

朱晓燕,张美良.基于岩溶洞穴旅游活动中洞穴环境因子的研究[J].中国岩溶,2020,39(3):426-431.
DOI:10.11932/karst2020y14

基于岩溶洞穴旅游活动中洞穴环境因子的研究

朱晓燕,张美良

(中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004)

摘要:随着人们生活水平的不断提高,岩溶洞穴旅游活动日益频繁,使得对洞穴环境的综合研究以及洞穴旅游管理变得尤为重要。通过调研国内外岩溶洞穴旅游管理的现状,结合岩溶洞穴环境的研究成果,综合分析岩溶洞穴环境因子,如温度、相对湿度、洞穴CO₂浓度等,对岩溶景观的影响,探讨溶洞环境的自净能力以及景观保护与修复措施等问题;针对目前岩溶洞穴旅游开发的有限空间与无序客流的矛盾,提出了合理调控洞穴旅游客流量,增强洞穴旅游景观资源保护意识,从地学、旅游、环境以及健康等角度评估和开发洞穴,使旅游活动对环境因子的影响限制在可控范围,实现洞穴旅游的可持续发展。

关键词:岩溶洞穴;环境因子;温度;相对湿度;洞穴CO₂浓度

中图分类号:P642.25 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2020)03-0426-06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

岩溶洞穴是岩溶地区重要的自然旅游资源,是特定的地质背景下形成的不可再生的有限资源,特定的地质基础^[1-3]、气候类型^[4]、水文条件^[5]以及生态环境^[6]等因子的长期协同作用,决定了洞穴形成与发育过程。天然岩溶洞穴相对封闭的内部环境,缓慢地与外界进行物质及能量的交换,使得洞内温度从洞口到洞穴深部逐渐趋于相对稳定,相对湿度增大^[7-9],空气流通程度降低,洞穴新陈代谢缓慢,因此,环境承载力比较低^[10-11],对外界环境变化比较敏感。洞穴旅游开发后,在洞内开凿隧道及出口、铺设道路、安装灯光、甚至修建娱乐设施,对洞穴原生景观进行直接破坏与改造,极大地改变了洞穴与外界进行物质与能量交换的模式^[11-12],同时,旅游活动的持续累积效应,加速了洞穴资源的退化(品位降低)进程,洞内景观表面逐渐呈现干枯、变色、污染、开裂等不同程度地风化,甚至出现沙化、掉块等破坏问

题^[7,13-15],严重地影响了洞穴旅游的可持续发展。目前,国内外学者对旅游洞穴环境的研究表明,影响岩溶洞穴景观的主要洞穴环境因子包括温度、CO₂浓度、相对湿度(Relative Humidity,简称RH)、尘埃、空气流通情况等参数^[16-21],其中,温度、CO₂浓度及相对湿度对洞穴内碳酸盐沉积物的影响更显著。本文从对洞穴影响显著的温度、CO₂浓度和相对湿度三个影响因子出发,结合我国岩溶洞穴旅游的情况,来论述旅游活动对洞穴景观的影响。

1 影响岩溶洞穴景观的主要环境因子

1.1 洞穴温度

天然洞穴未开发前,多数处于相对封闭与稳定的状态(穿洞与洞口大且洞道短的洞穴除外),洞穴内部的温度接近当地年均地表温度,表现为冬暖夏凉。如桂林盘龙洞,内部温度为19.5℃,年均变幅<

基金项目:国家自然科学基金项目(41372190,40802042);中国地质调查局地质调查项目(DD20160305,DD20190022)

第一作者简介:朱晓燕(1980—),副研究员,主要从事岩溶记录与全球变化、岩溶洞穴环境等研究。E-mail:zhuxiaoyan@karst.ac.cn。

收稿日期:2019-09-11

0.1℃^[7],与桂林地区多年地表平均气温基本一致。而旅游开发后的洞穴,如河北临城白云洞,在2000年5月1日-2日,游客量达400~500人/30分钟,洞内龙女纱帐景点因空间狭小造成游客滞留,导致此处洞穴温度日增幅达到2.0~2.4℃(图1)^[22];又如,广西巴马水晶宫洞内的瑶寨景点,厅堂宽阔(底面积超过4000m²),其洞穴温度在2013-2015年间呈台阶状持续上升,年增幅达0.425℃(图2)^[11];这些研究表明,随着游客量的增加,洞穴温度呈现明显的升高趋势,这一结果与早期Baker^[6]、Cigna^[17]等的研究发现“一般旅游洞穴开发20年增温约3℃”的结论相一致。由此可见,虽然各个洞穴结构和内部环境差异较大,但是旅游活动导致洞穴温度升高是客观存在的。分析原因主要有以下两方面:一是游客自身散热是洞穴热量输入的重要来源之一。随着游客量的增加以及游览时间的延长,游客散热效应持续增强,

以西班牙阿尔塔米拉洞为实例计算表明:一位健康的人安静站立时能释放出82~116W的能量,行走时可产生170W的能量,在洞穴中人均产热量相当于100W灯泡所释放的热量^[17,23];在俄罗斯的Kungur Cave,夏天当游客量达到2000人/天时,游客释放出的热量可达到洞穴能量输入总量的22%^[24]。二是灯光照明产生的热量也是洞穴输入热量的重要来源之一。据意大利卡斯特拉纳洞(Grotta di Castellana)实测显示:功率为1kW(1千瓦)白炽灯,能够使距其50cm的洞穴岩壁温度在几秒钟之内将由15℃增至25℃,而相对湿度则由95%~100%降低到55%~60%,并导致周围空气的热扩散或发生热对流,光源上方长期受影响的方解石沉积物生长出文石石花^[16]。同时,灯光照明还能引发蕨类、藻类等灯光植物的生长。从此可见,灯光照明对洞穴环境的影响极其广泛。

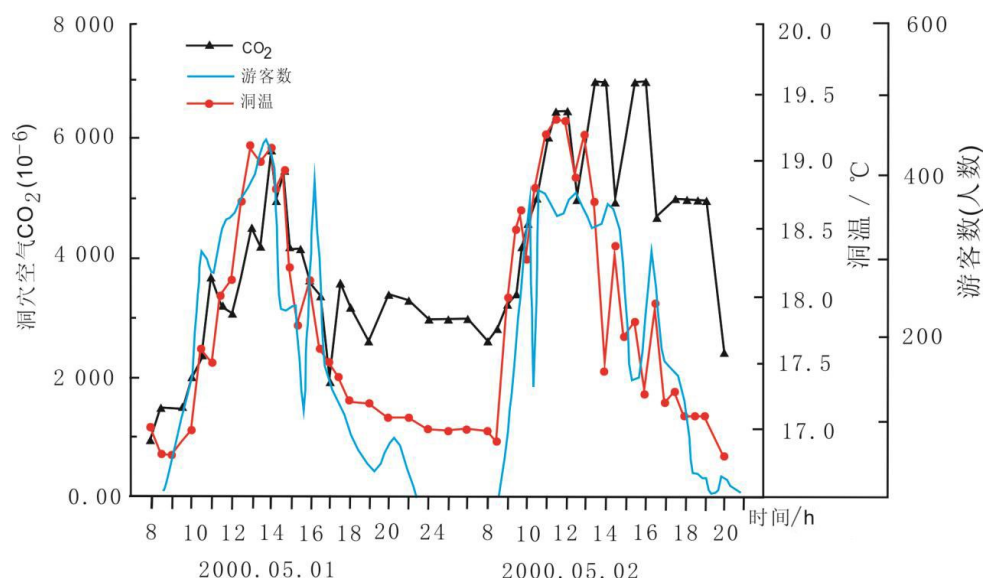


图1 河北临城白云洞龙女纱帐景点的洞穴温度、CO₂与游客量的变化^[22]

Fig. 1 Relation between temperature, CO₂ level, and visitor flow at Longnvshazhang site in Baiyun cave, Lincheng, Hebei

综上所述,洞穴温度升高对洞穴景观的影响极其显著。首先,增强了洞内水分的蒸发效应,导致洞内空气相对湿度降低,洞穴环境整体趋于干燥,岩溶景观表面也因湿润度降低而干枯,降低了景观的美学价值;其次,因局部洞穴温度升高产生了温度梯度,从而引起洞穴中的空气压力场变化,增强了洞穴空气对流程度,加速了洞穴景观表面的风化;第三,增温降低了水体中游离CO₂的溶解度,促使大量的CO₂脱离水体,使得洞穴CO₂浓度升高,不利于碳酸盐析出沉积;第四,增温会促进灯光植物的生长。

1.2 洞穴中空气CO₂浓度

洞穴中空气CO₂浓度是衡量洞穴环境及洞穴内舒适度的重要指标之一,洞穴空气中CO₂是岩溶沉积物形成时的副产物,也是洞穴中碳酸盐风化与溶蚀的必要原料,同时CO₂会对灯光植物等生物产生施肥效应,这些都直接影响着岩溶景观的风化程度。

未开发岩溶洞穴中的CO₂主要来源于洞穴上覆土壤中CO₂与洞穴中CO₂的压差产生的CO₂转移,以及洞穴水体(滴水或地下河等)的脱气作用等,特别

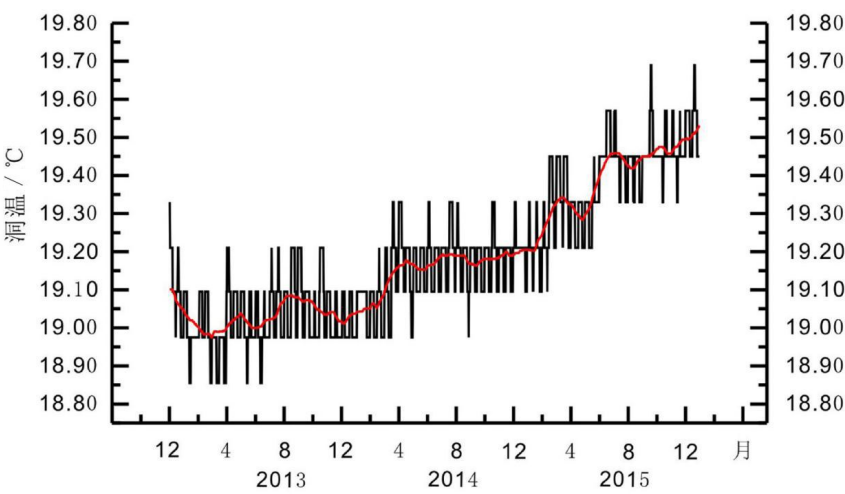


图2 2013–2015年广西巴马水晶宫瑶寨景点温度变化^[11]

Fig. 2 Changes of temperature at scenic spot of Yaozhai in Shuijing Cave, Bama, Guangxi from 2013 to 2015

是暴雨—大雨期间(降雨高度集中),大量渗流水将岩溶系统蓄存的CO₂压入洞穴,导致洞穴CO₂浓度骤增,即CO₂活塞效应。这种情况在中国南方洞穴较为常见,2005年7月24日桂林地区普降特大暴雨(局部降水量超过200 mm),盘龙洞洞穴CO₂浓度由500×10⁻⁶骤变到1 500×10⁻⁶以上,降雨结束后经24~48 h的洞穴自净化作用,CO₂浓度恢复至暴雨前的水平^[7]。这种因自然因素造成的CO₂增量能够被洞穴自身消耗(自净作用),CO₂的累积效应可忽略。但是,旅游洞穴中,CO₂浓度的改变是自然因素与人为因素的叠加效应。与自然洞穴不同,旅游洞穴的CO₂主要来自于游客的呼吸,而人类呼吸作用产生的CO₂浓度远高于洞穴的本底值(特殊供给CO₂高本底的洞穴除外)。观测捷克 Vypustek 洞穴发现,游客产生CO₂的衰退/净化时间超过6 h,而冷凝水吸收CO₂后溶蚀洞穴沉积

物以及岩壁的作用增强^[18]。Guirado通过模型预测洞穴CO₂水平^[25],以便于管理人员制定合理洞穴游览程序,最大限度地提高游客容量。在我国受工作休假制度的影响,旅游活动比较有规律,旅游旺季为劳动节、国庆节、春节、寒暑假等,此期间各个景区游客量骤增,进洞游客量脉冲式的增加必然引起洞穴中CO₂浓度大幅上升,如果该旅游洞穴封闭性好,通风条件差,导致洞穴中CO₂浓度短时间内急剧升高,过高CO₂会使游客感到胸口憋闷,呼吸不畅,舒适度降低^[11,22,26]。其次,洞穴中CO₂浓度升高,导致洞穴水体对空气CO₂吸收系数增大,水体趋于碳酸化,不仅不利于碳酸钙沉积,反而加速原有碳酸钙沉积景观以及基岩的溶蚀反应^[7,18]。同时,洞穴中CO₂对洞穴内灯光植物的光合作用具有施肥效应,能促进灯光植物的生长(图3),加剧了岩溶景观的风化。



图3 洞穴灯光植物(左:钙华上的蕨类植物,右:壁流石上的藻类)^[11]

Fig. 3 Cave light plants (left: ferns on tufa layers, right: algae on wallflow stones)

1.3 洞穴相对湿度

洞穴的相对湿度也决定着洞穴资源的价值,特别是观赏价值高的洞穴沉积物类型,如石花、石枝、石毛、卷曲石等,其生长环境湿度均要求在90%以上。若洞穴渗流水补给减少、洞温升高、蒸发加剧等多种影响因素会造成洞穴流水、池水、滴水等水体减少甚至干涸,洞穴中相对湿度降低,致使特色石花、石枝、石毛、卷曲石等停止生长并发生风化,洞穴石笋、钟乳石等生长减缓或停止沉积,进而产生表皮风化,洞穴沉积物景观表面干燥而缺乏光泽,因细菌或人为原因导致景物表皮黑化或黄化将更加明显^[27-28],特别是藻类等灯光植物的尸体及其分解物质形成黑色团块或片状物质累积于洞穴沉积物的表面,不仅极其影响美观^[13,28],还会导致景物表皮开裂脱落等^[14,29-31]洞穴沉积物的损坏,严重影响了洞穴资源的价值和旅游业的开发。对比2006年、2009年观测广西巴马水晶宫洞穴滴水、流水、池水数量都有所减少,而洞穴温度呈现上升趋势,相对湿度降低了10%~15%^[13],部分洞穴沉积物表皮风化严重,出现藻类黑化团块^[7],洞穴景观美学价值明显降低。斯洛文尼亚的Postojna洞穴研究表明,旅游活动使洞穴水体比洞穴空气升温更显著^[32],由此引起的相对湿度的变化对洞穴沉积物的影响更直观和普遍。

1.4 洞穴环境因子对洞穴景观的协同影响

洞穴环境因子之间是相互关联的,特别是温度和CO₂浓度。它们不但对整个洞穴环境起着重要的制约作用,而且对其他环境因子也有直接或间接的影响。例如,温度升高,导致洞穴水体蒸发旺盛,相对湿度降低,同时因为洞穴局部温度上升形成温度梯度加剧空气扩散流动,导致相对湿度进一步降低。洞穴内环境温度升高能促使灯光植物生长加快。游客增加,散热增多,呼出的CO₂量增大,促使洞内空气进一步升温。大量的CO₂与空气中水蒸气结合,形成酸性水汽,对沉积物以及岩壁产生溶蚀,消耗水蒸气变相地降低洞穴的相对湿度,CO₂对灯光植物具有施肥效应,又促进了灯光植物的生长,导致植物生长需水量增加,也降低了洞穴相对湿度。

客流量和灯光照明是旅游活动对洞穴环境影响最显著的人为因素。客流量影响涉及到游客的热能释放,CO₂释放,以及孢子、微生物等的带入,而灯光照明影响涉及灯光散热、光能等,特别光能效应能够

促进植物光合生理反应,在接近光补偿点的光照下藻类生长旺盛^[33]。因此,根据具体的洞穴环境容量,合理地调控客流量,科学地设计灯光系统,将洞穴环境的改变(温度、相对湿度、二氧化碳浓度等)控制在自然平衡的状态,实现洞穴旅游资源的可持续发展。

2 洞穴景观的恢复与洞穴资源的保护

2.1 洞穴自净能力

原始状态的洞穴具有相对稳定的温度和湿度,具有较好的自我调节和缓冲的自净能力。但是不同的洞穴对温度、CO₂、相对湿度等环境因子的调节能力存在差异,一般而言,洞穴CO₂的自净能力较弱,且存在响应滞后现象。例如,河北临城白云洞龙女纱帐景点,在2000年5月1-2日,洞穴温度的变化与游客量的变化基本呈同步,洞穴中CO₂浓度的变化比游客量的变化滞后2~3 h,第二天洞穴中CO₂浓度呈现显著的累积效应^[22]。其次,由于洞穴结构不同导致不同洞穴的自净能力存在差异,洞穴系统结构越复杂,支洞多、洞穴容积大其自净能力越强。据徐尚全等^[19]于2011年9月30日至10月8日早晨在重庆丰都雪玉洞实测发现,夜晚洞穴自净化作用使洞内CO₂浓度平均降低 642×10^{-6} ,主要是相对湿度高(>98%),有利于洞中CO₂与水汽形成碳酸水、与洞穴沉积物及基岩等发生溶蚀作用,消耗CO₂;也有部分洞穴中的CO₂随洞内地下水一同排出洞外^[19]。

2.2 洞穴景观自然恢复

对于相对封闭的岩溶洞穴而言,维持洞穴的恒温 and 较高的相对湿度,对洞穴景观是至关重要的。采取的方法是:

(1)保护洞体周缘环境,封山育林,恢复生态,使土壤碳库持续稳定向下输送CO₂;

(2)改善岩溶表层带的调蓄功能,涵养水源,使洞穴内保持高湿状态。常年性饱和或过饱和状态的滴水,会不断地析出CaCO₃沉积,对洞穴景观表面具有滋养与修复功能^[34-35],持之以恒,有望实现洞穴景观自然恢复。

2.3 洞穴旅游资源保护

保护洞穴旅游资源、使之可持续发展的关键是将洞穴物质与能量交换的通量降低到维持诸如温度、相对湿度、二氧化碳浓度等因素建立的自然平衡

中^[17],不能超出环境承载力。

根据目前对影响洞穴景观的环境因子的研究,认为加强洞穴环境参数的监测^[13,21,36],根据旅游洞穴的温度、相对湿度、CO₂浓度、通风状况等人为调节客流量,最大程度地实现洞穴资源保护与旅游经济可持续发展的共赢。例如桂林芦笛岩、北京石花洞、重庆雪玉洞等已意识到控制洞穴中CO₂浓度的重要性,采取分批分时段调控旅客人数、减少洞穴通风口等办法,在洞穴资源保护上取得了一定效果。通过不定期地对洞穴池水进行相似成分的补给,提高洞穴相对湿度,改换冷光源减少灯光产热^[17,37-38],同时利用H₂O₂等试剂或人工清除等方法控制灯光植物的产生^[39,40],等等。这些措施在一定程度上减缓了旅游洞穴的风化速度。

3 结 论

(1)洞穴旅游资源的风化和损坏,主要是因为洞穴旅游开发过程中,人为地改变了洞穴环境因子(温度、相对湿度、空气流通、CO₂等),导致洞穴与外界物质能量交换模式发生改变,加速了岩溶景观的风化;

(2)不科学地开发造成洞穴内空气对流严重、空气中粉尘纷杂、洞穴内灯光植物丛生、游客量季节性超过洞穴环境容量等问题,都是洞穴旅游开发中亟待解决的问题;

(3)特别指出的是人类对旅游资源的破坏大多数都是永久性的,因此,大力宣传洞穴旅游资源可持续发展的必要性、积极提高人们对洞穴资源保护的意识是旅游管理部门极其重要的任务。

参考文献

- [1] 罗培,许飞,韩艳,等. 川北诺水河景区溶洞分布特征及影响因素探析[J]. 地质论评,2019,65(5):1187-1197.
- [2] 陈长明. 试论我国地洼区喀斯特洞穴的发育与演化[J]. 地质论评,1992,38(3):215-223.
- [3] 罗书文,李坡,陈伟海,等. 贵州绥阳双河溶洞系统发育机理与演化研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2019,36(1):111-118.
- [4] 刘金荣. 试论桂林岩溶洞穴发育的古老性及形成时代探讨[J]. 广西地质,1995,8(1):67-80.
- [5] 李源,鲁新便,蔡忠贤,等. 塔河油田海西早期古水文地貌特征及其对洞穴发育的控制[J]. 石油学报,2016,37,(8):1011-1020.
- [6] Baker A and Genty. Environmental pressures on conserving cave speleothems: effects of changing surface land use and increased cave tourism Journal of Environmental Management[J], 1998(53):165-175.
- [7] 张美良,朱晓燕,吴夏,等. 岩溶洞穴环境与石笋古气候记录[M]. 北京:地质出版社,2017.
- [8] 吴夏,潘谋成,曹建华,等. 开放洞穴环境变化特征及其影响因素:以桂林凉风洞为例[J]. 中国岩溶,2019,38(3):361-369.
- [9] 潘艳喜,周忠发,张结,等. 喀斯特旅游洞穴微气候环境要素时空分布特征及影响因素:以贵州织金洞为例[J]. 科学技术与工程,2018,18(10):20-30.
- [10] 房保柱. 华南地区喀斯特洞穴放线菌资源多样性研究[R]. 广州:中山大学,2017.
- [11] 张美良,朱晓燕,吴夏,等. 旅游活动对巴马水晶宫洞穴环境及碳酸钙沉积物景观的影响[J]. 中国岩溶,2017,36(1):119-130.
- [12] 陈伟海. 洞穴研究进展综述[J]. 地质论评,2006,52(6):783-792.
- [13] 邓亚东,陈伟海,张远海,等. 岩溶洞穴旅游开发对生态环境影响分析:以巴马水晶宫为例[J]. 桂林理工大学学报,2011,31(3):412-417.
- [14] 陈伟海,邓亚东,唐立,等. 桂林旅游洞穴可持续利用研究[J]. 广西科学,2018,25(5):579-589.
- [15] 高占冬,吴克华,李坡,等. 贵州省喀斯特洞穴旅游资源开发现状的思考[J]. 绿色科技,2019,10:235-238.
- [16] Forti P. Formazione di aragonite nella Grotta di Castellana; Un esempio della modificazione indotta dalla turisticizzazione[J]. Grotte Ital.1980, 4(8): 1-10.
- [17] Cigna A A. Environmental management of tourist caves :The examples of Grotta di Castellana and Grotta Grande del Vento, Italy[J]. Environmental Geology, 1993, 21:173-180.
- [18] Marek Lang, Jiří Faimon, Pavel Pracný, et al. A show cave management: Anthropogenic CO₂ in atmosphere of Vypustek Cave (Moravian Karst, Czech Republic) [J]. Journal for Nature Conservation, 2017(35):40-52.
- [19] 徐尚全,殷建军,杨平恒,等. 旅游活动对洞穴环境的影响及洞穴的自净能力研究:以重庆雪玉洞为例[J]. 热带地理,2012,32(3):286-292.
- [20] 黄倩. 旅游活动对喀斯特洞穴环境的影响及其保护研究[D]. 重庆:西南大学,2010.
- [21] Novas N, Gazquez J A, Meclennan J, et al. A real-time underground environment monitoring system for sustainable tourism of caves[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142:2707-2721.
- [22] 宋林华,韦小宁,梁福源. 河北临城白云洞洞穴旅游对洞穴CO₂浓度及温度的影响[J]. 中国岩溶,2003,22(3):230-235.
- [23] Villar E, Bonet A, Diaz-Caneja B, et al. Ambient temperature variations in the hall of paintings of Altamira Cave due to the presence of visitors[J]. Cave Science, 1984, 11(2):99-104.
- [24] Mavlyudov B R. The causes of ice variation in kungur show cave, BOSSEA MCMXCV—proceedings of International symposium of “show Caves and Environmental Monitoring” [J]. Cuneo, Italy, 1996:52-56.

- [25] Guirado E, Ramos—López D, Maldonado A D, et al. Modeling carbon dioxide for show cave conservation [J]. *Journal for Nature Conservation*, 2019, 49: 76-84.
- [26] 王红, 罗时琴, 杨庆东, 等. 贵州织金洞 20 年 CO₂ 浓度变化规律及影响因素研究 [J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(6): 1268-1270.
- [27] 贺秋芳, 李为, 朱敏, 等. 细菌在洞穴含铁沉积物形成过程中的作用 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2007, 26(4): 197-202.
- [28] 杨晓霞, 施俊庄, 向旭, 等. 浅议旅游洞穴灯光植物的危害及防治 [J]. *中国岩溶*, 2012, 31(4): 434-440.
- [29] 谢运球, 郑治芾, 杜恩荣. 北京西山地区岩溶旅游资源、洞穴环境容量、环境问题及其对策 [J]. *中国岩溶*, 1995, 14(1): 89-96.
- [30] 杨汉奎. 游览洞穴的开发与保护 [J]. *贵州科学*, 1989, 7(2): 57-63.
- [31] 宋林华, 睢树春, 陈岗岭, 等. 河北临城白云洞洞积石形成与风化现象研究 [J]. *地理学与国土研究*, 2000, 16(3): 68-74.
- [32] Stanka tanka, Janez Turkb. Natural and anthropogenic influences on the year—round temperature dynamics of air and water in Postojna show cave, Slovenia [J]. *Tourism Management*, 2014, 40: 233-243.
- [33] Mulec J. Algae in the karst caves of Slovenia [D]. Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana, 2005.
- [34] 王静, 宋林华, 向昌国, 等. 不同植被类型覆盖下土壤 CO₂ 浓度对洞景观的影响 [J]. *地理研究*, 2004, 23(1): 71-77.
- [35] Hartland A, Fairchild I J, Lead J R, et al. Dripwaters and speleothems of Poole's Cavern, A review of recent and ongoing research [J]. *Cave and karst Science*, 2010, 36(2): 37-47.
- [36] Luetscher M, Ziegler F. CORA—a dedicated device for carbon dioxide monitoring in cave environments [J]. *International Journal of Speleology*, 2012, 41(2): 275-283.
- [37] Danardono, Eko B D P, Eko H, et al. Speleoclimate Monitoring to Assess Cave Tourism Capacity in Gelatik Cave, Gunungsewu Geopark, Indonesia [J]. *Forum Geografi*, 2018, 31(2): 181-194.
- [38] 段然, 王志刚. 基于溶洞石景保护的旅游洞穴景观照明参数建议 [J]. *照明工程学报*, 2018, 29(6): 103-107.
- [39] 李芳. 北京石花洞灯光植物调查与治理研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [40] 黄保健. TiO₂ 光催化氧化技术及其在洞穴灯光植物治理中的应用展望 [A]// 全国第十三届洞穴学术会议论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 2007.

Study on cave environmental factors based on karst cave tourism activities

ZHU Xiaoyan, ZHANG Meiliang

(Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract With continuous improvement of people's living standards, tourism activities in karst caves have become more and more frequent, which makes the comprehensive study of cave environment and cave tourism management particularly important. Under the investigation of karst cave tourism management at home and abroad, and study on karst cave environment, this article displayed comprehensive analysis and research results on the influence of karst landscape on karst cave environment factors such as temperature, relative humidity, caves CO₂ concentration and so on, and gave the further discussion on the self-purification ability of cave environment, landscape protection and restoration measures. According to the present conflict on karst cave tourism development between limited space and disordered visitors, some suggestions are put forward on controlling the tourist flow of cave tourism reasonably and enhancing the consciousness, and on evaluation and development of caves from different aspects of geosciences, tourism, environment, health and so on, which makes the influence of tourism activities on environmental factors limited, and the sustainable development of cave tourism realized.

Key words karst cave, environmental factors, temperature, relative humidity, cave CO₂ concentration

(编辑 张玲)