

伊犁河流域春季融雪型洪水危险性评价与区划

刘鑫¹ 赵鲁强¹ 刘娜² 惠建忠¹ 唐千红¹

(1 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081; 2 国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要: 将春季融雪型洪水发生最为频繁的伊犁河流域作为研究区, 选取高程、坡度、地形起伏度、与水系距离、土地利用/覆被、冬季积雪深度作为春季融雪型洪水的影响因子, 利用GIS技术和信息量模型定量计算了春季融雪型洪水的危险性, 并基于总信息量最终将研究区域划分为极高度、高度、中度、低度和极低度等5个等级危险区。研究表明: 春季融雪型洪水灾害主要沿河谷地带发生, 并且与冬季积雪深度、农田等分布相一致, 灾害点与危险性区划具有很好的空间相关性, 运用信息量模型开展春季融雪型洪水危险性区划具有较好的科学客观性和业务应用价值, 可为该区内的春季融雪型洪水精细化预报提供有力的技术支撑, 可为防灾减灾决策服务提供参考依据。

关键词: 春季融雪型洪水, 危险性评价, 信息量模型, 伊犁河流域

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.06.006

Risk Evaluation of the Spring Snowmelt Flood in Ili River Basin and It's Mapping

Liu Xin¹, Zhao Luqiang¹, Liu Na², Hui Jianzhong¹, Tang Qianhong¹

(1 Public Service Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081)

Abstract: This paper evaluates the risk of the spring snowmelt flooding, which is often occurred in the Ili River Basin, based on GIS technology, information quantity model and impact factors including elevation, topographic relief degree, slope, distance from the river system, land use/cover types and winter snow depth. According to the final comprehensive information quantity, the spring snowmelt flooding hazard may be divided into five grades: very high, high, moderate, low and very low. Results show that the spring snowmelt floods concentrated mainly along the zonal river valley in the Ili River Basin, and are consistent with the distribution of winter snow-belt and farmland. The site number of spring snowmelt flooding hazards is positively correlated with the hazard grades. It is shown that the method based on the information quantity, and the mapping of spring snowmelt flood hazard zones is objective and has a better business value. The study may provide a technical support for a fine forecast of the spring snowmelt flood, and a valid basis to prevent from the spring snowmelt flood.

Keywords: spring snowmelt floods, risk evaluation, information quantity model, Ili River Basin

0 引言

20世纪80年代以来, 在全球气候变暖的大背景下, 雪线上升, 积雪消融加快, 我国春季融雪型洪水的发生频次明显增加且强度加大, 其中新疆融雪型洪水最为显著^[1-2]。新疆融雪型洪水的发生不仅严重威胁到了当地的公路、铁路、水库、灌溉渠道等交通、水利设施, 危及到了人民的生命财产安全, 更较大地制约了当地的社会经济发展^[3]。例如, 2010年春季新疆北部地区发生融雪型洪水40多次, 造成15.55万人受灾, 直接经济损失约3亿元^①。并且, 随着经济的快速

发展及人类活动加剧, 融雪型洪水带来的社会灾害损失也与日俱增。而伊犁河流域是新疆春季融雪型洪水发生最为频繁的地区, 据统计, 2000—2013年, 伊犁河流域的春季融雪型洪水占新疆该灾害总数的40%, 因此, 开展该地区的春季融雪型洪水危险性评价与区划研究尤为迫切和必要。

春季融雪型洪水危险性包含了孕灾环境、致灾因子等多重因素的影响, 春季融雪型洪水危险性评价需对这多种影响因素进行考虑^[4-7]。春季融雪型洪水危险性区划是在已有融雪型洪水的形成机理研究基础上, 选择融雪型洪水形成的主要影响因子, 进而利用一定的方法进行未来潜在融雪型洪水的发生概率估算,

收稿日期: 2016年9月17日; 修回日期: 2016年10月25日
第一作者: 刘鑫(1983—), Email: queerjisheng@163.com
资助信息: 中国气象局公共气象服务中心业务服务专项基金项目(M2014008)

① 中国新闻网: 新疆今年发生洪灾40多次损失近3亿元。[2010-05-05]. <http://www.chinanews.com/gn/news/2010/05-05/2263366.shtml>.

并完成融雪型洪水危险性预测分区。目前在洪涝灾害危险性评价方面，常用的方法有主成分分析、回归分析、层次分析、人工神经网络和信息扩散理论等^[5, 8-9]，由于应用条件苛刻或专家打分主观性比较强等原因，不易于操作，而广泛应用于地质灾害危险性评价中的信息量模型法^[10-11]，易于实现且评价结果客观性较高，将初次应用于春季融雪型洪水危险性评价与区划研究。本文将结合伊犁河流域春季融雪型洪水发生的空间分布特征，选出高程、地形起伏度、坡度、水系距离、土地利用/覆被及冬季积雪深度等6个融雪型洪水影响因子，运用信息量模型法和GIS技术对研究区的春季融雪型洪水危险性开展定量评价，为伊犁河流域的春季融雪型洪水精细化预报提供技术支撑，为春季融雪型洪水的重点防治提供科学参考依据。

1 研究区概况

伊犁河流域位于新疆天山最西部，地理位置在42°50′—44°10′N，80°30′—83°10′E，面积约5.6万km²，海拔531~6038m。全地区地貌的基本特征为三山夹两谷，东、南、北三面高山环绕，地势东高西低，东窄西宽，河流由特克斯河、巩乃斯河和喀什河三大支流组成，干流全长1236km，在中国境内长约442km^[12]。伊犁河流域是新疆主要粮油和畜牧业基地，畜牧总头数为全疆第一，占全疆15%以上，耕地面积占全疆的12%，农作物的总产量占15%，是新疆重要的绿洲农业区（图1）^[13]。

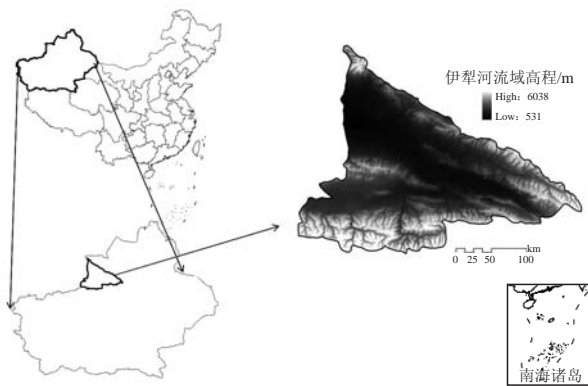


图1 研究区位置示意图
Fig. 1 The location of research area

2 资料与方法

2.1 资料来源

本文研究资料主要包括伊犁河流域2000—2013年春季（3—5月）融雪型洪水灾情资料、90m的数字高程资料、1:100万的水系分布图、1km的土地利用图和1981—2013年2月下旬的积雪深度资料。

2.2 资料处理方法

首先，在总结借鉴国内外相关学者的春季融雪型洪水成因和灾害影响研究成果基础上，结合研究区内春季融雪型洪水实际情况筛选影响因子。

其次，基于灾情资料和GIS技术，提取灾情对应的各影响因子数值。通过分析主要影响因子与春季融雪型洪水空间位置的关系，将各主要影响因子划分为多个特征等级。

最后，基于信息量模型和GIS技术，统计各主要影响因子每个特征等级的危险度信息量，综合得到研究区春季融雪型洪水各重要影响因子的危险度信息量，进而运用加权综合法计算得到研究区的危险度信息量分布；利用自然断点法，将总信息量重新划分特征等级，最终得到精细化的春季融雪型洪水危险性区划图。

3 伊犁河流域春季融雪型洪水危险性评估与区划

3.1 春季融雪型洪水影响因子的提取与分析

春季融雪型洪水是流域水文地理环境、流域积雪、下垫面以及热力条件等因子综合影响的结果^[14-17]，在春季融雪型洪水危险性区划中，合理把握融雪型洪水发生的主要影响因子非常重要。另外，通过分析主要影响因子与春季融雪型洪水空间位置的关系，可揭示春季融雪型洪水的分布规律，找出各影响因子对春季融雪型洪水发生过程的贡献大小。本次研究中春季融雪型洪水影响因子的选取是在借鉴国内外相关学者的研究成果基础上，并结合研究区内春季融雪型洪水实际情况筛选，确定高程、地形起伏度、坡度、水系距离、土地利用/覆被、冬季积雪深度等6个融雪型洪水影响因子（图2）。

3.1.1 高程因子

高程是描述地形地貌的定量指标^[18]，与山区气温和积雪深度有密切关系^[14, 16]，因而是春季融雪型洪水危险性的重要评价因子。利用美国NASA的3弧秒（约90m分辨率）的新疆数字高程图，处理生成覆盖伊犁河流域的1km×1km栅格数据，如图2a所示。从研究区的高程图可见，区内海拔较高，主要为山区。从融雪型洪水与高程关系（图3）来看，融雪型洪水主要发生在533~1300m高程范围内，占区内总灾害点的70.2%。

3.1.2 地形起伏度因子

地势起伏度是某一确定面积内最高和最低点的高差，是描述地貌形态的定量指标^[18-19]。较小的地形起伏度可使得一定范围内的积雪几乎同步开始消融，中、低山区能够同时来水，从而缩短春季融雪洪水的

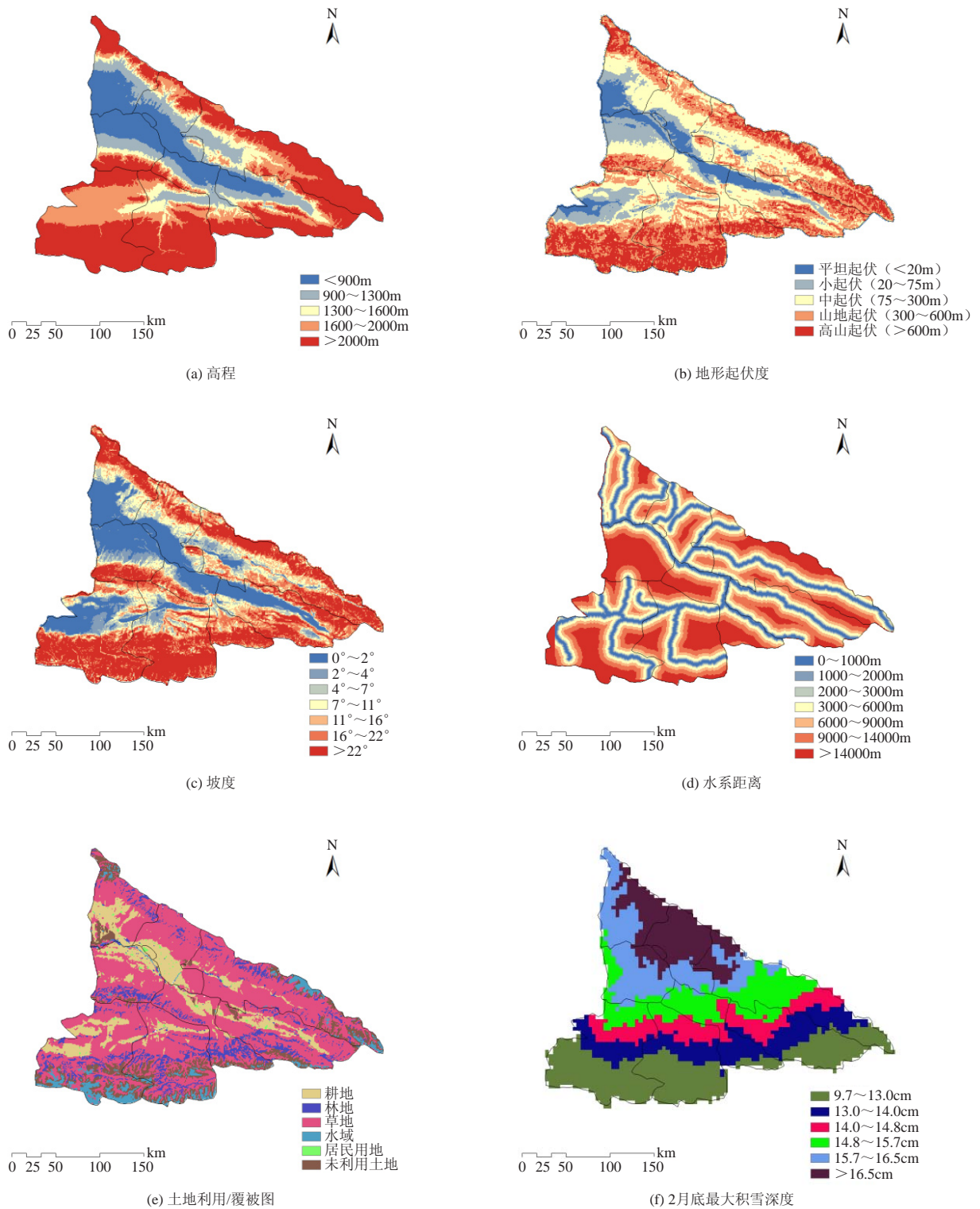


图2 伊犁河流域春季融雪型洪水评价因子

Fig.2 Hazard evaluation factors of spring snowmelt-flood in the Ili River Basin

过程、增加洪峰流量^[15]。它也是重要的春季融雪型洪水评价因子。基于数字高程和ARCGIS空间分析计算得到1km地形起伏度栅格数据,如图2b所示。据地貌

制图时的分类标准^[18],研究区内平坦起伏(0~20m)地区面积占总面积的8.78%,小起伏(20~75m)地区面积占总面积的12.25%,中起伏(75~300m)地

区面积占总面积的28.55%，山地起伏（300~600m）占总面积的29.37%，高山起伏（>600m）占总面积的21.05%。该结果显示（图4），研究区地形大多为中

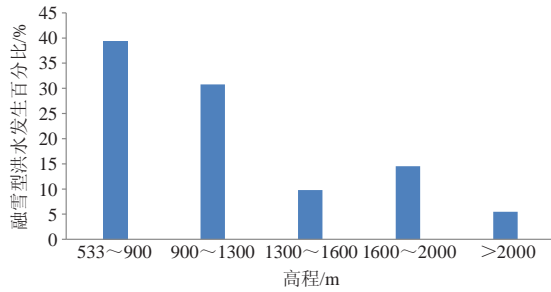


图3 春季融雪型洪水与高程关系
Fig.3 Relation between spring snowmelt-flood and elevation

起伏、山地起伏和高山起伏；区内春季融雪型洪水灾害点主要分布在小起伏、中起伏地区，约占总灾害点的75.5%。

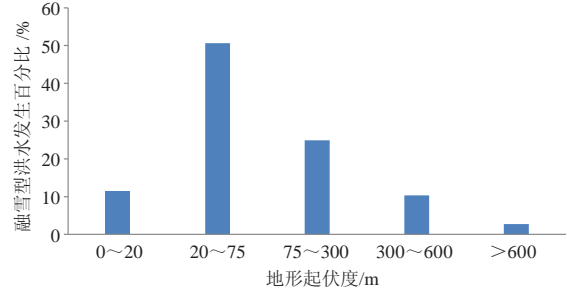


图4 春季融雪型洪水与地形起伏度关系
Fig.3 Relation between spring snowmelt-flood and topographic relief degree

3.1.3 坡度因子

坡度是高度变化的最大值比率，反映陡缓程度^[20]。从理论角度，坡度越大，水流动速度越快。高程、地形起伏度和坡度在春季融雪型洪水危险性评价中能够起到互相补充的作用，这三个因子均与春季融雪型洪水具有良好的相关性，高程越低、地形变化越小，洪水、山洪灾害越容易发生^[4, 8]。使用ARCGIS软件生成伊犁河流域的1km坡度栅格数据，如图2c所示。从研究区的坡度图来看，区内坡度较陡峭，坡度分布在0°~78.9°，从融雪型洪水与坡度分布关系图（图5）来看，融雪型洪水主要发生在0°~4°，该区域内的融雪型洪水占区内总灾害点的71.7%。

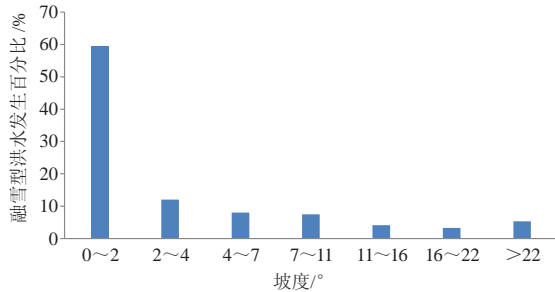


图5 春季融雪型洪水与坡度关系
Fig.5 Relation between spring snowmelt-flood and slope

3.1.4 水系距离因子

水系分布反映了积雪融水的流动方向，河流或山洪沟的水流流量迅速上涨，易发生融雪型洪水。因而，一般河流附近发生融雪型洪水的可能性较大^[4, 8]。根据河流分布图，利用ARCGIS软件生成水系因子图。如图2d所示，通过对研究区的融雪型洪水宏观分析发现，区内融雪型洪水沿着河谷呈条带状分布。利用ARCGIS的空间分析工具，做水系的缓冲区，

分析融雪型洪水在距河流不同的区域内分布特征，图6为河流不同缓冲宽度内的融雪型洪水发生百分比，融雪型洪水的发生有两个密集区，0~1000m和3000~6000m。这是由于融雪型洪水有两种类型，即中小河流洪水和山洪，这两个区域分别代表这两种融雪型洪水形式发生的密集区域。另外，距离河流9000m范围内的融雪型洪水占区内总灾害点的84%，距离河流越远，融雪型洪水发生呈现出逐渐减少的趋势。

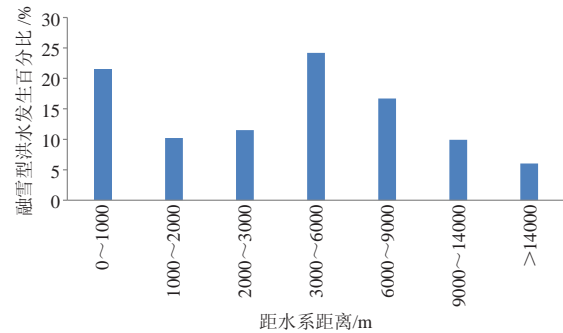


图6 春季融雪型洪水与水系分布关系
Fig.6 Relation between spring snowmelt-flood and river system distribution

3.1.5 土地利用/覆被因子

土地利用/覆被是影响积雪融水产流、汇流的重要下垫面条件，一方面坡面植被有利于减缓坡面水流的流动速度和下渗速度，另一方面人类活动对于土地资源的不合理开发利用，破坏了原有的地理水文环境，成为了融雪型洪水活动加剧的成因之一^[14-15, 21]。原始数据是中国科学院资源环境科学数据中心1km网格土地利用数据，如图2e所示，土地利用类型共有6种，分别是居民用地、耕地、林地、草地、水域和未利用土地。从融雪型洪水与坡度分布关系（图7）来看，

融雪型洪水主要分布在耕地、草地和居民用地，分别占区内灾害点总数的53.8%，28.6%和12.9%。

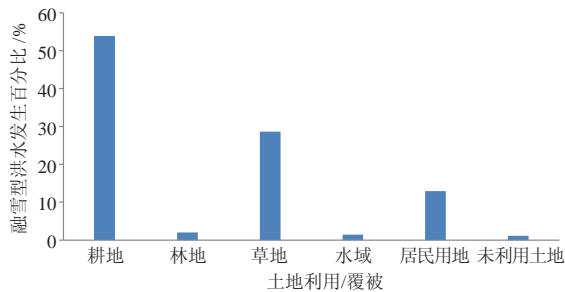


图7 春季融雪型洪水与土地利用/覆被关系

Fig.7 Relation between spring snowmelt-flood and land use/cover types

3.1.6 冬季积雪深度因子

入春前的积雪深度给春季融雪型洪水的发生提供了物质量^[14-17, 22]，2月底积雪厚是产生春季融雪型洪水的重要条件。计算研究区内气象站点1980—2010年气候平均2月底最大积雪深度，利用cokring方法插值到整个伊犁河流域，如图2f所示。从研究区的冬季积雪深度来看，区内2月底积雪深度较厚，积雪深度分布在9.7~17.7cm，从融雪型洪水与冬季积雪深度分布关系（图8）来看，融雪型洪水发生概率整体随着积雪深度增加而增大。当积雪深度大于13.0cm，该区域内的融雪型洪水占区内总灾害点的94.4%。

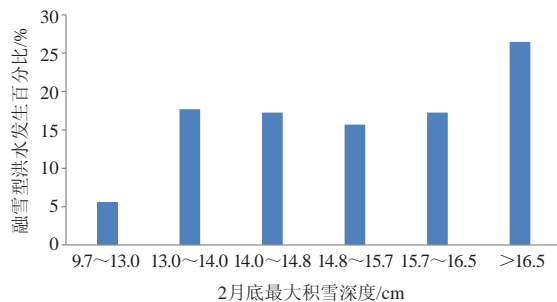


图8 春季融雪型洪水与冬季积雪深度关系

Fig.8 Relation between spring snowmelt-flood and winter snow-depth

3.2 春季融雪型洪水危险性评价和区划

3.2.1 信息量模型原理

信息量模型是一种统计分析预测方法，是把各个影响因子对灾害发生提供的信息量值进行叠加所得的总信息量值作为评价定量指标的一种评价方法^[23]。如，融雪型洪水受多种因素影响，各种因素所起作用的大小是不同的，利用信息量模型可定量计算融雪型洪水各影响因子对灾害发生的信息量（贡献），将这些信息量相叠加得到的总信息量值将作为危险性评价

的定量指标。

各影响因子对融雪型洪水发生所提供的信息量值根据公式（1）计算：

$$P(X_i) = \ln \frac{R_i / R}{S_i / S} \quad (1)$$

式中， $P(X_i)$ 是影响因子 X_i 的信息量值； S 是研究区面积； R 是研究区内已发生融雪型洪水的面积； S_i 是研究区内含有影响因子 X_i 的面积； R_i 是影响因子 X_i 分布区域内已发生融雪型洪水的面积。

单个评价单元内的总信息量值根据公式（2）计算：

$$P = \sum_i^n P(X_i) = \sum_i^n \ln \frac{R_i / R}{S_i / S} \quad (2)$$

式中， P 为评价单元总的信息量值； n 为影响因子数；其他参数同上。

将总信息量值作为单元网格内影响融雪型洪水形成的综合评价指标，值越大说明融雪型洪水发生的可能性就越大，根据计算得到的各个单元网格的总信息量值进行融雪型洪水危险性的等级划分^[10-11]。

3.2.2 信息量模型计算与危险性分区

在信息量模型计算中，评价单元的选取，直接影响到春季融雪型洪水危险性评价结果。由于影响春季融雪型洪水的各种因子，如水系、地形、土地利用、入春前积雪深度等是空间分布不均的，因此，选取评价单元，应尽可能考虑每一单元内部的条件最大均一性和单元之间的差异性^[24]。本研究根据实际数据图层精度，选取1km×1km作为评价单元。

前面已提取和分析了研究区内春季融雪型洪水的6个影响因子（高程、地形起伏度、坡度、水系距离、土地利用/覆被、积雪深度），各影响因子已利用ARCGIS转化为1km×1km的栅格数据并根据公式（1）计算各影响因子对春季融雪型洪水发生的信息量，具体见表1。

将信息量分别赋给各因子不同类别的属性表中，生成单因子信息量图，通过公式（2）计算总信息量分布，最后利用统计学中的自然断点法将总信息量重新划分特征类别，即划分为极高度、高度、中度、低度、极低度危险等5个等级，得到研究区的伊犁流域融雪型洪水危险性评价分级，如图9所示。

3.2.3 评价结果分析

通过对研究区内的融雪型洪水危险性分区进行统计分析得出，区内融雪型洪水危险性较高（表2），高度和极高度危险区的面积是17231km²，占研究区面积的32.98%，极高度危险区内分布有灾害点44个，占区内灾害点总数的64.71%，高度危险区分布有灾害点15个，占灾害点总数的22.06%，中等以下危险区域分

表1 春季融雪型洪水各评价因子的信息量

Table 1 The information value of various evaluation factors on spring snowmelt-flood

影响因子	分类	信息量	影响因子	分类	信息量
高程	<900m	0.933	水系距离	0~1000m	0.728
	900~1300m	0.875		1000~2000m	0.552
	1300~1600m	0.054		2000~3000m	0.559
	1600~2000m	-0.241		3000~6000m	0.305
	>2000m	-2.083		6000~9000m	0.052
				9000~14000m	-0.711
地形起伏度	平坦起伏 (0~20m)	0.259	>14000m	-1.350	土地利用/覆被
	小起伏 (20~75m)	1.419	耕地	1.327	
	中起伏 (75~300m)	-0.137	林地	-1.572	
	山地起伏 (300~600m)	-1.042	草地	-0.755	
	高山起伏 (>600m)	-2.041	水域	-1.165	
坡度	0° ~2°	1.140	居民用地	3.127	
	2° ~4°	0.729	未利用土地	-2.154	
	4° ~7°	0.082	2月底最大积雪深度	9.7~13.0cm	-1.551
	7° ~11°	-0.361		13.0~14.0cm	0.122
	11° ~16°	-0.963		14.0~14.8cm	0.405
	16° ~22°	-1.499		14.8~15.7cm	-0.010
	>22°	-1.769		15.7~16.5cm	0.088
		>16.5cm	0.588		

布灾害点总数较少。由此可见，融雪型洪水灾害点的分布与危险性分区具有很好的相关关系，本次危险性

区划能客观反映区内融雪型洪水危险性的分布情况，区划结果比较好。

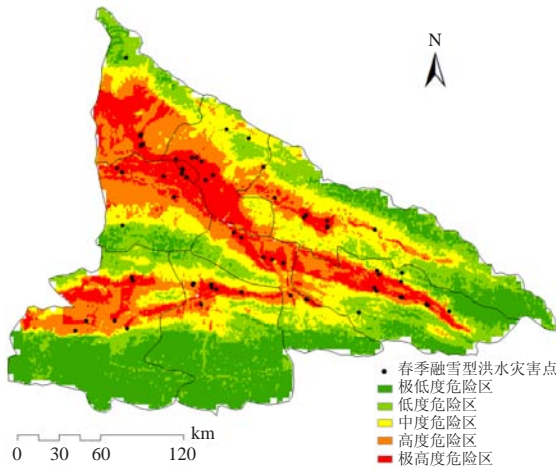


图9 伊犁河流域春季融雪型洪水危险性区划

Fig.9 The map of spring snowmelt flooding hazard levels in the Ili River Basin

表2 各危险性等级区春季融雪型洪水灾害点的数目分布

Table 2 The number of spring snowmelt flooding disaster sites in zones with different hazard levels

危险性等级	面积/km ²	占研究区面积比例/%	灾害点个数	占灾害点总数比例/%
极高度危险	7341	14.05	44	64.71
高度危险	9890	18.93	15	22.06
中度危险	10732	20.54	5	7.35
低度危险	10909	20.88	4	5.88
极低度危险	13370	25.59	0	0

研究区内融雪型洪水极高度和高度危险区的面积分别是7341和9890km²，占研究区总面积的14.05%和18.93%，研究发现，极高度和高度危险区呈现集中分布的特点，这两类危险区主要沿河流分布在河谷地区，这两个地区的水系密集，高程低，地势平缓，有利于积雪融水的迅速汇集，另外冬季积雪深度大，为春季融雪型洪水的发生提供了丰富的物质储备；从土地利用分类来看，极高度和高度危险区主要分布在耕地和居民用地，人类活动影响大，加大了融雪型洪水的危险性。融雪型洪水中度危险区主要沿高度危险区外围分布，面积10732km²，占研究区总面积的20.54%，分布有灾害点5个，该区域高程增大，距河流的距离增大，危险性减小；另外下垫面主要为草地，人类活动影响小，灾害发生的概率减少。融雪型洪水极低度和低度危险区主要分布在山区，面积24279km²，占研究区总面积的46.47%，极低度危险区为高海拔山区，区内人类活动少，植被为高山草地、林地和未利用土地，低度危险区主要是森林和草地覆盖，发生灾害概率低。

另外，据2014—2015年中国气象局灾情直报系统信息汇总，2014年春季伊犁河流域发生了2次融雪型洪水灾害事件：2014年3月13日，新源县大部分地区出现气温持续性回升，山区向阳坡积雪大面积迅速融

化,导致肖尔布拉克镇洪土拜村牧民定居点发生融雪性洪水灾害;2014年3月16—17日,气温急剧升高,积雪迅速融化,造成尼勒克县木斯乡等多个乡镇相继发生融雪型洪水灾害。对比伊犁河流域春季融雪型洪水危险性区划可知,2014年春季融雪型洪水灾害发生区均位于极高度危险区和高度危险区。该区位于山区南部,海拔较低且地形起伏小,有利于山区向阳坡的融化积雪在该区域的快速汇集,形成融雪型洪水灾害,与灾情实际形成情况一致。由此可见,该春季融雪型洪水危险性区划具有较好的业务应用价值。

4 结论与讨论

1) 研究结果表明,春季融雪型洪水灾害主要沿河谷地带发生,并且与冬季积雪深度、农田等分布相一致。研究区地形复杂,从高程上来看,融雪型洪水主要发生在533~1300m高程范围内,占区内总灾害点的70.2%。从地形起伏度来看,融雪型洪水灾害主要分布在小起伏、中起伏地区,占区内总灾害点的75.5%。从坡度来看,融雪型洪水主要发生在 $0^{\circ}\sim 4^{\circ}$,该区域内的融雪型洪水占区内总灾害点的71.7%。融雪型洪水主要在距离河流一定范围内密集发生,融雪型洪水的发生有两个密集区(0~1000m和3000~6000m),分别代表这两种融雪型洪水形式发生的密集区域,另外,距离河流9000m范围内的融雪型洪水占区内总灾害点的84%,距离河流越远,融雪型洪水发生呈现出逐渐减小的趋势。根据融雪型洪水在不同土地利用类型的统计数据来看,融雪型洪水主要分布在耕地、草地、居民用地这3种土地类型中。从冬季积雪深度来看,融雪型洪水发生概率随着积雪深度增加而增大,当积雪深度大于13.0cm,该区域内的融雪型洪水占区内总灾害点的94.4%。

2) 基于GIS的信息量模型方法应用简单方便,能快速提取融雪型洪水影响因子数据,计算出每个栅格单元内各影响因子对融雪型洪水的贡献,很好地综合了GIS空间分析和信息量计算的优点,且评价结果科学客观。本次评价选取高程、地形起伏度、坡度、水系、土地利用/覆被、冬季积雪作为融雪型洪水危险性评价的影响因子,运用信息量模型开展春季融雪型洪水危险性评价,将研究区划分为极高度、高度、中度、低度和极低度等5级危险区,通过对危险区和融雪型洪水灾害点的相关性进行分析,得出危险性区划能较好地总结反映实际融雪型洪水灾害调查结果,因此基于GIS的信息量模型方法开展的区划能够客观反映区内融雪型洪水危险性,为研究区的融雪型洪水精细化预报提供理论参考和技术支撑,也为融雪型洪水

的防治提供依据。

3) 本文的伊犁河流域春季融雪型洪水危险性评价与区划结果目前已应用于中国气象局公共气象服务中心的专业气象预报服务,在2014—2015年春季融雪型洪水气象预报服务中显示了较好的预报服务效果,具有较好的业务应用价值。如果能获得我国其他地区详细的春季融雪型洪水灾情资料,基于信息量模型可开展相关危险性评价与区划,该研究结果可为全国的春季融雪型洪水气象预警和灾害防治工作提供有力的技术支撑和参考。

致谢:新疆气象服务中心杨静高级工程师为本研究提供了2000—2013年伊犁河流域春季融雪型洪水灾情资料,特此感谢。

参考文献

- [1] 徐夔慧,毛炜峰,陆帼英.新疆气象灾害近期变化和防灾减灾工作综合评述.沙漠与绿洲气象,2008,2(1): 50-54.
- [2] 徐夔慧,陆帼英.21世纪前期新疆旱灾灾害防灾减灾对策研究.沙漠与绿洲气象,2007,1(5): 54-58.
- [3] 张俊兰.2011年4月下旬托什干河融雪洪水的气象成因.沙漠与绿洲气象,2012,6(4): 1-6.
- [4] 唐川,朱静.基于GIS的山洪灾害风险区划.地理学报,2005,60(1): 87-94.
- [5] 黄大鹏,刘闯,彭顺凤.洪灾风险评价与区划研究进展.地理科学进展,2007,26(4): 11-22.
- [6] 孙欣,林孝松,何锦峰,等.基于GIS的山区危险性评价与分区.河北北方学院学报(自然科学版),2014,30(3): 44-49.
- [7] 张克中,顾丽华,万奎,等.德清县气象灾害风险区划技术方法研究及其应用.第26届中国气象学会年会论文集,2009: 146-154.
- [8] 李林涛,徐宗学,庞博,等.中国洪灾风险区划研究.水利学报,2012,43(1): 22-30.
- [9] 张杰.基于改进灰色关联模型的洪灾危险性分析与评价——以渭河下游秦岭北麓山区为例.西安理工大学,2014.
- [10] 朱良峰,吴信才,殷坤龙,等.基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究.地球科学与环境学报,2004,26(3): 52-56.
- [11] 周志华,林维芳,徐标.基于GIS与信息量模型的沟谷密度与滑坡发育关系的研究.中国矿业,2012,21(1): 119-121, 124.
- [12] 张军民.伊犁河流域气候资源特点及其时空分布规律研究.干旱气象,2006,24(2): 1-4.
- [13] 王宏伟,张小雷,乔木,等.基于GIS的伊犁流域生态环境质量评价与动态分析.干旱区地理,2008,31(2): 215-221.
- [14] 俞永旺,徐冰,白东明,等.天山北坡雀尔沟河春季融雪洪水的成因分析.干旱区研究,1995,12(3): 15-20.
- [15] 仇家琪,颜新.天山北坡中段春季融雪洪水及其灾害成因研究.干旱区地理,1994,17(3): 35-42.
- [16] 仇家琪,徐俊荣,陈亚宁,等.天山北坡春季雪洪形成的气候因子分析.干旱区地理,1995,18(1): 43-50.
- [17] 闫彦,刘志辉,叶朝霞.新疆北疆地区融雪洪水灾害预警模型的建立与验证.干旱区地理,2009,32(4): 552-557.
- [18] 程维明,周成虎,柴慧霞,等.中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析.地球信息科学学报,2009,11(6): 725-736.
- [19] 李琼.基于遥感与地理信息系统的兰州幅1:100万数字地貌制图方法研究.兰州大学,2006.
- [20] 郑著彬,任静丽.DEM地形分析在山区地质灾害研究中的应用——以云南省漾濞县为例.云南地理环境研究,2010,22(2): 19-22.
- [21] 陆智,刘志辉,闫彦.新疆融雪洪水特征分析及防洪措施研究.水土保持研究,2007,14(6): 216-218.
- [22] 吴素芬,刘志辉,邱建华.北疆地区融雪洪水及其前期气候积雪特征分析.水文,2006,26(6): 84-87.
- [23] 黄润秋,许向宁,唐川,等.地质环境评价与地质灾害管理.北京:科学出版社,2008: 151-179.
- [24] 毛正君.宁夏彭阳县地质灾害危险性评价研究.长安大学,2009.