

陈云,董发勤,韩颖,等.九寨沟景区“8·8”地震前后及钙华生境保育修复后植被和水系的动态变化[J].中国岩溶,2021,40(1): 68-76.

DOI:10.11932/karst20210107

九寨沟景区“8·8”地震前后及钙华生境保育修复后植被和水系的动态变化

陈云¹,董发勤²,韩颖¹,王卫红^{2,3},代群威²,赵学钦^{2,4},王富东^{2,4}

(1. 西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 3. 国家遥感中心绵阳科技城分部, 四川 绵阳 621010; 4. 西南科技大学国土资源利用研究所, 四川 绵阳 621010)

摘要:利用 Landsat-8、高分1号、2号等卫星影像,评估九寨沟核心钙华景点及整个景区在“8·8”地震前、后和钙华生境保育修复后植被覆盖度、土壤湿度、森林面积和水系面积的动态变化。结果显示:人工为辅、自然为主的钙华保育修复后钙华核心景点和整个景区的高植被、中低植被、低植被覆盖面积均有了显著增加,裸地生态类型仍存在,但呈逐年减少趋势,中植被覆盖类型较震后和震前减少;保育后第二年,湿润和很湿润面积、总森林面积和水系面积比震前和震后都有大幅增加,高植被覆盖度面积、森林面积和水系面积间存在正相关关系,可能是由于人工干预下原生境快速恢复,提高了植被覆盖面积,植被的蒸散和截流作用进一步影响了流域的水文过程,促进了水系面积的恢复。

关键词:九寨沟;“8·8”地震;植被恢复;钙华保育;水系恢复

中图分类号:X171.4;P642.25 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2021)01-0068-09 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

原生境的丧失是物种灭绝的最重要原因^[1],原生境破坏后的快速恢复是保护该生境物种丰富度和种群数量的有效手段。钙华作为九寨沟的典型景观,其所形成的独特生境为属地植物提供了特殊的生长和繁殖场所,而另一方面,植物的水源涵养功能也为钙华的发育提供了必要条件。九寨沟“8·8”地震对核心钙华景点的原生境造成了大范围的破坏,导致许多植物震损。徐桂涛^[2]在结合现场调查数据和相关林保资料的基础上,统计出九寨沟景区震损情况:乔木林 1 095.46 hm²,地块 132 个;灌木林地

15.466 hm²,地块 4 个;宜林地 2.466 hm²,地块 1 个,共计损毁林地面积达 13 268.29 hm²,地块 137 个。损毁树种主要包括云杉(*Picea asperata* Mast.)、冷杉(*Abies fabri* Craib)、桦木(*Betula*)、杨树(*Populus*)等。本课题组在“8·8”地震后,迅速开展了核心钙华景点的原生境保育恢复工作,整个保育工作秉持“尊重自然,适度干预”的基本原则,模拟天然钙华形成过程,采用特殊钙华修复剂进行断坝修筑、边坡修护和裂隙修补等保育性工作,以尽快实现蓄水后的自然保育修复及原生境恢复。

植被覆盖度(Vegetation Coverage, VC)是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总

基金项目:国家自然科学基金项目(41672206、41973053)

第一作者简介:陈云(1996—),男,硕士研究生,主要从事植物逆境生物学及土壤修复研究。E-mail:3547605195@qq.com。

通信作者:董发勤(1963—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为环境矿物学、固体废弃物处理及资源化利用。E-mail:fqdong@swust.edu.cn。

收稿日期:2020-09-20

面积的百分比。植被的覆盖度可分为高、中、中低、低、裸地5种覆盖类型。覆盖度的检测主要有地表实测法和遥感监测法。植被覆盖度是衡量地表植被状况的一个重要指标,是描述生态系统的重要基础数据,也是区域生态系统环境变化的重要指示,对水文、生态、区域变化等都具有重要意义^[3]。近年来,遥感技术的发展和大量不同类型卫星多时段、多波段的对地观测,为国内外学者在植被覆盖度遥感监测方面创造了有利条件,并发展了大量通过大范围遥感监测提取植被覆盖度的方法。常用的遥感监测方法有像元分解模型法、回归模型法以及植被指数法等^[4-6]。

植被的震损,导致核心钙华景点区水土大量流失。徐桂涛^[2]研究发现,在九寨沟地区如果林地面积减少1 hm²,水源涵养能力则会随之减少115 m³。由于大量水土流失会造成森林、草地等生态系统土层变薄、土质恶化、土壤生产力下降以及物种多样性减少等危害^[7],因此,生境修复后土壤涵养水分情况,对于综合评价生境恢复的意义重大。研究发现,土壤湿度尤其大面积的土壤湿度监测,可以利用遥感手段有效开展土壤水分反演。例如,温度植被干旱指数(Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)就是一种基于光学与热红外遥感通道数据进行植被覆盖区域表层土壤水分反演的方法。利用遥感手段监测土壤湿度有利于分析大尺度区域的土壤干湿状况。基于归一化植被指数(Normalized Vegetation Index, NDVI)计算的温度植被干旱指数(TVDI)与地面实测土壤湿度数据具有一定的负相关关系,即TVDI值越高,土壤湿度值越低^[8-10],因此用TVDI反演揭示核心钙华景点及整个景区土壤水分恢复效果是行之有效的。

水是九寨沟景观的灵魂,水对九寨沟钙华景观有着非常重要的作用。钙华具有“与岩溶水共存亡”的水文地质特性,景观水量恢复,钙华则得以保护。景观水量退化,失去饱和岩溶水滋养的钙华会变黑、剥落、砂化、垮塌^[9]。核心钙华景点修复后,景区水系面积的变化,关系着钙华景观的变化和发展,也是核心钙华景点原生境恢复的一个重要指标。

鉴于此,此次利用遥感技术,对九寨沟“8·8”地震前(2016年)、后(2017年)、钙华保育第一年(2018年)以及钙华保育第二年(2019年)的植被覆盖度、植被干旱指数、森林面积以及水系面积变化进行了研究,并在此基础上开展了钙华保育修复背景下,核心

钙华景点原生境恢复情况的综合评估,以明确钙华生境保育修复对九寨沟景区植被和水系动态变化的影响,以期九寨沟景区未来的保育工作提供参考。

1 研究区概况

研究区地理坐标为东经103°46′~104°04′,北纬32°54′~33°19′,海拔在4 764~1 996 m。核心钙华景点诺日朗瀑布位于景区中部,日则沟和则查洼沟交汇处,海拔为2 365 m,高24.5 m,瀑宽310 m,是九寨沟大型钙华瀑布之一。研究区属高原湿润气候,春季平均气温在9~18℃,夏季平均气温在19~22℃,秋季平均气温在7~18℃,冬季气温多在0℃左右;中心地带的诺日朗,年均温达7.3℃;区内降雨少(年降雨量不足600 mm)而集中,7~8月是典型的雨季。

研究区森林覆盖率超过80%,植被垂直分布情况为:(1)海拔2 000 m以下为耐旱灌丛带,沟口地带主要组成羊蹄甲(*Bauhinia purpurea* Linn.)、扁桃(*Amygdalus communis* L.)、香茅(*Cymbopogon citratus*)与蒿类(*Artemisia*)等喜阳耐旱种类,局部地块分布有油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.),以及两种粗榧科的针叶树[篦子三尖杉(*Cephalotaxus oliveri* Mast.)和中国粗榧(*Cephalotaxus sinensis*)];(2)海拔2 000~2 500 m为松栎林,为油松、辽东栎(*Quercus wutaishansea* Mary)混交林,混生有珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia* A. Br.)、刺楸(*Kalopanax septemlobus* Koidz.)、柳(*Salix*)和悬钩子(*Rubus corchorifolius* L. f.)等;(3)海拔2 500~2 800 m为针阔叶混交林带,主要树种为油松、华山松(*Pinus armandii* Franch.)、紫果云杉(*Picea purpurea* Mast.)、粗枝云杉(*Picea asperata* Mast.)、五角枫(*Acer mono* Maxim.)、桦(*Betula*)、槭(*Acer*)等;(4)海拔2 800~3 500 m为寒温带针叶林带,主要树种为岷江冷杉(*Abies faxoniana* Rehd.)、粗枝云杉、鳞皮云杉(*Picea retroflexa* Mast.)、紫果云杉、红桦(*Betula albosinensis* Burk.)等,林下灌木以紫箭竹(*Fargesia vicina* Yi.)占优势;(5)海拔3 500 m以上为高山灌丛草甸带,由于坡陡土瘠,植被发育不良;(6)谷底、漫水滩上分布着以南坪青杨(*Populus cathayana* Rehd.)和柳类为主的水生灌丛,浅水湖区为芦苇(*Phragmites communis* Trin. ex Steud.)类挺水植物^[11]。

2 研究方法

采用2016~2019年9月LandSat-8、高分1号、2号

等卫星影像,将高分辨率影像和多光谱数据融合,生成研究区植被覆盖度、干旱指数等专题图。其中植被覆盖度与干旱指数分年度制作,并统计了两类指数在九寨沟景区内和核心钙华景点(树正沟、日则沟)的分布面积。为提高遥感解译的可靠程度,确保遥感解译的质量,开展了野外实地查验工作,查证结果表明,此方法符合度满足要求。

3 结果与分析

3.1 震前、震后及保育后植被覆盖面积变化特征

地震对九寨沟核心钙华景点及整个景区的植被均造成了明显破坏,分析核心钙华景点震后(2017

年)植被破坏情况统计,结果(表1,图1)表明,震后的高植被覆盖度的面积比震前(2016年)明显降低,下降了64.72%,表明地震对核心钙华景点的植被破坏较大;对比之下,中植被所占面积不降反升,相比于震前,其震后覆盖度增加了240.88%,这是由于高植被覆盖区域被破坏后,转化成了中等植被覆盖区域的结果。此外,与震前相比,震后中低植被、低植被及裸地面积几乎无任何变化,面积均近似于0,说明地震对核心景点的这3个覆盖型未造成任何干扰,且地震对高植被覆盖区域也未造成极其严重的破坏,只是将震前的高植被覆盖度区域变成了中等植被覆盖度区域,并未将其进一步恶化转变为中低、低及裸露的植被覆盖度区域。

表1 震前、震后及钙华保育后九寨沟核心钙华景点及整个景区不同植被覆盖度面积统计(单位:km²)

Table 1 Statistics of different vegetation coverage areas at Jiuzhaigou valley's core travertine scenic spots and the entire scenic area before and after the earthquake and after travertine conservation(unit:km²)

植被覆盖 度级别	震前(2016年)		震后(2017年)		保育后第一年(2018年)		保育后第二年(2019年)	
	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区
I	73.078 2	307.165 5	25.779 6	121.609 8	91.093 5	469.856 7	90.884 7	438.998 4
II	19.635 3	343.125 9	66.933 9	528.87 6	1.621 8	179.349 3	1.828 8	206.955 0
III	0.000 0	0.558 0	0.000 9	0.538 2	0.001 8	1.479 6	0.000 0	5.004 0
IV	0.000 9	0.216 9	0.000 0	0.080 1	0.000 0	0.417 6	0.000 0	0.159 3
V	0.000 0	0.023 4	0.000 0	0.013 5	0.000 0	0.006 3	0.000 0	0.001 8

注:I级(高植被覆盖度): $VC>0.8$;II级(中植被覆盖度): $0.6<VC\leq 0.8$;III级(中低植被覆盖度): $0.3<VC\leq 0.6$;IV级(低植被覆盖度): $0.05<VC\leq 0.3$;V级(裸地): $VC\leq 0.05$ 。

与核心钙华景点相比,整个九寨沟景区除了低植被覆盖度震后明显下降外,其他各覆盖型植被的变化规律与核心钙华景点类似。钙华保育后第一年和第二年(2019年),无论是核心钙华景点还是整个景区,各植被覆盖型变化趋势基本一致,与震后相比较,高植被覆盖度的面积明显提升,甚至高出震前。其中,修复后第一年和第二年核心钙华景点的高植被覆盖类型所占面积比震后分别增加了253.35%和252.55%,比震前分别增加了24.65%和17.81%。修复后第一年和第二年整个景区的高植被覆盖类型所占面积比震后分别增加了286.36%和260.99%,比震前分别增加了52.97%和42.92%。与保育修复后高植被覆盖类型所占面积大幅增加相比,中植被覆盖类型的面积则急剧下降,修复后第一年和第二年核心钙华景点的中植被覆盖类型所占面积比震后分别降低了97.58%和97.27%,比震前分别降低了

91.74%和90.69%。修复后第一年和第二年整个景区的中植被覆盖类型所占面积比震后分别降低了66.09%和60.87%,比震前分别降低了47.73%和39.69%。修复后中植被覆盖度面积的减少,高植被覆盖度面积的增加,一方面可能与人为干预的震后修复有关,如2017年底九寨沟管理局启动了损毁植被清场和补种工程,及时补种了一批本土的乔木、灌木、苔藓等;另一方面也与人为干预下的自然生境快速修复有关,由于生境的修复,植被得以快速定植、生长和繁殖。现场植物资源调查也发现,经过人工恢复为辅、自然恢复为主的钙华保育,景点垮塌区的生境已基本恢复,并演替出了强固氮和耐贫瘠的一些草本和灌木先锋建群种,但物种多样性较低。钙华保育后垮塌区已恢复的草本植被主要有早熟禾(*Poa annua* L.)、巨穗剪股颖(*Agrostis gigantea* Roth.)、疏花剪股颖(*Agrostis perlaxa* Pilge.)、狗尾草

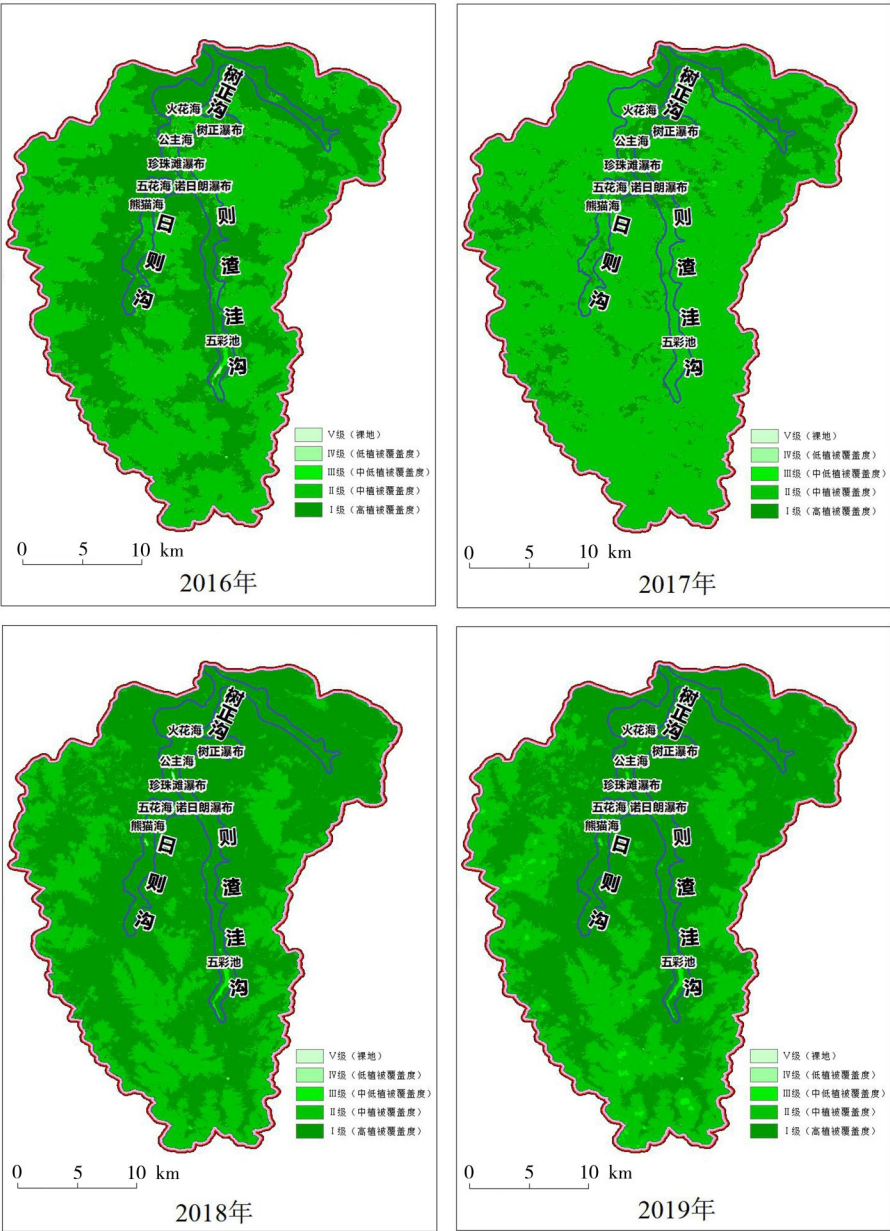


图1 九寨沟景区2016–2019年植被覆盖度空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of vegetation coverage in Jiuzhaigou valley scenic area from 2016 to 2019

(*Setaria viridis* Beauv.)等禾本科植物,西南野碗豆(*Vicia nummularia* Hand-Mazz.)、黄花草木犀(*Melilotus officinalis*)、天蓝苜蓿(*Medicago lupulina* L.)、牛枝子(*Lespedeza potaninii* Vass.)、车轴草(*Trifolium* Linn.)等豆科植物,美叶蒿(*Artemisia calophylla*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand. -Mazz.)、菊状千里光(*Senecio laetatus*)、百包蒿(*Artemisia lactiflora* Wall. ex DC.)、灰苞蒿(*Artemisia roxburghiana*)、小蓬草(*Conyza canadensis* Cronq.)等菊科植物,以及大车前(*Plantago major* L.)、平车前(*Plantago depressa* Willd.)等车前科植

物,而灌木植被主要有沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn)、柳和悬钩子。另外,钙华保育后第一年和第二年,整个景区的裸地面积呈逐年减少的趋势,比震前和震后都低,同时中低植被覆盖类型和低植被覆盖类型面积明显较震后甚至震前增加,说明钙华保育促进了裸地向低植被和中低植被覆盖类型的转变。

3.2 震前、震后及保育后核心钙华景点及整个景区土壤湿度变化特征

利用TVDI反演方法,分析核心钙华景点及整个景区土壤水分变化的结果(表2,图2)表明,地震对九

表2 震前、震后及钙华保育后九寨沟核心钙华景点及整个景区不同干旱级别土壤面积统计(单位:km²)

Table 2 Statistics of soil area with different drought levels at Jiuzhaigou valley core travertine scenic spots and the entire scenic spot before and after the earthquake and after travertine conservation(unit:km²)

植被覆盖 度级别	震前(2016年)		震后(2017年)		保育后第一年(2018年)		保育后第二年(2019年)	
	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区	核心钙华景点	整个景区
I	1.788 3	35.780 4	0.552 6	4.887 9	73.078 2	61.751 7	1.989 0	39.617 1
II	36.123 3	226.648 8	22.825 8	137.492 2	18.406 8	277.261 2	36.477 9	240.530 4
III	44.873 1	344.066 4	69.188 4	506.324 7	0.000 0	268.031 7	51.422 4	288.401 4
IV	8.748 0	39.843 9	0.145 8	2.346 3	0.000 9	35.406 0	2.822 4	55.959 3
V	0.000 0	4.008 6	0.000 0	0.045 0	0.000 0	6.116 4	0.000 9	22.034 7

注: I 级(干旱):TVDI>0.75; II 级(较干旱):0.5≤TVDI≤0.75; III 级(不干旱):0.25≤TVDI<0.5; IV 级(湿润):0.1≤TVDI<0.25; V 级(很湿润):TVDI<0.1。

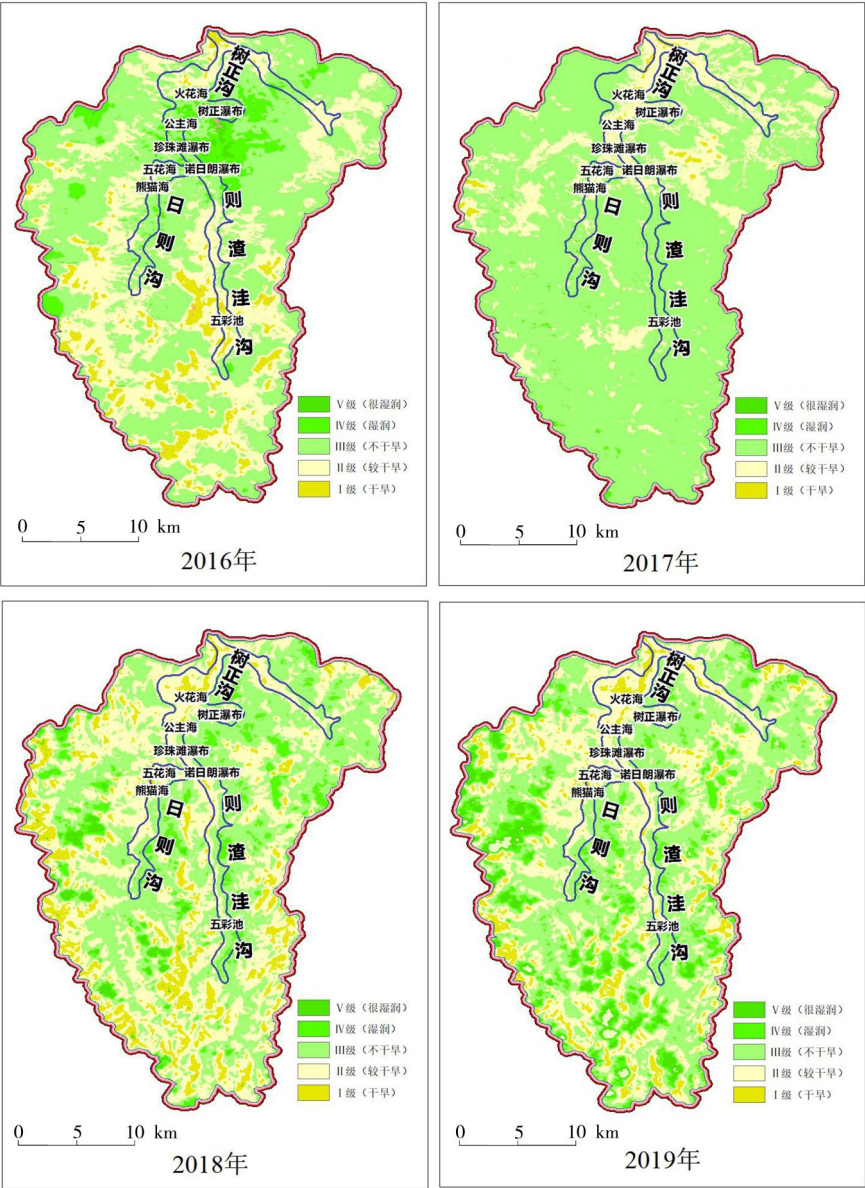


图2 九寨沟景区2016–2019年植被干旱指数空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of temperature vegetation dryness index (TVDI) in Jiuzhaigou valley scenic area from 2016 to 2019

寨沟核心钙华景点及整个景区的土壤干湿状况均造成了明显影响,与震前相比较,震后核心钙华景点及整个景区的干旱、较干旱及湿润面积均明显下降,不干旱面积明显增加。与震前相比较,震后核心景点的干旱、较干旱及湿润面积分别下降69.10%,36.81%和98.33%,而不干旱面积则增加了54.19%。震后整个景区的干旱、较干旱、湿润、很湿润面积分别下降86.34%,39.34%,94.11%和98.88%,不干旱面积增加了47.16%。这可能是由于地震使一些坝体垮塌,以湖泊为代表的湿润和很湿润面积明显下降,流出的水涌入周边植被地带,从而导致干旱、较干旱面积明显降低,而不干旱面积明显增加。

钙华保育后第一年,与震后和震前相比,核心钙华景点的干旱面积明显增加,较干旱、不干旱、湿润面积明显减少,很湿润面积没有变化。钙华保育后第一年,与震后和震前相比,核心钙华景点的干旱面积分别增加了72.525 6 km²(13 124.43%)和71.289 9 km²(3 986.46%),较干旱面积分别减少了4.419 0 km²(19.36%)和17.716 5 km²(49.04%),不干旱面积分别减少了69.188 4 km²(100%)和44.873 1 km²(100%),湿润面积分别减少了0.144 9 km²(99.38%)和8.747 1 km²(99.99%),很湿润面积未恢复,仍旧为0.000 0 km²。钙华保育后第一年,与震后和震前相比,整个景区的干旱面积分别增加了56.863 8 km²(1 163.36%)和25.971 3 km²(72.59%),较干旱面积分别增加了139.769 1 km²(101.66%)和50.612 4 km²(22.33%),不干旱面积分别减少了238.293 0 km²(47.06%)和76.034 7 km²(22.10%),湿润面积分别增加了33.059 7 km²(1 409.01%)和-4.437 9 km²(-3 436.34%),很湿润面积分别增加了6.071 4 km²(13 492%)和2.107 8 km²(52.58%)。这可能与地震对植被和坝体的破坏有关。坝体垮塌,水外溢,虽暂时提升了土壤水分,但是随着水的地表蒸发和重力下流,加之短期内植被只是部分恢复,其根系还不发达,涵养水分的能力还较弱,因此修复后第一年,土壤仍较干旱。

相比之下,钙华保育后第二年,核心钙华景点和整个景区的干旱、较干旱、不干旱面积与震前基本持平,而湿润和很湿润面积与震前相比大幅增加,说明钙华保育工作加快了整个景区的土壤水资源分布的良性循环。钙华保育后第二年,与震后和震前相比,核心钙华景点的干旱面积分别增加了1.436 4 km²(259.93%)和0.200 7 km²(11.22%),较干旱面积分

别增加了13.652 1 km²(59.81%)和0.354 6 km²(0.98%),不干旱面积分别增加了-17.766 0 km²(-25.68%)和6.549 3 km²(14.60%),湿润面积分别增加了2.676 6 km²(1 835.80%)和-5.925 6 km²(-67.74%),很湿润面积略微增加,为0.000 9 km²。

钙华保育后第二年,与震后和震前相比,整个景区的干旱面积分别增加了34.729 2 km²(710.51%)和3.836 7 km²(10.72%),较干旱面积分别增加了103.038 2 km²(74.94%)和13.881 6 km²(6.12%),不干旱面积分别减少了217.923 3 km²(43.04%)和55.665 0 km²(16.18%),湿润面积分别增加了53.613 0 km²(2 285%)和16.115 4 km²(40.45%),很湿润面积分别增加了21.989 7 km²(48 866%)和18.026 1 km²(449.69%)。

3.3 震前、震后及保育后核心钙华景点及整个景区森林和水系面积变化

基于NDVI和归一化水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)反演方法,分析震前、震后及保育后核心钙华景点及整个景区森林和水系面积的变化情况,结果(表3,图3)表明,地震明显降低了九寨沟景区森林面积和水系面积,其中森林面积较震前减少了63.61%,水系面积较震前减少了22.69%。钙华保育明显促进了森林和水系面积的提升,其中钙华保育后第一年,森林面积较震前和震后分别增加了61.62%和344.12%,水系面积较震前和震后分别增加了139.68%和210.03%。保育后第二年,森林面积较震前和震后分别增加了60.50%和341.04%,水系面积较震前和震后分别增加了148.46%和221.39%。森林面积和水系面积存在一定的正相关关系,即九寨沟景区的森林面积越大,则水系面积也越大。

表3 震前、震后及钙华保育后九寨沟核心钙华景点及整个景区森林和水系面积统计(单位:km²)

Table 3 Statistics on the area of forest and river system in Jiuzhaigou valley's core travertine scenic spot before and after the earthquake and after travertine conservation(unit:km²)

面积类型	震前 (2016年)	震后 (2017年)	保育后第 一年 (2018年)	保育后第 二年 (2019年)
森林	305.276 4	111.090 6	493.375 5	489.953 7
水系	0.789 3	0.610 2	1.891 8	1.961 1

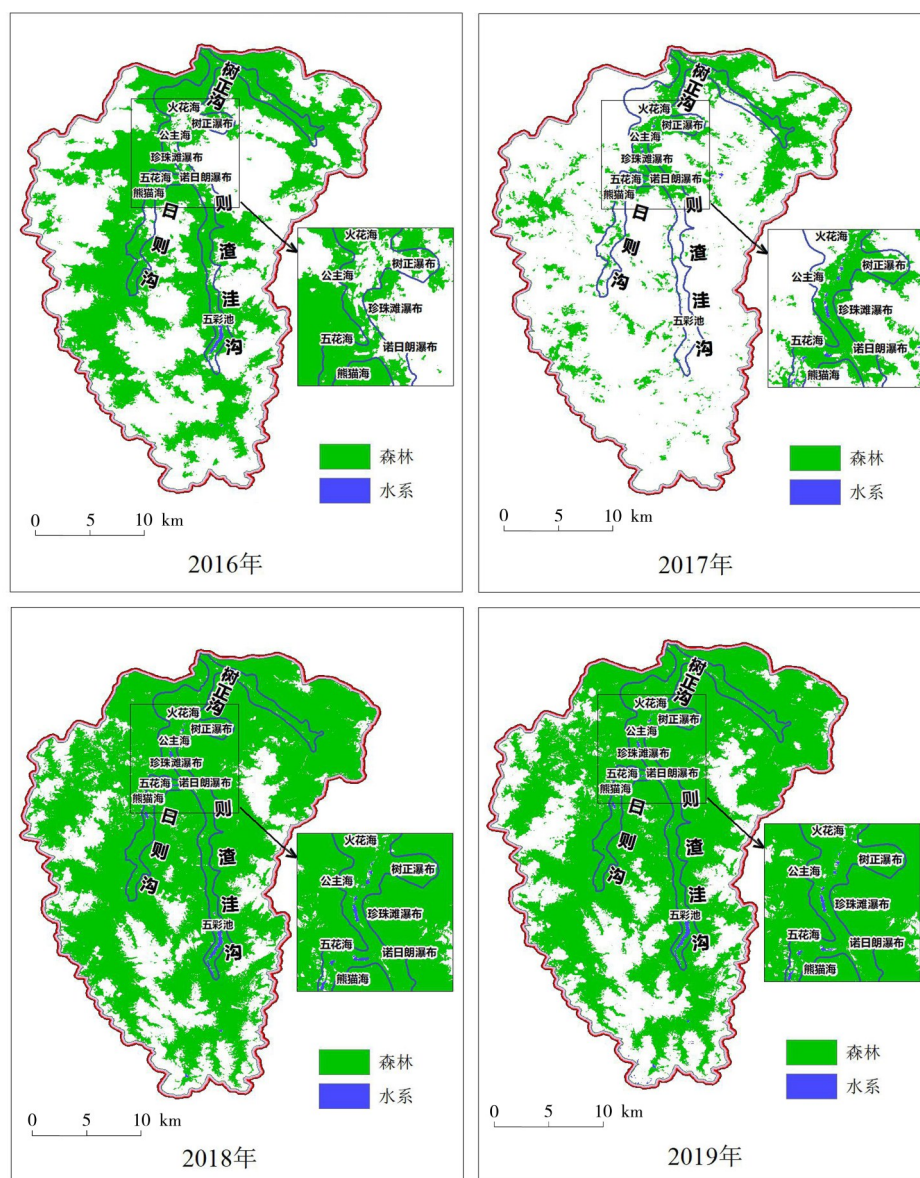


图3 九寨沟景区2016–2019年森林和水系边界及空间分布图

Fig. 3 Boundary and spatial distribution of forest and drainages in Jiuzhaigou valley scenic area from 2016 to 2019

4 讨论

4.1 震前、震后及保育后植被覆盖度、森林和水系面积的相关性及生态学意义

植被是森林、林下植物、动物、微生物及其与环境的综合体,是九寨沟景区最大的生态系统之一。它不仅是九寨沟景区可再生自然资源及陆地生态系统的主体,也是生物多样性的基础。植被作为九寨沟的储水库、碳储库、能源库,在景区气候变化、地球化学循环和涵养水源方面发挥着非常重要的作用。许多研究发现植被覆盖度与水文循环关系非常密切。植被通过地蒸散发、大气降水、林冠和枯枝落叶

层的截留以及特殊的森林土壤结构可以对降水进行再分配,使植被覆盖区的降水量、降水强度和降水历时发生很大变化,进而影响流域的水文过程^[10,12]。国外学者发现,在相同的气候条件下,有森林等植被流域较无森林等植被流域的径流量明显增加,通常植被覆盖率每增加1%,年平均径流量增加1.1 mm^[12-13]。国内学者^[14]通过对长江流域大面积森林流域的分析,认为森林植被覆盖率高的流域比森林植被覆盖率低的流域、有森林植被比无森林植被流域的河川年径流量均有所增加,其增加幅度在21.8%~32.8%。曾学梅^[15]对云南石林岩溶区不同植被类型的生态水文效应开展研究,发现林冠截留是一个连续、动态、

复杂的过程,受降雨量、降雨历时、林冠层郁闭度、林分结构、林冠湿度及小气候等因素影响,不同林分不同降雨过程,林冠截留能力不相同。本研究发现,高植被覆盖度面积、森林植被面积和水系面积呈正相关关系,即高植被覆盖度面积和森林面积越大,水系面积越大,说明植被尤其是森林面积的恢复有助于景区水系的恢复。震后高植被覆盖度、森林和水系面积的恢复和提升,不仅对于整个九寨沟的生态系统维系以及持续良性演替至关重要,对于钙华景观的保护也意义重大。震前、震后及钙华保育后,植被覆盖度、森林和水系面积的时间演变与钙华保育工作在最短时间内促进了景区原生境的恢复密切相关,原生境的恢复加快了森林的快速恢复,进而促进水系迅速恢复,水系的快速恢复无疑又加快了钙华的自我修复。因此,从森林和水系面积恢复来看,适当的人为干预明显促进了震后九寨沟核心钙华景点生态系统向良性循环的演变。

4.2 基于生态演替理念的震后九寨沟核心钙华景点植被恢复规划

经过两年时间的人为干预为辅、自然干预为主的震后恢复,整个景区的裸地、低植被覆盖以及中低植被覆盖类型仍存在。地震后一些裸露的样地、岩体表面及边坡,植物生长困难。Vitousek等^[16]认为,植物在裸露岩石生长难的主要原因是这些裸露的岩石样地缺乏植物生长所需的氮磷等养分条件,创造适宜的生长条件让植物定植和生长是恢复该地段植被的关键。鉴于苔藓可在岩体和裸露样地快速定植,并加快岩体表面土壤的形成速率,在钙华保育后期可将九寨沟当地苔藓植物,如卵叶紫萼藓(*Grammies ovata*)、真藓(*Bryum argenteum*)、丛生真藓(*Bryum caespiticum*)、山地藓(*Osterwaldiella monostri-cata*)、葫芦藓(*Funaria hygrometrica*)、虎尾藓(*Hedwigia ciliates*)等的配子体以及原生草种的种子和营养体协同引入先锋建群植物,从而提高原生草种(如垂穗披碱草、草地早熟禾以及高原毛茛)的定植成功率,也可考虑适当引入与原生草种近缘的商品草种加快植物建群。除了引入先锋建群植物,对裸露的岩石和边坡进行基质改良也是行之有效的途径,如以膨润土、海藻酸盐等天然材料为依托,借助结构设计、功能修饰、负载或固化封存技术,打造类水凝胶植物—微生物耦合活体材料,利用植生盆(槽)、挂网喷播、植生带毯、框格客土绿化及高次团粒喷播等植

物耕作、养护和修复技术,实现植物在裸露样地的快速定植。

5 结 论

(1)钙华保育后第一年(2018年)和第二年(2019年),无论是九寨沟核心钙华景点还是整个景区,各植被生态型变化趋势基本一致,与震后(2017年)相比较,高植被覆盖度的面积明显提升,甚至高出震前(2016年),中植被覆盖度的面积则急剧下降;钙华保育后第一年和第二年,整个景区的裸地面积呈逐年减少的趋势,比震前和震后都低,同时中低植被覆盖度和低植被覆盖度面积明显较震后甚至震前增加,表明裸地向低植被和中低植被覆盖类型转变;

(2)钙华保育后第一年,与震后和震前相比,核心钙华景点的干旱面积明显增加,较干旱、不干早、湿润面积明显减少,很湿润面积没有变化;钙华保育后第二年,核心钙华景点和整个景区的干旱、较干旱、不干早面积与震前基本持平,而湿润和很湿润面积与震前相比大幅增加;

(3)钙华保育明显促进了森林和水系面积的提升,森林和水系面积存在正相关关系。

参考文献

- [1] Newmark W D, Jenkins C N, Pimm S L, et al. Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114(36): 9635-9640.
- [2] 徐桂涛. 九寨沟地震对九寨沟景区林地的损毁及其修复[J]. 中国林业经济, 2018(5): 94-95.
- [3] 陈涛,牛瑞卿,李平湘,等. 密云水库流域2000—2005年植被覆盖度变化监测[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S2): 190-195.
- [4] 程红芳,章文波,陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展[J]. 国土资源遥感, 2008, 1(1): 13-18.
- [5] 汪明霞,王卫东. 植被覆盖度的提取方法研究综述[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2013, 1(2): 23-26.
- [6] 马中刚,孙华,王广兴,等. 基于Landsat 8—OLI的荒漠化地区植被覆盖度反演模型研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(9): 12-18.
- [7] 刘洋,李春阳. 植被因子对水土流失的影响[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(5): 95-99.
- [8] 陈艳华,张万昌. 植被类型对温度植被干旱指数(TVDI)的影响研究:以黑河绿洲区为例[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 700-706.

- [9] 程伟,辛晓平.基于TVDI的内蒙古草地干旱变化特征分析[J].中国农业科学,2020,53(13):2728-2742.
- [10] 高雅,王晓飞,高懋芳,等.基于温度植被干旱指数的曲靖市干旱监测研究[J].中国农学通报,2020,36(9):37-45.
- [11] 蓝振江,蔡红霞,曾涛,等.九寨沟主要植物群落生物量的空间分布[J].应用与环境生物学报,2004,10(3):299-306.
- [12] 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.
- [13] 刘世荣,常建国,孙鹏森.森林水文学:全球变化背景下的森林与水的关系[J].植物生态学报,2007,31(5):753-756.
- [14] 金栋梁,刘予伟.森林水文效应的综合分析[J].水资源与工程学报,2013,24(2):138-144.
- [15] 曾学梅.云南石林岩溶区不同植被类型的生态水文效应研究[D].昆明:云南师范大学,2020.
- [16] Vitousek P M, Walker L R, Whiteaker L D, et al. Nutrient limitations to plant growth during primary succession in Hawaii Volcanoes National Park[J]. Biogeochemistry, 1993, 23(3): 197-215.

Dynamic evolution of vegetation and drainages in the Jiuzhaigou valley scenic area before and after the "8 August 2017" earthquake under conditions of travertine habitat conservation and restoration

CHEN Yun¹, DONG Faqin², HAN Ying¹, WANG Weihong^{2,3}, DAI Qunwei², ZHAO Xueqin^{2,4}, WANG Fudong^{2,4}

(1. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 3. Mianyang Science & Technology City Division of National Remote Sensing Center, Mianyang, Sichuan 621010, China; 4. Institute of Land and Resources Utilization, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract The restoration of the original habitat after an earthquake is very important for rapid reconstruction of territorial vegetation and the restoration of the drainage area. In this study, the dynamic changes of vegetation coverage, soil moisture, forest area and river system area of the Jiuzhaigou valley core travertine scenic spot and the whole scenic spot before and after the 2017 earthquake and after the travertine habitat conservation and restoration were evaluated by using Landsat-8, and Gaofen 1[#], 2[#] satellite images. The results show that the coverage area of high, medium and low vegetations at the travertine core scenic spot and the whole scenic spot has increased significantly after the travertine conservation and restoration with artificial as auxiliary and natural as the main. The ecological types of bare land still exist, but show a decreasing trend year by year. In addition, the types of medium vegetation cover also decreased compared with those after and before the earthquake. In the second year after conservation, wet and very humid areas, total forest area and river system area increased significantly compared with before and after the earthquake. Overall, there is a positive correlation among high vegetation coverage area, forest area and river area. This may be due to the rapid restoration of original habitat under human intervention, which increased vegetation coverage area, and enhanced the roles of vegetation evapotranspiration and interception, and further affected the hydrological process of the watershed and promoted the restoration of the drainage area.

Key words Jiuzhaigou valley, "August 8 in 2017" earthquake, vegetation restoration, travertine conservation, river system restoration

(编辑 黄晨晖)