川西高原雪灾时空分布特征及风险评价

杜华明[1,2]，延军平[2]，杨 蓉[2]，杨登兴[2]

(1. 绵阳师范学院 资源环境工程学院，四川 绵阳 621000；2. 陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062)

摘 要：[目的] 掌握川西高原雪灾的空间格局和发展动向，为灾害相关管理部门提供决策依据。[方法] 以川西高原 16 个气象站点 1961—2012 年的逐日气温与降水量资料为基础，采用线性回归、反距离加权空间插值、自然灾害风险指数法，对川西高原雪灾的时空特征和雪灾风险进行研究。[结果] (1) 近 52 a 来川西高原地区各站点累计大雪、暴雪雪灾频次均呈增加趋势，增加倾向率分别为 0.93 和 0.51 次/10 a。(2) 川西高原地区雪灾具有显著的空间差异性。雪灾天气总体呈北方多而南方少的态势。(3) 雪灾发生的高风险区主要集中在石渠、色达、甘孜、红原、若尔盖、康定等地，松潘、理塘为中等风险区，德格、小金、马尔康、新龙、道孚、巴塘、稻城和九龙等地雪灾风险最低。[结论] 川西高原地区雪灾频次和程度均呈加重趋势，应采取有效措施加强对雪灾的防治和管理。

关键词：川西高原；雪灾；时空分布；风险评价

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2015)03-0261-06 **中图分类号**：K903

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.054

Temporal and Spatial Distribution of Snow Disaster and Risk Evaluation in Western Sichuan Plateau

DU Huaming[1,2], YAN Junping[2], YANG Rong[2], YANG Dengxing[2]

(1. *College of Resources and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan* 621000, *China*; 2. *College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: [objective] To master the spatial pattern and trends of snow disaster in Western Sichuan Plateau so as to provide desision basis for management department of disaster. [Methods] By using methods of linear regression, inverse distance weighted spatial interpolation, natural disaster risk index method, the spatial-temporal characteristics and risk of snow disaster were analyzed based on daily temperature and rainfall data of 16 meteorological stations from 1961 to 2012 in Western Sichuan Plateau. [Results] (1) The days of heavy snow and blizzard increased over the last 52 years in Western Sichuan Plateau, the change rates were 0.93 d/10 a and 0.51 d/10 a respectively. (2) The snow disaster had a distinct spatial difference in Western Sichuan Plateau, the days of snow disaster were more in north of Western Sichuan Plateau, and less in south of Western Sichuan Plateau. (3) Shiqu, Seda, Ganzi, Hongyuan, Ruoergai, and Kangding had the highest risk of snow disaster, Songpan and Litang were moderate-risk areas, Dege, XiaoJin, Ma'erkan, Xinlong, Daofu, Batang, Daocheng and Jiulong were low-risk areas. [Conclusion] The frequency and extent of snow disaster were increasing in Western Sichuan Plateau, it should take more effective measures to strengthen the prevention and management of snow disaster.

Keywords: Western Sichuan Plateau; snow disaster; temporal and spatial distribution; risk evaluation

伴随全球气候变化异常，各类极端天气气候事件频繁发生[1]，给人类社会带来极大影响，雪灾问题已成为灾害研究的一个热点问题。目前中国学者针对雪灾问题已展开了大量研究，如黄晓清等[2]研究了西藏高原前冬、隆冬和春季 3 个时段不同等级雪灾空间分布；李红梅等[3]对青海地区雪灾进行了风险区划，认为轻灾主要发生在柴达木盆地、东部农业区的大部和环湖的部分地区，三江源的大部是特大雪灾的高发区；白媛等[4]构建了畜牧业雪灾风险评价模型，通过对青海省畜牧业雪灾损失风险的评价，指出青海省畜

收稿日期：2014-03-03 **修回日期**：2014-04-28

资助项目：国家自然科学基金项目"部分重大自然灾害的时空对称性：结构、机理与适应对策"(41171090)

第一作者：杜华明(1977—)，女(汉族)，四川省剑阁县人，博士研究生，讲师，主要从事区域环境与灾害研究。E-mail:dhuaming2004@163.com。

通信作者：延军平(1956—)，男(汉族)，陕西省绥德县人，博士，教授，主要从事区域发展与自然灾害方面研究。E-mail:yanjp@snnu.edu.cn。

牧业雪灾风险呈现南高北低的分布格局；刘兴元等[5]对北疆牧区畜牧业生产与雪灾分布特征进行了分析，并构建了一个在完全放牧状态下的牧区雪灾预警与风险评估体系和模式；刘栋杉等[6]运用可公度法对雪灾发生年份进行了趋势判断；延军平等[7]采用对称性方法对青藏高原地区雪灾时空变化特征和相关机理进行了分析，认为青藏高原地区雪灾与太阳黑子和ENSO事件有较强的相关关系；张国胜等[8]从雪灾风险分析的角度构建了三江源地区越冬期风险预警指标体系，对各预警指标进行定量化与分级，提出将冬季风险管理分为家畜管理、草地管理、饲草供应、草地资源评估、冬季风险预报。综观对雪灾的研究，中国学者对雪灾的空间分布特征、雪灾风险评价、雪灾风险预警、雪灾相关机理与雪灾风险管理等方面都做了一定研究。

川西高原为青藏高原东南缘和横断山脉的一部分，处于青藏高原与四川盆地的过渡地带，气候变化敏感，冬季受冷高压影响，气候寒冷。雪灾是川西高原冬春季节最主要、影响最广、破坏力最大的气象灾害，是影响川西牧区畜牧业发展的主要制约因素，几乎每年都会发生雪灾，如1995年10月至次年3月底发生的雪灾，给当地人民带来严重影响，导致甘孜州11个县冻伤、致残和雪盲的人数达38 279人之多，致使539 346头牲畜死亡，造成的直接经济损失达3.4亿元[9]。川西地区经济相对落后，一旦发生雪灾，往往会造成牲畜死亡、交通受阻，造成一定的经济损失。因此开展川西高原地区雪灾时空分布特征和雪灾风险评价研究，有利于有针对性的调整产业结构、改善补饲条件，对区域防灾减灾具有一定参考价值。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

通过对川西高原地区各气象站点资料的严格筛选，选出资料完整、没有迁站记录的石渠、德格、色达、甘孜、新龙、道孚、小金、马尔康、红原、若尔盖、松潘、康定、理塘、巴塘、稻城、九龙等16个气象站（图1）1961—2012年冬半年（10月至次年4月）的逐日气温、降水资料（该资料来源于中国气象科学数据服务共享网），根据川西地区冬半年降水特点，本文雪灾研究中，以某一单站为对象，气温稳定低于0 ℃，日降雪量≥5 mm为一个大雪日，日降雪量≥10 mm为一个暴雪日。

本文采用数理统计方法结合GIS空间分析技术，对川西高原地区雪灾时空特征进行分析。在雪灾风险评价与等级划分方面，根据川西高原的实际情况，对各评价指标进行科学筛选和权重确定，构建雪灾风险评价指标体系（图2），共4个一级指标和12个二级指标，通过自然灾害、自然地理、灾害管理等方面的15位专家对各指标的重要性进行打分，统计分析后得到各评价指标的权重值。各县牲畜数量、农作物产量、人口数量、地方财政收入、人均GDP、公路里程数、雪灾损失数据等资料来源于《四川统计年鉴》、《中国气象灾害大典》（四川卷）及实地调查资料。在分析中采用归一化、层次分析法、加权综合评价等方法进行雪灾风险分析与评价。

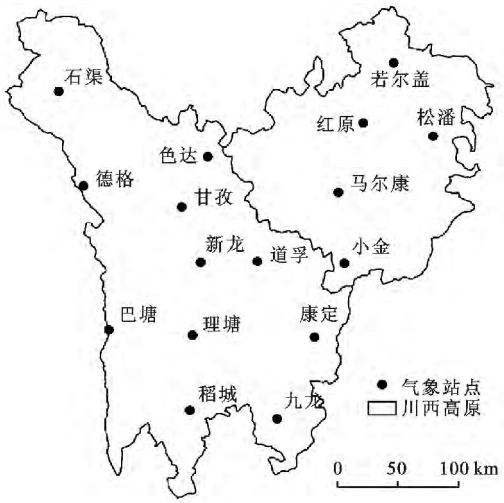


图1 川西高原气象站点分布

1.2 研究方法

1.2.1 归一化 雪灾风险评价中，各指标具有不同的量纲，为方便计算分析，采用公式（1）对致灾因子、孕灾环境和承灾体各指标进行归一化处理。

$$Y=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \tag{1}$$

式中：Y——二级指标归一化值；X——各二级评价指标的数据值。

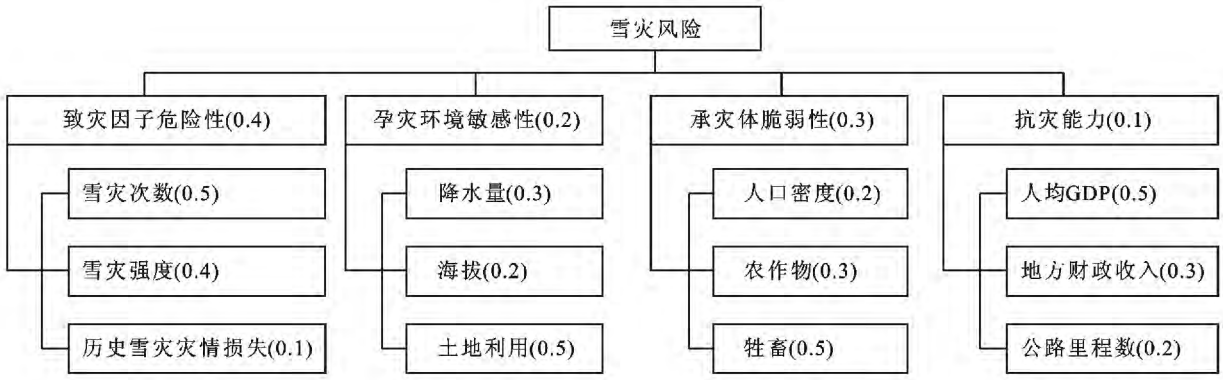
抗灾能力各指标的归一化采用公式（2）进行计算。

$$Y=1-[(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})] \tag{2}$$

1.2.2 加权综合评价法 本文雪灾风险评价采用自然灾害风险指数法，结合雪灾致灾因子的危险性（H）、孕灾环境的敏感性（S）、承灾体的脆弱性（V）和防灾减灾能力（P）4方面的因素进行雪灾风险评价。采用加权综合评价法对危险性、敏感性、脆弱性和抗灾能力进行定量计算，其计算公式如下：

$$V=\sum_{i=1}^{n}W_iY_i \tag{3}$$

式中：V——评价因子指数；W_i——第i个指标的权重；Y_i——第i个指标的归一化值；n——评价指标个数。文中各指标的权重W_i采用专家打分进行确定。



注:括号中数据为指标权重。

图 2　川西高原雪灾风险评价指标体系

1.2.3　**雪灾综合风险指数模型**

$$R=f(H,S,V,P)=H^{\alpha}\times S^{\beta}\times V^{\gamma}\times P^{\delta} \quad (4)$$

式中:R——综合风险度;H——雪灾致灾因子的危险性;S——孕灾环境的敏感性;V——承灾体的脆弱性;P——防灾减灾能力;$\alpha,\beta,\gamma,\delta$——各评价因子的权重。

2　结果分析

2.1　川西高原雪灾气候特征

2.1.1　**雪灾时间变化特征**　根据对川西高原 16 个气象站点 1961—2012 年大雪、暴雪雪灾天气的统计,绘制出川西雪灾频次变化曲线图(图 3)。从图 3 可以看出,随着时间的增长,川西地区各站点累计大雪雪灾频次呈缓慢增加趋势,增加倾向率为 0.93 次/10 a,增加倾向率未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,增加趋势不明显。从各地大雪日数的年代际变化可以看出,20 世纪 60 年代各地大雪日出现频次最低,为 13.1 次;从 60 年代末期开始,川西地区大雪日数呈持续上升趋势发展,70 年代和 80 年代大雪日数有明显的增加趋势,分别为 16.1 次和 18.1 次;90 年代为 19.2 次,是近半个世纪以来大雪日数最多的时期,雪灾严重;2001 年开始年代大雪日出现次数较 20 世纪 80—90 年代偏低,2001—2010 年为 17.2 次,2011—2012 年为 17 次,但远高于 20 世纪 60 和 70 年代出现频次。

根据对川西地区各站点累计暴雪日频次的分析,近 52 a 来川西高原暴雪日呈增加趋势发展,增加倾向率为 0.51 次/10 a($r=0.31$,$p<0.05$),暴雪日存在显著的增加趋势。从暴雪灾害天气的年代变化看,20 世纪 60 年代暴雪发生次数为 1.4 次,70 年代为 1.6次,60—70 年代川西高原暴雪日数呈缓慢增加趋势,增幅较小;80—90 年代暴雪天气数量明显增多,分别为 3 次和 3.3 次,远远高于 60 年代和 70 年代的暴雪日数;2001—2010 年是近 52 a 来暴雪日出现最多的年代,为 3.4 次,2011—2012 年为 3 次。

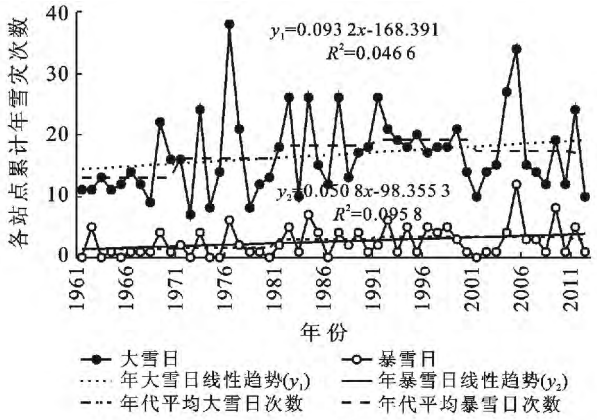


图 3　1961－2012 年川西高原年雪灾次数变化

2.1.2　**雪灾空间分布特征**　根据对川西高原 1961—2012 年日降雪量≥5 mm 大雪日图(附图 11)的分析,德格、巴塘、稻城、九龙、小金、新龙、道孚、马尔康等地大雪发生日数为 0～25 次,大雪日的概率较小;石渠、色达、甘孜、理塘、松潘等地区大雪日发生的次数为 51～100 次,平均每年有 1～2 次大雪日;若尔盖、康定、红原地区大雪日数最高,达 101～154 次,平均每年有大雪日数 2～3 次,雪灾发生的概率非常高,应做好防灾工作。

从川西高原 1961—2012 年暴雪发生次数(附图 11)来看,德格、巴塘、稻城、九龙、小金、新龙、道孚、马尔康等地暴雪发生日数为 0～5 次,平均 10～50 a 一遇;松潘、理塘两地发生暴雪日 6～10 次,平均 5～9 a 一遇;色达、若尔盖两地发生暴雪日 11～15 次,平均 4～5 a 一遇;石渠、甘孜两地发生暴雪 16～20 次,平均 3 a 一遇;红原地区共发生 22 次暴雪,平均 3 a 一遇;康定地区近 52 a 来共发生 32 次暴雪日,平均2 a 一遇。

2.2 川西高原雪灾风险评价

根据气象灾害风险评价的基本理论，结合 ArcGIS 9.3 空间分析平台，进行川西高原雪灾风险评价与等级划分。按致灾因子的危险性、孕灾环境的敏感性、承灾体的脆弱性和防灾减灾能力进行分析。

2.2.1 致灾因子危险性 降雪量的时空分布不均是致使雪灾发生的主要因素，川西高原大部分地区主要以牧业为主，农业为辅，雪灾的发生对牧业发展的影响很大。本文主要针对各地大雪日出现频次、雪灾强度、历史雪灾灾情进行危险性评价。利用加权综合评价法(图 2)计算各地雪灾致灾因子危险性指数，运用 ArcGIS 9.3 空间分析平台进行空间插值和加权叠加分析，得到雪灾危险性分布图(图 4a)。从图中可以看出，雪灾致灾因子的危险性北部普遍高于南部地区，红原、若尔盖、石渠、康定等地区属于高危险区，理塘、色达、甘孜、松潘等地区属于中等危险区，德格、巴塘、新龙、道孚、马尔康、小金、稻城、九龙等地属于低危险区。

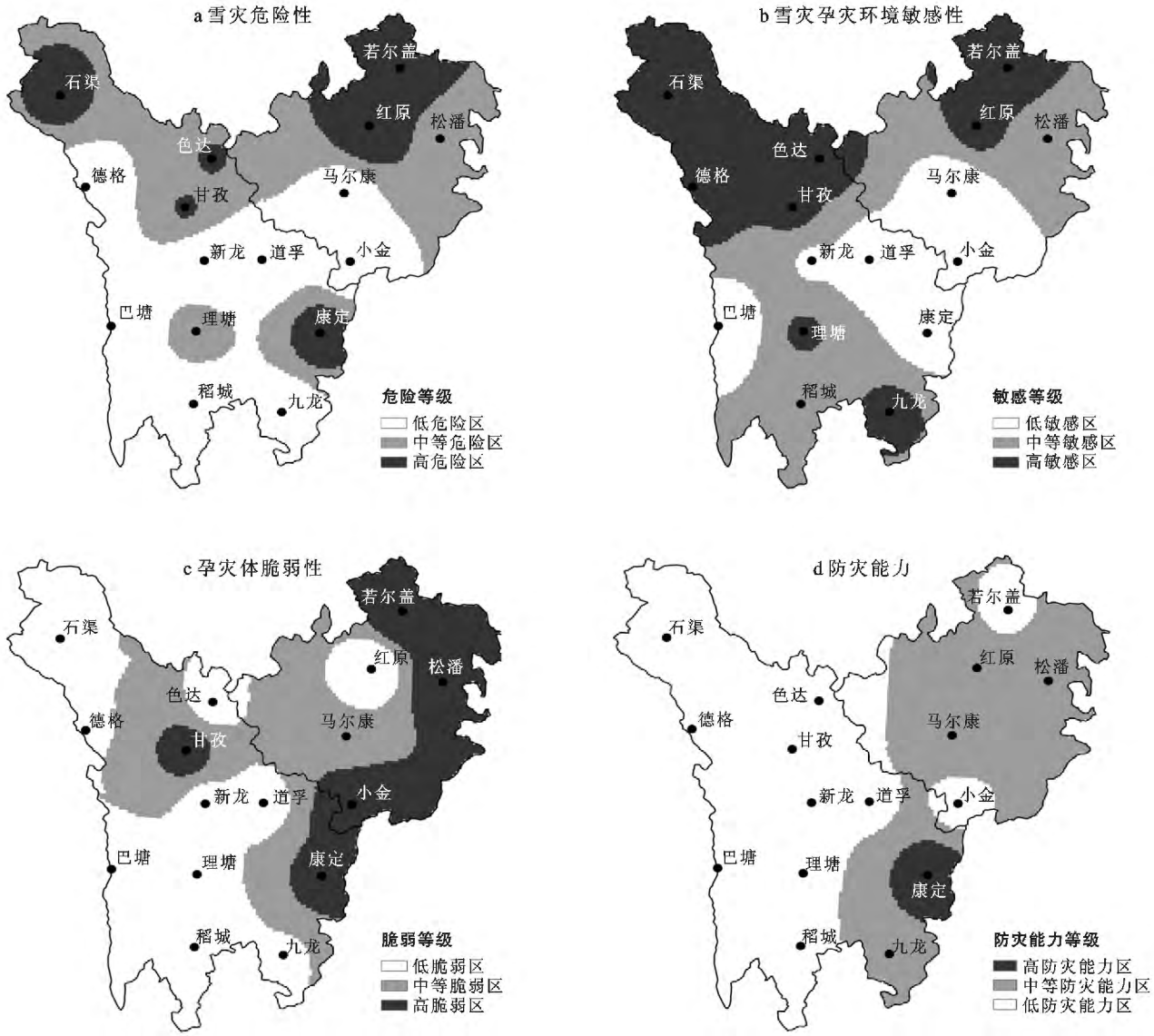


图 4 川西高原雪灾风险评价指标因子分级

2.2.2 孕灾环境的敏感性 孕灾环境主要考虑降水、海拔、土地利用类型等因子对雪灾形成的综合影响。冬半季降水量的多少是影响雪灾的主要因素，海拔越高气温越低，雪灾天气容易持续，积雪量多，造成的损失就越大；土地利用类型的不同对雪灾的敏感性亦不同，雪灾影响牲畜觅食、过冬和作物受冻，该区域土地利用类型主要分为草地、农田、林地和其他四类，其敏感系数分别为 0.6，0.2，0.1，0.1。将降水、海拔、土地利用类型 3 个因子进行加权处理，应用 ArcGIS 进行叠加分析，采用自然断点分析法将其分为 3

个等级,得到雪灾孕灾环境敏感性指数图(图 4b)。从图 4b 可以看出,受降水量、海拔高度和土地利用类型的综合影响,北部地区的草原敏感性相对最高,而马尔康、康定等地区敏感性相对较低。

2.2.3　承灾体脆弱性　雪灾造成的危害程度与承灾体有关,雪灾的承灾体主要是牧民和牲畜[10]。对川西高原而言,第一产业受雪灾的影响最大,第一产业比重越大,区域人口越多,受雪灾的影响越大,区域脆弱性亦越高。对川西高原承灾体的脆弱性评价在文中由各县的人口密度、牲畜数量和农作物面积来体现。根据专家打分情况,同时结合川西高原的实际情况,将人口密度、牲畜数量、农作物面积 3 个评价指标的权重分别附值为 0.2,0.5,0.3,绘制出川西高原的承灾体脆弱性分布图(图 4c)。由图 4c 可以看出,甘孜、若尔盖、松潘、小金、康定等地区脆弱性最高,与这些地区的人口密度高、牧场面积大有密切关系;而石渠、巴塘、稻城、理塘等地区人口稀少,因此承灾体的脆弱性相对较低。

2.2.4　防灾减灾能力　防灾减灾能力与当地的经济状况密切相关,因此将人均 GDP、当地财政收入、道路的通达性作为评价指标。当地财政收入高、人均 GDP 高的地区经济相对发达,产生灾害后的自救能力也越强,防灾减灾能力亦高。而道路的通达性影响到灾害救助的可行性,道路越密集越有助于灾害的救助。通过专家打分情况,将人均 GDP、当地财政收入、道路的通达性 3 个评价指标的权重分别附值 0.5,0.3,0.2,绘制出防灾能力等级图(图 4d)。由图 4d 可知,康定地区的防灾能力最高,这与当地人均 GDP 高、财政收入高与交通路网发达有密切关系;而红原、松潘、马尔康、九龙等地处于中等防灾水平;而川西高原西部地区交通条件差,经济发展水平较低,容易遭受灾害袭击,该区域防灾能力最弱。

2.2.5　雪灾综合风险评价　根据研究区域雪灾危险性特征及形成机制,从雪灾的自然属性和社会属性出发,综合考虑致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力,结合研究区域特点,在 GIS 环境下,对致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力几个图层进行加权叠加运算,得到川西高原地区雪灾风险指数图。采用自然断点分级法,根据雪灾综合风险指数大小将川西高原雪灾风险划分为高(0.51～0.67),中(0.39～0.50),低(0.21～0.38)3 个等级(图 5),其雪灾风险评价结果与灾情统计基本一致[9]。从图 5 可以看出,石渠、色达、甘孜、红原、若尔盖、康定等地雪灾风险最高,松潘、理塘为中等风险区,德格、马尔康、新龙、道孚、小金、巴塘、稻城、九龙等地属于雪灾低风险区。

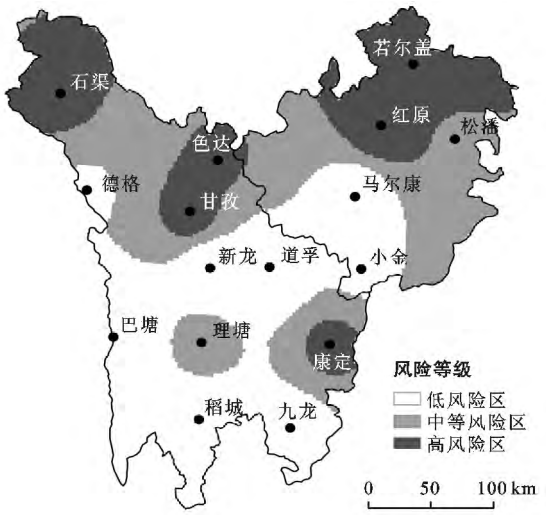


图 5　川西高原雪灾风险等级

3　结 论

(1) 通过对川西高原 1961—2012 年大雪、暴雪雪灾天气的统计分析发现,近 52 a 来川西高原地区各站点累计大雪、暴雪雪灾频次均呈增加趋势,增加倾向率分别为 0.93 和 0.51 次/10 a,发生雪灾的概率明显增大。从大雪、暴雪灾害天气的年代变化看,20 世纪 60—70 年代川西高原大雪、暴雪日数呈缓慢增加趋势,增幅较小,80 年代开始暴雪天气呈显著增加趋势,2001—2010 年是近 52 a 来暴雪日出现最多的年代。

(2) 川西高原地区雪灾具有显著的空间差异性,总体呈北方雪灾天气多而南方雪灾天气少的态势。德格—甘孜—马尔康一线以北地区平均 1 a 发生 1～3次大雪天气,德格—甘孜—马尔康一线以南除康定外大雪天气平均 2 a 一遇或 1 a 一遇。德格—甘孜—马尔康一线以北地区平均 2 a 一遇或 3 a 一遇暴雪天气,德格—甘孜—马尔康一线以南的康定地区平均2 a一遇暴雪天气,其余大部分地区 10 a 一遇暴雪天气。

(3) 综合川西高原致灾因子的危险性、孕灾环境的敏感性、承灾体的脆弱性和防灾减灾能力 4 个因素,通过加权叠加分析对川西高原雪灾综合风险进行评价与等级划分发现,川西高原北部的石渠、色达、甘孜、红原、若尔盖等地区雪灾风险最高,中部地区的松潘、理塘等地为中等风险区,川西中部地区的德格、马尔康、新龙、道孚、巴塘、小金和南部地区的稻城、九龙

等地雪灾风险最低。川西高原地区冬半季降雪量的多少、降雪强度、土地利用状况、第一产业类型等是影响雪灾的主要因素。

基于自然灾害风险评价基础理论，在分析雪灾时空特征的基础上，尝试性构建了雪灾风险评价指标体系，运用自然灾害风险指数法结合 GIS 空间分析技术对川西高原雪灾风险进行评价，使雪灾风险空间分布状况得到具体表达，这对当地农牧业的发展、结构的调整与布局具有一定的参考价值，能够为区域防灾减灾提供理论参考。雪灾的成因复杂，不同的地域具有不同的自然、社会环境特征，雪灾的时空分布特征各异，所造成的损失也不一样。本文仅针对川西高原地区的雪灾问题作了初步探讨。由于数据资料的缺乏与限制，川西高原雪灾分析是以县为行政单元进行的，为了更好地为灾害相关管理部门提供更具体的决策依据，可进一步以乡镇为单元进行雪灾风险研究。雪灾的形成受到多种因素的影响。本文仅考虑了当地的地理环境、气候特征、土地利用、经济状况、人口分布等特征，雪灾还受到大气环流异常的影响，因此，该评价指标体系还有待于进一步完善，以融入更多的指标要素，使评价结果更加合理。

[参 考 文 献]

[1] 张校玮. 我国极端气候时空特征及风险分析[D]. 上海：上海师范大学，2012：1-2.

[2] 黄晓清，杨勇，石磊. 西藏高原不同时段雪灾的空间分布及大气环流特征[J]. 中国沙漠，2013，33(2)：396-402.

[3] 李红梅，李林，高歌，等. 青海高原雪灾风险区划及对策建议[J]. 冰川冻土，2013，35(3)：656-661.

[4] 白媛，张兴明，徐品泓. 青海省畜牧业雪灾风险评价研究[J]. 青海师范大学学报：自然科学版，2011，1(1)：71-77.

[5] 刘兴元，梁天刚，郭正刚，等. 北疆牧区雪灾预警与风险评估方法[J]. 应用生态学报，2008，19(1)：133-138.

[6] 刘栋杉，延军平. 阿勒泰地区冬季降水变化特征及雪灾趋势判断[J]. 干旱区资源与环境，2013，27(9)：72-78.

[7] 延军平. 重大自然灾害时空对称性研究[M]. 西安：陕西师范大学出版社，2013：161-199.

[8] 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.

[9] 詹兆渝，刘庆，陈文秀，等. 气象灾害大典四川卷[M]. 北京：气象出版社，2005：4-518.

[10] 王博，李小娟，胡卓玮，等. 基于 GIS 的内蒙古中部牧区雪灾风险评估模型研究[J]. 安徽农业科学，2011，39(4)：1984-1987.

（上接第 260 页）

[8] 凡非得，罗俊，王克林，等. 桂西北喀斯特地区生态系统服务功能重要性评价与空间分析[J]. 生态学杂志，2011，30(4)：804-809.

[9] 张文广，胡远满，张晶，等. 岷江上游地区近 30 a 森林生态系统水源涵养量与价值变化[J]. 生态学杂志，2007，26(7)：1063-1067.

[10] 赵同谦，欧阳志云，王效科，等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 生态学报，2004，24(6)：443-452.

[11] 邓坤枚，石培礼，谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. 资源科学，2002，24(6)：68-73.

[12] 刘承. 县域生态系统水土保持功能及价值研究：以四川宝兴县为例[D]. 成都：中国科学院成都山地灾害与环境研究所，2009.

[13] 汪涛，朱波，罗专溪，等. 紫色土坡耕地径流特征试验研究[J]. 水土保持学报，2008，22(6)：30-34.

[14] 谢云，林燕，张岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展，2010，5(3)：279-287.

[15] 吴昌广，曾毅，周志翔，等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 中国水土保持科学，2010，8：(3)：8-11.

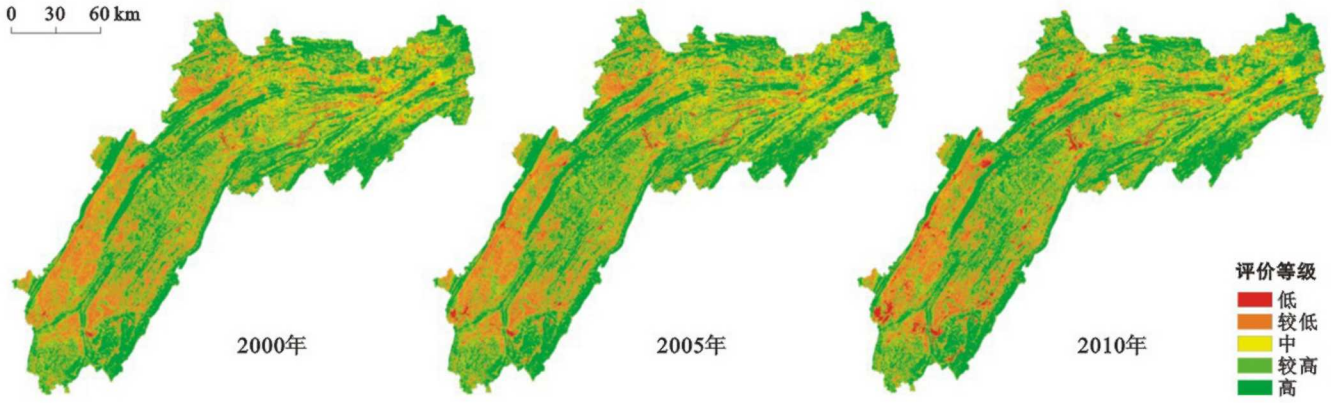
[16] 张照录，薛重生. 通用土壤流失方程的研究进展及其改进方法[J]. 地学前缘，2004，11(4)：608-608.

[17] 张岩，袁建平，刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报，2002，13(8)：1033-1036.

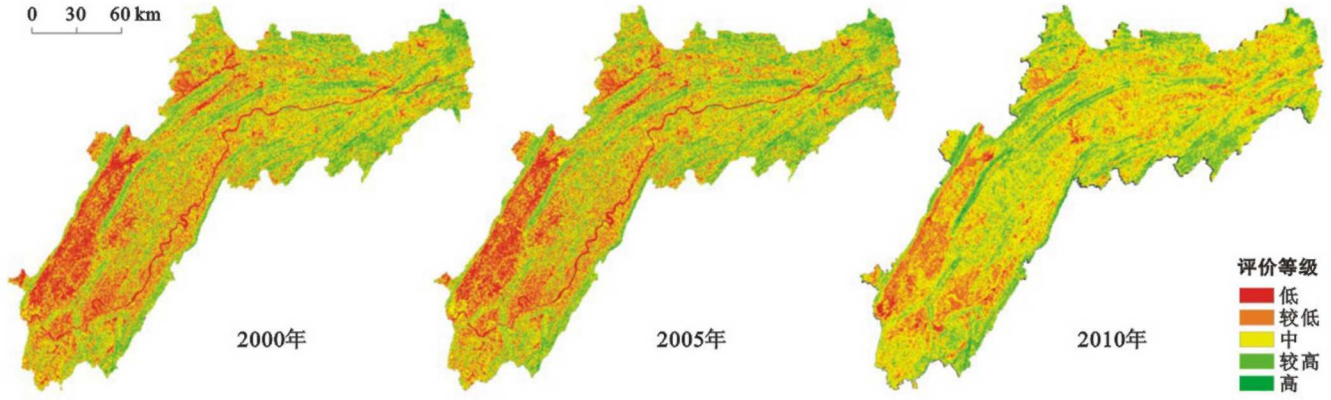
[18] 张宝雷，张淑敏，周启刚，等. 土地利用和生态系统服务功能变化研究：以三峡库区大宁河流域为例[J]. 长江流域资源与环境，2007，16(2)：181-185.

[19] 王晓杰. 重庆主城区不同林地类型碳汇效益研究[D]. 重庆：西南大学，2011.

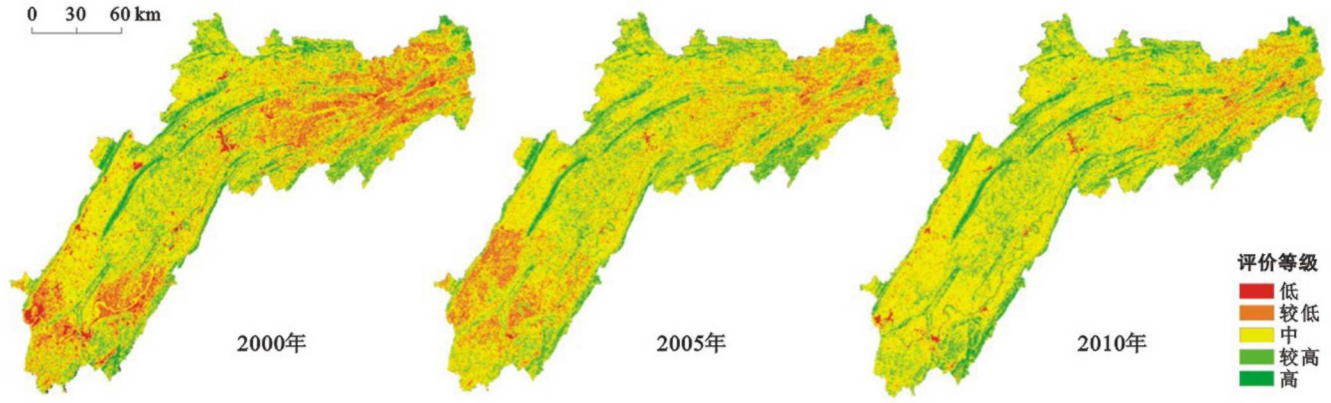
[20] 王万忠，焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报，1996，16(5)：1-20.



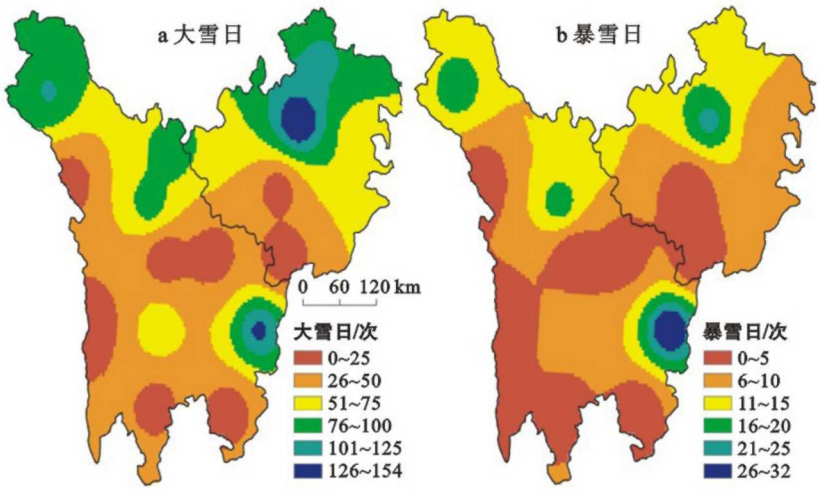
附图8　重庆市三峡库区生物多样性维持功能评价等级分布(259页)



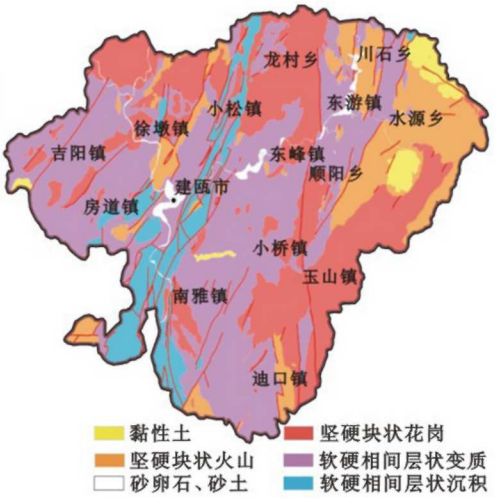
附图9　重庆市三峡库区土壤保持功能评价等级分布(259页)



附图10　重庆市三峡库区重要生态功能区生态系统服务功能评价等级分布(260页)



附图11　1961—2012年川西高原各站点日降雪量≥5 mm的大雪日和日降雪量≥10 mm的暴雪日空间分布特征(263页)



附图12　建瓯市2006—2014年工程地质岩组类型分布(268页)