

# 基于 TM 遥感数据的汶川地震极重灾区生态恢复研究

吴春生<sup>1,2</sup>, 王文杰<sup>2\*</sup>, 刘孝富<sup>2,3</sup>, 张哲<sup>2</sup>, 郭翔<sup>1,2</sup>, 陈晨<sup>1,2</sup>, 冯宇<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学建筑与城乡规划学院, 湘潭 411201; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012;  
3. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 本文以地震极重灾区 2006、2008 和 2011 年 3 期 Landsat TM 遥感影像为数据源, 利用 GIS 提取灾区土地利用信息, 结合坡度和高程等地形因子对灾区主要生态系统面积的变化进行综合分析。结果表明: 2008 年地震对灾区生态环境造成严重破坏, 使研究区农田、森林和草地生态系统分别减少了 124.6 km<sup>2</sup>、461.6 km<sup>2</sup> 和 92.3 km<sup>2</sup>, 其中, 农田在北川、青川和平武的面积减少量最大, 汶川森林面积减少了 285.5 km<sup>2</sup>; 各生态系统在不同的高程和坡度下受地震影响程度存在很大差异; 至 2011 年, 灾区受损生态环境受自然演替和人工修复干扰影响, 农田、森林和草地生态系统有所恢复, 面积分别增加了 82.8 km<sup>2</sup>、58.3 km<sup>2</sup> 和 174.9 km<sup>2</sup>, 其中, 草地面积增加量超过受地震破坏损失量, 但灾区生态系统整体恢复效果不理想, 还需要采取进一步的生态恢复措施。

**关键词:** 汶川地震; 生态恢复; Landsat TM

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2012.00666

## 1 引言

2008 年发生的汶川特大地震及其引发的次生地质灾害使大量植被遭受损毁, 造成严重的水土流失, 区域生态安全受到极大威胁<sup>[1-5]</sup>; 此次地震破坏程度的严重性和复杂性使灾区生态环境长期处于危险状态<sup>[6-12]</sup>。

地震发生后, 许多学者做了大量研究, 包括生态系统受破坏的尺度性评价<sup>[13]</sup>、受损生态系统的空间特征分析<sup>[2,6-7,13-16]</sup>, 以及对整个灾区生态系统受破坏程度的综合评价<sup>[4,12,17]</sup>等; 也有学者对生态恢复进行了研究, 但只是简单描述恢复对策<sup>[10,15,18-19]</sup>, 缺少对受破坏生态环境恢复现状研究的数据支持。

本文选用 2006、2008 和 2011 年 3 期 TM 遥感影像, 通过解译分类和 GIS 分析方法, 获取农田、森林、草地、水域、居民与建设用地和未利用地 6 种土地利用类型的面积变化, 并综合地形等空间因子, 其面积变化进行驱动力分析, 得出现阶段灾区的生

态环境现状和存在的问题, 为决策者和研究人员采取生态恢复措施提供数据支持。

## 2 震区生态恢复的数据源与分析方法

本文以严重的汶川、都江堰、彭州、什邡、安县、茂县、北川、绵竹、平武和青川 10 县(市)为研究区, 地理坐标范围为 102°49' ~ 105°38' E, 30°45' ~ 33°03' N, 总面积约 26 410 km<sup>2</sup>, 呈西南—东北条带形分布, 两端最长距离约为 350 km (如图 1)。该地区属于北亚热带山地湿润季风气候区, 具有重要的生态地位, 对区域生物多样性保护、水源涵养和水土保持等具有重要作用。处于迎风坡的四川盆地西缘山地, 气候温和、降雨丰沛, 多暴雨地带, 地形复杂, 地貌多样, 是龙门山地区崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的频发区<sup>[20]</sup>。

(1) 本研究所用到的数据源有以下几种:

**收稿日期:** 2012-05-08; **修回日期:** 2012-09-06。

**基金项目:** 2011 年国家环保公益性行业科研专项“地震灾后受损生态环境跟踪监测、预警技术与规范研究”(2011467026)。

**作者简介:** 吴春生(1988-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生。研究方向为遥感与 GIS 在生态环境方面的应用。

E-mail: wuchsh0118@163.com

**\* 通讯作者:** 王文杰(1970-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 研究员。研究方向为区域生态与环境遥感应用。

E-mail: wangwj@craes.org.cn

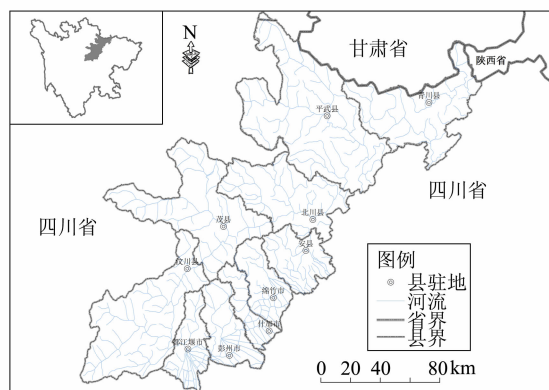


图1 研究区范围

Fig. 1 Range of the study area

遥感数据:灾区 3 期 Landsat TM 数据,时相为 2006、2008 和 2011 年 6 至 7 月份,分辨率为  $30\text{m} \times 30\text{m}$ 。

DEM 数据:比例尺为 1:25 万的研究区影像数据和地形数据。灾区行政区划和土地利用数据:均为矢量 ESRI . shp 格式文件。

数据的处理过程:

① 遥感影像预处理:运用 ERDAS 遥感处理软件和研究区 DEM 影像数据对研究区所需的 6 景 TM 影像分别进行几何校正、拼接和裁剪,获取研究区范围内的影像。

② 影像解译分类:运用 GIS,采用决策树分析法对影像进行预分类<sup>[21]</sup>,将分类结果与研究区已有的土地利用数据对比,人工目视解译影像中被云遮挡的地物<sup>[22-23]</sup>,并根据研究区特点修改预分类结果,并生成专题图件。

③ 相关地形数据处理:对地形 DEM 数据处理,提取研究区的高程和坡度信息,对高程和坡度

分级、矢量转换、与分类结果叠加分析,获取地震中地形因子对生态系统变化产生的影响。

数据分类体系的建立以国家颁布的“土地利用现状分类标准”<sup>[24]</sup>为基础,结合汶川地震极重灾区的实际情况和研究目的,将研究区的土地利用类型划分为 6 种,即耕地、林地、草地、水域、居民与建设用地和未利用地。

(2) 本研究按照土地利用分类体系将研究区分为 6 种类型,获取地震前后各生态系统类型的面积变化,并结合空间因子对主要生态系统农田、森林和草地的面积变化进行驱动力分析,总结面积变化原因并提出相应生态恢复性对策(图 2)。

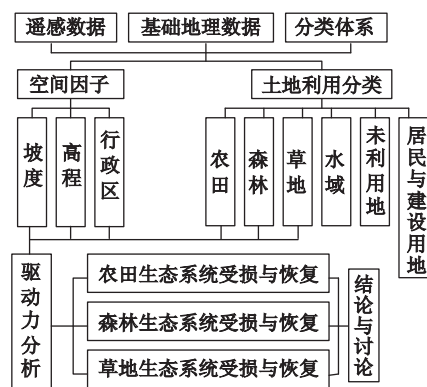


图2 研究技术路线图

Fig. 2 The research flow chart

### 3 汶川重灾区生态恢复的 TM 数据分析

#### 3.1 研究区土地利用类型的变化

研究区地震前后遥感影像解译结果表明(图 3、表 1),2008 年地震及其引发的滑坡、泥石流等地质

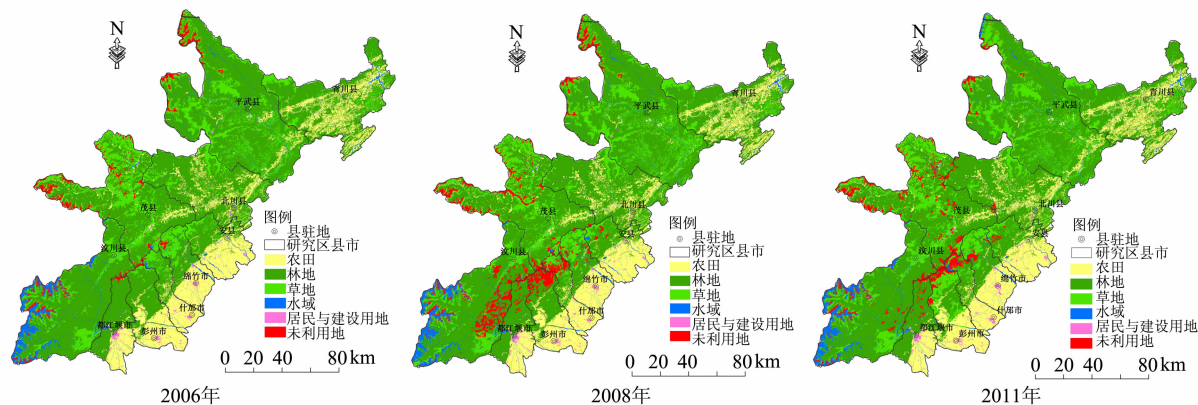


图3 研究区 3 期土地利用分类结果图

Fig. 3 The classified result of land use in the study area

表 1 汶川地震极重灾区土地利用类型统计  
Tab. 1 Land use statistics of the study area

土地利用类型	2006 年		2008 年		2011 年	
	面积 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)
耕地	4632.8	17.7	4508.2	17.3	4591.0	17.6
林地	15 453.4	59.2	14 991.8	57.4	15 050.1	57.6
草地	4418.0	16.9	4325.7	16.6	4500.6	17.2
水域	816.6	3.1	802.6	3.1	830.3	3.2
居民与建设用地	161.7	0.6	167.7	0.6	175.2	0.7
未利用地	636.7	2.4	1323.2	5.1	972.0	3.7

灾害对研究区内的生态环境造成较大影响,土地利用类型发生了很大变化,2006 年林地、草地、农田、水域、建设用地和未利用地 6 种土地利用所占研究区面积分别为 59.2%、16.9%、17.7%、3.1%、0.6%和 2.4%;2008 年地震发生之后,研究区内森林受损最为严重,损毁面积达到 461.6km<sup>2</sup>,占各土地利用类型总面积的 1.8%;其次是农田和草地,损毁面积分别为 124.6km<sup>2</sup>和 92.3km<sup>2</sup>,分别占总面积的 0.5%和 0.4%,而未利用地的面积增加了 686.5 km<sup>2</sup>,占总面积的 2.6%;至 2011 年,研究区生态系统经自然和人工辅助恢复,生态环境状况好转,植被面积增加,受破坏农田和森林向草地的转

化使草地生态系统恢复效果最明显,增长面积达到 174.9km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 0.7%,超过受地震破坏的面积;森林和农田生态系统分别增加 58.3km<sup>2</sup>和 82.8km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 0.2%和 0.4%。

3.2 重灾区生态系统的变化

农田生态系统受地震破坏较严重地区主要是北川、青川和平武,面积分别减少了 60.8km<sup>2</sup>、41.9km<sup>2</sup>和 17.2km<sup>2</sup>,占农田生态系统受破坏总面积的 48.8%、33.6%和 13.8%;森林生态系统受地震破坏比较严重地区主要是汶川和彭州,面积分别减少 285.5km<sup>2</sup>和 127.6km<sup>2</sup>,占森林生态系统破坏总面积的 61.9%和 27.7%;草地生态系统在北川、彭州和茂县的面积减少量也都超过了 40km<sup>2</sup>,大于其他县市的面积变化(如表 2)。2008 至 2011 年间,在自然演替和人工辅助下,各县市主要生态系统类型变化迥异,面积既有增加又有减少。2008 年森林、草地和农田受破坏较严重地区其恢复情况也较好,如农田生态系统在北川、青川和平武增加的面积相比其他地区大,分别为 52.7km<sup>2</sup>、41km<sup>2</sup>和 12.1km<sup>2</sup>;森林生态系统在汶川增加的面积为 223.8km<sup>2</sup>;草地生态系统在绵竹、彭州和平武增加的面积为 50.4km<sup>2</sup>、65.6km<sup>2</sup>和 43.4km<sup>2</sup>。

表 2 2006、2008 和 2011 年各县(市)主要生态系统面积  
Tab. 2 Areas of main ecosystems in the ten counties in 2006, 2008 and 2011

生态系统类型(km <sup>2</sup> )	农田生态系统			森林生态系统			草地生态系统		
年份	2006	2008	2011	2006	2008	2011	2006	2008	2011
安县	762.2	762.2	756.0	478.6	458.4	467.6	120.7	114.9	108.0
北川县	533.5	532.7	525.4	1959.2	1996.9	1999.7	343.2	304.3	280.7
都江堰市	382.1	381.5	382.1	729.1	697.0	700.4	22.6	22.5	5.6
茂县	184.3	184.3	172.7	2207.3	2253.8	2227.1	1188.9	1074.9	1092.5
绵竹市	557.8	554.8	552.1	384.3	368.7	381.8	219.7	209.2	259.6
彭州市	676.8	676.3	676.8	656.6	529.0	334.2	53.0	14.4	78.0
平武县	163.9	46.7	158.8	4179.9	4179.9	4172.9	1343.9	1452.1	1495.5
青川县	987.7	985.9	986.9	1823.9	1823.9	1825.0	356.8	356.4	323.2
什邡市	384.5	383.8	380.2	268.7	203.8	237.5	110.0	98.3	117.7
汶川县	0.1	0.1	0.1	2765.8	2480.3	2704.1	659.1	678.6	737.7

(1)不同坡度生态系统变化

坡度在生态系统构成和生态过程中起到重要的作用,地表坡度不同,生态系统类型和地震引发的次生灾害类型会有差异,两者作用所产生的生态

系统变化响应也存在区别,将研究区内地形坡度分为 5 个坡度段(0~5°、5~10°、10~ 25°、25~40°、大于 40°),各坡度段内农田、森林和草地生态系统的变化状况如表 3。

表 3 不同坡度下农田、森林和草地生态系统面积的年际变化

Tab. 3 Change in area of farmland, forest and grassland by slop in 2006 - 2008 and 2008 - 2011

坡度(°)	农田生态系统(km <sup>2</sup> )			森林生态系统(km <sup>2</sup> )			草地生态系统(km <sup>2</sup> )		
	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)
0~5	-38.5	0.7	1.8	-6.3	-26.2	—	9.1	-44.0	—
5~10	2.0	12.9	—	-34.1	-40.6	—	3.4	-21.1	—
10~25	-47.3	32.8	69.4	-42.0	-11.8	—	14.3	40.1	—
25~40	-38.9	34.1	87.7	-224.9	57.8	25.7	-68.4	126.7	185.3
>40	-1.9	2.3	123.3	-154.3	79.1	51.2	-50.7	73.2	144.5

注:恢复率=[(2008-2011)/|2006-2008|]×100%,且恢复率>0。

据表 3 可知,地震前后农田、森林和草地生态系统在 25~40°坡度段内都有较大变化,其他坡度段内变化幅度较小。受地震影响,除 5~10°坡度段外农田生态系统面积均有减少,其中 10~25°坡度段受影响最重,使农田面积减少 47.3km<sup>2</sup>,然后依次是 25~40°、0~5°和>40°;2008 至 2011 年间,农田生态系统变化在空间位置上与 2006 至 2008 年间相似,面积增加,但幅度较小,尤其是 0~5°坡度段,农田面积基本没有变化。森林生态系统在中高坡度段内受地震影响剧烈,以 25~40°坡度段最大,面积减少 224.9km<sup>2</sup>,其次是>40°坡度段,减少面积为 154.3km<sup>2</sup>;2008 至 2011 年间,森林面积增加的区域主要在 25~40°和

>40°坡度段,其他坡度段内森林面积有减少趋势。草地生态系统面积受地震影响最大区域在 25~40°坡度段,面积减少 68.4km<sup>2</sup>;在低坡度范围内草地面积小幅增加;2008 至 2011 年,在较高坡度段内受地震破坏严重的草地面积增加幅度较大,如 25~40°范围内,草地面积增加 126.7km<sup>2</sup>,而坡度小于 25°范围内部分面积却减少,最多达到 44km<sup>2</sup>。

(2)不同高程的生态系统变化

由于灾区植被呈现垂直地带性规律,地震及其引发的次生灾害对不同高程的生态系统影响有明显差异。研究区海拔在 495 到 6075m 之间,主要生态系统类型在不同高程的变化如表 4。

表 4 不同高程下农田、森林和草地生态系统面积的年际变化

Tab. 4 Change in area of farmland, forest and grassland by elevation in 2006 - 2008 and 2008 - 2011

高程(m)	农田生态系统(km <sup>2</sup> )			森林生态系统(km <sup>2</sup> )			草地生态系统(km <sup>2</sup> )		
	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)	2006 - 2008	2008 - 2011	恢复率(%)
0~600	12.0	-31.2	—	0.0	0.4	—	-0.4	0.0	—
600~800	-17.3	20.9	121.3	1.3	8.4	—	0.5	-43.4	—
800~1000	-18.8	16.7	89.1	42.2	-47.8	—	5.6	-3.9	—
1000~1500	-95.0	82.5	86.8	-41.0	-57.8	—	105.6	26.9	—
1500~2000	-5.5	-1.1	—	-200.4	93.4	46.6	-36.9	33.4	90.4
2000~2500	0.0	-3.9	—	-97.3	21.6	22.2	-54.3	57.9	106.7
2500~3000	0.0	-1.1	—	-87.8	22.1	25.2	-56.4	81.8	145.0
3000~3500	0.0	0.0	—	-54.6	18.7	34.2	-47.3	38.5	81.3
3500~4000	0.0	0.0	—	-20.4	-0.2	—	-25.1	19.4	77.4
>4000	0.0	0.0	—	-3.7	-0.5	—	16.4	-35.7	—

注:恢复率=[(2008-2011)/|2006-2008|]×100%,且恢复率>0。

表 4 显示,地震后农田生态系统主要发生变化的区域高程在 2000m 以下,以 1000~1500m 处的农田面积减少量最大,达到 95km<sup>2</sup>,其次是 800~1000m 和 600~800m 高程段,减少面积近 20km<sup>2</sup>;2008 至 2011 年间,受地震破坏区域的农田面积增加,但增加量较被地震损毁量小,整体未达到灾前

水平,且在 0~600m 高程段内出现减少趋势。森林生态系统主要变化地段在中高海拔区域,1500~2000m 高程段受地震影响最大,直接受损面积为 200.4km<sup>2</sup>,其他高程段 2000~2500m、2500~3000m,以及 3000~3500m,森林面积减少量都在 50km<sup>2</sup>以上;2008 至 2011 年间,森林生态系统恢复

情况在不同海拔存在差异,在受破坏较严重的 1500~2000m 高程段森林恢复明显,面积增加 93.4km<sup>2</sup>,而在海拔较低的地区如 800~1500m 之间森林面积反而出现减少的趋势。草地生态系统变化较为复杂,地震后不同海拔地区草地面积变化趋势不同,增减不一,1000~1500m 高程段草地面积增加 105.6km<sup>2</sup>;2000~4000m 高程段草地面积呈减少趋势,总减少量达 220km<sup>2</sup>;2008 至 2011 年间,草地生态系统恢复效果明显,2000~4000m 高程段草地面积增加量超过受地震损毁量,而在 600~800m 高程段内草地生态系统面积减少 43.4km<sup>2</sup>。

#### 4 研究区主要生态系统变化的驱动力分析

(1)研究区农田生态系统可分为平原农田和山区农田,平原海拔低于 800m,坡度小于 10°,受地震影响小,地表状况和土壤结构未受损坏,农田面积基本无变化,如安县、绵竹、什邡和彭州等地;山区坡度在 10~40°、海拔在 1000~2000m 之间的农田坡面稳定性差,受地震的强烈震动,地表开裂,土壤裂隙增大,农田直接遭到损毁,地震引发的崩塌、滑坡和泥石流灾害又进一步破坏坡耕地,使坡度在 10~25°、25~40°以及海拔在 1000~1500m 之间的农田面积分别减少了 47.3km<sup>2</sup>、38.9km<sup>2</sup> 和 95.1km<sup>2</sup>;山区坡度在 0~10°之间的农田地表平坦,海拔多处于 1000m 左右,但往往成为崩塌、滑坡和泥石流的接受体,被大量掩埋、冲毁,导致坡度在 0~5°、海拔小于 1000m 的农田面积分别减少 38.5km<sup>2</sup> 和 36.1km<sup>2</sup>。

地震和次生地质灾害不但直接造成了农田减少,也阻碍了灾区农田生态系统的恢复,农田土壤理化性质的改变使土壤肥力下降,对农作物生长产生不利影响,由于坡度小于 10°和海拔小于 1000m 的农田受掩埋和冲毁的程度较大,该地区在 2008 年到 2011 年间农田增加面积较少,特别是高程在 0~600m 之间地区,为安置山区灾民,新建居住用地占用大量农田,使其面积减少 31.2km<sup>2</sup>;处在 10~25°坡度段和 1000~1500m 高程段的农田生态系统地震后受人为影响较大,经人工翻耕、平整土地和施加土壤肥料等修复作用下,面积增加明显,恢复率分别为 87.7% 和 86.8%;受到次生灾害频发、坡陡和降雨量大等因素的影响,目前各坡度和高程段

农田面积与地震前的差别依然较大。

(2)随着坡度和高程的增加、地表稳定性降低,坡度在 25~40°、海拔在 1500~2000m 之间的森林生态系统受地震的强烈震动,山体扭曲变形,地表开裂,岩石崩落,林木直接被毁坏,叠加次生地质灾害的作用,受破坏面积均超过 200km<sup>2</sup>,较其他坡度和高程段大,受损程度最严重。受余震和降雨等作用激发,大量崩塌、滑坡和泥石流爆发,沿途冲毁大量树木,并将其携带至沟谷中覆盖或掩埋,主要以坡度小于 25°、高程在 1000~1500m 之间的森林生态系统受影响较大,其面积分别减少 82.3km<sup>2</sup> 和 41km<sup>2</sup>。高程在 1000m 以下地区受地震的直接影响较小,短期内受次生灾害的破坏也很弱,2006 年到 2008 年间人工种植林的大量增加,使该地区地震后林地面积比 2006 年多。

受自然演替和人工修复等作用影响,研究区森林生态系统有一定的恢复;森林受破坏最严重的 25~40°、>40°坡度段和 1500~2000m 高程段原有植被条件好,气候等条件合适,自然恢复速率较快,同时辅以人工造林、人工点撒播和封山育林等修复措施,该区域森林恢复相对较好,面积分别增加 57.8km<sup>2</sup>、79.1km<sup>2</sup> 和 93.4km<sup>2</sup>,总体上以汶川县森林生态系统恢复效果最好,增加面积达到 223.8km<sup>2</sup>;地震后研究区次生地质灾害发生频率较高,对坡度小于 25°、高程在 800~1500m 之间的森林生态系统持续产生影响,使其恢复困难,面积继续减少。

(3)草地生态系统受影响程度相对森林和农田较小,其受破坏机理与森林生态系统相似,地震的强烈震动使草本生长的土壤结构损坏,地表裂隙增大,草地直接受到破坏,加上次生地质灾害崩塌、滑坡和泥石流的影响,导致坡度大于 25°、高程大于 2000m 的草地生态系统主要分布区受损严重,其中,25~40°坡度段和 2500~3000m 高程段受破坏程度最重,面积分别减少 68.4km<sup>2</sup> 和 56.4km<sup>2</sup>;而坡度小于 25°和高程小于 1500m 地区农田和森林生态系统受破坏后,迅速被草地覆盖,使草地生态系统面积不降反增,尤其是森林和农田受损最严重的 1000~1500m 高程段,草地面积增加量最大,达到 105.6km<sup>2</sup>。

草地受破坏后恢复生长速率较森林和农田生态系统快,地震后 3 年里,由于气候适宜、地表状态良好,以及草本强大的生命力等因素,草地生态系统面

积增长非常显著,2011 年总面积为 4500.6 km<sup>2</sup>,超过地震之前的草地面积,整体恢复效果理想。而在 2008 年地震发生后草地面积增加的区域,由于人工复垦农田、森林植被的生长,以及次生地质灾害频发等因素导致这些地区的草地面积呈现减少趋势,0~5°坡度段和 600~800m 高程段内表现最明显,面积分别减少 44.0 km<sup>2</sup>和 43.4 km<sup>2</sup>。

## 5 结论与讨论

通过对不同高程和坡度下主要生态系统面积变化的分析得出:

(1)地震及其引发的次生地质灾害使灾区山体变形,地表开裂,土壤结构发生改变,对灾区生态系统造成严重影响,导致主要生态系统农田、森林和草地均受到严重破坏,面积分别减少 124.6 km<sup>2</sup>、416.6 km<sup>2</sup>和 92.3 km<sup>2</sup>。

(2)不同坡度和高程段分布的主要生态系统中,在 10~25°坡度段和 1000~1500m 高程段农田生态系统遭破坏最严重,森林生态系统受损较重区域集中在 25~40°坡度段和 1500~2000m 高程段,草地生态系统主要在坡度 25~40°和海拔 2500~3000m 范围内受损程度较高。

(3)地震后,经过自然恢复和人工修复作用,各主要生态系统恢复程度不同。农田生态系统受人类影响较大,面积增加明显,恢复效果较好,其中,北川县农田面积增加了 52.7 km<sup>2</sup>,恢复率达 86.7%;森林生态系统受损最严重区域恢复效果相比其他地区较好,海拔在 1500~2000m 的森林面积增加 93.4 km<sup>2</sup>,恢复率为 46.4%;由于自然演替规律和草体自身生长迅速的因素,草地生态系统恢复效果最好,面积增加 174.9 km<sup>2</sup>,超过因地震破坏而减少的面积。

地震对灾区生态系统造成巨大破坏,受破坏的生态环境难以在短时间内完全恢复,但生态系统恢复更重要的是生态功能的逐步完善,这需要较长时间才能实现。

农田生态系统研究中发现:坡度大于 25°的地区仍有较多农田,需及时改造处理;森林生态系统恢复速度缓慢,主要依靠自然恢复,同时也需要人工参与,采取工程措施减少滑坡和泥石流等灾害对森林恢复的阻碍;草地除高原草甸外,大部分属于生态系统自然演替过程中的一个阶段,对草地进行

保护有利于提高生态系统的恢复效率。另外,研究区采取的生态恢复措施应该与当地居民的生产生活相结合,把握好两者的关系,达到既能恢复生态系统又能促进当地经济发展的目的。

### 参考文献:

- [1] 欧阳志云,徐卫华,王学志,等.汶川大地震对生态系统的影响[J].生态学报,2008,28(12):5801-5809.
- [2] 徐新良,江东,庄大方,等.汶川地震灾害核心区生态环境影响评估[J].生态学报,2008,28(12):5899-5908.
- [3] Sun M J, Chen B F, Ren J Z, *et al.* Natural disaster's impact evaluation of rural households' vulnerability: The case of Wenchuan Earthquake[J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2010,1:52-61.
- [4] 王文杰,潘英姿,徐卫华,等.四川汶川地震对生态系统破坏及其生态影响分析[J].环境科学研究,2008,21(5):110-116.
- [5] Wasowsik J, Keefer D K, Lee C T. Toward the next generation of research on earthquake-induced landslides: Current issues and future challenges[J]. Engineering Geology, 2011,122(1):1-8.
- [6] 王涛,马寅生,龙长兴,等.四川汶川地震断裂活动和次生地质灾害浅析[J].地质通报,2008,27(11):1913-1922.
- [7] 王庆安,毛竹,张翔,等.汶川地震极重灾区地形起伏度特征及其与生态环境受损关联分析[J].四川环境,2009,28(5):44-49.
- [8] 王秀英,聂高众.汶川 M<sub>S</sub>8.0 级地震诱发崩塌特点及其与地震动参数对应关系初探[J].岩土工程学报,2009,31(9):1378-1383.
- [9] Tang C, Zhu J, Qi X, *et al.* Landslides induced by the Wenchuan Earthquake and the subsequent strong rainfall event: A case study in the Beichuan area of China [J]. Engineering Geology, 2011,122(2):22-33.
- [10] 崔鹏,韦方强,陈晓清,等.汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J].中国科学院院刊,2008,23(4):317-323.
- [11] 徐国栋,方伟华,史培军,等.汶川地震损失快速评估[J].地震工程与工程振动,2008,28(6):74-83.
- [12] 王秀英,聂高众,王登伟.利用强震记录分析汶川地震诱发滑坡[J].岩石力学与工程学报,2009,28(11):2369-2376.
- [13] 张春敏,王根绪.不同地震烈度对灾区景观破坏程度的评价[J].生态学报,2008,28(12):5938-5947.
- [14] 张春敏,王根绪.汶川大地震灾害对区域生态系统的影响——以青川、平武和茂县为例[J].生态学报,2008,28(12):5833-5841.

- [15] 刘孝富,段培强,王维,等. 成都地震重灾区生态影像分区及恢复对策[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6): 711 - 718.
- [16] 包维楷,庞学勇. 四川汶川大地震重灾区灾后生态退化及其基本特点[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(4): 441 - 444.
- [17] 吴宁,卢涛,罗鹏,等. 地震对山地生态系统的影响——以5·12汶川大地震为例[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5810 - 5819.
- [18] Lu T, Shi F S, Sun G, *et al.* Reconstruction of Wenchuan Earthquake-damaged ecosystems: Four important questions[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(3): 301 - 304.
- [19] 徐卫华,欧阳志云,王学志,等. 汶川地震重灾区生态保护重要性评价与对策[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5820 - 5825.
- [20] 四川省环境保护科学研究院. 5·12汶川大地震极重灾区生态破坏评估[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2010, 13 - 16.
- [21] 靖娟利,李景文,韦春桃. Landsat TM在山区生态环境动态监测中的应用——以广西兴安县为例[J]. 桂林工学院学报, 2006, 26(4): 529 - 533.
- [22] 戴昌达,雷莉萍. TM图像的光谱信息特征与最佳波段组合[J]. 环境遥感, 1989, 4(4): 282 - 292.
- [23] 卢玉东,尹黎明,何丙辉,等. 利用TM影像在土地利用/覆盖遥感解译中波段选取研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(4): 479 - 482.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T21010-2007, 土地利用现状分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007, 1 - 9.

## Research on Ecological Restoration in Wenchuan Earthquake Badly-damaged Regions Based on TM

WU Chunsheng<sup>1,2</sup>, WANG Wenjie<sup>2</sup>, LIU Xiaofu<sup>2,3</sup>, ZHANG Zhe<sup>2</sup>, GUO Xiang<sup>1,2</sup>, CHEN Chen<sup>1,2</sup> and FENG Yu<sup>2</sup>

(1. College of Architecture and Urban Planning, Human University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China;

3. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Wenchuan Earthquake caused great damage to the ecological environment in the disaster-stricken area. In order to know the current recovery of the ecological environment damaged by the earthquake and provide data support for relevant researchers and decision makers, this paper took Landsat TM remote sensing images of June or July during 2006, 2008 and 2011 of Wenchuan earthquake disaster-stricken area as data sources, used computerized and artificial visual interpretation method to extract the land uses information of the study area, and combined topographic factors such as elevation and slope to comprehensively analyze the reasons of the change of major ecosystems (farmland, forest and grassland). The results showed that the earthquake damaged the ecosystem of the study area seriously, resulting in substantial shrinking of farmland, forest and grassland by 124.6 km<sup>2</sup>, 461.6 km<sup>2</sup> and 92.3 km<sup>2</sup> respectively in the study area, and the farmland ecosystem had the most serious loss in Beichuan, Qingchuan and Pingwu counties, while the forest ecosystem lost 285.5 km<sup>2</sup> in Wenchuan County. The degree of influence on each ecosystem also varies a lot according to different altitudes and slopes. Up to the 2011, the status of the damaged ecosystem had got better in the study area through natural succession and artificial restoration intervention. Farmland, forest and grassland ecosystems had experienced certain degree of recovery, their areas increased 82.8 km<sup>2</sup>, 58.3 km<sup>2</sup> and 174.9 km<sup>2</sup> respectively. The recovery of farmland and forest ecosystems is not satisfactory while the area of grassland ecosystem had got the most increase, in 2011 which had exceeded the reduced area damaged by the earthquake in 2008, whereas the whole recovery of the ecosystems in research area was not ideal. Further measures of ecological recovery are thus in dire need of.

**Key words:** Wenchuan Earthquake; ecological recovery; Landsat TM