

文章编号: 1008-2786-(2010)4-478-09

基于对象方法的南岭山区雨雪冰冻灾害 遥感检测与空间分析

朱俊凤^{1,2,3}, 钱峻屏², 廖广社⁴, 王芳⁵, 何克军⁴, 张运英²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 广州地理研究所, 广东省遥感与GIS应用重点实验室, 广东 广州 510070
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 广东省林业局, 广东 广州 510173; 5. 广州大学, 广东 广州 510006)

摘要: 针对2008年初的南方雨雪冰冻灾害, 以受灾严重的广东南岭山区为研究区域, 采用面向对象的方法进行森林植被破坏遥感检测研究, 首先得到林地分布图, 然后用K均值聚类法进行基于对象NDVI差值的森林受灾程度分级, 得到灾害等级地图, 最后用分带统计法对灾害的空间分布形态进行了分析。林地提取的总体精度为95.33%, 灾害分级的总体精度为87.27%, Kappa系数为80.74%。灾害空间分析表明: 高程上, 600~1600m主要为重度、中度受灾; 600~1300m, 高程越高, 受灾比例越大; 1300~1600m, 比例有所下降; 400m以下和1600m以上主要为轻度受灾; 坡度上, 随着坡度的增大, 重度、中度受灾比例有所增加, 但差异并不十分明显; 坡向上, 各级灾害比例几乎没有差别。

关键词: 雨雪冰冻; 南岭; 面向对象; 遥感; 归一化植被指数(NDVI); 空间分析

中图分类号: P429

文献标识码: A

由于全球气候的变化, 近年来冰冻、暴雪、台风、洪水等气候异常事件的发生频率和发生强度都有所提高, 给林木生长和林区经营管理造成了严重的影响, 不论是单株树木的生长, 还是物种的结构、景观的生物多样性, 乃至整个生态系统都可能遭受不同程度的破坏^[1]。及时准确地获取植被破坏信息, 对于林区的灾情评估和灾后恢复重建, 以及生态系统的长期监测都具有重要意义。遥感技术能够支持大范围的对地同步观测, 并且卫星遥感较高的重访周期也确保了获取灾前、灾后森林状况的能力。因此应用遥感技术进行森林破坏检测, 已经成为传统地面样方调查的重要补充。

2008-01-10~02-02, 我国经历了4次大范围的低温雨雪冰冻天气过程, 其持续时间之长、范围之广、强度之大百年不遇^[2], 给林业造成了巨大的

损失。针对此次雨雪冰冻灾害, 我国研究人员开展了一系列的研究, 如苏文会等^[3]通过样方调查的方式对黄山区毛竹林损害的程度、类型以及林地因子与受灾程度的关系进行了研究, 结果表明毛竹林的年龄和胸径对受灾程度的影响不大, 而海拔、地形、坡向、立竹度对毛竹林受损率影响显著; 赵霞等^[4]通过在海拔700~1000m的植被群落中设置四个固定样地对杨东山十二度水自然保护区木本植物机械损伤进行了初步调查、统计分析, 包括不同胸径、不同树高的不同受灾类型的比例; 薛建辉等则从森林植物受到的直接破坏、森林结构组成变化、生态系统功能变化几个方面阐述了雨雪冰冻灾害对森林生态系统的影响并给出了恢复、重建和减灾对策。这些地面研究对深入研究冰雪的危害, 分析植被的致灾机理以及建立预警模型具有重要意义。然而受人

收稿日期 (Received date): 2009-11-12; 改回日期 (Accepted): 2010-03-01。

基金项目 (Foundation item): 广东省科技计划项目 (2007B020500002-9); 国家自然科学基金项目 (40801034); 广州市高校科技计划项目 (08C025) 资助。 [Supported by Guangdong Science and Technology Department, National Natural Science Foundation of China, Guangzhou Bureau of Education.]

作者简介 (Biography): 朱俊凤 (1985-), 女, 汉族, 硕士研究生, 中国科学院广州地球化学研究所, 主要研究方向为多尺度遥感应用。 [Zhu Jun-feng (1985-), female, Han nationality, master in reading, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Main research interest is Multi-scale remote sensing application.] E-mail: zhu.junfeng1985@126.com

力、物力的限制, 地面研究只能建立在有限的实地样方基础上, 研究区域较小, 难以在面上展开, 影响了对灾害演变的时空特征的研究。国外学者较早地运用遥感影像进行雨雪冰冻灾害的研究, 如 Stueve 等^[1]运用遥感影像分析了冰暴灾害的空间形态; Ian 等^[5]应用 TM 影像对 1998-01 美国东北部的一场极端冰暴天气进行了研究, 比较和评估了不同分类方法在落叶林破坏程度分析中的精度, 分析结果认为神经网络分类法有较高的分类精度。Millward 等^[6]认为归一化植被指数 (NDVI) 能够较好地表征森林活力和冠层密度的变化, 并用 NDVI 的变化分析了冰暴对纽约北部森林的破坏, 结果证实 NDVI 差值和冠层受害程度之间有较强的线性相关关系。针对 2008 低温雨雪冰冻天气过程, 虽然国内也有学者 (王明玉等^[7], 徐新良等^[8]) 运用遥感方法对森林区的林木受害程度进行了分析, 但所采用的数据空间分辨率较低 (MODIS 数据), 灾害的分级方法也有较大的主观性。

近年来, 随着遥感影像空间分辨率不断提高, 遥感数据的分析方法也有了突破性的进展。为此, 本文提出采用遥感影像分析的新方法——面向对象分析方法, 针对 2008 年初的南方雨雪冰冻灾害进行遥感检测研究, 得到森林受灾等级地图, 并对灾害的空间分布形态进行分析。研究工作对探讨面向对象等方法在林区遥感监测中的应用有积极的意义。受研究区域多时相高分辨率遥感影像存档数据的限制,

本文仍采用 TM 影像作为试验数据, 但相关的研究方法对更高分辨率的遥感数据同样适用, 也值得展开进一步的研究。

1 研究区和数据

1.1 研究区概况

2008 年的特大雨雪冰冻灾害使广东林业遭受了严重的损失。全省受灾森林面积 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$, 损失林木蓄积 $269 \times 10^4 \text{ m}^3$, 直接经济损失达 15 亿元。持续的冰雪灾害, 在粤北山区造成大面积林木被积雪压断, 树木折干、倒伏、翻斃的情况随处可见。全省受灾最严重的地区分布在南岭山脉的韶关、清远、河源、梅州、肇庆等地。南岭山脉是广东北部的天然屏障, 也是我国南方生态敏感区, 其生态系统的稳定性和生物多样性对南岭北部湘江、赣江和南部珠江流域的生态环境有着重要影响。为此, 论文选取受灾最严重的南岭山脉的韶关、清远为研究区。图 1 为研究区 TM 数据覆盖的范围。

韶关市位于广东省北部, 地处南岭山脉之南的珠江流域北江上、中游, 属季风型中亚热带和南亚热带气候, 森林资源十分丰富, 全市林业用地面积为 $143.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积的 78.0%, 有林地面积 $127 \times 10^4 \text{ km}^2$, 森林覆盖率为 70.9%。清远市位于广东省的西北部, 北江中下游, 南岭山脉南侧与珠江三角洲的结合带上, 全市林业用地面积 139.1×10^4



图 1 研究区

Fig 1 Study area

km^2 , 占全市土地总面积的 72.7%, 其中有林地面积 $101.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 森林覆盖率 66.7%, 北部山区有大片天然林, 南部山地丘陵地区主要是人工林。

1.2 数据及预处理

本次研究收集了研究区域灾前、灾后不同年份、季节基本对应的 Landsat5 TM 合格影像 (云量覆盖 < 5%), 数据波段为 1~5 和 7 波段, 空间分辨率为 30 m。数据情况如表 1。

表 1 研究区的 TM 数据

Table 1 TM data of study area

轨道号: 行	轨道号: 列	数据接受时间 (年-月-日)	主要覆盖区域
122	43	2007-01-29	韶关
122	43	2008-03-04	韶关
123	43	2005-09-11	清远
123	43	2008-05-14	清远

此外还收集了韶关、清远地区的行政区划和 1:5 万等高线矢量地图。其中等高线全部转化为 DEM, DEM 采样间隔和 TM 数据的空间分辨率一致, 均取 30 m。为了后续的空间分析, 还计算了 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 栅格单元的坡度和坡向。

影像的几何校正采用 ERDAS MAGINE 的自动配准模块 AutoSync 来进行, 采用二阶多项式拟合, 将误差控制在 0.5 个象元内。相对辐射校正采用暗目标法, 即分别减去各自图像中灰度最小值, 具体操作通过 ERDAS MAGINE 建模完成。

归一化植被指数 (NDVI) 是植被变化分析中使用最广泛的植被指数之一, 研究也证明 NDVI 变化能够很好的表征植被冠层雨雪冰冻灾害受害程度^[7]。所以这里采用 NDVI 差值来检测植被变化。NDVI 的计算通过 TM 影像的波段 4 和波段 3 灰度值之差除以波段 4 和波段 3 灰度值之和得到。NDVI 差值图像用灾后 NDVI 减去灾前 NDVI 得到。

2 方法

面向对象分析方法是影像分析的新思路。与传统的基于象元的影像分析方法不同, 面向对象方法以影像分割得到的影像对象为信息提取的单元, 而不再是单个象元。它能够综合运用对象的光谱、形状、纹理等特征。研究表明, 面向对象方法在土地覆盖分类、变化检测等方面都取得了优于像素分析的结果^[9]。本文采用面向对象的专业软件 Definiens

Develop, 在影像分割的基础上, 首先采用隶属度函数分类方法得到林地分布图, 然后用 K 均值聚类法对林地受灾程度进行分级, 得到灾害等级地图, 最后用分带统计法分析了灾害的空间分布形态, 其流程如图 2 所示。

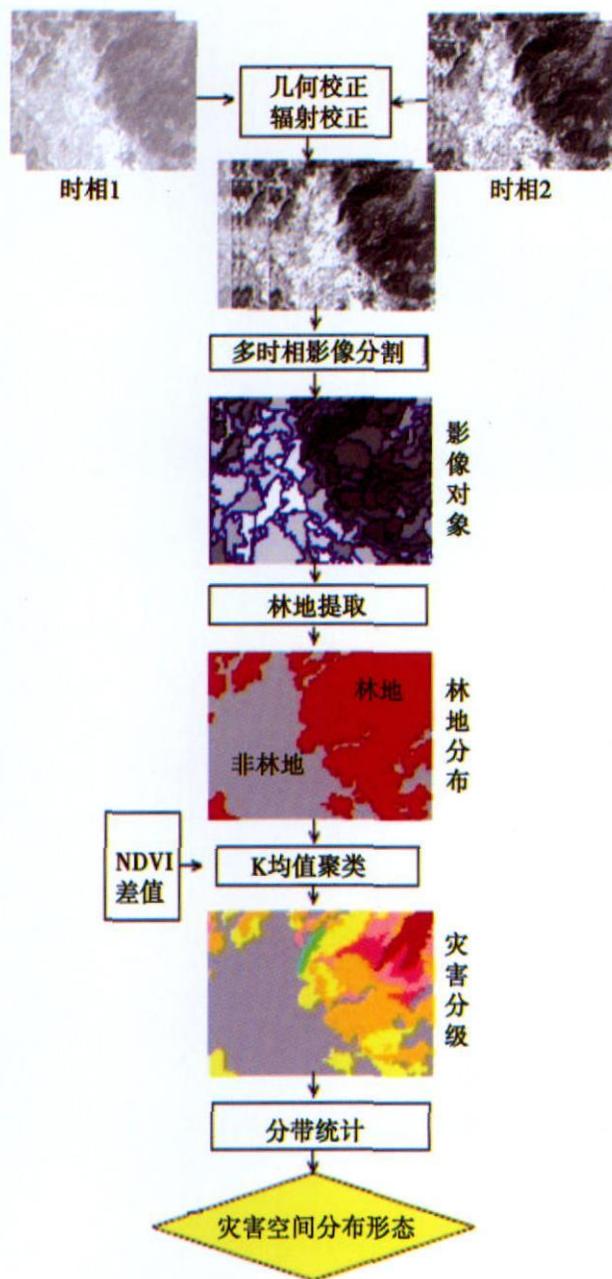


图 2 流程图

Fig. 2 Flow chart

2.1 多时相影像分割

影像分割就是将影像划分为不同的“均质”区域, 即影像对象。最常用的影像分割算法为基于异质性最小的区域合并算法, 它先将单个像元合并为

较小的影像对象, 再将较小的影像对象合并成较大的多边形对象, 最终生成异质性最小的影像对象^[10]。影像分割的好坏直接影响到后续的信息提取, 而分割结果主要通过分割尺度、光谱因子、形状因子等几个参数进行控制。不同的分割参数得到的影像对象大小、形状不一样, 地物的精细程度也就不一样。其中, 分割尺度对影像对象的大小影响最大, 分割尺度过大, 影像中不同类型的地物难以区分, 分割尺度过小, 地物对象又过于破碎。因此选取一个合适的分割参数很重要。本文的分割参数如表 2。

表 2 分割参数

Table 2 Segmentation parameters

尺度参数	色调	形状	紧致度	平滑度
30	0.9	0.1	0.5	0.5

通常的影像分割是基于一个时相的影像进行的, 但在变化检测研究中, 必须采集同一区域不同时相的遥感影像, 才能分析地表可能发生的变化。为简化分割流程, 本研究采用一次性分割策略, 即将灾前、灾后 TM 影像的所有波段同时输入分割算法中。考虑到土地利用和高程有着较强的关系, 如农田一般分布在平地 and 海拔较低的地区, 而林地一般分布在海拔较高地区, 为了提高林地信息提取的精度, 本文把 DEM 高程数据也作为影像分割的输入层之一。分割得到的影像对象就是后面进一步分类和变化检测的基本单元。

2.2 林地提取

为了排除非林地变化对林地雨雪冰冻灾害破坏检测的影响, 本文基于灾前影像把研究区分为非林地和林地两个大类。本文的目的是准确提取林地, 非林地之间的类别界限不需要很明确, 它们之间的一些互分对我们的结果没有影响, 所以非林地大致分为城镇、裸地类、农用地、水体。类别之间充分运用了面向对象包含、继承的语义关系。图 3 为类结构图。



图 3 类结构

Fig 3 Class structure

Definiens Develop 提供两种分类方法: 一种是选择样本, 利用最邻近分类; 另一种是定义类的隶属度函数, 进行模糊分类。本文采用隶属度函数进行分层分类。隶属度函数分类通过定义类特征和隶属度函数进行分类, 特征的选择能够最大程度发挥研究者的知识^[11]。它不是硬性给出对象属于某一类, 而是给出对象属于某几类的概率, 取概率最大的那一类为最终所属类别。在对地物光谱曲线理解的基础上, 定义 band(2+3-4-5) 的对象灰度均值 (以下特征均为对象灰度均值) 作为水体的特征, 定义 band(4/3) 作为城镇、裸地类的特征, 定义 band(3+4+5) 作为农用地的特征。各类的阈值通过使用 Definiens Develop 软件的 feature view 视图人工交互确定。图 4 是水体的隶属度函数和阈值, 特征值 > 0 的对象完全属于水体, < -1 的完全不属于水体, 处于 -1~0 之间的按照隶属度函数给出隶属度, 然后给出类别。本文进行分层分类, 首先分出水体类, 然后在未分类对象里分出城镇、裸地类, 再在未分类里分出农用地类, 最后未分类对象分为林地。

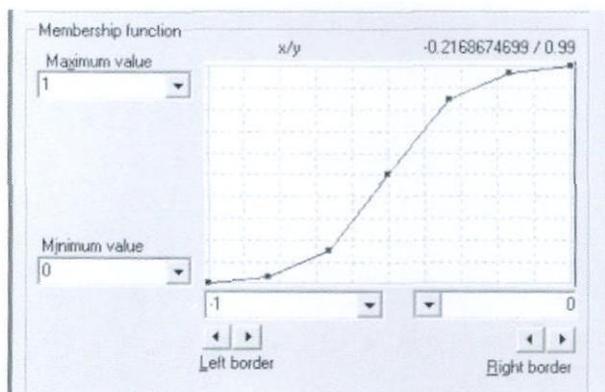


图 4 水体隶属度函数

Fig 4 Membership function of water

2.3 灾害分级

单变量影像差值法 (Univariate Imaging Differencing UID) 是森林突发事件 (如飓风、台风、冰暴等) 破坏分类最常用的方法。该方法用灾前、灾后植被指数的变化来表征植被的受灾程度, 归一化植被指数 $NDVI$ 是使用最普遍的指数之一^[12]。因此, 本文采用基于对象的 $NDVI$ 差值对此次森林植被的雨雪冰冻灾害分级。单变量影像差值法中, 灾害分级的关键是变化阈值的确定。通常的阈值确定是建立植被指数差值和地面调查的受灾程度之间的相关关系, 进而作出灾害分类或分级^[17]。但这要求有相

当数量的地面调查,数据采集费时费力,并且受灾区的地面调查数据常常难以获取,这对灾情发生后的灾害快速制图非常不利。 K 均值聚类法不需要对受灾的情况有很多的了解,它以灾害本身呈现出来的植被指数的变化进行分类、分级。因此本文采用 K 均值聚类法对灾情进行分级。具体方法是先建立随机的类别中心,然后通过迭代,移动各个基准类别的中心,使得同一类别的对象之间的距离尽可能地小而不同类别的对象距离尽可能地大,最终把整个区域的数据分成用户指定的级别(类型)数。采用 K 均值聚类法能够快速、自动地进行灾害分级,并且避免人为选择阈值的误差。

2.4 灾害空间分析

对灾害的空间分析采用分带统计的方法,从高程、坡度、坡向三个方面分析灾害的空间分布形态。分带统计法就是先把高程、坡度、坡向按一定的间隔重分类,然后统计各个类别里不同等级灾害所占比例,具体操作采用 arcgis 空间分析中的 zonal histogram 模块。

3 结果与分析

3.1 林地提取结果

图 5 是林地提取结果, a 为清远地区, b 为韶关地区。水库和宽度较大的河流分为水体,而河流的一些细小支流被分为城镇、裸地类,原因是影像分割时,细小支流对象里混杂了邻近的水边地。城镇、裸地类里包含部分耕地、菜园等农用地。因为本文的目的是准确区分林地和非林地,这些非林地类型间的互分对本文的研究没有影响。结果显示,林地和非林地有较好的区分,面向对象的分类避免了传统像素分类难以解决的“椒盐噪声”现象。

3.2 灾害分级结果

用 SPSS 软件对导出的林地对象进行 K 均值聚类,灾害等级划分为重度受灾、中度受灾、轻度受灾和未受灾四类,迭代次数设为 100 收敛阈值为 0.02。聚类结果显示:韶关地区灾害阈值划分为 $\Delta NDVI(NDVI$ 差值) ≤ -0.344082 为重度受灾, $-0.344082 < \Delta NDVI \leq -0.254148$ 为中度受灾, $-0.254148 < \Delta NDVI \leq -0.1809$ 为轻度受灾, $\Delta NDVI > -0.1809$ 为未受灾;清远地区灾害阈值划分为 $\Delta NDVI \leq -0.191739$ 为重度受灾, $-0.191739 < \Delta NDVI \leq -0.096597$ 为中度受灾, -0.096597

$< \Delta NDVI \leq -0.015356$ 为轻度受灾, $\Delta NDVI > -0.015356$ 为未受灾。图 6 为灾害分级结果。

3.3 分类结果分析与精度检验

从灾害分级的结果看(见图 6),韶关地区的受灾范围和程度都要比清远地区大。本文分析了灾后韶关和清远 TM 影像重叠区的 $NDVI$ 直方图分布情况(图 7)。韶关区域 TM $NDVI$ 主要分布在 0~0.2,而清远区域 TM $NDVI$ 主要分布在 0.2~0.5,明显比韶关区域数据偏大。从数据接收的时间来看,韶关区域 TM 为 2008-03-04,这时灾害时间过去不久,而清远地区 TM 接受时间为 2008-05-14,距离受灾时间 3 个月,且 5 月气温回暖,植被处于生长期,地表植被有了一定的恢复,因此 $NDVI$ 差值中反映出的受灾程度较轻。考虑到 3 月相对 5 月来说,距灾害时间过去不久,植被恢复微弱, $NDVI$ 的差值更能反映植被的受灾状况,所以本文以韶关区域 TM 的分类结果做精度检验。

采用误差矩阵对结果进行精度检验。在 Definiens Develop 软件里,根据影像分析结果和野外实测数据,选择各种类型的样本对分类结果进行检验。分别对林地提取结果和灾害分级结果进行检验。精度指标选择总体精度、kappa 系数和各类别的制图精度、用户精度等(表 3)。检验得到林地提取的总体精度为 95.33%,该精度较高,保证了后续森林植被灾害分级的范围。灾害分级的总体精度为 87.27%, Kappa 系数为 80.74%。重度受灾制图精度达到 96%,但用户精度 81.94%,稍低,原因是部分中度受灾被划分为重度受灾,这也影响了中度受灾的制图精度。轻度受灾的制图精度和用户精度都达到 90% 以上。总的来说,精度还是比较理想的。

3.4 灾害空间分析结果

为分析受灾林地的空间分布,将高程重分类为 0~200 200~300 300~400 400~600 600~800 800~1000 1000~1300 1300~1600 1600~1900 等 9 个带,坡度重分类为 0~5 5~10 10~15 15~20 20~25 25~30 30~35 35~45 45~79 等 9 个带,坡向分为 N、NE、E、SE、S、SW、W、NW 等 8 个方向。各地形因子各带重度受灾、中度受灾、轻度受灾所占百分比的统计结果如图 8。

从图 8 a 可以看出,600~1600 m 主要为重度、中度受灾。600~1300 m,高程越高,重度、中度受灾比例越大,1300~1600 m,比例有所下降。400 m 以下和 1600 m 以上主要为轻度受灾。骆土寿等^[15]

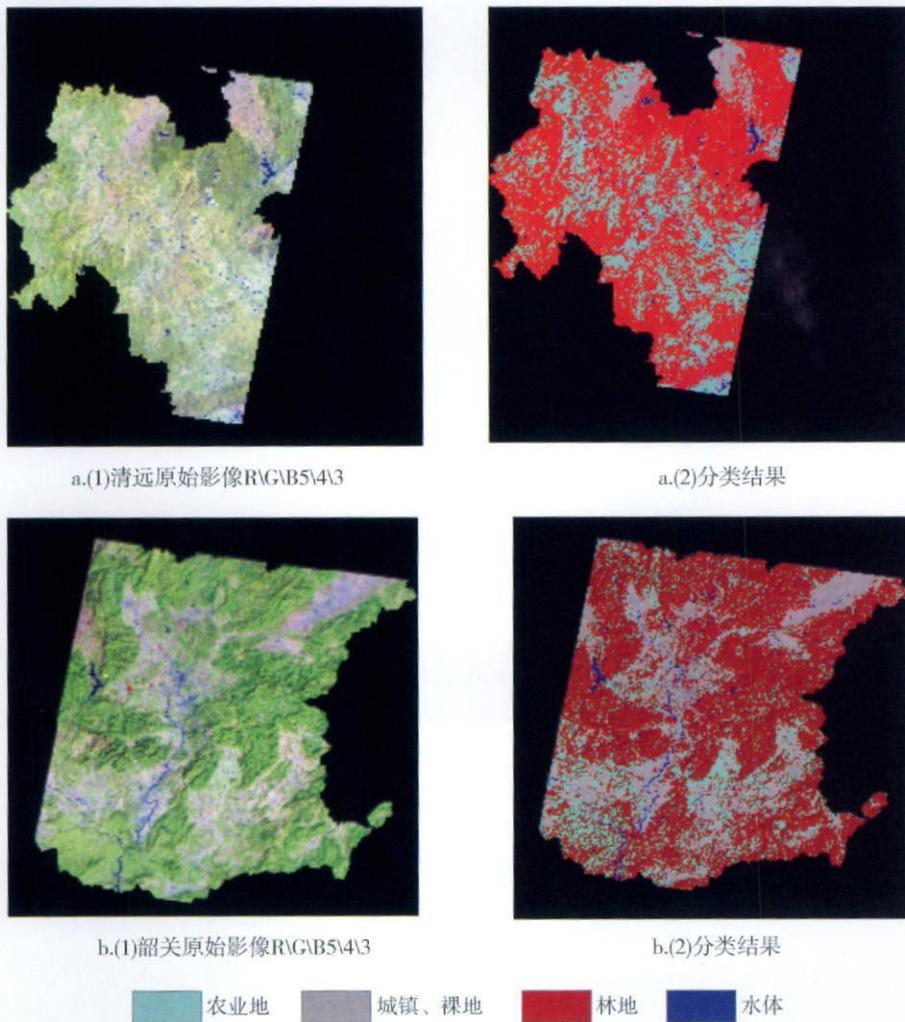


图 5 林地提取结果

Fig. 5 The map of forest

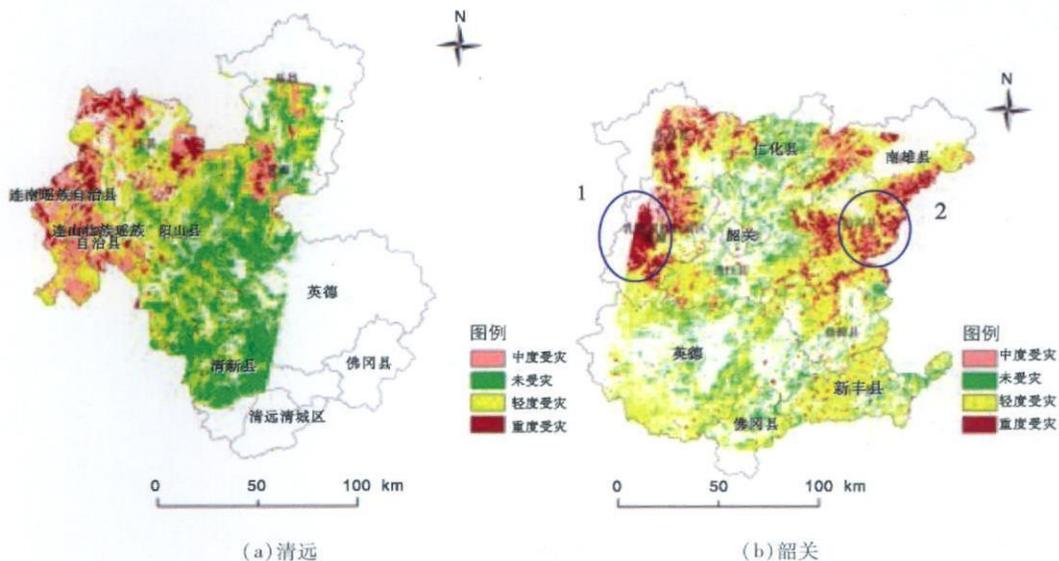


图 6 森林灾害分级结果

Fig. 6 The classification of forest disaster

表 3 分类精度检验结果

Table 3 The result of Classification accuracy

实地采样	影像分类					
	非林地	林地	重度受灾	中度受灾	轻度受灾	总和
非林地	79	5				84
林地	2	64				66
总和	81	69				150
总体精度 = (79 + 64) / 150 = 95.33%						
	制图精度	漏分误差	用户精度	错分误差		
非林地	79 / 84 = 94.05%	5.95%	79 / 81 = 97.53%	2.47%		
林地	64 / 66 = 96.97%	3.03%	64 / 69 = 92.75%	7.25%		
重度受灾			59	2	0	61
中度受灾			13	40	1	54
轻度受灾			0	5	45	50
总和			72	47	46	165
总体精度 = (59 + 40 + 45) / 165 = 87.27% kappa系数 = 80.74%						
	制图精度	漏分误差	用户精度	错分误差		
重度受灾	59 / 61 = 96.72%	3.28%	59 / 72 = 81.94%	18.06%		
中度受灾	40 / 54 = 74.07%	25.93%	40 / 47 = 85.11%	14.89%		
轻度受灾	45 / 50 = 90%	10%	45 / 46 = 97.83%	2.17%		

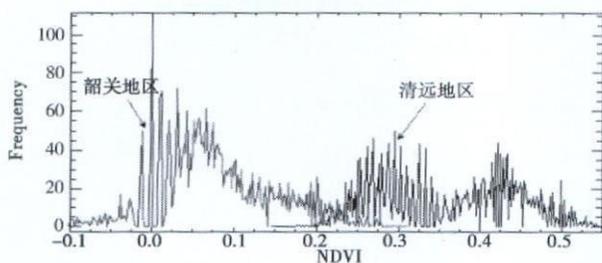


图 7 灾后两景 TM 重叠区 NDVI直方图比较

Fig 7 NDVI histogram comparison of two TM images overlap after disaster

对广东杨东山十二度水自然保护区常绿与落叶混交林的受灾调查显示, 森林受灾程度与海拔成正比, 海拔 700~1000 m 范围内的植被严重受损。李意德^[10]对南岭山区受灾严重的几个国家级、省级自然保护区的地面调查也显示, 400 m 以下主要为轻度受灾, 400~500 m 受灾为轻度到中度, 500~1000 m 为重度受灾, 1000~1300 m 又减轻为中度到轻度。本文的各级受灾在高程上的分布趋势和地面调查的结果基本吻合。图 8 b 显示坡度越大, 重度、中度受灾比例有所增加, 但差异并不十分明显。图 8 c 显示各坡向上的各级受灾比例几乎没有差别。

从整个灾害的空间分布上来看(图 6(b)), 北部受灾比南部严重, 重度、中度受灾主要分布在乳源、乐昌、南雄和始兴县。区内国家级、省级森林生态系统类自然保护区几乎都受灾, 如椭圆框 1、2 所在区域分别为南岭(乳阳)、车八岭国家级自然保护区。南岭国家级自然保护区几乎全为重度受灾, 车八岭国家级自然保护区主要为中度、重度受灾, 这和地面调查的结果相符^[13]。

4 结论

森林植被受灾的快速制图和灾害空间分析对于了解灾害的程度、范围、分布、灾害评估以及灾后恢复重建都有着重要意义。针对 2008 年雨雪冰冻给林业造成的灾害, 本文开展了基于 TM 影像的面向对象灾害检测和空间分析研究。灾害分级结果显示, 面向对象的植被指数差值法对灾害的分级行之有效。灾害空间分析显示, 高程上, 600~1600 m 主要为重度、中度受灾, 600~1300 m, 高程越高, 受灾比例越大, 1300~1600 m, 比例有所下降。400 m 以下和 1600 m 以上主要为轻度受灾; 坡度上, 随着

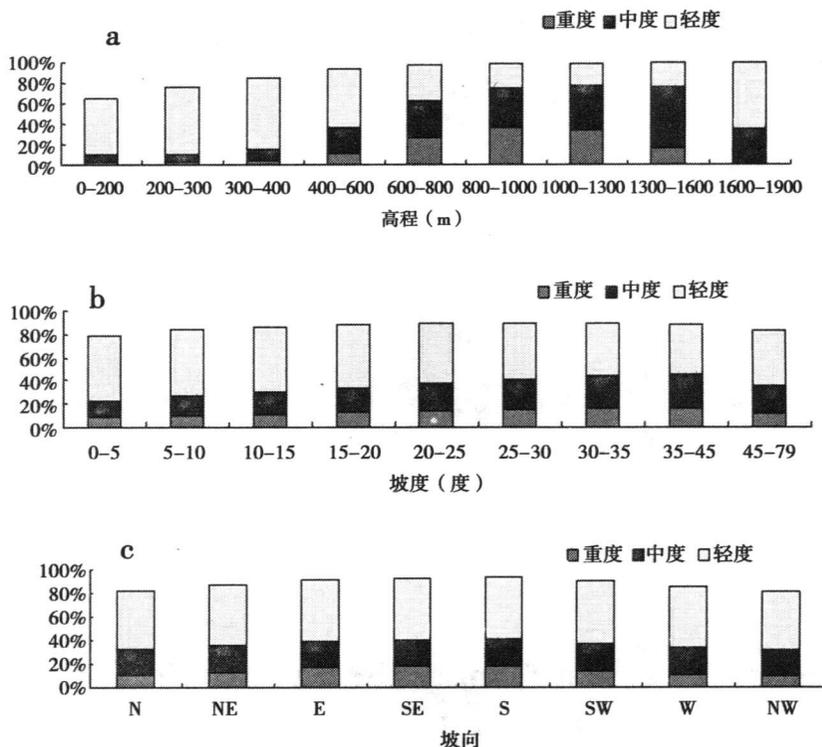


图 8 灾害空间分布

Fig 8 The spatial distribution of disaster

坡度的增大, 重度、中度受灾比例有所增加, 但差异并不十分明显; 坡向上, 各级灾害比例几乎没有差别。对于区域内的自然保护区而言, 此次雨雪冰冻灾害对它们造成了中到重度的受灾, 特别是南岭(乳阳)国家级自然保护区, 几乎全为重度受灾。本文是对用遥感检测大范围森林植被灾害方法的有益尝试。但相关问题还有待进一步研究, 如 *NDVI* 是否是表征植被, 特别是茂密森林区受灾程度的最佳植被指数, 不同等级灾害划分阈值是否有更加客观和准确的方法等。

致谢: 感谢南岭保护区的龚粤宁主任、游章平工程师对我们野外工作的大力支持。

参考文献 (References)

- [1] Stueve K M, Lafon C W, Isaacs R E. Spatial patterns of ice storm disturbance on a forested landscape in the Appalachian Mountains, Virginia [J]. *Ara*, 2007, 1(39): 20~30
- [2] Wang Zunya, Zhang Qiang, Chen Yu, et al. Characters of meteorological disasters caused by the extreme synoptic process in early 2008 over China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2008, (02): 63~67 [王遵娅, 张强, 陈峪, 等. 2008年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征 [J]. *气候变化研究进展*, 2008, (02): 63~67]
- [3] Su Wenhui, Fan Shaohui, Zhang Wenyuan, et al. Damage of frost

and snow disaster to Moso Bamboo Stands and the influencing factors in Huangshan, Anhui Province [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, (11): 42~49 [苏文会, 范少辉, 张文元, 等. 冰冻雪灾对黄山毛竹林的损害及影响因子 [J]. *林业科学*, 2008, (11): 42~49]

- [4] Zhao Xia, Shen Xiaoping, Huang Shining, et al. Mechanical damages to woody plants from a snow disaster in Yangdongshan Shierdushui Provincial Nature Reserve [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, (11): 164~167 [赵霞, 沈孝清, 黄世能, 等. 冰雪灾害对杨东山十二度水自然保护区木本植物机械损伤的初步调查 [J]. *林业科学*, 2008, (11): 164~167]
- [5] Olthoff J, King D J, Lautenschlager R A. Mapping deciduous forest ice storm damage using Landsat and environmental data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4): 484~496
- [6] Milward A A, Kraft C E. Physical influences of landscape on a large-extent ecological disturbance: the northeastern North American ice storm of 1998 [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(1): 99~111
- [7] Wang Mingyu, Shu Lifu, Zhao Fengjin, et al. Quantity analysis of forest fuel under the impacts of snow damage in south of China—Case study in Hunan Province [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, (11): 69~74 [王明玉, 舒立福, 赵凤君, 等. 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 [J]. *林业科学*, 2008, (11): 69~74]
- [8] Xu Xinliang, Su Fuyan, Zhuang Dafang, et al. Remote Sensing Monitoring of Impacts of Southern Ice and Snow Process on Eco-environment in 2008: A Case Study in Zixing County, Hunan Province [J].

Journal of Geo-Information Science, 2009, (02): 237~ 243 [徐新良, 苏富岩, 庄大方, 等. 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[J]. 地球信息科学学报, 2009, (02): 237~ 243]

- [9] Han Shanshan, Li Haitao, Gu Haiyan. The Study on Land Use Change Detection Based on Object-oriented Analysis[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, (03): 23~ 29 [韩闪闪, 李海涛, 顾海燕. 面向对象的土地利用变化检测方法研究[J]. 遥感信息, 2009, (03): 23~ 29]
- [10] Huang Huiping. Scale Issues in Object-oriented Image Analysis [D]. Graduate university of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2003 [黄慧萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D]. 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2003]
- [11] Hu Deyong, Li Jing, Zhao Wenji, et al. Object-oriented landslide

detection from remote sensing in ageries with high resolution[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, (06): 42~ 46 [胡德勇, 李京, 赵文吉, 等. 基于对象的高分辨率遥感图像滑坡检测方法[J]. 自然灾害学报, 2008 (06): 42~ 46]

- [12] Wang W T, Qu J J, Hao X J, et al. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 122~ 132
- [13] Luo Tushou, Zhang Guoping, Wu Zhongning, et al. Effects of the Frozen Rain and Snow Disaster to the Litterfall of Evergreen and Deciduous Broadleaved Mixed Forest in Yangdongshan Shierdushu Nature Reserve of Guangdong[J]. *Scientia Sinica*, 2008 (11): 177~ 183 [骆土寿, 张国平, 吴仲民, 等. 雨雪冰冻灾害对广东杨东山十二度水保护区常绿与落叶混交林凋落物的影响[J]. 林业科学, 2008(11): 177~ 183]

Forest Damage Detection from an Freezing Rain and Snow Using Remote Sensing Based on Object-oriented Method and Spatial Analysis in Nanling Mountain Areas

ZHU Junfeng^{1, 2, 3}, QIAN Junping², LIAO Guangshe⁴, WANG Fang⁵, HE Kejun⁴, ZHANG Yunying²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong 510070, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 4. Guangdong Bureau of Forestry, Guangdong 510173, China; 5. Guangzhou University, Guangdong 510070, China)

Abstract Mapping forest damage quickly and accurately using remote sensing technology is great significance for forestry disaster assessment and disaster recovery and reconstruction, as well as long-term monitoring of forest ecosystems. An extreme freezing rain and snow in early 2008 resulted in significant forest damage across South China. This paper took Nanling mountain areas in Guangdong Province which was hard-hit as study area to detect forest damage using remote sensing based on object-oriented method. First, we got the distribution of forest land, then got the disaster level map using K-means cluster based on object NDVI difference; finally, we analyzed spatial patterns of forest disaster using zonal statistic. The overall accuracy of forest land extraction is 95.33%, the overall accuracy of disaster classification is 87.27% and Kappa coefficient is 80.74%. Spatial analysis of forest disaster showed that the damage at 600~ 1600 m was mainly a major and moderate disaster. At 600~ 1300 m, the higher the elevation, the greater the proportion of major and moderate disaster; at 1300~ 1600 m, the proportion decreased. The damage at 0~ 400 m and 1600~ 1900 m was mainly minor disaster. The proportion of major and moderate disaster increase as the slope increased, but the difference was not very obvious. The proportion of all kinds of disasters was almost no difference on aspect.

Key words freezing rain and snow; Nanling; object-oriented; remote sensing; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); spatial analysis