

# 2000—2020年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险评价

刘燕燕<sup>1</sup>, 孙桂丽<sup>1,2</sup>, 吉小敏<sup>3</sup>, 禹明柱<sup>1</sup>, 冉亚军<sup>1</sup>

(1.新疆农业大学 林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.干旱区林业生态与产业技术重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3.新疆林业科学院 荒漠化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** [目的] 对2000—2020年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险的时空变化特征进行分析, 为该区生态修复、因地制宜制定防沙治沙措施提供科学依据。[方法] 选取9个自然和社会经济指标构建沙漠化风险评价指标体系, 在ENVI和ArcGIS软件的支持下, 对2000—2020年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险进行评价, 并分析风险等级时空变化特征。[结果] ①2000—2020年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险呈现较强的空间异质性。极高风险和高度风险区集中在博尔塔拉蒙古自治州东部精河县及东北部阿拉山口市; 中度风险及低风险区域位于博尔塔拉蒙古自治州中部博乐市及温泉县, 中度风险所占比例最大, 高达40%以上。②2000—2020年沙漠化风险主要是以极高风险向高度风险转移, 高度风险向中度风险转移, 中度风险向低风险转移, 整体呈现出逆向逐级转化的趋势。至2020年, 极高风险面积共减少3 160.3 km<sup>2</sup>, 低风险面积共增加2 424.76 km<sup>2</sup>。③2000—2020年, 沙漠化极高风险和高度风险重心均向东迁移, 极高风险重心迁移变化最为明显, 逐渐向精河县东部迁移, 中度风险和低风险重心变化范围不明显, 分布于博乐市和温泉县。[结论] 2000—2020年, 博尔塔拉蒙古自治州各区域沙漠化风险程度不同, 在沙漠化的治理与防治过程中, 应当因地制宜, 合理有效地开展治沙防沙以及生态修复工程。

**关键词:** 沙漠化; 风险评价; 重心迁移; 博尔塔拉蒙古自治州

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2022)03-0066-08

**中图分类号:** X826

**文献参数:** 刘燕燕, 孙桂丽, 吉小敏, 等. 2000—2020年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 66-73. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.010; Liu Yanyan, Sun Guili, Ji Xiaomin, et al. Desertification risk assessment for Bortala Mongolian Autonomous Prefecture during 2000—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 66-73.

## Desertification Risk Assessment for Bortala Mongolian Autonomous Prefecture During 2000—2020

Liu Yanyan<sup>1</sup>, Sun Guili<sup>1,2</sup>, Ji Xiaomin<sup>3</sup>, Yu Mingzhu<sup>1</sup>, Ran Yajun<sup>1</sup>

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi,

Xinjiang 830052, China; 2. Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in Arid Areas, Urumqi, Xinjiang 830052, China; 3. Institute of Desertification, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal and spatial characteristics of desertification risk were analyzed for the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture in order to provide a scientific basis and data support for ecological restoration, including formulation of sand prevention and control measures. [Methods] A desertification risk evaluation index system that included nine natural and socio-economic indicators was constructed by using ENVI and ArcGIS software to evaluate the risk of desertification. The characteristics of temporal and spatial changes were analyzed for the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture from 2000 to 2020. [Results] ① The risk of desertification showed strong spatial heterogeneity in the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture during 2000—2020. The extremely high risk and high risk areas were concentrated in Jinghe County and Alashankou City, located in the east of the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture. The moderate risk and low risk areas were located in Bole City and Wenquan County in the central part of the Bortala Mongolian Autonomous Prefecture. The moderate risk level constituted the largest proportion of the

收稿日期: 2021-11-05

修回日期: 2021-12-08

资助项目: 国家自然科学基金“基于格网GIS技术的艾丁湖流域生态风险评估及调控机制研究”(41861046); 2021“三区人才”项目(2221-LYE1)

第一作者: 刘燕燕(1996—), 女(汉族), 安徽省阜阳市人, 硕士研究生, 研究方向为生态恢复与荒漠化防治。Email: 2448199318@qq.com。

通信作者: 孙桂丽(1979—), 女(汉族), 河南省兰考县人, 教授, 从事生态风险评估与荒漠化防治方面研究。Email: sxfgl@126.com。

total area (more than 40%). ② From 2000 to 2020, the risk of desertification shifted from extremely high risk to high risk, from high risk to moderate risk, and from moderate risk to low risk, showing a declining trend in risk of desertification. The extremely high risk area decreased by 3 160.3 km<sup>2</sup>, and the low risk area increased by 2 424.76 km<sup>2</sup> by 2020. ③ From 2000 to 2020, the extremely high risk and the high risk centers of desertification moved eastward. The shift of the extremely high risk center was the most obvious, gradually moving to the east of Jinghe County. The medium risk and low risk centers did not change significantly, and they were located in Bole City and Wenquan County. [Conclusion] During 2000—2020, the desertification risk level was different in each area of the study area. Therefore, in order to prevent and control desertification, ecological restoration projects should be carried out reasonably and effectively according to local conditions.

**Keywords:** desertification; risk assessment; center of gravity migration; Bortala Mongolian Autonomous Prefecture

沙漠化是在干旱、半干旱和亚湿润地区内由于气候变化与人类活动等因素作用下所产生的一种以风沙活动为主要标志的土地退化<sup>[1]</sup>。沙漠化作为当今国际社会面临的全球性的生态—社会—经济问题之一,已受到全世界范围内的重点关注<sup>[2]</sup>。沙漠化过程不仅导致土壤结构疏松及养分流失、植被覆盖和生物量降低等现象的发生,更造成可利用土地资源大量减少,制约着当地生态环境与社会经济的协调可持续发展<sup>[3]</sup>。国内外学者对沙漠化问题的研究,特别是对北方干旱半干旱区的土地沙漠化问题<sup>[4-5]</sup>,进行了大量的研究并取得了丰硕的研究成果,为沙漠化治理提供了重要的依据。

生态风险评估是指对生态环境遭遇某些胁迫因子影响后可能出现的不利后果进行的评估<sup>[6]</sup>,并把评估结果作为后续处理措施的重要参考依据,从而通过采取恰当的措施减轻风险的发生,对加强区域生态安全具有重要的意义<sup>[7-8]</sup>。国内外学者基于风险评估的原理与研究目的,通过建立的指标体系开展了不同区域的生态风险评价研究<sup>[9-11]</sup>。沙漠化风险评价是利用生态风险评估理论与沙漠化动态监测研究相结合,构建沙漠化风险评价指标体系<sup>[12-13]</sup>,识别其动态变化特征及关键影响因素,开展区域沙漠化风险评价。由于影响沙漠化风险因子较多,因此识别与判断沙漠化风险主要驱动因子对区域沙漠化防治具有重要的现实意义<sup>[13-14]</sup>。

21世纪初期,受气候变化和经济社会快速发展的影响以及资源不合理利用,博尔塔拉蒙古自治州土地沙漠化日趋严重<sup>[15]</sup>,植被衰退、草地资源承载力和生态功能下降,区域生态安全遭到威胁,同时严重制约了区域的社会经济可持续发展<sup>[16]</sup>。目前对博尔塔拉蒙古自治州生态环境相关研究主要集中在沙漠化监测<sup>[17]</sup>、景观生态风险的评价<sup>[18]</sup>、荒漠植被的研究等<sup>[19]</sup>,少有涉及沙漠化风险评价。因此,本研究以博尔塔拉蒙古自治州为研究对象,利用“3S”技术结合实地调研数据,采用综合指标法对博尔塔拉蒙古自治

州土地沙漠化风险进行评价,并研究其空间变化特征,分析其影响因素,为博尔塔拉蒙古自治州生态保护与建设提供依据和参考。

## 1 研究区概况

博尔塔拉蒙古自治州(简称博州),位于新疆维吾尔自治区西北部,准噶尔盆地西缘(44°02′—45°23′N, 79°53′—83°53′E),地处亚欧大陆腹地,州境西、南、北三面山,中间是谷地平原,西部较窄,东部开阔,最高海拔 4 575 m。博州属于北温带干旱荒漠区,为典型的大陆性干旱荒漠气候,以风沙大,干旱少雨,气温变化剧烈为特征,多年平均气温为 6.05 ℃,年均降水量为 181 mm,年均蒸发量为 1 562.4 mm,无霜期 169 d。研究区由于特殊的地理位置和地形地貌,境内分布着多种荒漠类型,荒漠生物种群多样,是中国内陆荒漠中为数不多的荒漠物种集中分布区<sup>[16]</sup>,且境内土壤分布种类较丰富,主要以灰棕漠土、棕钙土、栗钙土为主,受荒漠化以及西风环流以及蒙古高压和西伯利亚冷空气的影响<sup>[20]</sup>,部分土壤已演变为风沙土,区域生态环境极不稳定,沙漠化对博州的生态安全构成了极大威胁,严重影响区域社会经济的正常发展。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据源及其处理

2.1.1 遥感影像数据 土地利用类型数据来自美国地质调查局(<http://earthexplorer.usgs.gov/>),选取博州 2000, 2010, 2020 年 7—8 月植被生长茂盛期的 3 期空间分辨率为 30 m 的遥感影像以 Landsat 8 OLI 为主,并以 Landsat4—5 TM 作为补充,云量均小于 3%,在 ENVI 5.3 和 ArcGIS 10.5 软件的支持下,以实际调研研究区内土地利用实际情况为基础,对遥感影像进行辐射校正和几何校正等预处理,采用监督分类的方法,参考中国科学院土地利用/覆被分类标准进行分类。采用最大值合成法(maximum value composition, MVC)获得每个年度植被生长季

的 NDVI 最大值,通过像元二分模型计算植被覆盖度<sup>[21]</sup>。数据中高程 (DEM) 数据来自于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 提供的 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据。坡度数据以高程数据为基础,通过运用 ArcGIS 10.5 中 Spatial Analyst 工具箱下的坡度函数计算所得。

**2.1.2 统计数据** 气象数据为 2000—2020 年博州及周边气象站的逐日数据,包括风速及降雨量,来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 以及周边气象站;牲畜数量、第一产业 GDP、人口密度、耕地面积均来自于博尔塔拉蒙古自治州统计年鉴 (2000—2020),在 ArcGIS 10.5 软件的支持下,采用反距离权重法 (IDW) 进行插值处理,其空间坐标系及像元大小均与遥感影像数据相一致,通过自然断点法进行分级<sup>[22]</sup>。

## 2.2 土地沙漠化风险评价指标及分级标准

沙漠化风险的评价主要是为了客观直接地反映研究区土地沙漠化风险等级的变化,更好地监测沙漠化风险等级在时间和空间上的动态演变<sup>[23]</sup>。受气候变化以及人为因素的影响,博州沙漠化风险发展的现状显然也有着显著差异。在选取评价指标时,根据研究区自然环境特征,结合博州土地沙漠化风险现状及其特征,同时考虑到指标的准确性和代表性,在气候因素、地形地貌、植被、社会因素 4 个方面选取了 9 个

指标,构成了博州沙漠化风险等级评价指标体系 (表 1),利用层次分析法获得各个指标因子的权重值进行沙漠化风险评价。

为了反映博州不同区域的沙漠化风险程度,在参照前人<sup>[17,24-25]</sup>对沙漠化监测、及沙漠化风险研究成果以及野外实际调研的基础上,针对上述 9 个指标进行土地沙漠化风险的单因素等级评价,将各指标因子对沙漠化风险的影响程度划分为低风险、中度风险、高度风险、极高风险 4 个评价等级,形成了具有明确分级标准的土地沙漠化风险评价指标体系 (表 2)。采用多指标加权综合指数法,对博州沙漠化风险等级现状程度进行综合评价。

表 1 沙漠化风险评价指标体系及权重

目标要素	指标层	权重值
气候因素	平均风速	0.085 3
	降水量	0.138 0
地形地貌	土地利用类型	0.147 6
	海拔高程	0.091 3
	坡度	0.042 7
植被	植被盖度	0.179 3
	人均耕地面积	0.120 2
社会因素	第一产业 GDP	0.118 6
	牲畜量	0.077 0

表 2 沙漠化风险指标体系分级标准

指标	低风险	中度风险	高度风险	极高风险
赋值	1	2	3	4
平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	≤2.834	2.834~3.711	3.711~4.587	>4.587
降水量/mm	200~232	168~200	136~168	104~136
土地利用类型	建筑用地、水域、林地、高覆盖草地等	耕地、中覆盖草地等	疏林地、盐碱地低覆盖草地等	沙地、裸土地、戈壁
海拔高程/m	3 500~4 575	2 500~3 500	1 500~2 500	106~1 500
坡度/(°)	>25	15~25	5~15	<5
植被盖度/%	>60	30~60	10~30	<10
人均耕地面积(人/km <sup>2</sup> )	>230	172~230	98~172	≤98
第一产业 GDP	>224.67	166.23~224.67	107.79~166.23	≤107.79
牲畜量(万头)	≤15	15~28	28~35	>35

## 2.3 层次分析法

层次分析法是一种将定性和定量等多项指标相结合的多准则评价方法<sup>[23]</sup>,并且在风险评价中得到了广泛的应用<sup>[26-27]</sup>。根据实地调研研究区实际情况,将 9 个指标因子进行比较判断定量化,建立判断矩阵。

$$X = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{19} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{29} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{91} & y_{92} & \cdots & y_{99} \end{pmatrix} \quad (1)$$

利用方根法计算各指标的相对权重,计算公式如下:

$$W_j = \frac{\sqrt[9]{y_{j1} \cdot y_{j2} \cdot \cdots \cdot y_{j9}}}{\sum_{i=1}^9 \sqrt[9]{y_{i1} \cdot y_{i2} \cdot \cdots \cdot y_{i9}}} \quad (i=1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

一致性检验:检验判断矩阵求出的权值是否合理,检验公式为:

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

式中:RI 是随机性一致指标均值,CI 是判断矩阵的一

致性标志,具体计算如下式:

$$CI = \frac{\lambda_m - m}{m - 1} \quad (4)$$

当  $CR < 0.1$  时,认为判断矩阵检验通过;否则,对矩阵进行某些调整。验证显示,一致性检验结果  $CR = 0.045 < 0.1$ ,检验合格,通过一致性检验。

## 2.4 沙漠风险综合评价方法

沙漠化风险评价,是一个较为复杂的综合分析、评判过程,其涉及的因子多、面广,本文采用“综合指数法”对其进行评价<sup>[28]</sup>,可以有效的反映各指标因子在沙漠化风险评价中的地位 and 作用,沙漠化风险指数分级标准见表 3。

$$P = \sum_{i=1}^n X_i \times Y_{ij} \quad (5)$$

式中: $P$  表示沙漠化风险指数; $X_i$  表示第  $i$  个指标的权重值; $Y_{ij}$  表示第  $i$  列  $j$  行的等级值; $n$  表示评价因子, $n \leq 9$ ;  $X$  值在  $[0 \sim 1]$  区间内, $X$  值越大,则对土地沙化风险越高, $Y$  等级值为  $[1, 2, 3, 4]$ , $Y$  值越大,沙化风险越严重。

表 3 沙漠化风险等级

风险等级	低风险	中度风险	高度风险	极高风险
风险指数	$\leq 2$	2~2.5	2.5~3.0	$> 3.0$

## 2.5 沙漠化土地变化重心迁移模型

沙漠化土地重心迁移模型是运用 ArcGIS 软件绘制出不同时期下不同风险程度沙漠化土地的重心坐标,根据重心坐标能够更加直观地反映出每个时期的沙漠化风险迁移方向及迁移的距离及空间动态变化规律,本研究对 2000, 2010, 2020 年不同时期沙漠化风险 4 种等级进行重心计算,重心坐标的运算方式如下<sup>[29]</sup>:

表 4 2000, 2010, 2020 年沙漠化风险等级区域面积及比例

沙漠化风险	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
低风险	3 353.94	13.49	4 673.62	18.80	5 778.70	23.25
中度风险	10 936.05	43.99	10 778.90	43.36	10 556.67	42.47
高度风险	4 244.60	17.08	4 547.18	18.29	5 359.52	21.55
极高风险	6 324.93	25.44	4 859.82	19.55	3 164.63	12.73
总计	24 859.52	100	24 859.52	100	24 859.52	100

从空间分布上看,博州沙漠化风险区域分布差异较为明显(图 1)。在 2000 年博州沙漠化风险区分布中,中度风险和极高风险区面积占比较大,其中极高风险区主要分布于阿拉山口市、艾比湖自然保护区、托托镇,精河县乌郎且达盖村、基布克拉村以及温泉县

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \cdot X_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (6)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \cdot Y_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (7)$$

式中: $X_t$  为在第  $t$  年时某一种沙漠化风险等级的经度; $Y_t$  为在第  $t$  年时某种沙漠化风险等级的纬度; $n$  为第  $t$  年时的某一种沙漠化风险等级区域的斑块数; $C_{ti}$  为第  $t$  年第  $i$  种沙漠化风险等级区域的面积; $X_{ti}$  是第  $i$  个斑块在沙漠化风险等级当中的经度坐标; $Y_{ti}$  是第  $i$  个斑块在沙漠化风险等级当中的纬度坐标。

## 3 结果与分析

### 3.1 沙漠化风险时空分布特征

根据不同沙漠化风险等级区域面积的所占比例(表 4)可以看出,2000—2020 年中度风险面积所占比例最高,占区域总面积的 40% 以上,在 2000 年,极高风险区域面积较高,占总面积的 25.44%,到 2010 年,沙漠化风险逐渐减轻,极高风险区域面积减少到 19.55%,共减少 1 465.11 km<sup>2</sup>,主要是由于人为加强生态保护,封育后草地覆盖度增加,部分戈壁、沙地等未利用地得到有效的改良,降低了沙漠化风险。高度风险和中度风险区域面积变化不明显,低风险区域面积增加;至 2020 年,沙漠化风险变化趋势较为显著,极高风险区域面积持续减少,较 2010 年减少了 6.82%,共 1 659.19 km<sup>2</sup>,其中 277.91 km<sup>2</sup> 的未利用地得到有效的改善,降低了沙漠化风险,平均每年 16.59 km<sup>2</sup> 的极高风险区域得到有效的治理;低风险区域面积由 2000 年 13.49% 增加到 23.25%,整体上增加了 2 424.76 km<sup>2</sup>,部分建设用地、高覆盖草地的增加,降低了沙漠化风险;中度风险由 2000 年 43.99% 减少到 42.47%,共减少 379.38 km<sup>2</sup>,变化范围不明显。

西部和温泉县安格里格镇的东部均有分布;中度风险分布较为广泛,在博乐市和温泉县大部分地区均有分布;高度风险主要分布在精河县、温泉县极高风险和中度风险的过渡地带;低风险主要分布于博乐市。2000—2010 年博州沙漠化风险分布变化幅度较小。至

2010年,温泉县极高风险大面积转化为高度风险区,低风险区域面积显著增加,精河县基布克拉村、乌郎旦达盖村极高风险区面积均有减少。2020年博州沙漠化风险空间分布变化较为显著,其中精河县托托镇、基布克

拉村、乌郎旦达盖村以及艾比湖国家自然保护区极高风险区域面积均有减少,主要分布于乌郎旦达盖沙漠,艾比湖国家自然保护区以及阿拉山口市。博乐市和温泉县低风险面积均有所增加,呈片状分布。

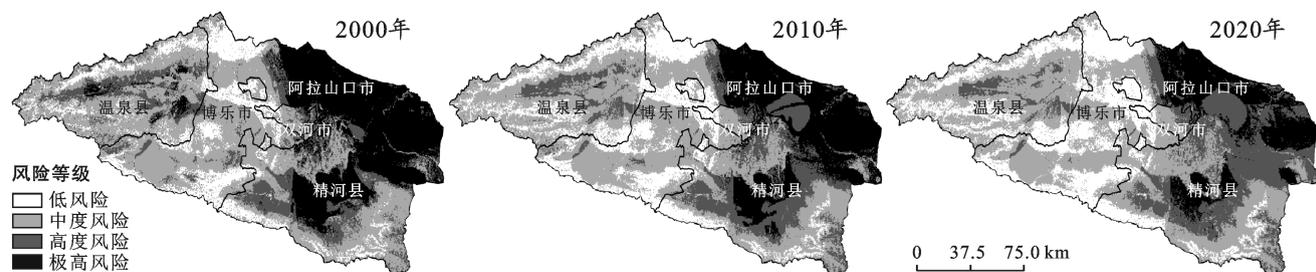


图 1 2000—2020 年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险等级

2000—2020 年期间,可以明显看出极高风险区域均主要集中在博州的东部,尤其是东北部风险较高,其原因在于该区域位于中国四大风口之一的阿拉山口,大部分土地是荒漠区、未利用地,植被稀疏,地表植被覆盖程度较低,受大风的影响,艾比湖湖底逐渐裸露,沙源面积扩大,造成其下游的精河平原甚至其西面的博乐市受到大风影响,导致风沙灾害频繁发生,沙漠化风险显著增加。高度风险区域分布范围较广,主要分布于东南部精河县牧场及西部地区温泉县牧场,由于牲畜数量的快速增加,过度啃食草场,致使植被高度降低、盖度减小及牲畜践踏,在一定程度上加剧了土地沙漠化风险。中度风险和低风险主要集中在博乐市及温泉县,由于人口数量的增长,耕地面积、建筑用地的急剧增加,这是导致该区域中度风险区域面积减少,低风险面积增加的主要原因。

综上所述,近 20 年来博州极高风险、中度风险区域面积逐渐减少,高度风险、低风险区域面积逐渐增加,说明博州沙漠化风险正在逐渐减轻,表明博州土地沙化治理与防护效果较显著。但是,高度风险等级与极高风险等级区域面积所占比例依然较高,未来还可能发生存在部分风险逆转,对于城市化、建筑用地等不合理的土地利用等方式都可能会加剧沙漠化风险程度。

### 3.2 2000—2020 年沙漠化风险转移

根据博州沙漠化风险转移矩阵(表 5)可知,2000—2010 年期间,博州沙漠化风险呈现降低趋势,主要表现为极高风险向高度风险区转移,转移面积为  $1\,592.67\text{ km}^2$ ,高度风险向中度风险转移,转移面积为  $1\,516.39\text{ km}^2$ ,主要是由于在人为干扰下,部分未利用土地经过有效治理得到很大改善,其中戈壁转移  $1\,655.76\text{ km}^2$ ,未利用土地大面积减少,低、中覆盖草地大面积增加,导致高风险逐级向低风险转移。中度

风险向低风险转移,转移面积为  $1\,629.66\text{ km}^2$ ,由于退耕还林还草等措施,使绿洲面积增加,降低了沙漠化风险。至 2020 年,极高风险和中度风险区域面积逐渐减少,高度风险和低度风险区域面积逐渐增加。高度风险面积的增加主要由极高风险逆转而来,共转移  $1\,673.25\text{ km}^2$ ,占高度风险转化面积所有来源的 31.2%,其中主要是位于艾比湖国家自然保护区、精河县托托镇大面积盐碱地、戈壁、裸岩石质地等未利用地的地表植被盖度显著增加,以及艾比湖国家自然保护区部分盐碱地通过注水等湿地生态恢复措施将其转化为水域,使湖体湿地面积增加,降低了沙漠化风险。低风险面积大部分来源是中度风险转化,中度风险转化面积为  $1\,440.83\text{ km}^2$ ,所占来源比例的 25%,主要是由于精河县、博乐市部分耕地逐渐转化为经济林、高覆盖草地,使低风险区域范围逐渐扩大。

由表 5 可见,2000—2020 年期间,博州沙漠化风险呈现稳定降低趋势,转移面积最多的风险等级为极高风险转移为高度风险,转移面积为  $2\,910.02\text{ km}^2$ ,占总面积的 12%,低风险区转移面积最少,主要向中度风险转移,共转移  $239.82\text{ km}^2$ ,中度风险主要向低风险转移,转移面积为  $2\,609.22\text{ km}^2$ ,向高度风险面积转移  $395.96\text{ km}^2$ ,高度风险逐渐向中度风险转移,共转移  $2\,085.44\text{ km}^2$ 。分析表明,2000—2020 年博州低风险面积呈明显增加趋势,极高风险区面积降低较为明显,而高度风险区面积略有增加,中度风险区面积略有减少,总体呈绿洲生态系统较为稳定、荒漠生态系统较为脆弱的态势。

综上分析,博州在研究时段内沙漠化风险之间主要是极高风险与高度风险两种风险程度之间的转化,同时极高风险与高度风险也在向中度风险与低风险等级转移,面积也在逐渐地分散,沙漠化风险程度在逐渐降低。

表 5 2000—2020 年博尔塔拉蒙古自治州沙漠化风险转移矩阵

km<sup>2</sup>

年份	风险等级	低风险面积	中度风险面积	高度风险面积	极高风险面积	总计
2000—2010	低风险	3 016.91	1 629.66	27.04	0	4 673.62
	中度风险	336.26	8 802.00	1 516.39	124.25	10 778.90
	高度风险	0.77	502.10	2 451.65	1 592.67	4 547.18
	极高风险	0	2.29	249.52	4 608.01	4 859.82
	小计	3 353.94	10 936.05	4 244.6	6 324.93	24 859.52
2010—2020	低风险	4 332.51	1 440.83	5.36	0	5 778.7
	中度风险	338.30	9 004.40	1 146.10	67.87	10 556.67
	高度风险	2.81	333.41	3 350.05	1 673.25	5 359.52
	极高风险	0	0.26	45.67	3 118.7	3 164.63
	小计	4 673.62	10 778.9	4 547.18	4 859.82	24 859.52
2000—2020	低风险	3 113.1	2 609.22	55.87	0.51	5 778.7
	中度风险	239.82	7 929.85	2 085.44	301.56	10 556.67
	高度风险	1.02	395.96	2 052.52	2 910.02	5 359.52
	极高风险	0	1.02	50.77	3 112.84	3 164.63
	小计	3 353.94	10 936.05	4 244.6	6 324.93	24 859.52

### 3.3 沙漠化风险等级的重心迁移

为了更好地监测博州沙漠化风险等级区域的变化趋势,基于 ArcGIS 软件平台的重心迁移模型对 2000—2020 年不同风险等级的中心坐标进行处理运算,并利用经纬网更明显地反映出偏移的方向(图 2)。从图 2 中可以看出,极高风险区域重心主要集中于研究区域的中东部博乐市及精河县,高度风险区与中度风险区重心均分布在研究区的中部博乐市与精河县交界处,低风险区重心主要集中于研究区的中西部温泉县。

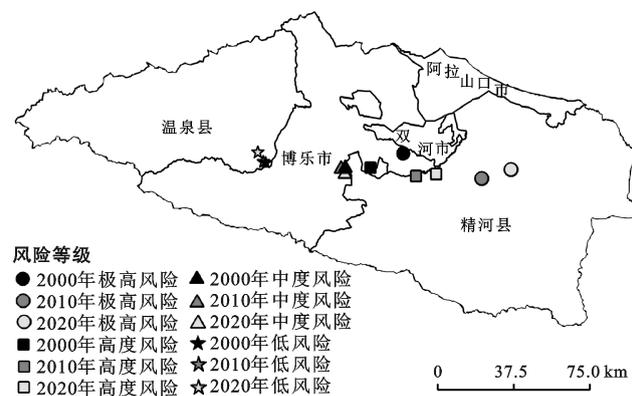


图 2 2000—2020 年博尔塔拉蒙古自治州沙漠风险等级重心迁移

由图 2 可以看出,2000—2010 年期间极高风险重心向东南方向迁移了 39.00 km,2010—2020 期间又向东北方向迁移了 15.12 km,从 3 个时间段来看,极高风险重心整体上向精河县东部迁移了 54.12 km,呈现逐渐向东北部艾比湖地区迁移的趋势;高度风险重心 2000 年位于博乐市紧邻精河县,在 2000—2010 年期

间向东南方向迁移了 23.27 km,2010—2020 年又向东北方向迁移了 9.99 km。可以看出,高度风险重心整体上逐渐向精河县迁移,共迁移了 33.03 km。随着时间的变化极高风险、高度风险往东部精河县,东北方向艾比湖地区移动尤为明显。中度风险与低风险的重心分布较为集中,偏移变化范围不大。在各种风险等级当中,高度风险与极高风险的重心迁移尤为明显,主要原因高度风险与极高风险在逐渐转化为其他风险,从而导致高度风险与极高风险的所占面积比例的变化。

综上所述,极高风险与高度风险重心逐渐向东、东北方向移动,这可能与近年来,精河县注重防沙固沙经济林树种的养护管理,如枸杞、桑树、葡萄等,以及开垦荒地改良未利用地土壤特性等措施,增加地面的植被覆盖度,提高经济的同时,改善了生态环境效益,同时增强了防沙治沙的效果,沙漠化风险也在逐渐减弱,总体上朝东北方向艾比湖地区逐渐退缩。艾比湖由于处于阿拉山口,风沙天气频繁发生,气候呈现出暖干化现象,土壤湿度下降、地表蒸发量大,导致地表植被退化、枯萎,为风力侵蚀地表创造了有利条件,加上人类活动影响,从而导致了沙漠化风险的进一步发展<sup>[30-31]</sup>。尽管阿拉山口在近 20 a 来都属于沙漠化极高风险区,但是由于大力种植防风固沙树种,设置草方格等增加地表粗糙度,增加绿地面积等一系列生态修复措施,年大风日数从 1977 年的 188 d,2004 年 79 d<sup>[32]</sup>减少到 2020 年的 35 d,风速逐渐受到控制,生态环境逐步得到改善,沙漠化风险等级也在逐渐降低。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本研究从沙漠化风险的时空分布、风险转移以及风险迁移 3 个方面对博州沙漠化风险进行分析,博州沙漠化风险总体呈现下降的趋势。部分高度风险、极高风险沙漠化土地得到有效的治理改善。整体来看,2000—2020 年研究区内沙漠化风险整体呈现改善状况,但未来风险还可能存在部分逆转趋势。一方面因为在城市扩张过程中,人口数量的增长导致建设用地急剧增加,耕地、林地等植被景观破碎化程度增加,可能会造成植被退化,进一步加剧沙漠化风险。另一方面在全球气候变暖的环境下,研究区西高东低的地势特点,气温由西向东逐渐升高,并且蒸发量远远大于降水量,导致生态用水严重不足,对地表植被生长保护及水资源开发利用均有不利影响,也可能导致沙漠化风险程度加深。从局部来看,极高风险主要分布于阿拉山口艾比湖地区,与现有成果相比<sup>[33-36]</sup>,艾比湖地区沙漠化现状及空间分布与上述研究成果一致。根据前人研究<sup>[37-38]</sup>显示,气候变化和不合理的人类活动共同导致了艾比湖地区的沙漠化风险程度的加剧。自 2000 年以来,为遏制沙漠化进一步发展,博州陆续开展退耕还林还草、封育禁牧,湿地生态修复等一系列沙化土地综合治理政策<sup>[30,39]</sup>,生态环境受到修复,地表植被盖度增加,极高风险与高度风险向中度风险与低度风险等级逐步迁移,沙漠化风险逐渐减轻。中度风险与低风险等级在空间变化上所涉及的范围边缘变化不明显,在这两种沙漠化风险中包含了建设用地以及水域等土地利用类型,这一类的土地利用类型在一定情况下改善了周边人类所生存的环境状况并带动了经济的发展,与此同时人们的防沙治沙的理念也在增强,兴起了许多对沙漠化有一定治理作用的沙产业,这些产业在自身发展的同时对沙漠化发生了潜移默化影响。

### 4.2 结论

(1) 时空分布。博州土地沙漠化风险等级区域分布较为集中,以东部区域的沙漠化风险程度高于西部地区,研究时段内东北部阿拉山口艾比湖地区一直处于极高风险区域,东部精河县部分区域极高风险范围得到控制,面积明显缩小,区域内以高度风险分布为主,西部温泉县极高风险、高风险区域逐渐过渡为高风险及中度、低风险,中部博乐市低风险面积增加,沙漠化风险逐渐趋于稳定。

(2) 风险转移。博州沙漠化风险总体上呈现稳定逆转的变化趋势,变化趋势较为明显。主要是以极

高风险向高度风险转移,高度风险向中度风险转移,中度风险向低风险转移的方式呈现,其中极高风险面积共减少 3 160.30 km<sup>2</sup>,平均每年 125 km<sup>2</sup> 的极高风险区域得到有效治理,大面积未利用地逐渐转化为耕地、草地及建设用地,极高风险区域范围逐渐衰退,低风险区域范围逐渐扩张,面积也在逐渐地分散。表明博州沙漠化治理成效显著。

(3) 风险迁移。沙漠化风险土地重心由东向西依次是极高风险区、高度风险区、中度风险区、低风险区。高度风险与极高风险重心主要分布在博乐市与精河县交界处并且逐渐向精河县东部迁移,中度风险、低风险主要分布在研究区中部博乐市同精河县、温泉县交界处,变化趋势不明显。通过重心迁移模型对土地沙漠化风险等级的分析,可以更好地监测并进行及时控制。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王涛,朱震达.我国沙漠化研究的若干问题(I):沙漠化的概念及其内涵[J].中国沙漠,2003,23(3):209-214.
- [2] 郭泽呈,魏伟,石培基,等.中国西北干旱区土地沙漠化敏感性时空格局[J].地理学报,2020,75(9):1948-1965.
- [3] Mouat D, Lancaster J, Wade T, et al. Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1997,48(2):139-156.
- [4] 王涛,宋翔,颜长珍,等.近 35 a 来中国北方土地沙漠化趋势的遥感分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1351-1356.
- [5] 薛娴,王涛,吴薇,等.中国北方农牧交错区沙漠化发展过程及其成因分析[J].中国沙漠,2005,25(3):320-328.
- [6] Ladisa G, Todorovic M, Liuzzi G T. A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2012,49:103-113.
- [7] Chen Qiuying, Liu Jingling. Development process and perspective on ecological risk assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(5):239-245.
- [8] 殷贺,王仰麟,蔡佳亮,等.区域生态风险评价研究进展[J].生态学杂志,2009,28(5):969-975.
- [9] 张锋,陈伟强,马月红,等.基于景观结构的黄河沿岸土地利用生态风险时空变化分析:以河南省为例[J].水土保持通报,2021,41(2):250-257.
- [10] la Rosa D, Martinico F. Assessment of hazards and risks for landscape protection planning in Sicily [J]. Journal of Environmental Management, 2013, 127: S155-S167.
- [11] 李潇然,李阳兵,韩芳芳.基于土地利用的三峡库区生态屏障带生态风险评价[J].水土保持通报,2015,35(4): 188-194.

- [12] 丁文广,王丽娜,耿怡颖.甘肃环县沙漠化时空演变及风险性预测分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2020,56(01):48-55.
- [13] Dasgupta A, Sastry K L N, Dhinwa P S, et al. Identifying desertification risk areas using fuzzy membership and geospatial technique: A case study, Kota District, Rajasthan [J]. *Journal of Earth System Science*, 2013, 122(4):1107-1124.
- [14] Kairis O, Kosmas C, Karavitis C, et al. Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: Types of degradation, causes, and implications for management [J]. *Environmental Management*, 2014, 54(5):971-982.
- [15] 苏颖君,张振海,包安明.艾比湖生态环境恶化及防治对策[J].干旱区地理,2002,25(2):143-148.
- [16] 李虎,陈冬花,慈龙骏,等.新疆艾比湖地区土地荒漠化时空格局的变化[J].中国水土保持科学,2008,6(4):28-32.
- [17] 曾小箕,丁建丽,樊亚辉.新疆艾比湖地区土地沙漠化时空演变及其成因[J].水土保持通报,2014,34(2):287-292.
- [18] 王小平,张飞,李晓航,等.艾比湖区域景观格局空间特征与地表水质的关联分析[J].生态学报,2017,37(22):7438-7452.
- [19] 坤杜孜·萨塔尔,吕光辉,蒋腊梅,等.艾比湖荒漠植物物种多度分布格局的尺度效应[J].干旱区研究,2020,37(5):1273-1283.
- [20] 周驰,何隆华,杨娜.人类活动和气候变化对艾比湖湖泊面积的影响[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(2):121-126.
- [21] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5):1111-1117.
- [22] 彭文甫,王广杰,周介铭,等.基于多时相 Landsat 5/8 影像的岷江汶川—都江堰段植被覆盖动态监测[J].生态学报,2016,36(7):1975-1988.
- [23] Benabderrahmane M C, Chenchouni H. Assessing environmental sensitivity areas to desertification in Eastern Algeria using Mediterranean desertification and land use “MEDALUS” model [J]. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*, 2010, 1(1):5-10.
- [24] 岳喜元,左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地沙漠化风险评价[J].中国沙漠,2018,38(1):8-16.
- [25] 沙占江,曾永年,李玲琴,等.土地沙漠化动态监测的遥感与 GIS 一体化探讨:以龙羊峡库区为例[J].干旱区地理,2000,23(3):274-278.
- [26] 柳蓉薇,汪普庆.基于层次分析法的农产品供应链风险分析[J].农村经济与科技,2021,32(1):115-117.
- [27] 武秋杰,吕振福,曹进成,等.基于层次分析法的矿产资源节约集约利用水平评价[J].中国矿业,2021,30(1):33-39.
- [28] 周利军,张雪萍,陈设.扎龙自然保护区土地利用变化与生态风险评价[J].自然灾害学报,2009,18(2):186-190.
- [29] Weiske A, Benckiser G, Herbert T, et al. Influence of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34(2):109-117.
- [30] 萨依拉·胡斯满.新疆精河县草原生态保护奖补政策实施的效果分析[J].草食家畜,2019(3):56-61.
- [31] 田菊.阿拉山口市寒潮天气过程成因及影响[J].现代农业科技,2018(23):213-214.
- [32] 陈胜,辛渝.新疆阿拉山口地区大风气候特征[J].新疆气象,2005(3):12-13.
- [33] 樊亚辉.艾比湖区域近 20 a 土地沙漠化变化特征及其发展趋势研究[D].新疆 乌鲁木齐:新疆大学,2011.
- [34] 谢霞,塔西甫拉提·特依拜.艾比湖流域绿洲化与荒漠化过程时空演变研究[J].中国沙漠,2013,33(1):38-45.
- [35] 邓煜霖,姜红涛,张飞,等.艾比湖流域 NDVI 垂直梯度变化特征[J].中国沙漠,2015,35(2):508-513.
- [36] 麻旭辉.艾比湖地区沙漠化驱动机制研究[D].新疆 乌鲁木齐:新疆大学,2009.
- [37] 钱亦兵,吴兆宁,张立运,等.新疆艾比湖地区沙尘天气的地表条件及土壤保持[J].资源科学,2006,28(5):185-189.
- [38] 赵学鹏,王媛媛,卢龙辉.基于生态系统服务价值的艾比湖流域绿洲生态用地安全格局构建:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].江苏农业科学,2021,49(14):213-219.
- [39] 毋兆鹏,金海龙,王范霞.艾比湖退化湿地的生态恢复[J].水土保持学报,2012,26(3):211-215.