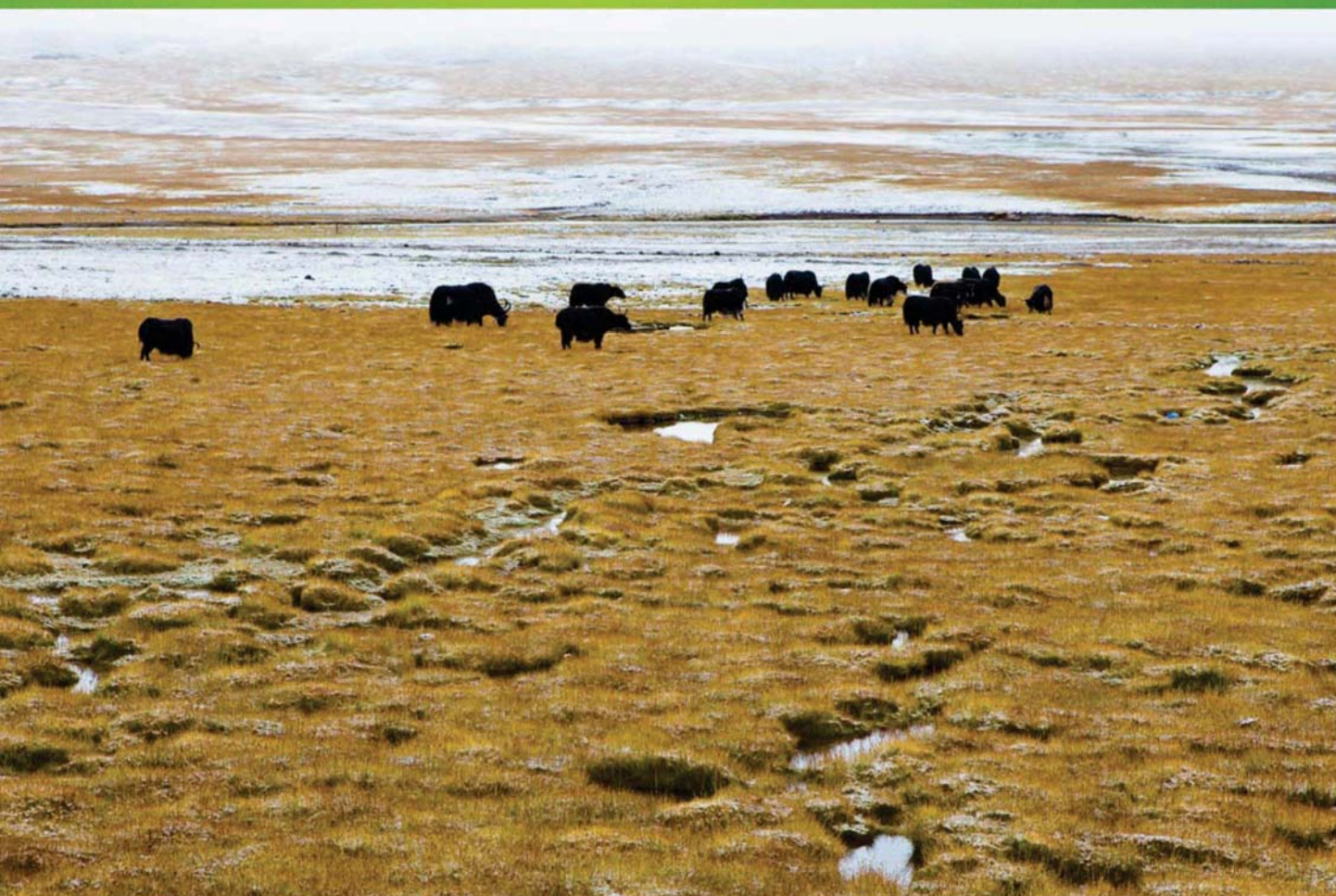


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张 锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例..... 敖长林,陈瑾婷,焦 扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜 春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆 璞,张 伟,华 彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201206300918

许积层,唐斌,卢涛. 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段为例. 生态学报, 2013, 33(16):4966-4974.

Xu J C, Tang B, Lu T. Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal Landsat TM images: a case study of the Yingxiu-Wenchuan section. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16):4966-4974.

基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区 河岸带植被覆盖动态监测 ——以岷江河谷映秀-汶川段为例

许积层^{1,2}, 唐斌², 卢涛^{1,*}

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059)

摘要: 基于混合像元分解方法, 利用 Landsat TM 卫星遥感数据监测了岷江上游干旱河谷区映秀-汶川段河岸带植被在汶川地震前后的植被覆盖动态变化, 并结合高程、坡度及坡向数据, 分析了植被受损及地震 3a 后植被恢复的空间分布特征。结果表明, 地震造成研究区河岸带植被的受损总面积为 2736.61hm², 且集中分布在海拔 1100—1700m, 坡度 25—55° 之间以及东、东南和西坡; 地震 3 年后, 受损植被与震前相比, 共恢复了 56.20%。

关键词: 汶川地震; 混合像元分解; 河岸带; 植被动态

Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal Landsat TM images: a case study of the Yingxiu-Wenchuan section

XU Jiceng^{1,2}, TANG Bin², LU Tao^{1,*}

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China

2 Geosciences College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Disturbances, especially large and infrequent disturbances are usually understood as events that disrupt the equilibrium state of an ecosystem by producing abrupt changes in its structural and functional characteristics that may persist for decades to centuries. Earthquake, as a typical catastrophic disturbance event, plays an important role in several ecological processes by partially or completely removing the vegetation layer. The Wenchuan Earthquake (Richter scale 8) on May 12, 2008 in southwestern China caused widespread ecosystem damages in Longmenshan area. It is important to evaluate the natural vegetation recovery process and provide basic information on ecological aspects of the recovering environment after the earthquake. To circumvent weather limits of remote sensing in the Wenchuan earthquake-hit areas and to meet the need for regional observation analyses, three Landsat TM images pre- and post-earthquake in the Minjiang arid valley were used for analysis. The post-earthquake vegetation cover values were compared to the pre-earthquake value to determine the extent to which the vegetation was damaged in relation to the pre-earthquake pattern, and the rate of recovery was evaluated. Spatial characteristics of vegetation loss and natural recovery pattern were analyzed in relation to elevation, slope and aspect. Our study focused on the following four aspects: (1) to detect the changes in riparian vegetation cover at

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-YW-Z-0959, KSCX2-EW-J-22); 国家自然科学基金项目(30900214)

收稿日期: 2012-06-30; **修订日期:** 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lutao@cib.ac.cn

different stages of the Wenchuan earthquake sequence, (2) to analyze the difference/similarity in the spatial distribution and recovery trajectories of the damaged vegetation under different geomorphological conditions, (3) to understand to what extent does the vegetation cover reestablish after the earthquake and (4) to track the rate of post-earthquake vegetation recovery. Results of this study indicated that the severely damaged sites occurred mainly within the range of 1100—1700m elevation and on slopes of 25—55°. After three year of natural regeneration, 56.20% of the destroyed areas were recovered. Moreover, there is a good correlation between recovery rate and both slope and elevation, and the recovery patterns are complicated in the damaged area. Our study showed that there was a high congruency between recovery rate and both slope and elevation, and the recovery patterns were complicated. Our analyses provided very useful information for decision-making and policy-planning in the arid valley of Minjiang River after the Wenchuan earthquake. Although the natural recovery for the vegetation is a slow process, most of the earthquake-induced damages can be restored to their original condition through natural succession. Thus, human assistance or disturbance may not be a good way to treat most of the damaged areas of natural vegetation regrowth capability. To assist the natural succession or original vegetation recovery, human interference and ecotechnology measures should only be introduced to areas where vegetation regrowth is difficult, such as the areas with unstable surfaces.

Key Words: Wenchuan earthquake; spectral unmixing; riparian zone; vegetation recovery

干扰是驱动自然生态系统发展的重要因素之一^[1]。地震尤其是大型地震作为一种典型的突发性剧烈扰动,会造成自然生态系统结构和功能部分或彻底的毁坏与瓦解,并将持续影响区域生态系统功能^[2]。如果地震发生在山区,其对生态系统的影响就更加明显。因为山地生态系统往往脆弱性更强,抗干扰能力更弱,严重退化后恢复困难^[3]。目前已有的关于地震对山地生态系统的研究表明,地震造成的生态系统退化实际上是地质活动与山地表生过程综合驱动的结果^[4]。地处青藏高原和四川盆地过渡地带的岷江上游地区是 5.12 汶川特大地震的重灾区,地震及其次生灾害在该区引发了大面积的滑坡、崩塌、泥石流等灾害,对区域植被及生态环境造成了巨大破坏^[5-6]。

作为水陆之间的交错带,河岸带是陆地生态系统和水生生态系统之间进行物质、能量、信息交换的重要生态过渡带,其与河流系统一起构成连接整个流域上下游的廊道,并成为一个连续、独特而完整的系统^[7-8]。由于其结构、功能上的特殊性,河岸带已成为生物多样性保护^[9-10]以及流域生态水文功能实现^[11-12]的热点区域。与此同时,河岸带植被作为河岸景观基质极易受到外部扰动的影响,是潜在的敏感地段^[13-14]。已有研究表明,岷江上游干旱河谷地区是受地震影响最为严重的区域之一^[6,15]。但目前对于河谷地区河岸带植被地震前后生态过程的变化及灾后植被恢复的进程、速率以及特点等都还不清楚。

植被覆盖度是描述植被质量及反映生态系统变化的重要基本参数^[16-17]。目前,植被指数和混合像元分解是提取植被覆盖度的主要方法^[18]。由于植被指数在用于植被盖度估算时,往往存在背景污染、饱和及非线性等问题;相比之下,混合像元方法是基于光谱反射前向模型的像元内不同组分丰度的最优化求解,物理意义明确,所得结果即为各种地物的丰度^[19-21]。其中,线性光谱混合模型(LSMM, Linear Spectral Mixture Model)目前是国内外研究最深入、应用最广泛的混合像元分解模型,并已在山区^[22-24]、干旱半干旱区^[25-26]、城市及周边^[27-28]等不同区域的植被覆盖度估算中得到成功应用。

岷江上游的干旱河谷地区由于天气及云层掩盖的影响,使得可用于植被覆盖度分析的生长季遥感影像受到了极大的限制,多数影像往往云量多且云层厚,部分甚至整景影像的信息几乎都为云层所屏蔽,失去了使用价值^[6]。本研究以受汶川 5.12 地震破坏最为严重的干旱河谷区河岸带植被为研究对象,利用研究区可获得的质量较高的多时相 TM 影像,通过线性光谱混合分解模型提取受损植被及植被恢复信息,定量监测其植被动态及空间分布特征,以期对灾后岷江上游乃至相似地区的生态恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况

岷江上游干旱河谷区位于四川省阿坝藏族羌族自治州东部,为横断山区东北缘,大地构造地貌上属青藏高原与四川盆地的过渡地带。该区的主要地质构造为新构造运动强烈的龙门山断裂带,地震活跃,地貌类型以高山峡谷为主,岭谷相对高度在 1500—3000m 之间^[29]。在这种特殊地质地貌以及大气环流的共同作用下,焚风效应显著,年降水量约 500—600mm,仅为年蒸发量的 1/3;土壤类型主要为贫瘠的山地棕壤土和山地褐土;植被类型多为带刺、多毛、叶片角质发达的灌木,及耐旱种类的草本^[30]。

本研究选择岷江上游干旱河谷的映秀\汶川段为研究对象。河岸带范围的界定以岷江河道主干东西两侧各 1.5km 所限定的区域,具体范围介于东经 103° 27'— 103° 36'、北纬 31° 3'— 31° 30' 之间,河谷长度 59.19km,涵盖面积 155.84km²。

2 研究方法

2.1 数据源及遥感数据处理

本研究分别选取成像时间为 2007/09/18(震前)、2008/07/18(震后 2 个月)以及 2011/08/28(震后 3 年)获取的轨道号为 130/38 的 3 景 Landsat 5 TM 影像(数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台 <http://datamirror.csdb.cn/>)。利用 ENVI 4.6 软件对 3 个时相的 TM 遥感影像进行几何配准,校正误差严格限制在 0.5 个像素以内。通过大气辐射定标将 DN 值转换成反射率,从而消除传感器造成的内部误差。同时采用光谱归一化方法解决地表覆被类型的光谱变异。

DEM 数据同样来自于上述数据服务平台,空间分辨率 30m。利用 ArcGIS 9.3 软件对其进行图像镶嵌、投影转换及研究区提取等处理,并提取海拔、坡度及坡向信息。

2.2 基于线性混合像元分解的植被盖度提取

线性光谱混合模型能够区分主要的地表覆被类型,并较好地分解混合像元,直接确定植被覆盖度^[31-32]。该模型是指像元的光谱反射率由构成像元的端元(Endmember)的反射率及其所占像元面积百分比为权重值的线性组合,具体表达式为:

$$R_{ib} = \sum_{k=1}^n F_{ki} RE_{kb} + \varepsilon_{ib} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ki} = 1 \quad (2)$$

$$0 \leq F_{ki} \leq 1 \quad (3)$$

式中, R_{ib} 为第 b 波段第 i 像元的反射率; F_{ki} 为第 i 个像元第 k 个端元所占像元面积的比例; RE_{kb} 为第 b 波段第 k 个端元的反射率; ε_{ib} 为第 b 波段第 i 像元的残差值; n 为端元数目, $n \leq$ 波段数+1。

2.2.1 端元选取

端元的选择是线性光谱混合模型的关键,并直接关系到端元的拟合精度。本研究根据 TM 影像信息所包含的主要地表覆被类型选择端元。具体步骤为:(1)将 3 个时相的 TM 影像进行最小噪声变换(MNF),进而获得 6 个 MNF 主成分,通过目视检验和特征值分析,有超过 90% 的影像信息集中在前 3 个主成分,而后 3 个主成分主要为噪音;(2)将 MNF 变换后得到的前 3 个主成份进行像元纯度指数(PPI)计算,利用 PPI 计算结果进入 MNF 空间进行 N 维散度分析,在 MNF 空间中的 PPI 多面体顶点选择端元,顶点位置分别对应研究区域的 3 种主要地表覆被类型:植被、土壤以及阴影,其光谱特征如图 1 所示;(3)利用上述 3 个端元对前 3 个主成份的 MNF 影像进行分解,得到植被、土壤和阴影 3 个分量的影像。

2.2.2 精度评价

已有研究表明,通过地面实际测量得到混合像元的比例非常困难^[33]。尤其是对缺少站点实测数据且空间异质性较强的山区来说,利用实测资料进行的精度评价其结果往往不具有代表意义。因为遥感影像表现出的是面状信息,以点状资料进行的精度评价只能反映局部信息,而无法从整体上对其特点及质量做出有效评价^[34]。因此,本文采用均方根误差(RMSE)评价的方法来进行模型拟合精度验证。结果表明,3 个时相 TM

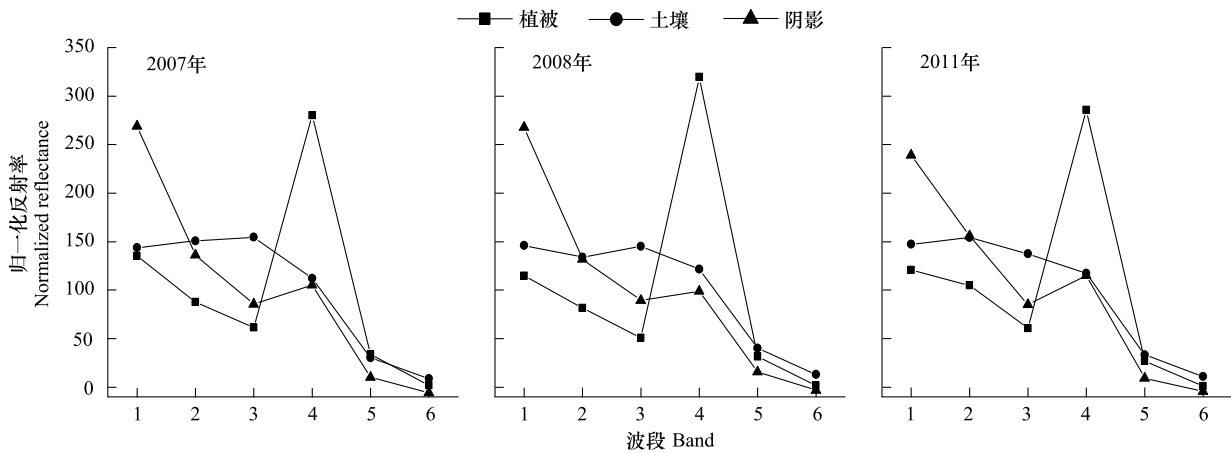


图 1 2007、2008 和 2011 年 TM 影像端元反射特征图

Fig. 1 Spectral characters of endmembers derived from the TM images in 2007, 2008 and 2011

影像分解的 RMSE 均值(表 1),均小于 0.025,符合线性光谱混合模型精度评价要求^[22]。说明通过线性光谱混合模型的方法对研究区植被盖度的变化进行动态监测是可行的。

表 1 线性光谱混合分析的均方根误差统计表

Table 1 Statistical RMSE of linear spectral unmixing analysis

年份 Year	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 S. D.
2007	0.000000	0.080072	0.005988	0.004761
2008	0.000000	0.017745	0.002305	0.001806
2011	0.000000	0.097329	0.019488	0.015005

一般认为,植被分量与可以有效探测植被覆盖状况的 NDVI 存在密切关系^[32]。为了进一步验证所选择线性光谱混合分解模型的正确性及植被分量的可靠性,在各时相植被分量影像和 NDVI 影像上,随机选择了 250 个点进行线性拟合,结果决定系数 R^2 均大于 0.8 ($P=0.000$),表明本研究所选择的模型及植被分量都是较为可靠的(图 2)。

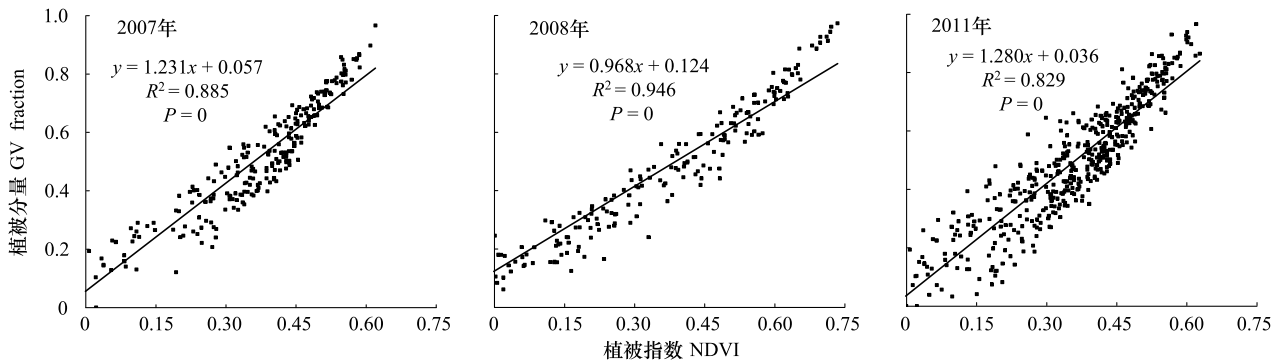


图 2 各时相植被分量与植被指数的回归图

Fig. 2 The linear regression between GV fraction and NDVI derived from TM images in 2007, 2008 and 2011

2.3 植被受损及恢复信息提取

根据研究区的实际情况及野外实地调查验证,采用影像密度分割的方法,当 2007—2008 年度区域的植被分量减少量 $\geq 10\%$ 时,将其判别为受损区。在提取出的植被受损区中,当 2008—2011 年度区域植被分量增加量 > 0 时,将其判别为植被恢复信息。具体植被受损及恢复等级分类(表 2)。

表 2 滑坡体受损与恢复植被覆盖度分级

Table 2 The classification of the damage and recovery vegetation fraction

等级 Classification	2007—2008 年受损植被覆盖度降低幅度 2007—2008 GV fraction damage/%	2008—2011 年恢复植被覆盖度增加幅度 2008—2011 GV fraction recovery/%
低度 Low	10—30	0—30
中度 Medium	30—60	30—60
高度 High	60—100	60—100

3 结果与分析

3.1 植被受损评价

分析结果表明(图 3,表 4),地震造成汶川—映秀段河岸带植被的总受损面积为 2736.61hm²,占研究区总面积的 17.56%。其中以中度、高度植被受损为主,二者的面积为 2181.80hm²,占总受损面积的 79.76%,且主要集中在汶川—映秀段的南半段河岸;而低度受损植被的面积比例仅为 20.24%。

表 3 进一步显示了因地震而造成的植被受损的空间分布特征。可以发现,多达 74.92% 的植被受损集中在海拔 1100—1700m 之间,海拔 1100m 以下及 1700m 以上植被受损面积仅为 25.08%。其中植被受损最为严重的区域集中在海拔 1300—1500m,面积为 758.52hm²;其次分布在海拔 1100—1300m,受损面积 752.83hm²。坡度 25—55°的区间是植被受损的主要分布区,受损面积占总受损面积的 82.65%。其中受损最为严重的区域分布在 35—45°之间,占总受损面积的 42.89%;其次是在坡度 25—35°之间的植被受损,占总受损面积的 21.64%。就坡向而言,超过 50% 的植被受损发生在东坡、东南坡和西坡。其中东坡植被受损面积最大,面积为 644.03hm²,占总受损面积的 23.53%;其次是东南坡,受损面积占总受损面积的 15.90%。

表 3 植被受损沿海拔、坡度、坡向的空间分布特征

Table 3 Proportion of vegetation damage in relation to elevation, slope and aspect with different gradient

海拔 Elevation			坡度 Slope			坡向 Aspect		
分级 Grade/m	面积 Area /hm ²	比例 Percent /%	分级 Grade/(°)	面积 Area/hm ²	比例 Percent /%	分级 Grade	面积 Area /hm ²	比例 Percent /%
851—1100	323.73	11.83	<15	139.05	5.08	北 North	133.35	4.87
1100—1300	752.83	27.51	15—25	221.20	8.08	东北 Northeast	323.69	11.83
1300—1500	758.52	27.72	25—35	592.13	21.64	东 East	644.03	23.53
1500—1700	538.99	19.70	35—45	1173.64	42.89	东南 Southeast	435.05	15.90
1700—1900	269.55	9.85	45—55	496.09	18.13	南 South	263.21	9.62
1900—2380	92.98	3.40	>55	114.50	4.18	西南 Southwest	347.38	12.69
						西 West	411.25	15.03
						西北 Northwest	178.64	6.53

3.2 植被恢复评价

分析结果表明(图 3,表 4),地震 3a 后(2011 年),跟震前(2007 年)相比,研究区的植被恢复了 56.20%,恢复面积为 1538.08hm²,其中以中度、低度的植被恢复为主,面积为 1496.50hm²,占总恢复面积比例的 97.29%。从总体恢复比例来看,低度受损的植被经过 3a 后已基本恢复,在全区河岸两边都有出现;中度受损的植被面积恢复了 57.45%,主要集中在汶川—映秀段的南半段河;植被高度恢复的比例仅为 5.33%,分布较为零散。

3.3 植被恢复与地形因子的关系

为进一步了解植被受损区植被的恢复状况,本研究分析了植被恢复率与海拔、坡度及坡向的关系。从表 5 可知,植被恢复主要发生在 1100—1700m 的海拔区间,面积为 1198.60 hm²,占总恢复面积的 77.93%。并且,植被恢复程度与海拔总体上呈负相关,即海拔越高,植被恢复率越低。低度恢复主要发生在海拔小于

1100m 的区域,比例为 58.34%;中度植被恢复主要分布在海拔 1100—2380m。海拔从 1100m 增至 1900m,低度恢复比例逐渐增大,而中度恢复比例逐渐减小。

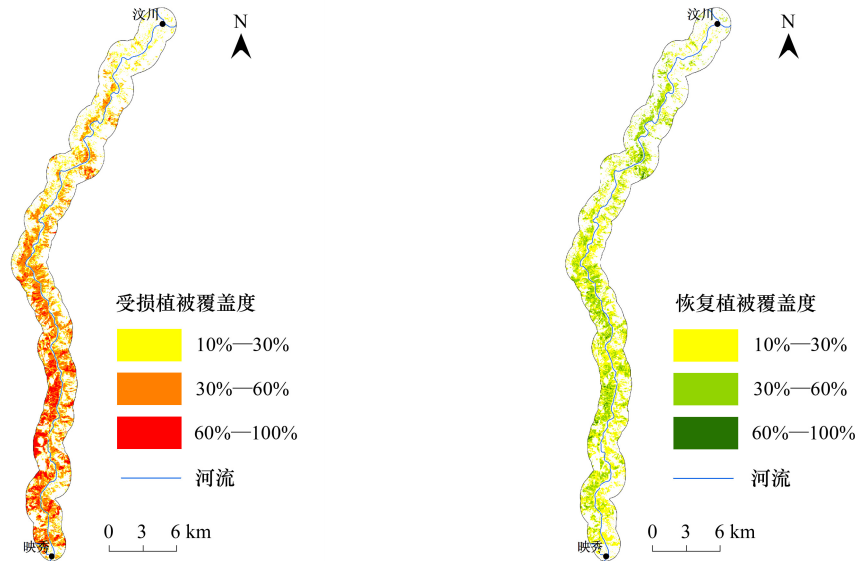


图 3 2007—2008 年植被受损分级与 2008—2011 年植被恢复分级

Fig. 3 Spatial distribution of damaged vegetation between 2007—2008 and recovery pattern between 2008—2011

表 4 植被受损及恢复状况统计

Table 4 Statistics of classified vegetation damages and recovery status

恢复等级 Grade	植被覆盖度变化 GV fraction change	2007—2008 年		2008—2011 年		总体恢复比例 GV recovery Percent/%
		受损面积 2007—2008 GV damage area/hm ²	比例 Percent /%	恢复面积 2008—2011 GV recovery area/hm ²	比例 Percent /%	
低度 Low	0.1/0—0.3	553.82	20.24	690.50	44.89	124.68
中度 Medium	0.3—0.6	1403.02	51.27	806.00	52.40	57.45
高度 High	0.6—1	779.78	28.49	41.58	2.70	5.33
合计 Total		2736.61	100.00	1538.08	100.00	56.20

表 5 植被恢复与海拔的关系

Table 5 Relationship between vegetation recovery and elevation

海拔/m Elevation	面积/hm ² Area	植被恢复 GV Recovery		低度恢复 Low		中度恢复 Medium		高度恢复 High	
		面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent
851—1100	1403.10	102.82	7.33	59.98	58.34	41.63	40.49	1.21	1.18
1100—1300	2923.83	387.00	13.24	166.40	43.00	213.11	55.07	7.49	1.93
1300—1500	3859.38	469.99	12.18	201.69	42.91	255.92	54.45	12.38	2.63
1500—1700	3248.64	341.61	10.52	154.12	45.11	177.48	51.95	10.02	2.93
1700—1900	2587.50	172.97	6.68	80.49	46.53	85.12	49.21	7.36	4.25
1900—2380	1561.68	63.69	4.08	27.83	43.69	32.74	51.40	3.13	4.91

从表 6 可知,植被恢复主要发生在 25—55°之间,面积为 1291.12hm²,占总恢复面积的 83.94%。并且,植被恢复与坡度呈现出正相关性。对整个研究区来说,坡度小于 25°的区域,植被低度恢复占主导,植被恢复状况相对较差;而坡度大于 25°的区域中,植被中度恢复占主导。随着坡度的增大,低度恢复比例逐渐减小,而中度、高度恢复比例逐渐增大。

表 6 植被恢复与坡度的关系

Table 6 Relationship between vegetation recovery and slope

坡度/(°) Slope	面积/hm ² Area	植被恢复 GV Recovery		低度恢复 Low		中度恢复 Medium		高度恢复 High	
		面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent
		<15	1782.9	61.48	3.45	33.47	54.45	27.10	44.08
15—25	1990.44	117.15	5.89	56.98	48.64	58.04	49.54	2.13	1.82
25—35	4217.49	335.18	7.95	152.75	45.57	173.14	51.66	9.28	2.77
35—45	5659.2	671.16	11.86	301.31	44.89	353.67	52.70	16.18	2.41
45—55	1626.48	284.78	17.51	121.01	42.49	153.69	53.97	10.09	3.54
>55	307.62	68.34	22.22	24.99	36.56	40.37	59.07	2.99	4.37

从表 7 可知,就坡向而言,东坡的植被恢复面积最大,共 363.31hm²,其次是东南坡,面积为 273.01hm²。而北坡、西坡及西北坡植被的恢复状况不佳,主要以低度恢复占主导。其余坡向则以植被的中度恢复占主导。

表 7 植被恢复与坡向的关系

Table 7 Relationship between vegetation recovery and aspect

坡向 Aspect	面积/hm ² Area	植被恢复 GV Recovery		低度恢复 Low		中度恢复 Medium		高度恢复 High	
		面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent	面积 /hm ² Area	比例/% Percent
		北 North	1207.8	78.56	6.50	40.92	52.09	34.96	44.51
东北 Northeast	1557.81	191.34	12.28	71.44	37.34	109.97	57.47	9.93	5.19
东 East	2551.05	363.31	14.24	130.31	35.87	218.30	60.09	14.70	4.05
东南 Southeast	2056.68	273.01	13.27	103.83	38.03	159.56	58.45	9.62	3.52
南 South	1304.82	142.39	10.91	62.47	43.87	78.01	54.78	1.92	1.35
西南 Southwest	1699.92	176.36	10.37	85.53	48.49	89.46	50.72	1.38	0.78
西 West	2966.94	203.43	6.86	128.67	63.25	74.14	36.45	0.62	0.30
西北 Northwest	2215.8	109.68	4.95	67.35	61.40	41.59	37.92	0.74	0.68

4 结论与讨论

本研究通过线性光谱混合模型对 512 汶川地震后岷江河谷的河岸带植被进行监测,较好地解决了传统遥感影像中普遍存在的混合像元问题。通过对 3 个时相 TM 影像线性光谱分离的植被覆盖度分析,发现因植被受损有 74.92% 发生在海拔 1100—1700m 范围,有 82.65% 集中于坡度 25—55° 之间,及超过 50% 的受损分布在东坡、东南坡和西坡;地震 3a 后,总体来说,滑坡体植被恢复了 56.20%,其中以中、低度植被恢复为主。

坡度是导致滑坡及随后植被恢复进程的重要因素^[35-38]。本研究植被受损最为集中的范围与前人对于滑坡发生的坡度范围基本一直,他们的研究表明坡度 20—50° 范围最易发生滑坡^[39-41]。这从侧面证明,地震对植被的扰动主要以滑坡的方式体现。本研究中植被恢复与坡度呈正相关,这与 Lu 等的研究结果类似。这主要是因为进行植被恢复状况分析时,其 DEM 数据仍是震前的。而实际上,坡度大的地方往往最容易发生滑坡,而滑坡后的坡度往往都比以前的小,因此出现恢复状况与坡度呈正相关的情况。植物恢复与海拔总体上呈负相关,可能主要是因为随着海拔的增高,越远离河谷区,相应地深切割减弱的缘故。植被恢复状况与坡向的关系不显著,这说明就本研究区来说,坡度及海拔对植被恢复的影响效应强于坡向。

本研究中所采用的线性光谱分离(LSU)的方法仍然值得进一步研究。首先,阴影干扰历来都是遥感数据处理中难点,线性光谱混合分析技术也难以完全解决该问题。与其他多数研究一样,本文对阴影的处理,也是把阴影作为一类端元单独提取^[22-23,31]。虽然阴影的影响仅局限在阴影范围内,基本能保证非阴影区的精度,但如何消除阴影对线性光谱混合分析的影响,值得进一步研究。其次,本研究中,将 2007—2008 年度植被覆

盖度降低的阈值设置为 10%,当降低幅度大于 10%时,判别为植被受损区。这样变忽略了植被覆盖度下降幅度介于 0—10%之间的区域。之所以设定这样的阈值,是因为根据分析结果,植被丰度下降幅度介于上述区间的区域面积仅占整个研究区面积的 0.7%,且往往出现分布不合理的情况,如分布在河道、建设用地及未受损植被区。但尽管如此,如何提高线性光谱分离方法对信息识别精度,值得深入研究。

References:

- [1] Turner M G. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 2010, 91(10): 2833-2849.
- [2] Cochard R, Ranamukhaarachchi S L, Shivakoti G P, Shipin O V, Edwards P J, Seeland K T. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: a review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2008, 10(1): 3-40.
- [3] Ouyang Z Y, Xu W H, Wang X Z, Wang W J, Dong R C, Zheng H, Li D H, Li Z Q, Zhang H F, Zhuang C W. Impact assessment of Wenchuan Earthquake on ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5801-5809.
- [4] Bao W K. Ecological degradation and restoration and reconstruction countermeasures for severe calamity regions in Wenchuan Earthquake in Sichuan. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2008, 23(4): 324-329.
- [5] Wu N, Lu T, Luo P, Zhu D. A review of the impacts of earthquake on mountain ecosystems: taking 5. 12 Wenchuan Earthquake as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5810-5819.
- [6] Lu T, Zeng H C, Luo Y, Wang Q, Shi F S, Sun G, Wu Y, Wu N. Monitoring vegetation recovery after China's May 2008 Wenchuan earthquake using Landsat TM time-series data: A case study in Mao County. *Ecological Research*, 2012, 27(5): 955-966.
- [7] McClain M E, Boyer E W, Dent C L, Gergel S E, Grimm N B, Groffman P M, Hart S C, Harvey J W, Johnston C A, Mayorga E, McDowell W H, Pinay G. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. *Ecosystems*, 2003, 6(4): 301-312.
- [8] Ranalli A J, Macalady D L. The importance of the riparian zone and in-stream processes in nitrate attenuation in undisturbed and agricultural watersheds — A review of the scientific literature. *Journal of Hydrology*, 2010, 389(3/4): 406-415.
- [9] Elder D B. The impact of changing flow regimes on riparian vegetation and the riparian species *Mimulus guttatus*. *Ecological Applications*, 2003, 13(6): 1610-1625.
- [10] Helfield J M, Engstrom J, Michel J T, Nilsson C, Jansson R. Effects of river restoration on riparian biodiversity in secondary channels of the Pite River, Sweden. *Environmental Management*, 2012, 49(1): 130-141.
- [11] Yeakley J A, Coleman D C, Haines B L, Kloeppel B D, Meyer J L, Swank W T, Argo B W, Deal J M, Taylor S F. Hillslope nutrient dynamics following upland riparian vegetation disturbance. *Ecosystems*, 2003, 6(2): 154-167.
- [12] Hill A R, Duval T P. Beaver dams along an agricultural stream in southern Ontario, Canada: their impact on riparian zone hydrology and nitrogen chemistry. *Hydrological Processes*, 2009, 23(9): 1324-1336.
- [13] Buijse A D, Coops H, Staras M, Jans L H, Van Geest G J, Grift R E, Ibelings B W, Oosterberg W, Roozen F C J M. Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 2002, 47(4): 889-907.
- [14] Vidon P. Riparian zone management and environmental quality: a multi-contaminant challenge. *Hydrological Processes*, 2010, 24(11): 1532-1535.
- [15] Yang X J, Chen L D. Using multi-temporal remote sensor imagery to detect earthquake-triggered landslides. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010, 12(6): 487-495.
- [16] Gao Q Z, Li Y E, Lin E D, Jiangcun W Z, Wan Y F, Xiong W, Wang B S, Li W F. Temporal and spatial distribution of grassland degradation in Northern Tibet. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 87-95.
- [17] Donohue R J, Mcvicar T R, Roderick M L. Climate-related trends in Australian vegetation cover as inferred from satellite observations, 1981—2006. *Global Change Biology*, 2009, 15(4): 1025-1039.
- [18] Somers B, Asner G P, Tits L, Coppin P. Endmember variability in spectral mixture analysis: a review. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(7): 1603-1616.
- [19] Hu J B, Chen W, Li X Y, He X Y. Urban vegetation coverage change inside the Third-Rind Road of Shenyang City, China: a study with linear spectral unmixing technique. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(5): 1140-1146.
- [20] Hu M G, Wang J F. Mixed-pixel decomposition and super-resolution reconstruction of RS image. *Progress in Geography*, 2010, 29(6): 747-756.
- [21] Byambakhuu I, Sugita M, Matsushima D. Spectral unmixing model to assess land cover fractions in Mongolian steppe regions. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(10): 2361-2372.
- [22] Roberts D A, Gardner M, Church R, Ustin S, Scheer G, Green R O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 65(3): 267-279.
- [23] Wan J, Cai Y L. Applying linear spectral unmixing approach to the research of land cover change in Karst area: A case in Guanling County of Guizhou Province. *Geographical Research*, 2003, 22(4): 439-446.
- [24] Youngentob K N, Roberts D A, Held A A, Dennison P E, Jia X P, Lindenmayer D B. Mapping two *Eucalyptus* subgenera using multiple endmember spectral mixture analysis and continuum-removed imaging spectrometry data. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(5): 1115-1128.
- [25] Theseira M A, Thomas G, Sannier C A D. An evaluation of spectral mixture modelling applied to a semi-arid environment. *International Journal of*

- Remote Sensing, 2002, 23(4): 687-700.
- [26] Xiao J F, Moody A. A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(2/3): 237-250.
- [27] Pu R L, Gong P, Michishita R, Sasagawa T. Spectral mixture analysis for mapping abundance of urban surface components from the Terra/ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(3): 939-954.
- [28] Xie M M, Wang Y L, Li G C. Spatial variation of impervious surface area and vegetation cover based on SubPixel Model in Shenzhen. *Resources Science*, 2009, 31(2): 257-264.
- [29] Zhang W H, Lu T, Ma K M, Zhou J Y, Li S L. Analysis on the environmental and spatial factors for plant community distribution in the arid valley in the upper reach of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 552-559.
- [30] Yang Z P, Chang Y, Yang M, Hu Y M, Bu R C, He X Y. Dynamics and influence width of dry valley landscape boundary in upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 1972-1976.
- [31] Elmore A J, Mustard J F, Manning S J, Lobell D B. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 73(1): 87-102.
- [32] Yingshi Z. A study on environmental change analysis in Sand Hill of Nebraska using remote sensing. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 213-219.
- [33] Hu T G, Zhang J S, Jia B, Pan Y Z, Dong Y S, Li L. Research on LSMM of remote sensing images based on different resolution. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24(3): 20-23.
- [34] Chen X N, Bao A M, Zhang H L, Liu M Y. A study on methods and accuracy assessment for extracting snow covered areas from MODIS images based on pixel unmixing: a case on the middle of the Tianshan Mountain. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1761-1768.
- [35] Dai F C, Lee C F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 2002, 42(3/4): 213-228.
- [36] Lee S. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(7): 1477-1491.
- [37] Chang K T, Chiang S H, Hsu M L. Modeling typhoon- and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression. *Geomorphology*, 2007, 89(3/4): 335-347.
- [38] Wang H B, Sassa K, Xu W Y. Analysis of a spatial distribution of landslides triggered by the 2004 Chuetsu earthquakes of Niigata Prefecture, Japan. *Natural Hazards*, 2007, 41(1): 43-60.
- [39] Khazai B, Sitar N. Evaluation of factors controlling earthquake-induced landslides caused by Chi-Chi earthquake and comparison with the Northridge and Loma Prieta events. *Engineering Geology*, 2004, 71(1/2): 79-95.
- [40] Owen L A, Kamp U, Khattak G A, Harp E L, Keefer D K, Bauer M A. Landslides triggered by the 8 October 2005 Kashmir earthquake. *Geomorphology*, 2008, 94(1/2): 1-9.
- [41] Huang R Q, Li W L. Analysis of the geo-hazards triggered by the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2009, 68(3): 363-371.

参考文献:

- [3] 欧阳志云, 徐卫华, 王学志, 王文杰, 董仁才, 郑华, 李迪华, 李智琦, 张宏锋, 庄长伟. 汶川大地震对生态系统的影响. *生态学报*, 2008, 28(12): 5801-5809.
- [4] 包维楷. 汶川地震重灾区生态退化及其恢复重建对策. *中国科学院院刊*, 2008, 23(4): 324-329.
- [5] 吴宁, 卢涛, 罗鹏, 朱单. 地震对山地生态系统的影响——以5.12汶川大地震为例. *生态学报*, 2008, 28(12): 5810-5819.
- [16] 高清竹, 李玉娥, 林而达, 江村旺扎, 万运帆, 熊伟, 王宝山, 李文福. 藏北地区草地退化的时空分布特征. *地理学报*, 2005, 60(6): 965-973.
- [19] 胡健波, 陈玮, 李小玉, 何兴元. 基于线性混合像元分解的沈阳市三环内城市植被盖度变化. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1140-1146.
- [20] 胡茂桂, 王劲峰. 遥感影像混合像元分解及超分辨率重建研究进展. *地理科学进展*, 2010, 29(6): 747-756.
- [23] 万军, 蔡运龙. 应用线性光谱分离技术研究喀斯特地区土地覆被变化——以贵州省关岭县为例. *地理研究*, 2003, 22(4): 439-446.
- [28] 谢苗苗, 王仰麟, 李贵才. 基于亚像元分解的不透水表面与植被覆盖空间分异测度——以深圳市为例. *资源科学*, 2009, 31(2): 257-264.
- [29] 张文辉, 卢涛, 马克明, 周建云, 刘世梁. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析. *生态学报*, 2004, 24(3): 552-559.
- [30] 杨兆平, 常禹, 杨孟, 胡远满, 布仁仓, 何兴元. 岷江上游干旱河谷景观边界动态及其影响域. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1972-1976.
- [32] 赵英时. 美国中西部沙山地区环境变化的遥感研究. *地理研究*, 2001, 20(2): 213-219.
- [33] 胡潭高, 张锦水, 贾斌, 潘耀忠, 董燕生, 李乐. 不同分辨率遥感图像混合像元线性分解方法研究. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(3): 20-23.
- [34] 陈晓娜, 包安明, 张红利, 柳梅英. 基于混合像元分解的MODIS积雪面积信息提取及其精度评价——以天山中段为例. *资源科学*, 2010, 32(9): 1761-1768.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguo, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanxia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 王克林 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 2013)

编辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路18号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主编 王如松
主管 中国科学技术协会
主办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路18号
邮政编码:100085

出版 科学出版社
地址:北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

印刷 北京北林印刷厂
发行 科学出版社
地址:东黄城根北街16号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@espg.net

订购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京399信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第8013号
许可证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

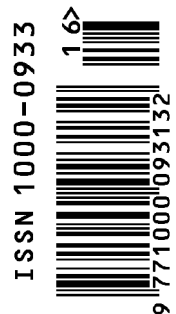
Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元