

汶川地震前后茂县植被覆盖度变化研究

罗慧芬^{1,2}, 苗放^{1,2}, 叶成名^{1,2}, 赵国祥^{1,2}

(1. 成都理工大学 地球物理学院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 地球探测与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:“5·12”汶川地震引起的滑坡、泥石流、崩塌等次生地质灾害对灾区的植被覆盖造成严重的破坏。茂县地处于地震重灾区,查清地震对茂县植被覆盖的破坏程度可为植被修复提供参考依据,便于防控水土流失和地质灾害隐患。选取茂县地震前后 Landsat 5 TM 的遥感影像作为数据源,采用归一化植被指数和像元二分法为估算模型,提取地震前后茂县植被覆盖度数值。通过对数据的研究将该区植被覆盖度划分为 4 级:高植被覆盖区、中植被覆盖区、低植被覆盖区和无植被覆盖区,并对每种覆盖类型的变化进行统计分析。结果表明,地震对高植被覆盖区的影响最严重,中植被覆盖区的影响次之,低植被覆盖区的影响最小;植被覆盖度破坏较严重的区域主要分布在坡度大于 40°的地区。

关键词:汶川地震;辐射定标;归一化植被指数;像元二分法;植被覆盖度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0202-04

中图分类号: TP79, X171

Vegetation Coverage Change of Maoxian County Before and After Wenchuan Earthquake

LUO Hui-fen^{1,2}, MIAO Fang^{1,2}, YE Cheng-ming^{1,2}, ZHAO Guo-xiang^{1,2}

(1. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan

610059, China; 2. Key Laboratory of Earth Exploration & Information Techniques of

Ministry of Education, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Landslides, mudslides, avalanches and other secondary geological disasters, triggered by "5·12" Wenchuan earthquake, have severely damaged vegetation in the region. Maoxian County is one of the earthquake disaster areas. Identifying changes of Maoxian County's vegetation coverage can provide a reference for vegetation restoration and is helpful to control soil erosion and geological disasters. Landsat-5 TM remote sensing images for Maoxian County before and after the earthquake are selected as a data source and the normalized difference vegetation index and dimidiate pixel estimation model are used to analyze the vegetation coverage changes. Through the study of the data, the vegetation coverage is divided into high vegetation coverage, moderate vegetation coverage, low vegetation coverage and no vegetation coverage areas. Statistical analysis is made for the coverage change in each area. Results show that the earthquake has severely affected Maoxian County's vegetation coverage, with the high vegetation coverage area being most seriously affected and the low vegetation coverage area being least affected. The more seriously damaged area is mainly distributed in the slope of more than 40°.

Keywords: Wenchuan earthquake; radiometric calibration; normalized difference vegetation index; dimidiate pixel model; vegetation coverage

植被作为土地覆被系统的主要组成,是陆地生态系统存在的基础,是连接人类土地利用、土壤、大气和水分的自然“纽带”^[1]。地震引发的地质灾害以及各种次生灾害必然导致植被覆盖度发生相应的变化,依靠传统的方法估算植被覆盖度费事费力而且精度不

高,利用遥感对植被覆盖度快速估算和分析,有助于弥补传统方法的不足。本文选取季节相近的汶川地震前后的 Landsat 5 TM 遥感图像作为数据源对茂县的植被覆盖度进行提取,并对提取结果进行分析。大气作为影响电磁辐射传输的主要因素,势必影

收稿日期:2012-11-08

修回日期:2012-11-15

资助项目:四川省科技厅支撑计划项目“基于 RS 和 GIS 的地震灾区生态环境监测技术与应用研究”(2009SZ0108);国家自然科学基金项目“综合多特征的建筑物震害 SAR 图像定量检测研究”(41001253)

作者简介:罗慧芬(1981—),女(汉族),山西省定襄县人,在读博士研究生,研究方向为遥感技术及应用。E-mail:luohuif@foxmail.com。

响到植被指数,对于植被而言,大气影响在红波段增强了辐射,而在近红外波段降低了辐射,从而使植被指数减小,因此,辐射校正是遥感图像预处理的关键^[2-3];通过计算影像的归一化植被指数(NDVI)和植被覆盖度(f_c),反演地表植被覆盖度的信息;最后研究分析地震前后植被覆盖度的变化情况。本研究可为植被恢复工作提供有效的科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

茂县位于阿坝自治州东南部,四周与北川、安县、绵竹、什邡、彭县、汶川、理县、松潘 9 个县相邻。地理坐标为北纬 $31^{\circ}24'—32^{\circ}17'$,东经 $102^{\circ}56'—104^{\circ}10'$,南北宽 94.8 km,东西长 116.5 km,面积 3 885.6 km²。茂县地处青藏高原向川西平原过渡地带,高山耸峙、峰峦叠嶂、河谷深邃、悬崖壁立,北有岷山,南有龙门山,西有邛崃山脉,有“峭峰插汉多阴谷”之称。境内地质构造复杂,地处龙门山地震带,是全国地震活跃地区之一。

1.2 数据选择及预处理

1.2.1 数据选择 植被是地理环境中的重要组成部分,是反映地理环境的标志,它与气候、土壤、地貌等条件相适应,受多种因素控制,对环境的依赖性很大,对其他因素的变化也很敏感。遥感是提取植被指数的有效方法,但植被指数受到许多因素的影响,如时相、大气效应、太阳高度角与方位角、地形效应等因素的变化均会对其造成影响。为了全面反映植被信息,选择植被生长旺盛期的遥感数据。本文选择 2008 年“5·12”大地震前后的季节相近的 TM 5 遥感数据(2007,9,18 和 2008,7,18)作为研究的数据源(表 1)。

表 2 Landsat-5 TM 增益、偏移量及大气层顶平均太阳光谱辐照度(E_{sun})

波段	1	2	3	4	5	7
07 增益	1.268 8	2.981 3	1.761 9	2.817 7	0.652 8	0.443 8
07 偏移	-0.010 0	-0.023 2	-0.007 8	-0.019 3	-0.008 0	-0.004 0
08 增益	0.999 9	2.424 3	1.363 4	2.629 0	0.587 7	0.386 8
08 偏移	-0.010 0	-0.023 2	-0.007 8	-0.019 3	-0.008 0	-0.004 0
09 增益	1.268 8	2.981 3	1.761 9	2.817 7	0.652 8	0.443 8
09 偏移	-0.010 0	-0.023 2	-0.007 8	-0.019 3	-0.008 0	-0.004 0
TM ₅ E_{sun}	1 957.00	1 826.00	1 554.00	1 036.00	215.00	80.67

1.3 研究方法

1.3.1 像元二分法模型 传感器所获取的地面反射或发射光谱信号是以像元为单位记录的,它是像元所对应的地表物质光谱信号的综合。图像中每个像元所对应的地表往往包含不同的覆盖类型,它们有不同的光谱响应特征,而每个像元只有一个信号记录这些

表 1 卫星影像参数及头文件信息

获取时间	传感器	卫星	景号	太阳方位角/(°)	太阳高度角/(°)
20070918	TM	L5	130/38	141	55
20080718	TM	L5	130/38	107	67

1.2.2 数据预处理 利用传感器观测地物目标辐射或反射的电磁能量时,从传感器得到的观测值与地物目标本身的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理量并不一致,传感器本身的光电系统特征、太阳高度、地形以及大气条件等都会引起光谱亮度的失真,需要尽量消除这些失真而反演出正确的地物反射特征(表 2)。研究表明,可以通过辐射校正消除图像中的各种失真^[1,4-5]。辐射定标是消除由传感器的灵敏度特征引起的畸变,辐射定标后可以计算出相应的辐射亮度值和表观反射率。TM₅ 遥感数据 1 级产品的 DN 值是由辐射亮度经线性变换得到的,因此根据遥感数据头文件提供的信息,定标增益和偏移量系数,并根据这些定标系数将遥感影像的 DN 值转换为辐射亮度值,其计算公式为:

$$L_i = \text{Gain}_i \times \text{DN} + \text{Bias}_i \quad (1)$$

式中: L_i ——大气层顶进入传感器的光谱辐射亮度值 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr}^2 \cdot \mu\text{m})$]; $\text{Gain}_i, \text{Bias}_i$ ——波段 i 的定标增益系数和偏移量系数 [$\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$]; DN——TM 影像像元灰度值。下同。

表观反射率的计算公式为:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_i \cdot D^2}{E_{sun} \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

式中: ρ ——大气层顶表观反射率(无量纲); D ——日地之间距离; E_{sun} ——大气层顶的太阳光谱辐照度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$]; θ ——太阳的天顶角。

成分。若像元仅包含一种地物类型,则为纯像元,它所记录的是一种类型的光谱响应信号;若像元包含不止一种土地覆盖类型,则称为混合像元,它记录的是所对应的不同土地覆盖类型光谱响应特征的综合^[2]。

假设每个像元的信息可以分为土壤与植被 2 部分,通过传感器所观测到得信息 S ,可以表达为植被

组分 S_s 和土壤组分 S_v : $S = S_s + S_v$ [6-7]。将 S 线性分解为 S_s 和 S_v 两部分;像元中有植被覆盖的面积比例即该像元的植被覆盖度为 f_c , 土壤覆盖的面积比例相应地为 $1 - f_c$ 。

假设,全植被覆盖像元的遥感信息为 S_{veg} , 无植被覆盖的裸土像元的遥感信息为 S_{soil} , 像元中植被成分所贡献的信息 S_v 可以表示为: $S_v = S_{veg} \times f_c$; 同理, 土壤成分所贡献的信息 S_s 可以表示为: $S_s = S_{soil} \times (1 - f_c)$ 。由上述公式可以得到:

$$S = S_{veg} \times f_c + S_{soil} \times (1 - f_c) \quad (3)$$

由式(3)可得出植被覆盖度的公式:

$$f_c = \frac{S - S_{soil}}{S_{veg} - S_{soil}} \quad (4)$$

1.3.2 NDVI 估算植被覆盖度 植被遥感中,归一化植被指数 NDVI(normalized difference vegetation index)是目前最广泛使用的一种植被指数[8-11], NDVI 是植被覆盖度的最佳指示因子;它可以部分消除与太阳高度角、卫星观测角、地形、云阴影和大气条件有关的辐照度条件等影响,其公式为近红外波段与可见光波段数值之差和这 2 个波段数值之和的比值,其公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (5)$$

式中: NIR——近红外波段; R ——可见光波段。

根据像元线性分解模型可将图像的 NDVI 看成由 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 这两部分组成[8], 结合式(4), (5)可以得出利用 NDVI 计算植被覆盖度的公式:

$$f_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (6)$$

式中: $NDVI_{veg}$ ——全植被覆盖像元的 NDVI 值;

$NDVI_{soil}$ ——无植被覆盖的裸土像元的 NDVI 值。

1.3.3 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 值的确定 确定 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 取值是采用像元二分法模型提取植被覆盖度需要解决的关键问题。理论上, $NDVI_{veg}$ 值大小接近于 1, $NDVI_{soil}$ 值大小接近于 0。但是受大气状况、地表粗糙度、地表水分等因素的影响, $NDVI_{soil}$ 值和 $NDVI_{veg}$ 值会随着时间和空间而改变。

本研究中采用光谱混合分析中的端元提取方法, 提取植被端元和土壤端元, 将植被端元的最大 NDVI 值作为 $NDVI_{veg}$, 土壤端元的最小值作为 $NDVI_{soil}$ 。研究中采用 ENVI 软件中的纯像元指数(pixel purity index, PPI)模块和 N 维可视化工具收集端元波谱, 将采集到的端元与图像相结合提取参数 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 的值。将得到的参数 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 代入式(6)进行反演计算得到茂县的植被覆盖度, 其值范围为 0~1, 0 代表全裸土像元, 1 代表全植被像元。

2 结果与分析

2.1 地震前后茂县植被覆盖分级结果

通过上述方法得到茂县 2007 年 9 月和 2008 年 7 月植被覆盖度影像, 根据相关资料结合茂县土地利用现状、植被覆盖特征以及 TM 影像的精度, 通过密度分割将研究区植被覆盖度划分为 4 级: I. 无植被地区, 主要由水体、云、建筑用地和裸地等构成; II. 低植被覆盖区, 植被覆盖度小于 30%, 主要是草地、疏林地; III. 中植被覆盖区, 植被覆盖度为林地、园地及耕地等; IV. 高植被覆盖区, 植被覆盖度大于 60%, 指植被密集的灌木林等(图 1)。

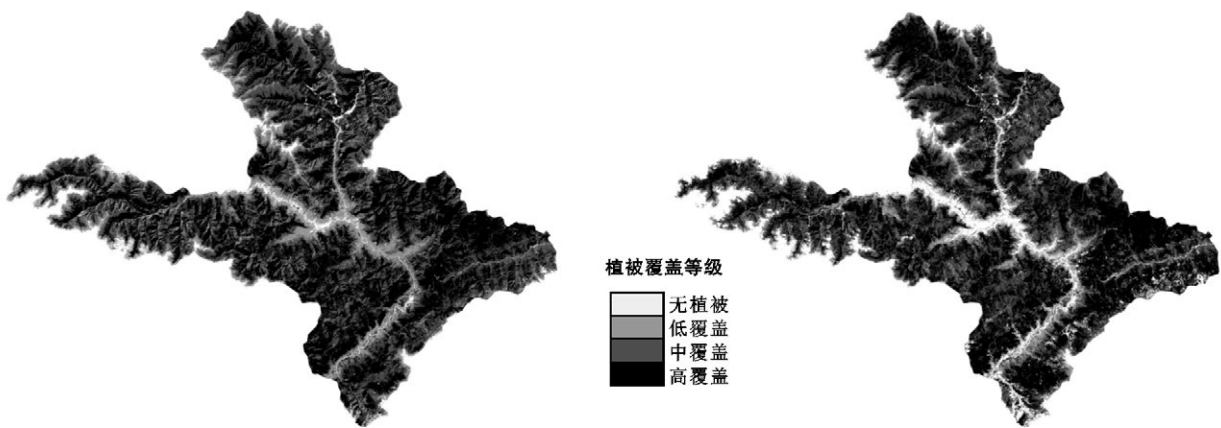


图 1 地震前后植被覆盖度分级

2.2 地震前后茂县植被覆盖变化分析

地震前后茂县植被覆盖状况统计结果表明(如图 1 和表 3 所示), 茂县在震前植被覆盖程度较高, 地震造成茂县的无植被面积由震前的 173.45 km² 增加到

震后的 448.96 km², 增加 7.16%。其中, 高植被覆盖度损毁最严重, 面积减少 154.71 km², 面积率由震前的 46.00% 减少到震后的 41.98%, 减少了 4.02%; 中植被覆盖度的面积比率由 33.40% 减少到

31.10%，减少了 2.3%，面积为 88.50 km²；低植被覆盖区损毁较轻，面积比率由 16.09% 减少到 15.25%，减少了 0.84%，面积约 32.38 km²。

表 3 地震前后植被覆盖度统计结果

植被覆盖等级	无植被覆盖区	低植被覆盖区	中植被覆盖区	高植被覆盖区
震前像元个数	192 721	687 852	1 427 659	1 966 369
震后像元个数	498 846	651 876	1 329 401	1 794 477
震前面积/km ²	173.45	619.07	1 284.89	1 769.73
震后面积/km ²	448.96	586.69	1 196.46	1 615.02
震前百分比/%	4.51	16.09	33.40	46.00
震后百分比/%	11.67	15.25	31.10	41.98
面积变化/km ²	275.51	-32.38	-88.43	-154.71

由植被覆盖度分级图与茂县坡度图(附图 5)进行叠加对比分析可知,地震对茂县植被损毁较严重的地区主要集中在大于 40°坡度,这些地区也是滑坡、崩塌、泥石流等次生地质灾害严重发育地段。

3 结论

(1) “5·12”汶川地震对灾区植被覆盖产生很大的影响,为了调查地震对茂县植被覆盖度的影响程度,本文选取地震前后茂县的 TM 5 影像为数据源,通过对影像进行处理提取植被覆盖度并进行统计和分析。实践证明,遥感可以有效地提取大范围的植被覆盖状况,为植被恢复工作提供有力的科学依据。

(2) 首先对地震前后研究区影像进行辐射校正,对图像的 DN 值转换为地表实际反射率;然后根据地表反射率计算归一化植被指数,采用像元二分法估算植被覆盖度;将研究区植被覆盖度分为 4 级:低覆盖度、中覆盖度、高覆盖度以及无植被地区,通过像元二分法模型得到地震前后植被覆盖度分级图和统计表。

在获得地表实际反射率的基础上,采用像元二分法模型反演植被覆盖度是确实可行的方法。

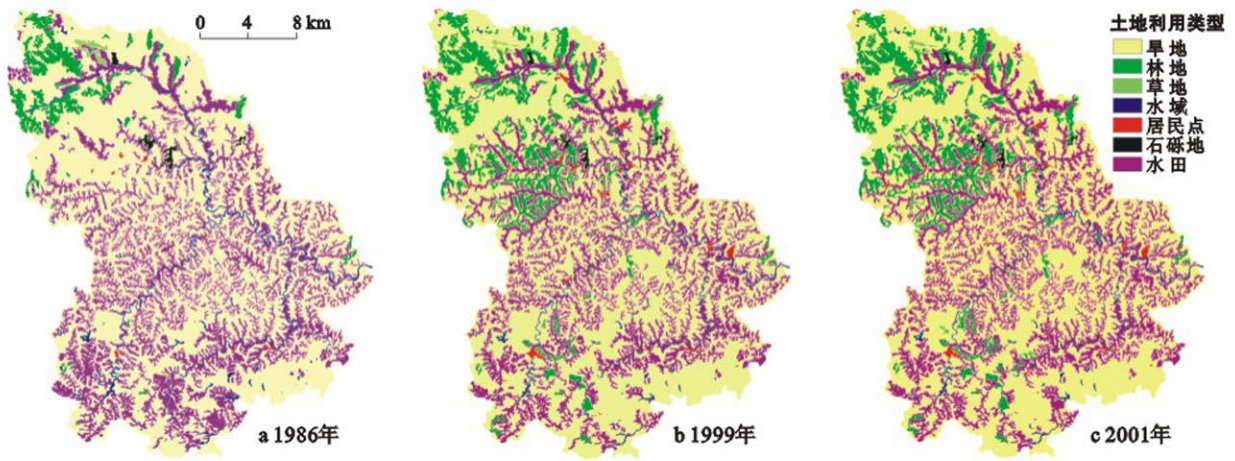
(3) 研究结果表明,地震对茂县的植被覆盖状况产生了明显变化,无植被覆盖区面积比率增加了 7.16%,面积为 275.5 km²;其中高植被覆盖区破坏最为严重,中植被覆盖区破坏程度次之,低植被覆盖区变化最小;植被覆盖变化程度较大的区域主要分布在坡度大于 40°的地段,也是次生灾害发育的地方。相关部门应针对这些地区采取有效的生态修复和植被恢复重建手段,以控制水土流失和地质灾害隐患。

[参 考 文 献]

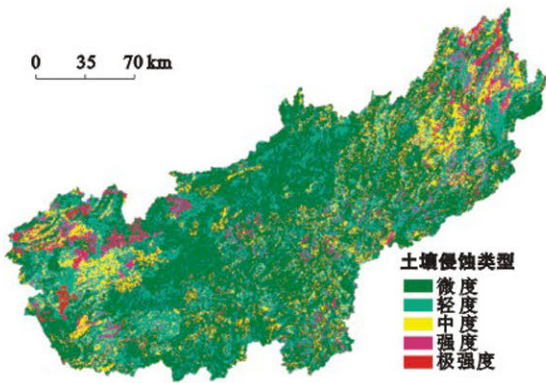
- [1] 孙丹峰. 土地利用/覆被遥感分析[M]. 北京:中国大地出版社,2006:114-138.
- [2] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:172-175,372-375.
- [3] 陈晓玲,赵红梅,田礼乔. 环境遥感模型与应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008:16-20.
- [4] 王桥,杨一鹏,黄家柱,等. 环境遥感[M]. 北京:科学出版社,2005:346-366.
- [5] 池宏康,周广胜,许振柱,等. 表现反射率及其在植被遥感中的应用[J]. 植物生态学报,2005,29(1):74-80.
- [6] 马志勇,沈涛,张军海,等. 基于植被覆盖度的植被变化分析[J]. 测绘通报,2007(3):45-48.
- [7] 陈涛,李平湘,张良培. 武汉地区 1988—2002 年植被覆盖度变化动态分析[J]. 遥感技术与应用,2008,23(5):511-515.
- [8] 王兮之,梁钊胸. 基于 MODIS 数据的湟水流域植被覆盖变化研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(6):137-142.
- [9] 李营,张峰,王桥. 呼伦贝尔草原植被覆盖状况时空演变特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(6):126-131.
- [10] 任志明,李永树,蔡国林. 一种利用 NDVI 辅助提取植被信息的改进方法[J]. 测绘通报,2010(7):41-43.
- [11] 杨胜天,刘昌明,杨志锋,等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报,2003,57(1):11-18.
- [12] 刘忠玉,马崇武,苗天德,等. 高速滑坡远程预测的块体运动模型[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(6):742-746.
- [13] 汪洋,刘波,汪为. 滑坡速度计算的改进条分法[J]. 安全与环境工程,2004,11(3):68-70.
- [14] 缪吉伦,陈景秋,张永祥. SPH 方法在自由表面流体研究中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(3):20-23.
- [15] Liu Guirong, Liu Moubing. Smoothed particle hydrodynamics: A meshfree particle method [M]. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2003:26-32.
- [16] Roubustova V, Kahavita R. The SPH technique applied to free surface flows[J]. Computers & Fluids, 2006,35(10):1359-1371.
- [17] Joseph P Morris, Patrick J Fox, Zhu Y. Modeling low reynolds number incompressible flows using SPH[J]. Journal of Computational Physics, 1997,136(1):214-226.
- [18] 任兴伟,唐益群,代云霞,等. 滑坡初始涌浪高度计算方法的改进及其应用[J]. 水利学报,2009,9(40):1116-1119.

(上接第 179 页)

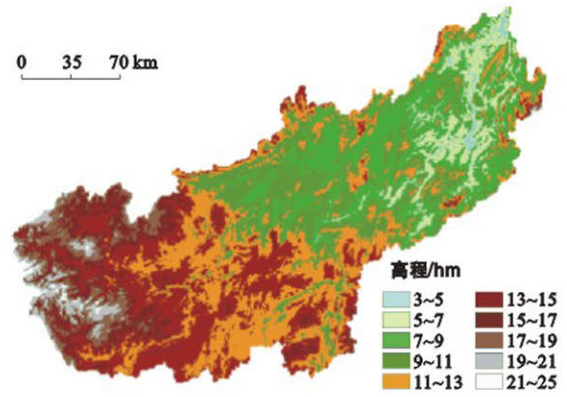
- [11] Miao Tiande, Liu Zhongyu, Niu Yonghong, et al. A sliding block model for the runout prediction of high-speed landslides[J]. Can. Geotech. J., 2001,38(2):217-226.
- [12] 刘忠玉,马崇武,苗天德,等. 高速滑坡远程预测的块体运动模型[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(6):742-746.
- [13] 汪洋,刘波,汪为. 滑坡速度计算的改进条分法[J]. 安全与环境工程,2004,11(3):68-70.
- [14] 缪吉伦,陈景秋,张永祥. SPH 方法在自由表面流体研究中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(3):20-23.



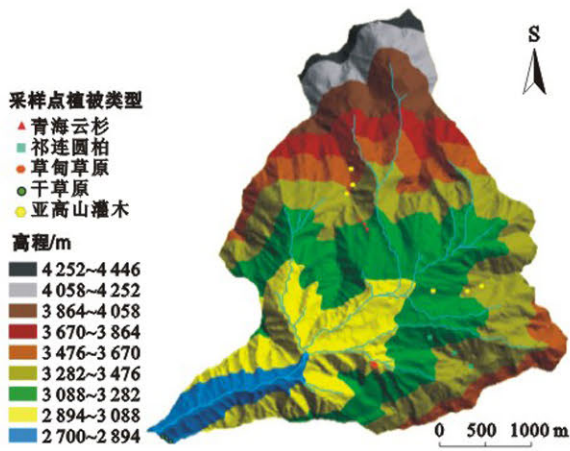
附图1 四川省紫色丘陵区不同时期土地利用类型



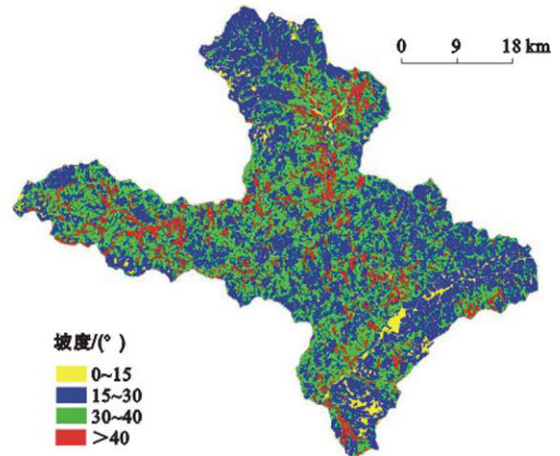
附图2 2000年乌江流域土壤侵蚀类型



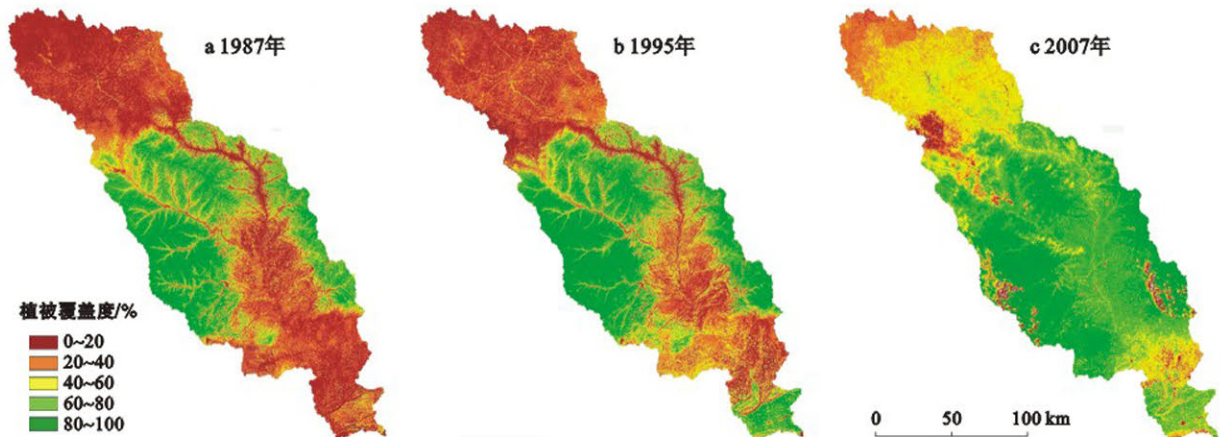
附图3 乌江流域高程等级分布



附图4 采样点在天老池流域中的分布



附图5 四川省茂县坡度分布



附图6 北洛河流域1987,1995和2007年植被覆盖度对比