

赵亚洲,李生字,王世杰,等.2001—2020年新疆风沙环境致灾潜力特征[J].中国沙漠,2023,43(3):274–283.

## 2001—2020年新疆风沙环境致灾潜力特征

赵亚洲<sup>1abcd,2,3</sup>, 李生字<sup>1abcd,2</sup>, 王世杰<sup>1abd,2</sup>, 范敬龙<sup>1abd,2</sup>, 吴 燕<sup>3</sup>

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所 a.国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心, b.荒漠与绿洲生态国家重点实验室, c.莫索湾沙漠研究站, d.塔克拉玛干沙漠研究站, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.新疆维吾尔自治区第二测绘院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**新疆地形和气候复杂,沙源丰富,风力强劲,风沙活动频繁,风沙灾害是工程建设和经济发展的重要威胁。风沙环境致灾潜力评价可指导沙区工程建设和防沙方案制定,是灾害应急管理的一项重要基础工作。本文选用土壤有机碳含量、土壤水含量、土壤沙含量、土地利用类型、植被指数、降水量、潜在蒸散发量和合成输沙势8个指标,分析2001—2020年新疆风沙环境致灾潜力的时间变化与空间分异。结果表明:(1)新疆风沙环境致灾潜力具有明显的季节变化特征,夏季、秋季、春季、冬季的致灾潜力值大于3的面积逐渐增加。2月和11月的致灾潜力值较低。(2)风沙环境致灾潜力呈东高西低、山区低平原高的空间分布特征,高值区位于塔里木盆地、准噶尔盆地、吐鲁番盆地等沙物质丰富且风动力较强的区域,低值区主要分布在山区、绿洲及河流沿岸等植被覆盖度高的区域。(3)2001—2020年,新疆风沙环境致灾潜力年均值呈先上升后下降的变化过程。整体的变化趋势较为稳定,稳定不变、轻微改善和轻微加剧的像元数占比分别为84.4%、14.72%和0.87%。

**关键词:**风沙环境;致灾潜力;时空变化;新疆

**文章编号:** 1000-694X(2023)03-274-10

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00133

**中图分类号:** P429

**文献标志码:** A

### 0 引言

灾害是孕灾环境、致灾因子、承灾体综合作用的产物<sup>[1]</sup>。灾害风险包括灾害发生的可能性和后果<sup>[2-3]</sup>。灾害风险评估包括致灾因子危险性评估、承灾体脆弱性评估、灾害的损失评估和孕灾环境的稳定性评估<sup>[4-5]</sup>,评估结果对受灾体的依赖性较强,且具有很强的时效性,仅能反映短期的灾害风险情况。随着人类社会经济的快速发展,受灾对象的数量及空间分布变化较快,评价结果服务时效短。潜力即尚未发挥出来的力量,是对被评价对象可能具有能力水平的预估,如植被恢复潜力<sup>[6]</sup>、土壤固碳潜力<sup>[7]</sup>等。灾害致灾潜力即环境发生灾害并产生损失的可能性,是对致灾因子和孕灾环境的综合评价结果,与承灾体存在与否无关,仅通过承灾体而表现出来。风沙环境致灾潜力是一定时间内区域复杂风沙环境的致灾能力,对其评价的结果具有客观

性,且社会服务时效性相对较长。

风沙灾害是由风力驱动的自然灾害,在全世界干旱、半干旱地区频发,具有影响范围大、季节性强、危害大的特点<sup>[8-10]</sup>。风沙灾害是由致灾因子和孕灾环境决定的。致灾因子主要指风力和地表物源,是风沙灾害的首要因素和必备条件;孕灾环境是影响风力强弱和沙源丰富度的条件<sup>[9]</sup>。学者们对风沙灾害进行了较多研究,多考虑现实的受灾对象,从致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力4个方面对风沙灾害风险进行评价<sup>[11-15]</sup>,这些风沙灾害评价考虑了现实的承灾体空间分布影响,但关于不依赖现实承灾体条件下的风沙环境致灾潜力评价研究少见报道。

新疆气候干旱,蒸发强烈,风力强劲,而沙源丰富,风沙活动严重威胁绿洲农田及重大工程安全<sup>[16-17]</sup>,风沙灾害是新疆经济社会发展需要长期治理的“慢性病”。掌握区域风沙环境致灾潜力是因

收稿日期:2022-07-28; 改回日期:2022-11-01

资助项目:第三次新疆综合科学考察课题(2021xjkk0305)

作者简介:赵亚洲(1998—),男,河南郑州人,硕士研究生,主要从事荒漠化防治与生态遥感研究。E-mail: 2394820306@qq.com

通信作者:李生字(E-mail: oasis@ms.xjb.ac.cn)

地制宜制定风沙灾害防治规划布局的科学基础,对新疆风沙地区经济建设具有重要现实意义。本文选取8个评价指标,评价了2001—2020年新疆风沙环境致灾潜力,可为未来新疆风沙灾害防治规划与决策提供基础数据和理论指导。

## 1 研究区概况

新疆降水稀少,气候干旱,干旱区土地面积达122.7万 $\text{km}^2$ ,占中国干旱区总面积的49.1%<sup>[18]</sup>。新疆沙漠广布,有塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库鲁克库姆沙漠和库姆塔格沙漠等33片沙漠,具备产生风沙活动的丰富的沙物质条件。南、北疆均为多风环境,多年平均风速分别为 $1.93$ 、 $2.89\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ <sup>[19]</sup>,具备产生风沙灾害的风动力条件。新疆风沙环境类型多样,空间差异较大。新疆现有约1 500 km铁路、6 000 km高速公路、16.4万 km等级公路以及大量光伏电站和沟渠等重要工程,风沙危害整体较大,在塔克拉玛干沙漠西南缘、阿拉山口、达坂城和百里风区铁路受灾较严重<sup>[12]</sup>,塔里木盆地的多条国道沙埋危害较多。

新疆风沙环境受大气环流和山盆体系的复合影响。青藏高原、帕米尔高原和天山山脉是导致盆地极端干旱气候条件和沙漠形成的根本原因,而西风环流体系和蒙古高压体系是风沙运动外营力<sup>[20]</sup>。众多山地使近地层大气运动复杂多样,天山阻碍了

北冰洋气流的进入,青藏高原、昆仑山阻碍了印度洋气流的进入。西风气流通过西部和西北部山口直接进入准噶尔盆地,又通过东灌、西灌和中灌进入塔里木盆地<sup>[20]</sup>。沙源供给是沙漠化过程中最重要的条件<sup>[20]</sup>,新疆沙物质丰富,分布有大面积的沙漠和戈壁(占新疆总面积的42.8%)<sup>[21]</sup>。总之,受山盆体系地形地貌格局、盆地内广布的沉积物和大气环流的影响,新疆具有多风沙的环境特征。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

土壤有机碳含量、土壤含水量和土壤沙含量数据均来自OpenLandMap,空间分辨率为250 m,是基于全球的样本数据通过机器学习预测得到的连续型栅格数据,模型拟合的 $R^2$ 分别为83.4%、95.5%和90.8%。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(2000、2005、2010、2015、2020年),空间分辨率为1 000 m,是通过对Landsat遥感影像目视解译得到的,2020年土地利用类型的空间分布如图1所示(基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为新S(2021)023号的标准地图制作,底图边界无修改)。由于固定半固定沙地与流动沙地的风沙扩散风险不一致,使用国家青藏高原数据中心提供的沙地类型数据,该数据集是结合土地利用现状图和

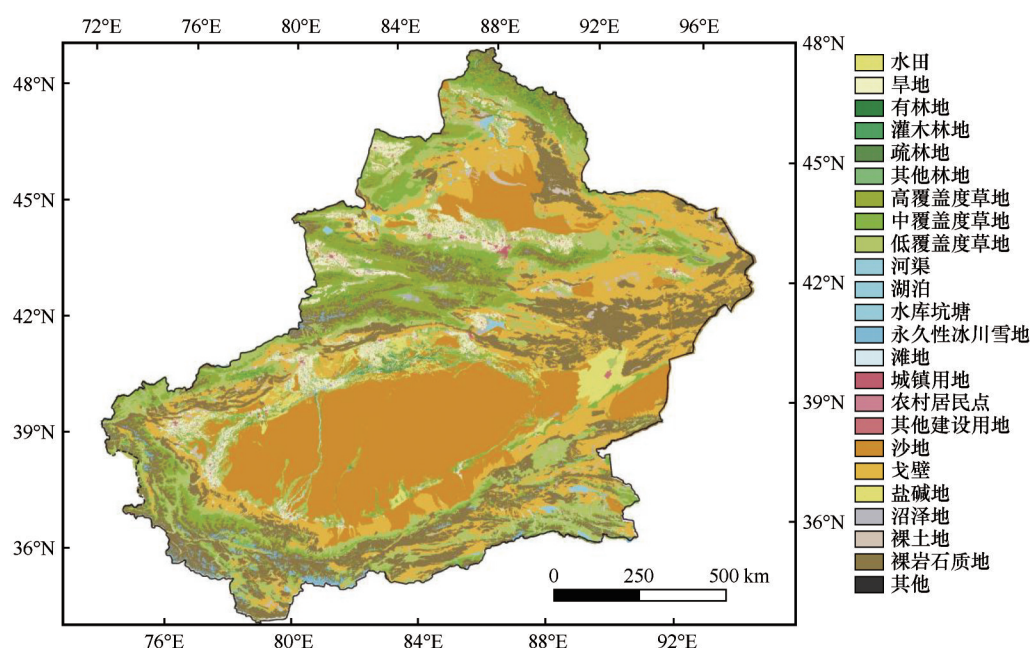


图1 研究区土地利用类型

Fig.1 Land use types in the study area

Landsat TM 影像得到的,将二级类中的沙地划分为固定半固定沙地和流动沙地,并依据沙漠丰富程度,将其他、盐碱地、固定半固定沙地和戈壁、裸土地、流动沙地的土地利用类型分别定为1、2、3、4、5级。

归一化植被指数数据来源于MOD13A2,该数据集同时具备高空间分辨率(1 000 m)和高时间分辨率(16天),全球精度在 $\pm 0.025$ 以内,归一化植被指数小于0赋值为空值。降水量和潜在蒸散发量数据均来源于TERRACLIMATE,该数据集空间分辨率为2.5',时间分辨率为月,其中降水量与GHCN数据的皮尔逊相关系数达到90%,平均绝对误差(MAE)为9.1%;潜在蒸散发量数据与FLUXNET相比较,皮尔逊相关系数为77%,平均绝对误差(MAE)为8.3%<sup>[22]</sup>。风速数据来源于欧洲中期天气预报中心的1950年至今的ERA5陆地再分析数据集,空间分辨率为0.1°,与地表实际风况相似,且在中国的适用性高于NECP<sup>[23]</sup>。起沙风速是计算输沙

势的重要参数,其值由沙粒粒径及地表性质决定<sup>[24-25]</sup>,本文参考已有研究<sup>[13]</sup>,设置全疆的起沙风速为 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,计算16个方向的输沙势,经矢量合成后得到合成输沙势。对数据进行空间匹配,所有数据均经重投影、重采样、裁剪等预处理,空间分辨率为0.1°。将预处理完毕的各类数据使用自然断点法分为1~5级。土壤有机碳含量、土壤水含量、归一化植被指数和降水量是负向指标(值越高表示致灾潜力风险越低),将其等级负向处理;土壤沙含量、潜在蒸散发量和合成输沙势是正向指标(值越高表示致灾潜力风险越高)。由于潜在蒸散发量在1月没有数据,并且新疆12月和1月积雪覆盖面积最大,风雪流是主要的灾害形式,风沙活动降至最低<sup>[26-28]</sup>,故本文研究2001—2020年2—11月的新疆风沙环境致灾潜力。经多重共线性检验,显示各评价因子的方差膨胀因子均小于10,不存在强线性关系,具有独立性。数据来源见表1。

表1 数据来源  
Table 1 Data sources

自变量	指标	空间分辨率	来源	单位	指标处理
$X_1$	土壤有机碳含量	250 m	OpenLandMap	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	负向
$X_2$	土壤水含量	250 m	OpenLandMap	%	负向
$X_3$	土壤沙含量	250 m	OpenLandMap	$\%(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$	正向
$X_4$	土地利用类型	1 000 m	中国科学院资源环境科学与数据中心	—	正向
$X_5$	归一化植被指数	1 000 m	Earthdata	—	负向
$X_6$	降水量	2.5'	TERRACLIMATE	mm	负向
$X_7$	潜在蒸散发量	2.5'	TERRACLIMATE	mm	正向
$X_8$	合成输沙势	0.1°	欧洲中期数值预报中心(ECMWF)	VU	正向
	沙地类型	1:10万	国家青藏高原科学数据中心	—	—

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 风沙环境致灾潜力计算

本文从沙物质基础与风动力条件两个方面对新疆风沙环境致灾潜力进行评价。用土壤有机碳含量、土壤水含量、土壤沙含量、土地利用类型、归一化植被指数、降水量和潜在蒸散发量等7个指标表征风沙环境致灾潜力的沙物质基础,使用合成输沙势表征风沙环境致灾潜力的风动力条件。评价方法如下:

$$\text{sand}_m = \sqrt[7]{\text{organic} \times \text{water} \times \text{sand} \times \text{LUCC} \times \text{NDVI} \times \text{pre} \times \text{pet}} \quad (1)$$

$$\text{wind}_p = \text{RDP} \quad (2)$$

$$\text{HP} = \sqrt{\text{sand}_m \times \text{wind}_p} \quad (3)$$

式中: $\text{sand}_m$ 为沙物质基础等级; $\text{organic}$ 为土壤有机碳含量等级; $\text{water}$ 为土壤水含量等级; $\text{sand}$ 为土壤沙含量等级; $\text{LUCC}$ 为土地利用类型等级; $\text{NDVI}$ 为归一化植被指数等级; $\text{pre}$ 为降水量等级; $\text{pet}$ 为潜在蒸散发量等级; $\text{wind}_p$ 为风动力条件等级; $\text{RDP}$ 为合成输沙势等级; $\text{HP}$ (Hazard potential)为风沙环境致灾潜力值,值为1~5,1表示风沙环境致灾潜力最低,5表示风沙环境致灾潜力最高。

### 2.2.2 Sen趋势分析与MK检验

使用非参数化趋势度<sup>[29]</sup>对风沙环境致灾潜力



的变化趋势进行计算。

$$\beta_{HP} = \text{Median}\left(\frac{HP_j - HP_i}{j - i}\right), \forall j > i \quad (4)$$

式中:  $\beta_{HP}$  为风沙环境致灾潜力趋势;  $HP_j$  为  $j$  时间的风沙环境致灾潜力的像元值;  $HP_i$  为  $i$  时间的风沙环境致灾潜力的像元值。当  $\beta_{HP} > 0$  时, 表明在研究时段内, 风沙环境致灾潜力呈加剧趋势; 当  $\beta_{HP} < 0$  时, 则风沙环境致灾潜力呈减弱趋势。

MK 检验用于判断时间序列数据的变化趋势是否具有显著性<sup>[30]</sup>。定义  $Z$  统计量:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中,

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(HP_j - HP_i) \quad (6)$$

$$\text{sgn}(HP_j - HP_i) = \begin{cases} 1, & HP_j - HP_i > 0 \\ 0, & HP_j - HP_i = 0 \\ -1, & HP_j - HP_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{20} \quad (8)$$

式中:  $n$  表示时间跨度(20年);  $\text{sgn}$  为符号函数。在显著性水平  $\alpha = 0.05$  判断风沙环境致灾潜力变化趋势的显著性, 当  $|Z| > 1.96$  时, 说明风沙环境致灾潜力的变化具有显著性; 当  $|Z| \leq 1.96$  时, 说明风沙环境致灾潜力的变化不具有显著性。

综合 Sen 趋势分析和 MK 检验的结果, 长时间序列栅格数据的变化趋势可划分为 5 个等级: 明显改善 ( $\beta_{HP} \leq -0.0005$ , 且  $|Z| > 1.96$ )、轻微改善 ( $\beta_{HP} \leq -0.0005$ , 且  $|Z| \leq 1.96$ )、稳定不变 ( $-0.0005 < \beta_{HP} < 0.0005$ )、轻微加剧 ( $\beta_{HP} \geq 0.0005$ , 且  $|Z| \leq 1.96$ ) 和严重加剧 ( $\beta_{HP} \geq 0.0005$ , 且  $|Z| > 1.96$ )<sup>[31-32]</sup>。

### 2.2.3 地理探测器

地理探测器可用于度量空间分异性、探测解释因子、分析自变量之间的交互作用<sup>[33]</sup>。本文使用地理探测器中的因子探测器分析评价因子的贡献率。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (9)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (10)$$

$$SST = N \sigma^2 \quad (11)$$

式中:  $h=1, 2, \dots, L$ ;  $L$  为变量  $Y$  或因子  $X$  的分层;  $N_h$  和  $N$  分别为层  $h$  和全区的单元数;  $\sigma_h^2$  和  $\sigma^2$  分别是层  $h$  和全区  $Y$  值的方差。SSW 和 SST 分别为层内方差之和和全区总方差。 $q$  值越大, 表明自变量(评价指标)对因变量(风沙环境致灾潜力的变化趋势)的解释力越大。

## 3 结果分析

### 3.1 整体状况

2001—2020 年, 新疆全境风沙环境致灾潜力多年均值为 2.70, 最大值是 2.81(2010 年), 最小值是 2.53(2005 年)。不同级别致灾潜力区的面积不同, 一级(1~2)、二级(2~3)、三级(3~4)、四级(4~5)的面积分别为 49.65 万  $\text{km}^2$ 、40.64 万  $\text{km}^2$ 、42.82 万  $\text{km}^2$ 、18.38 万  $\text{km}^2$ , 占比分别为 32.77%、26.83%、28.27%、12.13%, 可见新疆致灾潜力值主要为一、二级, 面积占比合计 59.60%。

### 3.2 空间分布特征

风沙环境致灾潜力的分布具有明显的空间异质性(图 2)。四级(4~5)主要分布在吐鲁番盆地、库鲁克库姆沙漠和塔克拉玛干沙漠东缘; 三级(3~4)主要分布于塔克拉玛干沙漠大部、库姆塔格沙漠、准噶尔盆地西部风口地区和古尔班通古特沙漠西缘; 二级(2~3)主要分布于准噶尔盆地、塔克拉玛干沙漠西缘和库木库勒盆地; 一级(1~2)主要分布于天山、昆仑山、叶尔羌河、塔里木河等植被覆盖度高的山区、绿洲和河流沿岸。

新疆不同大地貌单元的致灾潜力具有明显的差异。沙物质丰富的塔里木盆地、准噶尔盆地的致灾潜力均值分别为 2.97、2.48, 水分条件较好的区域致灾潜力均值较低, 准噶尔西部山地、昆仑山—阿尔金山、天山、阿勒泰—北塔山的致灾潜力均值分别为 2.09、2.42、2.70、2.82。

新疆大地貌单元致灾潜力的各驱动因素贡献率不同(图 3)。所有区域 RDP 的  $q$  值均最大, 均值达到 0.804, 说明风动力对致灾潜力的贡献程度最大, 该结果一方面是由于致灾潜力的计算公式中 RDP 是 0.5 次方, RDP 对致灾潜力结果的影响最大; 另一方面也说明风动力是风沙致灾的基本前提条

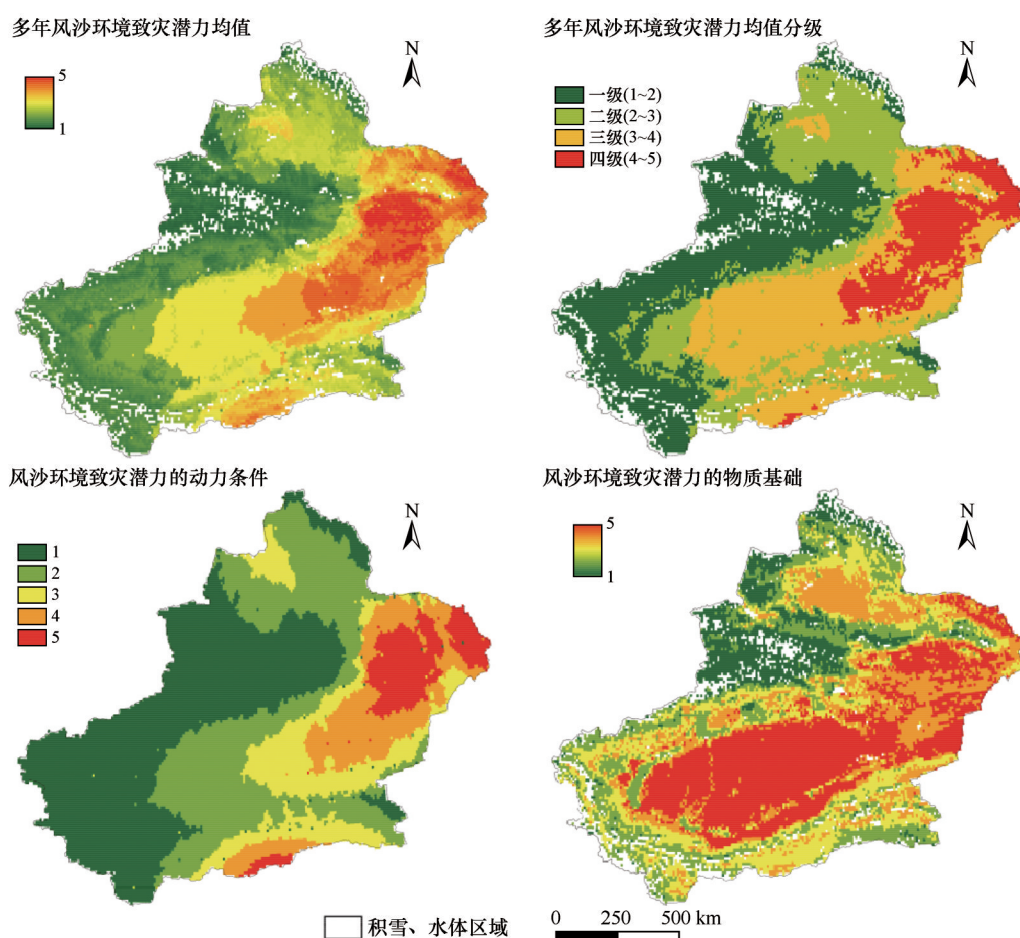


图2 多年风沙环境致灾潜力均值及其分级、动力条件均值、物质基础均值

Fig.2 The mean value and classification of hazard potential of wind blown sand environment in 20 years, the mean value of dynamic conditions and the mean value of material basis

件。准噶尔西部山地区域的平均海拔为1 236 m, *NDVI*最大值为0.407,土壤中的沙物质和地表植被条件是致灾潜力的重要驱动力,其中土壤有机碳含量、土壤水含量、土壤沙含量和*NDVI*的 $q$ 值分别为0.44、0.47、0.43和0.46。阿勒泰-北塔山区域的年降水量差异大,同时下垫面状况空间差异大,山区水热条件较好,而三塘-淖毛湖低山丘陵区域降水稀少,风力强劲,风沙活动频发,因此降水量和潜在蒸散发量对致灾潜力的贡献较高,分别为0.61和0.44。准噶尔盆地和塔里木盆地均存在大面积的沙漠和戈壁,因此沙源多少是致灾潜力的重要驱动力,而*NDVI*的贡献率较低,分别为0.41和0.34。昆仑山-阿尔金山和天山的致灾潜力值较低,潜在蒸散发量、土壤沙含量、土壤水含量和土壤有机碳含量均为重要驱动因素。

新疆风沙环境致灾潜力值也具有明显的垂直分异性(表2)。低海拔区(<1 000 m)、中海拔区

(1 000~2 000 m)、亚高海拔区(2 000~4 000 m)和高海拔区(4 000~6 000 m)的致灾潜力均值分别为3.08、2.75、1.96、2.52,致灾潜力值整体随海拔高度增加而减少,之所以高海拔区域致灾潜力值较高,与该区域分布有较大面积的戈壁有关。极高海拔区(>6 000 m)由于常年存在积雪且缺少沙物质,故不存在风沙环境致灾潜力。

合成输沙势值由风速大小决定,可表征区域潜在输沙动力<sup>[34]</sup>,是风沙致灾潜力的重要决定条件。新疆区域多年合成输沙势均值为0~1 117.6 VU,其空间分布格局与风沙环境致灾潜力分布整体相似。风沙致灾潜力高值主要分布于额尔齐斯河流域、吐鲁番盆地、库鲁克库姆沙漠、塔克拉玛干沙漠东部和昆仑山中东段北坡,风沙致灾潜力低值主要分布于阿尔泰山、天山、塔克拉玛干沙漠西部和昆仑山。新疆主要风区(达坂城、小草湖、阿拉山口、额尔齐斯河、百里风区和哈密东南部等)的风动力条件强

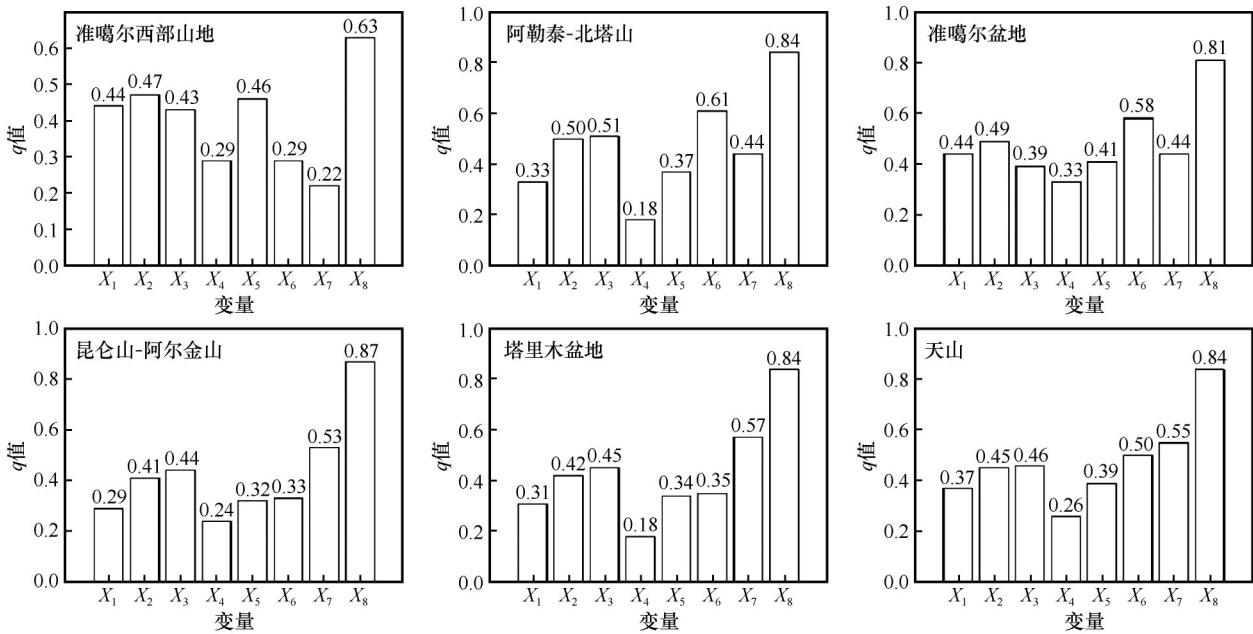


图3 不同区域各评价因子的q值

Fig.3 q value of each evaluation factor in different regions

表2 不同海拔的风沙环境致灾潜力值统计

Table 2 Statistics of hazard potential value of wind blown sand environment at different altitudes					
海拔	低海拔区 (<1 000 m)	中海拔区 (1 000~2 000 m)	亚高海拔区 (2 000~4 000 m)	高海拔区 (4 000~6 000 m)	极高海拔区 (>6 000 m)
最小值	1.25	1.10	1.05	1.34	—
最大值	5.00	5.00	4.27	4.37	—
均值	3.08	2.75	1.96	2.52	—

劲,按照Fryberger风能环境划分标准,均属于中高风能环境(>200 VU)<sup>[35]</sup>,额尔齐斯河风区主要位于阿尔泰山和萨吾尔山之间的河谷冲积平原,盛行风向为偏西和偏东。北疆的冷空气进入位于博格达山东部和巴里坤山西部交界处的“喇叭口盆地”开口处,受“狭管效应”作用形成百里风区<sup>[36]</sup>。

沙物质的丰富程度等级主要受到下垫面的影响,而致灾潜力的空间分布也明显受到下垫面沙源丰富程度的影响,但有沙源并不一定具有高的致灾潜力值,还需要同时满足风动力条件。沙源丰富度高值主要分布于准噶尔盆地、吐哈盆地和塔里木盆地,该区域的土地利用类型主要为沙地、戈壁、盐碱地、裸土地和裸岩石;低值主要分布于山脉、绿洲与河流沿岸(阿尔金山、天山、昆仑山、车尔臣河、额尔齐斯河、和田河、塔里木河和伊犁河),植被覆盖度高,下垫面粗糙,土壤结构稳定性较高,风速较小,风沙活动很弱。

3.3 时间变化特征

2001—2020年风沙环境致灾潜力年均值呈先增加后降低的趋势(图4),其中2001—2010年以0.17/10a( $R^2=0.346$ , $P<0.1$ )的速率呈上升趋势,在2010年达到最大值(2.81);2010—2020年以-0.17/10a( $R^2=0.517$ , $P<0.05$ )的速率呈下降趋势。多年新疆风沙环境致灾潜力均值为2.70,最小值为2.53(2005年)。

风沙环境致灾潜力具有明显的季节变化特征。多年月致灾潜力均值表明,新疆致灾潜力值大于3的区域面积,2月最小(11.25万km<sup>2</sup>),3—6月逐渐增加,3—10月平均面积为47.11万km<sup>2</sup>,11月则为30.25万km<sup>2</sup>。新疆致灾潜力值大于3的面积,春季、夏季、秋季、冬季分别为43.46万、62.93万、54.38万、22.56万km<sup>2</sup>,表明新疆夏季风沙活动的致灾风险最大,其次是秋季和春季,冬季最弱。

不同大地貌单元的风沙致灾潜力值月际变化



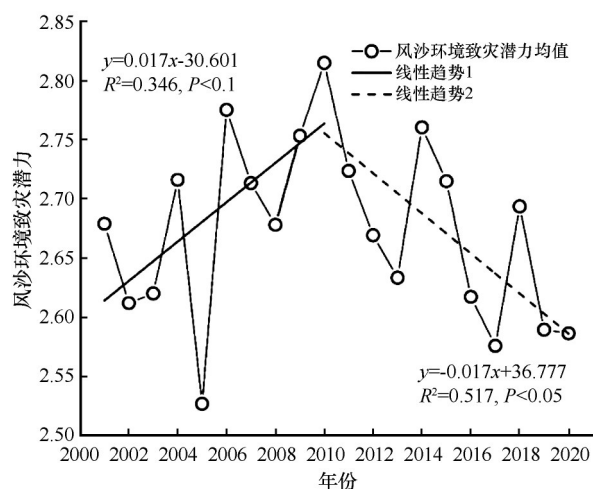


图4 2001—2020年风沙环境致灾潜力年均值变化

Fig.4 Annual mean change of hazard potential of wind blown sand environment in Xinjiang from 2001 to 2020

特征有所不同(图5)。塔里木盆地、天山、昆仑山-阿尔金山为常年型,植被覆盖度高、海拔高,致灾潜力较低且稳定,但三十里风区、达坂城风区、百里风区和哈密南戈壁风区是强风蚀区域,具有较高的致灾潜力;准噶尔西部山地、准噶尔盆地、阿勒泰-北塔山为春季型,尤其塔城老风口、阿拉山口、准噶尔盆地、额尔齐斯河河谷、北塔山和哈密北戈壁区域,春季风力强劲,风蚀强烈。

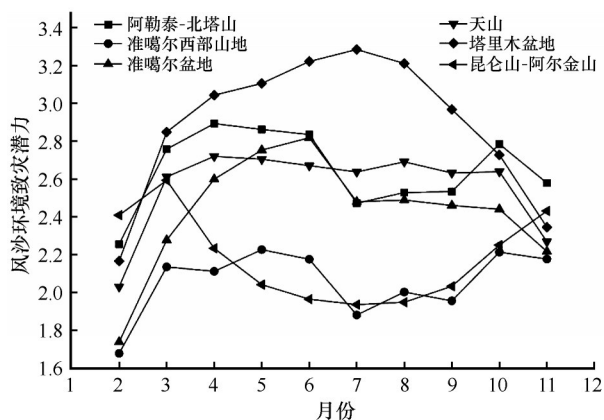


图5 不同大地貌单元的致灾潜力月变化

Fig.5 Monthly variation of hazard potential of different large geomorphic units

### 3.4 变化趋势

新疆多年风沙环境致灾潜力的变化趋势以稳定不变为主,其中稳定不变、轻微改善和轻微加剧的像元数占比分别为84.4%、14.72%、0.87%,没有明显改善和严重加剧(图6)。轻微改善区主要分布于恰夏克多库姆沙漠、小拐附近沙漠、三塘-淖毛湖低

山区域、库姆塔格沙漠、库木库勒盆地、布古里库姆沙漠、巴楚北部及东部沙漠、塔克拉玛干沙漠北缘及河流沿岸。轻微加剧主要分布于古尔班通古特沙漠和昆仑山中东段北坡。

新疆风沙环境致灾潜力的变化趋势显示,2—11月均以轻微改善和稳定不变占比最高,像元占比为86.74%,其中6月以轻微改善占比最高(63.58%),其余月份均以稳定不变占比最高,表明2001—2020年新疆月均风沙环境致灾潜力变化幅度较小。5月北疆致灾潜力呈轻微加剧和严重加剧,其中轻微加剧主要分布于古尔班通古特沙漠,严重加剧主要分布于额尔齐斯河流域,该区域的土地利用类型为植被覆盖度低的沙漠和戈壁,易受到气候变化和人类活动的干扰。10月轻微加剧占比26.74%,分布于古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠和三塘-淖毛湖低山区域,严重加剧分布于塔克拉玛干沙漠中部。11月吐鲁番盆地和塔克拉玛干沙漠东部的风蚀气候侵蚀力强烈,且对气候条件的敏感性较强<sup>[37]</sup>,风沙环境致灾潜力呈轻微加剧趋势。

5、10、11月的新疆风沙环境致灾潜力的变化趋势具有明显的空间异质性(图6)。将2001—2020年5、10、11月的归一化植被指数、潜在蒸散发量、降水量和合成输沙势的Sen趋势分析结果作为自变量,将对应月份的风沙环境致灾潜力Sen趋势结果作为因变量Y,使用地理探测器中的因子探测器,分析5月、10月和11月的自变量对因变量的驱动作用。因子探测器结果(表3)显示,5月风沙环境致灾潜力变化的主导因素是降水量和合成输沙势,解释力分别为31.13%和30.57%;10月风沙环境致灾潜力变化的主导因素是合成输沙势,解释力为11.64%;11月风沙环境致灾潜力变化的主导因素是合成输沙势,解释力为51.51%。由于合成输沙势由风速决定,故月风沙环境致灾潜力的变化趋势主要是由风速变化驱动。

## 4 讨论

新疆境内各区域风沙致灾潜力均值多在1~3,受风动力条件年际变化影响,风沙致灾潜力值也波动变化,与新疆实际风沙灾害结果基本一致<sup>[12-13]</sup>。将张太西等<sup>[38]</sup>关于新疆综合灾损等级点位信息叠加至20年年均风沙环境致灾潜力图上(图7),综合灾损等级与风沙致灾潜力值具有一定的相关性,但相关性不强,同一风沙致灾潜力区域可以出现多个

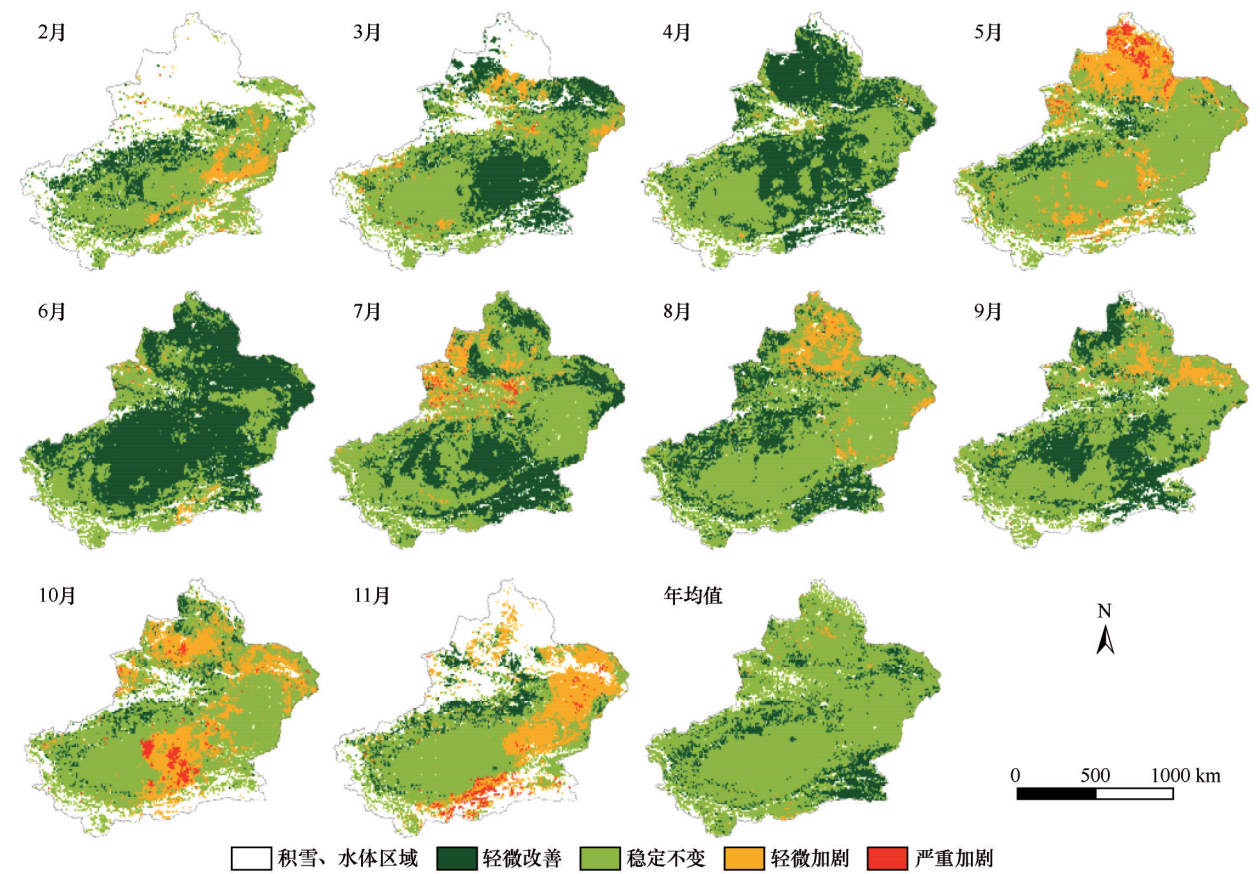


图 6 2—11 月及年均风沙环境致灾潜力的变化趋势

Fig.6 Change trend of hazard potential of wind blown sand environment from February to November and annual average

表 3 因子探测器结果

Table 3 The results of factor detector

自变量	5 月	10 月	11 月
归一化植被指数	0.0404	0.0684	0.0700
潜在蒸散发量	0.0811	0.0622	0.1105
降水量	0.3113	0.0793	0.1953
合成输沙势	0.3057	0.1164	0.5151

灾损等级。综合灾损等级点位主要位于河流、绿洲附近,植被盖度高,风沙活动相对较弱,防灾减灾措施相对较完备,而本文的评价结果未考虑承灾体,所以整体致灾潜力危险性高于实际综合灾损等级。但各级综合灾损等级均出现在有风沙活动的区域,而在准噶尔盆地、塔里木盆地、吐哈盆地等风沙致灾潜力高值区域,高等级灾损点分布也比较集中。风沙致灾潜力高值区综合灾损点之所以分布很少,不是本文评价结果失真,而是这些区域没有规模的工农业开发行为(缺乏水资源条件),这也说明了本文风沙致灾潜力评价结果的客观性。

新疆风动力条件的高值主要分布于吐哈盆地、

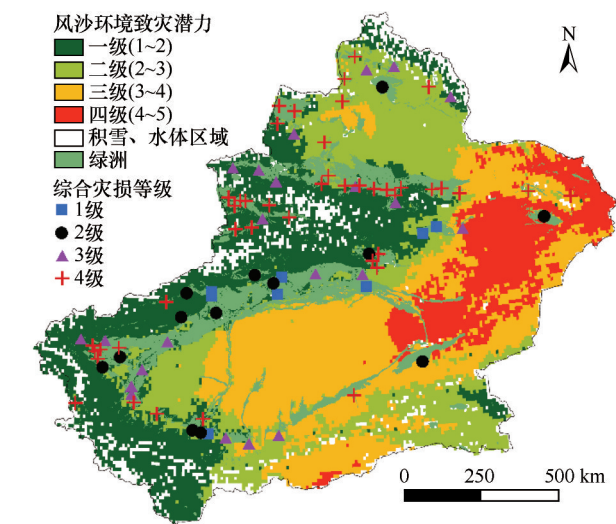


图 7 县市综合灾损等级空间分布

Fig.7 Spatial distribution of comprehensive disaster damage grades in Xinjiang counties and cities

塔里木盆地东部和昆仑山中段北坡,与其他学者关于新疆致灾因子危险性分布存在一定差异<sup>[12-13]</sup>。这与各自采用的研究方法有关,本文选取合成输沙势以表征动力条件,用自然断点法分级,相关研究



则选取输沙势、沙尘事件指数和距沙源的距离表征致灾因子,用最优分割法进行分级。风沙活动物质基础的高值主要分布于植被覆盖度低、土壤水分含量低、蒸发强烈且海拔较低的沙地和戈壁等,低值主要分布于植被覆盖度高的山区、绿洲和河流沿岸,这与其他学者关于新疆孕灾环境稳定性<sup>[13]</sup>和新疆南部风沙扩散风险<sup>[14]</sup>的空间分布基本一致。

## 5 结论

新疆风沙环境致灾潜力值多年均值相对较低(2.70),空间分布具有明显的水平和垂直分异的特点,呈东高西低、山区低平原高的空间分布特征。风动力和沙物质条件兼备的塔里木盆地和准噶尔盆地的风沙致灾潜力均值分别为2.97、2.48,水分条件较好的准噶尔西部山地、昆仑山-阿尔金山、天山、阿勒泰-北塔山的致灾潜力均值分别为2.09、2.42、2.70。风沙致灾潜力值季节变化明显,夏季和秋季的致灾潜力值较大,风沙活动活跃。2月和11月最小,风沙活动较少,塔里木盆地为春夏型,天山、昆仑山-阿尔金山为常年型、准噶尔西部山地、准噶尔盆地、阿勒泰-北塔山为春季型。吐哈盆地和塔里木盆地东部是致灾潜力的高值区域,塔克拉玛干沙漠东部、昆仑山中东段北坡、准噶尔盆地西部风口地区和古尔班通古特沙漠西缘是致灾潜力值较高的区域,需重点加强防治。

新疆致灾潜力年均值2000—2010年以0.17/10a的速率呈上升趋势,2010—2020年以-0.17/10a的速率呈下降趋势,但多年风沙环境致灾潜力的变化趋势较稳定,其中稳定不变、轻微减弱和轻微加剧的占比分别为84.4%、14.72%和0.87%。新疆多年月风沙环境致灾潜力变化趋势较稳定,以稳定不变和轻微改善为主,占比合计86.74%。受气候变化影响,5、10、11月的风沙环境致灾潜力加重面积占比较高。

## 参考文献:

- [1] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1991, 27(4): 37-42.
- [2] Burby R J. Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-use Planning for Sustainable Communities[M]. Washington, USA: Joseph Henry Press, 1998: 120.
- [3] 徐继维, 张茂省, 范文. 地质灾害风险评估综述[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 130-134.
- [4] 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.
- [5] 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): 8-19.
- [6] Liu G, Shao Q, Fan J, et al. Change trend and restoration potential of vegetation net primary productivity in China over the past 20 years[J]. Remote Sensing, 2022, 14(7): 1634.
- [7] Grogan P, Matthews R. A modelling analysis of the potential for soil carbon sequestration under short rotation coppice willow bioenergy plantations[J]. Soil Use Management, 2002, 18(3): 175-183.
- [8] Ahmed M, Al-Dousari N, Al-Dousari A. The role of dominant perennial native plant species in controlling the mobile sand encroachment and fallen dust problem in Kuwait[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9(2): 134.
- [9] 管梦鸾, 张正德, 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.
- [10] 张克存, 安志山, 何明珠, 等. 中国沙区公路风沙危害及防治研究进展[J]. 中国沙漠, 2022, 42(3): 222-232.
- [11] 王雪芹, 雷加强. 塔里木沙漠公路风沙危害评估指标体系[J]. 干旱区地理, 1999, 22(1): 81-87.
- [12] 王玉竹, 闫浩文, 王小平, 等. 基于GIS的兰新铁路沿线风沙灾害致灾成因分析及评价[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(2): 51-56.
- [13] Yang Z, Gao X, Lei J. Fuzzy comprehensive risk evaluation of aeolian disasters in Xinjiang, Northwest China[J]. Aeolian Research, 2021, 48(1): 100647.
- [14] 史娜娜, 韩煜, 王琦, 等. 新疆南部地区风沙扩散风险评价及景观格局优化[J]. 地理学报, 2021, 76(1): 73-86.
- [15] 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.
- [16] 罗俊宝. 我国不同沙漠类型区公路沙害防治技术与机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [17] 董智. 乌兰布和沙漠绿洲农田沙害及其控制机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [18] 杨发相, 雷加强, 张志伟. 新疆荒漠概论[M]. 北京: 地质出版社, 2021.
- [19] 何毅, 杨太保, 陈杰, 等. 1960-2013年南北疆风速变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(2): 249-259.
- [20] 朱秉启, 于静洁, 秦晓光, 等. 新疆地区沙漠形成与演化的古环境证据[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 661-679.
- [21] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 3.
- [22] Abatzoglou J T, Dobrowski S Z, Parks S A, et al. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015[J]. Scientific Data, 2018, 5(1): 1-12.
- [23] Zhang R, Zhang S, Luo J, et al. Analysis of near-surface wind speed change in China during 1958-2015[J]. Theoretical Applied Climatology, 2019, 137(3): 2785-2801.
- [24] 伊力哈木·伊马木, 李菊艳, 玉米提·吾提库尔, 等. 起沙风速的观测方式及其影响因素研究综述[J]. 中国水土保持, 2021, 42(5): 42-44.
- [25] 杨兴华, 何清, 艾力·买买提明. 塔克拉玛干沙漠塔中地区春夏季风蚀起沙研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 770-776.

- [26] 张帅,丁国栋,赵媛媛,等.中国西北三省(区)风雪流发生的可能性[J].水土保持通报,2018,38(5):34-39.
- [27] 萨楚拉,刘桂香,包刚,等.近10年新疆积雪面积时空变化研究[J].测绘科学,2013,38(1):72-74.
- [28] 李生宇,丁刚,王世杰,等.库木托拜沙漠公路风沙-风雪复合灾害的形成机制及治理方案[J].中国沙漠,2022,42(6):1-11.
- [29] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau [J]. Journal of the American Statistical Association, 1968, 63(324): 1379-1389.
- [30] Waked A, Sauvage S, Borbon A, et al. Multi-year levels and trends of non-methane hydrocarbon concentrations observed in ambient air in France [J]. Atmospheric Environment, 2016, 141(17): 263-275.
- [31] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等.2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J].地理学报,2015,70(5):705-716.
- [32] Pandey B K, Khare D. Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India) [J]. Global and Planetary Change, 2018, 161(2): 172-182.
- [33] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [34] 张正德,董治宝,赵爱国,等.输沙量与输沙势的关系[J].中国沙漠,2011,31(4):824-827.
- [35] 李晋昌,苏志珠,胡光印.风沙活动强度的常用判断指标及其应用评述[J].中国沙漠,2010,30(4):788-795.
- [36] 辛渝,周颖真,宋丽莉,等.新疆风区下垫面动力学粗糙度估测值与模式定义值的对比[J].大气科学学报,2015,38(6):811-818.
- [37] 王雅琴,范文波,许忠宇,等.近50年新疆地区风蚀气候侵蚀力时空变化特征分析[J].水土保持研究,2021,28(4):22-28.
- [38] 张太西,王慧,余行杰.新疆风灾时空分布特征分析[J].干旱区地理,2021,44(5):1281-1289.

## Analysis of temporal and spatial characteristics of hazard potential of wind blown sand environment in Xinjiang from 2001 to 2020

Zhao Yazhou<sup>1abed,2,3</sup>, Li Shengyu<sup>1abcd,2</sup>, Wang Shijie<sup>1abd,2</sup>, Fan Jinglong<sup>1abd,2</sup>, Wu Yan<sup>3</sup>

(1. a. National Engineering Technology Research Center for Desert-Oasis Ecological Construction / b. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology / c. Mosuowan Desert Research Station / d. Taklimakan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. The Second Surveying and Mapping Institute of Xinjiang, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** Xinjiang has complex topography and climate, abundant sand sources, strong wind, and frequent sandstorm activities. Sandstorm disasters are an important threat to engineering construction and economic development. The assessment of the hazard potential of the wind blown sand environment can guide the construction of sand area projects and the formulation of sand control plans, and is an important basic work for disaster emergency management. In this paper, eight indicators including soil organic carbon content, soil water content, soil sand content, land use type, vegetation index, precipitation, evapotranspiration and resultant drift potential are selected to analyze the temporal and spatial variation of hazard potential of wind blown sand environment in Xinjiang from 2001 to 2020. Results show that: (1) The hazard potential of the wind blown sand environment in Xinjiang has obvious seasonal variation characteristics, and the area with the hazard potential value greater than 3 gradually increases in summer, autumn, spring and winter. Lower hazard potential values in February and November. (2) The hazard potential of wind blown sand environment shows the spatial distribution characteristics of high in the east and low in the west, low in mountainous areas and high in the plain. High value regions are located in Tarim Basin, Junggar basin, Turpan Basin and other regions with abundant sand and strong wind power. Low value regions are mainly distributed in areas with high vegetation coverage, such as mountains, oases and river banks. (3) From 2001 to 2020, the annual average value of the hazard potential of wind blown sand environment in Xinjiang showed a change process of first rising and then declining. The overall change trend is relatively stable, and the proportion of pixels that are stable, slightly improved and slightly intensified is 84.4%, 14.72% and 0.87% respectively. The research results can provide an important reference for the layout and decision-making of economic and social development in windy and sandy areas in Xinjiang.

**Key words:** wind blown sand environment; hazard potential; temporal and spatial changes; Xinjiang