别于 1990 年夏、冬组织两次对溶洞气温、相对湿度和气流等指标进行测定。每次连续观测三天, 每天于开洞前早 7 时和午 14 时为观测时段, 然后求其平均值。测定结果见表 1。

测定洞内不同时段微气候的变化, 选择早 7 时和午 14 时两个时段, 分别观测其上述列诸项指标, 见表 2。

从表 2 看到, 洞内不同时段小气候变化规律是一致的。气温、有效温度、不适指数 14 时高于 7 时, 分别升高 $1.6^{\circ}\text{C}\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.4^{\circ}\text{C}\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ 、 $1.6^{\circ}\text{C}\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 。而相对湿度和风速早 7 时高于午 14 时, 分别降低 $3.5\%\sim 5.2\%$ 、 $0.01\text{ m/s}\sim 0.018\text{ m/s}$ 。

来稿日期: 1996-10-14; 收到修改稿日期: 1997-02-24。

表 1 燕子洞内及洞口气温等的比较

Tab. 1 Comparison of temperature and so on between inside Swallow Cavern and Outside

季节	气温 (0℃)	与地面同 期比较 (0℃)	平均相 对湿度 (%)	与地面同 期比较 (%)	平均 气流 (m/s)	与地面同 期比较 (m/s)	平均有 效温度 (0℃)	与地面同 期比较 (0℃)	平均不 适指数	与地面同 期比较
夏季	21.8	-1.6	91.6	+11.2	0.3	-0.03	20.6	-1	71.3	-1.2
冬季	13.4	+1.4	83	-0.8	0.5	+0.18	11.2	+0.3	58.8	2.1

表 2 燕子洞内夏冬两季微气候的比较

Tab. 2 Comparison of microclimate in Swallow Cavern between Summer and Winter

季 节	时段	气温 (0℃)	相对湿度 (%)	气流 (m/s)	有效温度 (0℃)	不适指数
夏季	7: 00	21	94.5	0.40	19.9	70.6
	14: 00	22.6	89.3	0.22	21.3	72.2
冬季	7: 00	12.3	84.7	0.44	10.1	57.7
	14: 00	14.3	81.2	0.43	12.3	60

按照国家公共场所微小气候卫生标准评价：全年相对湿度大于 80% 的超标率 78.6%，风速小于 0.1 m/s 的超标率 15.5%。文献指出有效温度 17.5℃~22℃ 为舒适温度，不适指数 75 时人群中有 9% 的人感觉不适，77 时有 65% 的人感觉不适。而燕子洞的调查结果：① 气温夏季 21.8℃，属舒适范围；冬季 13.4℃，属不舒适范围，但在滇南地区，冬季地面平均气温 12℃，故进洞游览比在洞外还略为舒适。表明冬夏季燕子洞均适合旅游活动。② 燕子洞相对湿度冬、夏季均在 83% 以上，高于地面公共场所微小气候的卫生标准规定。③ 燕子洞的风速冬夏季分别为 0.5 m/s 和 0.3 m/s，大于地面公共场所微小气候卫生标准，游人进入感到风速较大，这可能是与它有 3 个洞口、自然通风量大有关。④ 燕子洞有效温度冬季为 4.5℃~17.3℃，夏季为 16.5℃~24.3℃，与地面公共场所有效温度卫生标准比较，夏季在洞内是比较舒适的，而冬季是不太舒适的，但考虑到滇南冬季地面有效温度为 7.4℃~20℃，故游人在洞内不舒适程度大为减弱。⑤ 燕子洞不适指数冬季为 53~64，夏季为 68~74，均比公共场所不适指数低，故属舒适的游览范围。

(2) 溶洞内空气质量监测结果与生态主体间相容相悖关系。燕子洞空气质量主要监测的是 CO₂、NO₂、NH₃ 及细菌含量四项指标。选取测点与微小气候相同。四项指标监测结果见表 3。

根据表 3 及对燕子洞各测点每天不同时段空气质量的测定结果可见，CO₂ 平均浓度和一次性最大值均未超过文化娱乐场所卫生标准 (0.15%)。洞内 CO₂ 浓度略高于洞外；不同时段 CO₂ 浓度变化，夏季开洞前高于中午，冬季则相反。表明燕子洞 CO₂ 来源主要与游人、雨燕栖息及其排泄物的分解有关。洞内 NO₂ 的平均值和最大值也均未超过国家大气环境质量 II 标准。日浓度变化一般是中午高于开洞前，这表明洞内 NO₂ 主要来自游船燃料废气污染。游人增多，用游船也多，NO₂ 则增高。但从总体看，燕子洞的 NO₂ 含量较低，其主要原因可能与风速有关。表明洞内 NO₂ 的浓度与风速呈正相关。燕子洞空气中的 NH₃ 浓度比较高，夏季一次最大值达 0.301 4 mg/m³，比居民区大气 NH₃ 一次最大值允许浓度 0.2

mg/m³, 超过 0.010 14 mg/m³。超标均出现于夏季, 超标点均在雨燕栖息区。说明洞内氨污染主要来自雨燕排泄物分解。日浓度变化午间高于开洞前, 说明氨污染与游人和温度有关系。燕子洞的空气细菌数, 平均含量和最大值也未超过文化娱乐场所卫生标准 4 000 个/m³, 夏、冬二季每 m³ 空气中平均含菌分别比文娱场所卫生标准允许值低 3 045 个和 2 967 个。

表 3 燕子洞夏、冬季节空气质量

Tab. 3 Air quality in Swallow Caver in Summer and Winter

季节	CO ₂		NO ₂		NH ₃		空气细菌	
	数量	一次性最大浓度	数量	一次性最大浓度	数量	一次性最大浓度	数量	一次最大值
	(%)	(%)	(mg·m ⁻³)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(个/m ³)	(个/m ³)
夏季	0.046	0.07	0.014 7	0.09	0.122 1	0.301 4	955	1 768
冬季	0.045	0.058	0.005 5	0.018	0.049 7	0.167 2	1 033	3 301

从以上 4 项指标监测结果看, 燕子洞内空气除氨含量较高外, 其质量基本是良好的, 这主要与溶洞容积大、自然通风好有关。洞内空气污染主要是氨, 污染源来自雨燕的栖息。这是燕子洞所特有的现象。

(3) 燕子洞水体质量监测结果与生态主体间相容相悖关系。燕子洞与生态体关系最密切的是暗河和洞内泉水。这次共监测 27 项指标, 见表 4。

表 4 燕子洞水体质量监测结果

Tab. 4 The monitor results of water quality in Swallow Cavern

水体	色度	混浊度	pH	总硬度 (mg/L)	铁 (mg/L)	锰 (mg/L)	铜 (mg/L)	锌 (mg/L)	总悬浮物 (mg/L)
洞内泸江	50	—	8.25	315.25	—	0.35	0.00	—	49.6
洞内泉水	0.00	0.00	8.07	357.84	0.00	0.00	0.00	0.26	—
水体	溶解氧 (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	挥发性酚 (mg/L)	氰化物 (mg/L)	氟化物 (mg/L)	砷 (mg/L)	汞 (mg/L)	镉 (mg/L)
洞内泸江	6.53	12.47	3.30	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
洞内泉水	—	0.24	—	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
水体	铬 (mg/L)	铅 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	亚硝酸盐氮 (mg/L)	硝酸盐氮 (mg/L)	氯化物 (mg/L)	磷酸盐 (mg/L)	细菌总数 (个/L)	大肠菌群 (个/L)
洞内泸江	0.005	0.00	2.97	0.20	0.10	—	0.04	1 920	23 800
洞内泉水	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	1	<3

从上表分析指标看, 溶洞内河水符合地面水环境 I 类水质标准指标的有 pH、溶解氧、耗氧量、总磷、硝酸盐氮、挥发性酚、氰化物、氟化物、铜、铅、汞、镉、砷等; 符合地面 II 类水质标准指标的有六价铬、生化需氧量等; 符合 IV 类水质标准指标的有锰、亚硝酸盐氮、总大肠菌群等; 大于 V 类水质标准指标的有氨氮。洞内河水污染主要来自河流上游。但由于洞内巢居雨燕所带来的有机污染, 使洞内河水比入洞前河段污染强度增高。主要增大的项目包括氨氮、总磷、耗氧量、生化需氧量及细菌总数等。故洞内河水不经处理是不能饮用的。洞内泉水水质, 监测 24 项指标, 全部符合生活饮用水标准, 是游人在洞内良好的

饮用水源。

(4) 燕子洞自然通风量调查结果与生物体活动之间的关系。游览溶洞有无良好的自然通风条件是维持洞内良好空气质量、保障游人舒适健康的重要因素。燕子洞总容积达 $144.3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 平均小时自然通风量 $105.4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 每小时平均换气 0.73 次, 表明该洞自然通风状况较佳。按通风量标准 $40 \text{ m}^3/\text{人小时}$ 计算, 游人峰值可容 1.7~3.8 万人。可见, 燕子洞的自然通风量对增加客源容量是十分有利的。

(5) 燕子洞噪声测量结果与生物体活动的关系。据燕子洞 10 个测点所得分析值, 该洞各点峰值声级 L_{10} 值在 56 dB (A) ~ 73 dB (A) 之间, 等效声级 La_{eq} 在 49.4 dB (A) ~ 70.6 dB (A) 之间。洞内噪声声级显著高于地面和洞口, 但均未超过国家文化娱乐场所噪声声级标准 (85 dB (A))。洞内噪声主要来源于燕鸣、圆舞厅音响及滚水坝流水声。傍晚群燕归巢, 使洞内外燕鸣峰值声级达 70 dB (A), 最大声级达到 86 dB (A), 开始超过了国家娱乐场所噪声声级允许标准。说明燕鸣是洞内噪声的主要听觉污染源。这种噪声对游客寻求幽静心态带来不利影响。而洞内游人与游船和圆舞厅、滚水坝流水声的噪声峰值声级分别仅为 63 dB (A)、73 dB (A)、72 dB (A), 均比燕鸣噪声低得多。

2 燕子洞两大生态主体生物量及其保护对策

2.1 雨燕的生态特征

本洞巢居雨燕为白腰雨燕, 属候鸟, 我国两个雨燕亚种之一的华南雨燕 [*Apus Pacificus Kanki* (Yamashius)], 其成鸟额、头顶、飞羽、背部均为黑褐色, 后背尾羽以上的尾上覆羽有 15 mm 宽的白带, 喉部有 3.5 mm 为白色。经测量 7 只成鸟平均体重为 43.5 g, 体长为 172.6 mm, 尾羽长 77.9 mm, 翅长 187.9 mm, 展翅宽 416.3 mm, 嘴峰 7.6 mm, 跗长 16.9 mm, 趾长 7.4 mm, 爪长 7.1 mm。在形态上, 雌雄鸟基本相同。雨燕的食性均为昆虫, 从 16 只雨燕胃及喉部解剖结果看, 它捕捉的昆虫有蝇、蚁、蛾、蝶等共 7 个目, 其中尤喜食膜翅目中的土蜂。雨燕的迁徙情况, 据几年观察, 大都在每年立春之际陆续飞来; 8 月 8 日开始陆续迁走, 持续一个多月, 到 9 月中旬迁徙结束。雨燕在燕子洞栖息的位置, 一般均沿用上年栖息的位置筑巢, 并按归来的顺序依次从洞口向洞内延居。雨燕全部迁来后, 从洞口至洞内 450 m 均有栖息, 但密度以洞口附近最高, 而且多呈立体分布, 位置越高, 密度越大。最高的地方每平方米达 10 多窝。雨燕迁来后多成对筑巢, 未成对的在数日内也会匹配成双。雨燕的巢穴据 300 多个观察, 所用材料主要有松叶、茅草、稻草叶、木棉、鸡鸭毛、桉树叶等 20 多种物质, 其中松叶是主要材料, 大体占筑巢总量的 40%~80%。燕巢一般呈圆碟形或半圆形, 多依附于岩隙间和凸凹的岩壁上, 总巢穴约为 7.33 万个。关于燕巢的繁殖情况, 据 39 个燕巢观察, 共产卵 93 枚, 平均每巢产卵 2.38 枚, 每只亲鸟产卵 1.19 枚, 产卵率达 89.74%。另据 35 个产卵巢观察, 其内有 12 巢被连巢搬走, 所以真正进入孵化直至结束的只有 23 巢、60 枚卵。这说明雨燕在繁殖期间约有 34% 的巢要被破坏掉。

雨燕在洞内进出是很有规律的, 它早出晚归, 早上天微亮开始有少许出洞, 随时间推移而逐渐增多, 一个小时后达到高峰, 出巢时间一般维持 3 个小时。至下午 4 时前, 雨燕基本不返回巢内。雨燕归巢路线多呈环形或“∞”字形, 按照在洞中栖息的位置, 在最里面的先回, 依次进洞, 直至天黑时基本归巢完毕。这种生活习性, 恰好与游人览洞时间错

开,加之游人在洞底活动,与燕巢相距二三十米,故两大生物体是互相不悖的。由于这一原因,燕子洞在开发游泳后,年年雨燕数量有增无减,呈现出游人与雨燕在此共存共荣、互不影响生态型洞穴。

雨燕的数量和生物量是调研的重点项目。为了搞清雨燕的数量,课题组通过从2月28日至3月3日和3月12日至4月3日两个时段的观察,初步摸清了雨燕的迁到动态,即从2月28日的1.77万只逐渐增至3月3日的15.9万只;3月15日后雨燕趋于稳定,至4月3日止雨燕日均数量一直是14.66万只。可见这一数目乃为雨燕迁来的总数量。雨燕迁走的数量比此数还要大,因为它要加上当年新增的雨燕数,总计达到22.25万只。如果根据雨燕的平均重量43.5 g和每天在洞内平均栖息16小时计算,燕子洞内雨燕生物量达 $12.8 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{h/d}$,约占人和燕生物总量的49.82%。

2.2 游人在洞内活动规律及其生物量

燕子洞的最大开发收益是旅游业。据多年统计,年均游人近40万人次,日均游客千人以上。有淡旺季之分,旅游旺季为2月~5月初和8月,恰好与雨燕迁来繁殖期相重合。

游人在洞内高峰时段为上午8~10时和下午14时,与雨燕活动在时空上无悖。

游人在洞穴生物量,按游客平均体重50 kg计算,则为64 650 kg。游人在溶洞内平均停留时间为2小时,故游人在洞内平均生物量为 $129\,300 \text{ kg} \cdot \text{h/d}$,占人和燕生物总量的50.18%,略较雨燕多些。

2.3 燕子洞生态环境保护对策

雨燕和游客是燕子洞的两大生态主体。为了强化雨燕动态景观,增加溶洞吸引力;保证游人在洞内的身心健康和舒适,不断改善和提高该洞生态环境,须采取如下保护对策:

2.3.1 要特别珍视现有森林的保护,严禁砍伐破坏。森林能够给雨燕提供丰富的建筑材料和食物,只有保护好洞穴外围林木,才能使生态系统的物质、能量交流不致终断,使生态链维持平衡。同时也给燕子洞塑造一个优美的环境氛围。

2.3.2 维护燕子洞的自然通风量,防止洞内空气污染,是保障该洞生态环境质量和游人健康舒适的重要条件。主要措施包括在进风口处加强绿化运作力度、防止建设任何影响洞穴自然通风和引起空气污染的设施,经常清扫和洗刷雨燕粪便等有机污染物,以降低空气中的氨浓度等。

2.3.3 强化泸江河的治理力度,力争洞内水质达到地面水Ⅱ类水质卫生标准。主要措施是对沿江沿岸污染源,特别是小造纸厂、锰矿、糖厂排出的废水,要进行治污净化;在燕子洞内河道上行驶的机动游船,全部改为不使用柴油的船只,如电瓶船、人力船、气垫船等。

2.3.4 全力保护白腰雨燕,使我国这一Ⅱ类保护动物不受人为侵害和骚扰。主要措施有:禁止游人捕捉雨燕和偷采燕窝;严格限止游人在洞内抽烟、烧烤、放鞭炮、大声恫吓等不轨行动;适当降低雨燕最深栖息处灯光布景照度,以防雨燕趋光迷飞洞穴深处;燕子洞口要少搞人工建筑,以防商业闹市活动及机动车辆通行过多,对雨燕造成干扰。禁止游人直接捕捉雨燕和偷采燕窝,是上述保护对策中最重要的一环,近年来燕子洞内偷采燕窝现象屡有发生,这些人只顾眼前经济利益,不顾雨燕在燕子洞的生态主体作用。对此偷捕、偷采行径必须严加惩治,特别是在雨燕繁殖期间更要禁采燕窝活动。

参 考 文 献 (References)

- 1 Wang Xiaoguang. The hygiene investigation of tourism korst cave's air quality. *Environment and Health*, 1990, 7(5): 233. (In Chinese) [王晓光. 游览溶洞空气质量的卫生学调查. 环境与健康, 1990, 7(5): 233.]
- 2 Shanghai No. 1 Hospital. Environmental hygienics. Beijing: People's Hygiene Press, 1986. (In Chinese) [上海第一医院. 环境卫生学. 北京: 人民卫生出版社, 1986.]
- 3 Kou Zhitong. Statistics about white waisted swift. *Yunnan University Journal*, 1983, 11. (In Chinese) [寇治通. 小白腰雨燕几个量度的统计. 云南大学学报, 1983, 11.]
- 4 Zheng Zuoxin. Chinese economic fauna—birds. Beijing: Science Press, 1963. 320~324. (In Chinese) [郑作新主编. 中国经济动物志——鸟类. 北京: 科学出版社, 1963. 320~324.]

STUDY OF THE QUALITY OF THE ECOLOGICAL ENVIRONMENTS FOR TOURISTS AND SWALLOW IN SWALLOW CAVERN, JIANSUI

Lu Yunting

(Department of Resources and Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Xiao Cheng

(Yunnan Jianshui Swallow Cavern Scenic Spot Administration Department, Jianshui 654316)

Key words cavern, ecological environment, creature, ways of protecting

Abstract

The Swallow Cavern in Jianshui County, Yunnan Province is an underground current cavern which accommodating both the visiting tourists and the habitating swallows. The two creatures' existing in one cavern inevitably influences the sophisticated changes of the ecological environment in the cavern. The thesis based on this point, through the observation and analysis of the key factors of the cavern's ecological environment, elucidates both the environmental qualities (such as the microclimate, quality of air and water body, quantity of natural areation and noises) and the accompanying but antirelationship between tourists and swallows. According to these studies it also provides several meaningful ways of protecting the ecological environment of this cavern.

作 者 简 介

卢云亭, 男, 1935年2月生。1958年北京师范大学地理系毕业。教授。主要从事旅游地理教学和研究。主要论著有《现代旅游地理学》、《旅游地学概论》(主编)、《观光农业》等50多部、篇。