

四川省九寨沟县地震前后区域生态环境质量评价

胡翔¹ 白文科² 董鑫^{1,3*}

(¹西华师范大学环境科学与工程学院, 四川南充 637000; ²西华师范大学生态研究院, 四川南充 637000; ³西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川南充 637000)

摘要 基于地理信息系统和遥感数据处理软件平台,对四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县在2017年8·8地震前后的生态环境质量进行了监测和分析。利用Landsat 8 OLI卫星传感器所获得的2016年(震前)和2017年(震后)的遥感影像数据,提取归一化植被指数、湿度分量、地表温度、归一化土壤指数分别作为绿度、湿度、热度、干度等4个指标,进行主成分分析得到遥感生态指数。根据该指数,可将九寨沟县生态环境质量状况分为优、良、中等、较差和差级。2016年九寨沟县有24.8%处于生态环境质量状况优,2017年震后则下降到19.84%,2017年生态环境质量状况较差和中等的面积占比呈增加趋势,分别占17.99%和33.93%;震中15.5 km缓冲区内生态环境质量状况优的面积占比下降最多,为5.01%;2017年8·8九寨沟地震对震中15.5 km缓冲区的生态环境质量状况有较明显的影响,县界内的三个自然保护区中九寨沟国家级自然保护区受到冲击最大。本研究可为九寨沟地区生态环境监测、灾害评价和恢复重建提供科学依据。

关键词 九寨沟国家级自然保护区; 区域生态环境质量; 遥感生态指数; 8·8地震

Evaluation of regional eco-environmental quality before and after earthquake in Jiuzhaigou County, Sichuan Province. HU Xiang¹, BAI Wen-ke², DONG Xin^{1,3,*} (¹College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637000, Sichuan, China; ²Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637000, Sichuan, China; ³Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Nanchong 637000, Sichuan, China).

Abstract: Based on remote sensing data and the geographic information system processing software platform, we analyzed the eco-environmental quality of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture in Sichuan Province before and after the 2017 8·8 earthquake. We used the Landsat 8 OLI satellite sensor to obtain remote sensing image data of December 31, 2016 (before the earthquake) and December 18, 2017 (after the earthquake), and extracted the normalized vegetation index, humidity component, surface temperature, and normalized soil index as four indices of green degree, humidity, heat degree and dryness, respectively. We used principal component analysis to obtain the Remote Sensing Ecological Index (RSEI) from these four indices. According to the RSEI, the eco-environmental quality of Jiuzhaigou County was categorized as excellent, good, medium, poor and worse. In 2016, 24.8% of Jiuzhaigou County areas were in an excellent eco-environment level, which fell to 19.84% after the earthquake in 2017. In 2017, area proportions of the eco-environment quality at poor and medium levels showed an upward trend, accounting for 17.99% and 33.93%, respectively. The proportion of the area with excellent eco-environment quality in the buffer zone of 15.5 km from the epicenter of the earthquake decreased most, accounting for 5.01%. In summary, the Jiuzhaigou earthquake in 2017 had significant impacts on the eco-environment quality, particularly in the buffer zone of 15.5 km. The Jiuzhaigou National Nature Reserve was most impacted among the three nature reserves of Jiuzhaigou County. Our

国家林业局项目(401295)和国家自然科学基金项目(31801991)资助。

收稿日期: 2019-06-18 接受日期: 2019-11-28

* 通讯作者 E-mail: gardenwdx@126.com

results provide scientific basis for ecological monitoring, disaster assessment, and restoration in Jiuzhaigou area.

Key words: Jiuzhaigou National Nature Reserve; regional eco-environmental quality; remote sensing ecological index; 8·8 Earthquake.

近年来,随着生态环境安全问题日益突出,政府、公众将自然生态环境安全放在首位,将生态文明建设定为“千年大计”,优化生态安全,提升生态系统质量和稳定性愈加成为国家工作重点。由于生态环境的层次性、复杂性和多变性,对其状况的监测和评价方法和手段也多种多样(九次力等,2010;王新程等,2014)。其中,遥感(RS)、全球卫星定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)紧密结合起来的3S一体化技术不断发展并成为生态文明建设中的助力,在国内,程朋根等(2015)基于此技术构建了城市生态环境监测与评价系统,熊俊楠等(2018)基于MODIS时序数据对汶川地震灾区植被覆盖变化进行监测;在国外,瑞典隆德大学的Jonas Ardo利用3S技术探讨了森林破坏与林区相对于点污染源的距离和方向、海拔和坡向的关系(马莉等,2009)。

区域生态环境质量评价方法:定性、定量评价。定性评价一般选取对生态环境影响较大的指标进行评价;而后者则利用一定的模型或公式对指标系统进行计算,通常有半变异函数和景观指数法(龚建周等,2008),以PSR模型为主的层次分析法(杨斌等,2014;柴燕妮等,2018;郭荣中等,2018),构建生态体系法(郭慧敏等,2015;凡宸等,2013)和指数评价法(林玉英等,2018;王思梦等,2018)等。其中,综合指数法可以充分体现生态环境评价的整合性、全观性和层次性,在生态环境质量监测和评价中得到了广泛的应用。

遥感生态指数法和生态环境状况指数法是较常用的两种综合指数法。基于主成分分析的遥感生态指数(ecological remote sensing index, RSEI)法,因其遥感影像等数据易获得性,被很多研究者使用。例如,徐涵秋(2013)运用RSEI法来快速监测与评价福建长汀水土流失区生态环境质量;王丽春等(2019)利用此法发现新疆玛纳斯湖湿地环境质量差占主导地位,但整体向着好的方向发展;张芳等(2017)利用此方法对汶川县生态环境质量状况进行监测与分析评价,汶川县地表覆盖主要以林草覆盖为主;李清云等(2018)利用此法发现阿克苏市干度和热度值较高而绿度和湿度值较低的区域占主导

地位,主要分布在北部、南部大面积荒漠和沙漠地带;杨江燕等(2019)运用此法发现雄安新区生态质量总体呈下降趋势,而其生态改善区域主要位于雄县东部和南部。另一种方法是基于《生态环境状况评价技术规范》(HJ 192—2015)的生态环境状况指数法。例如,程晋南等(2008)运用生态环境状况指数法构建了土地生态环境状况评价指标体系,发现2005年泰安市土地生态环境状况总体良好。本研究采用主成分分析的RSEI法,基于以下考虑:(1)RSEI法的主成分分析去除了指标之间重复部分并得到客观的评价结果(约日古丽卡斯木等,2019);(2)RSEI法可以得到生态环境质量状况可视化的空间分布和变化情况并进行针对性分析,得到准确的结果以便提出相应的保护措施;(3)本文选取九寨沟县作为研究对象,区域面积不大,若使用《生态环境状况评价技术规范》(HJ 192—2015)方法,部分数据缺乏或获取困难。

2017年8月8日地震发生在九寨沟国家级自然保护区核心区的西北角,距离九寨沟景区、勿角省级保护区和白河国家级自然保护区较近,对其造成了一定的影响。为了监测此次地震前后当地的区域生态环境质量变化情况,以及变化的空间分布,本文选取地震前后遥感影像数据,基于地理信息系统和遥感软件平台,对九寨沟县的生态环境质量进行分析,以便对本区域,特别是县界内的自然保护区包括九寨沟景区的震后恢复重建、可持续发展提供可参考的科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县处于32°53'N—33°43'N, 103°27'E—104°26'E,东接甘肃省,西连若尔盖县,南邻黄龙风景区。

2017年8月8日九寨沟县发生了7.0级地震(简称8·8九寨沟地震),震中位于33°20'N, 103°82'E,此次地震的最大烈度为九度,六度及以上总面积为18295 km²,等震线长轴总体呈北西走向,九寨沟县内三个自然保护区相应受到了一定影响(陈升等,

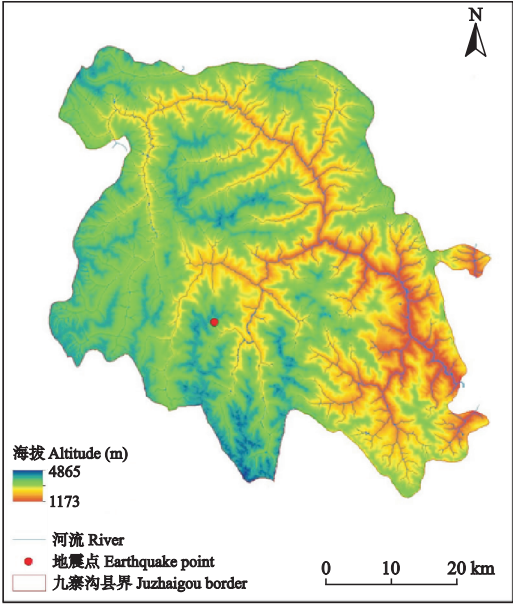


图 1 研究区概况图
Fig.1 Survey map of this study area

2018; 闻学泽等, 2018)。

1.2 技术路线

基于 Landsat8 卫星 OLI 传感器所获得的 2016 年和 2017 年的遥感影像数据及其他相关地理数据, 使用遥感数据处理软件 ENVI 5.3 软件及地理信息系统软件 ArcMap 10.2 进行九寨沟县 2016 年、2017 年遥感生态指数 (RSEI) 的提取及分析。首先提取并得到 RSEI 所需的 4 个指标, 即归一化植被指数

(NDVI)、归一化土壤指数 (NDSI)、湿度分量 (Wet Indicator)、地表温度 (LST), 再进行主成分分析 PCA, 获得 RSEI 数据图层并进行分类后, 对比分析两期 RSEI 空间变化及空间分布格局。最后根据 8·8 九寨沟地震的烈度大小建立缓冲区, 分析不同缓冲区内 RSEI 的变化情况。九寨沟县震前震后的生态环境质量分析技术路线如图 2 所示。

1.3 数据获取

本研究采用 Landsat8 OLI 卫星遥感数据, 其数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn>)。因九寨沟县区域地势海拔较高, 高海拔地区终年有未消融的冰川且春季即三四月月份也有大量的冰雪覆盖, 所以对遥感影像的获取及处理植被指数等指标有一定影响。一般所用遥感影像的云量小于 10% (王新程等, 2014), 而该地区地震前后夏秋季节的云量都大于 20%。本研究选取 2016 年 12 月 31 日 (震前) 与 2017 年 12 月 18 日 (震后) 的秋冬季遥感影像。根据我国生态监测技术规定, 遥感数据时相一般北方选取 5—9 月的生长季, 南方由于生长植被特别茂密, 难以区分, 因此以 11 月—次年 3 月影像为主 (王新程等, 2014)。综上, 本研究选取 12 月份的数据是合理可行的。

选取的九寨沟县 2016 年和 2017 年的 2 期标准假彩色合成遥感影像具有云量较小、植被覆盖范围

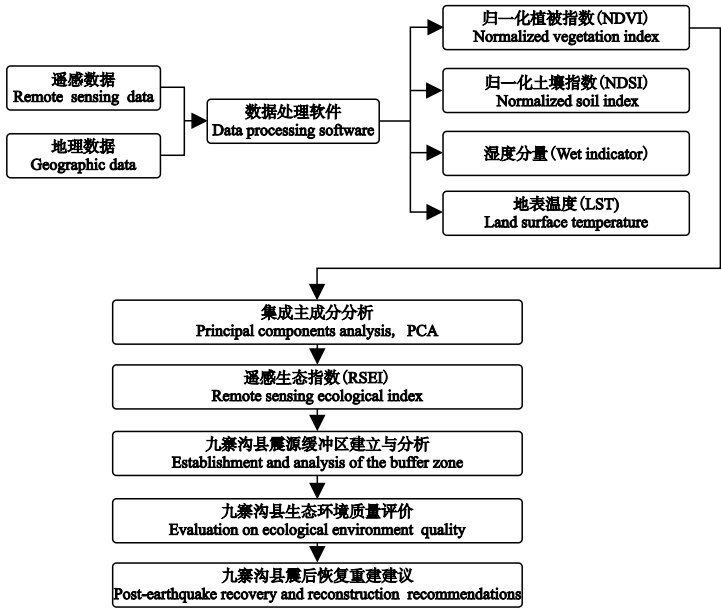


图 2 本研究技术路线
Fig.2 Technical route of this study

大、节气相同和时间相近的优点,能更好地反映九寨沟县震前震后的生态环境质量变化情况以及提出针对性的震后恢复建议。

1.4 影像处理

对所选的 2 期遥感影像数据进行几何校正、裁剪、不同时相遥感影像配准、辐射定标、大气校正等预处理。准精度控制在 0.5 个像元以内,用来减少不同时期的遥感影像在大气、海拔、光照等方面的误差(王井利等,2018)。

本研究选择 2 期不同的遥感影像数据(2016 年 12 月 31 日和 2017 年 12 月 18 日)图像,利用辐射定标与大气校正来减少辐射量误差(多为散射作用引发)。辐射定标和大气校正时,对 2 个不同时期的遥感影像数据参数设置保持一致,其中在 ENVI 5.3 软件中的模块选择以及参数设置如表 1 所示。

1.5 RSEI 分量指标提取

本研究使用 RSEI 法对九寨沟县进行生态环境质量分析与评价。RSEI 包括绿度、湿度、热度、干度 4 个方面,利用 ENVI 5.3 软件,分别提取归一化植被指数(NDVI)、湿度分量(Wet Indicator)、地表温度(LST)、归一化土壤指数(NDSI) 4 个指标(Tang, 2007;徐涵秋,2013;张乃明等,2019)。

1.5.1 归一化植被指数(NDVI) 归一化植被指数(NDVI)是表示区域绿度最广泛的指数,与植物生物量、叶面积指数以及植被覆盖度都密切相关(Giordano,2009),公式为:

NDVI = (ρ_{Nir}-ρ_{Red}) / (ρ_{Nir}+ρ_{Red}) (1)

式中:ρ_{Nir}是近红外波段的反射率,ρ_{Red}是红光波段的反射率。

1.5.2 湿度分量(Wet Indicator) 利用缨帽变换所得的湿度分量(Band 3)反映水体、土壤、植被的湿度,这些因素和生态环境质量状况密切相关,公式为:

表 1 参数选择
Table 1 Parameter selection

辐射定标 Radiometric correction	大气校正 Atmospheric correction
定标类型: 辐射 Calibration type: Radiance	传感器类型: Landsat8-OLI Sensor type: Landsat8-OLI
储存顺序: BIL Interleave: BIL	海拔: 3.116 m Ground elevation: 3.116 m
数据类型: 浮点型 Data type: Float	大气模型: 中纬度冬季 Atmospheric model: Mid-Latitude Winter
辐射率数据单位调整系: 0.1 Scale factor: 0.1	气溶胶模型: 乡村 Aerosol model: Rural

Wet(OLI)= 0.1511ρ₂+0.1973ρ₃+0.3283ρ₄+
0.3407ρ₅-0.7117ρ₆-0.459ρ₇ (2)

式中:ρ_i(i=2,⋯6,7)为 Landsat8 OLI 各波段的反射率(徐涵秋,2013;刘智才等,2015)。

1.5.3 归一化土壤指数(NDSI) 直接运用波段计算(Band Algebra/Band Math)进行计算,公式为:

NDSI=(MIR-NIR)/(MIR+NIR) (3)

式中:MIR 为中红外波段,NIR 为近红外波段。将本研究所用 Landsat8 OLI 与文献所用 Landsat TM 数据的波段范围进行对比(刘盼等,2018),将 Landsat8 卫星 Band6 赋给 MIR 波段,Band5 赋给 NIR 波段。

1.5.4 地表温度(LST) 本研究中对地表温度(Land surface temperature, LST, T_{LS})采取经过辐射率校正后的地表温度,参照 Sobrino 等(2004)算法以及 Landsat8 卫星影像的大气参数,公式为:

LST=γ[(ψ₁L+ψ₂)/ε+ψ₃]+δ (4)

式中:ε 为地表比辐射率,其取值可从参考文献中获得;γ、δ 与热红外影像及大气有关、ψ₁、ψ₂、ψ₃是大气功能参数,具体计算公式为:

γ≈T²/(b_γL) (5)

δ≈T-T²/b_γ (6)

T=K₂/ln(K₁/L+1) (7)

式中:L 为波段在传感器的辐射值;K₁、K₂ 为定标参数;br 为 Landsat 8 数据第 10 波段的中心波长 10.9 μm。基于 Landsat8 卫星,其参数选择为 Band atmospheric transmission:2016 年 0.98,2017 年 0.97;Effective bandpass upwelling radiance:2016 年的参数选择 0.12W/m²/sr/um,2017 年的参数选择 0.15W/m²/sr/um;Effective bandpass downwelling radiance:2016 年 0.21W/m²/sr/um,2017 年 0.25W/m²/sr/um,ψ₁、ψ₂、ψ₃是大气功能参数。

1.5.5 4 个评价因子归一化处理与分析 因为每个指标都有自己独有量纲,直接使用这 4 个指标进行分析评价较难,且这些指标之间无法互相比。因此,需要对这 4 个指标进行量纲的归一化,让各个指标的范围统一在 0~1,再进行遥感生态指数(RSEI)的计算。公式为:

NI_i=(b₁-l_{min})/(l_{max}-l_{min}) (8)

式中:b₁为评价因子影像波段值;l_{min}为该指标的最小值;l_{max}为该指标的最大值。

1.6 遥感生态指数(RSEI)的计算

遥感生态指数(RSEI)法是基于主成分集成来分析生态环境质量状况,得到最能代表该区域环境

质量的主成分。基于 ENVI5.3 遥感数据处理平台,将归一化后的 4 个指标合成多波段数据并进行主成分分析。然后,将 RSEI' 进行归一化处理并得到 RSEI(张洪敏等,2018),公式为:

$$RSEI' = 1 - \{ PC_1 [f(WET, NDVI, NDSI, LAT)] \}$$

(9)

再将 RSEI' 进行归一化,得出结果并使 RSEI 值在 0~1。在地理信息系统软件 ArcMap 10.2 中,采用 0.2 的等间距对 RSEI 结果进行分级并分为优、良、中等、较差和差 5 类,其中 RSEI 的值越接近 0,则生态安全情况和质量状况越差;反之,越接近 1,区域生态环境质量状况越优(宋慧敏等,2016),公式为:

$$RESI = (RESI' - RESI'_{MIN}) / (RESI'_{MAX} - RESI'_{MIN})$$

(10)

RSEI 为标准化处理后的遥感生态指数值;RESI' 为 i 像元处的原始生态指数;RESI'_{MAX}、RESI'_{MIN} 分别为原始生态指数最大、最小值。

2 结果与分析

2.1 地震前后生态环境质量变化

2.1.1 2016 年与 2017 年 RSEI 值变化 RSEI 值越高,表示生态环境质量越好。由表 2 可知,2017 年(震后)的 RSEI 值低于 2016 年(震前),减少了 0.0635。表明九寨沟县在震后的生态环境质量状况是变差。

表 2 中采取均值分析震前震后的各个指标的变化情况。其中,2017 年的绿度和温度指标低于 2016 年,2017 年的干度和湿度高于 2016 年。绿度可以

表征植物生物量、叶面积指数以及植被覆盖度等,表明 2017 年的植被覆盖程度要低于 2016 年,减少了 0.0974;干度代表土壤与建筑裸地面积,2017 年的干化程度高于 2016 年,增加了 0.0282;湿度代表着该区域土壤和植被湿度,2 期之间变化趋势不大,2017 年湿度分量指标比 2016 年增加了 0.0004;2017 年相比 2016 年的地表温度有较小幅度的降低,减少了 0.0027。

由图 3a 可知,红色区域(NDVI 值高)有较大幅度的减少,且颜色变化较为明显区域集中于震源(黑色十字符号)附近,表明震源周围的植被覆盖度有较大面积的降低;图 3b 可知,红色(干化程度适中)与深蓝色(干化程度高)区域面积有较大的增加且靠近震源附近,表明九寨沟县震源地区的干化程度增加较为明显;图 3c 可知,整个九寨沟县区域的湿度增加,但增加的面积区域较为分散;图 3d 可知,深蓝色(地表温度较低)区域面积增加和红色(地表温度高)区域面积减小,表明九寨沟县的地表温度有所降低,但降低的面积区域较为分散。

2.1.2 2016 年与 2017 年生态质量等级分布情况

为了更加直观观察九寨沟县在地震前后的生态质量状况变化,将 RSEI 值分为五等级,0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8、0.8~1.0 分别代表生态质量等级差、较差、中等、良、优五个生态质量等级,并统计各个生态质量等级的总体占比情况(表 3)。

由表 3 可知,2017 年生态质量等级处于优级和良级的面积占比低于 2016 年,分别为 19.84%与 17.71%,而相比于 2016 年,2017 年的生态质量等级处于中等、较差和差级的面积占比均呈上升趋势。

表 2 各年份四个指标和 RSEI 值变化
Table 2 Changes in four indicators and RSEI values for each year

年份 Year	类别 Category	绿度 NDVI	干度 NDSI	湿度 Wet Indicator	温度 LST	遥感生态指数 RSEI
2016	均值 Average	0.5402	0.5785	0.0510	0.4459	0.3481
2017	均值 Average	0.4428	0.6067	0.0514	0.4432	0.2846
差值 Difference	均值 Average	-0.0974	0.0282	0.0004	-0.0027	-0.0635

表 3 生态质量等级面积与占比
Table 3 Ecological grade area and proportion

年份 Year	类别 Category	优 Excellent	良 Good	中等 Average	较差 Weak	差 Poor
2016	面积 Area (km ²)	1311.4107	970.4817	1641.3705	929.6964	432.7605
	占比 Proportion (%)	24.80	18.36	31.05	17.59	8.2
2017	面积 Area (km ²)	1049.004	936.0117	1793.7576	950.8536	556.0929
	占比 Proportion (%)	19.84	17.71	33.93	17.99	10.53

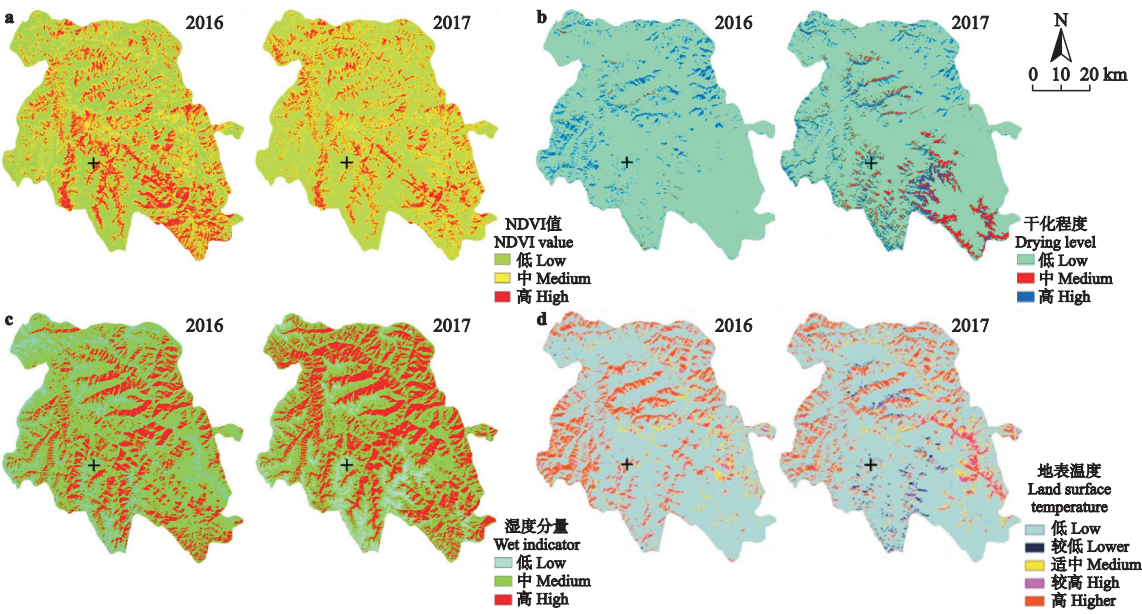


图 3 九寨沟县 2016 年与 2017 年两期四个指标分级栅格图
Fig.3 Four indicators hierarchical raster map of Jiuzhaigou County in 2016 and 2017

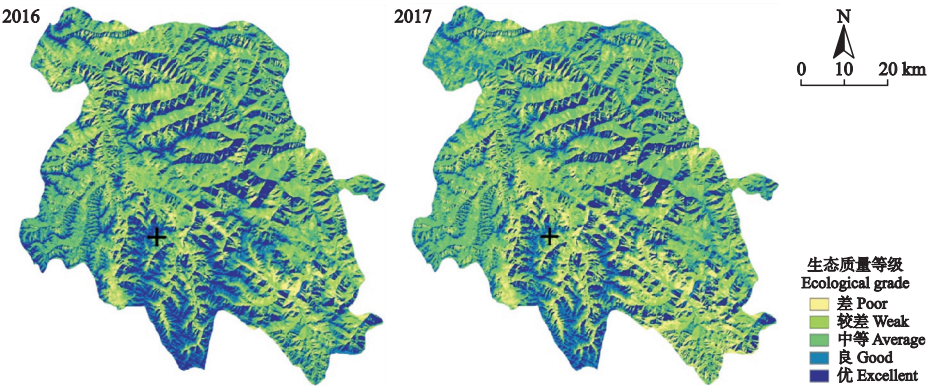


图 4 九寨沟县 2016 年与 2017 年两期 RSEI 分级图
Fig.4 RSEI grading map of Jiuzhaigou County in 2016 and 2017

总体上,2017 年的生态质量等级低于 2016 年,表明 2017 年(震后)九寨沟县的生态环境质量整体上呈恶化的趋势。

如图 4 所示,生态质量等级处于差与较差级区域面积有明显增加,大部分集中于震源附近,生态质量等级优级区域面积较为明显的减少,尤其是靠近震源附近的下方地区。结合以上分析,相比 2016 年,2017 年的生态环境质量状况呈恶化趋势,且大部分集中于震源附近。

3 震源缓冲区分析

为研究九寨沟县地震对当地的生态环境质量的影响范围强度,本研究利用 ArcMap 10.2 软件 buffer 模块,根据 8·8 地震对九寨沟县造成的烈度大小,

建立覆盖九寨沟县区域的 4 个缓冲区进行分析。4 层缓冲区依次对应本次地震六、七、八、九的烈度区域,且每层缓冲区直径 15.5 km 与每个烈度区域平均直径接近,覆盖区域基本重合。

如表 4 所示,生态质量等级优和良级在 4 个缓冲区范围皆处于降低趋势,表明 2017 年地震对建立的 4 个缓冲区都有相应的影响,且呈恶化趋势。

由表 5 可知,总体上 2017 年生态环境质量状况低于 2016 年,其中,生态质量等级优级中减少最多的为 15.5 km,减少了 5.01%,其次为 31 km,减少了 3.47%;生态质量等级良级中减少最多的为 15.5 km 缓冲区内,减少了 21.18%,其次是 46.5 km,减少了 19.49%;而处于减少趋势生态质量等级优和良级之和,减少较为明显的是 15.5 km 的缓冲区。由图 5

表 4 九寨沟县 2016 年与 2017 年缓冲区的生态质量等级面积变化
Table 4 Changes in the ecological grade area of the buffer zone in Jiuzhaigou County in 2016 and 2017

生态质量等级 Ecological quality grade	面积 Area (km ²)				总面积 Total area (km ²)
	15.5 km	31 km	46.5 km	62 km	
差 Poor	10.9134	34.9182	10.5930	3.8619	60.2795
较差 Weak	134.9460	334.4571	230.6088	150.8751	850.8870
中等 Average	51.6159	11.0862	151.4628	14.7285	228.8934
良 Good	-159.6546	-317.4453	-349.2369	-148.1013	-974.4381
优 Excellent	-37.8207	-63.0162	-43.4277	-21.3642	-165.6306

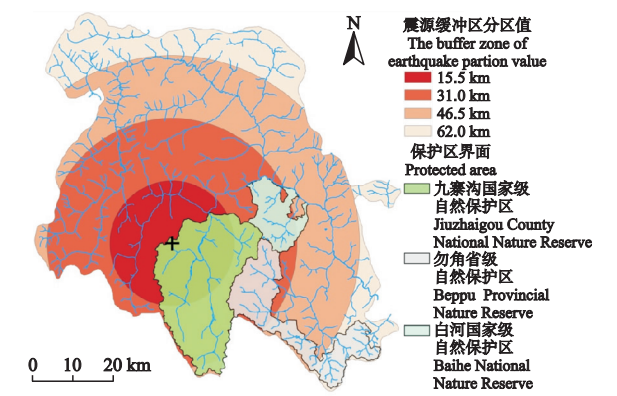


图 5 九寨沟县震源缓冲区图
Fig.5 The buffer zone of earthquake epicenter in Jiuzhaigou County

可知,3 个自然保护区集中在缓冲区 31 km 之内,结合以上分析,所受影响较大的是九寨沟国家级自然保护区,其次为勿角省级保护区和白河国家级自然保护区。

生态质量等级分差、较差和中等 3 个等级,在各个缓冲区中 2017 年所占的区域面积高于 2016 年(图 6),而生态质量等级良与优 2 个等级,在各个缓冲区中 2017 年所占的区域面积低于 2016 年。

综上,2017 年地震对九寨沟县的生态环境质量有所影响且呈恶化的趋势,地震震源波及范围明显处于 15.5 km 之内,且九寨沟国家级自然保护区

表 5 九寨沟县 2016 年与 2017 年各个缓冲区生态质量等级面积变化占比
Table 5 The proportion of the ecological grade area of the buffer zone in Jiuzhaigou County in 2016 and 2017

生态质量等级 Ecological quality grade	面积变化占比 Area change proportion (%)			
	15.5 km	31 km	46.5 km	62 km
差 Poor	1.45	1.93	0.59	0.43
较差 Weak	17.89	18.45	12.88	9.85
中等 Average	6.85	0.61	8.40	11.39
良 Good	-21.18	-17.52	-19.49	-18.53
优 Excellent	-5.01	-3.47	-2.43	-3.14

所受影响较大。

4 讨论

遥感生态指数(RSEI)法是基于绿度、干度、湿度、温度指标构建的客观性空间分析指数,可以快速简便评估区域生态环境质量状况,该指数不是经过人为加权,而是通过集成主成分分析来进行评价区域质量水平,所以具有合理性、客观性、科学性。

RSEI 法不仅可以获得区域生态环境状况的定量数值,而且可以分析综合生态环境质量的时空变化。但此法评价指标的提取主要基于遥感影像,缺乏污染地面监测数据,结合综合指数法(EI)可以对区域的生态环境质量进行全面评价,EI 评价指标中包括污染负荷指数等。但就本研究区域而言,2017 年 8·8 地震主要影响范围是自然保护区和人居较少的环境,RSEI 方法适用性比较强。另外,研究区的植被覆盖率较高,可能会造成 NDVI 值的溢出,影响结果。因此,本次研究数据采用 12 月非植被长势最旺盛的季节的秋冬季遥感影像,也在一定程度上避免了此现象。相比 NDVI,增强植被指数(EVI)对高植被区有较高的灵敏度,可详细反映地表植被特征,也可考虑结合 EVI 进行进一步评价研究。

本研究仍存在以下不足:(1)选取的遥感影像最优为震前、震中、震后恢复 3 个期间,但由于本次研究年限较短,暂时无法获得 2019 年恢复期间遥感数据;(2)烈度图能更好地反映震源波及影响范围,但由于原始数据获取困难,本研究利用圆形缓冲区来替代;(3)本次研究使用的遥感数据为 30 m×30 m 的中等空间分辨率数据,以致对结果的精度有一定影响。在后续研究中应进一步完善相关不足,如将九寨沟县气候、降水量、环境污染转移等因素加入其中,从多角度评估整个九寨沟县的生态环境质量状况,以便更加全面精确了解地震对区域生态环境质量的影响。

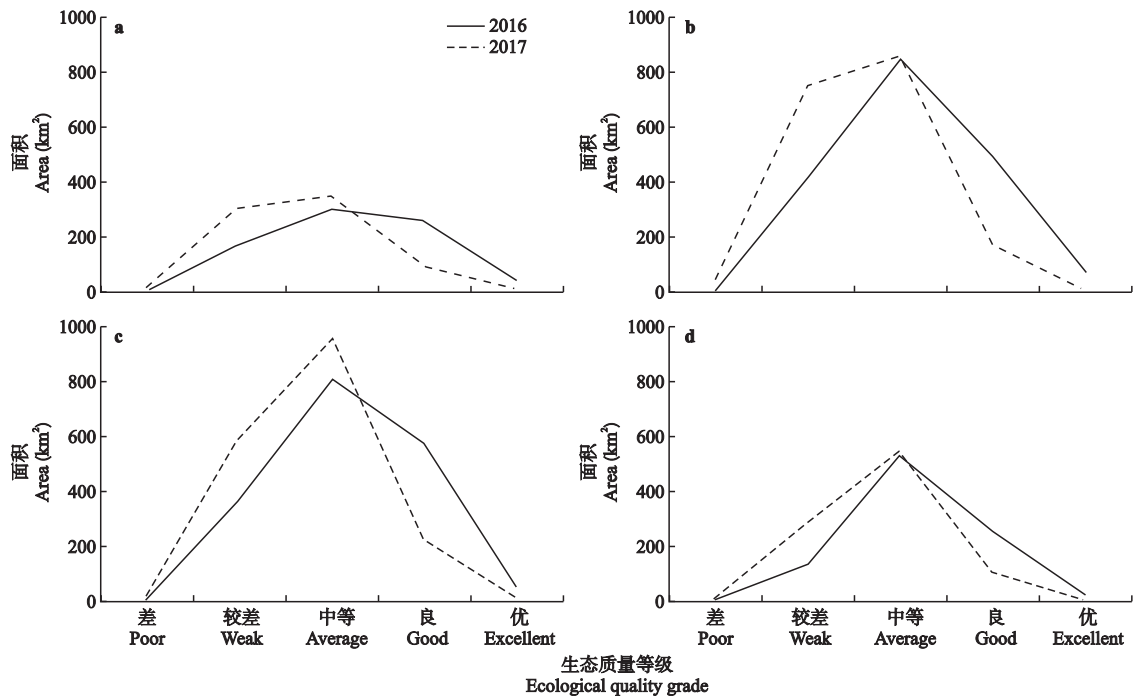


图 6 九寨沟县 2016 年与 2017 年两期 RSEI 值缓冲区分布折线图

Fig.6 Distribution lines of RSEI value in four buffer areas in Jiuzhaigou County in 2016 and 2017

注：a)距震源 15.5 km 的第一缓冲区(对应烈度九级);(b)距震源 31 km 的第二缓冲区(对应烈度八级),不包括第一缓冲区的面积;(c)距震源 46.5 km 的第三缓冲区(对应烈度七级),不包括第一、二缓冲区的面积;(d)距震源 61 km 的第四缓冲区(对应烈度六级),不包括第一、二、三缓冲区的面积。

Note: (a) the first buffer zone 15.5 km from the earthquake epicenter (corresponding to intensity level 9); (b) the second buffer zone 31 km from the earthquake epicenter (corresponding to intensity level 8), excluding the area of the first buffer zone; (c) the third buffer zone 46.5 km from the earthquake epicenter (corresponding intensity level 7), excluding the areas of the first and second buffer zones; (d) the fourth buffer zone 61 km from the earthquake epicenter (corresponding intensity level 6), excluding the areas of the first, second and third buffer zones.

5 结论与建议

本研究采用遥感生态指数(RSEI)法对九寨沟县 8·8 地震前后的生态环境质量状况进行了空间评估和分析。本文提取的 4 个指标进行分析发现,地震后 NDVI 减少、NDSI 增加、Wet Indicator 与 LST 变化不明显,生态质量呈下降趋势(RSEI 值下降),九寨沟国家级自然保护区所受到冲击最大,其次是勿角省级保护区和白河国家级自然保护区。

根据以上研究,提出以下建议:进行生态环境调查、监测以及现场走访,以便确保地质、珍稀物种的栖息地安全,对影响较大的九寨沟自然保护区进行更为严格的监测;对九寨沟县的植被进行调查与修复,利用森林的自我调节能力与人工辅助介入恢复生态环境;加大退耕还林力度,此次地震使生态系统受损,可以进行退耕还林用来恢复整个区域植被固水的作用以控制水土流失问题。

参考文献

程晋南, 赵庚星, 李 红, 等. 2008. 基于 RS 和 GIS 的土地

生态环境状况评价及其动态变化. 农业工程学报, **24** (11): 83-88. [Cheng JN, Zhao GX, Li H, et al. 2008. Dynamic changes and evaluation of land ecological environment status based on RS and GIS technique. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **24**(11): 83-88.]

陈 升, 唐元杰. 2018. 地震灾后重建绩效测量——以汶川、玉树、芦山地震为例. 重庆大学学报: 社会科学版, **24** (6): 22-32. [Chen S, Tang YJ. 2018. Performance measurement of post disaster reconstruction: Taking Wenchuan, Yushu, Lushan Earthquake as examples. *Journal of Chongqing University: Social Science Edition*, **24**(6): 22-32.]

柴燕妮, 魏冠军, 侯 伟, 等. 2018. 空间视角下的多尺度生态环境质量评价方法. 生态学杂志, **37**(2): 596-604. [Chai YN, Wei GJ, Hou W. 2018. Multi-scale eco-environmental quality evaluation method from a spatial perspective. *Chinese Journal of Ecology*. **37**(2): 596-604.]

凡 宸, 夏北成, 秦建桥. 2013. 基于 RS 和 GIS 的县域生态环境质量综合评价模型——以惠东县为例. 生态学杂志, **32**(3): 719-725. [Fan C, Xia BC, Qin JQ. 2013. An integrated assessment model of county level eco-environmental quality based on RS and GIS: A case study of Huidong County, Guangdong Province of South China. *Chinese Journal of Ecology*. **32**(3): 719-725]

- 龚建周, 夏北成, 陈健飞, 等. 2008. 基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析. *生态学报*, **28**(9): 4323–4333. [Gong JZ, Xia BC, Chen JF, et al. 2008. Dynamic analysis of the Guangzhou landscape eco-security pattern based on 3S technology. *Acta Ecologica Sinica*, **28**(9): 4323–4333.]
- 郭慧敏, 王武魁, 冯仲科. 2015. 基于 GIS 与 RS 的退耕还林生态补偿金的确定. *农业工程报*, **31**(15): 264–271. [Guo HM, Wang WK, Feng ZK. 2015. Determination of eco-compensation of sloping land conversion program based on GIS and RS. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **31**(15): 264–271.]
- 郭荣中, 杨敏华, 申海建. 2018. 基于组合赋权法的长沙市耕地生态安全时空测度与演化. *应用基础与工程科学学报*, **26**(1): 35–46. [Guo RZ, Yang MH, Shen HJ. 2018. Spatial-temporal assessments and evolution research of cultivated land ecological security in Changsha city based on combination weighting method. *Journal of Basic and Engineering*, **26**(1): 35–46.]
- 九次力, 周兆叶, 张学通, 等. 2010. GIS 表述的生态环境评价体系研究——以青海省为例. *草业科学*, **27**(12): 45–52. [Jiu JL, Zhou ZY, Zhang XT, et al. 2010. Evaluation system of the ecological environments based on GIS-A case study in Qinghai Province. *Pratacultural Science*, **27**(12): 45–52.]
- 林玉英, 胡喜生, 邱荣祖, 等. 2018. 基于 Landsat 影像的 NDVI 对植被与影响因子交互耦合的响应. *农业机械学报*, **49**(10): 212–219. [Lin YY, Hu XH, Qiu RZ, et al. 2018. Responses of landsat-based NDVI to Interaction of vegetation and influencing factors. *Agricultural Engineering*, **49**(10): 212–219.]
- 李清云, 王振锡, 崔婕, 等. 2018. 基于 TM 数据的阿克苏市生态环境质量指数 RSEI 分级研究. *天津农业科学*, **24**(12): 63–67. [Li QY, Wang ZX, Cui W, et al. 2018. Study on the classification of ecological environmental quality index RSEI in Aksu city based on TM Data. *Tianjin Agricultural Sciences*, **24**(12): 63–67.]
- 刘盼, 任春颖, 王宗明, 等. 2018. 南瓮河自然保护区生态环境质量遥感评价. *应用生态学报*, **29**(10): 3347–3356. [Liu P, Ren CY, Wang ZM, et al. 2018. Assessment of the eco-environmental quality in the Nanweng river nature reserve, northeast China by remote sensing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **29**(10): 3347–3356.]
- 刘智才, 徐涵秋, 李乐, 等. 2015. 基于遥感生态指数的杭州市城市生态变化. *应用基础与工程科学学报*, **23**(4): 728–739. [Liu ZC, Xu HQ, Li L, et al. 2015. Ecological change in the Hangzhou area using the remote sensing based ecological index. *Journal of Basic and Engineering*, **23**(4): 728–739.]
- 马莉, 宋庆. 3S 集成技术研究现状的综述. 2009. 资源环境与发展. **1**(2): 32–35. [Ma L, Song Q. 2009. A review of the current research status of 3S integration technology. *Resource Environment and Development*, **1**(2): 32–35.]
- 程朋根, 童成卓, 聂运菊, 等. 2015. 基于 RS 与 GIS 技术的城市生态环境监测与评价系统设计及其应用. *东华理工大学学报: 自然科学版*, **38**(3): 314–318. [Cheng PG, Tong CZ, Nie YJ, et al. 2015. Design and application of urban ecological environment monitoring and evaluation system using RS and GIS. *Journal of East China Institute of Technology: Natural Science*, **38**(3): 314–318.]
- 宋慧敏, 薛亮. 2016. 基于遥感生态指数模型的渭南市生态环境质量动态监测与分析. *应用生态学报*, **27**(12): 3913–3919. [Song HM, Xue L. 2016. Dynamic monitoring and analysis of ecological environment quality in Weinan City, northwest China based on RSEI model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **27**(12): 3913–3919.]
- 王井利, 马畅, 张宁. 2018. 基于遥感归一化指数的生态环境破坏和恢复能力的监测与评价. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, **34**(4): 676–683. [Wang JL, Ma C, Zhang N. 2018. Monitoring and evaluation of ecological environmental damage and recovery capability based on remote sensing image normalization Index. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, **34**(4): 676–683.]
- 王丽春, 焦黎, 来风兵, 等. 2019. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价. *生态学报*, **39**(8): 2963–2972. [Wang LC, Jiao L, Lai FB, et al. 2019. Evaluation of ecological changes based on a remote sensing ecological index in a Manas Lake wetland, Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica*, **39**(8): 2963–2972.]
- 王思梦, 黄昌. 2018. 基于遥感和 GIS 的流域自然生态环境质量监测与评价——以无定河流域为例. *干旱区地理*, **41**(1): 134–141. [Wang SM, Huang C. 2018. Ecological environment quality monitoring and evaluation based on remote sensing and GIS techniques: A case of Wuding River Basin. *Arid Land Geography*, **41**(1): 134–141.]
- 王新程, 曲婷. 2014. 生态环境监测技术. 北京: 中国环境出版社. [Wang XC, Qu T. 2014. *Ecological Environment Monitoring Technology*. Beijing: China Environment Press.]
- 闻学泽. 2018. 巴颜喀拉块体东边界千年破裂历史与 2008 年汶川、2013 年芦山和 2017 年九寨沟地震. *地震学报*, **40**(3): 255–267. [Wen XZ. 2018. The 2008 Wenchuan, 2013 Lushan and 2017 Jiuzhaigou earthquakes, Sichuan, in the last more than one thousand years of rupture history of the eastern margin of the Bayan Har block. *Acta Seismologica Sinica*, **40**(3): 255–267.]
- 徐涵秋. 2013. 区域生态环境变化的遥感评价指数. *中国环境科学*, **33**(5): 889–897. [Xu HQ. 2013. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes. *China Environmental Science*, **33**(5): 889–897.]
- 徐涵秋. 2013. 水土流失区生态变化的遥感评估. *农业工程学报*, **29**(7): 91–97. [Xu HQ. 2013. Assessment of ecological change in soil loss area using remote sensing technology. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, **29**(7): 91–97.]
- 熊俊楠, 彭超, 范春捆, 等. 2018. 基于 MODIS 时序数据

- 的汶川地震灾区植被覆盖变化监测. 应用基础与工程科学学报, **26**(1): 60-69. [Xiong JN, Peng C, Fan CS, *et al.* 2018. Dynamic monitoring of vegetation fraction change in disaster area of Wenchuan earthquake based on MODIS Time-series data. *Journal of Applied Basic and Engineering Science*, **26**(1): 60-69.]
- 杨 斌, 曹春香, 田 蓉, 等. 2014. 汶川县震后5年生态环境质量恢复评价. 遥感学报, **18**(4): 946-957. [Yang B, Cao CX, Tian R, *et al.* 2014. Recovery evaluation of the eco-environmental quality after the Wenchuan earthquake. *Journal of Remote Sensing*, **18**(4): 946-957.]
- 杨江燕, 吴 田, 潘肖燕, 等. 2019. 基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估. 应用生态学报, **30**(1): 277-284. [Yang JY, Wu T, Pan XY, *et al.* 2019. Ecological quality assessment of Xiongan New Area based on remote sensing ecological index. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **30**(1): 277-284.]
- 约日古丽卡斯木, 孜比布拉·司马义, 王 蕾, 等. 2019. 新疆博乐市生态环境变化对城市建设用地扩张的响应. 农业工程学报, **35**(1): 252-259. [Yueriguli Kasimu, Zibibula Simayi, Wang L, *et al.* 2019. Response of ecological environment change to urban construction land expansion in Bole City of Xinjiang. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **35**(1): 252-259.]
- 张 芳, 陈小平, 王 蕾, 等. 2017. 基于RS的汶川县生态环境质量监测与分析评价. 测绘与空间地理信息, **40**(4): 78-80. [Zhang F, Chen XP, Wang L, *et al.* 2017. The monitoring and evaluation of ecological environment quality of Wenchuan County based on RS. *Geomatics & Spatial, Information Technology*. **40**(4): 78-80.]
- 张洪敏, 张艳芳, 田 茂, 等. 2018. 基于主成分分析的生态变化遥感监测—以宝鸡市城区为例. 国土资源遥感, **30**(1): 203-209. [Zhang HM, Zhang YF, Tian M, *et al.* 2018. Dynamic monitoring of eco-environment quality changes based on PCA: A case study of urban area of Baoji City. *Remote Sensing for Land & Resources*, **30**(1): 203-209.]
- 张乃明, 陈冬花, 邢 菲, 等. 2019. 基于遥感生态指数的新疆干旱区博乐市生态变化分析. 水土保持通报 **39**(1): 154-159. [Zhang NM, Chen DH, Xing F, *et al.* 2019. Ecological change analysis of Bole City in arid regions of Xinjiang Wei Autonomous Region based on remote sensing ecological index. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **39**(1): 154-159]
- Giordano F. 2009. A landscape approach for detecting and assessing changes in areas prone to desertification by means of remote sensing and GIS. Italy: University of Cagliari.
- Sobrino JA, Jimenez-Munoz JC, Paolini L, 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, **90**(4): 434-440.
- Tang ZH. 2007. Integrating the principles of strategic environmental assessment into local comprehensive land use plans in California. USA: Texas A&M University.

作者简介 胡 翔,女,1997年生,硕士研究生,主要研究方向为区域资源与生态环境研究。E-mail: annahx1997@163.com

责任编辑 李凤芹
