

东北地区雪灾风险综合评价^①

韩少帅^② 郭唯娜 柯长青 赵家锐 马东辉

(南京大学地理与海洋科学学院 南京 210023)

摘 要 以东北地区为研究对象,基于气象、地形地貌、社会经济、历史雪灾等多源数据资料,在自然灾害系统理论的支撑下,运用地理信息系统(GIS)技术和层次分析法、风险矩阵法等方法,构建雪灾风险综合评价模型,对该地区的雪灾风险进行综合计算和分析,最后根据各省区的情况提出了针对性的防灾减灾建议。结果表明:(1)雪灾风险极高的地区包括呼伦贝尔高原、黑龙江南部、吉林东南部、辽宁北部;(2)风险较高的地区主要分布在东北的东南部及西部的部分地区,地域范围远大于极高风险地区;(3)风险比较低(较低和极低)的地区主要分布在包括松嫩-辽河平原及周围台地在内的广大地区,尤其以大兴安岭地区、蒙黑吉3省交界地区和辽宁西部地区的雪灾风险最低。为了更好地减轻雪灾危害,除了需要建立健全雪灾的气象预报、预警和应急体系外,不同的地区还应该针对自身实际情况做好重点规划安排。

关键词 雪灾;危险性;脆弱性;风险评价;地理信息系统(GIS);东北地区

0 引 言

积雪是地表覆盖中非常活跃、敏感的自然要素之一,能够对人类活动和自然环境的诸多方面产生影响^[1,2]。过量的降雪和积雪能够引发一系列冰雪灾害,因而中国也是雪灾的高发区之一。对草原牧区而言,雪灾是冬春季主要的自然灾害,能够造成牧草掩埋、牲畜采食困难、冻伤死亡、牧民生活困难,极大地威胁到畜牧业经济的发展^[3,4]。对于其他地区而言,突发性的、大范围的雪灾导致供水供暖、电力通信、交通运输等行业严重受损,农业、林业、渔业等受灾,给当地经济建设和人民生活带来巨大的影响。特别是在全球变暖和极端性降雪频发的背景下,稳定积雪区的平原地区以及广大的不稳定积雪区面临的雪灾威胁程度在不断提高^[5]。因此,雪灾研究及风险的综合评价显得十分的必要和重要。

由于成灾机制的复杂性以及灾害的突发性和强危害性,雪灾研究已经受到越来越多专家学者的重视,成为自然灾害研究中的重点问题之一。雪灾风险评价是雪灾研究的主要内容,是雪灾灾害管理和控制的关键部分,对于降低灾害损失、保障社会稳定具有重要的现实意义。目前,国外对雪灾的研究主要有3个方向:雪崩的预报预警、动态监测、风险制图、风险管理等方面^[6-8],暴风雪雪灾的气象模拟、预报、风险评估等方面^[9-12],以及雪灾对畜牧业、林业、城市等领域的影响^[13-15]。国内对雪灾风险的研究多集中在山区或者草原牧区,涉及到雪灾的成因及预报^[16]、动态监测^[17,18]、风险评价及模型研究^[19-21]等多个方面。然而,国内外对气候差异大、土地利用类型多、社会经济结构复杂的地区(如东北地区)的研究很少,不少雪灾评价研究仅从降雪(或积雪)气象要素自身出发,对灾害损失做直接统计,缺少结合社会、经济、环境等各方面要素的综合

① 国家自然科学基金重点项目(41830105)和国家重点研发项目(2018YFC1407203)资助。
② 男,1993年生,硕士生;研究方向:积雪灾害的影响;联系人,E-mail: hanshaoshuairs@163.com
(收稿日期:2019-01-02)

评定^[22]。

东北地区是中国三大稳定积雪区域之一,降雪多、积雪深,雪灾频发。针对目前东北地区雪灾及其风险评价研究较少、情况复杂难以综合评价的现状,结合国内外相关的研究方法和成果,构建雪灾风险综合评价模型,对东北地区的雪灾风险进行综合评价和分析,并提出针对性的防灾减灾建议。客观、全面地评价东北地区的雪灾风险,有利于弄清东北地区的雪灾成因、分布规律和灾情响应状况,为东北地区的雪灾风险管理和拟定防灾、减灾对策提供科学依据。

1 研究区与数据

1.1 研究区

东北地区地处中国的东北部,是东北亚的核心区域,在北纬 38°至 54°,东经 115°至 135°之间,地区总面积达 125.84 万 km²,包括辽宁、吉林、黑龙江 3 个省以及内蒙古东部 4 市盟(呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市和赤峰市),一共 40 个地级行政单元,327 个县级行政单元(经处理整合为 219 个统计单元)(图 1)。东北地区属温带湿润、半湿润大陆性季风气候,

由西北到东南,年降水量从 300 mm 以下上升至 800 mm 以上^[23]。东北地区降雪空间分布变化明显。内部的平原地区降雪次数少且雪量少,外围的山地丘陵地区降雪次数多且雪量大。受复杂多样的地形和纬度影响,积雪在空间分布上主要存在着“高纬度多、低纬度少”和“山区丘陵多、平原台地少”的情况。

1.2 数据

1.2.1 气象数据

采用东北地区 102 个气象站点(图 1)1962 – 2014 年的日值气象数据,包括每个气象站点的每日积雪深度、每日平均温度和每日降水数据。所选气象站点在研究区内分布较为均匀,且观测记录时间序列较长,能够很好地满足后续处理需要。以前一年的 9 月到当年的 8 月作为一个积雪年,逐年统计计算(2000 年 9 月到 2001 年 8 月,记为积雪年 2001 年)。

1.2.2 地形地貌数据

地形数据采用 ASTER 全球数字高程模型数据(ASTER GDEM)。该数据空间分辨率为 1 弧度秒(约为 30 m),每个 GDEM 分片的范围为 1°(纬度) × 1°(经度)。研究区由 233 片 DEM 拼接而成。

地表覆盖数据采用全球 30 m 分辨率的数据(GlobeLand30)产品,每幅影像的覆盖范围为 5°(纬度) × 6°(经度)。总共选取 14 幅数据影像将研究区完全覆盖。GlobeLand30 包括耕地、林地、草地、水体、人造地表等 10 种地表覆盖类型。该数据采用基于像元-对象-知识(pixel-object-knowledge, POK)的分类方法,全球分类精度可达 80% 以上^[24,25]。

1.2.3 社会经济资料

为了获取各评价单元人口、经济、财政、工农业、交通运输、医疗卫生等方面的情况,本文用到的社会经济资料包括辽宁统计年鉴 2015、吉林统计年鉴 2015、黑龙江统计年鉴 2015、内蒙古统计年鉴 2015;中国县(市)统计年鉴 2015;部分地市统计年鉴;部分地市统计公报。

1.2.4 历史资料

为了获取各评价单元历史年份雪灾发生的频率和强度,用到的历史资料数据包括中国气象灾害大

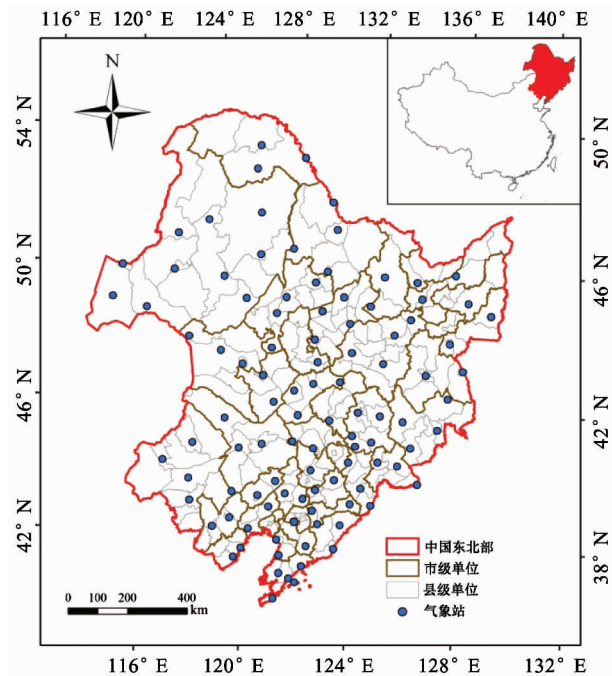


图 1 研究区与气象站的空间分布

典(《辽宁卷》、《吉林卷》、《黑龙江卷》、《内蒙古卷》),中国自然灾害统计年鉴,中国气象年鉴,东北4省区气象局公报。东北行政区划数据来自于1:400万中国基础地理数据集(采用WGS84大地坐

标系统),各省区行政区划以2014年底实际情况为准。

2 方法

2.1 GIS技术与方法

GIS(地理信息系统)以地理空间为基础,采用地理模型分析方法,对空间信息进行分析 and 处理,是一种为地理研究和地理决策服务的技术系统。研究中使用到的GIS技术和方法包括:(1)地理数据预处理(数据矢量化、矢量数据栅格化、数据拼接与裁剪)、投影转换(将其他地图投影系统转变为Asia

Lambert Conformal Conic 投影坐标系)、栅格重分类;(2)空间分析(地统计分析、地形表面分析、叠加分析、统计分析);(3)地理制图与输出(采用ArcGIS软件制图与输出)。

2.2 雪灾风险综合评价模型

本文在分析已有雪灾风险评价流程的基础上^[26-28],结合相关学者对自然灾害系统理论的研究^[29-31],综合考虑自然和社会要素、致灾和承灾特点,构建的雪灾风险综合评估体系是目标-因素-因子-权重4层体(见表1)。不同指标对雪灾风险的影响不同,包括正向指标与逆向指标,而正向和逆向指标又可以细分为多个指标,每个指标的权重也不相同,本文先对每一个指标进行归一化处理,再采用3种权重计算方法计算相应的权重,权重的计算方法包括相关系数法、CRITIC法、层次分析法^[32]。每一个指标的权重如表1所示。

表1 东北地区雪灾风险评价指标体系

目标	因素因子		指标(权重)
致灾危险性(H)	气象因素	潜在雪灾危险性(H1)(0.50)	积雪日数(0.22)
			降雪日数(0.20)
			降雪量(0.18)
	历史因素	历史危险性(H2)(0.50)	最大积雪深度(0.15)
			积雪日平均温度(0.14)
			低温日数(0.11)
脆弱性(V)	地形因素	暴露性(E)(0.40)	高程(0.27)
			坡度(0.18)
			坡向(0.12)
			地表覆盖(0.43)
	社会经济因素	敏感性(S)(0.80)	人口密度(0.19)
			农业密度(0.12)
			工业密度(0.13)
			公路密度(0.17)
		救灾应灾能力(R)(-0.20)	全社会用电量(0.19)
			大牲口数量(0.20)
		人均GDP(0.19)	公共财政支出(0.41)
			医院床位数(0.40)

2.2.1 致灾危险性

致灾危险性包括潜在雪灾危险性和历史雪灾危险性2部分。

(1) 潜在雪灾危险性

气象因素(降雪、积雪、温度)是造成雪灾的主要因素^[33]。本文采用6个衡量雪灾的气象因素指

标(积雪日数、降雪日数、降雪量、最大积雪深度、积雪日平均温度和低温日数)。对离散的气象站数据进行克里金插值并对差值的结果采用自然断点法分为 10 个等级,属性值为 0.1 ~ 1。对所得的潜在雪灾危险性指数按照自然断点法划分 10 个等级。

$$H1 = \sum_{i=1}^n \omega_i f_i (n = 6) \tag{1}$$

其中, $H1$ 为潜在雪灾危险性指数, ω_i 为各个气象指标的权重(由 CRITIC 法获得)(见表 1), f_i 为各个气象指标的影响程度。

(2) 历史雪灾危险性

以东北地区县级行政单元作为基本的统计单元,依次统计 1962 – 2014 年期间每个统计单元发生雪灾的历史频率(统计时间段内,每个统计单元内雪灾发生年份数与总年份数量的比值)和历史强度(统计时间段内,每个统计单元内雪灾发生次数总和与总年份数量的比值)。历史雪灾危险性指数计算公式如下:

$$H2 = 0.50f_F + 0.50f_I \tag{2}$$

其中, $H2$ 为历史雪灾危险性指数, f_F 为历史雪灾强度, f_I 为历史雪灾频率, 0.50 为权重。通过式(2)计算,并利用自然断点法分为 10 个类别,得到东北地区的历史雪灾危险性等级。

雪灾致灾危险性由雪灾的潜在危险性和历史危险性分别赋予 0.50 的权重通过式(3)计算,并按照自然断点法划分 10 个等级。

$$H = 0.50 \times H1 + 0.50 \times H2 \tag{3}$$

其中, H 为致灾危险性指数, $H1$ 为潜在雪灾危险性指数, $H2$ 为历史雪灾危险性指数。

2.2.2 承灾体脆弱性

承灾体脆弱性由承灾体暴露性、承灾体敏感性和救灾应灾能力 3 部分构成。

(1) 承灾体暴露性

受海拔、坡度坡向、地表覆盖等地形地貌条件的影响,降雪量、积雪分布、积雪消融速率在空间上有较大的差异^[34]。综合考虑,选取高程、坡度、坡向、地表覆盖类型这 4 个指标(见表 2),由于不同的高程范围、坡度、坡向以及地表覆盖类型的承灾体对雪灾的暴露性不同,先对每个指标进行类别划分,然后采用层次分析法先确定指标内不同类别的属性值

(见表 2),再确定不同指标对于暴露性整体的权重值(见表 1)。承灾体的暴露性由不同地形指标要素以及指标内类别综合决定,因而得到承灾体暴露性模型的表达式如下:

$$E = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \omega_i e_{ij} \tag{4}$$

其中, E 为暴露性指数, ω_i 为不同地形指标的权重, e_{ij} 为某一指标类别的暴露性, n 为指标个数, m 为某一指标内类别个数。对所得的暴露性指数依据自然断点法划分为 10 个等级。

表 2 不同暴露指数范围所对应的数值

指标	范围	属性值
高程(m)	[0, 200)	1.00
	[200, 500)	0.79
	[500, 1000)	0.58
	[1000, 2000)	0.42
	[2000, 2653]	0.30
坡度(°)	[0, 3)	1.00
	[3, 8)	0.79
	[8, 15)	0.64
	[15, 25)	0.57
	[25, 57]	0.48
坡向(°)	[315, 360) & [0, 45)	1.00
	[45, 135)	0.54
	[135, 225)	0.29
	[225, 315)	0.54
地表覆盖	人造地表	1.00
	农田和草地	0.68
	森林和灌木层	0.49
	裸地	0.33
	沼泽和湿地	0.17

(2) 承灾体敏感性

选取了人口密度、农业密度、工业密度、公路密度、全社会用电量和大牲口数量 6 项指标并用自然断点法划分 10 类分别赋予相应的属性值(0.1 ~ 1),根据式(5)来计算承灾体敏感性。

$$S = \sum_{i=1}^n \omega_i f_i \tag{5}$$

其中, S 为承灾体敏感性指数, ω_i 为各个敏感性指标的权重, f_i 为各个敏感性指标的影响程度, n 为指标个数,对所得的敏感性指数依据自然断点法划分 10 个等级。

(3)救灾应灾能力

本文选择人均 GDP、公共财政支出和医院床位数 3 个指标来初步表征区域的救灾应灾能力并用自然断点法划分 10 类分别赋予相应的属性值(0.1 ~ 1),使用相关系数法计算其相应的权重。

$$R = \sum_{i=1}^n w_i f_i \tag{6}$$

其中, R 为救灾应灾能力, w_i 为各个指标的权重, f_i 为各个指标的影响程度, n 为指标个数,对所得的救灾应灾指数依据自然断点法划分 10 个等级。

根据上面对东北地区承灾体暴露性、敏感性以及救灾应灾能力的计算与分析,同等雪灾强度,承灾体的环境暴露性和对雪灾的敏感性越高,该地区承灾体的脆弱性就越高;而救灾应灾能力越强,该地区承灾体的脆弱性就越弱。采用层次分析法对 3 方面因素分别赋予权重值 0.40、0.80 和 -0.20(见表 1),则承灾体脆弱性的计算模型为

$$V = 0.40E + 0.80S - 0.20R \tag{7}$$

其中, V 为承灾体脆弱性指数, E 为承灾体暴露性指数, S 为承灾体敏感性指数, R 为应灾救灾能力指数。对所得的承灾体脆弱性指数依据自然断点法划分 10 个等级。

参照联合国救灾组织提出的自然灾害评估模型^[35],本文采用的东北地区雪灾评价模型为风险度 = 危险性 × 脆弱性。即东北地区雪灾风险的计算公式:

$$RI = H \times V \tag{8}$$

其中, RI 为雪灾风险综合指数, H 为危险性指数, V

为脆弱性指数。为了对东北地区雪灾风险进行等级划分,并且体现出空间差异性,根据致灾危险性和承灾体脆弱性的等级划分,采用风险矩阵法来确定雪灾风险等级。

3 结果与分析

3.1 致灾危险性分析

东北地区潜在雪灾危险性比较高(较高和极高)的区域主要分布在大兴安岭、小兴安岭以及长白山等海拔较高的山区,具体包括内蒙古的呼伦贝尔、黑龙江的北部及东部、吉林的东部、辽宁的东北部等地区(图 2(a)),而且呼伦贝尔草原和长白山同样也是历史雪灾危险性极高的地区(图 2(b)),这种现象的原因是由于该地区多受大尺度的干冷性高压控制,来自太平洋的暖湿气团和干冷气团交汇导致东北东部地区降雪频繁,雪灾的风险性比较高。而对于东北北部地区而言,纬度偏高,极易受极地冷空气南下的影响,冷暖气团交替形成降雪,再加上气温低、积雪长期保存等山区气候特点,造成了该地区也是潜在雪灾危险性非常高的区域。松嫩-辽河平原、小兴安岭地区历史雪灾风险性比较低,很少出现雪灾记录,如吉林西北部的白城地区,在 53 年间仅有个别年份出现大到暴雪天气(图 2(b))。

综合潜在雪灾危险性和历史雪灾危险性得到雪灾致灾危险性发现,雪灾致灾危险性最高的地区是呼伦贝尔高原,危险程度达到较高甚至是极高级别,

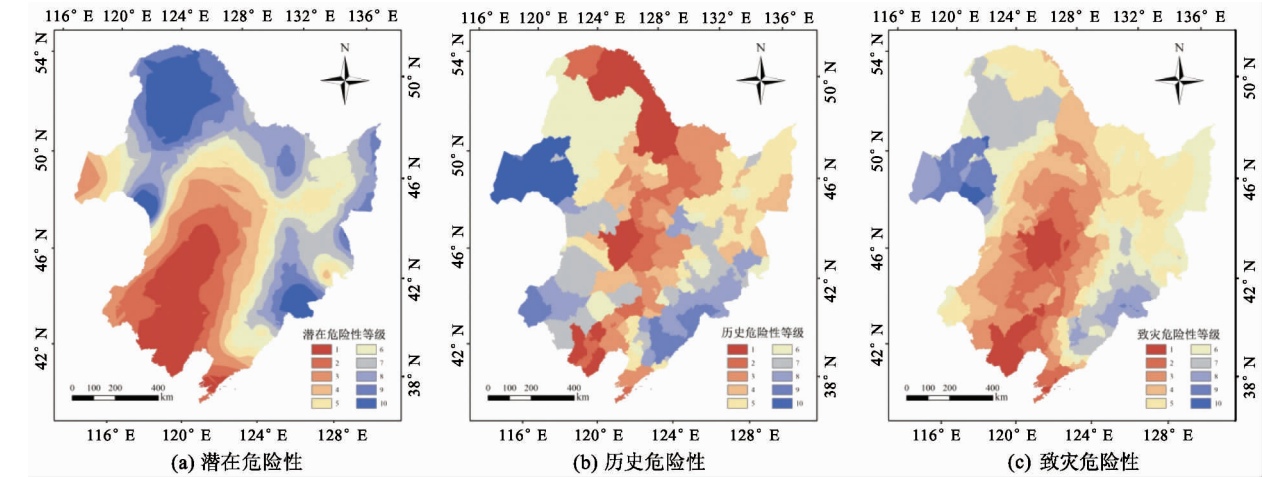


图 2 东北地区雪灾的潜在危险性、历史危险性和致灾危险性的空间分布图

具体包括新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、鄂温克族自治旗、满洲里市、陈巴尔虎旗、海拉尔以及阿尔山市。呼伦贝尔市北部的部分地区也较高。另一个雪灾致灾危险性较高的地区在东北的东南部,以长白山地区为主,具体包括黑龙江哈尔滨市南部、吉林的中南部、辽宁的东北部等多个县市区。危险性最低的地区有 2 个,一个是以吉林白城市为核心的松嫩平原地区;另一个是辽西地区,包括葫芦岛市、朝阳市、阜新市等地市。从整体来看,大兴安岭以东,长白山以西,嫩江平原以南,渤海湾以北的广大区域,雪灾致

灾危险性都比较低(图 2(c))。

3.2 承灾体脆弱性分析

东北地区承灾体暴露性极高的区域为高程较低、地表平整的城镇地区,较高的区域分布在呼伦贝尔高原以及内蒙古东南部的三市盟(赤峰市、通辽市和兴安盟)等地区,而暴露性比较低(较低和极低)的地区主要分布在海拔较高、森林密集、坡度较陡的大、小兴安岭及长白山等山区。至于广袤的东北平原,大部分区域都属于暴露性一般的程度(图 3(a))。

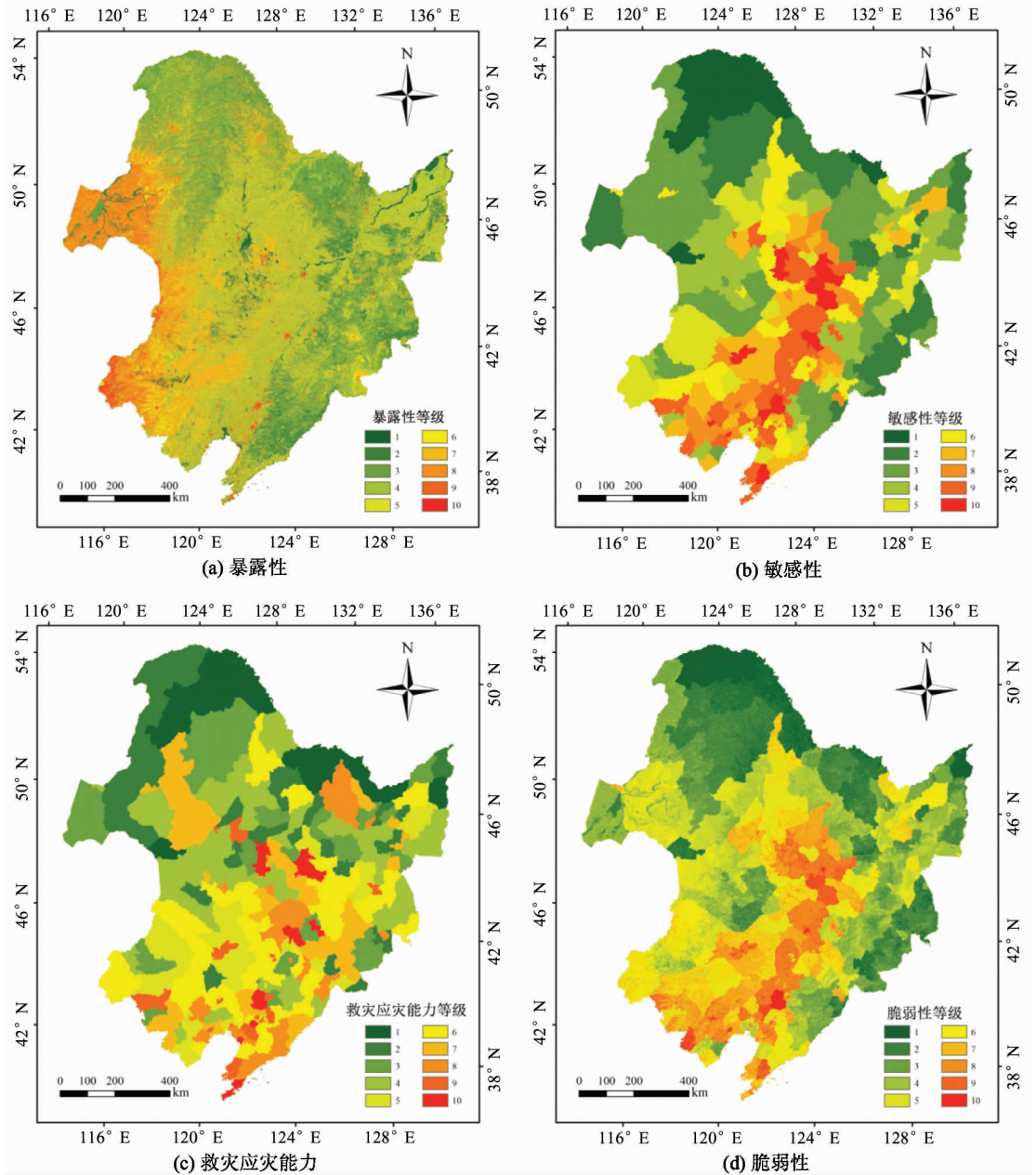


图 3 东北地区承灾体的暴露性、敏感性、救灾应灾能力和脆弱性的空间分布

东北地区承灾体敏感性与该地区的社会经济发展水平息息相关,比较高(较高和极高)的区域主要为松嫩-辽河平原,包括内蒙古的赤峰、通辽的市辖区,辽宁的大连、朝阳、锦州、阜新、鞍山、沈阳、铁岭等地市,吉林的四平、长春以及吉林市辖区,黑龙江的哈尔滨、绥化、大庆、齐齐哈尔等地市的部分县市区。敏感性比较低(较低和极低)的区域则主要分布在大、小兴安岭、长白山等山区,尤其以大兴安岭地区的敏感性为最低(图 3(b))。

东北地区救灾应灾能力最强的地区主要是发达城市的市辖区。最弱的地区主要是偏远边疆地区及一些不发达的旗县(图 3(c))。

东北的松嫩平原和辽河平原雪灾承灾体脆弱性最高(图 3(d)),这 2 个地区基本涵盖了东北最主要的区域中心城市和经济圈,为东北人口最为密集、社会经济最为发达的地区,一旦受到雪灾侵袭,造成的社会损失往往比较严重。脆弱性极高的地区包括哈尔滨市、大庆市、长春市、沈阳市、抚顺市、大连市、赤峰市的部分地区。其周边地区的雪灾脆弱性次之。东北地区雪灾脆弱性最低的地区在大、小兴安岭及长白山等山区,人口稀少、经济落后,对雪灾的承灾体脆弱性要低于经济发达的平原地区。

3.2 雪灾风险综合分析

如图 4 所示,东北地区雪灾风险极高的地区在内蒙古呼伦贝尔高原、黑龙江南部、吉林东南部、辽宁北部等区域,这些地区的雪灾致灾危险性及承灾体脆弱性都较高(甚至极高)。雪灾风险较高的地区分布在东北的东南部及西部的部分地区,这些地区的承灾体脆弱性较高,降雪也较为频繁。雪灾风险比较低(较低和极低)的地区主要分布在东北的北部山区、大兴安岭东侧与松嫩-辽河平原西部之间的广大地区。极低的地区有 3 个:大兴安岭地区和

黑河市的西北部;东北中部的三省区交界地区;辽宁西部和南部部分地区。前一个地区虽然降雪、积雪频繁,但由于承灾体脆弱性极低,因而整体的雪灾风险非常低;后 2 个地区常年降雪较少,且气温相对较高,积雪留存时间短,不易发生雪灾,因而雪灾风险也极低。

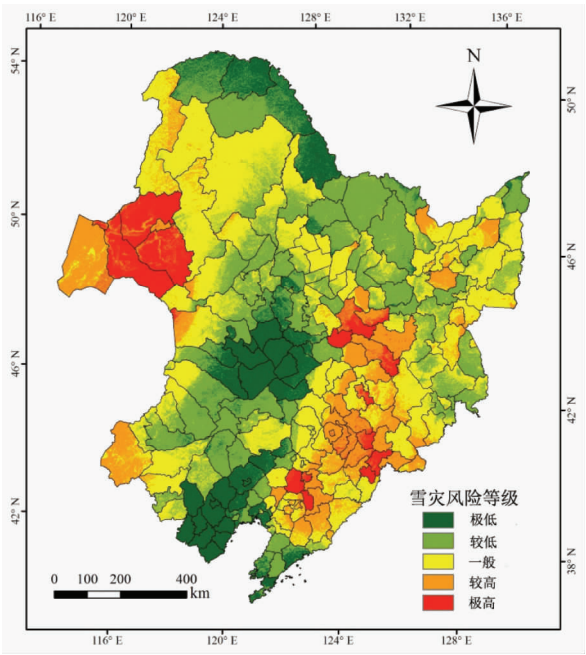


图 4 东北地区雪灾风险等级

通过对国家气候中心发布的 2015 年、2016 年每月的全国主要自然灾害图进行统计分析,发现内蒙古的克什克腾旗至少出现 2 次雪灾,兴安盟北部和呼伦贝尔市都至少出现 1 次雪灾;黑龙江萝北县、富锦市、抚远县、桦南县、哈尔滨市均至少出现 1 次雪灾;吉林中部和东南部都至少出现 2 次雪灾;辽宁北部和辽东山区都至少出现 1 次雪灾。近 2 年雪灾出现的地区都分布在本研究划分的雪灾风险比较高的等级区域中,说明该雪灾风险评价模型具有较高的科学性和可靠性。东北地区雪灾的风险等级见表 3。

表 3 东北地区雪灾的风险等级

风险等级	极低	较低	一般	较高	极高
范围	[0.03, 0.10)	[0.10, 0.15)	[0.15, 0.20)	[0.20, 0.28)	[0.28, 0.46]

4 讨论

对雪灾风险等级结果进行统计计算,得到各个

风险等级所占的面积及比重。东北地区雪灾风险极高、较高、中等、较低、极低等级的面积分别为 7.91 万 km²、20.10 万 km²、42.58 万 km²、39.26 万 km²、

15.98 万 km²，所占面积比重分别为 6.28%、15.98%、33.84%、31.20%、12.70%。

不同省份雪灾风险等级的构成见表 4。针对不同省区来看，内蒙古蒙东地区、辽宁省、吉林省、黑龙江省的雪灾风险综合指数分别为 0.19、0.14、0.17、0.15。蒙东地区的雪灾风险最高，几乎达到了较强的程度，有 7 成面积处于雪灾风险中等及以上程度。

表 4 不同省份雪灾风险等级的构成

区域	极低		较低		一般		较高		极高	
	面积 (10 ⁴ km ²)	占比 (%)	面积 (10 ⁴ km ²)	占比 (%)	面积 (10 ⁴ km ²)	占比 (%)	面积 (10 ⁴ km ²)	占比 (%)	面积 (10 ⁴ km ²)	占比 (%)
内蒙古东部	1.28	2.83	12.55	27.79	19.32	42.78	6.88	15.22	5.14	11.38
辽宁	5.27	35.94	2.44	16.64	3.38	23.06	3.02	20.55	0.56	3.82
吉林	4.19	21.47	2.41	12.35	6.26	32.06	5.74	29.37	0.93	4.76
黑龙江	5.23	11.26	21.86	47.05	13.61	29.30	4.47	9.63	1.28	2.76

由于东北地区地形地貌多样、社会经济发展不均衡、工农业结构差异较大，本研究在分析各省区雪灾致灾、受灾情况后，针对每个地区提出了具体的雪灾防治对策和建议。

内蒙古蒙东地区 有不少旗县处于雪灾风险较高的程度，特别是呼伦贝尔草原地区。这些地区的雪灾致灾危险性很高，严重影响草原畜牧业的稳定。因而，针对性的对策和建议包括：(1)科学规划和管理草地资源，加强草场建设，控制牲畜数量，避免过度放牧^[36]。(2)增加牧草储备，构建饲料生产、销售、运输体系，保证积雪季节牧区有草可用。(3)完善牧区的气象、通讯、交通等基础设施建设，以便有效地进行雪灾预警和灾后救助。(4)运用遥感技术实现牧区草地资源和雪灾灾情的动态监测，为政府部门防灾救灾、合理安排畜牧业生产提供科学决策。

辽宁省 雪灾风险较高的地区在辽北和辽东，其中辽东地区的雪灾致灾危险性较高，而辽北地区的承灾体敏感性较高。雪灾对该地区造成的损失主要集中在设施农业、经济林业，公路、铁路、民航等交通运输业，以及电力、钢铁等工业。因而，针对性的对策和建议包括：(1)增强全民的防灾减灾意识，加大雪灾防治投入，建立区域性的雪灾综合保险体系。(2)推广抗灾救灾技术措施，提高民众自救能力。

辽宁省的雪灾风险最低，极低风险等级所占的比重也最大，超过面积的 1/3。吉林省雪灾风险比较高（较高和极高）等级所占比重为 34.13%，是 4 个省区中最高的。黑龙江省极高风险等级所占比重最小，仅有 2.76%，较低风险等级所占比重最大，面积超过 20 万 km²。

如对于设施农业而言，加强温棚抗雪和保温能力建设。(3)建立并完善雪灾预警和应急管理体系，保障灾区救灾物资供应和基本的生产生活。

吉林省 雪灾风险较高的地区在东南部山区，该地区雪灾致灾危险性很高，是东北降雪频发的核心区域之一，也是雪灾防灾救灾的重要区域。雪灾对该地区交通运输和工程设施造成的影响最大，因此除了准确及时的雪灾预警外，政府及相关部门应做好防灾的应急措施，加大对道路、铁路、各种管线等的管理巡护力度，及时清雪融雪，将雪灾带来的损失减至最少。

黑龙江省 雪灾风险较高的地区在南部经济发达地区，该地区对雪灾响应极为敏感，承灾体脆弱性很高，成熟的雪灾预警和应急管理体系显得尤为关键。全省的降（积）雪期非常长，要尽量减轻春秋季节突发性雪灾对农业造成的损失，及时抢收、抢种农作物。西部地区春季容易发生大风雪天气，减轻雪害最有效的措施就是营造防风雪林带。东部地区交通最容易受到雪灾影响，高速公路、市区道路要及时清除路面积雪，保障交通顺畅。

5 结 论

通过分析国内外雪灾风险的评价研究，在自然

灾害系统理论的支撑下,运用 GIS 技术和层次分析法、风险矩阵法等手段和方法,以东北地区 219 个县级统计单元为研究对象,构建雪灾风险综合评价模型,并对该地区的雪灾致灾危险性、承灾体的脆弱性以及雪灾综合风险进行计算和分析,最终提出各省区防灾减灾的对策和建议。主要结论如下:

(1) 潜在危险性比较高的地区分布在大、小兴安岭及长白山等山区。呼伦贝尔高原上是历史雪灾危险性最高的地区,也是雪灾致灾危险性最高的地区。东北东南部地区(以长白山地区为主)致灾危险性次之。

(2) 综合考虑承灾体暴露性、敏感性和抗灾救灾能力,得出:松辽平原承灾体脆弱性最高,这些地区人口稠密、经济发达;大、小兴安岭及长白山等地区,人口稀少、经济落后,承灾体敏感性最低。

(3) 雪灾风险极高的地区在内蒙古呼伦贝尔高原、黑龙江南部、吉林东南部、辽宁北部等;较高的地区分布东北的东南部及西部的部分地区;较低的地区主要分布较广,尤其以大兴安岭地区、蒙黑吉三省区交界地区和辽西地区的雪灾风险为最低。

(4) 东北地区的雪灾防治工作包括做好雪灾的气象预报、预警和应急管理,加大防灾减灾的投入,增强全民的防灾意识和自救能力,建立健全雪灾综合保险体系等。每个省区的侧重点又有所不同:内蒙古蒙东地区重点在于保障草原畜牧业的稳定;东北三省发达地区重点在于建立成熟的雪灾预警和应急管理体系,提升多部门的协同能力,山区则在于交通运输、电力通讯等的运行保障方面。

参考文献

- [1] 李培基,米德生. 中国积雪的分布[J]. 冰川冻土, 1983, 5(4): 9-18
- [2] Robinson D A, Dewey K F, Heim Jr R R. Global snow cover monitoring: an update[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1993, 74(9): 1689-1696
- [3] 顾钟炜,梁凤仙,曾群柱. 我国积雪强度特征和牧区雪灾的分级标准,危险程度研究[J]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 1995 (8): 1-7
- [4] 冯学智,曾群柱,鲁安新,等. 我国主要牧区雪灾遥感监测与评估研究[J]. 青海气象, 1996 (4): 12-13
- [5] 惠英,李栋梁,王文. 河套及其邻近不稳定积雪区积雪日数时空变化规律研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31

- (3): 446-456
- [6] Meister R. Country-wide avalanche warning in Switzerland [C] // *Proceedings of International Snow Science Workshop, Snowbird, USA*, 1995: 58-71
- [7] Bocchiola D, Medagliani M, Rosso R. Regional snow depth frequency curves for avalanche hazard mapping in central Italian Alps[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2006, 46(3): 204-221
- [8] Schirmer M, Lehning M, Schweizer J. Statistical forecasting of regional avalanche danger using simulated snow-cover data[J]. *Journal of Glaciology*, 2009, 55(193): 761-768
- [9] Sanders F, Bosart L F. Mesoscale structure in the megapolopolitan snowstorm of 11-12 February 1983. Part I: frontogenetical forcing and symmetric instability[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1985, 42(10): 1050-1061
- [10] Onton D J, Steenburgh W J. Diagnostic and sensitivity studies of the 7th December 1998 Great Salt Lake-effect snowstorm[J]. *Monthly Weather Review*, 2001, 129(6): 1318-1338
- [11] Changnon S A, Changnon D. A spatial and temporal analysis of damaging snowstorms in the United States[J]. *Natural Hazards*, 2006, 37(3): 373-389
- [12] Bychkova V I, Rubinshtein K G. Preliminary results of testing the snowstorm short-range forecast algorithm[J]. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2013, 38(6): 387-395
- [13] Tachiiri K, Shinoda M, Klinkenberg B, et al. Assessing Mongolian snow disaster risk using livestock and satellite data[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(12): 2251-2263
- [14] Valinger E, Fridman J. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden[J]. *Environmental Management*, 1999, 24(2): 209-217
- [15] Tomabechi T, Yamagata T, Takahashi A. Fundamental study on the snow damage in Hokkaido: analysis of snow damages from the planning of a region development and construction point of view [J]. *Journal of Architecture Planning & Environmental Engineering*, 1993, 47: 61-68
- [16] 马林,李锡福,张青梅,等. 青藏高原东部牧区冬季雪灾天气的形成及其预报[J]. 高原气象, 2001, 20(4): 407-414
- [17] 林建,范蕙君. 内蒙古雪灾监测方法研究[J]. 气象, 2003, 29(1): 27-32
- [18] 杨思全,刘龙飞,王磊,等. 环境减灾卫星雪灾监测评估应用研究[J]. 自然灾害学报, 2011(6): 147-152
- [19] 冯学智,鲁安新,曾群柱. 中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 129-134
- [20] 张国胜,伏洋,颜亮东,等. 三江源地区雪灾风险预警指标体系及风险管理研究[J]. 草业科学, 2009, 26

- (5):144-150
- [21] Liu F, Mao X, Zhang Y, et al. Risk analysis of snow disaster in the pastoral areas of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(3): 411-426
- [22] 陈彦清, 杨建宇, 苏伟, 等. 县级尺度下雪灾风险评价方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(s2):307-311
- [23] 李邦东. 近 50 年东北地区降水时空变化及降雪影响因子分析[D]. 兰州:兰州大学大气科学学院, 2013: 28-37
- [24] Jun C, Ban Y, Li S. China: open access to earth land-cover map[J]. *Nature*, 2014, 514(7523): 434-434
- [25] Chen J, Chen J, Liao A, et al. Global land cover mapping at 30m resolution: a POK-based operational approach[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 103: 7-27
- [26] Wu J, Li N, Yang H, et al. Risk evaluation of heavy snow disasters using BP artificial neural network: the case of Xilingol in Inner Mongolia[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2008, 22(6): 719-725
- [27] Tachiiri K, Shinoda M, Klinkenberg B, et al. Assessing Mongolian snow disaster risk using livestock and satellite data[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(12): 2251-2263
- [28] Liu X, Zhang J, Tong Z, et al. Grid-based multi-attribute risk assessment of snow disasters in the grasslands of Xilingol, Inner Mongolia[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2011, 17(3): 712-731
- [29] Makrey A. Disaster Mitigation: A Community Based Approach[M]. Oxford: Oxfam, 1989: 25-38
- [30] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4):6-17
- [31] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京:科学出版社, 2008: 2-275
- [32] 王昆, 宋海洲. 三种客观权重赋权法的比较分析[J]. 技术经济与管理研究, 2003(6):48-49
- [33] 周陆生, 李海红, 汪青春. 青藏高原东部牧区大-暴雪过程及雪灾分布的基本特征[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 452-458
- [34] 伏洋, 肖建设, 校瑞香, 等. 基于 GIS 的青海省雪灾风险评估模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(s1):197-205
- [35] Johann G. The United Nations international strategy for disaster reduction global wildland fire network[J]. *Fire Management Today*, 2008, 68(3):6-7
- [36] 刘兴元, 梁天刚, 郭正刚. 雪灾对草地畜牧业影响的评价模型及方法研究——以新疆阿勒泰地区为例[J]. 西北植物学报, 2004, 24(1):94-99

Comprehensive assessment of snow disaster risk in Northeast China

Han Shaoshuai, Guo Weina, Ke Changqing, Zhao Jiarui, Ma Donghui

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023)

Abstract

This paper takes Northeast China as the research object, based on the multi-source data such as meteorology, topographic features, social economy, historical snow disaster and so on. Under the support of natural disaster system theory, the methods of geographic information system (GIS), analytic hierarchy process (AHP) and risk matrix method are used. The comprehensive evaluation model of snow disaster risk is constructed, and the comprehensive calculation and analysis of the snow disaster risk in this area are carried out. Finally, suggestions for disaster prevention and mitigation are put forward according to the situation of the provinces and regions. The results show that: (1) the regions with extremely high risk of snow disaster include HulunBuir Plateau, southern Heilongjiang, south-east Jilin, northern Liaoning; (2) the high risk areas are mainly distributed in the southeast of Northeast China and parts of the West China, and the regional scope is much larger than that of the extremely high risk areas; (3) the areas with relatively low risk (low and very low) are mainly located in the vast areas, including the Songnen Plain and the surrounding terraces, especially in the Da Hinggan Mountains. The risk of snow disaster is the lowest in the border areas of the three provinces (Mongolia, Heilongjiang and Jilin) and the western part of Liaoning. In order to reduce the harm of snow disaster, in addition to establishing and perfecting the meteorological forecast, early warning and emergency response system of snow disaster, different regions should also make important planning arrangements according to their actual situation.

Key words: snow disaster, hazard, risk assessment, geographic information system (GIS), Northeast China