

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.
DOI:10.11932/karst20190204

7.0 级地震对九寨沟核心景观和水化学影响

党 政¹,任锦海²,安 超³,代群威¹,董发勤¹,邓远明¹,杨青霞²,卓曼他²

(1.西南科技大学环境与资源学院,四川 绵阳 621010; 2.九寨沟国家级自然保护区管理局,四川 阿坝 624000;
3.住房和城乡建设部城乡规划管理中心,北京 100835)

摘要:2017 年发生里氏 7.0 级地震,九寨沟景区位于此次地震的核心区域,受损严重。对景区现场踏勘和珍珠滩、镜海、诺日朗和火花海 4 处地表水主要离子的取样分析,初步得出景观受损情况及水化学变化:地震对部分景观造成破坏,钙华坝体开裂及崩塌,火花海最为严重;震后地表水水化学主要受 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的影响,地震和降雨加速了矿物溶解,导致 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度高于往年;受钙华沉积的影响, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度随海拔降低而降低,受降水量减少的影响, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度随时间下降,2018 年 3 月份 HCO_3^- 浓度上升,与光合作用、 CO_2 溶解量及水温等因素相关;震后 4 处景观地表水 SIC 值 >0 ,利于钙华沉积。水化学结果说明此次地震增加了水体 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度,如及时实施人工干预,受损景观可以实现恢复。

关键词:九寨沟;钙华;景观演化;地震;水化学

中图分类号:P315.9;P641.3 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)02-0186-07 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

九寨沟位于四川省北部,1992 年入选世界自然遗产名录,以独特的钙华景观和高原湖泊瀑布吸引着世界各地的游客前来观赏,具有巨大的人文价值和科研意义。

2017 年 8 月 8 号九寨沟发生里氏 7.0 级地震,深源 20 km,造成 25 人死亡和 525 人受伤,预计经济损失超过 1.4 亿元^[1]。世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)发布的 2017 年度九寨沟景区现状及前景评估^[2]中,地震及其产生的滑坡和崩塌等灾害是影响景区质量和安全的主要威胁。震后遥感探测发现,景区出现 1 780 处滑坡^[3],诺日朗钙华坝体受损,火花海钙华坝体塌裂^[3]。

目前,震后应急工作已经有序开展,九寨沟核心景观是否依然如故?这个问题是当前公众关注的热点问题。九寨沟的美丽离不开其独特的岩溶发育过程,钙华正是这个过程的关键产物。钙华作为岩溶沉积产物,形成的地质体具有多孔高渗性,一方面构成了九寨沟景区水循环系统,另一方面,钙华直接受水化学作用,具有溶蚀/沉积的双向性,过程直接且变化显著。周绪纶等^[5]提出湖泊和瀑布景观与地表水的溶蚀作用相关,其中诺日朗和树正群湖在地表水作用下扩大延深,犀牛海、镜海等是 CO_2 含量不同的径流混合后促使湖体溶蚀扩大;张瑞英等^[4]对钙华湖泊、滩流和瀑布测年后得出钙华景观具有生命周期,发育初期钙华沉积形成湖瀑,发育后期水体漏失并导致景观消失,九寨沟邻区多处钙华旧址也证实了钙华景观后期风化消逝^[6-8]。另外,水体的富营养化也会导致

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41877288, 41572035, 41472309);国家自然科学基金应急项目(41741026)

第一作者简介:党政(1992—),硕士研究生,主要研究方向为环境污染调控与生态修复。E-mail:dz747566@163.com。

通信作者:代群威(1978—),博士,教授。E-mail:qw_dai@163.com。

收稿日期:2018-09-03

钙华体的消亡,Liu 等^[9]通过相关性分析确认水体中硫酸盐、磷酸盐和硝酸盐浓度会抑制钙华生长;四川大学唐亚课题组^[10-11]近年来的文章也支持这一观点。

钙华景观的形成是大自然千万年孕育的结果,具有不可逆性,独特的景观一旦破坏再难重现人间。为确认九寨沟核心景观的受损情况并开展风险预警研究,震后,本课题组成员先后3次前往九寨沟景区进行踏勘和样品采集。通过对地表水主要离子的时空分布特征分析,确定震后水化学的变化趋势;利用美国地质调查局开发的水文学软件 Phreeqc 计算地表水中矿物饱和指数(Saturation index),确认钙华发育方向。在此基础上,结合前人资料,对钙华景观保护工作提出建议和参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

九寨沟为高原亚寒带气候,年平均降雨量为550 mm,丰水期在6—10月,枯水期在12月至次年4月;形成独立的岩溶水文地质结构单元,其水源补给与大气降水有关,水位随季节变化,同时由于地形起伏大,其具有完整的岩溶水动力垂直体系,为地下水沿断裂破碎带运移提供动力;九寨沟出露地层大部分为古生界泥盆系至中生界三叠系的海相碳酸盐岩地层,可溶性碳酸盐岩分布广泛,岩溶作用强烈;区内岩溶地表水和地下水在诺日朗处汇合,沿南北向统一排出沟外,另外九寨沟处于青藏高原与四川盆地的过渡地带,新构造作用强烈。这些水文地质条件构成了九寨沟高 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 的水化学背景,是钙华湖瀑景观形成的物质基础^[4-6,8]。

1.2 样品采集和处理

课题组于2017年10月(秋季, t_1),12月(冬季, t_2)和2018年3月(春季, t_3)在九寨沟珍珠滩(E 103°53'7", N 33°10'3")、镜海(E 103°53'47", N 33°9'37")、诺日朗(E 103°54'1", N 33°9'51")和火花海(E 103°54'1", N 33°12'13")4处进行水样收集,水样pH、温度(T)、溶解氧(DO)与电导率(Ec)现场测试;阳离子测试用水样过滤后酸化保存,阴离子测试用水样过滤后保存,碱度和 HCO_3^- 现场滴定测试;所有待测样品低温保存,阳离子样品使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-AES)测试,阴离子测试使用离子色谱仪(IC)

测试。

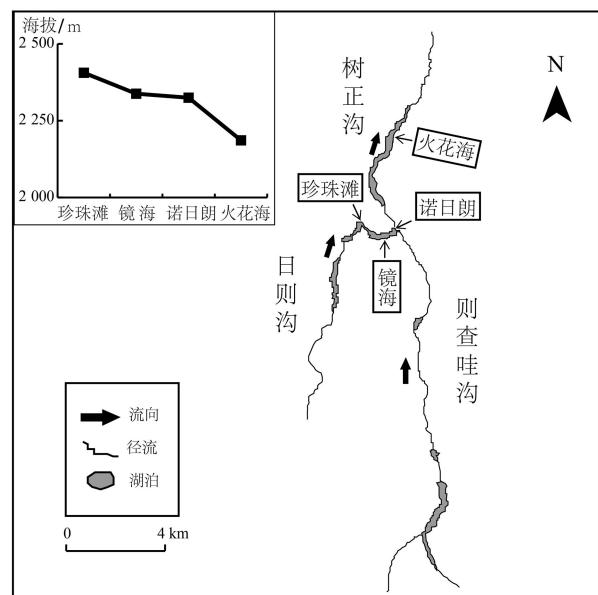


图1 九寨沟采样点示意图

Fig. 1 Schematic map of sampling sites in Jiuzhaigou valley

1.3 数据分析

本研究数据通过Excel 软件(美国 Microsoft, 2018 版)进行整理和分析。

2 结果与讨论

2.1 九寨沟震后径流情况

按照杨俊义等^[8]和甘建军等^[12]对九寨沟水系统的划分,珍珠滩、镜海和诺日朗处于日则沟(上中游)水系统,火花海位于树正沟(下游)水系统。2017年9月和10月降雨量明显增加,超过历年同期雨量,震后的暴雨增加了径流量,促使监测点湖泊水位上升,结果如图2所示。镜海监测点震后9月水位迅速上升,与暴雨现象相关,2018年3月水位较同期水位有所下降,可能与地震对镜海下游处钙华坝堤的破坏有关。火花海监测点水位震后下降显著,这与火花海坝体垮塌有关。

2.2 九寨沟地震前后主要离子变化

2017—2018年度对九寨沟核心景观水样采集分析,结果见表1。表1中4处核心景观地表水呈弱碱性,pH在7.60~8.60范围内。水样中主要离子分析结果显示,阳离子以 Ca^{2+} 为主,阴离子以 HCO_3^- 为主,分别占总浓度的79.42%和86.82%,水化学类型类型为 $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 型(见图3)。这些与前人研究一致^[13]。

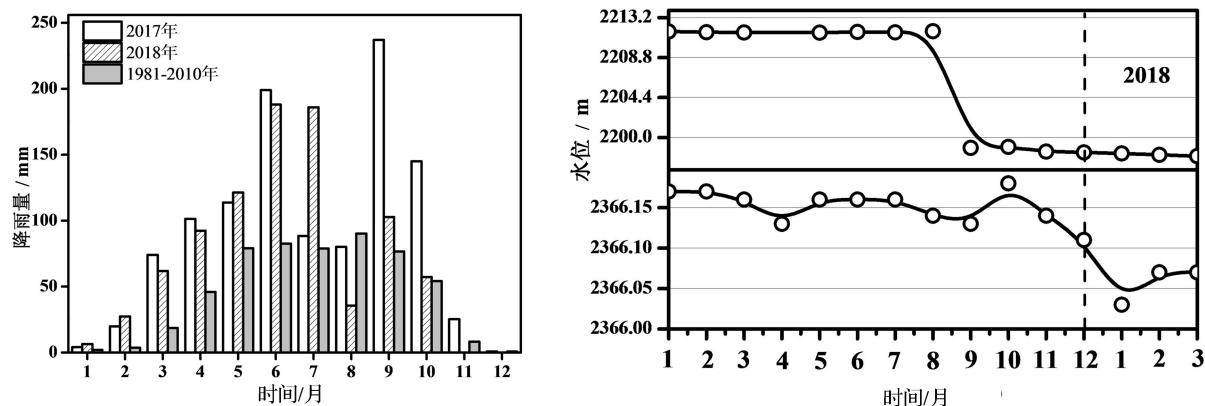


图 2 地震前后九寨沟降水量(左)和监测点水位(右)数据

Fig. 2 Precipitation (left) and water level (right) data of monitoring points in Jiuzhaigou before and after earthquake

表 1 震后九寨沟核心景区水化学数据

Table 1 Hydrochemical data of Jiuzhaigou core scenic spots after earthquake

地点	日期	T/℃	pH	Ec/μs/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Pco ₂ /Pa	SIC
					mmol·L ⁻¹	mmol·L ⁻¹	mmol·L ⁻¹	mmol·L ⁻¹	Pa	
珍珠滩	201710	9.30	8.30	335	1.84	0.53	3.99	0.28	98.29	0.84
	201712	6.50	7.68	/	1.76	0.59	4.10	0.29	442.52	0.19
	201803	6.50	8.28	332	1.77	0.61	6.34	0.30	190.61	0.95
镜海	201710	9.70	8.45	341	1.79	0.55	4.18	0.28	73.32	1.00
	201712	5.20	7.62	/	1.80	0.59	3.82	0.28	485.57	0.06
	201803	6.60	8.19	370	1.73	0.64	7.17	0.31	262.03	0.90
诺日朗	201710	13.60	8.50	312	1.56	0.52	3.60	0.28	51.28	0.99
	201712	3.50	7.96	/	1.42	0.55	3.15	0.27	208.15	0.22
	201803	7.30	8.19	301	1.37	0.55	5.50	0.29	199.48	0.72
火花海	201710	11.10	8.57	285	1.45	0.55	3.98	0.29	47.77	1.03
	201712	6.30	7.60	/	1.42	0.58	3.10	0.28	450.42	-0.10
	201803	8.70	8.17	302	1.31	0.57	5.54	0.31	202.29	0.70

注:SIC-Saturation Index of Calcite;部分 Ec 值缺失。

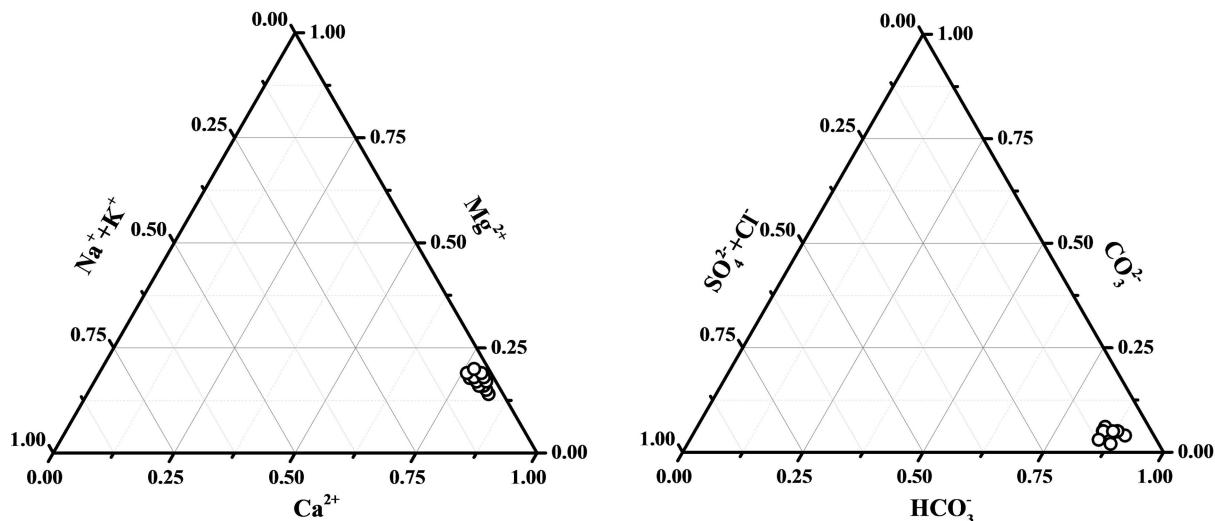


图 3 九寨沟核心景观地表水阴阳离子三角图

Fig. 3 Trigonometric graph of surface water anions and cations in Jiuzhaigou core landscape

震前晏浩等^[6]和乔雪等^[11]测得 Mg^{2+} 浓度为 $0.43\sim0.61 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.42\sim0.60 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, SO_4^{2-} 浓度为 $0.17\sim0.20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.12\sim0.29 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, 低于震后浓度; 震前4处 Ca^{2+} 均值分别为 $1.38\sim1.60$ 、 $1.40\sim1.55$ 、 $1.10\sim1.30$ 和 $1.20\sim1.40 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[6,11,13], 震后同季珍珠滩、镜海和诺日朗3处景观的 Ca^{2+} 均值较往年升高, 火花海处钙离子浓度与往年持平; 震前4处 HCO_3^- 均值分别为 $1.77\sim4.18$ 、 $2.00\sim4.20$ 、 $1.53\sim3.90$ 和 $1.54\sim3.66 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[6,11,13], 震后同季4处景观 HCO_3^- 均值较往年也分别升高, 尤其在更高海拔处的珍珠滩和镜海处。推测地震诱发的地表滑坡和地下断裂、破碎带发育增加了相关矿物溶出量。

震后4处景观的 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 浓度值随海拔无显著变化, 随时间呈现升高趋势, 结合图2可知10月份后降水量下降, 雨水的稀释作用随之减弱。 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度值与海拔之间表现为负相关, 与钙华沉积现象有关^[16~17]。珍珠滩和诺日朗处坡度较大, 是钙华沉积活跃区, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度显著降低; 镜海和火花海为洼地, 水源通过地面径流和降水汇入, 2种离子浓度受汇入量影响。Florsheim等^[10]和苏君博^[13]等对九寨沟水化学研究中也发现径流 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度与海拔负相关。

10、12月份 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的浓度呈下降趋势, 同期降水量减少, 离子汇入量减少, 说明地震造成地下可溶性碳酸盐岩碎裂带发育。同地区黄龙震后研究中, 发现 Ca^{2+} 短期升高后逐渐降低趋于正常值^[14]。3月份 HCO_3^- 浓度显著升高, 同期 Ca^{2+} 浓度下降, 说明 HCO_3^- 浓度不仅与矿物溶解相关, 也受其它因素影响。

震后4处景观地表水丰水期(10月份) pCO_2 远低于平/枯水期(12月份), 如果地震造成深源 CO_2 的释放, 地表水 pCO_2 、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 变化同步^[15~16], 但实际地表水 pCO_2 变化异于 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的变化, 说明水体 CO_2 汇入量受深源 CO_2 影响小, 主要与土壤源 CO_2 ^[6] 有关。降雨形成的低浓度 CO_2 坡面流汇入地表水, 降水的稀释作用显著; 枯水期地表水水源补给转为土壤渗流, 而此类给水中 CO_2 浓度较高。刘再华等发现水体 pCO_2 峰值出现晚于洪期, 与本文地表水 pCO_2 的变化趋势较为接近^[16]。岩溶区的水生生物是碳汇的重要“生物泵”^[17], 3月份 pCO_2 较12月份下降, 期间气温升高(图4), 水体DO值增加(表

1), 水生生物的代谢作用逐步恢复, 无机碳消耗量增加, 碳酸平衡改变, pH随之上升。溶解性 CO_2 在光合作用和物化条件的综合影响下按照 $CO_2\leftrightarrow HCO_3^-$ \leftrightarrow 钙华/有机物^[17]的顺序向右转化, 造成水体 pCO_2 的下降, HCO_3^- 浓度的升高。

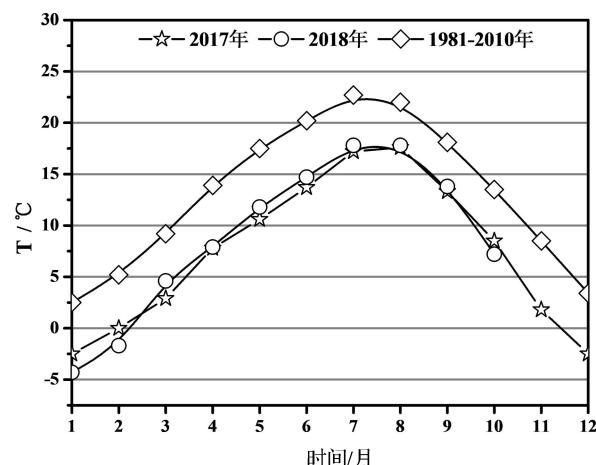


图4 九寨沟地震前后气温数据

Fig. 4 Temperature data of Jiuzhaigou before and after earthquake

综上所述, 震后地表水水化学主要受 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度影响。矿物溶解/沉淀和碳酸盐平衡是调控地表水 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度的两个重要条件^[18~20], 地震和降雨加速了矿物溶解; 土壤源 CO_2 、光合作用及环境因素综合作用下, 富 HCO_3^- 型的岩溶水达到pH和碳酸盐组分的稳定。

2.3 九寨沟核心钙华景观震后实景

九寨沟地震及衍生灾害对景区造成严重影响, 其中日则沟和则查洼沟为地震灾害重灾区。本次地震引发的衍生灾害如滑坡, 崩塌和泥石流等, 远甚于地震灾害, 日则沟镜海及以上景点的基础设施严重损坏^[3]。震后地表水受泥石流、滑坡等携带的泥沙、落石和断木影响, 湖水浑浊, 沿径流方向形成淤塞(图5①)。火花海景观受损严重, 钙华坝体垮塌长度约50 m, 以往湖泊美景(图6c)已成涓涓溪流(图6d)。诺日朗瀑布坝顶开裂, 表层断裂脱落, 落石最大尺寸约为 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, 坎体西部上部区出现管涌(图5②和③)。地震对地表钙华堆积体造成不同程度的破坏, 典型震损如火花海堤坝垮塌、诺日朗坎体表层开裂及脱落。

2.4 震后九寨沟景观受损评估及建议

钙华的沉积与方解石过饱和度SIC相关。前人

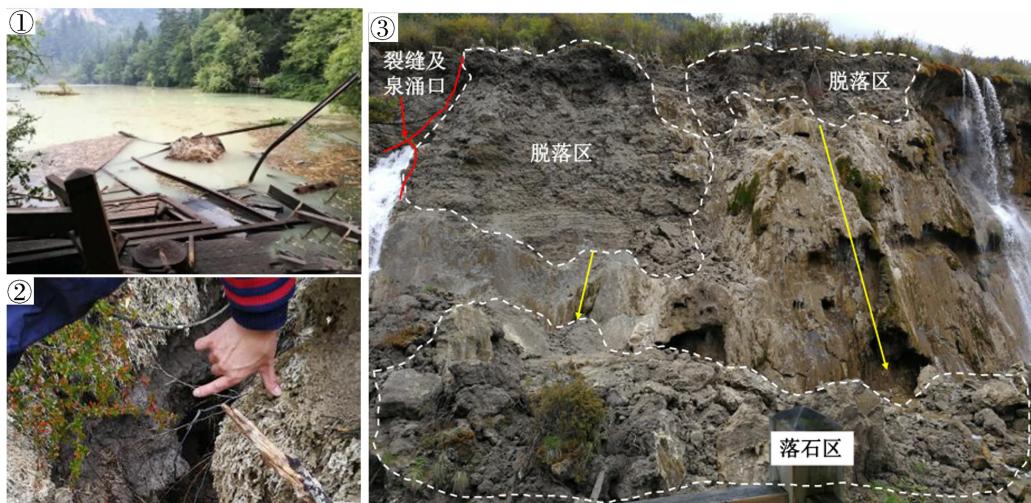


图 5 震后九寨沟景点实景(①五花海;②火花海;③诺日朗)
 Fig. 5 Pictures of core landscapes in Jiuzhaigou valley after earthquake
 (① Colorful lake, ② Sparking lake, ③ Nuorilang waterfull)



图 6 火花海地震前后实景对比(a,b 是航拍结果^[24]; c,d 是现场照片)
 Fig. 6 Pictures of dam and lake in Spaking Lake before and after earthquake
 (a, b were aerial photos^[24]. c, d were live photos)

研究^[13]中,4 处核心景观地表水的 SIC<0, 处于欠饱和态。震后地表水 SIC 值通过 phreeqc 软件计算, 结果见表 1 和图 7。图 7 中除火花海外其余 3 处核心景观不同季节的 SIC 值均大于 0。每处景观在冬季 (2017 年 12 月) 的 SIC 值最低, 最低值仅为 -0.1 (火花海)。震后 4 处核心景观的地表径流的 SIC 值>0,

为钙华景观恢复提供了物质基础。值得注意的是, 火花海冬季径流 SIC 值<0, 钙华存在溶蚀发育的可能性。

此次地震中, 火花海受损情况最为严重。坝体溃决部分约 $50 \times 20 \times 12 \text{ m}^3$ (长×宽×高), $4.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的湖水倾泻到下游水域^[3], 湖底钙华礁、钙华砂和钙

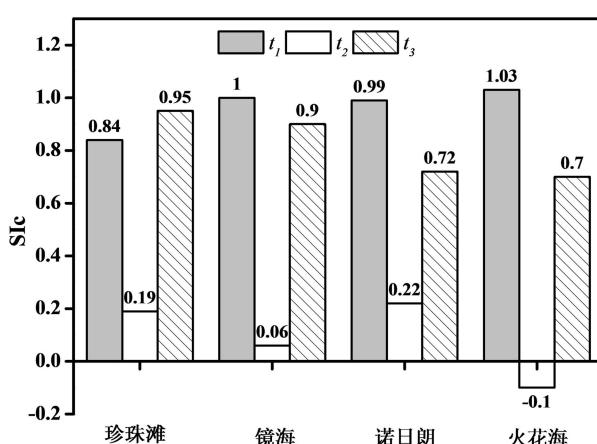


图7 九寨沟核心景区地表径流中SIC值变化

Fig. 7 Changes of SIC values in surface runoff of Jiuzhaigou core scenic spots

华泥出露水面(图6b,d)。地震后,火花海不仅失去了原有价值,而且还存在持续受损的现象。坝体溃决后火花海由湖变河,原先浸没在湖水中的坝体露出真容,在无法得到岩溶水的物质补充时,坝体上部由于风化而砂化、脱落^[21-22],不仅难保景观原貌,而且威胁坝顶的生物环境。四川省人民政府2017年11月印发的九寨沟地震灾后恢复重建总体规划^[23]提出,对遗产景点的保护和恢复以自然为主,在必要时采取人工技术干预,因此,对火花海的恢复性探索研究是短期内亟需验证和开展的科研活动。

3 结 论

(1)震后地表水水化学主要受Ca²⁺和HCO₃⁻浓度影响。地震和降雨加速了矿物溶解导致Ca²⁺和HCO₃⁻浓度高于往年;受钙华沉积的影响,Ca²⁺和HCO₃⁻浓度随海拔降低而降低;受降水量减少的影响,Ca²⁺和HCO₃⁻浓度随时间下降;土壤源CO₂、光合作用及环境因素联合调控下,水体CO₂溶解量增加,HCO₃⁻浓度上升;

(2)钙华景观的维系与地表径流的涵养密切相关,震后4处景观地表水SIC值>0,保障了钙华景观恢复所需的物质基础,如人工及时干预,受损景观可以自然恢复;

(3)地震对九寨沟部分核心景观造成破坏,典型震损特征为钙华坝体开裂及崩塌,火花海受损最严重,应及时科学实施人工干预钙华修复技术。

参考文献

- [1] 四川省人民政府.“8.8”九寨沟地震致25死525伤人员搜救工作基本结束[EB/OL]. <http://www.sc.gov.cn/10462/12771/2017/8/14/10430678.shtml>, 2017.
- [2] International Union for Conservation of Nature. 2017 Conservation Outlook of world heritage [EB/OL]. <https://www.world-heritageoutlook.iucn.org/explore-sites/wdpaid/67732>, 2017.
- [3] ZHAO B, WANG Y, LUO Y, et al. Landslides and dam damage resulting from the Jiuzhaigou earthquake (8 August 2017), Sichuan, China[J]. Royal Society Open Science, 2018, 5(3): 171418.
- [4] 张瑞英,何政伟.四川九寨沟景观形成演化趋势分析及评价[J].中国地质灾害与防治学报,2007(1):54-58.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 杨俊义.九寨沟黄龙地区景观钙华的特征与成因探讨[D].成都:成都理工大学,2004.
- [9] Liu L. Factors Affecting Tufa Degradation in Jiuzhaigou National Nature Reserve, Sichuan, China[J]. Water, 2017, 9(9): 702.
- [10] Florsheim J L, Ustin S L, Tang Y, et al. Basin-scale and travertine dam-scale controls on fluvial travertine, Jiuzhaigou, southwestern China[J]. Geomorphology, 2013:180-181.
- [11] XueQiao, Jie Du, Stefano Lugli, et al. Are climate warming and enhanced atmospheric deposition of sulfur and nitrogen threatening tufa landscapes in Jiuzhaigou National Nature Reserve, Sichuan, China? [J]. Science of the Total Environment, 2016, 562:724-731.
- [12] 甘建军.九寨沟核心景区水循环系统研究[D].成都:西南交通大学,2007.
- [13] 苏君博.九寨沟水文地球化学特征及对景观演化影响研究[D].成都:成都理工大学,2005.
- [14] 刘再华,王海静,刘彦,等.5·12汶川地震对黄龙世界遗产地源泉水文地球化学的影响:高分辨率和高精度的水文地球化学监测证据[J].中国岩溶,2011,30(3):248-252.
- [15] Shi Zejin, Shi Zeming, Yin Guan, et al. Travertine deposits, deep thermal metamorphism and tectonic activity in the Longmenshan tectonic region, southwestern China[J]. Tectonophysics, 2014, 633:156-163.
- [16] 刘再华,何师意,袁道先,等.土壤中的CO₂及其对岩溶作用的驱动[J].水文地质工程地质,1998(4):44-47.
- [17] 陈崇瑛,刘再华.喀斯特地表水生生态系统生物碳泵的碳汇和水环境改善效应[J].科学通报,2017(30):38-48.
- [18] Capezzuoli E, Gandin A, Pedley M. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art[J]. Sedimentology, 2014, 61(1):1-21.
- [19] Allan Pentecost. The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor[J]. Quaternary Science Reviews, 1995, 14

- (10):1005-1028.
- [20] Gradzinski M. Factors controlling growth of modern tufa: results of a field experiment[J]. Geological Society London Special Publications, 2010, 336(1):143-191.
- [21] Grootjans A, Bulte M, Wolejko L, et al. Prospects of damaged calcareous spring systems in temperate Europe: Can we restore travertine-marl deposition? [J]. Folia Geobotanica, 2015, 50 (1):1-11.
- [22] Cantonati M, Segadelli S, Ogata K, et al. A global review on ambient Limestone-Precipitating Springs (LPS): Hydrogeological setting, ecology, and conservation[J]. Science of the Total Environment, 2016, 568:624-637.
- [23] 四川省人民政府. 关于印发“8·8”九寨沟地震灾后恢复重建总体规划的通知 [EB/OL]. <http://zewj.sc.gov.cn/xxgk/NewT.aspx?i=20171107204220-231536-00-000>, 2017.
- [24] 四川省测绘地理信息局. 九寨沟 7.0 级地震地理信息发布平台 [EB/OL]. <http://www.scgis.net/scgcyj/html/globe.html>, 2017.

Effect of Ms 7.0 earthquake on travertine landscapes and hydrochemistry of Jiuzhaigou core scenic spots

DANG Zheng¹, REN Jinhai², AN Chao³, DAI Qunwei¹, DONG Faqin¹,
DENG Yuanming¹, YANG Qingxia², ZHUO Manta²

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;

2. Jiuzhaigou National Nature Reserve Administration, Aba, Sichuan 624000, China;

3. The Administration Center of Urban-Rural Planning, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Beijing 100835, China)

Abstract There was an earthquake with magnitude of 7.0 occurred in 8th August, 2017. The Jiuzhaigou scenic spot is located in the vicinity of epicenter area which was seriously damaged. After the earthquake, the research group carried out surveys of the scenic spot and collected samples in the surface water of Pearl Shoal, Mirror Lake, Nuorilang Waterfull and Sparking Lake. Through the analysis of the spatial-temporal distribution characteristics and correlation of main ions in the surface water, the damage of the scenic spot landscape and the change of hydrochemical characteristics were preliminarily assessed. Results demonstrated that this earthquake caused the damage including cracking and collapse to some core landscapes in Jiuzhaigou valley, among which the Sparking Lake was the worst damaged. Hydrochemistry of surface water after earthquakes was related to the change of Ca^{2+} and HCO_3^- concentrations, both ions were higher than historical data with increasing mineral dissolution caused by earthquake and precipitation. The concentration of Ca^{2+} and HCO_3^- decreased with decreasing altitude due to the influence of travertine depositions. The concentration of Ca^{2+} decreased with time which were related to the precipitation decreases, and the concentration of HCO_3^- decreased first and then increased with time, it was deduced that CO_2 dissolution in water has rose. After the earthquake, the SIc value in surface runoff of 4 landscapes was more than 0, which was easy to travertine deposition. The hydrochemical results show that the earthquake increased the concentration of Ca^{2+} and HCO_3^- in the water, if the artificial intervention is implemented in time, the damaged landscape could be restored.

Key words Jiuzhaigou valley, travertine, landscape evolution, earthquake, hydrochemistry

(编辑 张玲)