

王玉竹, 闫浩文, 王小平. 新疆风沙灾害风险评估[J]. 中国沙漠, 2020, 40(6): 13-21.

新疆风沙灾害风险评估

王玉竹, 闫浩文, 王小平

(兰州交通大学 测绘与地理信息学院/地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心/甘肃省地理国情监测工程
实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 基于三因子灾害理论,从致灾因子、孕灾环境和承灾体3个方面出发,利用主观与客观相结合的方法,构建了3因素14个指标风沙灾害风险度评估模型,并对新疆风沙灾害的风险性进行了评估。结果表明:(1)致灾因子高危区域主要位于沙源丰富、风速较高的塔克拉玛干沙漠和库姆塔格沙漠腹地;(2)孕灾环境高敏感性区域主要在降水稀少、蒸发强烈、植被覆盖率低的塔克拉玛干、古尔班通古特、库姆塔格等沙漠地区;(3)承灾体高易损性区域主要在乌鲁木齐、哈密、克拉玛依、伊犁、库尔勒、喀什等大中型城市的城区附近,库车、轮台等县区也零星分布着高易损性区域;(4)根据不同的致灾原因,风沙灾害极高风险性区域可概括为3类:资源型、农业型和城市型;(5)资源型主要包括石西油田、彩南油田、轮南油田、依奇克里克油田以及塔中油田等基地;农业型主要包括洛浦县、策勒县、于田县、且末县和尉犁县;城市型主要包括吐鲁番、库尔勒和克拉玛依市。

关键词: 致灾因子; 孕灾环境; 承灾体; 风沙灾害; 风险性评估; 新疆

文章编号: 1000-694X(2020)06-013-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00060

中图分类号: X43

文献标志码: A

0 引言

风沙活动(风沙运动)是在风力作用下,地表物质被吹蚀、搬运和再沉积的过程^[1-2]。风沙灾害涉及范围广,尤其在农业、牧业、交通和生态环境等领域,危害非常严重^[3-6]。近年来,随着全球气候逐渐变暖及不合理的水土资源利用,风沙灾害已成为中国北方干旱和半干旱区的生态灾难,严重影响着当地社会经济与生态环境的可持续发展^[7]。为了防治风沙活动引起的危害,国内外学者们开展了一些相关研究,主要侧重于3个方向:区域风沙流活动规律^[8-9]、风沙灾害成因与对策^[10-11]及防沙工程优化与评价^[12-13]。另外,随着遥感与地理信息系统科学的发展,风沙灾害评估方面的研究也开始逐渐得到重视。王静爱等^[14]通过中国省级报刊发布的风沙灾害信息,重建了2000年3—6月全国14场风沙灾害的时空格局;徐海量等^[15]基于灾次指数和承灾体指数的变化,探究了塔里木盆地风沙灾害的空间分异规律;岳耀杰等^[16]通过构建城市风沙灾害系统模型,评价

了中国北方沙区城市风沙灾害危险度;管梦鸾等^[17]在综合分析相关文献的基础上,探讨了近30年风沙灾害风险评估研究进展。从总体上看,国内关于风沙灾害评价的研究仍较少。

新疆深居内陆,气候干燥,沙漠广布,大风频繁,生态环境十分脆弱,是国内风沙灾害的重灾区^[18]。同时,新疆作为“一带一路”的核心区,近年来工农业迅速发展,导致对风沙灾害的敏感性更强,相应的危害性更大。本文在对风沙灾害形成机理和影响因素分析的基础上,从自然和人文角度出发,使用主观和客观评价指标,对新疆风沙灾害的危险性进行了评估,研究结果既可以丰富该区风沙灾害研究的思路,又可以为新疆风沙灾害趋利避害提供参考。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区概况

新疆位于中国西北边陲,深居内陆,远离海洋,

收稿日期:2020-04-01; 改回日期:2020-06-05

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0504203); 国家自然科学基金项目(41671447,41861055,41801395); 兰州交通大学优秀平台项目(201806)

作者简介:王玉竹(1989—),女,甘肃文县人,硕士研究生,主要从事气候变化与自然灾害评价研究。E-mail: yuzh8160@163.com

通信作者:闫浩文(E-mail: haowen2010@gmail.com)

四周环山,降水稀少,蒸发强烈,属于温带大陆性气候,是典型的资源性缺水地区。新疆从北到南依次为阿尔泰山、准噶尔盆地、天山、塔里木盆地和昆仑山,地形总体上可概括为“三山夹两盆”,习惯上将天山以南称为南疆、天山以北称为北疆、吐哈盆地称为东疆(图1)。

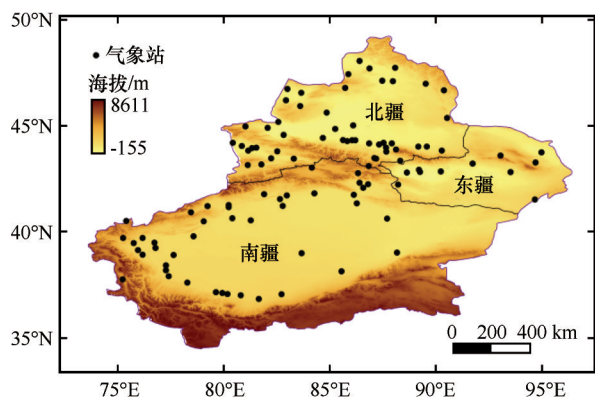


图1 新疆海拔及气象站分布

Fig.1 Distribution of altitude and meteorological stations in Xinjiang

中国十大沙漠中,新疆就有塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠和库姆塔格沙漠,境内26%的面积被沙漠覆盖^[19],而且在吐哈盆地内还分布着大片的戈壁,为风沙活动提供了丰富的沙源。受西伯利亚寒流和地理环境的影响,新疆是中国盛行大风的地区,但区内大风空间分布明显不均,总体上表现为北疆和东疆多于南疆,高山区多于中、低山区,盆地边缘多于腹地;此外,在天山山脉垭口“狭管效应”的作用下,形成了多个局部风区,如百里风区、三十里风区、烟墩风区和达坂城风区。据统计,风区的年均大风日数均在140 d以上,尤其是百里风区,年均大风日数超过了200 d,瞬时风速甚至在 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上^[20-21]。这种大风环境为风沙活动提供了强有力的动力条件。

1.2 数据来源

遥感数据包括NPP/VIIRS数据、LUCC数据和NDVI数据。NPP/VIIRS数据自于NOAANGDC网站 <https://ngdc.noaa.gov>,为云掩膜处理数据VC-MCFG,分辨率约为0.43 km,通过降尺度转换为1 km的分辨率;LUCC数据来自于中国科学院资源环境中心,分辨率为1 km;NDVI数据来自于网站(<https://ladsweb.modis.eosdis.nasa.gov>)的MODIS数据产品,空间分辨率为1 km。统计数据包括新疆

境内105个气象站点风速、浮尘、扬沙、沙尘暴、蒸发量和降雨量,人口密度数据来自全球人口动态统计分析数据库。耕地、草地、林地、沙漠和戈壁的分布从LUCC数据中提取得到。

2 研究方法

2.1 数据标准化

为了消除评价指标量纲和自身变异大小的影响,按照式(1)进行极差标准化处理。

$$\begin{cases} A_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} & (X_{ij} \text{ 为正向指标}) \\ A'_{ij} = \frac{\min(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} & (X_{ij} \text{ 为负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: A_{ij} 或 A'_{ij} 表示第*j*评价单元对应的第*i*指标标准化后的数值; X_{ij} 表示第*j*评价单元对应的第*i*指标的原始数值; $\max(X_{ij})$ 和 $\min(X_{ij})$ 表示第*j*评价单元对应的第*i*评价指标中所有原始数据的最大值和最小值。正向指标是指该指标与风沙灾害潜在风险性呈正相关,而负向指标指该指标与风沙灾害潜在风险性呈负相关。

2.2 植被覆盖度

像元分解模型法是间接估算植被覆盖度(FCV)的一种常用方法,通常利用NDVI直接提取植被覆盖信息,它假设单个像元仅由无植被覆盖和有植被覆盖两部分组成^[22],即

$$FCV = (NDVI - NDVI_{\text{soil}}) / (NDVI_{\text{veg}} - NDVI_{\text{soil}}) \quad (2)$$

式中:NDVI代表像元非植被覆盖部分与植被覆盖部分的加权平均值;FCV代表植被覆盖度; $NDVI_{\text{veg}}$ 和 $NDVI_{\text{soil}}$ 分别代表纯植被像元和裸地像元贡献的信息。考虑到大气、地表湿度、土壤颜色等对 $NDVI_{\text{soil}}$ 的影响,以及植被季节变化、枯叶、积雪对 $NDVI_{\text{veg}}$ 的影响,参考李苗苗^[23]的研究, $NDVI_{\text{veg}}$ 和 $NDVI_{\text{soil}}$ 分别采用累计概率95%和5%的NDVI值。

2.3 NPP/VIIRS数据预处理

由于获得的NPP/VIIRS数据主要为月数据,参考文献[24]的方法将月数据合成为年数据。首先,将大于235值设置为235;然后,将小于0的值设置为0.001;最后,采用平均的方法得到年数据。

2.4 风沙灾害风险评价体系

灾害系统理论认为,灾害系统主要是由致灾因子、孕灾环境和承灾体构成,而灾情则是致灾因子、孕灾环境和承灾体相互作用的产物^[25]。

2.4.1 致灾因子危险性评价指标

风沙灾害本质上是一种风力次生灾害,危害程度与风沙流强度密切相关,但由于大范围监测风沙流强度存在困难,当前监测结果主要是针对具体承灾体,其中以铁路沿线风沙流监测结果最多^[9,26]。风沙流作为一种典型的气固两相流,沙源是其形成的物质基础,大风是其形成的动力条件,很难采用几个简单的指标完全反映其危险性。部分学者从风沙流的运输机理出发,将风速和沙源的距离作为致灾因子的评价指标^[17],但距离等级划分的主观性比较强,难以客观地反映和评价致灾程度。另一方面,不少学者采用多年沙尘暴致灾次数对其危险程度进行评估^[15-16],一定程度上可以反映沙尘暴分布的特点,但对于风沙灾害记录缺乏地区,其评价结果难免与实际有差距。此外,该方法属于“后置评

价”,缺乏对灾害的预测能力。

为更客观合理地评价致灾因子的危害程度,本文采用主观与客观相结合的方法对致灾因子的危险性进行评估。参考文献[7]的方法,主观评估主要以年均风速和距沙源的距离为评估指标,具体的做法如下:①将新疆 105 个气象站的年均风速进行标准化,通过 GIS 反距离加权插值(IDW)得到整个研究区的大风数据;②借助 GIS 平台,在 LUCC 数据上提取研究区的沙漠分布图,按照距离设置 3 个间断点(1、5、10 km)进行缓冲区分析;③根据是否为沙源地和距沙源地的距离,将其划分为 5 个区间,得到沙源影响距离分级图;④根据各评估指标的权重(表 1),通过叠加得到主观评估数据。客观评估主要以浮尘、扬沙和沙尘暴为评估指标,具体的做法如下:①将新疆 105 个气象站的浮尘、扬沙和沙尘暴数据进行标准化,通过 GIS 反距离加权插值(IDW)进行空间化;②根据各评估指标的权重(表 1),通过叠加得到客观评估数据。基于上述主观评估结果和客观评估结果,通过叠加得到风沙致灾因子的综合评估结果。

表 1 评价指标权重
Table 1 Weight values of evaluation indexes

致灾因子					孕育环境			承灾体					
主观评价指标		客观评价指标											
年均风速	沙源距离	浮尘日数	扬沙日数	沙尘暴日数	植被覆盖度	土壤类型	干燥度	夜间灯光	人口密度	耕地	草地	林地	路网密度
0.5	0.5	0.23	0.35	0.42	0.54	0.3	0.16	0.42	0.29	0.14	0.07	0.03	0.05

2.4.2 孕灾环境敏感性评价指标

在干旱和半干旱地区,当风速大于当地起沙风速时,沙粒/沉积物就会被气流搬运,形成风沙流。而起沙风速主要与土壤类型、植被覆盖度和表层土壤水分等有关。在沙漠地区,地表相对松散,颗粒较细,且颗粒间几乎不存在粘聚力,起沙风速一般在 $5\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[27-28];而在戈壁地区,地表主要被砾石和粗砂覆盖,这些粗颗粒具有吸收风能、增加地表粗糙度的作用,起沙风速一般在 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,局部地区甚至接近 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[29]。同等条件下,植被覆盖度越高,相应的地表粗糙度越大,摩擦力影响使得近地表风速越小,越不易形成风沙流^[30-31]。土壤水分也可以间接影响起沙风速^[32],而气候干湿情况一定程度上影响着土壤水分。一般情况下气候越湿润,表层土壤中水分含量越多,一方面增加了颗粒的粘

聚力,从而增强了地表土体的抗风蚀能力,另一方面,土壤中的水分可能增加地表植被的存活率,相应地增加地表粗糙度。因此,选择植被覆盖度、土壤类型和干燥程度作为孕灾环境的指标较为合理。植被覆盖度主要由最大 NDVI 数据计算得到,干燥程度(当地某时间段内的蒸发量和同期降水量之比)主要通过研究区内 105 个气象站点干燥数据插值得到。

2.4.3 承灾体易损性评价指标

承灾体是人类及其活动所在的社会与各种资源的集合,是致灾因子的作用对象^[25]。倘若某一区域没有承灾体,也就不存在人员伤亡和经济损失,更谈不上形成灾害。因此,区域承灾体的分布特点直接决定着灾害的危害程度。风沙灾害对承灾体的危害是多方面的,具体表现在破坏基础设施、危

害人体健康、影响植被生长状况、沙埋公路与铁路、降低可见度等^[33-35]。基于概率论的相关知识,风沙活动发生时,倘若区域人口密度较大,可能受影响的人员也较多,相应的损失也较大,反之,损失也小。此外,受生命力、生活习性等因素的影响,植被对风沙灾害的响应程度也不同,相关研究表明风沙活动耕地上农作物的影响最大,草地次之,林地影响最小^[36]。值得注意的是,地表受到风沙流风蚀以后,土层的有机质、黏粒、粉粒含量将会大幅度地减少,这将会改变植被的养分供应,从而间接地影响植被生长以及农作物的产量^[37]。因此,本文采用人口密度、GDP、耕地、林地、草地、路网密度作为易损性的评价指标。由于传统的GDP来源于统计数据,仅能从数值角度展现某地区的宏观经济状况,不能反映该地区的内部差异,考虑到夜间灯光强度与GDP具有很好的相关性,且能够较好的反映区域的GDP^[38],因此,本文采用夜间灯光强度来反映区域GDP。

2.5 风沙灾害风险评价模型

研究区致灾因子危险性 Z 、孕灾环境敏感性 Y 和承灾体易损性 C 计算采用指标权重法,其基本原理是以权重来反映各评价指标相应评价单元中的不同地位,数学模型如下:

$$Z = 0.5 \times \left(\sum a_i P_i + \sum b_i Q_i \right) \quad (3)$$

$$Y = \sum d_i S_i \quad (4)$$

$$C = \sum e_i T_i \quad (5)$$

式中: P_i 和 Q_i 分别代表致灾因子危险性 Z 主观和客观评价指标标准化后的数值; S_i 和 T_i 分别代表孕灾环境敏感性 Y 和承灾体易损性 C 的评价指标标准化后的数值; a_i 、 b_i 、 d_i 和 e_i 代表各评价单元对应的指标权重。致灾因子主观评价指标、孕灾环境的评价指标和承灾体的评价指标权重采用层次分析法确定,致灾因子客观评价指标的权重采用熵权法确定(表1)。

致灾因子危险性指数越接近于1说明危险性程度越高,反之,危险性程度越低。为了方便分析,按照区间 $[0, 0.2)$ 、 $[0.2, 0.4)$ 、 $[0.4, 0.6)$ 、 $[0.6, 0.8)$ 、 $[0.8, 1.0]$ 将研究区危险性划分为极低危险性、低危险性、中危险性、高危险性和极高危险性。孕灾环境敏感性和承灾体易损性评价单元的分级类似。

区域风沙灾害程度是致灾因子、孕灾环境和承灾体综合作用的结果,致灾因子和承灾体分别是风

沙灾害发生的充分和必要条件,孕灾环境一定程度上起着放大或缩小的作用。区域承灾体易损性的评价指数再高,致灾因子危险性发生的可能性为0,风沙灾害的危险性也会非常小。因此,风沙灾害评价模型不能简单的将上述三者进行相加。本文采用如下数学模型:

$$R = 0.5 \times (Z + Y) \times C \quad (6)$$

式中: R 为风沙灾害风险指数,它的数值越大,表示风沙灾害风险程度越高。

3 结果

3.1 致灾因子的危险性

新疆风沙灾害致灾因子危险等级以极低危险性为主,面积百分比约为50%;其次为中、低危险性,面积百分比分别约为18%;接着为高危险性,约为10%;最少的是极高危险性,约为2%(图2)。大尺度上,风沙灾害致灾因子高危险性区域主要分布在塔克拉玛干沙漠和库姆塔格沙漠腹地,这些区域沙源丰富、风速较大,导致风沙活动十分强烈,因此致灾因子危险性偏高。从县级行政区划看,高危险性区域主要分布在皮山、墨玉、和田、洛浦、策勒、于田、民丰、且末、若羌和铁干里克,这些地区风沙活动虽然弱于沙漠腹地,但由于毗邻沙漠,风沙活动较为发育(图3)。

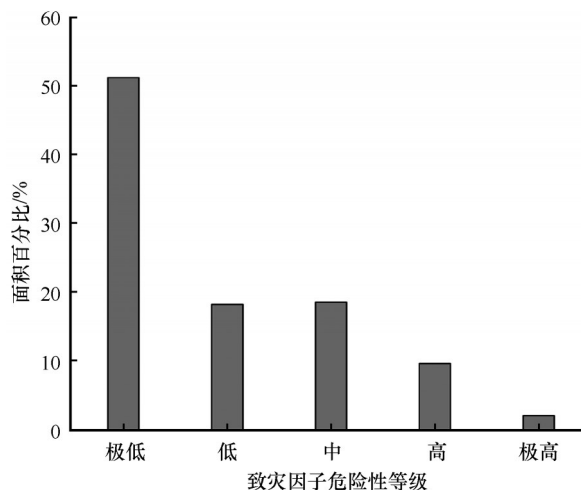


图2 风沙灾害致灾因子危险性等级面积百分比

Fig.2 Area percentage on risk grade of disaster-causing factors of wind-sand hazard

3.2 孕灾环境的敏感性

新疆风沙灾害孕灾环境敏感性等级面积百分

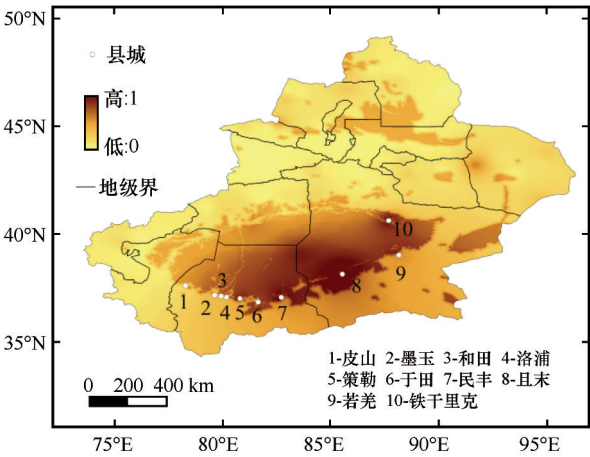


图3 风沙灾害致灾因子危险性指数分布
Fig.3 Risk index distribution on disaster-causing factors of wind-sand hazard

比低脆弱性>极高脆弱性>高脆弱性>中脆弱性>极低脆弱性,百分比分别为42%、23%、17%、10%、8%(图4)。孕灾环境极高敏感性区域集中在塔克拉玛干、古尔班通古特、库姆塔格等沙漠地区。这些区域的地表主要被流沙覆盖,全年降水十分稀少(年均降水量在100 mm以下),部分地区甚至终年无降水;此外,这些地区蒸发也十分强烈,植被覆盖率极低,土壤颗粒之间的粘聚力几乎为零,对应的起沙风速也小,具备了孕育风沙活动的良好条件,故孕灾环境的敏感性强。孕灾环境高敏感性区域主要分布在戈壁地区,这些区域细颗粒下伏在砾石和粗砂之下,虽然沙粒供给小于沙漠腹地,起沙风速较高,但也具备孕灾条件。从地级行政区划看,除了伊犁市外,其他地区均存在高敏感性区域,尤其是

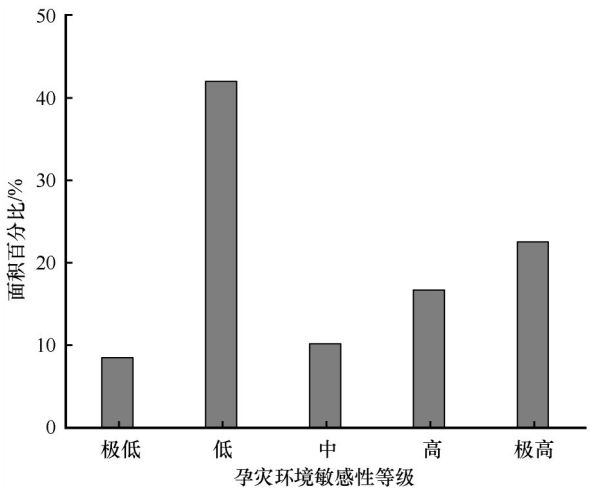


图4 风沙灾害孕灾环境敏感性等级面积百分比
Fig.4 Area percentage on sensibility grade of disaster-bearing environment of wind-sand hazard

和田市、巴音郭勒蒙古自治州、哈密市以及吐鲁番市境内,大部分区域具备极高的孕灾环境敏感性(图5)。

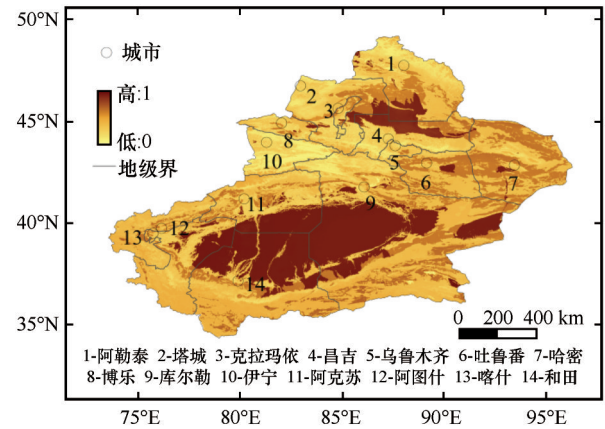


图5 风沙灾害孕灾环境敏感性指数分布
Fig.5 Sensibility index distribution on disaster-bearing environment of wind-sand hazard

3.3 承灾体的易损性

新疆风沙灾害承灾体的易损性以极低易损性为主,面积百分比接近90%;其次为低易损性,百分比约为8%;接着为中易损性,百分比不足2%;最少的为高、极高易损性,百分比不足0.5%(图6)。主要原因在于新疆以沙漠戈壁为主,自然环境恶劣、农牧业基础薄弱、人口稀少、经济发展水平低下,以极低易损性为主。风沙灾害承灾体高易损性区域主要集中在乌鲁木齐、哈密、克拉玛依、伊犁、库尔勒、喀什等大中型城市的城区附近,库车、轮台等县区也零星分布着高易损性区域(图7)。虽然这些区域

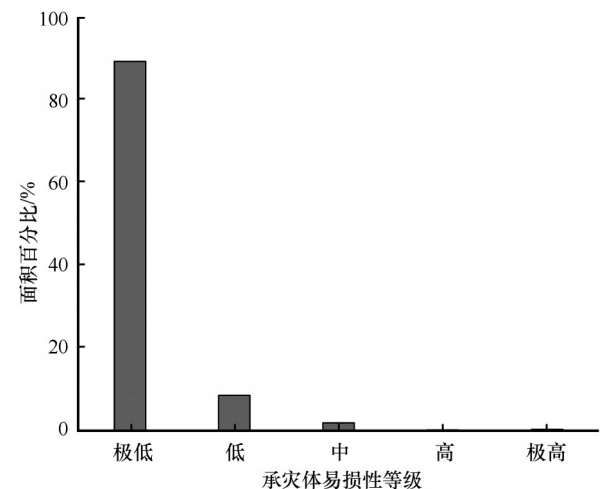


图6 风沙灾害承灾体易损性等级面积百分比
Fig.6 Area percentage on vulnerability grade of disaster-bearing body of wind-sand hazard

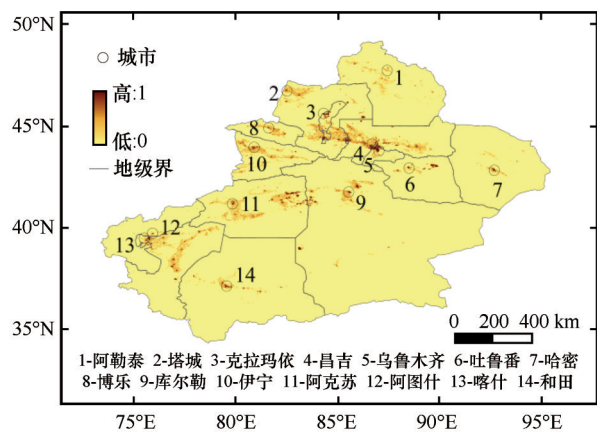


图7 风沙灾害承灾体易损性指数分布

Fig.7 Vulnerability index distribution on disaster-bearing body of wind-sand hazard

都呈高易损性,但原因不同。乌鲁木齐市、克拉玛依市、库尔勒市和哈密市,属于新疆的工业中心,区域城镇化水平高,经济位于全疆前列,人口密集,因此该区域对风沙灾害的敏感性也强,易损性程度高。而昌吉市、伊犁市、阿克苏市和喀什市等地虽然工业化水平略低于上述城市,但农业或牧业相对发达,城镇化水平也较高,人口也相对密集,故风沙灾害造成的易损性也高。

3.4 风沙灾害风险性

风沙灾害风险性是致灾因子的危险性、孕灾环境的敏感性和承灾体的易损性综合作用的结果。各风险等级的面积极低风险性>低风险性>中风险性>高风险性>极高风险性,相应的面积百分比依次为69.3%、25.5%、3.9%、0.8%、0.5%(图8),这与承灾体易损性分布格局类似。基于不同的致灾原因,极

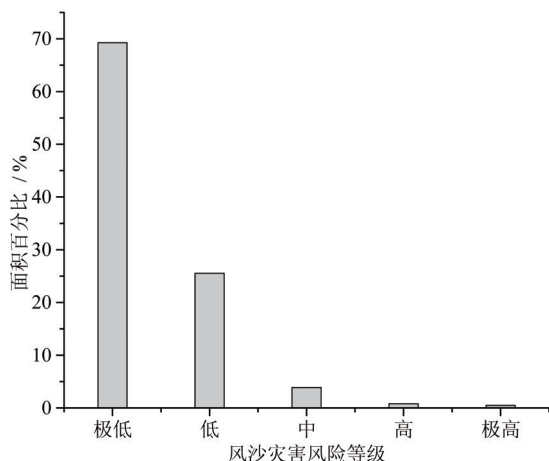


图8 风沙灾害风险等级面积百分比

Fig.8 Area percentage on risk grade of wind-sand hazard

高风险性区域可被概括为资源型、农业型和城市型(图9)。

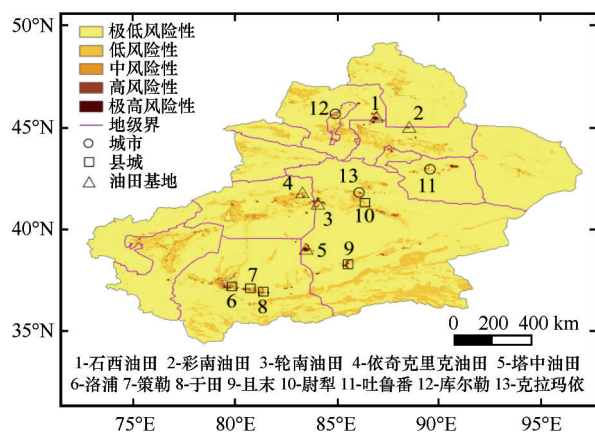


图9 风沙灾害风险性分布

Fig.9 Risk index distribution of wind-sand hazard

资源型主要有石西油田、彩南油田、轮南油田、依奇克里克油田以及塔中油田等基地,这些区域多数位于沙漠腹地,沙源丰富,降水贫乏,植被稀疏,大风频繁,在风力作用下,很容易形成强风沙流,且持续时间长,风沙活动十分强烈,油田基地一旦被风沙侵袭停产,将遭受到巨大的经济损失,因此风险性极高。

农业型主要包括洛浦县、策勒县、于田县、且末县和尉犁县,这些区域为农耕经济,对农业的依赖程度较高。另外,该区域位于塔克拉玛干沙漠南缘,受沙漠气候的影响,风力较为强劲,风沙活动相对强烈,沙尘天气频发,降水也相对稀少,对农作物产业的影响明显,故风沙灾害的风险性极高。

城市型主要包括吐鲁番、库尔勒和克拉玛依市,这些区域人口密度大,工业化水平高,城镇化水平高,交通网较为密集,经济相对发达,对风沙灾害的敏感性强。此外,由于这些区域靠近沙漠,风沙活动较为活跃,很容易遭受风沙流的侵袭,因此风沙灾害的风险性极高。

4 讨论与结论

4.1 讨论

风沙灾害是一种复杂的动力学过程,影响因素具有复杂性和随机特性,因此很难采用一种模型完全准确地进行定量描述。基于不同的研究目的和风沙环境,在现有技术水平下,通过致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性之间的相互组

合,形成了以二因子论^[14-15]和三因子论^[16-17]为主的风沙灾害评估模型,史培军^[39-41]认为三因子灾害评估模型更合理。其中,致灾因子危险性和孕灾环境敏感性与承灾体易损性的相互作用有两种表达式,即前后两者的和或积。然而,风险是某种灾害造成的人类经济社会、生产生活的期望损失值^[42];换言之,没有人员伤亡以及经济损失,任何自然事件都不能构成灾害,采用积的表达式较为科学。因此,为了更为合理地评估研究区风沙灾害的风险性,本文采用三因子模型,同时,致灾因子危险性和孕灾环境敏感性与承灾体易损性相互作用采用乘积的表达式。此外,致灾因子危险性评估中采用主客观相结合的方法,易损性评估中采用夜间灯光反映经济发展水平,一定程度上提高了风沙灾害评估结果的准确性和可靠性。本文研究结果表明,极高和高脆弱性区域主要分布在沙漠戈壁区以及毗邻地区,这与罗传秀等^[43]对新疆生态脆弱性评价结果基本一致。此外,值得注意的是本文脆弱性空间分布与李诚志^[44]的新疆荒漠化空间分布基本吻合,由于土地沙漠化与风沙灾害的孕灾环境存在一定的相关性,这也间接验证了本文研究结果的可靠性。

新疆风沙灾害的风险性、致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性空间分布存在明显的空间分异。其中,致灾因子高风险(低风险)与孕灾环境高敏感性(低敏感性)分布空间类似,主要分布在塔克拉玛干沙漠腹地(天山山区),主要原因在于:塔克拉玛干沙漠腹地沙源丰富、风力强劲,满足风沙流形成的物质基础和动力条件,同时,这里气候干燥、植被稀少、地表裸露、起沙风速较低,又为风沙活动提供了良好的孕灾环境;而天山山区自然条件良好、降雨充沛、植被覆盖率高,几乎没有形成风沙流的条件,此外丰富的植被又降低了地表风速,增加了该区域的起沙风速,间接地提高了风沙活动的孕灾条件。另外,值得注意的是风沙灾害的风险性与承灾体易损性空间分布接近,这主要和风沙灾害风险性评估模型有关,当承灾体的易损性非常低时,即使风沙活动十分强烈,造成的损失也很小,例如,无人人类活动的沙漠腹地。

本研究采用3因素14个指标对风沙灾害的风险性进行了评估,由于资料获取受限,起沙风速的持续时间、输沙率、区域主导风向等指标未能选取,为更客观合理地反映风沙灾害的风险性,宜在后续的研究中添加这些指标。此外,部分评价指标是随

时间动态变化的,要获取更为准确的评价结果,宜选用研究时间段的数据进行建模。

4.2 结论

新疆风沙灾害致灾因子高危险性区域主要位于沙源丰富、风速较高的塔克拉玛干沙漠和库姆塔格沙漠腹地,孕灾环境高敏感性区域主要集中在降水稀少、蒸发强烈、植被覆盖率低的塔克拉玛干、古尔班通古特、库姆塔格等沙漠地区,承灾体高易损性区域主要集中在乌鲁木齐、哈密、克拉玛依、伊犁、库尔勒、喀什等大中型城市的城区附近,库车、轮台等县区也零星分布着高易损性区域。

基于不同的致灾原因,风沙灾害极高风险性区域可概括为3种类型:资源型、农业型和城市型。资源型主要包括石西油田、彩南油田、轮南油田、依奇克里克油田以及塔中油田等基地,农业型主要包括洛浦县、策勒县、于田县、且末县和尉犁县,城市型主要包括吐鲁番、库尔勒和克拉玛依市。

参考文献:

- [1] 王涛.中国沙漠与沙漠化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2003:816-822.
- [2] 王涛,陈广庭.西部地标·中国的沙漠戈壁[M].上海:上海科学技术文献出版社,2008:28-31.
- [3] 高尚玉,史培军,哈斯,等.我国北方风沙灾害加剧的成因及其发展趋势[J].自然灾害学报,2000,9(3):31-37.
- [4] 程红霞,林粤江,汪权方,等.南疆西部不同植被类型NDVI对风沙灾害的响应[J].生态环境学报,2013,22(11):1763-1768.
- [5] Han Z W, Wang T, Sun Q W, et al. Sand harm in Taklimakan Desert highway and sand control [J]. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(1): 45-53.
- [6] Zhang K C, Qu J J, Liao K T, et al. Damage by windblown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China [J]. Aeolian Research, 2010, 2: 143-146.
- [7] 管梦鸾,张正偲,董治宝.基于RS和GIS的河西走廊风沙灾害风险评估[J].中国沙漠,2017,37(4):830-835.
- [8] 蒋富强,李炎,李凯崇,等.兰新铁路百里风区风沙流结构特性研究[J].铁道学报,2010,32(3):105-110.
- [9] Zhang K C, Qu J J, Han Q J, et al. Wind energy environments and aeolian sand characteristics along the Qinghai-Tibet Railway, China [J]. Sedimentary Geology, 2012, 273: 91-96.
- [10] Dong Z B, Chen G T, He X D, et al. Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 57(3): 329-344.
- [11] Xie S B, Qu J J, Lai Y M, et al. Formation mechanism and suitable controlling pattern of sand hazards at Honglianghe River section of Qinghai-Tibet Railway [J]. Natural Hazards, 2015,

- 76:855-871.
- [12] Cheng J J, Lei J Q, Li S Y, et al. Disturbance of the inclined inserting-type sand fence to wind-sand flow fields and its sand control characteristics [J]. *Aeolian Research*, 2016, 21: 139-150.
- [13] Cheng J J, Xue C X. The sand-damage-prevention engineering system for the railway in the desert region of the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2014, 125: 30-37.
- [14] 王静爱, 徐伟, 史培军, 等. 2000年中国风沙灾害的时空格局与危险性评价[J]. *自然灾害学报*, 2001, 10(4): 1-6.
- [15] 徐海量, 陈亚宁. 塔里木盆地风沙灾害危险性评价[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 35-39.
- [16] 岳耀杰, 王静爱, 易湘生, 等. 中国北方沙区城市风沙灾害危险度评价[J]. *自然灾害学报*, 2008, 17(1): 15-20.
- [17] 管梦鸾, 张正偲, 董治宝. 风沙灾害风险评估研究进展[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(5): 978-988.
- [18] 潘伯荣, 李崇舜, 刘文江. 新疆沙漠与风沙灾害治理研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 9(3): 19-21.
- [19] 张志伟, 杨发相, 吴吉龙, 等. 新疆沙漠空间分布格局与类型结构[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(4): 763-770.
- [20] 肖建华, 姚正毅, 屈建军, 等. 兰新铁路百里风区极端风况特征及形成机制[J]. *中国铁道科学*, 2016, 37(3): 130-137.
- [21] 高婧. 新疆大风时空变化特征及环流背景研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [22] Jiapaer G, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions [J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [23] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院, 2003.
- [24] Bennett M M, Smith L C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 192: 176-197.
- [25] 刘新立, 史培军. 区域水灾风险评估模型研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2001, 10(2): 66-72.
- [26] 李凯崇, 薛春晓, 蒋富强, 等. 高原与戈壁地区风沙流结构特性差异研究[J]. *铁道工程学报*, 2014, 190(7): 7-11.
- [27] 蔡迪文, 张克存, 安志山, 等. 青藏铁路格拉段风动力环境及其对铁路沙害的影响[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(1): 40-47.
- [28] 张克存, 牛清河, 安志山, 等. 敦煌沙漠-绿洲过渡带近地表风沙动力环境[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(4): 8-17.
- [29] 胡广录, 王德金, 廖亚鑫, 等. 荒漠-绿洲过渡带斑块植被区起沙风对风蚀积沙量的影响[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(4): 902-910.
- [30] 谭立海, 张伟民, 边凯, 等. 兰新高铁烟墩风区戈壁近地表风沙流跃移质垂直分布特性[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(5): 919-927.
- [31] 毛东雷, 雷加强, 曾凡江, 等. 新疆策勒沙漠-绿洲过渡带不同下垫面地表蚀积变化特征[J]. *中国沙漠*, 2014, 34(4): 961-969.
- [32] 董治宝, 陈渭南, 李振山, 等. 风沙土水分抗风蚀性研究[J]. *水土保持通报*, 1996, 16(2): 17-23.
- [33] 孟紫强, 胡敏, 郭新彪, 等. 沙尘暴对人体健康影响的研究现状[J]. *中国公共卫生*, 2003, 19(4): 471-472.
- [34] 于云江, 史培军, 贺丽萍, 等. 风沙流对植物生长影响的研究[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 262-267.
- [35] 邹陈, 吉春容, 曾凡江, 等. 风沙灾害对策勒绿洲棉花生物量的影响[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2017, 11(4): 90-94.
- [36] 程红霞, 林粤江, 汪权方, 等. 南疆西部不同植被类型NDVI对风沙灾害的响应[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(11): 1763-1768.
- [37] 袁静, 赵烨, 高丽, 等. 土壤风蚀对边际耕地质量影响评价: 以河北省丰宁坝上高原为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2015, 5: 22-25.
- [38] Doll C N, Muller H J, Morley J G. Mapping regional economic activity from night time light satellite imagery [J]. *Ecological Economics*, 2006, 57(1): 75-92.
- [39] 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.
- [40] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(3): 1-9.
- [41] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(6): 1-7.
- [42] Maskrey A. *Disaster Mitigation: A Community Based Approach* [M]. Oxford, UK: Oxfam, 1989.
- [43] 罗传秀, 潘安定, 千怀遂. 气候变化下的新疆生态环境脆弱性评价[J]. *干旱环境监测*, 2006, 20(1): 38-43.
- [44] 李诚志. 新疆土地沙漠化监测与预警研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012.

Risk assessment of wind-sand disaster in Xinjiang, China

Wang Yuzhu, Yan Haowen, Wang Xiaoping

(Faculty of Geomatics / National-Local Joint Engineering Research Center of Technologies and Applications for National Geographic State Monitoring / Gansu Provincial Engineering Laboratory for National Geographic State Monitoring, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the three-factor disaster theory, the assessment model of wind-sand disaster risk with the three factors and fourteen indexes was established by combining subjective and objective methods from the three aspects of disaster-causing factors, disaster-bearing environment and disaster-bearing body, and the risk assessment of wind-sand disaster in Xinjiang was carried out. The results show that: (1) The highly risk areas of disaster-causing factors are mainly distributed in hinterland of the Taklimakan Desert and Kumtag Desert with rich sand and strong wind. (2) The highly sensitive areas of disaster-bearing environment are mainly concentrated in the Taklimakan Desert, the Kumtag Desert and the Gurbantunggut Desert with poor precipitation, strong evaporation and low vegetation coverage. (3) The highly vulnerable areas of disaster-bearing bodies are mainly concentrated near the urban areas of large and medium-sized cities such as Urumqi, Hami, Karamay, Yili, Korla and Kashgar. In addition, other counties also have scattered areas of high vulnerability. (4) According to the different reasons, the highly risk areas of wind-sand disaster can be divided into three types: resource type, agricultural type and urban type. (5) The resource type are mainly distributed in oilfield bases such as Shixi, Cainan, Lunnan, Yiqikailike and Tazhong, and the agricultural type mainly includes Lupu county, Cele county, Yutian county, Qiemo county and Yuli county, and the urban type mainly includes Turpan, Korla and Karamay city.

Key words: disaster-causing factors; disaster-bearing environment; disaster-bearing body; wind-sand disaster; risk assessment; Xinjiang