

科尔沁沙地沙漠化风险评价

岳喜元^{1,2}, 左小安¹, 赵学勇¹, 常学礼³, 连杰¹,
侯孟孜³, 张婧^{1,2}, 吕朋^{1,2}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 基于气象、土地利用类型与植被覆盖指数等数据,采用层次分析法与加权综合评分法评价了科尔沁沙地沙漠化风险。结果表明:1995、2000、2010年科尔沁沙地沙漠化风险指数平均值分别为0.420、0.428、0.437,16年来科尔沁沙地沙漠化处于高度风险水平。科尔沁沙地沙漠化风险等级在空间分布上表现为北部与西部沙漠化风险等级低,南部与东部为沙漠化高风险区。1995—2010年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险等级存在差异,开鲁县的沙漠化风险由高度风险转变为极高度风险等级,扎鲁特旗的沙漠化风险由中度风险转变为低度风险等级,敖汉旗、巴林右旗、科尔沁区与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级波动变化,其余旗县的沙漠化风险等级未变化。1995—2010年科尔沁沙地沙漠化中度、高度风险等级的面积分别减少了16 544.76、4 223.25 km²,低度、极高度风险等级的面积分别增加了16 544.76、4 223.25 km²。区域沙漠化风险的主要影响因素为年降水量、年均风速、植被覆盖指数、沙漠化土地面积与载畜量,植被覆盖指数增加有助于区域沙漠化风险的降低。

关键词: 沙漠化; 层次分析法; 风险评价; 科尔沁

文章编号: 1000-694X(2018)01-0008-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00133

中图分类号: Q958.113

文献标志码: A

0 引言

沙漠化是自然因素和人类活动综合作用的产物^[1],不仅对区域社会经济发展产生不利影响,而且易造成区域生态环境恶化^[2],因此受到国内学者的广泛关注。沙漠化研究集中于中国北方地区^[3],如科尔沁沙地^[3-4]与北方农牧交错区^[5-6],并且采用先进的遥感技术与数理统计方法。王涛等^[3]利用遥感影像数据对北方土地沙漠化进行了动态监测;常学礼等^[4]利用3S技术分析科尔沁沙地典型地区人工造林对沙漠化过程的影响;赵哈林等^[5]、薛娴等^[6]利用遥感与数理统计等方法分别研究了北方农牧交错区土地沙漠化与气候变化的关系、北方农牧交错区沙漠化发展过程与原因。上述研究对中国沙漠化动态监测与治理提供了重要的依据。

生态风险评价强调生态系统外部一些不确定性的风险因子对生态系统结构、功能、过程的影响,从区域尺度分析生态系统遭受的风险,对加强生态系统管理与保障区域生态安全具有重要的意义^[7-8]。

国内外学者基于风险评价的原理与研究目的,利用建立的指标体系开展了不同区域的生态风险评价研究^[9-13]。沙漠化风险评价是在生态风险管理的基础上发展而来,在内容上属于生态风险评价,方法与生态风险评价的方法相似^[14]。沙漠化风险的概念是生态风险定义在沙漠化研究中的扩展,根据现存土地、社会经济与管理等特点,沙漠化风险可以概括为退化与沙漠化土地的敏感性或脆弱性^[15]。由于影响沙漠化风险的自然与人为因子较多,因此识别与判断沙漠化风险主要因子对区域沙漠化防治具有重要的现实意义^[15-16]。

科尔沁沙地位于中国北方农牧交错区,区域生态环境脆弱,面临全球气候变化与区域人类活动的影响,该区生态与环境将面临挑战。目前对科尔沁沙地沙漠化的研究集中在沙漠化监测^[17]、沙地景观格局变化^[18-19]及气候变化方面^[5,20],很少涉及沙漠化风险评价。因此笔者利用层次分析法,对科尔沁沙地沙漠化风险进行了评价,旨在为区域生态与环境改善及可持续发展提供科学依据。

收稿日期: 2016-05-27; **改回日期:** 2016-09-13

资助项目: 国家自然科学基金项目(41622103,41571106,41271193);国家重点研发计划项目(2016YFC0500506);内蒙古自治区科技重大专项(Y439K71001)

作者简介: 岳喜元(1987—),男,安徽蚌埠人,博士研究生,从事干旱区生态学研究。E-mail: yuexiyuan393@126.com

1 研究区概况

研究区位于中国内蒙古自治区东部(41°41′35″—45°41′2″N, 117°49′55″—123°42′54″E, 海拔 120~800 m, 图 1), 地处东北平原向内蒙古高原的过渡地带^[16], 属于大陆性半干旱季风气候区。年平均气温 5.8~6.4 °C, 年降水量 343~451 mm, 70% 集中

于夏季^[21], 年潜在蒸发量 1 500~2 500 mm, 无霜期 90~140 d, 年均风速为 3.4~4.4 m·s⁻¹, 大于 8 级大风日数为 25~40 d^[5]。研究区地带性土壤类型主要为栗钙土、黑钙土与栗褐土, 但是由于沙漠化的影响, 部分已演变为风沙土。研究区原生植被为沙地疏林草原, 由于植被受到破坏, 原生植被退化为不同发育阶段的隐域型沙地植被^[5]。行政区域上隶属于

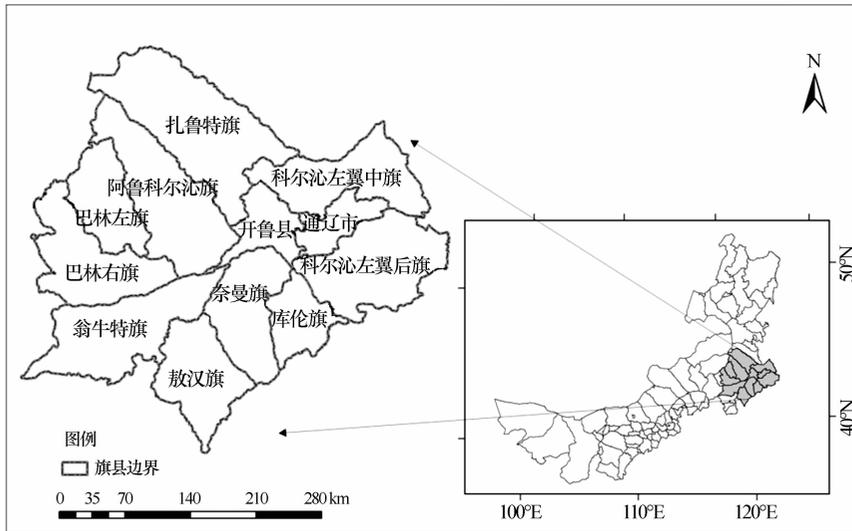


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the studied area

内蒙古通辽市与赤峰市。

2 研究方法

2.1 指标选取与数据来源

根据研究区的自然环境特征, 同时考虑到数据的准确性与代表性。在自然因素、景观要素、人为因素 3 个方面选取了 9 个指标, 构建了科尔沁沙地沙漠化风险评价指标体系(表 1), 并利用层次分析法

表 1 科尔沁沙地沙漠化风险评价指标体系与权重值

Table 1 Assessment indexes and weights of desertification risk in Horqin sandy land

目标要素	指标层	权重值
自然因素	年降水量	0.082
	温暖指数	0.042
	年均风速	0.081
景观要素	植被覆盖指数	0.189
	景观斑块密度	0.025
	沙漠化土地面积	0.282
人为因素	第一产业生产总值	0.082
	农业人口密度	0.143
	载畜量	0.074

确定了各指标的权重。

1995、2000、2010 年的降水、温暖指数以及风速数据来自中国气象数据共享服务网(<http://data.cma.gov.cn>), 数据包括研究区及其周边的气象站点, 共计 23 个。1995、2000、2010 年科尔沁沙地各旗县的第一产业生产总值、农业人口密度、载畜量(大牲畜与羊头数)数据来自《内蒙古统计年鉴》, 研究区 1995、2000、2010 年的土地利用类型遥感解译数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

2.2 数据处理

2.2.1 气象数据

基于研究区及其周边 23 个气象站点的年降水量、温暖指数与年均风速, 利用 ArcGIS9.3 中克里金插值法处理得到研究区缺损旗县气象站点的年降水量、温暖指数与年均风速数据。温暖指数(WAI)的计算公式如下:

$$WAI = \sum_{i=1}^n (t_i - 5) \quad (1)$$

式中: WAI 为温暖指数, 单位为 °C; t_i 为平均温度大

于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的第 i 个月的平均温度; n 为月平均温度大于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的月数。

2.2.2 土地利用类型提取

利用 ArcGIS9.3 结合研究区旗县的行政边界分别对 1995、2000、2010 年的土地利用类型遥感解译数据进行剪裁, 并采用 ArcGIS 统计功能得到不同时期研究区旗县的土地利用类型的面积与数量。

2.2.3 植被覆盖指数

植被覆盖指数能够很好地反映区域植被覆盖状况, 本文中的植被覆盖指数采用《生态环境状况评价

技术规范》(中华人民共和国环境保护行业标准 HJ/T192-2006) 中植被覆盖指数的权重及计算方法(表 2)。

$$\text{植被覆盖指数} = \frac{A_{\text{veg}} \times (0.38S_{\text{林地}} + 0.34S_{\text{草地}} + 0.19S_{\text{耕地}} + 0.07S_{\text{建设用地}} + 0.02S_{\text{未利用地}})}{S_{\text{区域}}} \quad (2)$$

式中: A_{veg} 为植被覆盖指数的归一化系数, $A_{\text{veg}} = 100/A_{\text{最大值}}$, 其中 $A_{\text{最大值}}$ 为指数归一化处理前的最大值, $S_{\text{林地}}$ 、 $S_{\text{草地}}$ 、 \dots 、 $S_{\text{区域}}$ 分别为林地、草地、 \dots 、区域的面积比例。

表 2 植被覆盖指数的权重

Table 2 Weights of the vegetation coverage index

	林地			草地			耕地		建设用地			未利用地			
	有林地	灌木林地	疏林地和其他林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	水田	旱田	城镇建设用地	农村居民点	其他建设用地	沙地	盐碱地	裸土地	裸岩石砾
分权重	0.6	0.25	0.15	0.6	0.3	0.1	0.7	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2
权重	0.38			0.34			0.19		0.07			0.02			

2.3 层次分析法

2.3.1 层次分析法

层次分析法是对指标定性与定量分析的方法,

能够很好地将复杂的目标结构进行量化, 并且在风险评价中得到了广泛的应用^[12,22]。

根据研究需求选取合适的指标并采用专家打分的方法确定指标的重要程度(表 3)。

表 3 两个指标相对重要程度赋值

Table 3 Values of relative significant between two indexes

ij 比较	极重要	非常重要	重要	稍重要	同样重要	稍次要	次要	非常次要	极次要
分值	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9

判断矩阵构造: 根据研究需要, 专家对指标 X_1 、 X_2 、 $X_3 \dots X_n$ 进行重要程度的比较, 得到判断矩阵。判断矩阵如下:

$$C = [C_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

选取 4 位专家构建的判断矩阵, 评价指标体系的权重值为 4 位专家的权重平均值(表 1)。

2.3.2 一致性检验

一致性检验是对得到的判断矩阵进行一致性检验, 以判断是否一致。一致性检验公式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中: CI 为一致性指标; λ_{\max} 为矩阵 C 计算的最大特征值; n 为判断矩阵的指标个数。当一致时, $CI=0$; 不一致时, $CI>0$ 。若 $CI/CR<0.1$ 则接受判断矩阵, 否则不接受, 其中, CR 为随机一致性指标, CR 值如表 4。本文 CI/CR 值分别为 0.061、0.098、0.099、0.099, 均小于 0.1, 通过一致性检验。

2.4 加权综合评价法

加权综合评分法以权重评价各因子的重要程度, 可以有效反映各因子在风险评价中的地位^[23]。加权综合平均法的公式如下:

$$R = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i \quad (5)$$

式中: R 为风险指数; x_i 为第 i 评价指标的值; ω_i 为

表 4 不同 n 值对应的随机一致性指标 CR 值

Table 4 Values of CR correspond to different n

n	3	4	5	6	7	8	9
随机一致性指标 CR	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

第 i 评价指标的权重。 R 值在 $[0, 1]$ 区间内, R 值越大, 则风险越高。

2.5 数据标准化

为了避免指标量纲不一致对评价结果产生的影响, 故本文采用极差标准化对评价指标进行标准化处理。根据指标与因子的关系, 采用正向指标与负向指标两种处理^[24]。若指标 x_i 数值越大, 反映的因子水平越高, 则为正向指标, 反之为负向指标。本研究中年降水量、植被覆盖指数与第一产业生产总值为负向指标, 其余指标为正向指标。极差标准化公式如下:

$$Y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (\text{正向指标}) \quad (6)$$

$$Y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (\text{负向指标}) \quad (7)$$

式中: Y_i 为标准化值, 在 $[0, 1]$ 区间内; x_i 为实际指标值; x_{\max} 、 x_{\min} 分别为实际指标中的最大值与最小值。

2.6 风险等级划分

为了反映研究区不同旗县的沙漠化风险程度, 根据对锡林郭勒草原荒漠化灾害风险等级的研究^[23]与本研究区的实际情况, 将风险程度划分为 4 级, 具体如表 5。

表 5 科尔沁沙地沙漠化风险等级划定

Table 5 Classification of desertification risk in Horqin sandy land

风险程度	极高度风险	高度风险	中度风险	低度风险
风险指数	>0.5	0.4~0.5	0.3~0.4	<0.3

3 结果分析

3.1 沙漠化风险特征

由表 6 可知, 1995 年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险指数 0.272~0.621, 平均 0.420, 研究区沙漠化风险为高度风险等级。沙漠化风险等级排序为奈曼旗>翁牛特旗>科尔沁区>开鲁县>库伦旗>科尔沁左翼后旗>扎鲁特旗>阿鲁科尔沁旗>敖汉旗>巴林右旗>科尔沁左翼中旗>巴林左旗。研究区南部翁牛特旗与东部奈曼旗、科尔沁区的沙漠化风险等级为极高度风险, 东部开鲁县、科尔沁左翼后旗和

库伦旗沙漠化风险等级为高度风险, 南部敖汉旗与北部扎鲁特旗、阿鲁科尔沁旗、巴林右旗和科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级为中度风险, 西部巴林左旗的沙漠化风险等级为低度风险(图 2)。极高度风险区、高度风险区、中度风险区、低度风险区分别占研究总面积的 21.91%、19.02%、53.05%、6.02%(图 3)。

2000 年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险指数 0.208~0.708(表 6), 平均值为 0.428, 研究区沙漠化风险为高度风险等级。沙漠化风险等级排序为奈曼旗>翁牛特旗>开鲁县>库伦旗>科尔沁左翼后旗>科尔沁区>敖汉旗>科尔沁左翼中旗>阿鲁科

表 6 科尔沁沙地各旗县沙漠化风险指数与风险等级

Table 6 Desertification indexes and grades of different counties in Horqin sandy land

旗县	1995 年		2000 年		2010 年	
	风险指数	风险等级	风险指数	风险等级	风险指数	风险等级
翁牛特旗	0.558	极高度风险	0.625	极高度风险	0.644	极高度风险
巴林左旗	0.272	低度风险	0.219	低度风险	0.285	低度风险
敖汉旗	0.347	中度风险	0.419	高度风险	0.360	中度风险
奈曼旗	0.621	极高度风险	0.708	极高度风险	0.626	极高度风险
开鲁县	0.482	高度风险	0.516	极高度风险	0.534	极高度风险
扎鲁特旗	0.395	中度风险	0.208	低度风险	0.200	低度风险
阿鲁科尔沁旗	0.367	中度风险	0.342	中度风险	0.374	中度风险
巴林右旗	0.345	中度风险	0.264	低度风险	0.355	中度风险
科尔沁区	0.533	极高度风险	0.455	高度风险	0.558	极高度风险
科尔沁左翼后旗	0.405	高度风险	0.480	高度风险	0.470	高度风险
科尔沁左翼中旗	0.308	中度风险	0.411	高度风险	0.396	中度风险
库伦旗	0.410	高度风险	0.484	高度风险	0.439	高度风险

尔沁旗>巴林右旗>巴林左旗>扎鲁特旗。其中,研究区南部翁牛特旗与东部奈曼旗和开鲁县的沙漠化风险等级为极高度风险,南部敖汉旗与东部科尔沁区、科尔沁左翼后旗、科尔沁左翼中旗和库伦旗的沙漠化风险等级为高度风险,西北部阿鲁科尔沁旗

的沙漠化风险等级为中度风险,北部扎鲁特旗与西部巴林左旗和巴林右旗的沙漠化风险等级为低度风险(图 2)。极高度风险区、高度风险区、中度风险区与低度风险区分别占研究总面积的 22.58%、34.95%、11.89%、30.57%(图 3)。

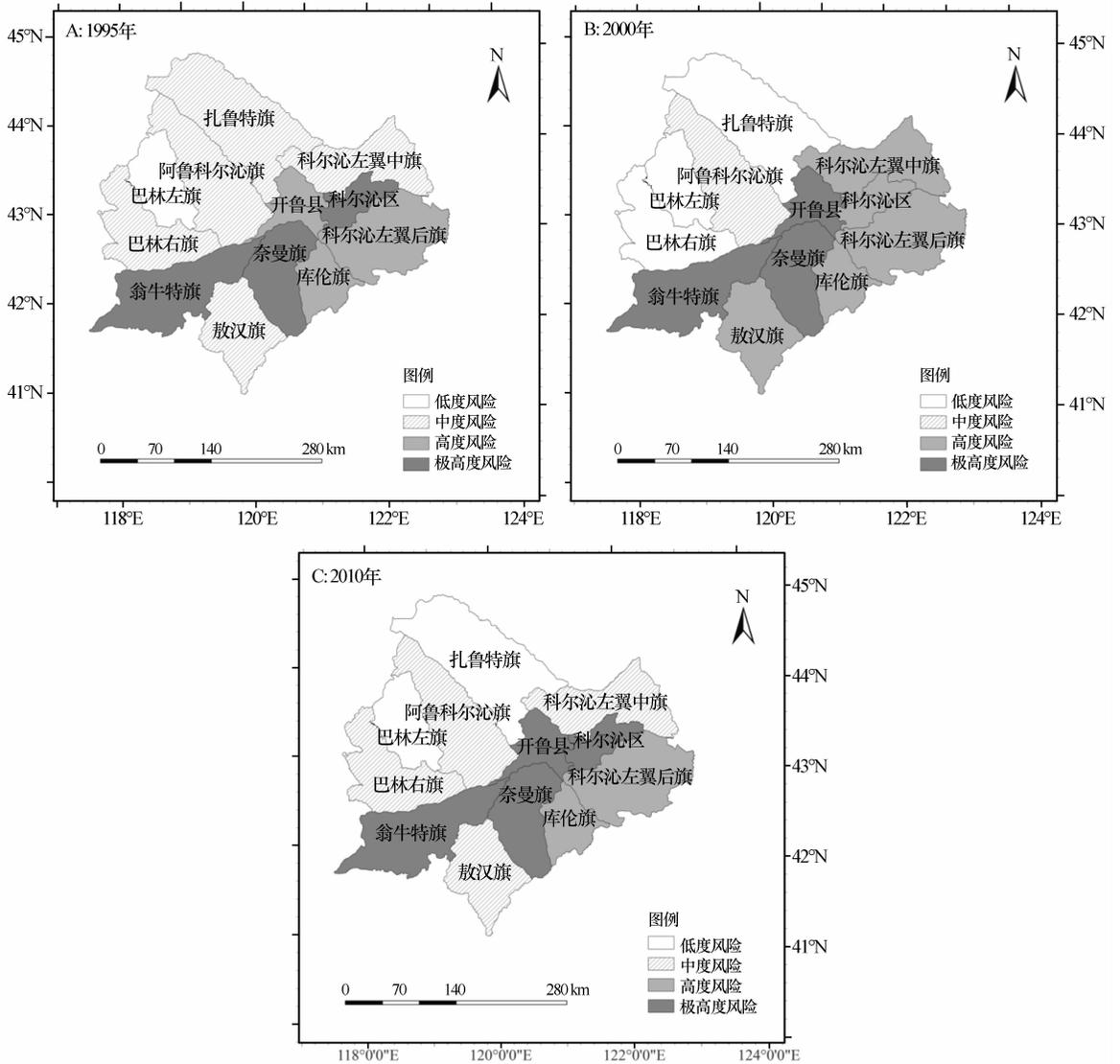


图 2 1995、2000、2010 年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险等级

Fig. 2 Desertification risk grades of different counties in Horqin sandy land

2010 年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险指数 0.200~0.644,平均值为 0.437(表 6),研究区沙漠化风险处于高度风险等级。沙漠化风险等级整体呈现:翁牛特旗>奈曼旗>科尔沁区>开鲁县>科尔沁左翼后旗>库伦旗>科尔沁左翼中旗>阿鲁科尔沁旗>敖汉旗>巴林右旗>巴林左旗>扎鲁特旗。其中,研究区南部翁牛特旗与东部奈曼旗、开鲁县和科尔沁区的沙漠化风险等级为极高度风险,占研究总面积的 25.84%;东部科尔沁左翼后旗、库伦旗的沙漠化风险等级为高度风险,占研究总面积的

15.09%;南部敖汉旗与西部阿鲁科尔沁旗和巴林右旗及东北部科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级为中度风险,占研究总面积的 37.63%;北部扎鲁特旗与西部巴林左旗的沙漠化风险等级为低度风险,占研究总面积的 21.44%(图 3)。

3.2 沙漠化风险变化

1995—2000 年科尔沁沙地沙漠化风险等级增加的旗县为敖汉旗、开鲁县与科尔沁左翼中旗,沙漠化风险等级降低的旗县为扎鲁特旗、巴林右旗与科

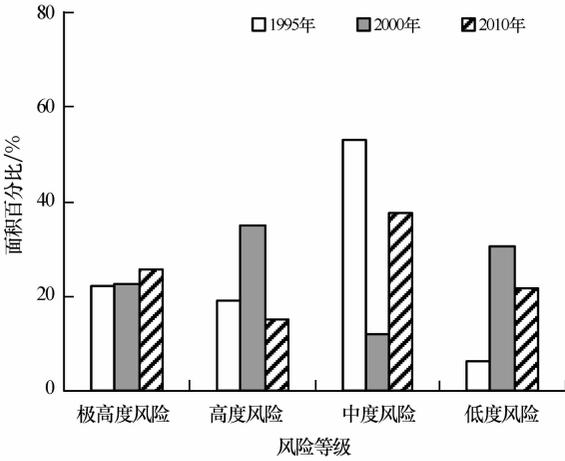


图 3 科尔沁沙地不同沙漠化风险等级区域的比例
Fig. 3 Percentage of different desertification risk grades in Horqin sandy land

表 7 1995—2010 年科尔沁沙地沙漠化风险等级面积与百分比

Table 7 Percentage and area of desertification risk grades in Horqin sandy land from 1995 to 2010

风险等级	1995 年		2000 年		2010 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
极高度风险	23 499.34	21.91	24 223.82	22.58	27 722.59	25.84
高度风险	20 410.54	19.03	37 498.94	34.96	16 187.30	15.09
中度风险	56 911.82	53.05	12 759.17	11.89	40 367.07	37.63
低度风险	6 455.57	6.02	32 795.35	30.57	23 000.32	21.44

阿鲁科尔沁旗、科尔沁左翼后旗与库伦旗的沙漠化风险等级未发生变化(表 6)。沙漠化极高度风险等级与低度风险等级区域面积增加,高度风险等级与中度风险等级区域面积减少(表 7)。

3.3 自然、人为因素及景观要素与沙漠化风险指数的关系

自然、人为因素以及景观要素与沙漠化风险指数的多元非线性回归分析表明,多元回归模型的决定系数 R^2 为 0.98, $P < 0.01$ (表 8),沙漠化风险指数的多元回归模型效果较好。其中,年降水量、年均风速、植被覆盖指数、沙漠化土地面积与载畜量是影响沙漠化风险指数的主要因子($P < 0.01$),其他因子对沙漠化风险指数的影响不显著($P > 0.05$)。

4 讨论

科尔沁沙地沙漠化风险等级在空间分布上表现为沙漠化低风险区位于研究区的北部与西部,沙漠化高风险区位于研究区的南部与东部,研究结果与科尔沁沙地沙漠化空间分布的研究结果基本一致^[25]。科

尔沁区,其余旗县的风险等级未变化(表 6)。1995—2000 年科尔沁沙地极高度风险、高度风险与低度风险等级区域面积分别增加了 0.68%、15.93%、24.55%,中度风险等级区域面积减少了 41.16%(表 7)。2000—2010 年巴林右旗与科尔沁区的沙漠化风险等级增加,敖汉旗与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级降低,其余旗县的沙漠化风险等级未变化(表 6)。2000—2010 年科尔沁沙地极高度风险与中度风险等级区域面积分别增加 3.26%、25.74%,高度风险与低度风险等级区域面积分别减少了 19.87%、9.13%(表 7)。

总体看,1995—2010 年开鲁县的沙漠化风险等级升高,扎鲁特旗的沙漠化风险等级降低,敖汉旗、巴林右旗、科尔沁区与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级波动变化,翁牛特旗、巴林左旗、奈曼旗、

表 8 沙漠化风险指数的多元非线性回归模型

Table 8 Multivariate nonlinear regression model of desertification risk index

系数项	非标准化系数	标准系数	P 值
常量	0.4159		0.014
年降水量	-0.0003	-0.2432	0.000
温暖指数	0.0005	0.0242	0.627
年均风速	0.0481	0.1844	0.005
植被覆盖指数	-0.0040	-0.5215	0.000
景观斑块密度	0.2569	0.0631	0.184
沙漠化土地面积	0.0001	0.6531	0.000
第一产业生产总值	0.0000	0.0038	0.963
农业人口密度	0.0005	0.1093	0.133
载畜量	5.2977	0.2634	0.001
R^2	0.98		
调整 R^2	0.95		
$F(P < 0.01)$	73.01		

尔沁沙地南部与东部是沙漠化土地面积广并且集中分布区^[25],区域气候暖干化、人口增长以及人类不合理活动的影响^[21]是导致该区沙漠化高度风险等

级的主要原因。研究区的北部与西部自然环境条件较好,人口密度低^[26],并且沙漠化土地面积小^[25],沙漠化风险发生的概率低,此区域沙漠化风险等级低。

科尔沁沙地经历了长期的农垦与人口集聚过程^[21,26],面对气候变化与区域人类活动的共同影响,沙漠化在不同研究时段的特点具有一定的差异性^[3],沙漠化风险等级呈现不同变化特征。从沙漠化风险等级占研究区总面积的变化看,1995—2000年与2000—2010年科尔沁沙地沙漠化极高度风险等级区域分别增加了724.48、3 498.77 km²(表7),1995—2000年沙漠化高风险等级区域增加了17 088.39 km²,2000—2010年沙漠化高风险等级区域减少了21 311.64 km²。由上述分析可知,1995—2010年科尔沁沙地沙漠化极高度风险程度存在增加的趋势,沙漠化高风险程度存在减少的趋势,研究区沙漠化风险等级变化上存在一定的区域差异,局部地区有所改善,但是科尔沁沙地沙漠化风险仍然为高度风险等级。

1995—2010年研究区不同旗县沙漠化风险程度变化存在差异性(表6)。总体看,1995—2010年开鲁县的沙漠化风险等级升高,扎鲁特旗的沙漠化风险等级降低,敖汉旗、巴林右旗、科尔沁区与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级波动变化,其余的沙漠化风险等级未发生变化(表6)。沙漠化风险等级增加的旗县主要位于沙漠化土地面积广并且人类活动较强的区域^[27]。开鲁县沙漠化风险增加的研究结果与于显双等^[27]对北方农牧交错带荒漠化遥感监测结果(1990—2007年开鲁县沙漠化呈恶化的趋势)基本一致,该区沙漠化土地面积的增加与气候的暖干化^[28-29]进一步加剧了沙漠化风险等级的提高。自2000年以来,扎鲁特旗积极实施退耕还林还草等生态保护工程,林地与草地面积增加,沙地面积减少^[28],该区域生态环境得到改善,并且载畜量减少在一定程度上减轻了人类不合理活动对土地沙漠化过程的影响^[21],降低了该区域沙漠化风险等级。1995—2010年敖汉旗与科尔沁左翼中旗沙漠化风险等级呈现中度风险—高度风险—中度风险等级的变化,这种波动变化主要与区域自2000年实施的退耕还林还草工程有关^[28],在自然环境背景下,人为因素对该区域沙漠化过程的消极影响转变为积极作用^[30-31]。研究表明1995—2000年科尔沁左翼中旗沙漠化呈现不断加剧的趋势,并且植被盖度高的沙

地面积减少,植被盖度低的沙地面积增加^[32],加上区域气候呈现暖干化的趋势^[27],导致1995—2000年科尔沁左翼中旗沙漠化风险等级提高。自2000年敖汉旗与科尔沁左翼中旗积极实施退耕还林还草与退耕还牧等生态保护政策,加强对区域生态环境保护与重建工作的力度,林地与草地面积增加,沙地面积减少^[28],沙漠化呈现逆转的趋势,载畜量降低也减轻了对区域天然植被的破坏^[21],对2000—2010年敖汉旗与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级降低具有促进作用。从沙漠化风险指数与自然、人为因素及景观要素的关系看(表8),年降水量、年均风速、植被覆盖指数、沙漠化土地面积与载畜量是区域沙漠化风险的主要影响因素,其他指标对沙漠化风险的影响小,并且降水量增加与植被覆盖指数的提高有助于区域沙漠化风险的降低。因此,从降低区域沙漠化风险的人为因素角度看,应当重视主要影响因素对沙漠化风险的影响,其中合理地退耕还林还草提高植被覆盖指数以及降低沙漠化土地面积与载畜量对沙漠化风险的降低具有积极的作用。

5 结论

1995、2000、2010年科尔沁沙地沙漠化风险指数平均值分别为0.420、0.428、0.437,研究区沙漠化整体处于高度风险水平。

1995—2010年科尔沁沙地各旗县沙漠化风险等级存在差异性,开鲁县的沙漠化风险等级升高,扎鲁特旗的沙漠化风险等级降低,敖汉旗、巴林右旗、科尔沁区与科尔沁左翼中旗的沙漠化风险等级波动变化,其余旗县的沙漠化风险等级未变化。

科尔沁沙地沙漠化风险等级的面积变化在不同阶段具有差异性,1995—2000年科尔沁沙地沙漠化中度风险等级的面积减少,极高度风险、高度风险与低度风险等级的面积增加;2000—2010年科尔沁沙地沙漠化高度风险与低度风险等级的面积减少,极高度风险与中度风险等级的面积增加。区域沙漠化风险的主要影响指标为年降水量、年均风速、植被覆盖指数、沙漠化土地面积与载畜量,其他指标对区域沙漠化风险的影响小。

参考文献:

- [1] Rubio J L, Bochet E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39: 113—120.

- [2] Zhao X Y, Wang S K, Luo Y Y, et al. Toward sustainable desertification reversion: a case study in Horqin Sandy Land of northern China [J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2015, 7(1): 23-28.
- [3] 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.
- [4] 常学礼, 蔡明玉, 张继平, 等. 科尔沁沙地典型地区人工造林对沙漠化过程的影响[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(4): 611-616.
- [5] 赵哈林, 张铜会, 崔建垣, 等. 近 40 a 我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(增刊): 1-6.
- [6] 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.
- [7] Chen Q Y, Liu J L. Development process and perspective on ecological risk assessment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34: 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] 张雅洲, 谢小平. 基于 RS 和 GIS 的南四湖生态风险评价[J]. *生态学报*, 2015, 35(5): 1371-1377.
- [10] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价[J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5523-5534.
- [11] 臧淑英, 梁欣, 冯仲科. 黑龙江大庆市生态风险评价研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(增刊 2): 58-62.
- [12] Salihoglu G, Karaer. Ecological risk assessment and problem formulation for lake Uluabat, a Ramsar state in Turkey [J]. *Environmental Management*, 2004, 33(6): 899-910.
- [13] Malekmohammadi B, Blouchi L R. Ecological risk assessment of wetland ecosystems using multi criteria decision making and geographic information system [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 41: 133-144.
- [14] 王永芳. 科尔沁沙地耕地沙漠化生态风险评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2012.
- [15] Kosmas C, Kairis O, Karavitis C, et al. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Methodological Approach [J]. *Environmental Management*, 2013, 54(5): 971-982.
- [16] Rubio J L, Bochet E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe [J]. *Journal of Arid Environments*, 1998, 39(2): 113-120.
- [17] Han Z W, Wang T, Yan CH Z H, et al. Change trends for desertified lands in the Horqin sandy land at the beginning of the twenty-first century [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 59: 1749-1757.
- [18] 左小安, 赵哈林, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地不同尺度上沙丘景观格局动态变化分析[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(5): 785-795.
- [19] 段翰晨, 王涛, 薛娴, 等. 科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局——以内蒙古自治区奈曼旗为例[J]. *地理学报*, 2012, 67(7): 917-928.
- [20] 张桂英, 王朝敏, 卞仁江, 等. 科尔沁沙地最典型地区 50 年气候变化分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(23): 287-290.
- [21] 王涛, 吴薇, 赵哈林, 等. 科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(5): 519-528.
- [22] 周利军, 张雪萍, 陈设. 扎龙自然保护区土地利用与生态风险评价[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(2): 186-190.
- [23] 佟哈斯毕力格. 锡林郭勒草原荒漠化灾害风险评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2013.
- [24] 卢晓宁, 洪佳, 王玲玲, 等. 复杂地形地貌背景区干旱风险评价[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 162-169.
- [25] 段翰晨, 王涛, 薛娴, 等. 基于 RS 与 GIS 的科尔沁沙地沙漠化时空演变[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(2): 470-477.
- [26] 乌兰图雅, 乌敦, 那音太. 20 世纪科尔沁的人口变化及其特征分析[J]. *地理学报*, 2007, 62(4): 418-426.
- [27] 于显双, 赵明, 陈凤臻, 等. 基于 GIS 的北方农牧交错带荒漠化遥感动态监测与成因分析——以内蒙古通辽市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(4): 107-111.
- [28] 张华, 佟文嘉, 王南, 等. 基于退耕还草背景的科尔沁沙地土地利用景观格局分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(6): 96-101.
- [29] 康文平, 刘树林, 段翰晨. 基于 MODIS 时间序列数据的沙漠化遥感监测及沙漠化土地图谱分析——以内蒙古中西部地区为例[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(2): 307-318.
- [30] 李爱敏, 韩致文, 许健, 等. 21 世纪科尔沁沙地沙漠化土地变化趋势[J]. *地理学报*, 2006, 9(61): 976-984.
- [31] 王娅, 周立华, 路慧玲, 等. 城镇化进程对沙漠化逆转趋势影响的动态计量分析——以宁夏盐池县为例[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(5): 867-877.
- [32] 包慧娟, 包国权, 田亮, 等. 科尔沁沙地沙漠化动态研究——以科尔沁左翼中旗为例[J]. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 2004, 35(2): 172-176.

Desertification Risk Assessment in Horqin Sandy Land

Yue Xiyuan^{1,2}, Zuo Xiaoan¹, Zhao Xueyong¹, Chang Xueli³, Lian Jie¹,
Hou Mengzi³, Zhang Jing^{1,2}, Lv Peng^{1,2}

(1.Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China)

Abstract: By using analytic hierarchy process and synthetic grade weighting process based on climate data, land use data and vegetation coverage index desertification risk in Horqin sandy land was assessment. Results showed that the average desertification risk index were 0.420, 0.428, 0.437 in the year of 1995, 2000, 2010, respectively. Desertification risk of Horqin sandy land was high grade in 1995 to 2010, and counties of low desertification risk grades distributed in the north and west, while high desertification risk grades distributed in the south and east. Desertification risk grades of different counties showed a discrepancy from 1995—2010. Desertification risk grade of Kailu County increased, while desertification risk grade of Zhalute Banner decreased, Aohan Banner, Balinyou Banner, Horqin District and Kezuozhong County showed a fluctuant change, the other counties had not change. Area of medium desertification risk grade and high desertification risk grade decreased by 16 544.76 km² and 4 223.25 km² from 1995 to 2010, while area of low desertification risk grade and extreme high desertification risk grade increased by 16 544.76 km², 4 223.25 km², respectively. The main factors that affect regional desertification risk were annual mean precipitation, annual mean wind speed, vegetation coverage index, area of sandy land and grazing capacity, and increase vegetation coverage index contribute to the decrease of desertification risk.

Key words: desertification; analytic hierarchy process; risk assessment; Horqin