

DOI: 10.5846/stxb201105170644

侍昊, 王笑, 薛建辉, 李杨, 徐雁南, 吴永波. 基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例. 生态学报 2012, 32(11): 3359–3367.

Shi H, Wang X, Xue J H, Li Y, Xu Y N, Wu Y B. A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series: a case study from Guizhou province. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(11): 3359–3367.

基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法 ——以贵州省为例

侍昊¹, 王笑², 薛建辉^{1,*}, 李杨³, 徐雁南¹, 吴永波¹

(1. 南京林业大学江苏省林业生态工程重点实验室, 南京 210037; 2. 贵州省林业厅, 贵阳 550001;

3. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要:以 2005—2008 年中分辨率成像光谱仪(MODIS)的归一化植被指数(NDVI)数据集为主要数据源构建研究区时间序列,结合统计学分析方法设计一套快速有效的森林灾害评估体系,用以探测森林资源损失的空间分布范围与灾害等级,并利用森林资源雪凝灾害损失的实际调查数据对评估结果进行一致性检验。结果表明:通过计算 2005—2007 年研究区所有森林像元的平均值 $\bar{R}_{2005-2007}$ 和平均绝对偏差 δ_{all} , 确定森林灾害阈值 DT 为 0.048; 利用该阈值, 获取 2008 年受灾较重的森林空间分布, 主要密集分布在贵州省东南部和东北部, 包括了黔南自治州、黔东南自治州和铜仁市等地区; 受灾森林像元数占总森林像元数的 28.6%, 高于凝冻灾害森林资源损失实际调查结果(17.7%); 在县域尺度上, 根据 MODIS/NDVI 关键期影像获取的森林资源损失区域和灾害等级, 确定德江、沿河和都匀等 11 个重度受灾县(市、区)和湄潭、榕江和桐梓等 10 个中度受灾县(市、区), 与小班调查结果具有较高的一致性, 其 Kappa 系数为 0.86。方法为大区域尺度的森林灾害快速评估提供了一种新思路。

关键词:雪灾; MODIS/NDVI; 时间序列; 灾害阈值; 一致性检验

A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series: a case study from Guizhou Province

SHI Hao¹, WANG Xiao², XUE Jianhui^{1,*}, LI Yang³, XU Yannan¹, WU Yongbo¹

1 Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2 Forestry Department of Guizhou Province, Guiyang, 550001, China

3 School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

Abstract: Snow disasters are one of the major natural disturbances to forest ecosystems in China. The increased frequency and severity of forest disturbances in recent years requires rapid and accurate regional forest damage assessment to support post-disturbance forest management, hazardous fuel management, post-hazard relief activities, and government compensation claims.

Interpretation of MODIS/NDVIs to construct Guizhou Province's remote sensing images time series between 2005 and 2008 was involved in this analysis. Specifically, the mean value of usefulness index was applied to identify key MODIS/NDVI images and the Savitzky-Golay filter was used to reconstruct key images first. Then, the ratio of forest pixels NDVI value ($R_{2005-2007}$) was computed before and after the corresponding period of snow disaster in 2008, the respective mean and mean absolute of $R_{2005-2007}$ were derived to determine undisturbed forest pixels and forest damage threshold (DT). Ultimately, with the support of remote sensing and geographical information system, disaster areas and damage ranks were

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104002); 国家科技支撑计划课题(2011BAD38B404)

收稿日期:2011-05-17; 修订日期:2011-09-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jhxue@njfu.edu.cn

identified by using this method. Light, moderate and severe damage were classified in the light of the $R_{2007-2008}$ of forest damage pixels at county level. Further, in conjunction with field surveys of forest resources implemented by the Department of Forestry of Guizhou Province, the consistency between our derivations and field surveys was assessed.

The preliminary results were as follows: (1) With the aid of usefulness index, MODIS/NDVI products captured on September 30 (September 30 2005, September 30 2006 and September 30 2007) and May 9 (May 9 2006, May 9 2007 and May 9 2008) were respectively chosen as key images corresponding to the period of the snow disasters, which had the lower mean value of usefulness index (2.06 and 2.41, respectively) from 2005 to 2008. After reconstructing the chosen MODIS/NDVI products using the Savitzky-Golay filter at the specified parameters (No. of the envelope iterations: 3, adaption strength: 2 and the window size: 5), the mean NDVI value of six key images increased by about 0.04. (2) Based on statistical analysis, the $\bar{R}_{2005-2007}$ and δ_{all} (damage threshold) were estimated at 0.044 and 0.048 respectively without large-scale natural disturbance observed during September 30 and May 9, but there was distinct shift amplitude (0.041) between $\mu_{2005-2007}$ and $\mu_{2007-2008}$ after snow disasters. According to forest damage threshold, damaged pixels accounted for 28.6% of the total forest pixels, which was above the result based on subcompartment investigation (17.7%). (3) The snow disasters in the southeast and northeast Guizhou Province were the worst, containing Autonomous Prefectures of South Guizhou Province, Autonomous Prefectures of Southeast Guizhou Province, Tongren City, etc. And then, in terms of different damage levels, 11 Severe damage counties (Dejiang, Yanhe, Duyun, etc) and 10 moderate damage counties (Meitan, Rongjiang, Tongzi, etc) were determined at county level. The derived forest damage maps due to disasters from the current methods were in consistency with field surveys in some extent, with a kappa coefficient of 0.86 (above 0.75) derived from a statistical test.

The adopted analytical flow for assessing forest losses due to snow disasters in Guizhou Province was based on remote sensing and geographical information systems operations. This method also provides a new idea for quick assessment on forest disasters at a regional scale, without relying on ground inventory or sampling.

Key Words: snow disaster; MODIS/NDVI; time series; damage threshold; consistency check

雪灾是影响森林生态系统结构与功能的重要非生物干扰因子之一^[1],长时间的冰雪灾害直接损害森林植物,改变森林生态系统的结构组成,降低森林生态系统的功能与效益,影响森林生态系统的演替方向并危及森林生态系统的稳定性与健康^[2]。2008年初,我国遭遇50年一遇的持续冰冻雨雪灾害天气,造成南方多省的森林资源损失严重。许多学者利用遥感和地理信息系统等技术,开展了灾害范围确定,灾害等级划分和相关灾害评估体系建立等研究,为灾后森林生态系统的恢复与重建提供科学依据^[3-9]。但上述这些研究在对森林雪灾进行评估时,往往以降雪开始到积雪消融作为研究的时间段,忽略了灾后的次生灾害影响;评估灾害依赖的辅助资料过多,缺少一个快速可靠的评估指标和方法,直接影响到评估效率和可行性;同时,采用中低分辨率影像进行省级范围森林雪灾损失评估时,缺少区域尺度的检验方法或者检验方法过于简单。

针对这些问题,本文首先建立贵州省2005—2008年的MODIS/NDVI时间序列,并基于数据集的可用性指数和S-G(Savitzky-Golay)滤波方法重构关键期影像;然后利用不同年份同时段的森林像元NDVI值变化率探测森林毁坏区域,结合统计学方法确定森林灾害阈值,对研究区森林损失面积与等级进行快速划分与评估;最后根据贵州省凝冻灾害森林资源损失的小班调查数据对研究结果进行一致性检验。

1 研究区与数据准备

1.1 研究区概况

贵州省介于东经103°36′—109°35′、北纬24°37′—29°13′之间,总面积为17616770 hm²,其中林地面积8771550 hm²,占国土总面积的49.79%,森林面积为7033936 hm²,森林覆盖率达到39.93%,主要分布在黔东南及北部的遵义地区,西北部和中部地区森林分布较少^[10-11]。2008年初,贵州省遭遇了有气象记录以来最为

严重的雪凝灾害,致使森林出现大面积的死亡。根据各地(州、市)初步调查结果,确定黎平等 83 个县(市、区)为本次灾害评估调查对象,对马尾松、杉木、针阔混和其他阔叶树等类型树种展开灾害调查。根据调查结果汇总统计,全省森林资源受灾面积为(损失程度等级“轻”度以上) 1090026 hm^2 , 占全省森林资源面积的 17.7%^[12]。

1.2 数据准备

本文的主要采用 2005—2008 年低分辨率 MOD13Q1 植被指数科学数据集(贵州省覆盖景为 h27v06.005) 数据空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d,共计 92 期。该数据包括归一化植被指数(NDVI)和植被指数质量标记(Quality Assessment, QA), QA 产品是关于 MOD13Q1 植被指数科学数据质量信息的综合评价资料,该资料在像元尺度对植被指数进行质量评价^[13]。

辅助数据主要包括了 2006 年研究区 MCD12Q1 数据和 2008 年贵州省凝冻灾害森林资源损失调查数据。MCD12Q1 数据空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 1y(<http://modis.gsfc.nasa.gov/>),该产品按照国际地圈生物圈计划(IGBP)分类标准,将研究区分为 17 个土地类型^[14]。本文所研究的森林区域主要由常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林和多树地区这 6 个类型组成(图 1),在该区域内的像元点统称为森林像元。而森林灾害资源损失调查工作由贵州省林业厅组织,共清查 83 调查单位,抽取 24914 个小班,其中林分小班 17231 个。为了和地面小班调查范围保持一致,MODIS 影像数据将不包括罗甸等 5 个县(市)具体范围如图 1 红框所示。

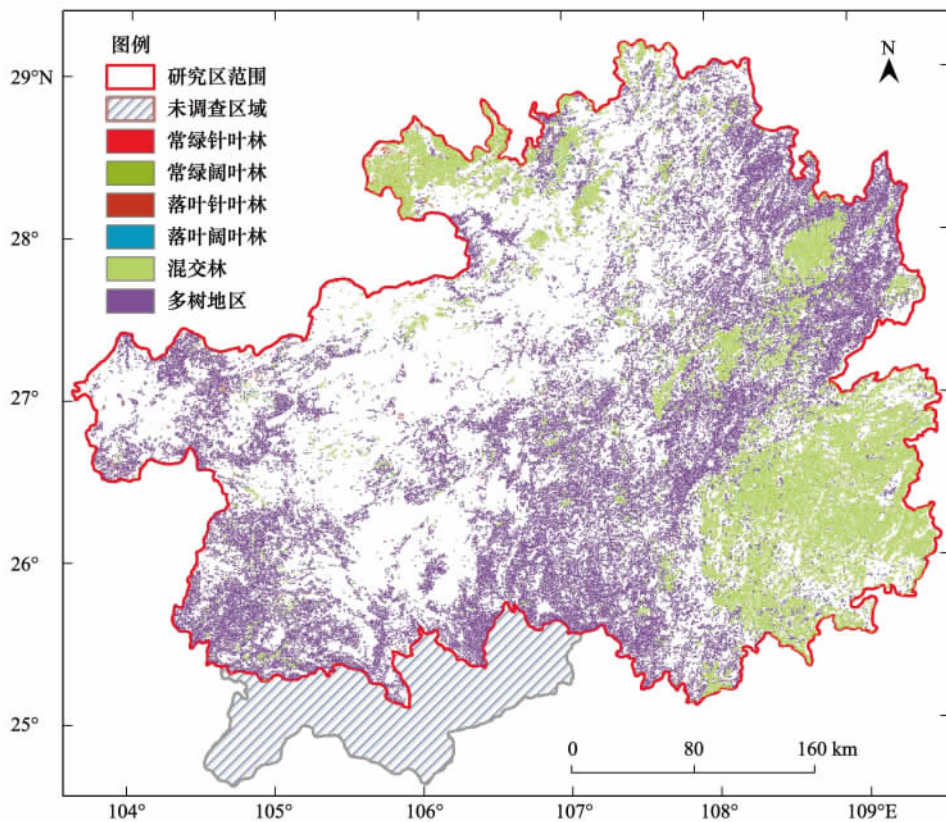


图 1 2006 年贵州省森林资源空间分布

Fig. 1 2006 Forest resources map in Guizhou Province

2 研究方法

2.1 MODIS/NDVI 时间序列重构方法

根据 MOD13Q1 植被指数科学数据集中 QA 产品的可用性指数规则,可用性指数共分 16 个等级,其中像

元可用性指数越低,表明该像元的质量越可靠^[13]。利用 LDOPE 质量分解工具从 MOD13Q1 得到 QA 质量评价波段,建立 2005—2008 年贵州省森林的 NDVI 时间序列和分解其对应 QA 值。从分解得到的 QA 波段中获取植被指数的“可用性指数”。计算每期 MODIS/NDVI 影像对应的可用性均值;每期可用性均值越低,表明整幅影像的整体可靠性越高,以此来获取较为可靠的影像数据。

但 MODIS/NDVI 初始数据由于受气溶胶、冰雪、太阳光照角度及传感器观测视角等因素的影响,仍存在一定的噪声,有必要对其进行重建^[15-16],而 Savitzky-Golay(S-G)滤波在植被类型提取时表现出色,能够较好的平滑 VI 曲线,具有反映植被变化趋势等优点^[17-19]。因此,本研究首先利用 STL-decomposition 方法剔除原始 NDVI 时间序列的离异值,然后选择用 S-G 滤波方法对剔除变异值后完整 NDVI 时间序列进行重建^[20-21],进一步减少其他因素对影像质量的干扰。

2.2 建立森林灾害评估指标和评估方法

雪凝灾害会造成一段时间森林资源出现大面积的冻死、腰折、断梢等现象,导致灾前与灾后森林像元的 NDVI 变化率与往年同时期相比会发生明显的改变,将每个森林像元 NDVI 值的变化率作为探测森林灾害的指标,记作 R ,计算公式如下:

$$R = \frac{NDVI_{pre} - NDVI_{post}}{NDVI_{pre}} \quad (1)$$

式中, $NDVI_{pre}$ 表示灾害前某个森林像元的 NDVI 值, $NDVI_{post}$ 表示灾后就对应位置森林像元 NDVI 值。考虑到雪灾对森林灾害的后续影响和影像的质量,在 $NDVI_{pre}$ 和 $NDVI_{post}$ 关键期选择上,需要满足两点:(1) 选择 NDVI 可用性均值较低影像数据;(2) 两期影像获取时间处于每年森林的生长期。

在大区域尺度上,2005—2007 年间研究区没有出现大规模森林灾害,将任一森林像元在某个时间段 NDVI 变化率记作 $R_{2005-2006}$ 或 $R_{2006-2007}$,同时 $R_{2005-2006}$ 或 $R_{2006-2007}$ 也可以表示为 $\bar{R}_{2005-2007} \pm \delta$,其中, $\bar{R}_{2005-2007}$ 和 δ 分别为 2005—2007 年每个森林像元的 NDVI 变化率平均值和平均绝对偏差,由于平均绝对偏差对异常值有更大的包容性,因而采用平均绝对偏差来代替标准差^[22]。计算研究区所有森林像元的 $R_{2005-2007}$,变化范围可以表示为 $\bar{R}_{all} \pm \delta_{all}$,认为森林像元变化率在 $[-\delta_{all}, +\delta_{all}]$ 范围内是属于正常波动,将 δ_{all} 设定的森林灾害阈值 (Damage Threshold, DT)。当发生森林灾害时,将森林像元的 NDVI 变化率记作 $R_{2007-2008}$,将任一森林像元的 $R_{2007-2008} - \bar{R}_{2005-2007}$ 值记作 $R_{2007-2008}'$,如果 $R_{2007-2008}'$ 大于 δ_{all} ,则认为该像元受到了灾害的影响。同时对不同年份灾害时间段的 R_{NDVI} 均值 (\bar{R})、中心点偏移 (Shift Amplitude)、四分位数距离 IQR (Interquartile of Range) 和受到破坏的森林像元百分比等统计量进行计算^[23]。

2.3 空间分布一致性检验

在贵州省第 3 次森林资源规划设计调查成果等资料的基础上,根据地貌、树种、龄组等因子确定调查类型,按照类型抽取调查小(细)班进行灾害调查,通过损失株数或蓄积比例确定林木损失程度等级,具体等级划分见参考文献^[24]。根据调查报告,2008 年初森林资源

受灾面积共 1090026 hm^2 , 占全省森林面积资源面积的 17.7%,其中,重度、中度和轻度受灾面积分别占总受灾面积的 17.6%、19.2% 和 63.2%^[12]。按照上述灾害比例,将利用 MODIS/NDVI 数据确定的受灾森林像元,按照 $R_{2007-2008}'$ 值从高到低划分为重、中和轻度受灾像元,计算每个县内受灾像元的百分比,计算公式如下:

$$Y_i = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m} \quad (2)$$

$$X_i = \begin{cases} 1: & \text{如果受灾像元属于重度受灾} \\ 0: & \text{如果受灾像元不属于重度受灾} \end{cases}$$

$$Y_2 = \frac{\sum_{j=1}^m X_j}{m} \tag{3}$$

$$X_j = \begin{cases} 1: & \text{如果受灾像元属于中度受灾} \\ 0: & \text{如果受灾像元不属于中度受灾} \end{cases}$$

式中 Y_1 、 Y_2 分别表示每个县重度受灾和中度受灾的百分比 m 表示每个县森林受灾像元的总数。

按照 Y_1 大小排列 确定百分比较大的 11 个重度灾害县; 然后按照 Y_2 大小排列 确定百分比较大的 10 个中度灾害县 根据排列结果 制作贵州省县域尺度森林灾害等级分布图; 同时利用 Kappa 系数检验其结果与基于小班调查的结果是否具有空间分布一致性。如果两种方法结果完全一样, 则 $Kappa = 1$, 通常, 当 $Kappa \geq 0.75$ 时, 两种方法获得的结果一致性较高, 变化小; 当 $0.4 \leq Kappa \leq 0.75$ 时, 一致性一般, 变化明显, 当 $Kappa \leq 0.4$ 时, 一致性较差, 变化较大^[25]。

3 结果与分析

3.1 MODIS 影像时间序列分析与关键期影像的重建

经过反复试验与调整 最终确定 S-G 滤波的迭代次数为 3、上包络线拟合强度为 2 和窗口大小为 5。图 2 为某一没有受到灾害影响森林像元点经过 SG 滤波的结果, 虚线为原始 NDVI 曲线, 实线为 SG 滤波后平滑曲线 通过 S-G 滤波可以有效的去除噪声等因素的干扰。

此次南方降雪集中发生在 2008 年 1 月 10 日到 2 月 2 日之间, 该时间段对应 MODIS 期数为 20080117NDVI。计算 2005—2008 年 92 期 MODIS 影像的可用性指数均值, 最终确定灾前影像 0930 期 (20050930、20060930 和 20070930) 灾前影像时间为 0509 期 (20060509、20070509 和 20080509) 两个时期影像的可用性指数年均值较低 (分别为 2.06 和 2.41) 同时该时间段处于森林的生长季。根据 S-G 滤波后的时间序列, 对 20050930、20060509 和 20060930 等 6 期 NDVI 影像进行重建, 重建后的研究区森林像元的 NDVI 均值有明显的升高。如图 3 所示 6 期影像进行重建后的 NDVI 的均值升高幅度相近 (升高幅度约 0.04) 表明重构后影像的整体效果比较理想 影像中并没有出现较大面积坏值或离异值。

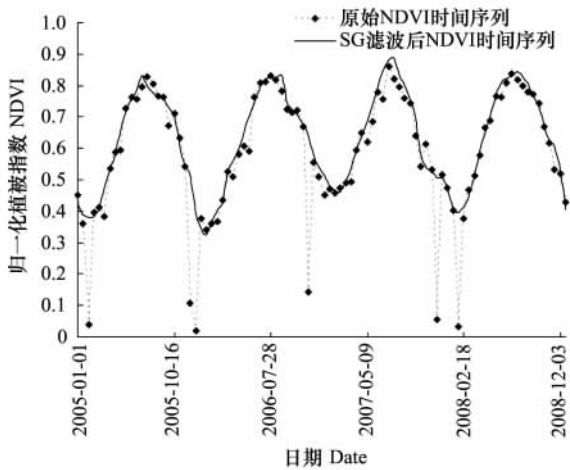


图 2 单一森林像元 S-G 滤波结果

Fig. 2 The S-G filtering result of a single forest pixel

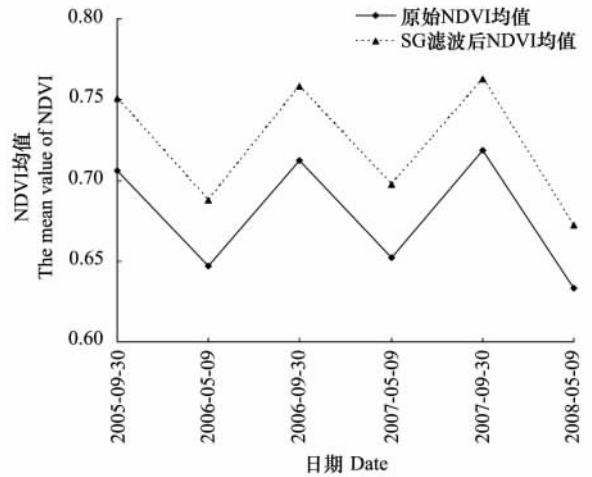


图 3 重构前后 NDVI 均值对比

Fig. 3 Comparison of the mean values of NDVI before and after reconstruction

3.2 灾害阈值确定与灾害等级空间分布

根据 2.2 所述的灾害评估指标与方法, $NDVI_{pre}$ 和 $NDVI_{post}$ 确定 9 月 30 日和 5 月 9 日这个时间段 (例如, 2005—2006 年的 $NDVI_{pre}$ 和 $NDVI_{post}$ 分别为 $NDVI_{20050930}$ 和 $NDVI_{20060509}$) , 计算 2005—2006、2006—2007 和 2007—2008 年 3 个不同时期同时间段的森林像元 R 值, 共有统计分析 100 多万个森林像元点, 由于 2005—

2006 和 2006—2007 年的森林像元 R 值变化大致相同,为了更直观的显示数据变化,所以对这两期数据 R 做均值处理,记作 $R_{2005-2007}$,同时对森林像元的 $R_{2005-2007}$ 和 $R_{2007-2008}$ 的统计采用直方图的形式替代传统的饼图。

统计结果如图 4 和表 1 所示 $R_{2005-2007}$ 和 $R_{2007-2008}$ 的直方图都成近似的钟型分布,两组数据的分布主要集中在 $(-0.2, 0.4)$ 之间,占总像元数的 99.5%。图 4 红线代表 2005—2007 年研究区内森林没有发生大规模干扰的 $R_{2005-2007}$ 直方图分布,其中心位置 $\mu_{2005-2007}$ 为 0.044,黑线代表 2007—2008 年研究区内森林受到雪灾破坏后 $R_{2007-2008}$ 分布情况,其中心点 $\mu_{2007-2008}$ 为 0.085,研究区森林 R 在发生雪灾之后整体产生了 0.041 的振幅偏移; $R_{2007-2008}$ 直方图形状比 $R_{2005-2007}$ 更扁,顶点高度远低于 $R_{2005-2007}$ 的最大值,表明 $R_{2007-2008}$ 在不同变化区间内的数量与 $R_{2005-2007}$ 相比,在受到雪灾干扰后 R 值变化率越高,像元数量增加越明显,直到两者趋近相同;同时 R 值的四分位数间距 (IQR) 比灾害前增加了 0.011,表明受灾后 $R_{2007-2008}$ 等级差异更加明显。

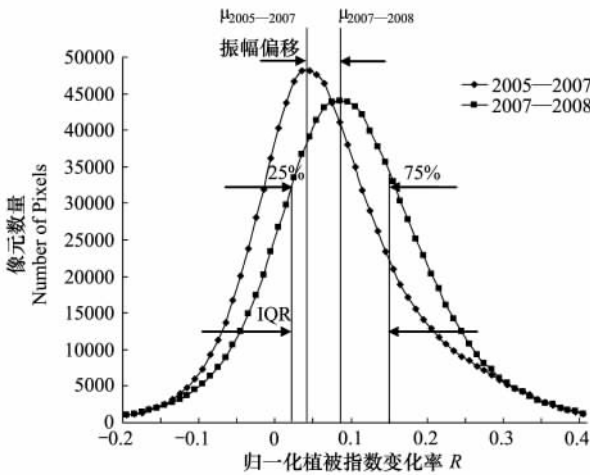


图 4 森林像元 R 直方图

Fig. 4 The R histogram of forest pixels

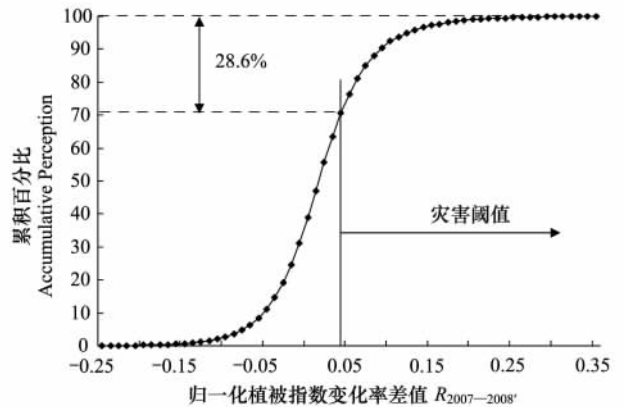


图 5 森林像元 $R_{2007-2008}$ 累积百分比

Fig. 5 The accumulative percentage for $R_{2007-2008}$ of forest pixels

表 1 相关统计变量列表

Table 1 List of statistical variables

统计变量 Statistical variables	2005—2007 年归一化植被指数变化率 $R_{2005-2007}$	2007—2008 年归一化植被指数变化率 $R_{2007-2008}$
像元在 $(-0.2, 0.4)$ 区间百分比 % Pixels within $(-0.2, 0.4)$	99.5	99.5
中心点 μ	0.044	0.085
四分位数间距 IQR	0.119	0.130
振幅偏移 Shift amplitude		0.041
灾害阈值 Damage threshold		0.048
灾害像元百分比 % Damaged pixels		28.6

计算 $R_{2005-2007}$ 的平均绝对偏差为 δ_{all} 为 0.048,将其设定为森林灾害的阈值,计算 2007—2008 年任意森林像元 $R_{2007-2008}$ 值,若该值大于 δ_{all} ,则认定其为受灾像元。统计结果如图 5 和表 1 所示 $R_{2007-2008}$ 分布区间为 $[-0.25, 0.35]$,其中超过灾害阈值的森林像元共 287876 个,占森林总像元数的 28.6%,受灾区间为 $[0.048, 0.035]$ 。为了清晰表述受灾森林的空间格局分布和等级分布状况,将受灾森林像元的 $R_{2007-2008}$ 值归一化到 $[0, 1]$ 的区间范围,按照 0.1 的等级间隔,共分为 10 个等级,将其统计结果显示到空间布局上(图 6),研究区森林受灾较严重的区域主要分布在贵州省东南部和东北部,受灾较重的地区主要包括铜川市、黔东南自治州和黔西南自治州等。

3.3 空间分布一致性分析

利用遥感数据获取的森林资源受灾区域在市域层面上与调查评估报告结果基本一致,但由于 MODIS/

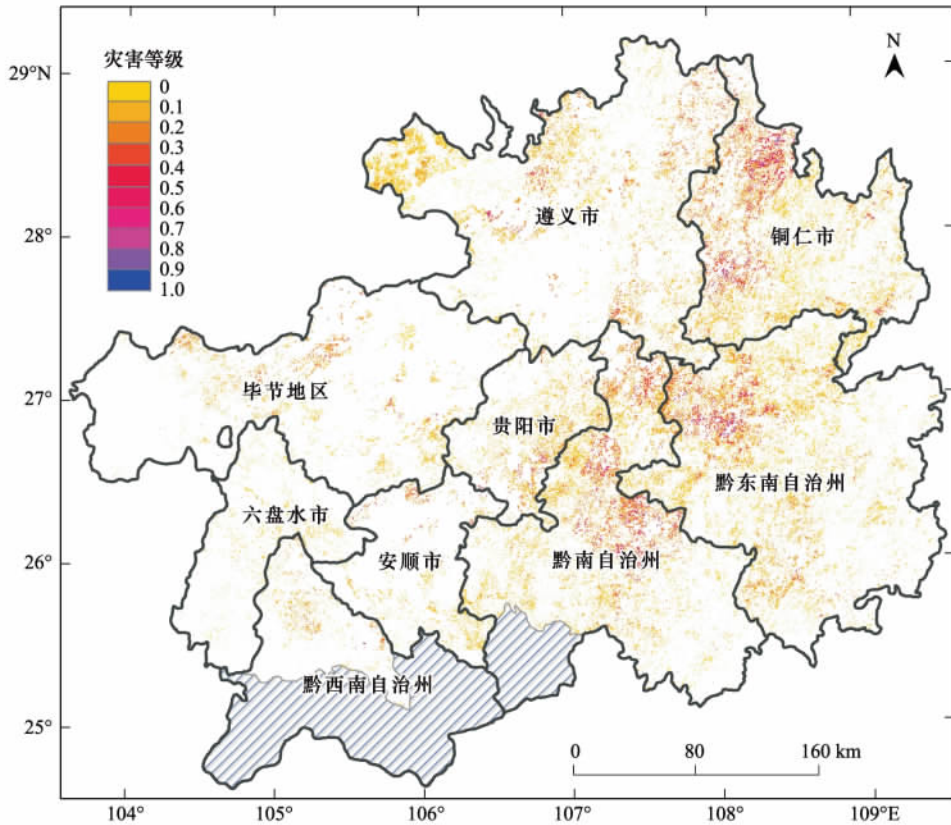


图6 森林灾害等级空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of forest damage levels

NDVI 影像混合像元的影像以及两种方法调查尺度差异,基于 MODIS/NDVI 计算所获得的森林灾害面积占总森林面积 28.6%,高于地面小班调查的 17.7% 的森林受灾比例。

根据贵州省森林资源损失小班调查结果,共有德江、沿河和都匀等 11 个重度受灾县,湄潭、瓮安和榕江等 10 个中度受灾县(图 7a)。将归一化后 $R_{2007-2008}$ 划分为 $[0, 0.145)$ 、 $[0.145, 0.259)$ 和 $[0.259, 1]$ 3 个等级区间,分别占总受灾像元的 63.2%、中度 19.2% 和 17.6%。按照公式(2)(3),计算每个县(市、区)内各个等级的森林像元占每个县(市、区)受灾总面积的百分比。按照 Y_1 的大小,排列了德江、沿河和都匀等 11 个县(市、区)为重度受灾,根据 Y_2 的大小,湄潭、榕江和桐梓等 10 个县(市、区)确定为中度受灾(图 7(b))。

利用 Kappa 系数检验两种方法的结果图的相似性,其 Kappa 系数为 0.86 (>0.75),具有较高的一致性。如图 7 所示,基于 MODIS 数据统计 11 个重度受灾县(市、区)和 10 个中度受灾县(市、区)中,分别有 9 个重度受灾县(市、区)和 6 个中度受灾县(市、区)与贵州省森林资源损失调查结果一致;而造成 Kappa 系数降低主要是因为基于 MODIS/NDVI 的分析结果将瓮安等县划分为重度受灾,赤水县等划分为中度受灾,而光明区等划分为中度受灾所造成。通过对比分析,在统计的 21 个中度以上的受灾县(市、区)中,有 20 个与地面小班调查结果一致。森林资源面积越大,灾害损失越严重,该方法探测灾害信息的能力越强,如森林受灾面积过少时,MODIS/NDVI 数据探测能力较差,造成获取结果偏低;而森林受灾面积过大时,该方法对灾害信息的敏感度较高,尤其是针对大片的森林区域,会造成森林像元的 $R_{2007-2008}$ 升高,所获取的灾害等级偏高;同时由于森林灾害的分布具有一定的连续性,用县域边界来划分也会造成结果的偏差,施秉和瓮安县(由小班调查的中度上升为重度受灾)紧邻受灾严重的黄平县,并且这两个县的重度灾害森林像元主要分布在和黄平县接壤的边缘地带。因此,在展开实地调查之前,运用 MODIS/NDVI 对研究区进行快速评估时,这些问题都是需要重点考虑,还需要借助中高分辨率影像和地面调查数据进一步分析验证。

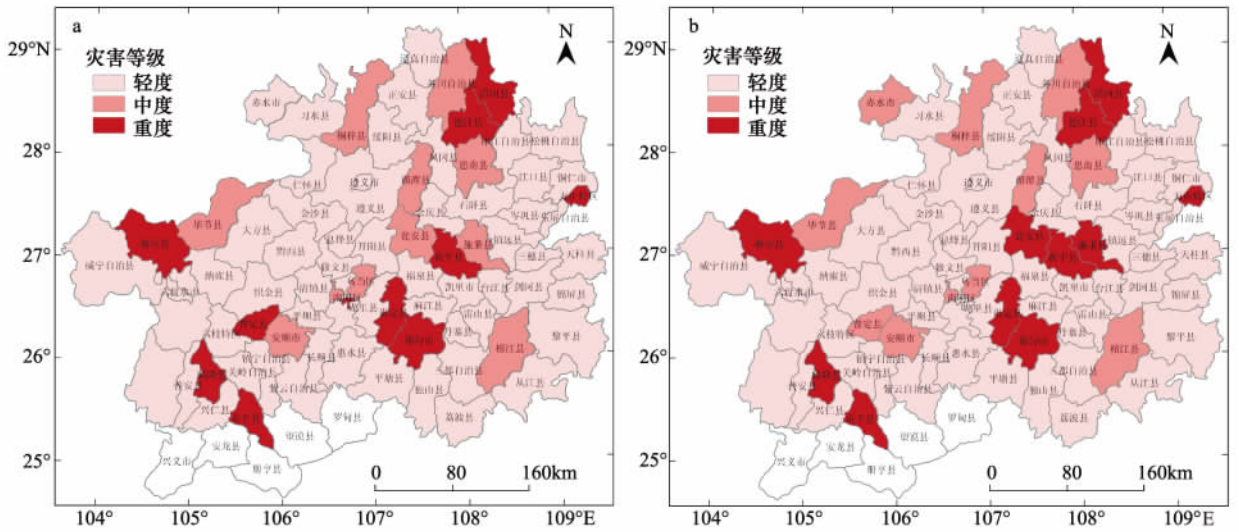


图 7 基于小班调查 (a) 和 MODIS/NDVI 的 (b) 县域尺度森林灾害等级空间分布

Fig.7 Spatial distribution of forest damage levels at county level based on subcompartment investigation (a) and MODIS/NDVI (b)

4 结语

本文在构建 2005—2008 年研究区 NDVI 时间序列数据集的基础上,利用 S-G 滤波和可用性指数重构关键期影像;结合统计学方法,对 2008 年研究区内受到雪灾破坏的森林区域和受灾等级进行快速评估;通过检验,其评估结果与地面调查结果具有较高的一致性。这表明该方法用于大面积森林灾害的快速评估和灾害空间模拟制图是可行的,也证明了 250m 空间分辨率的 MODIS/NDVI 数据在森林灾后评估上的优势和潜力。虽然采用中低分辨率数据可以快速划分灾害区域,减少相应的实地调查的工作量,但在小区域灾害面积与灾害等级的确定上,预测效果较差,因此实地对树木的毁坏情况进行调查和统计是必不可少的;另外,实地调查中还需要对毁坏树木的树种、胸径、蓄积量和碳损失等指标进行分析整理,改进探测森林灾害指标体系,提高森林灾害评估方法的精度将是今后研究工作的重要方面之一。

致谢:南京林业大学李明诗副教授对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

[1] Li X F, Zhu J J, Wang Q L, Liu G Z. Forest damage induced by wind/snow: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 148-157.

[2] Xue J H, Hu H B. The impact of freezing rain and snow disaster on forest ecosystems and countermeasure against disaster. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 1-2.

[3] Wang M Y, Shu L F, Zhao F J, Wang Q H, Yan H, Dai X A, Tian X R. Quantity analysis of forest fuel under the impacts of snow damage in south of China—case study in Hunan province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(11): 69-74.

[4] Yao F F, Zhang S H, Yang Y, Wang H Q, Yang F T. Evaluating the impact of freezing rain and snow disaster on forestry in Jiangxi. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(9): 1657-1666.

[5] Liang Y T, Xia Z H, Liu J H, Huang J. Snow disaster monitoring in 2008 in the middle and lower reaches of the Yangtze River based on RS and GIS—a case study of Hubei Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(9): 881-884.

[6] Xu X L, Su F Y, Zhuang D F, Jiang D. Remote sensing monitoring of impacts of southern ice and snow process on eco-environment in 2008: a case study in Zixing county, Hunan province. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(2): 237-243.

[7] Mo W H, Wang J H, Zhong S Q, Chen Y L. Techniques for monitoring and evaluating the snow and ice disaster base on MODIS model. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(10): 88-93.

[8] Cai J Z, He Y, Zhang X W, Li Z Q. Remote sensing monitoring and evaluation of snow cover in Zhejiang Province based on GIS. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(4): 85-89.

[9] Fu Y, Xiao J S, Xiao R X, Sa W J, Li F X, Zhao H F. Risk assessment model of snow disaster in Qinghai Province based on GIS. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(Supp 1): 197-205.

[10] Forestry Department of Guizhou Province. Current Situation of Forest Resources in Guizhou Province (2006). [2008-12-15]. http://www.gzforestry.gov.cn/news/20081215/200812151435171161_0.html.

- [11] Yao Y H, Zhang B P, Zhou C H, Luo Y, Zhu J, Qin G, Li B L, Chen X D. spatial pattern and component structure of forests in Guizhou. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 126-132.
- [12] Forestry Department of Guizhou Province. Assessment Report of Forest Resources Losses Caused by Snow Disaster in Guizhou Province. 2008.
- [13] Cao Y F, Wang Z X, Deng F P. Fidelity performance of three filters for high quality NDVI time-series analysis. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(1): 119-125.
- [14] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, Ohlen D O, Zhu Z, Yang L, Merchant J W. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(6/7): 1303-1330.
- [15] Jin C, Zhang B, Song K S. Land cover classification of Sanjiang Plain based on MODIS data. *Resources Science*, 2009, 31(3): 515-522.
- [16] Li R, Zhang X, Liu B, Zhang B. Review on methods of remote sensing time-series data reconstruction. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(2): 335-341.
- [17] Chen J, Jönsson P, Tamura M, Gu Z H, Matsushita B, Eklundh L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(3/4): 332-344.
- [18] Huang Y H, Wang J H, Jiang D, Zhou Q. Reconstruction of MODIS-EVI time-series data with S-G filter. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(12): 1440-1443.
- [19] Bian J H, Li A N, Song M Q, Ma L Q, Jiang J G. Reconstruction of NDVI time-series datasets of MODIS based on Savitzky-Golay filter. *Journal of Remote Sensing*, 2010, 14(4): 725-741.
- [20] Eklundh L, Jönsson P. Timesat 3. 0 Software Manual. Lund: Lund University, 2009: 12-18.
- [21] Eklundh L, Johansson T, Solberg S. Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 1566-1573.
- [22] Huber P J. Robust Statistics. New York: Wiley, 1981: 2-4.
- [23] Wang W T, Qu J J, Hao X J, Liu Y Q, Stanturf J A. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 122-132.
- [24] Forestry Department of Guizhou Province. Guidelines for the Assessment of Forest Resources Losses Caused by Snow Disaster in Guizhou Province. 2008.
- [25] Bu R C, Chang Y, Hu Y M, Li X Z, Hong H S. Measuring spatial information changes using Kappa coefficients: a case study of the city groups in central Liaoning Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 778-785.

参考文献:

- [1] 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 刘足根. 森林的风/雪灾害研究综述. *生态学报*, 2005, 25(1): 148-157.
- [2] 薛建辉, 胡海波. 冰雪灾害对森林生态系统的影响与减灾对策. *林业科学*, 2008, 44(4): 1-2.
- [3] 王明玉, 舒立福, 赵凤君, 王秋华, 阎厚, 戴兴安, 田晓瑞. 中国南方冰雪灾害对森林可燃物影响的数量化分析——以湖南为例. *林业科学*, 2008, 44(11): 69-74.
- [4] 姚峰峰, 张时煌, 杨医, 汪宏清, 杨风亭. 冰冻雨雪灾害对江西林业影响的评估技术探讨. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1657-1666.
- [5] 梁益同, 夏智宏, 柳晶辉, 黄婧. 基于 RS 和 GIS 的 2008 年长江中下游雪灾监测——以湖北省为例. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(9): 881-884.
- [6] 徐新良, 苏富岩, 庄大方, 江东. 2008 年南方冰雪过程对生态环境影响的遥感监测——以湖南省资兴市为例. *地球信息科学学报*, 2009, 11(2): 237-243.
- [7] 莫伟华, 王君华, 钟仕全, 陈燕丽. 基于 MODIS 的冰雪遥感灾害监测与评估技术. *林业科学*, 2009, 45(10): 88-93.
- [8] 蔡菊珍, 何月, 张小伟, 李正泉. 基于 GIS 的浙江省积雪遥感监测与评估研究. *气象*, 2010, 36(4): 85-89.
- [9] 伏洋, 肖建设, 校瑞香, 洒文君, 李凤霞, 赵慧芳. 基于 GIS 的青海省雪灾风险评估模型. *农业工程学报*, 2010, 26(Supp 1): 197-205.
- [10] 贵州省林业厅. 贵州省森林资源现状 (2006). [2008-12-15]. http://www.gzforestry.gov.cn/news/20081215/200812151435171161_0.html.
- [11] 姚永慧, 张百平, 周成虎, 罗扬, 朱军, 岑纲, 李宝林, 陈晓东. 贵州森林的空间格局及组成结构. *地理学报*, 2003, 58(1): 126-132.
- [12] 贵州省林业厅. 贵州省凝冻灾害森林资源损失调查评估报告. 2008.
- [13] 曹云锋, 王正兴, 邓芳萍. 3 种滤波算法对 NDVI 高质量数据保真性研究. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1): 119-125.
- [15] 金翠, 张柏, 宋开山. 基于 MODIS 数据的三江平原地覆被分类. *资源科学*, 2009, 31(3): 515-522.
- [16] 李儒, 张霞, 刘波, 张兵. 遥感时间序列数据滤波重建算法发展综述. *遥感学报*, 2009, 13(2): 335-341.
- [18] 黄耀欢, 王建华, 江东, 周芹. 利用 S-G 滤波进行 MODIS-EVI 时间序列数据重构. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2009, 34(12): 1440-1443.
- [19] 边金虎, 李爱农, 宋孟强, 马利群, 蒋锦刚. MODIS 植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构. *遥感学报*, 2010, 14(4): 725-741.
- [24] 贵州省林业厅. 贵州省雨雪冰冻灾害森林资源损失调查评估实施细则. 2008.
- [25] 布仁仓, 常禹, 胡远满, 李秀珍, 贺红土. 基于 Kappa 系数的景观变化测度——以辽宁省中部城市群为例. *生态学报*, 2005, 25(4): 778-785.