

李相邑,代群威,党政,等.雪宝顶流域钙华景观生态风险评价的研究探讨[J].中国岩溶,2021,40(1):140-146.
DOI:10.11932/karst20210115

雪宝顶流域钙华景观生态风险评价的研究探讨

李相邑¹,代群威^{1,2},党政³,罗尧东¹,崔杰¹,董发勤¹,张婷¹

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学核废物与环境安全国防重点学科实验室, 四川 绵阳 621010; 3. 西南科技大学应用技术学院, 四川 绵阳 621010)

摘要:景观生态风险评价能够有效地对区域景观格局进行优化并为风险防范提供理论基础。文献计量学分析表明,国内岩溶景观生态风险评价研究主要从“研究对象”、“评价模型”、“评价方法”和“评价指标”4个方面分析;而钙华作为特殊的岩溶体,目前对它的生态风险评价几乎未开展。文章从岩溶景观生态风险评价入手,基于模糊数学综合评判法和层次分析法,提出以地表钙华体与地表水循环作为景观主体,并对主体因素逐步细化,形成多层次综合评价模型,展开对雪宝顶流域钙华景观的生态风险评价。

关键词:文献计量学;Citespace;景观生态风险评价;岩溶景观;钙华

中图分类号:X826;P642.25 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2021)01-0140-07 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

以岩溶地质遗迹为主的世界自然遗产地质公园基本上代表了我国岩溶景观的分布和美学价值^[1]。四川岩溶景观主要分布于九寨沟、黄龙和兴文一带,其中九寨沟和黄龙作为国家地质公园,有着巨大的科研、人文与美学价值。黄龙钙华景观作为最具代表性和特色的岩溶旅游资源,已形成世界闻名的钙华景观旅游区^[2-3]。

近年来,由于地质灾害和旅游开发,对九寨沟—黄龙的钙华景观产生了一定程度的破坏,如遭到地震破坏,钙华景观出现垮塌现象;游客对钙华的脆弱性缺乏认识,践踏钙华,导致钙华池面积减小、沙化、淤积等,景观的美感度急剧下降^[4-5]。

景观生态风险评价来源于区域生态风险评价,是运用景观生态学的理论知识,评估自然灾害或人类活动对景观的影响,以减少自然灾害或人为胁迫等多种风险源破坏生态环境的概率,降低自然或人

为因素对景观产生的不良影响^[6-7]。景观生态风险评价通过空间分析,引入尺度效应,利用景观格局指数的方法解析人类活动和自然灾害对景观生态环境产生不良影响的过程、机理等,为治理生态环境提供理论基础^[8-9]。本文通过文献计量学方法分析国内外对岩溶景观风险评价的研究进展,旨在了解该领域的研究方向。

1 研究方法数据来源

1.1 数据采集

研究主要采用文献计量法和科学知识图谱方法对检索到的文献进行可视化分析。研究采用信息可视化分析软件CiteSpace V5.7.R1(64bit)版^[10]。

基于WOS核心库(Web of Science)和CNKI进行检索,以生态风险评价(ecological risk assessment)为主题,全文为岩溶景观或喀斯特景观(karst land-

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41877288,41973053,41572035)

第一作者简介:李相邑(1996—),男,研究生,主要研究方向为环境生态修复。E-mail:1057234415@qq.com。

通信作者:代群威(1978—),男,博士,教授,研究方向:环境污染调控与生态修复。E-mail:qw_dai@163.com。

收稿日期:2020-09-20

scape)。WOS 核心数据库关于该研究领域的文献量较少,重点研究 CNKI 从 2001–2020 年的文献数据库,总计为 130 篇。

1.2 分析方法

利用科学计量学软件 Citespace 进行知识结构的分析,输出结果中每个节点代表一个关键词,关键词标注的大小表示相应关键词出现的频次,节点之间连线的粗细表示关键词共现强度的高低,对输出结果中节点的大小及相互联系进行聚类,从而确定该研究领域的研究趋势和热点^[10]。

按照 Citespace 软件规定格式导出数据,并采用数据去重功能,预先对数据进行处理。节点类型:Keyword;节点阈值:Top 100(关键词共现分析);在关键词共现分析中网络修剪方式选择 Pathfinder(寻径)和 Pruningslicednetworks(修剪每篇网络)^[11]。

2 岩溶景观生态风险评价的发文分析

通过 Citespace 软件对 CNKI 高频关键词进行排序(表 1)以及对岩溶景观生态风险评价的关键词共现分析,将该领域的研究热点大致分为评价对象、评价模型、评价方法和评价指标 4 个方面(图 1)。

表 1 2001–2020 年岩溶景观生态风险评价发文高频关键词
Table 1 High-frequency keywords of karst landscape ecological risk assessment from 2001 to 2020

序号	关键词	频次/次
1	生态风险评价	33
2	生态风险	30
3	岩溶景观	16
4	土地利用	12
5	景观格局	9
6	重金属	7
7	景观生态风险	4
8	土地利用变化	4
9	滑坡灾害生态风险	2
10	土壤重金属	2

2.1 评价对象

景观生态风险源分为自然灾害和人为灾害,其区域以流域、行政区、城市区域和森林为主要研究对象,除此之外还包括风景名胜区、国家公园等风险控制区域。景观生态风险评价从最初的对单一风险源的评估,逐步演变到目前对多个风险源的研究,从单一风险受体到多个风险受体,从整个景观评价到对区域景观的多尺度评价,成为目前景观生态风险评

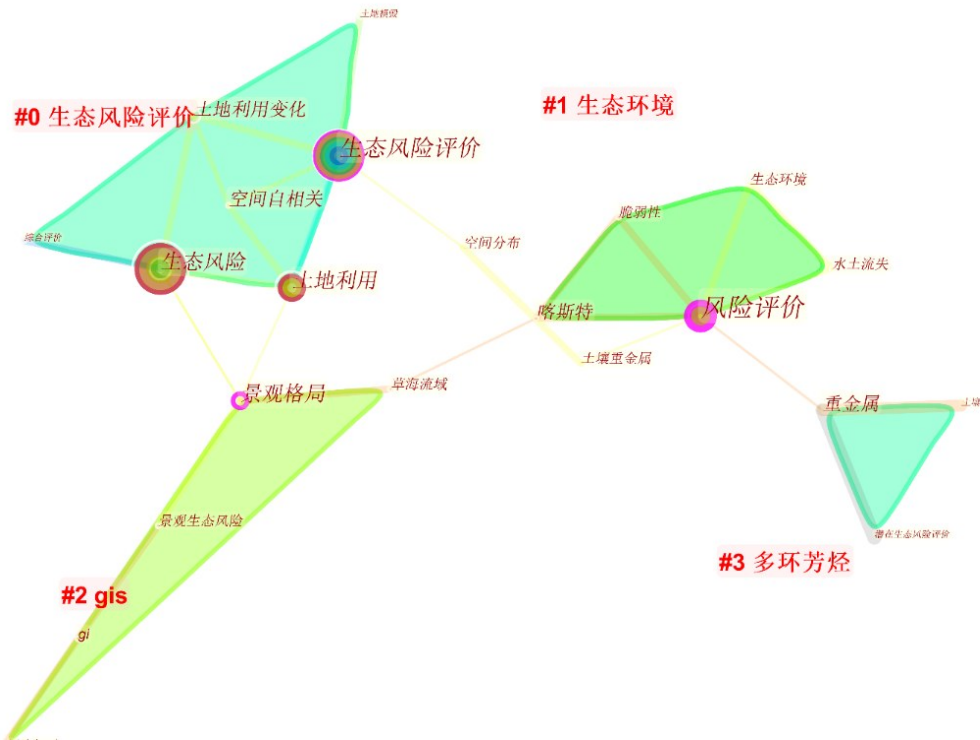


图 1 国内岩溶景观生态风险评价领域期刊论文关键词共现关系

Fig. 1 Keyword co-occurring relationship of domestic papers in karst landscape ecological risk assessment field

价的热门方向^[12-17]。胡金龙等^[15]对典型喀斯特流域的土地利用变化进行生态风险评估;姜妮^[16]等通过遥感影像,基于景观格局指数来揭露喀斯特区域城市湿地公园的演变规律。

2.2 评价模型

景观生态风险评价主要分为传统生态系统评价和使用景观格局指数的模型评价^[18]。传统生态系统评价包括风险源识别、受体分析、危害评价。在开展景观生态风险评价早期主要采用传统的风险评价模式,发展到现在,基于景观格局指数对景观生态系统的评价研究已成为主流。而从空间格局出发,评价景观镶嵌体相对于最优格局的偏离程度的生态风险效应,其适用类型广泛^[17]。如谢刚和易武英等^[19-20]对黔南州基于水土流失敏感性,将水土流失特征融入景观生态风险量化过程,以生态环境质量和景观空间格局进行耦合来构建生态风险评价模型;邓玲玲等^[21]利用 ALOS 遥感影像解译数据,通过 ArcGIS 平台,构建土地利用的景观格局指数,对紫云县宗地喀斯特地域环境进行评价等。

2.3 评价方法

景观生态风险具有模糊和不确定性,与之对应的模糊数学法被广泛应用于生态风险评价中,将风险看作是对安全的隶属度来判断区域景观的风险程度^[22-23]。通过遥感解译数据、ArcGIS 等地理学技术和景观生态学的生态过程构建评价模型,对生态灾害发生的概率和可能会造成的损失进行量化评价是当前的热门方向^[23-24]。郑杰等^[24]使用 GIS 和 GeoDa 技术构建喀斯特高原地区的风险评价模型,研究了景观生态风险在时间和空间上的分布特征;王琪等^[25]通过 RRM 模型和不确定分析对贵阳市喀斯特地区的景观石漠化问题。

2.4 评价指标

目前对于风险评价指标的建立多采用有美国运筹学家萨蒂提出的层次分析(AHP),是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在该基础上进行定性和定量分析,主要采用专家打分法和排序归一法对景观特征和格局指数进行赋值计算^[26-27]。杨阿莉等^[26]基于 AHP 法以甘肃河西走廊为目标,建立评价体系对各指标层中的元素进行综合性评价;张双双等^[27]运用层次分析法建立各指标权重,以景观格局评价法建立评价模型,研究合肥市城市扩展

与生态风险的线性关系。

3 钙华景观影响主因素与生态风险评价需求

3.1 钙华景观影响主因素

钙华景观作为岩溶景观的组成部分,具有其独特的美学价值。国内关于钙华景观研究主要集中在九寨沟、黄龙等区域,研究的主要方向为钙华景观的成因、水化学、景观演化趋势、景观退化等方面。研究机构主要为西南科技大学、四川省黄龙国家级风景名胜管理局、四川地质矿产局、成都理工大学等。通过对国内钙华领域的发文分析(图2),发现国内刘再华课题组^[28-30]在钙华水化学、景观退化领域颇有建树,在云南白水台钙华景区,通过水化学和碳氧同位素示踪法确定了景区水文循环系统,指出人类活动对钙华景观的影响及景观退化与藻类关系。万新南课题组^[31-32]研究了黄龙钙华景区的水文循环系统及钙华景观的形成过程,分析了钙华景观的演变趋势,指出水化学特征是景观形成及演变的关键因素。董发勤课题组^[33-36]对钙华共生物沉积、地震前后钙华景观的水化学特征、钙华坝体震损特征、震损钙华的修复与保育等进行了研究,提出以废弃钙华为原料,制作钙华型块用于钙华景观修复的技术,取得了良好的效果。

影响黄龙钙华景观的自然因素主要为钙华水体水化学特征、地震等自然灾害、气候环境的变化等自然因素和人类对旅游景区的过度开发、旅游人数大增,景区超负荷运营等人为因素^[37]。九寨沟、黄龙钙华景观的生态环境十分脆弱,若打破钙华景观的生态平衡体系,将造成钙华景观的消亡。因此,合理地开发和利用钙华资源,保持人类与钙华景观生态合理的动态平衡是当前重要的研究课题^[38-39]。

3.2 钙华景观生态风险评价

本研究利用 ArcGIS 软件提取雪宝顶小流域单元生态的空间分布特征,采用模糊数学综合评价法对雪宝顶流域钙华景观,即九寨沟景区和黄龙景区^[40],进行生态风险评价,从钙华资源的旅游价值和景观普适价值开展钙华景观的生态风险评价,达到减少区域景观的灾害损失、加快受损景观修复的目的。模糊数学综合评价法是一种以模糊数学相关理论为基础的实际应用方法^[41],最突出的优点是将各种定性信息转化为定量信息,同时得出评判对象的整体评判等级和隶属各个等级的具体情况,能提高

钙华是天然碳酸盐矿物,在岩溶作用下以年为周期形成沉积体。逐年累积过程中自然钙华体多以崖、坝和滩的形式存在,钙华体结构的稳定性是景观存在的前提,其次,堆积体形貌尺寸、堆积区地貌、距离灾害中心的距离也影响着景观灾后的稳定性。水体作为钙华景观的重要组成部分,水体循环完整性是钙华景观维持原貌的首要条件(图4)。

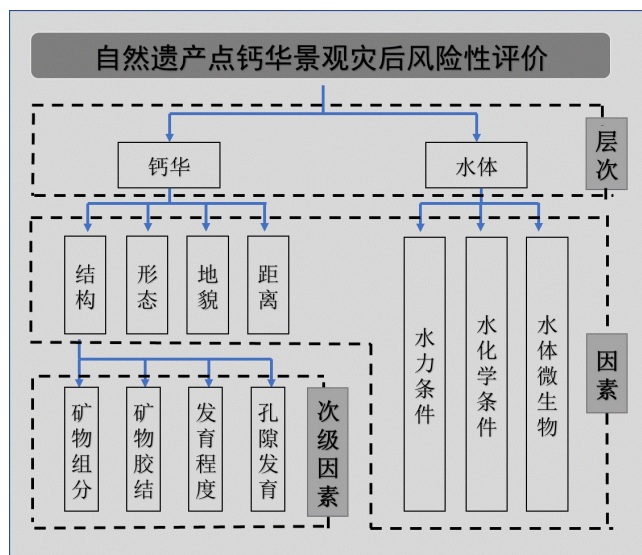


图4 钙华景观灾后危险性评价层次示意图

Fig. 4 Hierarchical sketch of post-disaster risk assessment for travertine landscape

3.2.1 钙华体评价因素

首先,评价区内钙华景观的形成与其所处的大地构造位置、冰川地貌、高寒岩溶地貌等地质背景密切相关,九寨沟风景区出露志留系至三叠系的碳酸盐岩/碎屑岩,经历印支期、燕山期、喜马拉雅期的复合造山运动,和第四纪冰川作用及多次冰川退缩形成的特定冰川地貌,同时叠加了高寒岩溶作用和重力灾害以及新构造运动,铸造而成世界瞩目的奇特的钙华景观^[47-48]。

其次,对评价区内现代钙华的物相和微区形貌的研究,能更好地了解典型钙华景观的形成过程和控制因素,为受损钙华的原位修复提供基础资料和参考依据^[5]。

再次,钙华体结构的稳定性与成岩矿物的胶结能力、演化阶段相关。对于碳酸盐岩矿物,长时间的成岩作用和重结晶作用形成的钙华体结构较为稳定。钙华堆砌生长过程中,组分差异越小,沉积层之间的胶结效果越好,沉积体结构越稳定;此外,受自

然和人为因素影响,钙华体内部发育着大小不同的孔隙,在水力渗透作用下,孔隙进一步发育形成连管道。因此,孔隙结构会影响钙华体结构稳定^[49-50]。

最后,由于景区所处的区域位置和地质构造背景,区域内地震活动频发。地震活动不仅诱发景区内的地质灾害,也影响着其地表水流量、地下水位和流量、植被和动物、地形地貌等自然环境等^[51]。

3.2.2 水体评价因素

钙华景观的水力条件包括地表水和地下水,景区内大气降水、地表水、地下水的“三水”循环构成了钙华景观的生命线,丰富而又稳定的大气降水是景区钙华景观的基础和保障,它们通过降雨或降雪转化为地表水,其中一部分渗入地下,通过对石灰岩的溶蚀成为饱含钙离子的地下水,再以泉的形式出露地表,将大量的钙离子带出地表;另外,由于胶结紧实的冰碛层为良好的不透水层,岩溶水冰碛体表面流过^[36,52-53]。万新南等^[31-32]对钙华水循环系统、钙华成因等的研究,确认了水化学因素在景观形成及演变过程中的关键作用。

九寨沟景区和黄龙风景区的钙华景观是一系列微生物参与协同作用的结果^[54-56]。Verrecchia^[54]等研究发现水生生物进行光合作用能够吸收周围水环境中的 CO_2 ,从而在一定程度上提高微环境碳酸钙饱和度并引发碳酸钙沉积。另外,研究也发现这些水生生物还会吸收水中的 HCO_3^- 并在胞内碳酸酐酶的催化下将其转化为 CO_2 来进行光合作用。这个过程能同时向胞外释放 OH^- ,使得细胞周围水溶液pH升高,诱发碳酸钙沉积的发生。

4 结 语

利用Citespace软件,围绕岩溶景观的生态风险评价研究进展,分析国内外期刊在该领域发表论文的研究热点、发展趋势等热点问题,得出:

(1)岩溶景观生态风险评价主要集中于“研究对象”、“评价模型”、“评价方法”和“评价指标”4个方面,主要为基于景观格局指数的评价模型,利用景观生态学、地理学、模糊数学等技术手段,对区域景观进行生态风险综合评价;

(2)钙华景观作为岩溶景观的组成部分,九寨沟风景区和黄龙风景区的钙华景观吸引着国内外的众多游客,由于自然风险和人为因素势必会对钙华景观的美学价值和生态系统产生影响;

(3)九寨沟—黄龙景区的钙华作为特殊的世界自然遗产,开展钙华景观的生态风险评价,更有针对性地进行保育修复,减小自然灾害和人为活动给景区带来的伤害,对风景区的环境保护和开发管理具有重要意义。

参考文献

- [1] 曾鹏,武法东,王彦洁,等.中国南北方岩溶景观及其形成条件的差异[J].吉林大学学报(地球科学版),2015(S1):408-409.
- [2] 忠东.天堂般的色彩青藏高原神秘的高寒钙华景观带[J].资源与人居环境,2015(5):21-26.
- [3] 曲瑞.九寨沟景区地质景观与地震地质灾害的风险分析[D].成都:成都理工大学,2019.
- [4] 刘再华,田友萍,安德军,等.世界自然遗产—四川黄龙钙华景观的形成与演化[J].地球学报,2009,30(6):841-847.
- [5] 党政.九寨沟核心遗产点震后应急监测及修复可行性研究[D].绵阳:西南科技大学,2019.
- [6] 梁二敏,张军民,胡蒙蒙,等.新疆玛纳斯河流域景观生态风险评价[J].石河子大学学报(自然科学版),2017,35(6):105-111.
- [7] 阳文锐,王如松,黄锦楼,等.生态风险评价及研究进展[J].应用生态学报,2007(8):1869-1876.
- [8] 马胜.生态脆弱区不同模型下多尺度景观生态风险评价[D].西安:西北大学,2019.
- [9] 曾建军,邹明亮,郭建军,等.生态风险评价研究进展综述[J].环境监测管理和技术,2017,29(1):1-5,10.
- [10] 陈悦,陈超美,刘则渊,等.CiteSpace知识图谱的方法论功能[J].科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [11] 吴同亮,王玉军,陈怀满,等.基于文献计量学分析2016年环境土壤学研究热点[J].农业环境科学学报,2017,36(2):205-215.
- [12] Finney M A, Grenfell I C, Mchugh C W, et al. A Method for Ensemble Wildland Fire Simulation[J]. Environmental Modeling & Assessment, 2011, 16(2):153-167.
- [13] Nienstedt K M, Brock T C M, Wensem J V, et al. Development of a Framework based on An Ecosystem Services Approach for Deriving Specific Protection Goals for Environmental Risk Assessment of Pesticides[J]. The Science of the Total Environment, 2012, 415:31-38.
- [14] Argyriou A V, Teeuw R M, Rust D, et al. GIS Multi-criteria Decision Analysis for Assessment and Mapping of Neotectonic Landscape Deformation: A Case Study from Crete[J]. Geomorphology, 2016, 253(6):262-274.
- [15] 胡金龙,周志翔,滕明君,等.基于土地利用变化的典型喀斯特流域生态风险评估:以漓江流域为例[J].应用生态学报,2017,28(6):2003-2012.
- [16] 娄妮,王志杰,何嵩涛.基于景观格局的阿哈湖国家湿地公园景观生态风险评价[J].水土保持研究,2020,27(1):233-239.
- [17] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015(4):664-677.
- [18] 巫丽芸.景观生态风险评价的方法研究[J].国土与自然资源研究,2008(4):61-62.
- [19] 谢刚,谢元贵,廖小锋,等.基于水土流失敏感性的岩溶地区景观生态风险评价:以黔南州为例[J].水土保持研究,2018,25(3):298-304.
- [20] 易武英,周文龙,苏维词,等.典型喀斯特峰丛洼地土地利用生态风险评价:以平塘县为例[J].湖北农业科学,2017,56(4):797-800.
- [21] 邓玲玲,卢江林,李阳兵.紫云县宗地乡典型峰丛洼地地区生态风险评价[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2015,33(1):8-12.
- [22] 周婷,蒙古军.区域生态风险评价方法研究进展[J].生态学杂志,2009,28(4):762-767.
- [23] 王玲.基于土地利用变化的上海市生态风险评价[J].农业科学研究,2018,39(139):16-22.
- [24] 郑杰,王志杰,喻理飞,等.基于景观格局的草海流域生态风险评价[J].环境化学,2019,38(4):76-84.
- [25] 王祺,蒙古军,孙宁.基于RRM模型和不确定性分析的喀斯特地区生态风险管理:贵阳市案例研究[J].山地学报,2016,34(4):476-484.
- [26] 杨阿莉,仲鑫,张洋洋,等.基于AHP—模糊综合评判的旅游开发生态风险评价研究:以甘肃河西走廊为例[J].资源开发与市场,2019,35(6):123-128.
- [27] 张双双,董斌,高祥,等.基于地理国情数据的合肥市城镇扩展及其景观生态风险研究[J].安徽农业大学学报,2019,46(5):826-833.
- [28] 刘再华,袁道先,何师意,等.四川黄龙沟景区钙华的起源和形成机理研究[J].地球化学,2003(1):1-10.
- [29] 刘再华,袁道先, W.Dreybrodt, 等.四川黄龙钙华的形成[J].中国岩溶,1993,12(3):4-10.
- [30] 刘再华,游省易,李强,等.云南白水台钙华景区的水化学和碳氧同位素特征及其在古环境重建研究中的意义[J].第四纪研究,2002(5):459-467.
- [31] 万新南,杨菊,程温莹,等.四川黄龙景区“源水”成因浅析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(1):91-95.
- [32] 万新南,陈叙伦,许模.九寨沟沟谷成因与演化[J].山地研究,1994(3):148-154.
- [33] 闵世杰,党政,彭启轩,等.钙华景观修复材料的制备与应用研究[J].非金属矿,2020,43(4):4-7.
- [34] 党政,代群威,王可.石灰岩在景观修复中的应用研究[J].化工矿物与加工,2019,48(4):68-71.
- [35] 赵学钦,董发勤,王富东,等.九寨沟核心遗产点“8.8”震后水文地质变化[A].中国矿物岩石地球化学学会.中国矿物岩石地球化学学会第17届学术年会论文摘要集[C].中国矿物岩石地球化学学会:中国矿物岩石地球化学学会,2019:1.
- [36] 党政,任锦海,安超,等.7.0级地震对九寨沟核心景观和水化学影响[J].中国岩溶,2019,38(2):186-192.
- [37] 李永新.四川黄龙岩溶资源研究与保护[J].资源与产业,2011,13(S1):77-82.
- [38] 张金流,刘再华.世界遗产—四川黄龙钙华景观研究进展与

- 展望[J]. 地球与环境, 2010, 38(1):79-84.
- [39] 郭建强. 四川九寨沟、黄龙钙华景观保护研究[J]. 四川地质学报, 2005(1):23-26.
- [40] 蒲思颖, 代群威, 董发勤, 等. 基于小流域单元提取的雪宝顶流域范围界定及其生态、社会经济属性空间分布特征[J]. 广东农业科学, 2020, 47(10):93-102.
- [41] 高瑜. 基于层次分析法的美丽乡村景观评价:以重庆市合川区为例[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(16):14-20.
- [42] GB/T 20416—2006. 自然保护区生态旅游规划技术规程[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [43] GB/T 20399—2006. 自然保护区总体规划技术规程[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [44] GB/T 50298—1999. 风景名胜区规划规范[S]. 北京:中国标准出版社, 1999.
- [45] 孙克勤. 中国的世界自然遗产战略管理研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(S1):547-550.
- [46] 郭旗. 对世界遗产工作与旅游业关系的几点思考[J]. 旅游学刊, 2002(6):5-6.
- [47] 周绪纶, 刘民生. 九寨沟早期钙华体的岩溶作用与湖瀑景观的形成[J]. 四川地质学报, 2012, 32(3):333-338.
- [48] 何晓飞. 黄龙国家地质公园开发与信息系统建设[D]. 成都:成都理工大学, 2013.
- [49] 代群威, 党政, 彭启轩, 等. 钙华天然海绵地质体多孔特性及其对水循环调节意义:以四川黄龙为例[J]. 矿物学报, 2019, 39(2):219-225.
- [50] 冯晨旭, 董发勤, 代群威, 等. 黄龙钙华纹层石特征与成因分析[J]. 矿物学报, 2019, 39(1):55-63.
- [51] 杨植, 熊峰, 余明玖, 等. 九寨沟地震灾区调研及重建模式的思考[J]. 土木工程学报, 2018, 51(S2):41-47.
- [52] 黄皓东, 宋韬, 严笑芸, 等. 四川黄龙沟地表水系统水化学空间变化特征研究[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(8):43-47.
- [53] 张清明, 唐淑, 米鹏. 黄龙景区水环境保护与控制对策[J]. 低碳世界, 2018(7):6-7.
- [54] Verrecchia Eric P. Morphometry of Microstromatolites in Calccrete Laminar Crusts and A Fractal Model of Their Growth[J]. Mathematical Geology, 1996, 28(1).
- [55] 晏浩, 刘再华, 邓贵平, 等. 四川九寨沟景区钙华起源初探[J]. 中国岩溶, 2013, 32(1):15-22.
- [56] 李永新, 田友萍, 李银. 四川黄龙钙华藻类及其生物岩溶作用[J]. 中国岩溶, 2011, 30(1):86-92.

Ecological risk assessment of travertine landscape in the Xuebaoding watershed

LI Xiangyi¹, DAI Qunwei^{1,2}, LUO Yaodong³, DANG Zheng¹, CUI Jie¹, DONG Faqin¹, ZHANG Ting¹

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Fundamental Science on Nuclear Wastes and Environmental Safety Laboratory, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 3. School of Applied Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract Landscape ecological risk assessment can effectively optimize the regional landscape pattern and provide theoretical basis for risk prevention. Bibliometrics show that domestic research on ecological risk assessment of karst landscapes starts from four aspects, "research object", "evaluation model", "evaluation method" and "evaluation index". As a special karst body, travertine has rarely been studied on its ecological risk assessment. Beginning from the ecological risk assessment of karst landscape, based on the fuzzy mathematics comprehensive evaluation method and analytic hierarchy process, this work proposes to take surface travertine and surface water cycle as the main landscape, and gradually refine the main factors to form a multi-level comprehensive evaluation model. Carrying out the ecological risk assessment of travertine landscape is of great significance for reducing the disaster loss of travertine landscape and protecting its aesthetic value.

Key words bibliometrics, Citespace, landscape ecological risk assessment, karst landscape, travertine

(编辑 张玲)