

文章编号: 1004-4574(2007)05-0001-08

宁夏中北部风沙灾害潜在风险区域对比评价

马育军^{1,2}, 王静爱³, 李小雁^{1,2}

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875 2 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 3 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 从致灾因子危险性、孕灾环境稳定性和承灾体脆弱性三个方面对宁夏中北部地区风沙灾害的潜在风险进行了区域对比评价, 结果表明: (1) 银川市辖区西部、永宁县西部和惠农县为风沙灾害高风险区, 石嘴山市辖区、贺兰县、盐池县和吴忠市辖区风沙灾害潜在风险居中, 平罗县东部、陶乐县中部、灵武市西部风沙灾害的潜在风险相对较小; (2) 风沙灾害潜在风险是多种因素共同作用的结果, 某些因素的相互作用可在一定程度上减少风沙活动, 防治风沙灾害; (3) 通过对影响风沙活动及其危害的自然和人文因素的分析, 可对未来风沙灾害的潜在风险进行预测, 并为针对性防沙减灾政策的制定提供科学依据。在上述结论的基础上, 从可操作性角度提出了风沙灾害的防治建议。

关键词: 潜在风险; 区域对比; 风沙灾害; 宁夏中北部地区

中图分类号: S424

文献标识码: A

Regional comparative assessment of potential risk of wind sand disaster in north and middle parts of Ningxia

MA Yu-jun^{1,2}, WANG Jing-ai³, LIXiao-yan^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China 2 College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China 3 College of Geography & Remote Sensing Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract This paper assessed and compared the potential risk of wind sand disaster in the north and middle part of Ningxia from three aspects: the danger of hazard-formative factors, the stability of disaster-formative environment and the vulnerability of hazard affected bodies. The results indicate that: (1) The western municipal district of Yinchuan, western Yongning County and Huinong County are high-risk areas; the municipal district of Shizuishan, Helan County, Yanchi County and the municipal district of Wuzhong have the medium potential risk, while the risk in eastern Pingluo County, central Taole County and northern Lingwu County is low. (2) The potential risk of wind sand disaster is the integrated result affected by many factors and the interaction of different factors may reduce the wind sand activity and disaster. (3) The potential risk of wind sand disaster could be predicted by analyzing natural and human factors, so the scientific gist could be supplied for preventing the wind sand and reducing the disaster. Then based on above conclusions, relevant suggestions for the prevention and control of the wind sand disaster are put forward from the operable angle.

Keywords potential risk; regional comparison; wind sand disaster; north and middle part of Ningxia

收稿日期: 2007-05-16 修订日期: 2007-07-10

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目 (40425008); 国家重点基础研究发展规划课题 (2004CB720207)

作者简介: 马育军 (1981-), 男, 博士研究生, 主要从事水土资源利用、灾害风险评估研究。E-mail: myj3648@163.com

风沙活动是运动气流与地表物质之间气固二相流相互作用的过程,而风沙灾害则是指由风沙活动造成的人畜伤亡,村庄、农田、牧场埋压,交通通讯设施破坏,土地生物生产能力下降,大气环境质量恶化,各种运输机械和精密仪器毁损等共同组成的生态灾难^[1]。近年来,伴随全球暖干化以及人类不合理的水土资源利用方式,我国风沙灾害的危害日益严重、损失持续增加。为了有效防治风沙灾害,就必须对灾害成因展开系统研究、对灾害风险进行科学评价,并在此基础上提出针对性的防沙减灾对策。目前对风沙灾害的研究主要侧重于灾害现状及发展趋势分析^[2-5]、成因与防治对策研究^[6-10]、整治工程防沙减灾效应研究^[11-12],而对风沙灾害风险的评价却相对较少^[13-14],并且主要是针对已经发生的灾害事件进行评价。本文从影响风沙灾害风险性的自然和人文因素角度出发,综合考虑风沙活动过程中致灾因子的危险性、孕灾环境的稳定性和承灾体的脆弱性,对宁夏中北部不同区域风沙灾害的潜在风险进行对比评价,并在此基础上划分风沙灾害防治重点区域、提出相应防沙减灾对策。

1 中国北方风沙灾害现状

我国北方地区属全球四大沙尘暴区之一的中亚沙尘暴区,是全球现代沙尘暴的高活动区之一^[15]。在年际变化上,我国沙尘暴灾害反映了气候变化和区域环境演变过程^[2];从季节变化看,沙尘暴主要发生于春季^[16];日变化上,每天 13-18 时是沙尘暴天气发生的高峰期^[16]。

对于我国风沙活动的成因,相关研究结果表明^[16-17]:近年来风沙活动频繁与风沙灾害加剧是自然因素和人文因素共同作用的结果。首先受全球气候变暖影响,近 50 a 来我国北方大部分地区呈现暖干化现象^[18],气候干燥化加剧为风沙灾害的发生创造了重要环境条件;而随着人口增长和经济发展,淡水资源过度利用、滥垦、滥伐、滥牧、滥樵、滥挖等不合理的水土资源利用方式导致大量土地沙化,成为风沙灾害不断加剧的重要物质基础。

2 评价区域与数据来源

宁夏中北部地区位于中纬度干旱、半干旱气候带,西、北、东三面分别为腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和毛乌素沙地包围,这些沙漠是形成区域风沙天气的主要源地。本文研究区域主要指黄河以东的吴忠市辖区、灵武、盐池等市县以及银川平原的黄河以西部分,具体包括银川市辖区、永宁县、贺兰县、石嘴山市辖区、平罗县、陶乐县、惠农县、吴忠市辖区、盐池县和灵武市共 10 个县市(图 1)。评价区域是典型的温带大陆性气候区,年平均气温 5~10℃,多年平均降水量 300~677 mm^①。1999 年,研究区 10 个县市土地总面积为 1.95 万 km²,总人口 235.25 万人,国内生产总值 169.31 亿元^[19]。

本文主要从影响风沙活动及其危害的自然和人文因素角度出发,对区域风沙灾害的潜在风险进行区域对比评价,采用的数据及其说明如表 1 所示。



图 1 评价区域地理位置示意图

Fig 1 Location of the study area

① 宁夏回族自治区人民政府网站: [http //www. nx. gov. cn](http://www.nx.gov.cn)

表 1 风沙灾害潜在风险评价数据
Table 1 Assessment data of potential risk of wind sand disaster

数据名称	数据源	数据说明
行政区划	行政区划图	研究区域各县(市)行政区划
社会经济数据	统计资料	包括人口状况、农牧业生产、社会经济发展等
遥感影像数据	ETM 影像	解译生成研究区域土地利用图、植被覆盖图等
数字高程数据	1: 25万基本比例尺地形图	评价区域各点的数字高程值
土壤类型空间分布	1: 400万基础地理信息数据库	研究区域各种土壤类型的空间分布状况
气象数据	研究区 11个气象站点建站至 1999年统计数据	逐月的降水、风速风向等

3 风沙灾害潜在风险区域对比评价思路

3.1 潜在风险区域对比评价解析

“潜在风险”与“既成风险”相对应。“既成风险”评价主要是根据已经发生的灾害记录及造成的损失统计对灾害的危害进行评价,而“潜在风险”评价则是从影响灾害发生及其危害的自然人文因素角度出发,综合判别在现状条件下灾害发生的几率及其可能造成的危害大小。所以前者是对历史风险的总结,后者是对未来风险的预测。

对某一特定区域(或单元)的灾害潜在风险进行评价,就应准确回答该区域未来发生灾害的可能性大小,答案是“绝对量”;而对多个区域之间的灾害潜在风险进行对比评价,则是主要判别灾害发生可能性的区域差异,并确定防灾减灾重点地区,答案是“相对量”。

本文基于上述两点认识对研究区域不同评价单元风沙灾害的潜在风险进行对比分析。

3.2 评价原则

为了保证评价单元、评价指标时间上的一致性,评价过程遵循以下 3 个原则:

(1)单元可比:致灾因子、孕灾环境和承灾体 3 方面的评价单元尺度各不相同(分别为像元尺度、土壤单元尺度和县级行政单元尺度),为了能将上述 3 方面结果进行综合以得到最终评价结果,文章采用 GIS 图层叠加方式显示风沙灾害潜在风险空间分布特征。

(2)因素可比:评价指标量纲之间存在差异,导致指标原始数据之间缺乏可比性。为了使指标数值可比,采用极差标准化方法对所有指标数据进行处理(具体方法见后文叙述)。

(3)时间可比:文章以遥感影像数据时间(1999年)为基点,所有其他数据源都统一到这一时刻,社会经济数据采用 1999 年数据,气象数据采用各气象站点建站至 1999 年数据。

3.3 评价指标体系构建与权重确定

灾害系统是由孕灾环境、承灾体、致灾因子与灾情共同组成具有复杂特性的地球表层异变系统,而灾情则是孕灾环境、承灾体、致灾因子相互作用的产物^[20-23]。本文分别从致灾因子、孕灾环境和承灾体 3 个方面构建指标体系对研究区域风沙灾害潜在风险进行对比评价。

3.3.1 致灾因子危险性评价指标选取

风力和地表沙物质分别是风沙灾害的动力条件和物质基础,因此从这两方面选取指标。

风速是风力条件的主要表征指标,文章采用 GIS 分析方法将研究区域内部及其周边 11 个气象站点风速数据推广到整个评价区域,生成评价单元的大小与影像数据像元大小保持一致。

风沙灾害的沙物质来源主要包括两个方面,即本地沙和外来沙。本地沙通过遥感影像解译分类,对于每个像元如果其为沙地则赋值 1,否则赋值 0。外来沙首先通过对风向的统计确定主导风向,再将各评价单元与主导上风向沙源地的距离作为得分赋予相应的评价单元。

3.3.2 孕灾环境稳定性评价指标选取

主要从植被覆盖、土壤类型、干旱程度和地形影响四方面对孕灾环境稳定性进行评价。

植被覆盖:将每个评价单元(土壤单元)内的植被指数平均值作为其植被覆盖得分。

土壤类型:不同土壤类型由于团粒结构、有机质含量、粒径大小等存在差异导致对风沙灾害影响互不相同,文章根据各土壤类型引起风沙灾害的难易程度分别进行赋值(表 2)。

表 2 风沙灾害潜在风险评价土壤类型赋值

Table 2 Assignment of soil classification for potential risk assessment of wind sand disaster

土壤类型	灰漠土	灰钙土	灌淤土	棕钙土	灰色草甸土	龟裂土	绵土	风沙土
赋值	3	1.5	1	2	0.5	1.5	2.5	3

干旱程度: 通过空间插值后分别计算每个评价单元的平均降水量作为其干旱程度得分。

地形影响: 在山体背风坡按照距离递减原则将每个评价单元与山体之间的距离作为其受地形因素影响的得分。

3.3.3 承灾体脆弱性评价指标选取

在风沙活动强度一定情况下, 人口和社会生产的数量结构、空间布局将决定风沙灾害的危害大小。文章选取人口密度、耕地比例、单位面积载畜量和地均 GDP 作为区域承灾体脆弱性的评价指标, 并根据社会经济统计数据对各评价单元(行政单元)的指标得分进行计算。

3.3.4 风沙灾害潜在风险评价指标体系

在上述选取的各评价指标基础上, 构建区域风沙灾害潜在风险评价指标体系(图 2)。

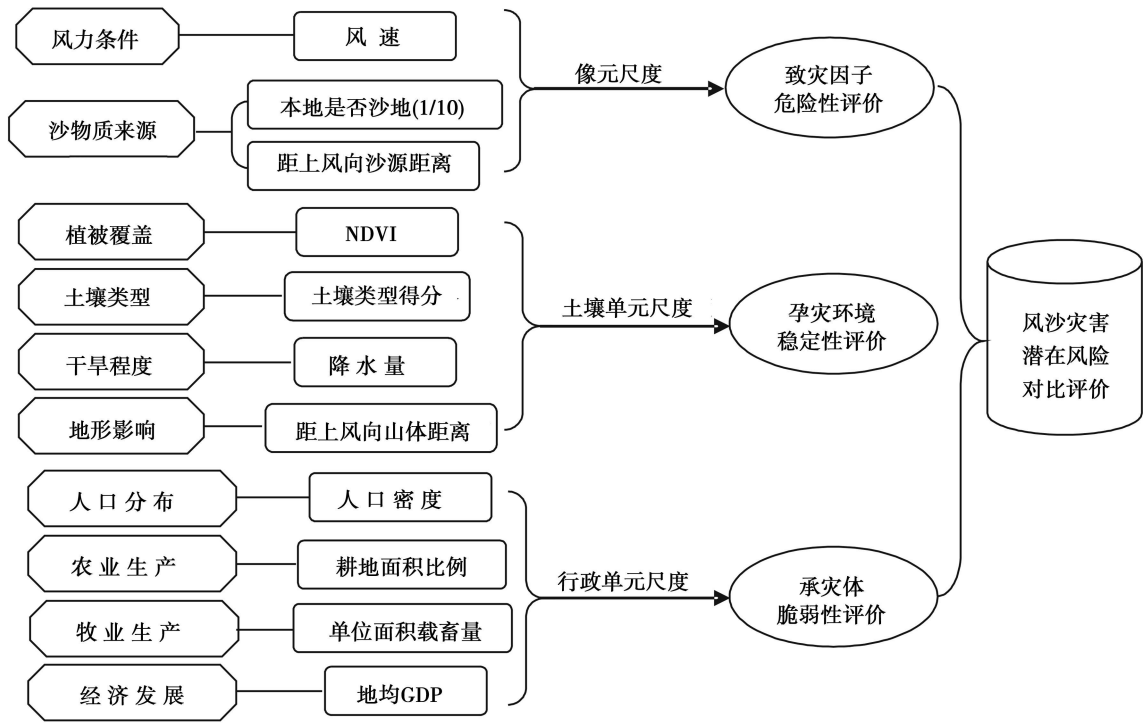


图 2 区域风沙灾害潜在风险评价指标体系

Fig 2 Index system for potential risk assessment of wind sand disaster

3.4 评价指标权重确定

上述各评价指标对风沙灾害发生几率及其可能造成危害大小的影响程度存在差异, 因此有必要对评价指标赋予权重。本文主要是对风沙灾害潜在风险进行区域对比评价, 在致灾因子危险性、孕灾环境稳定性和承灾体脆弱性 3 方面分别评价的结果基础上通过 GIS 叠加分析即可清晰显示最终评价结果; 而三者内部各指标之间相对重要性的比较, 通过综合分析认为同一评价项目内(致灾因子危险性评价、孕灾环境稳定性评价、承灾体脆弱性评价)各评价指标对评价目标的影响程度相似, 因此分别赋予相同的权重。

3.5 评价方法选择

3.5.1 数值标准化

将所选 11 个评价指标的原始数值(得分)按照下式进行极差标准化:

$$\begin{cases} x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} (x_{ij} \text{ 为正向指标}) \\ x'_{ij} = \frac{x_{i\min} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}} (x_{ij} \text{ 为负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式中 x_{ij} 和 x'_{ij} 分别为第 i 个评价指标对应的第 j 个评价单元的原始数据值和标准化之后的数据值, $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 分别为第 i 个评价指标对应的所有评价单元中最大和最小的原始数据值。

为了便于分析,式(1)中对正向指标和负向指标采用不同公式进行标准化,所谓正向指标是指随着该指标值的增大风沙灾害潜在风险随之增大(例如风速),而负向指标是指随着该指标值的增大风沙灾害潜在风险随之减小(例如植被覆盖率)。

标准化后得到的各指标对风沙灾害潜在风险的影响得分均介于 0~1 之间,并且分值越高说明发生风沙灾害的可能性或引起风沙灾害的危害性越大。采用这种方法进行标准化处理既便于评价单元、评价指标之间相互比较,也避免了人为分级处理造成的原始信息丢失和数据的不连续。根据标准化之后的指标得分,既可以针对每个影响因素判别风沙灾害潜在风险的大小,也可以通过指标分值累加判断各评价单元风沙灾害潜在综合风险的大小。

3.5.2 GIS 叠加分析

对致灾因子、孕灾环境和承灾体 3 方面分别进行评价时,通过 GIS 运算功能,综合考虑各评价指标权重赋值,按照式(2)计算各评价单元对应的同一评价项目所有指标综合得分。

$$y_i = \sum_{j=1}^n a_j \cdot x_{ij} \quad (2)$$

式中, y_i 表示第 i 个评价单元某一评价项目综合得分, a_j 表示第 j 个评价指标权重赋值, x_{ij} 表示第 i 个评价单元对应的第 j 个评价指标单项得分, n 为某一评价项目包含的评价指标数目。

在以上 3 方面评价结果基础上,通过 GIS 叠加分析进行风沙灾害潜在风险分区,确定风沙活动防治重点地区并提出针对性的风沙灾害减缓对策。

4 区域风沙灾害潜在风险评价结果分析

4.1 致灾因子危险性评价结果分析

风向统计结果(图 3)表明:评价区域内盛行西北风,全年 NNW, NW, WNW 3 个风向发生频率之和达 56% 以上,所以在确定引起风沙灾害的外来沙源过程中主要考虑西北方向巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠的影响。

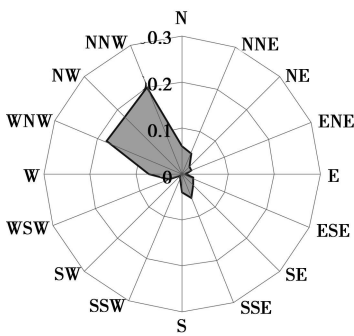


图 3 评价区域风向统计分布图

Fig 3 Statistics distribution of wind direction in assessed area

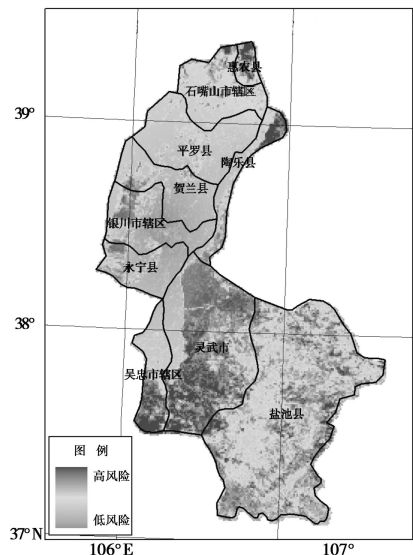


图 4 致灾因子危险性评价结果分布图

Fig 4 Distribution of hazard assessment result for hazard-formative factors

通过对指标数据的标准化和GIS运算,得到致灾因子危险性潜在风险评价结果(图4)。

评价结果表明:受风力条件和地表沙物质综合影响,致灾因子危险性空间分布存在区域差异。致灾因子高风险区主要分布在吴忠市辖区南部、灵武市东部、盐池县几乎全部、陶乐县东北部、惠农县大部、银川市辖区西部以及永宁县西部。结合致灾因子危险性影响因素的空间分布特征可知,上述地区风险较高的原因互不相同:吴忠市、灵武市、盐池县风险较高主要是因为地表多被沙物质覆盖,本地沙源丰富;陶乐县北部和惠农县风险较高既与这两个地区风速较大密切相关,也因为深受北部、西北部沙漠的影响;银川市辖区西部和永宁县西部风险较高是本地丰富沙物质与外来沙源共同作用的结果。

银川平原河西部分致灾因子危险性潜在风险相对较小,主要因为该区域是传统黄灌区,灌溉农业发达,地表沙物质较少;同时受贺兰山阻挡,风速较小,外来沙源也难以进入,所以风沙灾害发生的可能性明显降低,贺兰山成为区域减缓风沙灾害的天然屏障。

4.2 孕灾环境稳定性评价结果分析

从植被覆盖、土壤类型、干旱程度和地形影响四个方面对研究区域孕灾环境稳定性潜在风险进行综合评价,结果如图5。

评价区域内孕灾环境稳定性潜在风险由东南向西北逐渐增大,这与降水空间分布规律一致,说明气候干燥对风沙灾害的发生具有促进作用。灵武市北部与惠农县全境孕灾环境稳定性潜在风险尤为突出主要是因为这两个区域表土有机质含量低、土壤粒径小,易于扬沙起尘引起风沙灾害。陶乐县东北部植被覆盖过低,增加了风沙活动可能性,风沙灾害潜在风险上升。

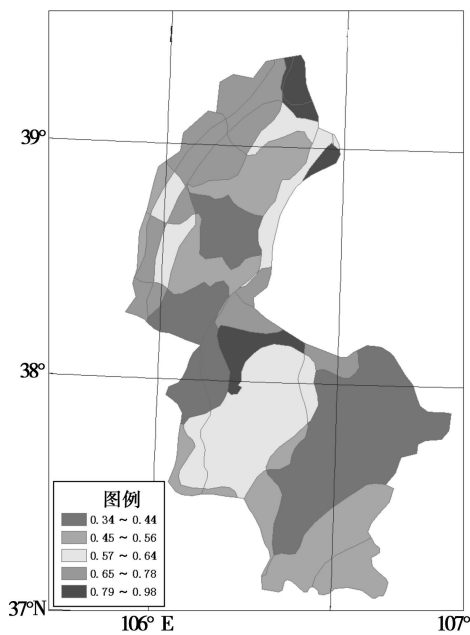


图5 孕灾环境稳定性评价结果分布图

Fig 5 Distribution of assessment result for disaster-formative environmental stability

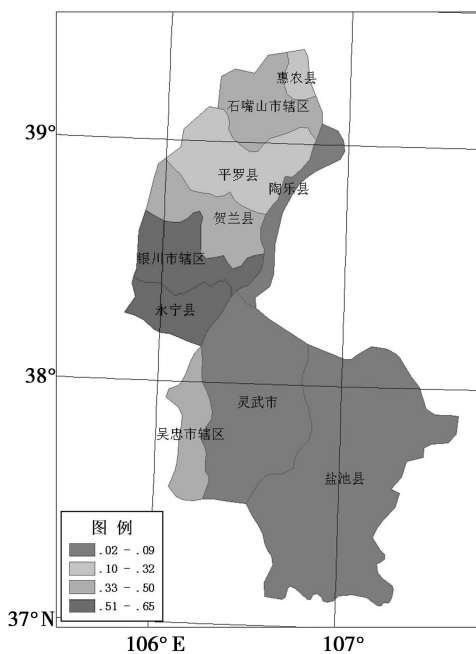


图6 承灾体脆弱性评价结果分布图

Fig 6 Distribution of assessment result for vulnerability of hazard-affected body

4.3 承灾体脆弱性评价结果分析

综合考虑评价区域内人口分布、农牧业生产和社会经济发展现状,对各县级行政单元的承灾体脆弱性进行评价,结果(图6)表明:承灾体脆弱性高风险区主要分布于银川平原地区,并且城市地区潜在风险明显高于农村地区,这与城市地区人口聚集、社会财富集中密切相关,说明城市地区应当成为防灾减灾重点地区;而陶乐县、灵武市和盐池县由于地广人稀,并且沙地大面积分布导致本区农牧业生产相对较少,所以仅从承灾体脆弱性角度看,这3个县是所有评价单元中潜在风险最小的地区。

4.4 区域风沙灾害潜在风险综合评价结果分析

在对致灾因子危险性、孕灾环境稳定性和承灾体脆弱性潜在风险分别评价的基础上,将上述评价结果进行GIS叠加分析得到整个区域风沙灾害潜在风险综合评价结果(图7)。

由图 7 可知: 银川市辖区西部、永宁县西部和惠农县是风沙灾害高风险区, 应当成为防沙减灾重点地区。银川市辖区西部和永宁县西部是整个评价区域中人口最集中、经济最发达的地区, 因此风沙活动可能造成的损失也最大; 而地表沙物质丰富、邻近西部沙漠、缺乏屏障保护等都进一步增大了这两个区域风沙灾害的潜在风险。惠农县位于研究区域最北部, 受冷高压影响常年风速明显大于其他地区, 同时地表多被沙地覆盖并紧邻北方沙漠, 土壤颗粒较小且有机质含量低, 这些因素为风沙灾害的发生提供了有利条件, 所以惠农县风沙灾害潜在风险也相对较高。

平罗县东部、陶乐县中部、灵武市西部风沙灾害潜在风险相对较小, 上述区域内植被覆盖相对较好, 人口与社会经济发展聚集密度较低, 并且受山体天然屏障保护致使以上 3 个地区发生风沙灾害的几率和可能造成的损失都相对较小。

石嘴山市辖区、贺兰县、盐池县和吴忠市辖区在各种风沙活动影响因素相互作用下, 风沙灾害潜在风险居中。人口和经济集聚、降水量稀少共同导致石嘴山市辖区和贺兰县风沙灾害潜在风险较大, 但这两个地区灌溉农业发达, 良好的地表覆盖一定程度上降低了风沙活动的几率。盐池县虽然地表沙物质丰富, 但由于区域内人口较少, 降水相对丰富, 发生风沙灾害的可能性较低。吴忠市辖区南部分布大量沙地, 为风沙灾害的发生提供了丰富的物质来源, 但本区土壤易蚀性较差和降水较为丰富在一定程度上减轻了风沙灾害的潜在风险。

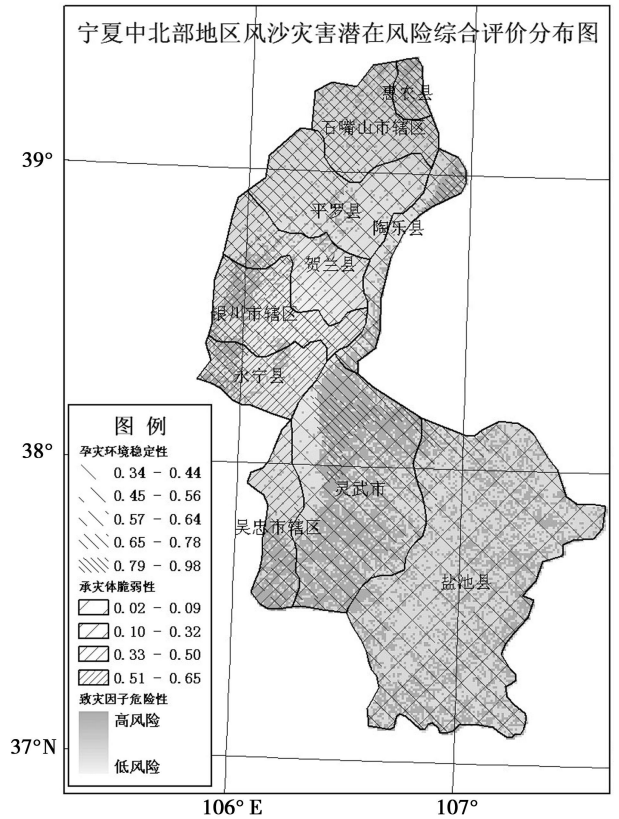


图 7 区域风沙灾害潜在风险综合评价结果分布图
Fig 7 Distribution of Integrated assessment results for potential risk of wind sand disaster

5 研究结论及风沙灾害防治建议

文章从致灾因子危险性、孕灾环境稳定性和承灾体脆弱性 3 个方面, 结合影响风沙活动的自然和人文因素对宁夏中北部地区的风沙灾害潜在风险进行了区域对比评价, 结论如下:

(1) 银川市辖区西部、永宁县西部和惠农县为风沙灾害高风险区, 石嘴山市辖区、贺兰县、盐池县和吴忠市辖区风沙灾害潜在风险居中, 平罗县东部、陶乐县中部、灵武市西部风沙灾害的潜在风险相对较小。

(2) 风沙灾害潜在风险是多种因素共同作用的结果, 某些因素的相互作用可在一定程度上减少风沙活动、防治风沙灾害。人口低密度聚集可以一定程度上减轻风沙灾害损失, 而在人口高度聚集的城市地区则可通过提高地表覆盖度、种植防护林带等降低风沙灾害风险。

(3) 通过对影响风沙活动及其危害的自然和人文因素的分析, 可对未来风沙灾害的潜在风险进行预测, 并为针对性防沙减灾政策的制定提供科学依据。

结合上文对于区域风沙灾害潜在风险的评价, 从可操作性角度提出以下防沙减灾建议:

(1) 通过植树种草或工程措施增加地表粗糙度, 减缓风沙活动, 防治风沙灾害。对于降水较多或灌溉发达地区, 可以通过植树种草等措施提高地表覆盖度, 而无法种植植被地区则可通过砾石覆盖、促进土壤结皮等方法降低地表可蚀性, 以减少本地沙物质来源进而减缓风沙活动。同时通过建造防护林带、草方格和沙障等, 不仅可以有效减少外来沙源影响, 而且可以减缓风速, 通过降低风沙活动动力条件起到防沙减灾作用。

(2) 加强水土资源利用的合理规划和科学管理, 保证生态用地用水数量。近年来人类活动对风沙灾害的加剧作用主要是由于对淡水资源过度利用引起生态用水短缺, 滥垦、滥伐、滥牧、滥樵、滥挖等不合理水土

资源利用方式引起,因此应从维护区域生态环境安全、促进社会经济可持续发展的高度出发,对区域水土资源利用进行合理规划,并按规划进行科学管理。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 史培军,严平,高尚玉,等.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71-77.
- [3] 潘耀忠,范一大,史培军,等.近50年来中国沙尘暴空间分异格局及季相分布-初步研究[J].自然灾害学报,2003,12(1):1-8.
- [4] 马力文,赵光平,陈楠,等.宁夏盐池地区沙尘暴发生特征的统计分析[J].中国沙漠,2004,24(2):218-222.
- [5] 张琰,陈远新.辽宁省土地沙漠化现状成因及发展趋势[J].中国地质灾害与防治学报,2000,11(4):73-77.
- [6] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.
- [7] 史培军,严平,袁艺.中国北方风沙活动的驱动力分析[J].第四纪研究,2001,21(1):41-47.
- [8] 杨根生,拓万全.关于宁蒙陕农牧交错带重点地区沙尘暴灾害及防治对策[J].中国沙漠,2002,22(5):452-465.
- [9] 袁丽侠.宁夏土地沙质荒漠化成因与防治对策研究[J].自然灾害学报,2002,11(2):132-137.
- [10] 周冰冰.北京的沙尘灾害及其控制技术[J].林业科技管理,2001,(4):55-58.
- [11] 赵光平,陈楠,王连喜.宁夏中部干旱带生态恢复对沙尘暴的降频与减灾潜力分析[J].生态学报,2005,25(10):2750-2756.
- [12] 张春来,邹学勇,靳鹤龄,等.狮泉河盆地第二期风沙灾害整治研究[J].中国沙漠,2001,21(2):157-163.
- [13] 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):1-7.
- [14] 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.
- [15] Pye k Aeolian Dust and Dust Deposits[M]. London Academic Press Inc Ltd, 1987. 113-126.
- [16] 朱福康,江吉喜,郑新江,等.沙尘暴天气研究现状和未来[J].气象科技,1999,(4):1-8.
- [17] 朱震达,吴正,刘恕.中国沙漠概论(修订版)[M].北京:科学出版社,1980.1-7.
- [18] 史培军,李晓兵,周武光.利用“3S”技术检测我国北方气候变化的植被响应[J].第四纪研究,2000,20(3):220-228.
- [19] 宁夏回族自治区统计局.宁夏统计年鉴(2000)[M].北京:中国统计出版社,2000.
- [20] 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.自然灾害研究专辑:37-41.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.