

引用格式:王学成,杨飞,高星,等.基于NDVI阈值法的森林冰冻受灾范围精确提取[J].地球信息科学学报,2017,19(4):549-558. [Wang X C, Yang F, Gao X, et al. 2017. Precise extraction of damaged forest range caused by ice-snow frozen disaster based on the NDVI threshold method. Journal of Geo-information Science, 19(4):549-558.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.00549

基于NDVI阈值法的森林冰冻受灾范围精确提取

王学成^{1,2}, 杨飞^{1*}, 高星¹, 李丽³

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西安科技大学 测绘科学与技术学院, 西安 710054

Precise Extraction of Damaged Forest Range Caused by Ice-snow Frozen Disaster Based on the NDVI Threshold Method

WANG Xuecheng^{1,2}, YANG Fei^{1*}, GAO Xing¹ and LI Li³

1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Surveying Engineering, Xian University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

Abstract: Extraction of damaged forest range caused by ice-snow frozen disaster is good for knowing the relevant regional disaster information in time, and it can provide scientific support for disaster prevention and protection of forest resources and ecosystem. We extract pre-disaster plant NDVI reference value and the threshold of normal change with the time series data of 2001-2008. We attained the results of the spatial distribution of Hunan forest disturbed by ice-snow frozen disaster with NDVI data in 2008. The NDVI threshold method can make up for the defect of traditional method based on single-temporal images, which doesn't take the normal change of vegetation index into consideration. The NDVI threshold method helps extracting different normal change threshold for each pixel, causing the results extracted by NDVI threshold method is more objective and reasonable. Contrasted with the results extracted by the traditional method, the percentage of damaged forest according to two methods have significant difference at county level, although the rates forest disasters with two methods are all 34.74% (the real rate of forest disaster is 35.3%) at provincial level. The forest snow disaster is mainly distributed in southern Hunan province and less in northern Hunan province using the NDVI threshold method, but the results using traditional method is contrary compared to the NDVI threshold method. According to field survey data, the spatial distribution of forest snow disaster using the method of NDVI threshold is more closed to real results compared to traditional method and its extracting accuracy is higher. Therefore, the NDVI threshold method is more suitable for extracting the spatial distribution information of forest snow disaster at large regional scale.

Key words: forests; snow disaster; NDVI threshold; information extraction; Hunan province

收稿日期 2016-09-12; 修回日期: 2016-12-14.

基金项目 国家自然科学基金“冰雪冻灾干扰后亚热带森林生态系统恢复力的动态诊断”(41301607); 资源与环境信息系统国家重点实验室青年人才培养基金项目“森林生态系统恢复力的遥感监测”; 西藏生态专项课题“西藏生态环境大数据规范与制图展示”。

作者简介 王学成(1991-), 男, 山东青岛人, 硕士生, 主要从事基于RS和GIS的森林资源调查方面研究。

E-mail: wangxc.15s@igsrr.ac.cn

*通讯作者 杨飞(1981-), 男, 山东枣庄人, 博士, 副研究员, 主要从事遥感与地理信息系统技术研究与应用。

E-mail: yangfei@lreis.ac.cn

*Corresponding author: YANG Fei, E-mail: yangfei@reis.ac.cn

摘要 快速提取森林冰雪受灾范围,有利于准确掌握森林受灾情况,为此类灾害性气候事件防灾减灾、森林资源管理和生态保护提供科学依据。本文利用2001-2007年NDVI数据,提取灾前植被NDVI参考值和正常波动范围,结合2008年NDVI数据提取冰雪冻灾范围。该方法弥补了基于单一时相的传统方法(NDVI差值法)忽略植被指数正常波动的问题,分像元提取植被NDVI正常波动范围,使提取结果更加客观合理。与传统方法提取结果对比,省级尺度的验证结果相同(即森林受灾率均为34.72%,而实地调查森林受灾率35.3%),但2种方法在县市行政单元提取的森林受灾率相差较大。NDVI阈值法提取的森林冰雪受灾范围主要分布于湖南省南部地区,北部地区分布相对较少,而传统方法提取结果主要分布于湖南省北部地区,南部地区分布相对较少。根据实地考察资料显示,相比于传统方法,NDVI阈值法提取结果与实际森林冰雪冻灾空间分布信息更接近,精度更高,更适用于区域大尺度提取森林冰雪受灾范围。

关键词 森林;冰雪冻灾;NDVI阈值;信息提取;湖南省

1 引言

森林冰雪冻灾是指树冠积雪过多,导致植被出现折枝、倒伏甚至死亡等现象^[1-3]。2008年初,中国南方地区遭遇50年一遇(部分地区100年一遇)的冰冻雨雪灾害天气,造成南方地区大面积植被折枝、死亡,森林资源损失严重,森林生态系统功能降低,森林生态系统稳定性与健康遭受严重挑战^[4-7]。

快速提取森林冰雪冻灾空间分布信息,有助于及时应对灾害性气候事件发生,为防灾减灾和森林生态系统管理提供科学依据^[8-11]。已有森林冰雪受灾范围确定方法主要分为2种:人工调查法^[12-14]和遥感图像判别法^[15-17]。人工调查法具有准确度高、可信度高等特点,但需要花费大量的时间、财力、物力和人力,不适应于区域大尺度的森林冰雪受灾范围确定。与之相比,遥感图像判别法具有判别速度快、花费人力少、适应于区域大尺度等特点,已广泛应用于森林冰雪冻灾范围识别。

目前,用于森林冰雪冻灾范围调查的遥感图像判别方法可以归纳为比较受灾前后影像差值^[18-20]和比较灾后影像变化率^[9,21-22]2种方法,在2008年中国南方森林冰雪灾害调查中,均有应用。其中,莫伟华^[19]等比较受灾前后2期MODIS影像差值,已知广西省灾情调查结果,设置差值阈值为0.0045,提取了2008年广西省森林冰雪冻灾范围;侍昊^[9]等基于2007-2008年NDVI变化率,设置变化率阈值为0.048,提取2008年贵州省森林冰雪受灾率28.6%,与官方公布数据17.7%相差较大;吴健生^[22]等利用SPOT VEGETATION数据,计算灾后森林植被NDVI变化率,设置变化率阈值为0.21,提取2008年云南省森林冰雪受灾率12.09%,高于官方公布数据9.11%。但是已有遥感图像判别方法存在以下不

足:缺乏一个可靠且客观的确定受灾阈值方法,对研究区所有森林像元设置单一受灾阈值,没有考虑不同森林像元内大气状况、植被正常生长变化等关键因素综合影响的差异,致使提取结果不合理。针对上述问题,本文利用多时相影像提取单个像元的受灾阈值,提出一个客观合理的受灾阈值确定方法,能够考虑不同森林像元内植被类型、地理环境、大气状况及植被正常生长变化等关键因素的影响,确保森林冰雪冻灾范围提取合理。

2 研究区概况与数据源

2.1 研究区概况

湖南省地处长江中下游,介于东经108°43'07"~114°11'12"、北纬24°36'03"~30°06'28"之间,总面积2119.84万hm²,其中林地面积1283.63万hm²,占全省面积60.55%,以杉木、马尾松、毛竹等常绿林为主,落叶林分布相对较少。2008年初,湖南省遭遇50年一遇的冰雪灾害,境内森林资源损失严重,全省共有123个县市区、177个国有林场、99个国有苗圃、114个森工企业和采育场、12个国家级自然保护区等基层林业单位受到严重侵袭。林木受灾面积452.5万hm²,其中受损乔木林365.3万hm²,受损毛竹面积71.9万hm²,是2008年冰雪冻灾最严重的省份之一^[23],因此本研究以湖南省作为研究区。

2.2 数据源

本文采用2001-2008年儒略日049-064、065-080共2个时段(下文中分别简称049、065时段)的MOD13Q1植被指数数据产品(湖南省覆盖景为h27v05、h27v06和h28v06),该数据产品空间分辨率为250m,时间分辨率为16d。依据此次冰雪覆

盖消融时间,选取儒略日 049 和 065 最接近时段,避免森林火灾等次生灾害影响。2 个时段提取结果合成能够一定程度上减少气溶胶、云等大气噪声的影响,更好地反映植被受损状况^[24]。该数据集包含多种数据产品,选取归一化植被指数(NDVI)和质量评价数据(Quality Assessment, 简称 QA),QA 数据用于对 NDVI 数据可用性筛选,提高提取结果精度。

本文辅助数据包括由中国测绘科学院解译的土地覆被数据(数据空间分辨率达 30 m),当地林业部门提供的部分《雨雪冰冻灾害森林资源调查评估报告》以及其他文献资料中的森林雪灾数据,相关的矢量行政边界图。

3 研究方法 with 数据处理

森林植被折枝、倒伏以及死亡等现象将引起植被指数响应变化^[25-26],在遥感影像上直接表现为 NDVI 显著降低,降幅超出森林像元植被指数正常波动范围。

3.1 冰雪冻灾森林区域提取算法

(1) NDVI 有效值检测与筛选

根据 QA 文件对每个像元 NDVI 数组 [NDVI2001, NDVI2002, ..., NDVI2007] 进行有效性判断,将无效值删除,构成新的 NDVI 数组,逐像元计算 NDVI 平均值,记作 \overline{NDVI} 。利用 QA 文件只能将 NDVI 产品中部分质量较差的 NDVI 值删除,未能有效地将所有 NDVI 异常值删除。正常生长情况下,不同年份同一时段植被 NDVI 值变化较小,若某像元 2001-2007 年中某年 NDVI 值较其他年份 NDVI 值变化较大,则视该像元相应年份 NDVI 值为异常值,将 NDVI 值变化率作为异常值探测指标,记作

R , 计算公式如式(1)所示。

$$R = \left| \frac{NDVI_i - \overline{NDVI}}{\overline{NDVI}} \right| \quad (1)$$

式中: $NDVI_i$ 表示某年 NDVI 值。计算 R 值,当 R 值大于某一数值,视该年 NDVI 值为异常值。

本研究统计灾前湖南省森林像元 NDVI 变化率(相对于 \overline{NDVI}),质量较好数据,变化率较小且分布集中,质量较差数据,变化率较大且分布分散(图 1)。经统计 2007 年 065 时期森林像元 NDVI 变化分布,超过 99% 森林像元 NDVI 变化率小于 0.3,变化率大于 0.2 的森林像元数量下降趋势明显;2007 年 049 时段变化率低于 0.3 的森林像元数量不足 60%,变化率大于 0.3 的森林像元数量波动平稳。因此,本文将灾前植被 NDVI 变化率超过 0.3 的 NDVI 视为异常值。

(2) 植被 NDVI 受灾阈值算法提出

不同年份同一时段植被生长条件相似,由于植被正常生长变化,导致植被 NDVI 值在一定范围内波动^[21-22],大气状况、地形海拔等要素也对植被 NDVI 值波动范围产生影响^[27-29]。此外,不同类型植被在外界条件发生相同变化时,其 NDVI 值波动范围有差异,造成某些未受灾像元被误分为受灾像元。基于此,本文综合考虑这些因素对植被 NDVI 的影响,认为不同森林像元具有不同的正常波动范围,应根据灾后植被 NDVI 降幅是否在正常波动范围内,判断植被是否受灾。

植被 NDVI 正常波动范围和灾前植被参考值是判断植被是否受灾的关键因素,传统方法通常将受灾前一年 NDVI 作为参考值,忽略了大气状况、植被正常生长变化等关键因素的综合影响,易导致灾前植被 NDVI 出现正常波动,偏离植被参考值^[30-31]。

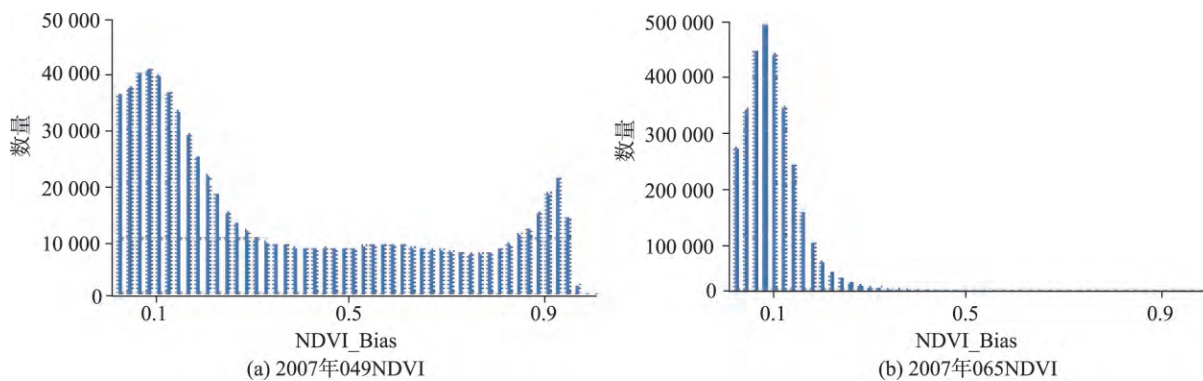


图 1 森林像元 NDVI 变化率统计分布

Fig.1 Statistical distribution of NDVI variation ratios of forest pixels

本文利用受灾前多年数据,取其平均值作为灾前植被NDVI参考值,可以降低由于大气等外界条件造成灾前植被NDVI参考值偏离的几率。

利用QA文件和异常值探测指标 R ,对NDVI数组进行有效性筛选,构成新数组 $NDVI'$,计算新数组平均值,记作 \overline{NDVI}' ,作为灾前植被NDVI参考值。计算不同年份植被NDVI变化率绝对值,将最大值作为植被正常波动范围,记作 $MaxBias$,计算公式如式(2)所示。

$$MaxBias = \max \left(\left| \frac{NDVI'_i - \overline{NDVI}'}{NDVI'} \right| \right) \quad (2)$$

式中: $NDVI'_i$ 表示经过2次筛选后的某一年NDVI值。

(3) 森林冰雪受灾区域提取

计算灾后森林像元同时段植被NDVI波动值,将其作为判断是否受灾的指标,记作 M ,公式如式(3)所示。

$$M = \frac{\overline{NDVI}' - NDVI_{2008}}{\overline{NDVI}'} \quad (3)$$

式中: $NDVI_{2008}$ 表示2008年同时段植被NDVI值。若 M 大于 $MaxBias$,认为该像元受灾,反之未受灾。由于天气条件等因素的影响,灾后某一时段植被NDVI值无法获取或有效性较低,造成部分森林无法判断是否受灾。为尽可能提取森林冰雪受灾范围,本研究分时段(049,065)提取森林冰雪受灾范围,将2个时段提取结果采用“或”运算合成,即任何一个时段判断森林受灾,则视该森林像元受灾。

3.2 精度验证方法

提取的森林冰雪受灾面积总和与实地调查数据相比,可以简单地判断提取结果精度,但是该方法忽略了冰雪受灾空间分布特性。构建误差混淆矩阵,进行Kappa分析^[9],可以充分考虑冰雪受灾信息空间分布,但是使用该方法需要准确的冰雪受灾空间分布作为验证数据,该数据获取难度大,获取周期长,不利于应对紧急气候变化。

根据当地林业部门提供的资料以及从其他文献搜集的资料,建立省、市、县三级尺度对提取的森林受灾面积进行精度验证,采用分尺度精度验证方法,可在一定程度上弥补面积对比方法的不足,使提取结果可信度更高。由于原始数据质量原因,提取的森林冰雪冻灾空间分布信息存在无效值,致使提取受灾面积少于真实受灾面积。为减少该误差影响,

本文根据搜集的森林受灾率,求得森林受灾面积理论值,将森林受灾面积变化率作为评价提取结果精度的指标,记作 N ,具体公式如式(4)所示。

$$N = \left| \frac{At - Ar}{At} \right| \quad (4)$$

式中: At 表示验证单元理论受灾面积; Ar 表示验证单元真实受灾面积。

4 结果与分析

4.1 森林冰雪受灾区域提取流程

利用遥感技术提取研究区森林冰雪受灾区域,首先对NDVI数据、土地覆被数据进行预处理,使其空间分辨率、投影坐标一致;其次,对NDVI数据进行有效性筛选,计算灾前植被NDVI参考值及正常波动范围,提取冰雪受灾范围,合成049和065时段提取结果;然后,将合成结果与土地覆被数据叠加,得到森林冰雪受灾区域;最后,对提取结果进行精度验证,具体流程如图2所示。

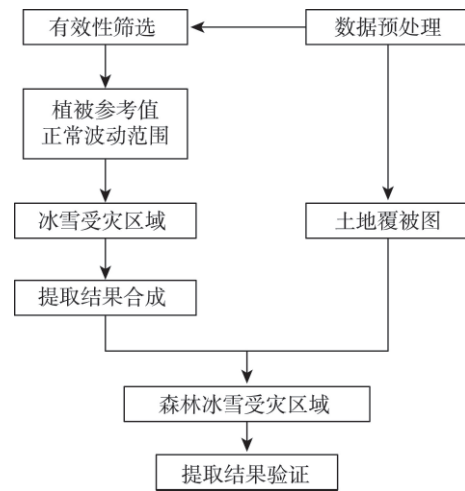


图2 森林冰雪受灾区域提取流程

Fig.2 The flow chart of extraction of forest ice-snow disaster area

4.2 冰雪冻灾提取森林受灾区域结果

(1) 森林正常波动范围提取结果

利用Python脚本语言实现式(2)算法,叠加森林覆盖数据,提取森林植被正常波动范围($MaxBias$)。从图3可以看出,同一时段森林植被受地形条件、光照条件、树种类型等内外因素影响,导致不同森林像元 $Maxbias$ 相差较大。横向比较049和065时段可以看出,不同时段同一森林植被由于外界环境变化导致 $MaxBias$ 发生变化,065时段森林

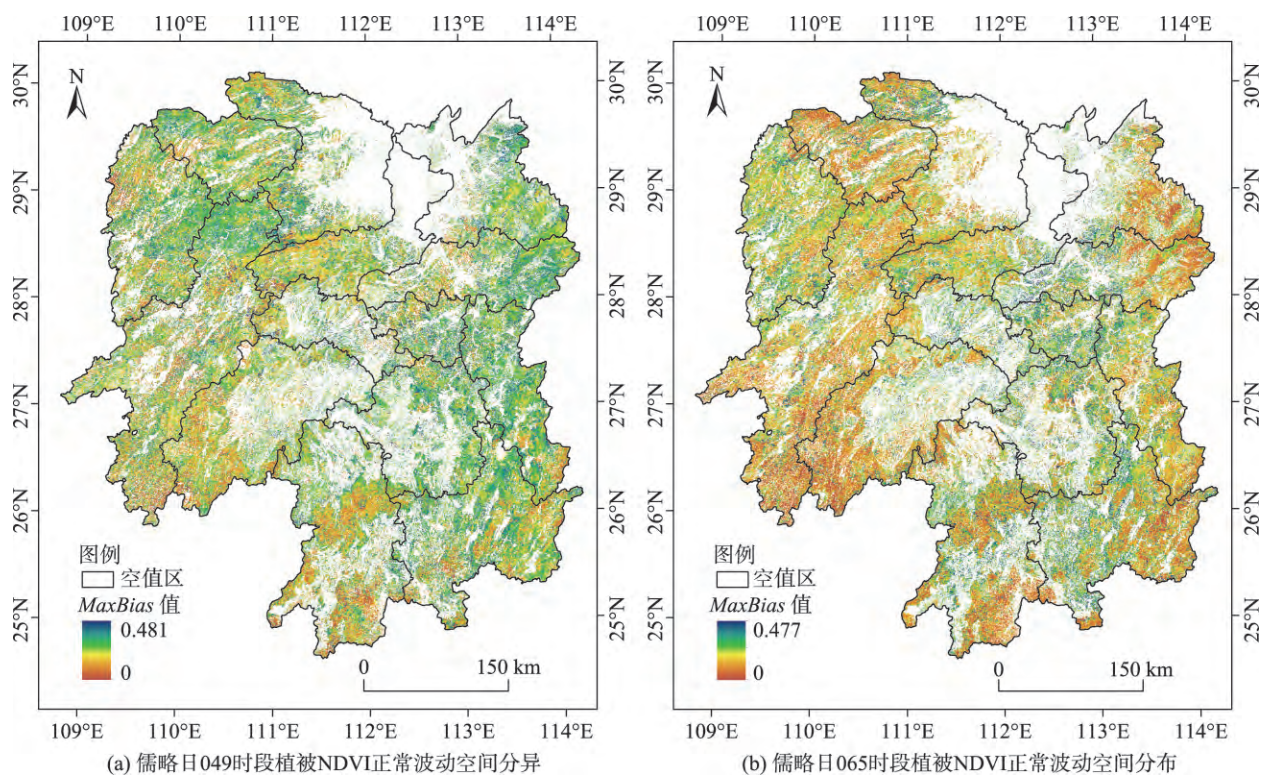


图3 NDVI正常波动范围(MaxBias)空间分异规律示意图

Fig.3 Spatial distribution of MaxBias

植被 MaxBias 大部分低于049时段。因此,传统方法认为森林像元具有相同受灾阈值,显然是不合理的,忽略了植被空间差异性。

(2)森林受灾区域提取结果

NDVI 阈值法提取森林冰雪冻灾空间分布信息结果如图4(a)所示。根据 ArcGIS 统计结果,使用 NDVI 阈值法提取湖南省森林雪灾受灾面积415.97万 hm²,占湖南省森林面积34.72%,主要集中在湖南省南部地区,特别是永州市、郴州市、衡阳市南部地区、株洲市南部地区、邵阳市南部地区以及怀化市南部地区,而湖南省北部地区森林冰雪受灾面积相对较小。本文将传统方法提取结果作为对照组,为比较2种方法提取结果精度,根据NDVI 阈值法提取结果,被动调整受灾阈值,使传统方法提取的湖南省森林受灾率为34.72%,如图4(b)所示。使用传统方法提取的森林冰雪受灾范围,主要分布于湖南省北部地区,特别是岳阳市南部地区、长沙市、株洲市北部地区、怀化市和湘西土家族苗族自治州交界处,湖南省南部地区森林冰雪受灾面积相对较少,2种方法提取结果差异较大。

湖南省林业厅公布的2008年湖南省冰雪灾害森林受灾面积453.12万 hm²,森林受灾率为35.3%^[23],

NDVI 阈值法提取的森林受灾面积415.967万 hm²,与实际调查数据相差37.153万 hm²。这主要由以下原因造成:①由中国测绘科学研究院提供的土地覆被数据与实际土地覆被数据存在偏差;②本文使用的MODIS 数据由于天气条件等因素影响,造成部分区域无法判断是否受灾。对比森林受灾率,NDVI 阈值法提取结果为34.72%,与实际调查数据仅相差0.58%,间接证明NDVI 阈值法提取结果较好。

4.3 冰雪冻灾提取区域结果精度验证

为准确比较2种方法提取结果,本文在省级尺度验证结果一致情况下,根据搜集的参考资料^[31-35],选取二市五县作为新的验证单元,从市、县二级尺度进一步比较2种方法提取结果精度,验证单元空间分布如图5所示。

本文通过森林受灾面积、森林未受灾面积、森林受灾面积理论值、森林受灾率和森林受灾面积变化率(N)5种指标,对2种方法提取的森林冰雪受灾面积进行比较,统计结果如表1、2所示。

根据统计结果显示,2种提取方法在省级尺度森林受灾面积变化率(N)基本一致情况下,市、县二级尺度下的森林受灾面积变化率(N)相差较大。

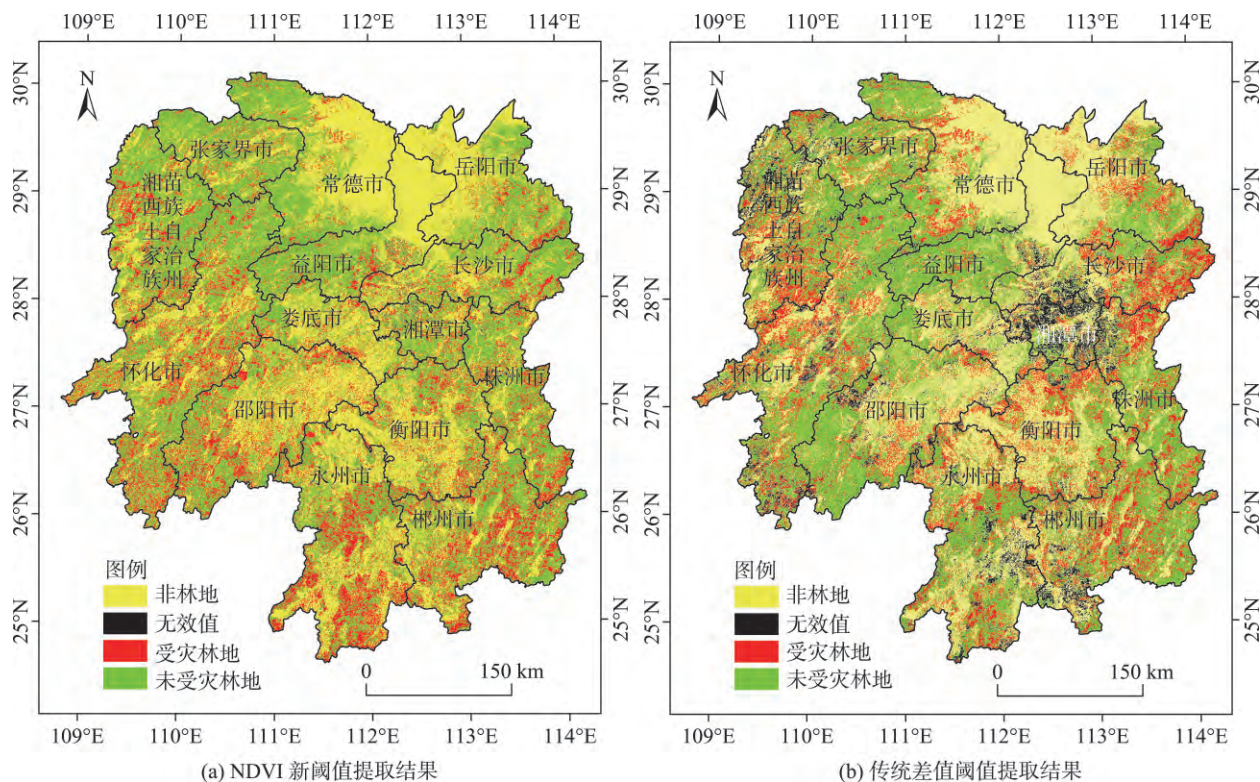


图4 森林冰雪受灾面积提取结果

Fig.4 The results of forest snow disaster area

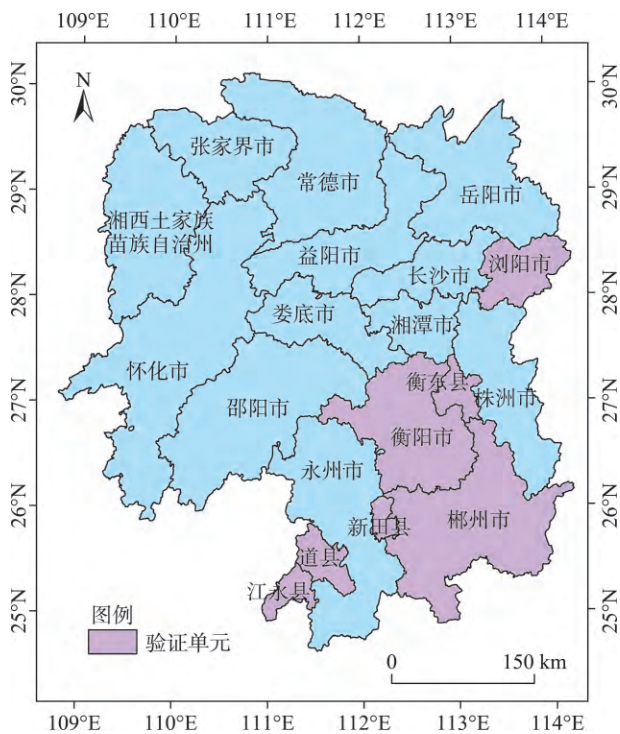


图5 验证单元空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of verification units

NDVI 阈值法中,只有衡东县和新田县 N 值超过 30%;传统方法中,衡东县、浏阳市、道县和新田县 N

值均超过 30%。逐一比较 7 个验证单元(二市五县),NDVI 阈值法中只有衡阳市森林受灾面积变化率(N)高于传统方法,其余验证单元 N 值均低于传统算法。由此可见,使用 NDVI 阈值法提取森林冰雪冻灾空间分布信息效果更好。

2008 年冰雪灾害期间,湖南省南部地区森林冰雪受灾较为严重^[32,36],特别是郴州市、永州市、衡阳市等地受灾严重,北部地区受灾较轻,与 NDVI 阈值法提取结果相符。对比分别位于湖南省北部和南部地区的浏阳市和郴州市,浏阳市森林冰雪受灾面积 9.924 万 hm^2 ,占浏阳市森林面积 27.33%,相比于参考资料^[7]23.60%,其森林冰雪受灾面积变化率 N 为 15.83%,精度较高;浏阳市传统方法提取结果显示,森林冰雪受灾面积 20.491 万 hm^2 ,占浏阳市森林面积 59.21%,森林冰雪受灾面积变化率 N 值为 150.90%,精度极低。与浏阳市相比,郴州市 2 种提取结果差异相对较小,其中传统方法 N 值为 13.08%,NDVI 阈值法 N 值仅为 0.21%,精度极高。由此可见,NDVI 阈值法提取结果精度明显优于传统方法。

NDVI 阈值法提取衡阳市森林受灾率 42.92%,作为隶属于衡阳市的衡东县,NDVI 阈值法提取结

表1 新算法提取冰雪受灾面积统计

Tab.1 The statistics of snow disaster area extracted by the new algorithm

	森林受灾面积 /万 hm ²	森林未受灾面积 /万 hm ²	林地面积 /万 hm ²	受灾面积理论值 /万 hm ²	森林受灾率 /%	参考资料受灾率 /%	变化率N /%
湖南省	415.967	781.997	1197.964	422.881	34.72	35.30	1.64
郴州市	59.049	73.664	132.713	58.924	44.49	44.40	0.21
衡阳市	30.556	40.634	71.190	42.429	42.92	59.60	27.98
衡东县	4.280	6.385	10.666	7.707	40.13	72.26	44.46
浏阳市	9.924	26.381	36.305	8.568	27.33	23.60	15.83
江永县	6.205	3.036	9.241	5.160	67.15	55.84	20.25
道县	7.155	6.523	13.679	8.358	52.31	61.10	14.39
新田县	1.513	2.770	4.283	2.743	35.32	64.05	44.86

表2 传统方法提取冰雪受灾面积统计

Tab.2 The statistics of snow disaster area extracted by the traditional method

	森林受灾面积 /万 hm ²	森林未受灾面积 /万 hm ²	林地面积 /万 hm ²	受灾面积理论值 /万 hm ²	森林受灾率 /%	参考资料受灾率 /%	变化率N /%
湖南省	373.206	701.739	1074.945	379.456	34.72	35.30	1.65
郴州市	46.444	73.902	120.345	53.43	38.59	44.40	13.08
衡阳市	34.238	33.351	67.589	40.283	50.66	59.60	15.01
衡东县	3.431	6.996	10.427	7.535	32.90	72.26	54.46
浏阳市	20.491	14.115	34.606	8.167	59.21	23.60	150.90
江永县	3.602	4.968	8.570	4.785	42.03	55.84	24.73
道县	3.461	8.906	12.367	7.556	27.99	61.10	54.19
新田县	0.996	1.921	2.917	1.868	34.14	64.05	46.70

果为40.13%,二者相差2.79%,与参考资料^[31-32]提供的衡阳市和衡东县森林受灾率(分别为59.60%、72.26%)相差较大,特别是衡东县森林受灾面积变化率高达44.46%,提取效果较差。使用传统方法提取的衡阳市森林受灾率为50.66%,与参考数据(59.60%)更接近,但是传统方法提取的衡东县森林受灾率仅为32.90%,与参考数据(72.26%)相差极大。这一现象从侧面反映出,虽然根据森林受灾面积变化率(N),传统方法优于NDVI 阈值法,但是从衡阳市森林冰雪冻灾空间分布角度进行精度验证,传统方法未必优于NDVI 阈值法,传统方法提取结果稳定性较差。

对比2种方法提取结果(表3),各验证单元使用NDVI 阈值法提取林地面积(森林受灾面积、森林未受灾面积之和)均高于传统算法。传统方法将2007年NDVI 数据作为灾前参考数据,利用QA 文件对某像元NDVI 数值进行有效性判断,若判断无

效,则该像元提取结果视为无效。NDVI 阈值法将2001-2007年NDVI 数据作为灾前参考数据,利用QA 文件对NDVI 数值进行有效性判断,若某一年森林像元NDVI 无效,但该像元其他年份NDVI 数值有效,则该像元灾前参考数据依旧有效,所以使用NDVI 阈值法提取的森林受灾面积与森林未受灾面积之和高于传统方法。此外,NDVI 阈值法利用NDVI 变化率(R 值)对灾前NDVI 数据进行异常判断,剔除NDVI 异常值,也间接证明NDVI 阈值法提取结果可信度更高。

5 结论与讨论

本文对2001-2007年NDVI 数据进行2次筛选,将筛选结果作为灾前参考数据,计算不同森林像元植被NDVI 参考值和正常波动范围MaxBias,提取森林冰雪冻灾空间分布信息,并与传统方法提取

表3 林地面积提取结果统计(万 hm²)

Tab.3 The statistical results of forest land area

	湖南省	郴州市	衡阳市	衡东县	浏阳市	江永县	道县	新田县
林地面积(新)	1197.97	132.713	71.190	10.666	36.305	9.241	13.679	4.283
林地面积(旧)	1074.95	120.345	67.589	10.427	34.606	8.570	12.367	2.917

结果进行对比。

传统方法仅从受灾前后植被NDVI变化的角度考虑,提取森林冰雪冻灾区域,未考虑光照条件、地理环境、树种类型、植被自身正常生长变化等关键因素对植被NDVI的综合影响,利用经验方法确定森林受灾阈值,主观性较强,致使提取结果与实地考察数据相差较大。

基于NDVI阈值法提取森林冰雪冻灾区域主要分布于湖南省南部地区,特别是永州市、郴州市以及衡阳市南部地区受灾严重,北部地区分布相对较少,与当地林业部门实地考察数据相符,能够适应于湖南等南方丘陵地区森林冰雪灾害监测,为此类灾害性事件的防灾减灾以及灾后重建工作提供科学依据。

本文认为NDVI阈值法优于传统方法,关键在于以下3点:①灾前植被NDVI参考值确定,传统方法通常将受灾前一年植被NDVI值作为参考值,没有考虑天气状况等外界因素对NDVI值的影响,而NDVI阈值法计算灾前几年植被NDVI平均值,将其作为灾前植被NDVI参考值,减小了外界因素对植被NDVI值变化的影响;②受灾阈值确定,传统方法利用人为经验确定阈值,具有主观性,而NDVI阈值法将受灾前同时段植被NDVI最大变化值与植被NDVI参考值的比值作为临界受灾阈值,即植被正常波动范围 $MaxBias$,避免了人为主观因素影响;③受灾判断算法,传统方法将受灾前后同时段NDVI差值与人为确定的受灾阈值进行比较,进行冰雪受灾判断,而NDVI阈值法利用受灾后植被NDVI变化率与临界受灾阈值进行比较,判断森林植被是否受灾,考虑了大气状况、地理环境、植被自身正常生长变化等因素对植被NDVI的综合影响。

本文采用NDVI阈值法提取森林冰雪受灾范围更加准确、合理,但是筛选2001-2007年同时段植被NDVI数据,取其平均值作为灾前植被NDVI参考值,数据时间跨度选取的合理性有待进一步研究。此外,植被NDVI正常波动范围 $MaxBias$ 提取算法也有待进一步研究。根据式(2)、(3),二者对森林冰雪受灾范围提取结果有重要影响。因此,下一步将重点对灾前植被NDVI参考值和正常波动范围 $MaxBias$ 提取算法进行研究,以期提供一种森林冰雪受灾范围快速精确提取算法。

参考文献(References):

[1] Rhoads A G, Hamburg S P, Fahey T J, et al. Effects of an intense ice storm on the structure of a northern hardwood

forest[J]. Can.J.Forest Res, 2002,32:1763-1775.

- [2] Gu L H, Hanson P J, Post W M, et al. The 2007 eastern US spring freeze: Increased cold damage in a warming world?[J]. BioScience, 2008,58(3):253-262.
- [3] Michael C H, Ken A, Martin. The 2007 eastern US spring freeze: Increased cold damage in a warming world?[J]. BioScience, 2008,58(3):253-262.
- [4] 徐雅雯,吴可可,朱丽蓉,等.中国南方雨雪冰冻灾害受损森林植被研究进展[J].生态环境学报,2010,26(6):1485-1494. [Xu Y W, Wu K K, Zhu L R, et al. A review of freezing rain and snow impacts on forests in southern China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010,26(6): 1485-1494.]
- [5] 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[J].林业科学,2008,44(4):1-2. [Xue J H, Hu H B. Impacts of ice-snow disaster on forest ecosystem and the Countermeasures of disaster reduction[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008,44(4):1-2.]
- [6] Hargrove W W, Spruce J P, Gasser G E, et al. Toward a national early warning system for forest disturbances using remotely sensed canopy phenology[J]. Pe & Rs Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009,75(10): 1150-1156.
- [7] 朱鸿伟.森林生态系统的抗冰冻灾害能力研究[D].长沙:中南林业科技大学,2011. [Zhu H W. The research of the anti freeze disaster ability of forest ecosystem[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2011.]
- [8] Petty J A, Worrell R. Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow[J]. Forestry, 1981,54(2):115-28.
- [9] 侍昊,王笑,薛建辉,等.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[J].生态学报, 2012,32(11):3359-3367. [Shi H, Wang X, Xue J H, et al. A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series: A case study from Guizhou Province[J]. Acta Ecological Sinica, 2012,32(11):3359-3367.]
- [10] 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,2009,11(2):237-243. [Xu X L, Su F Y, Zhuang D F, 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]. Geo-Information Science, 2009,11(2):237-243.]
- [11] 徐雅,钟仕全,陈燕丽,等.基于GIS和RS的雨雪冰冻灾害分布特征分析[J].气象研究与应用,2014,35(1):21-24. [Xu Y, Zhong S Q, Chen Y L, et al. Analysis on distribution characteristics of ice-snow and frozen disasters based on GIS and RS[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2014,35(1):21-24.]
- [12] 曹坤芳,常杰.突发气象灾害的生态效应:2008年中国南

- 方特大冰雪灾害对森林生态系统的破坏[J].植物生态学报,2010,34(2):123-124. [Cao K F, Chang J. The ecological effects of an unusual climatic disaster: The destruction to forest ecosystems by the extremely heavy glaze and snow storms occurred in early 2008 in southern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010,34(2):123-124.]
- [13] 陈鹭真,王文卿,张宜辉,等. 2008年南方低温对我国红树植物的破坏作用[J].植物生态学报,2010,34(2):186-194. [Chen L Z, Wang W Q, Zhang Y H, et al. Damage to Mangroves from extreme cold in early 2008 in southern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010,34(2): 186-194.]
- [14] 何茜,李吉跃,陈晓阳,等.2008年初特大冰雪灾害对粤北地区杉木人工林树木损害的类型及程度[J].植物生态学报,2010,34(2):195-203. [He Q, Li J Y, Chen X Y, et al. Types and extent of damage to Cunninghamia lanceolata plantations due to unusually heavy snow and ice in southern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010,34(2):195-203.]
- [15] 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,2008,44(11):69-74. [Wang M Y, Shu L F, Zhao F J, et al. Quantity analysis of forest fuel under the impacts of snow damage in south of China: A case study in Hunan Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008,44(11):69-74.]
- [16] 姚峰峰,张时煌,杨医,等.冰冻雨雪灾害对江西林业影响的评估技术探讨[J].自然资源学报,2009,24(9):1657-1666. [Yao F F, Zhang S H, Yang Y, et al. Evaluating the impact of freezing rain and snow disaster on forestry[J]. Journal of Natural Resources, 2009(9):1657-1666.]
- [17] 朱俊凤,钱峻屏,廖广社等.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[J].山地学报,2010,28(4):478-486. [Zhu J F, Qian J P, Liao G S, et al. Forest damage detection from an freezing rain and snow using remote sensing based on object-oriented method and spatial analysis in Nanling Mountain areas[J]. Journal of Mountain Science, 2010,28(4):478-486.]
- [18] 蔡菊珍,何月,张小伟,等.基于GIS的浙江省积雪遥感监测与评估研究[J].气象,2010,36(4):85-89. [Cai J Z, He Y, Zhang X W, et al. Remote sensing monitoring and evaluation of snow cover in Zhejiang Province based on GIS[J]. Meteorological Monthly, 2010,36(4):85-89.]
- [19] 莫伟华,王君华,钟仕全,等.基于MODIS的冰雪遥感灾害监测与评估技术[J].林业科学,2009,45(10):88-93. [Mo W H, Wang J H, Zhong S Q, et al. Techniques for monitoring and evaluating the snow and ice disaster base on MODIS model[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009,45(10):88-93.]
- [20] Millward A A, Kraft C E. Physical influences of landscape on a large-extent ecological disturbance: the north-eastern North American ice storm of 1998[J]. Landscape Ecology, 2003,19(1):99-111.
- [21] Spruce J P, Sader S, Ryan R E, et al. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115(2):427-437.
- [22] 吴健生,陈莎,彭建.基于图像阈值法的森林雪灾损失遥感估测——以云南省为例[J].地理科学进展,2013,32(6):913-923. [Wu J S, Chen S, Peng J. Assessment of forest damage due to ice storm using image thresholding techniques: A case study of Yunnan Province[J]. Progress in Geography, 2013,32(6):913-923.]
- [23] 管远保.浅谈冰冻灾害对湖南森林资源的影响[J].湖南林业科技,2008,35(4):80-81. [Guan Y B. Impacts of freezing disaster on forest resources in Hunan Province [J]. Hunan Forestry Science&Technology, 2008,35(4):80-81.]
- [24] HOLBEN BN. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986,7(11):1417-1434.
- [25] 赵志平,邵全琴,黄麟.2008年南方特大冰雪冻灾对森林损毁的NDVI响应分析[J].地球信息科学学报,2009,11(4):535-540. [Zhao Z P, Shao Q Q, Huang L. Response of NDVI to forest damages caused by the severe snow and ice: A case study of mountainous forest in central Jiangxi Province[J]. Journal of Geo-Information Science, 2009,11(4):535-540.]
- [26] Sun Y, Gu L H, Robert E D, et al. Forest greenness after the massive 2008 Chinese ice storm: Integrated effects of natural process and human intervention[J]. Environmental Research Letters, 2012,7(3):35702-335708.
- [27] 朱高龙,柳艺博,居为民,等.4种常用植被指数的地形效应评估[J].遥感学报,2013,17(1):210-234. [Zhu G L, Liu Y B, Ju W M, et al. Evaluation of topographic effects on four commonly used vegetation indices[J]. Journal of Remote Sensing, 2013,17(1):210-234.]
- [28] 吴大千,刘建,王炜,等.黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分析[J].植物生态学报,2009,33(2):237-245. [Wu D Q, Liu J, Wang W, et al. Mutiscale analysis of vegetation index and topographic variables in the Yellow River Delta of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009,33(2):237-245.]
- [29] 武永峰,王秀芬,李茂松,等.气候驱动格局下中国陆地植被指数变化[J].干旱区地理,2009,32(2):166-174. [Wu Y F, Wang X F, Li M S, et al. NDVI changes under the spatial patterns driven by climate factors in China[J]. Arid Land Geography, 2009,32(2):166-174.]
- [30] 张仁华,饶农新,廖国男.植被指数的抗大气影响探讨[J].植物学报,1996,38(1):53-62. [Zhang R H, Rao N X, Liao

- G N. Approach for a vegetation index resistant to atmospheric effect[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1996,38(1):166-174.]
- [31] 柏宁尔,廖志平.衡东县雨雪冰冻灾害状况分析及对策研究[C].森林可持续经营与生态文明学术研讨会,2008. [Bai N E, Liao Z P. Study on analysis and countermeasures of freezing rain disaster in Hengdong County[C]. Symposium on sustainable forest management and ecological civilization, 2008.]
- [32] 刘兰芳,肖志成,刘沛林,等.中国南方林业冰冻灾情评价及防灾减灾对策——以2008年湖南冰,火为例[J].农业现代化研究,2009,30(2):195-198. [Liu L F, Xiao Z C, Liu P L, et al. Assessment about loss caused by frozen disaster prevention and mitigation on forestry: A case study of Hunan Province in 2008[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009,30(2):195-198.]
- [33] 江永县林业局冰雪灾害调查组.江永县雨雪冰冻灾害森林资源损失调查评估报告[R].永州:江永县林业局,2008. [Ice-snow disaster investigation team, Jiangyong County Forestry Bureau. Assessment report on the loss of forest resources in the ice-snow disaster in Jiangyong County[R]. Yongzhou: Jiangyong County, 2008.]
- [34] 道县林业局冰雪灾害调查组.道县雨雪冰冻灾害森林资源损失调查评估报告[R].永州市:道县林业局,2008. [Ice-snow disaster investigation team, Daoxian County Forestry Bureau. Assessment report on the loss of forest resources in the ice-snow disaster in Daoxian County[R]. Yongzhou: Daoxian County, 2008.]
- [35] 新田县林业局冰雪灾害调查组.新田县雨雪冰冻灾害森林资源损失调查评估报告[R].永州市:新田县林业局,2008. [Ice-snow disaster investigation team, Xintian County Forestry Bureau. Assessment report on the loss of forest resources in the ice-snow disaster in Xintian County [R]. Yongzhou: Xintian County, 2008.]
- [36] 彭险峰,何友军.湖南省森林冰雪灾害调查[J].湖南林业科技,2008,35(3):48-50. [Peng X F, He Y J. Investigation of forest ice-snow disaster in Hunan Province[J]. *Hunan Forestry Science&Technology*, 2008,35(3):48-50.]