

贾真真,黎有为,高占冬,等.喀斯特洞穴康养适宜性评价:以贵州红果树景区天缘洞为例[J].中国岩溶,2019,38(5):815-822.
DOI:10.11932/karst2019y15

喀斯特洞穴康养适宜性评价 ——以贵州红果树景区天缘洞为例

贾真真^{2,2,4},黎有为^{1,2,4},高占冬^{1,2,4},汪炎林³,吴克华^{1,2,4}

(1. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特洞穴(旅游)资源开发利用工程技术研究中心, 贵阳 550001; 3. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 4. 贵州省洞穴协会, 贵阳 550001)

摘要:被誉为“空气维生素”的空气负离子具有调节神经中枢、促进新陈代谢等生物效应,有益于人体身心健康;同时负离子还具有抑菌、杀菌的作用,在喀斯特洞穴中负离子含量高,也造就了洞内洁净的空气。喀斯特洞穴康养就是依托于洞穴环境与小气候而开展的疗养、康体、休闲等一系列有益身心健康的活动。本文采用指数分析法,从人体感受与环境卫生学角度选取人体气候舒适度指数、空气清洁度指数和空气负离子富含指数构建喀斯特洞穴康养功能指数(CRFI)并以贵州红果树景区天缘洞为实例,来评价喀斯特洞穴的康养适宜性。通过层次分析法确定三个指标权重分别为0.142、0.286、0.572。根据2017年8月至2018年7月的洞穴环境连续监测数据发现,天缘洞洞内氡浓度年均均为 $610.26 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,洞内 CO_2 浓度年均 521.900×10^{-6} ,符合国际辐射安全要求,满足洞穴康养开展的前提条件;洞内年均温为 14°C ,相对湿度大,人体气候舒适度相对较低;洞内正负离子含量在时间与空间上都存在较大幅度的变化,负离子浓度空间分布规律存在以TY-4地下湖为中心向洞口方向逐渐递减趋势,天缘洞4—9月全洞段空气负离子含量较高,空气清洁度指数均高于1.00,属于最清洁空气,极有利于人体健康。天缘洞全年的洞穴康养功能指数显示天缘洞最佳洞穴康养时间为5月与9月,最佳康养地点位于TY-4地下湖附近,仅有12月与1月不适宜开展洞穴康养活动。

关键词:喀斯特洞穴;洞穴环境;洞穴康养功能指数(CRFI);天缘洞

中图分类号:F592.7;P642.25 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)05-0815-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

21世纪是人类追求健康的世纪,大健康理念普及深化,健康旅游顺应了人们旅游观念的改变和对健康的追求,具有很大的市场潜力,最直观并受大众欢迎与接受的健康旅游有温泉养生、森林养生保健

等等,而能防病治病、养神益寿的洞穴康养却少为人知。其实早在古代我国就有利用洞穴疗疾、探求长寿之道,古代医书典籍也有记载。李时珍《本草纲目·木部》引葛洪《抱朴子》说:“上党赵瞿病癰历年,垂死,其家弃之。医置山穴中,配以松脂等药物治疗。瞿服百余日,其疮都愈,颜色都悦,肌肤玉泽”,描述

基金项目:国家十三五重点研发计划项目“喀斯特高原石漠化综合治理与山地旅游产业技术与示范”(2016YFC0502606);贵州省科技计划项目“射电天文望远镜(FAST)石漠化区生态服务功能调节及洞穴养生资源开发利用与示范”(黔科合SY字[2015]3018);贵州省科技计划项目“喀斯特洞穴空气负离子时空演变规律及机制研究——以红果树景区为例”(黔科合基础[2017]1173号);贵州省喀斯特洞穴疗养资源开发利用与服务企业行动计划(黔科合平台人才[2017]5720-001);贵州省科研机构服务企业行动计划项目“贵州特色文化旅游产业服务平台建设”(黔科合服企[2015]4014)

第一作者简介:贾真真(1982—),女,助理研究员,研究方向:山地旅游与喀斯特洞穴资源开发。E-mail:jzz1982@126.com。

收稿日期:2018-11-12

了洞穴环境辅助医疗,促进疾病康复的效果;明·李诩《戒庵老人漫记·游月岩记》载:“岩形如园廩,中可容斛”,“一日游此处,以故目若为之明,耳若为之聪,心若为之爽”,描述了洞穴环境对人精神、心理的良好影响。

目前国际上对于洞穴康养资源的利用多集中在洞穴医疗上,主要研究洞穴疗法(Speleotherapy)环境背景和临床实验,探究洞穴环境对人体影响的生理效应^[1-5],喀斯特洞穴康养资源价值得到了肯定,但其价值并不仅局限于洞穴医疗价值,有的洞穴将洞穴医疗与洞穴休闲相结合建设餐厅、剧院等旅游设施,如罗马尼亚的普莱德盐矿^[6]、匈牙利的斯梅洛洞穴(Szemlohegyi cave)等,以充分发挥的洞穴康体休闲功能。在我国,20世纪90年代,广西柳州响水岩尝试建立了我国首家喀斯特洞穴医疗站,为我国洞穴健康服务打开了大门。围绕响水岩医疗站,汪训一^[7]从洞穴小气候与环境因素探讨了其医疗可行性;朱其光^[8]分析了洞穴医疗机理,认为洞穴环境是一种较完美和理想的“天然康复医院”,并实例验证响水岩洞穴医疗效果;朱德浩^[9]对响水岩的洞穴自然环境系统进行了长期观测,认为响水岩氡浓度低,CO₂含量略高于洞外,放射性背景值低,具有洞穴医疗价值。但继响水岩医疗站之后,后续相关研究缺乏。

对于洞穴康养资源的利用,洞穴环境决定了不是所有洞穴都适合于洞穴医疗^[8],也不是所有季节都适合开展洞穴康养活动。因此,本文立足喀斯特洞穴康养内涵,从喀斯特洞穴环境入手,选取洞穴小气候、洞穴空气等影响因素构建喀斯特洞穴康养功能评价体系,并以贵州红果树景区天缘洞为实例验证洞穴康养评价体系的适用性和天缘洞洞穴康养适宜性。

1 喀斯特洞穴康养的内涵

1.1 喀斯特洞穴康养依托于洞穴环境

喀斯特洞穴环境主要由洞穴空气、水、洞穴围岩和固体堆积物以及少量动植物组成,它是一种特殊的小环境,造就了温度相对稳定、相对湿度大、空气负离子含量高、空气清洁、生物量少等特点^[10]。

洞穴空气是洞穴自然环境中最重要因素。一方面洞穴空气温度、湿度以及风速直接作用于人体外感器官,如皮肤、呼吸道黏膜,带来人体进入洞穴

的第一感受,是人体舒适与否的直接指标;另一方面影响洞穴空气质量的特殊指标主要有空气正负离子含量、CO₂浓度、气溶胶、氡等。空气负离子是带负电荷的单个气体分子和轻离子团的总称,被誉为“空气维生素”,其浓度可作为评判环境生态效果以及人居空气质量的正向指标,并对多种疾病有辅助治疗的作用^[11];洞内CO₂浓度一般高于洞外空气中的含量,在其适当的浓度范围内,CO₂有刺激呼吸系统、增加呼吸深度和强度的作用,CO₂浓度在 $350 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$ 范围内空气清新,呼吸顺畅;气溶胶是分散并悬浮在空气中的胶体,其化学成分复杂,在盐矿洞穴中气溶胶包含Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、SO₄²⁻等离子^[12],其治疗疾病效果较好^[13],但Alfoldy. B对匈牙利喀斯特医疗洞穴(Szemlohegyi cave)取样并按Yeh-Schum肺形态模型计算发现,气溶胶中钙离子在肺内的沉积密度对于肺部黏液层已存在的钙离子相比已微不足道^[14];氡是一种无色、无味的惰性气体,其医疗价值还存在很大的争议,浓度过小不起治疗作用,浓度过高有致癌风险,洞穴康养应确保氡低浓度为宜。

同时,洞穴围岩、堆积物、水等造就的洞穴景观幽静而黑暗,营造着洞穴康养的心理环境,是宁静与混沌“世界”^[18],适于舒缓人体压力、调节身心健康。

1.2 喀斯特洞穴康养不完全等同于洞穴医疗

洞穴医疗是利用洞穴中特殊的气候环境治疗疾病^[1],它属于一种补充替代性非药物治疗法,对人体的作用是低剂量的^[15],洞穴医疗针对病患及待康复人群,主要治疗呼吸道疾病、心脑血管系统疾病、皮肤病等^[4,16-17],以“医”为本;而洞穴康养相对于洞穴医疗外延更广,它是融合疗养、康体、休闲等一系列有益身心健康的活动,其受众更广,可满足不同健康人群的需求,喀斯特洞穴康养的特点在于利用小气候、空气质量,提供舒适、健康的康养环境和精神调节场所,更具休闲保健功能。

2 喀斯特洞穴康养适宜性评价体系构建

为了能够客观、准确、科学地评价喀斯特洞穴康养功能,以实用性、独立性、可比性为原则构建喀斯特洞穴康养适应性评价体系。因人体进入喀斯特洞穴的心理感受与认可度各有不同,且景观元素在洞穴康养适宜性评价上的可操作性不强,本次喀斯特洞穴康养适宜性评价体系不考虑心理环境影响。

2.1 喀斯特洞穴康养功能指数

根据喀斯特洞穴康养内涵,采用应用指数分析法评价喀斯特洞穴康养适宜性,建立一级指标为喀斯特洞穴康养功能指数,根据喀斯特洞穴康养需求,在洞穴氢低浓度、CO₂浓度适宜的前提下,选取人体气候舒适度指数、空气清洁度指数以及空气负离子含量指数为二级指标。主要监测因子包括:空气温度、相对湿度、风速和空气负离子浓度、CO₂浓度、氡等。

需要说明的是,虽然喀斯特洞内 CO₂浓度一般高于洞外空气中的含量,但多在正常范围内,且人体进入洞穴亦可引起 CO₂浓度升高,CO₂浓度作为洞穴康养功能指标指示性意义不大,这里不作特别考虑。

2.1.1 人体气候舒适度指数

人体气候舒适度是从气象角度评价人类在不同气候条件下的舒适感,而洞穴气候因子包括温度、湿度、风速等影响人们在洞穴中的舒适感。洞穴人体气候舒适度参考陆鼎煌^[18]提出的“综合舒适指数”,根据人体与大气环境之间的热交换关系评价人体在不同气候条件下的舒适感: $S=0.6(1T-24l)+0.07(1RH-70l)+0.5(1V-2l)$,其中: S 为人体舒适度指数, T 为气温, RH 为相对湿度, V 为风速。人体舒适度的划分标准如表 1 所示:

表 1 人体气候舒适度指标评价标准

Table 1 Evaluation standard of human climate comfort index

级别	S 范围	感觉程度
1	$S\leq 4.55$	很舒适
2	$4.55<S\leq 5.75$	舒适
3	$5.75<S\leq 6.95$	较舒适
4	$6.95<S\leq 9.00$	不舒适
5	$S>9.00$	极不舒适

2.1.2 空气清洁度指数

洁净的空气是洞穴康养的基础。空气负离子能够杀菌、抑制细菌和病菌的生长,空气负离子浓度已应用于衡量空气清洁程度。洞穴空气清洁度指数借用安培空气质量评价指数,具体计算公式为: $CI=n^-/(1\,000\times q)$,其中 q 为单极系数,即 $q=n^+/n^-$, n^+ 为空气正离子数, n^- 为空气负离子数,1 000 为满足人体生物学

效应最低需求的空气负离子浓度。按空气质量评价指数可以将空气清洁度划分为 5 个等级^[19-21]。

表 2 空气清洁度分级标准

Table 2 Classification criterion of air cleanliness

级别	CI 范围	感觉程度
1	$CI\geq 1.0$	最清洁
2	$1.0>CI\geq 0.7$	一般清洁
3	$0.69>CI\geq 0.5$	中等清洁
4	$0.49>CI\geq 0.3$	容许
5	$CI<0.29$	临界值

2.1.3 空气负离子富含指数

同时医学临床研究发现负离子具有多种生物效应,对人体 7 个系统的 30 多种疾病具有抑制、缓减和辅助治疗功效,它经呼吸系统进入人体,通过舒张气管从而加快纤毛运动、中枢神经系统的刺激反射、血液循环等途径,对人体起镇静、催眠、镇咳、止痒、增进食欲、降低血压等作用^[22-23]。空气负离子浓度与人体健康关系如下表 3 所示。

表 3 空气负离子含量与人体健康关系表^[24]

Table 3 Relationship of negative air ions and human health^[24]

级别	n^- 范围	与健康的关系
1	$n^->2100$	极有利
2	$2\,100>n^-\geq 1\,800$	很有利
3	$1\,800>n^-\geq 1\,500$	相当有利
4	$1\,500>n^-\geq 1\,200$	有利
5	$1\,200>n^-\geq 900$	较有利
6	$900>n^-\geq 600$	正常
7	$n^-\leq 600$	不利

2.2 喀斯特洞穴康养适宜性评价

将人体气候舒适度指数、空气清洁度指数、空气负离子富含指数等三个指数的重要性采用专家打分法进行评判,各具体指标的权重赋值采用层次分析法构建评判矩阵来确定,并通过一致性检验,得出喀斯特洞穴康养功能指数(CRFI)的具体计算公式为: $CRFI=0.142S_i+0.286CI_i+0.572N_i(i=1,2,3,\cdots,n)$,其中, S_i 为第 i 个洞穴观测点人体气候舒适度指数归一化值, CI_i 为第 i 个洞穴观测点空气清洁度归一化值, N_i 为第 i 个洞穴观测点负离子富含度归一化值。同时划

定喀斯特洞穴康养功能指数等级标准(见表4)。

表4 喀斯特洞穴康养功能指数(CRFI)等级标准
Table 4 Appraisal grades of karst cave health function index

级别	指数范围	程度	洞穴康养适宜性
1	$CRFI \geq 0.80$	非常好	非常适宜
2	$0.80 > CRFI \geq 0.50$	好	适宜
3	$0.50 > CRFI \geq 0.20$	中等	较适宜
4	$CRFI < 0.20$	差	不适宜

3 天缘洞洞穴康养适应性评价

3.1 天缘洞

天缘洞位于贵州绥阳县红果树景区内,地理坐标为北纬 26.284°,东经 106.814°,属亚热带季风气候区,雨热同季,四季分明,年平均气温 15.5℃,冬无严寒,夏无酷暑。天缘洞实测长 409.3 m,具有南北两个洞口。南洞口较大,海拔 807 m,高 26.8 m,宽 26.7 m,洞口上方发育一天窗,天窗下岩壁笔直,具有明显的崩塌痕迹。北洞口较小,海拔 829 m,高 2.2 m,宽 2.6 m。南部主廊道段长 100.6 m,宽 18~27 m,高 7.8~8.4 m;北部主廊道长 154.7 m,宽 1.7~10.6 m,高 2.4~5 m;中部厅堂段洞顶发育一天窗,直径 7.5 m,距洞底深 53 m。天缘洞内碳酸盐次生沉积物发育较少,多为沿岩层走向发育的钟乳石,规模体量都较小^[25]。

3.2 天缘洞数据来源

在天缘洞选择 10 个具代表性的监测点(图 1),2017 年 8 月至 2018 年 7 月连续每月对洞穴环境数据进行监测,其中 TY-1(洞口前)作对比数据。本研究采用福建漳州生产的 DLY-3G232 型空气离子测量仪进行监测,该仪器不仅具有紧急驱潮功能,而且仪器离子直径设置有 3 档,小离子直径 0.001~0.003 μm,平均移率 1.0 cm²·V⁻¹·s⁻¹;中离子直径 0.003~0.03 μm,平均移率为 0.05 cm²·V⁻¹·s⁻¹;大离子直径 0.03~0.1 μm,平均迁移率为 0.005 cm²·V⁻¹·s⁻¹,其中小负离子对人体健康最有益^[26-27],在测定前已设置为最小离子直径档(0.001~0.003 μm),测定数据包括正负离子含量,监测时,分别测四个方向的离子浓度后取平均值作为样点的离子浓度,洞穴 CO₂数据通过衡欣 AZ7755 CO₂检测仪测定,风速通过台湾衡欣 AZ8908 手持风

速计记录,氡测量采用美国 DURRIDGE RAD7 测氡仪。

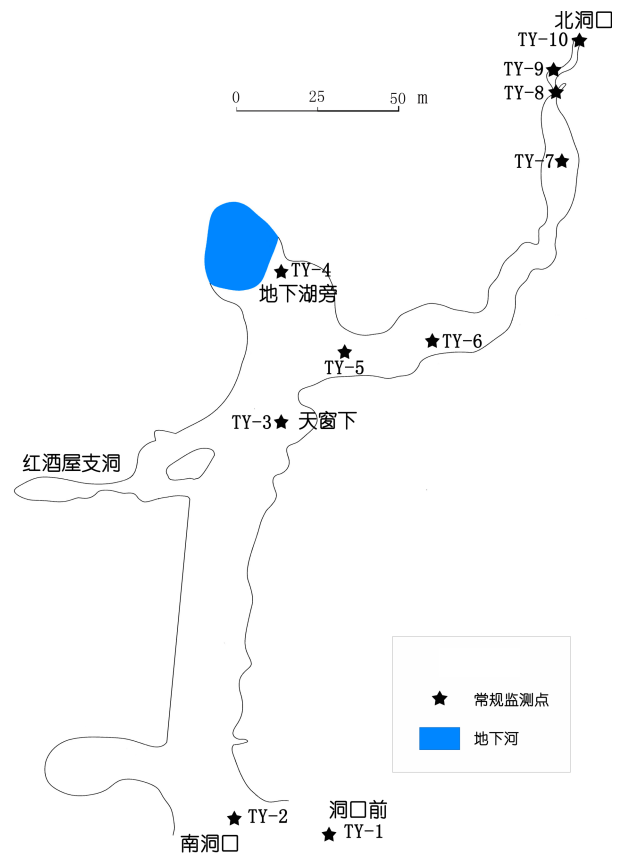


图1 天缘洞监测样点分布图

Fig. 1 The distribution map of monitoring point in Tianyuan cave

4.3 数据分析

适宜的氡浓度是开展洞穴康养活动的前提。通过监测数据发现,天缘洞洞内氡浓度全年平均为 610.26 Bq·m⁻³,最高 1 350 Bq·m⁻³,符合国际原子能机构(IAEA)于 1996 年在《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》(BSS)中要求氡的职业照射水平范围:500~1 500 Bq·m⁻³,年平均浓度 1 000 Bq·m⁻³的范围^[28]。

天缘洞内年均温在 14℃,1 月份出现最低温度 3.4℃,洞内气压变化幅度较小,正负离子浓度变异系数较大,其在时间和空间上都存在较大幅度的变化(表 5)。

3.3.1 天缘洞人体气候舒适度指数分析

通过人体气候舒适度指数分析,7~9 月份天缘洞洞口前 TY-1、洞口 TY-2 及 TY-10 三个监测点的人体舒适度指数(S)均≤4.55,是最舒适的月份与地点。

表 5 天缘洞环境基础数据表
Table 5 The environment basic data table in Tianyuan cave

	平均值	最小值	最大值	变异系数
温度/℃	14.000	3.400	22.300	0.379
相对湿度/%	88.880	62.050	100.00	0.118
风速	0.100	0.000	1.000	1.009
气压/hPa	924.428	915.000	932.500	0.165
CO ₂ /×10 ⁻⁶	521.900	342.000	884.000	0.207
负离子/个·cm ⁻³	4 056.700	225.000	19 725.000	1.067
正离子/个·cm ⁻³	4 285.500	300.000	19 970.000	1.098
氡/Bq·m ⁻³	610.260	11.700	1 350.000	0.851

进入天缘洞后,由于气温降低和相对湿度加大,使洞穴人体舒适度降低,仅有9月TY-3至TY-7监测点人体舒适度指数在4.55-5.75之间,属于舒适环境;其他月份所有监测点人体舒适指数(S)均在5.75以上,属于不舒适环境,特别是12月至次年2月人体舒适度指数(S)均超过9.0,为极不舒适程度。

3.3.2 天缘洞空气清洁度与负离子含量分析

天缘洞洞内空气负离子含量年均4 056.7个·cm⁻³远高于天缘洞外年均1 482.5个·cm⁻³,仅有12月至次年1月洞内空气相对湿度均值75%,各点负离子含量均低于1 000个·cm⁻³,空气清洁度指数(CI)<1.0,对人体健康无益;2017年8-9月、2018年4-7月洞内空气相对湿度大,均值达93.6%,TY-2至TY9点负离子含量较高,4-9月负离子含量均值分别为5 156个·cm⁻³、12 292个·cm⁻³、7 039个·cm⁻³、6 487个·cm⁻³、7 144个·cm⁻³、8 082个·cm⁻³,空气清洁度指数(CI)分别为5.079、11.602、7.112、7.496、7.007、7.541,均高于1.00,属于最清洁空气,极有利于人体

喀斯特洞穴复杂的生态环境和小气候决定了并非所有的洞穴都适于开展洞穴康养,同一洞穴的不同月份和不同洞段也存在着差异性,因此确定喀斯特洞穴的康养适宜性是进行洞穴康养开发的前提。洞穴康养依托洞穴环境,受体为人,而人体进入喀斯特洞穴的心理感受与认可度各有不同,且景观元素在洞穴康养适宜性评价上的可操作性不强,因此本文排除不确定心理因素,仅以洞穴环境因子为监测

健康。值得关注的是,4-9月洞内负离子浓度最高点均出现在TY-4点地下湖旁,5月最高达19 725个·cm⁻³,负离子浓度空间分布规律呈现以地下湖为中心向洞口方向逐渐递减的趋势,且与空气相对湿度呈正相关性,这与邓亚东等^[29]学者研究结果一致。

3.3.3 天缘洞洞穴康养功能指数分析

通过将天缘洞2017年8月至2018年7月各月监测点测算的人体气候舒适度指数、空气清洁度指数、负离子富含指数归一化处理,得出天缘洞各月洞穴康养功能指数图(图2)。纵观天缘洞全年洞穴康养功能指数,TY-4点洞穴康养指数最为突出,尤其5月TY-4点洞穴康养功能指数最高,达0.924,其次为9月TY-4点洞穴康养功能指数为0.88,TY-4点附近为天缘洞最佳洞穴康养洞段;从全洞段上看,12月与1月全洞段洞穴康养功能指数均小于0.2,均值分别为0.054与0.035,不适宜开展洞穴康养活动,而5月全洞段除TY-3、TY-10外洞穴康养功能指数值均在0.5以上,TY-3点因处天窗下,空气流通性致使负离子含量相对较低,为4 880个·cm⁻³,亦大于2 100个·cm⁻³极有利于健康的标准,因此5月最适宜全洞段开展康养活动;从时间上看,4-9月均有洞段的康养指数超过0.5,为适合开展康养活动时段,10-11月、2-3月均有洞段的康养指数超过0.2,为较适宜开展康养活动时段。

4 讨 论

喀斯特洞穴康养与洞穴医疗均依托于洞穴环境,但又有别于洞穴医疗,洞穴康养相对于洞穴医疗外延更广,它是融合疗养、康体、休闲等一系列有益身心健康的活动,其受众更广,可满足多种不同健康人群的需求,更具休闲保健功能。在大健康需求日益增长的今天,洞穴康养将是具有巨大社会效益的洞穴开发方式。

对象。受限于监测技术,重点关注洞穴环境中的几个特殊因子:一是氡,其医疗价值存在争议,浓度过小不起治疗作用,浓度过高有致癌风险,建议洞穴康养确保氡低浓度为宜;二是二氧化碳,喀斯特洞内CO₂浓度一般高于洞外空气中的含量,且人体进入洞穴可引起CO₂浓度升高,因此应保证洞穴康养在350~1 000×10⁻⁶舒适范围内进行;最后是空气负离子,它能杀菌、抑菌,还能对人体产生多种生物效应,



图2 天缘洞各月洞穴康养功能指数示意图

Fig. 2 Tianyuan cave health function index sketch map of each month

是洞穴康养的核心因子。综合考虑人体感受,选取人体气候舒适度、空气清洁度以及空气负离子富含指数构建洞穴康养功能指数(CRFI),采用定量评价以实现指数体系的适用性和可操作性。

通过天缘洞实测数据发现,天缘洞洞内氡浓度年均均为 $610.26 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, CO_2 浓度年均 521.900×10^{-6} , 满足洞穴康养开展的前提条件;洞内年均温为 14°C , 相对湿度大,人体气候舒适度相对较低;洞内正负离子含量在时间与空间上都存在较大幅度的变化,负离子浓度空间分布规律存在以TY-4地下湖为中心向洞口方向逐渐递减趋势,而4-9月全洞段空气负离子含量较高,空气清洁度指数均高于1.00,属于最清洁空气,极有利于人体健康。采用CRFI指数对其进行量化评价,得出洞穴最佳康养时间和地点,对于天缘洞建设与游客体验均具有实际参考价值。但是,在天缘洞实例验证中,洞内环境监测数据为按月采集,受天气影响较大,存在一定的偶然性,长时间连续监测是极有必要的。

随着监测技术的提高和对洞穴环境的深入研究,洞内水和空气中所含微量元素、有益菌等环境生态因素将纳入洞穴康养适宜性评价体系;同时,喀斯特洞穴康养仍缺乏人体机理反应数据,下一步将结合洞穴康养实验进一步验证洞穴康养效果。

5 结 论

我国西南喀斯特地貌发育,星罗棋布的喀斯特洞穴数以万计,但喀斯特洞穴康养资源却未得到充分的挖掘和利用,本篇浅论喀斯特洞穴康养适宜性,意在抛砖引玉,引发更多洞穴康养资源研究与利用。

(1)洞穴康养是融合疗养、康体、休闲等一系列有益于身心健康的活动,其受众较广,能满足多种不同健康人群的需求,应用前景广阔。

(2)洞穴康养适应性应以洞穴氡低浓度、 CO_2 浓度适宜为前提。

(3)以人体气候舒适度指数、空气清洁度以及空气负离子富含指数三个指标构建洞穴康养功能指数(CRFI),采用层次分析法确定各指标权重分别为0.142、0.286、0.572,实现了洞穴康养适宜性的量化评价。

(4)在对天缘洞环境因子实地监测的基础上,采用CRFI指数对其进行量化评价,全年的洞穴康养功

能指数显示天缘洞最佳洞穴康养时间为5月与9月,最佳康养地点位于TY-4地下湖附近,仅12月与1月不适宜开展洞穴康养活动。

参考文献

- [1] Horvath T. Speleotherapy : a special kind of climatotherapy, its role in respiratory rehabilitation [J]. Disability & Rehabilitation, 1986,8(2):90-92.
- [2] Beamon S, Falkenbach A, Fainburg G, et al. Speleotherapy for asthma[J]. Cochrane Database Systematic review, 2001,2(3):1-9.
- [3] Katalin N, Norbert K, Tibor K, et al. Radon therapy and speleotherapy in hungary [J]. Press Therm Climate, 2008, 145(1):219-225.
- [4] Karakoca Y, Demir A. Spleeotherapy in asthma and allergic disease[J]. Clinical and Experimental Allergy, 1995, 25(7): 666-669.
- [5] Iuri S, Mihail H, Nicolae G, et al. Environment study in order to use potential therapeutic factors existing in the cavity of one salt mine for the achieve of some perspectives of speleotherapy development in Romania [C]. 14th international congress of speleotherapy, 2005, 421-425.
- [6] Shankari U. Salt Therapy and Salt Mine Toursim [EB/OL]. 2015-05-08, <http://health.wikinut.com/Salt-Therapy-and-Salt-Mine-Tourism/31-2wcwy/>.
- [7] 汪训一等. 柳州响水岩医疗可行性探讨[M]. 喀斯特与洞穴风景旅游资源研究. 北京:地震出版社, 1994: 236-239.
- [8] 朱其光, 朱德浩, 陈华奇. 洞穴医疗及柳州响水洞洞穴医疗研究[J]. 中国岩溶, 1998, 17(3):269-277.
- [9] 朱德浩, 朱其光. 洞穴自然环境系统的观测及研究:以广西柳州响水岩为例[J]. 中国岩溶, 2005, 24(4):318-325.
- [10] 朱德浩, 朱其光. 洞穴医疗的现状与前景[C]. 全国第十三届洞穴学术会议论文集, 2007, 92-101.
- [11] 黄彦柳, 陈东辉, 陆丹, 等. 空气负离子与城市环境[J]. 干旱环境监测, 2004, 18(4):208-211.
- [12] Chervinskaya A V, Zilber N A. Halotherapy for treatmeat of respiratory diseases[J]. Aerosol Medicine, 1995, 8(3): 221-232.
- [13] Munteanu C, Munteanu D, Simioncal I, et al. Therapeutical evaluation of Turda Salt Mine microclimate on pulmonary fibroblasts culture[J]. Balneo-Research Journal, 2010, 1(1): 24-29.
- [14] Alföldy B, Török S, Hofmann W, et al. Aerosol studies in a therapeutic cave [J]. Journal of Aerosol Science, 2000, 31(Suppl 1):504-505.
- [15] Blanc P D, Trupin L, Earnest G, et al. Alternative therapies among adults with a reported diagnosis of asthma or rhinosinusitis: data form a population-based survey[J]. Chest Journal, 2001, 120(5):1461-1462.
- [16] Nurov I. Immunological features of speleotherapy in patients with chronic obstructive lung diseases at the rehabilitation stage [J]. Uzbekistan Tibbiet Zhurali, 2009, 16(6):49-52.

- [17] Gaus W, Weber H. Efficacy and safety of speleotherapy in children with asthma bronchiale a controlled randomized multi-centre study[J]. *Physikalische Medizin Rehabilitation Smed-izin Kurortmedizin*, 2010, 20(3): 144-151.
- [18] 陆鼎煌, 崔森, 李重和. 北京城市绿化夏季小气候条件对人体的适宜度[C]//林业气象论文集. 北京: 气象出版社, 1984: 144-152.
- [19] 加藤敬二(芦敬, 邵国痒, 陈瑞如译. 关于空气离子测定[J]. 空气清静, 1980, 7(6): 243.
- [20] Karen A. The influence of electro aerosol inhalation on the disease of the respiratory tract and the lungs[M]. *Proceedings of the Seventh International Conference*, 1975.
- [21] Korublu I H. The clinical effect of aero-ionization[J], *Medical Biometeorology*, 1990, 33(2): 25-29.
- [22] Winsor T J, Beckett C. Biologic effects of ionized air in man [J], *Physic Med*, 1958, 37: 83-88.
- [23] Krueger A P. The action of air-ions in bacteria[J], *J. Gen. physiol.*, 1957, 41: 359-381.
- [24] 林金明, 宋冠群, 赵利霞, 等. 环境、健康与负氧离子[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 8-11.
- [25] 黎有为, 石晓智, 贺卫, 等. 贵州绥阳红果树景区地质遗迹特征及探险、洞穴养生旅游[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(4): 407-413.
- [26] 韦朝领, 王敬涛, 蒋跃林, 等. 合肥市不同生态功能区空气负离子浓度分布特征及其与气象因子的关系[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2158-2162.
- [27] 潘剑彬. 北京奥林匹克森林公园绿地生态效益研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [28] 国际放射防护委员会. 国际放射防护委员会第65号出版物, 住宅和工作场所氡-222的防护. 李素云译. 北京: 原子能出版社, 1997.
- [29] 邓亚东, 陈伟海, 朱德浩. 桂林市芦笛岩、大岩洞空气负离子浓度分布研究[J]. *中国岩溶*, 2005, 24(4): 326-330.

Research on composite evaluation index of karst cave health effects: A case study of Tianyuan cave in Hongguoshu area of Guizhou

JIA Zhenzhen^{2,2,4}, LI Youwei^{1,2,4}, GAO Zhandong^{1,2,4}, WANG Yanlin³, WU Kehua^{1,2,4}

(1. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Engineering and Technology Research Center for Karst Cave (Tourism) Resource Development and Utilization, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 4. Guizhou Cave Association, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract Air negative anion, known as "air vitamin", has biological effects such as regulating nerve centers and promoting metabolism, and is beneficial to physical and mental health. At the same time, negative ions also have antibacterial and bactericidal effects. The content of negative ions in Karst caves is high, and clean air in the cave is also created. Karst cave's natural health care is a series of activities that are beneficial to physical and mental health based on the cave environment and microclimate. It has more leisure and health care functions than speleotherapy. This paper uses index analysis method to select human climate comfort, air cleanliness and air anion enrichment from the perspective of human feeling and environmental hygiene to construct the cave health function index (CRFI), the weights of the three indicators are 0.142, 0.286, 0.572. The evaluation results of the cave health function index were divided into four grades, above 0.8 is very suitable for health activities, and less than 0.2 is not suitable. According to Tianyuan cave environment monitoring data from August 2017 to July 2018, found the cave within the annual average temperature of 14 °C, relative humidity of 88.88%, human body comfort level is relatively low. The annual radon concentration in the cave is 610.26 Bq·m⁻³, which meets the international radiation safety requirements. Positive and negative ions content have a significant change in time and space, and negative ion concentration spatial distribution takes TY-4 underground lake as the center and gradually decreases towards two holes of the cave. Air negative ions content is higher in the whole cave from April to September, and the air cleanliness index are higher than 1.00, belongs to the most clean air, very beneficial to human body health. From December to January, the negative ion content in each monitoring site was less than 1,000·cm⁻³. The health function index of Tianyuan cave shows that the best health care time is may and September, and the best health care site is near the underground lake of TY-4, and only December and January are not suitable for cave health activities.

Key words karst caves, cave environment, cave health function index (CRFI), tianyuan cave

(编辑 张玲)