

常亚斌,朱睿,肖生春,等.1980—2015年阿拉善盟沙地面积变化及其驱动因子[J].中国沙漠,2020,40(6):82–90.

# 1980—2015年阿拉善盟沙地面积变化及其驱动因子

常亚斌<sup>1</sup>,朱睿<sup>1</sup>,肖生春<sup>2</sup>,李雅培<sup>1</sup>

(1.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 730000; 2.中国科学院西北生态环境资源研究院 内陆河流域生态水文重点实验室,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**土地沙化是干旱区、半干旱区重要的生态环境问题,探究土地沙化影响因子并厘清其驱动机制是防治土地沙化的基础。分析了1980—2015年阿拉善盟沙地面积变化特征,进而基于地理探测器模型分析了阿拉善盟沙地分布的自然、人为驱动因子,并探究了驱动因子两两间的相互作用强度,定量描述了各驱动因子对阿拉善盟沙地分布的影响程度,同时探测了2000—2015年阿拉善盟沙地变化的驱动因子影响力。结果表明:(1)以2000年为界限,阿拉善盟沙地面积先增后减。(2)影响阿拉善盟沙地空间分布的驱动因子,自然因子大于人为因子,且各驱动因子独立作用影响力小于两因子交互后共同作用。(3)沙化概率大于50%的区域为沙化风险区域。(4)2000—2015年阿拉善盟沙地变化的驱动因子中单因子影响力人为因子略微占优,但沙地的变化是人为与自然因子共同作用的结果。

**关键词:**沙地;驱动因子;地理探测器;阿拉善盟;土地利用变化

**文章编号:** 1000-694X(2020)06-082-09

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00074

**中图分类号:** P931.3

**文献标志码:** A

## 0 引言

土地沙化严重影响生态环境,可导致干旱、半干旱和半湿润地区土地的物理、化学和生物潜力降低<sup>[1]</sup>。中国荒漠化土地和沙地面积分别占国土面积的25%以上和16.7%以上<sup>[2]</sup>。土地沙化不仅侵占当地居民生存土地,也会威胁当地环境安全、经济增长,增加贫困风险。干旱半干旱地区植被稀疏、水资源稀缺、生态环境脆弱,土地沙化现象频发<sup>[3]</sup>。土地利用类型能够反映人类活动与自然环境的交互作用。以往自然资源与环境情况决定土地利用方式,但现代人类科技进步引起改造自然的能力上升,不合理的改造方式引起资源环境的不良变化,在土地覆盖方面表征为土地沙化<sup>[4]</sup>。从土地利用角度出发探究土地沙化空间分布特征,确定土地沙化空间分布及转换影响因子,是区域土地沙化防治的

基础。

学界对于土地沙化的原因争论不止,主要的观点集中在自然主导、人为主导、自然和人类活动共同作用这3种观点上<sup>[5-8]</sup>,多数学者认为土地沙化是气候变化和人类活动共同作用的结果。目前,常见的荒漠化驱动力研究有主成分分析法<sup>[9-12]</sup>、残差分析法<sup>[13]</sup>、层次分析法<sup>[14]</sup>、灰色关联度分析法<sup>[15]</sup>等。董玉祥<sup>[12]</sup>使用主成分分析法对中国半干旱地区6个典型沙漠化区域进行研究,发现中国半干旱区的现代沙漠化是自然与人为因素共同作用的过程。Xu等<sup>[13]</sup>使用残差分析法选取NPP为指标,利用NPP及潜在NPP与实际NPP值之差衡量了多尺度下鄂尔多斯高原沙漠化过程中人类活动与气候变化作用程度,发现1980—2000年沙漠化恢复的主因是气候因素。周华坤等<sup>[14]</sup>利用层次分析法以江河源区高寒草地为研究对象,研究了高寒草地的退化原因,

收稿日期:2020-03-19; 改回日期:2020-07-07

资助项目:国家重点研发计划重点专项(2016YFC0501001);兰州交通大学优秀平台支持项目(201806)

作者简介:常亚斌(1994—),女,甘肃庆阳人,硕士研究生,主要从事荒漠化及土地利用/覆被变化研究。E-mail: 0218722@stu.lzjtu.edu.cn

通信作者:朱睿(E-mail: zhur@mail.lzjtu.cn)

发现超载过牧和暖干化气候是导致高寒草地退化的主导因子。章予舒等<sup>[15]</sup>使用灰色关联度分析方法以沙漠化土地面积变化为母序列计算各驱动因子关联系数,发现疏勒河流域沙漠化最主要的驱动因素是牲畜头数。使用主成分分析法可以定量研究驱动因素的贡献率,通过主成分分析数据压缩技术将多个驱动因子变量转换为少数的综合指标,分析过程需要大样本数据,分析精度受数据完整性影响<sup>[16]</sup>。残差分析法则通过对比预测值与实际值的残差来判定人为因素的贡献度,数据以栅格单元储存,不受行政单位界限牵制,但需要调整预测参数,不同的评判基准也会引起误差<sup>[17]</sup>。层次分析法需要专家知识判断权重,权重的设定会影响分析结果。灰色关联度分析法是以关联系数确定驱动因子影响程度的分析方法,分析过程所需样本量小,但需要现行确定各项指标的最优值,主观性过强,且部分指标最优值难以确定。对荒漠化驱动因子的研究多是单驱动因子贡献分析,对于驱动因子的交互作用研究相对较少。地理探测器是一种从空间分异性角度来探测其背后驱动力的统计方法,最初用于探究公共健康问题<sup>[18]</sup>,目前也被广泛使用在土地利用<sup>[19]</sup>、地质<sup>[20]</sup>、植被覆盖<sup>[21]</sup>、气象<sup>[22]</sup>等方面。引入地理探测器可以从空间分层异质性定量探测影响沙地空间分布的驱动因子及各因子之间的交互作用,从而能够定量分析多因子交互作用程度。

阿拉善盟境内有巴丹吉林、腾格里、乌兰布和三大沙漠,是中国主要的沙尘源区,确定该区域的沙地时空分布格局及土地沙化驱动因子,对系统地厘清土地沙化过程及其驱动机制,对该区域科学合理进行沙漠化防治具有重要的现实意义<sup>[23]</sup>。本文将借助地理探测器对阿拉善盟1980—2015年的沙地时空格局演变进行探究,探求阿拉善盟沙化驱动因子。

## 1 研究区概况

阿拉善盟地处内蒙古自治区最西部,下辖阿拉善左旗、阿拉善右旗、额济纳旗,北与蒙古国毗邻,东南临宁夏回族自治区,西南临甘肃省,地理位置 $37^{\circ}24'—42^{\circ}47'N$ 、 $97^{\circ}10'—106^{\circ}53'E$ (图1),总面积23.69万 $km^2$ ,海拔900~1 400 m,西南高,东北低。气候干旱少雨,夏热冬寒,风大沙多,蒸发强烈,属于典型大陆性气候。年均气温 $6.8\sim 8.8^{\circ}C$ ,年降水量40~200 mm,雨季集中在7—9月,该段时间降水占

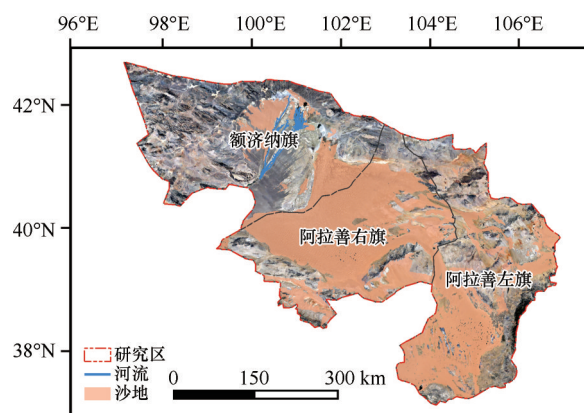


图1 阿拉善盟概况图

Fig.1 The sketch map of the Alxa League

全年降水量的59%~75%。境内主要河流为黄河与额济纳河(黑河下游),土地类型主要为荒漠、戈壁,分别占土地面积的40.6%、27.4%<sup>[11,24]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源及处理

阿拉善盟土地利用数据、DEM及矢量数据来源于资源环境数据云平台([www.resdc.cn](http://www.resdc.cn)),其中土地利用数据采用了1980、1990、2000、2010、2015年数据,并将原来的6个大类25个小类重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地、沙地、未利用地。

选取的驱动因子为9个自然因子(年均气温、年降水量、年平均风速、年日照时间、距水域的距离、土壤类型、海拔、NDVI、土壤湿度)和1个人为因子(人口密度)。其中人口密度来源于中国人口密度数据集;土壤类型利用《1:100万中华人民共和国土壤图》数字产品;年均气温、年降水量、年平均风速、年日照时间由中国气象数据网日值数据集插值获取;NDVI由美国国家航空航天局NOAA-NDVI3G数据集<sup>[25]</sup>获取,因采集年份受限,1980年NDVI数据使用1982年的代替;土壤湿度由欧洲空间局气象变化项目ESA-CCI土壤湿度数据集<sup>[26-28]</sup>获取;距水域的距离利用ArcGIS10.2空间分析模块中的欧氏距离处理相关矢量数据得到。所有数据均依据阿拉善盟行政区矢量边界进行裁剪,以3 km间距采样点采样。

地理探测器对于驱动因子的输入要求为类型量,需要将所选驱动因子连续变量离散化为类型量,离散化方法如表1所示。

表1 驱动因子及离散化方法  
Table 1 Driving factor and discretization method

类别	驱动因子	单位	描述	离散化方法	类型数量
自然因子	年均气温( $X_1$ )	°C	由克里金插值得到	自然断点法	8
	年降水量( $X_2$ )	mm	由克里金插值得到	自然断点法	8
	年平均风速( $X_3$ )	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	由克里金插值得到	自然断点法	8
	年日照时间( $X_4$ )	h	由克里金插值得到	自然断点法	8
	距水域的距离( $X_5$ )	km	由水域矢量数据进行欧式距离分析得到	自然断点法	8
	土壤类型( $X_6$ )	—	包括半淋溶土、钙层土、干旱土、漠土、初育土、半水成土、水成土、盐碱土、人为土、高山土、湖泊、河流、盐场/养殖场等	按类型	13
	海拔( $X_7$ )	m	由1 km分辨率DEM数据提取	自然断点法	8
	NDVI( $X_8$ )	—	由NOAA-NDVI3G数据集提取	自然断点法	10
	土壤湿度( $X_9$ )	$\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$	由ESA-CCI土壤湿度数据集提取	自然断点法	10
	人口密度( $X_{10}$ )	$\text{人}\cdot\text{km}^{-2}$	1 km网格的人口空间分布数据	几何间隔法	4

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 地理探测器

地理探测器是由王劲峰等<sup>[29]</sup>提出的探测空间分异性以及解释其背后驱动力的一组统计学方法,除了对单因子贡献率识别,也可以用于识别多因子两两之间的交互作用,主要包括分异及因子探测器、交互作用探测器、风险区探测器、生态探测器4个探测器。本研究使用前3个探测器。

因子探测器。用于探测各驱动因子 $X$ 对因变量 $Y$ 的空间分异性的解释力度,驱动因子的影响力由 $q_{D,U}$ 表示, $q_{D,U}$ 值的物理含义是驱动因子 $X$ 解释了100%的因变量 $Y$ 。计算公式如下:

$$q_{D,U} = 1 - \frac{1}{N\delta_u^2} \sum_{i=1}^m N_{D,i} \delta_{uDi}^2 \quad (1)$$

式中: $q_{D,U}$ 为影响因子探测力指标; $N_{D,i}$ 为次一级区域样本数; $N$ 为整个区域样本数; $m$ 为变量 $Y$ 或因子 $X$ 的次级区域个数; $\delta_u^2$ 为研究区所有样本值的方差; $\delta_{uDi}^2$ 为次一级区域内样本的方差。 $q_{D,U}$ 的取值范围为 $[0,1]$ , $q_{D,U}$ 值越大,驱动因子的影响力越大。

交互作用探测器。识别不同驱动因子之间的交互作用,评估两因子共同作用时对因变量 $Y$ 的作用是增强或减弱。通过判断 $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 与 $q(X_1 \cap X_2)$ 的关系,确定影响增强和减弱的类型。

风险区探测器。判断两个子区域间的属性均值是否有显著的差别,使用 $t$ 统计检验分区间因变量 $Y$ 的均值是否有显著性,也可以搜索在各驱动因子分区间因变量 $Y$ 的平均值,通常可以寻找均值的

高低值区域。

### 2.2.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是将土地利用变化类型转移面积按矩阵形式列出,可以反映不同用地类型之间的变化关系<sup>[30]</sup>。

$$S_{i,j} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $S_{i,j}$ 为研究期内第 $i$ 类土地向第 $j$ 类土地转化的面积; $n$ 为土地利用的类型数量; $i$ 为研究期初土地利用类型; $j$ 为研究期末的土地利用类型。

研究步骤包括:①对土地利用图层进行空间分析,利用土地利用转移矩阵确定出1980—2000年与2000—2015年沙地的变化趋势,判断沙地转移方向;②将土地利用类型划分为沙地与非沙地做二值化处理,得到沙地空间分布图;计算2000—2015年沙地变化区域变化率,得到沙地变化图;③将所选定的驱动因子进行离散化分类制图;④利用地理探测器,判断各驱动因子对1980—2015年沙地空间分布影响程度、各驱动因子对2000—2015年沙地变化的影响程度。利用交互作用探测器计算两两驱动因子之间的交互作用(表2)。利用风险探测器寻找平均值超过0.5的区域,该区域沙化风险概率超过50%。

## 3 结果与分析

### 3.1 沙地变化趋势

1980年沙地面积占阿拉善盟总面积的40.72%,



表 2 驱动因子交互作用的影响程度判断依据

Table 2 The judgment basis of influence degree of interaction between two driving factors

判断依据	交互作用
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1), (X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), (X_2))$	单因子非线性减弱
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

2000 年沙地面积占 40.93%,2015 年占 40.79%,表明该区域沙地在 1980—2000 年略有增加,2000 年以后略有减少(表 3)。20 世纪 70—90 年代,阿拉善盟人类活动增加,农林畜牧业发展,是造成 1980—2000 年沙地变化的主要原因<sup>[31]</sup>。2000 年后,在腾格里、巴丹吉林、乌兰布和等三大沙漠周边陆续建设了“三北”防护林工程、天然林保护工程、退耕还林工程并设立了森林生态效益补偿制度及造林补贴试点项目、沙地封禁保护补助试点等保护和建设项目<sup>[32]</sup>,与 2000 年以后沙地面积减少相对应。

表 3 1980—2015 年阿拉善盟沙地动态变化

Table 3 Sandy land dynamic change of the Alxa League from 1980 to 2015

土地利用类型	1980 年		2000 年		2015 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/%
耕地	314	0.13	385	0.16	460	0.19
林地	1 429	0.60	1 410	0.59	1 339	0.56
草地	27 116	11.32	25 453	10.62	25 890	10.80
水域	811	0.34	686	0.29	793	0.33
建设用地	109	0.05	127	0.05	390	0.16
沙地	97 593	40.72	98 083	40.93	97 753	40.79
未利用地	112 274	46.85	113 502	47.36	113 021	47.16

1980—2000 年,新转入的沙地集中在阿拉善盟东南部腾格里沙漠内部水域周围,转出的沙地面积较少,无明显集聚性。1980—2000 年沙地变化活跃区域集中在阿拉善左旗腾格里沙漠内部(图 2)。

根据土地利用转移矩阵,1980—2000 年,按照面积排序,沙地的转出土地利用类型依次为未利用地、耕地、草地,转入面积依次为草地、未利用地、水域(表 4)。

2000—2015 年,沙地转入转出活跃,且有一定集聚性,集中在阿拉善左旗与阿拉善右旗(图 3)。

该时期新转入的沙地集中在腾格里沙漠内部水域周围,与 1980—2000 年转入范围相似。转出的沙地集中在巴丹吉林、腾格里、乌兰布和沙漠边缘地区。阿拉善盟 2010 年后实施沙漠锁边工程<sup>[32]</sup>,集中在腾格里沙漠东南部边缘、乌兰布和西南部边缘,这与沙地转移至未利用地的范围一致。沙地的转入面积依次为未利用地、草地、水域、耕地、林地、建设用地,转出面积依次为未利用地、草地、林地、水域、耕地、建设用地(表 5)。

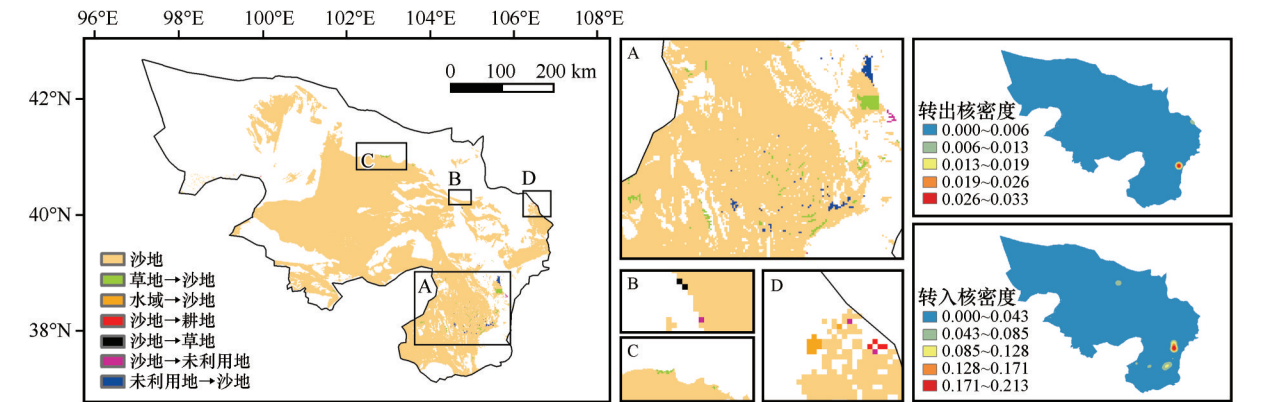


图 2 1980—2000 年阿拉善盟沙地动态变化

Fig.2 Sandy land dynamic change of the Alxa League from 1980 to 2000

表4 1980—2000年阿拉善盟土地利用转移矩阵(单位:km<sup>2</sup>)

Table 4 Transfer matrix of land use types of the Alxa League from 1980 to 2000 (Unit: km<sup>2</sup>)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	沙地	未利用地	1980年总计
耕地	306	0	2	0	3	0	3	314
林地	0	1 388	12	0	0	0	29	1429
草地	61	16	25 324	1	11	353	1 350	27116
水域	7	6	38	673	4	17	66	811
建设用地	0	0	0	0	109	0	0	109
沙地	4	0	2	0	0	97 563	24	97 593
未利用地	7	0	75	12	0	150	112 030	112 274
2000年总计	385	1 410	25 453	686	127	98 083	113 502	239 646

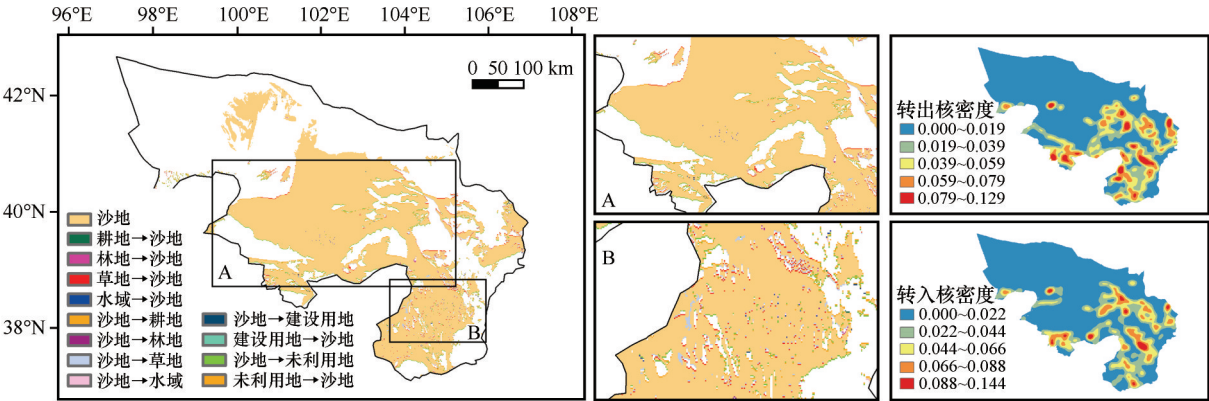


图3 2000—2015年阿拉善盟沙地动态变化

Fig.3 Sandy land dynamic change of the Alxa League from 2000 to 2015

3.2 沙地空间分布驱动因子影响力

各因子对2015年沙地分布影响程度的贡献程度NDVI(18.09%)>年日照时间(17.87%)>土壤湿度(17.13%)>年均气温(11.17%)>土壤类型(9.99%)>年降水量(8.04%)>距水域的距离(7.26%)>海拔(5.7%)>风速(4.69%)>人口密度(0.49%)。NDVI、

年日照时间、土壤湿度是影响沙地空间分布的主要决定因子,其次是年均气温、土壤类型、距水域的距离、年降水量、海拔、风速,人口密度对沙地空间分布影响较弱,不足1%(表6)。

1980—2000年各驱动因子 $q_{D,U}$ 值较为相似,2010—2015年各驱动因子 $q_{D,U}$ 值较为相似。除2015年土壤湿度的影响力略微下降,其余各年土壤湿度

表5 2000—2015年阿拉善盟土地利用转移矩阵(单位:km<sup>2</sup>)

Table 5 Transfer matrix of land use types of the Alxa League from 2000 to 2015 (Unit: km<sup>2</sup>)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	沙地	未利用地	2000年总计
耕地	231	4	30	5	10	26	79	385
林地	11	1 011	204	14	9	72	89	1 410
草地	44	166	22 010	67	67	1 253	1 846	25 453
水域	1	0	48	526	0	48	63	686
建设用地	5	1	14	1	65	13	28	127
沙地	52	39	1 409	80	37	93 479	2 987	98 083
未利用地	116	118	2 175	100	202	2 862	107 929	113 502
2015年总计	460	1 339	25 890	793	390	97 753	113 021	239 646

表 6 驱动因子对 2015 年阿拉善盟沙地分布影响程度的  $q_{D,U}$  值

Table 6	$q_{D,U}$ values of the influence degree of driving factors on the distribution of sandy land in the Alxa League in 2015									
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$q_{D,U}$	0.1117	0.0804	0.0469	0.1787	0.0726	0.0999	0.0570	0.1809	0.1713	0.0049
$P$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

的影响力均居第一,土壤湿度作为地表径流、地下水量分布情况的反映,是影响沙地空间分布的主要影响因子。各年人为因子影响力小于自然因子,影响沙地空间分布的主要影响因子是自然因子(图 4)。

3.3 沙地空间分布驱动因子交互作用

选定的驱动因子之间的交互作用  $q_{D,U}$  值均大于单因子作用下的  $q_{D,U}$  值,因子交互结果呈现双因子增强和非线性增强(表 7)。沙地空间分布影响因子交互作用解释力度大于 30% 的次序为  $X_1 \cap X_9 > X_2 \cap X_4 > X_4 \cap X_5 > X_1 \cap X_4$ ,表明自然因子在交互作用下增加了对沙地空间分布的影响力度。人文因子与自然因子的交互作用也增加了对沙地空间分布的影响程度,交互作用下的影响力均明显大于人文因子单独作用下的影响程度。两因子交互作用均呈现双因子增强

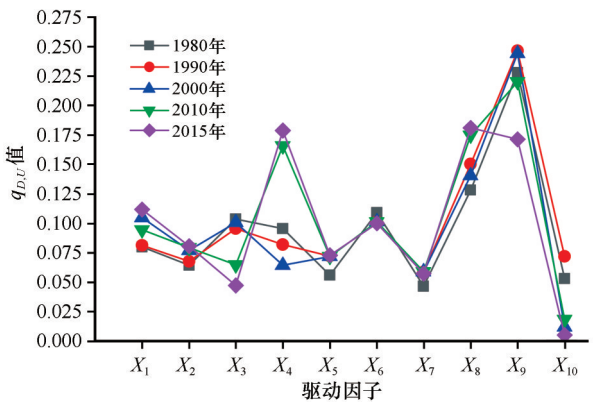


图 4 1980—2015 年阿拉善盟沙地空间分布驱动因子  $q_{D,U}$  值  
Fig.4 Changes in  $q_{D,U}$  values of sandy land driving factor in the Alxa League from 1980 to 2015

与非线性增强效应,表明对于沙地分布影响不单单是各驱动因子独立作用结果,更多是各驱动因子相互作用影响。

表 7 阿拉善盟 2015 年沙地空间分布驱动因子交互作用分析结果

Table 7	Results of interaction of driving factors of land desertification in the Alxa League in 2015									
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$X_1$	0.1117									
$X_2$	0.2617	0.0804								
$X_3$	0.2065	0.1357	0.0469							
$X_4$	0.3015	0.3038	0.2724	0.1787						
$X_5$	0.2248	0.2204	0.1902	0.3023	0.0726					
$X_6$	0.2148	0.1565	0.1543	0.2791	0.1818	0.0999				
$X_7$	0.1552	0.1238	0.1031	0.1958	0.1269	0.1416	0.0570			
$X_8$	0.2925	0.2604	0.2581	0.2811	0.2368	0.2655	0.2071	0.1809		
$X_9$	0.3107	0.2615	0.2369	0.3015	0.2799	0.2772	0.2120	0.2937	0.1713	
$X_{10}$	0.1462	0.1226	0.1190	0.2654	0.0832	0.1062	0.0757	0.2220	0.2410	0.0049

3.4 沙化风险区探测

将 1980—2015 年沙化概率大于 50% 的分布区域统计为沙化风险区域。从自然条件来看,沙化风险区域 1980—2000 年年均气温为 8.25~9.28℃,2000 年以后温度出现了上升,未来防治需要重点注意统计出的 2000—2015 年 9.05~10.18℃沙化区域。年平

均风速 2.3~3.45 m·s<sup>-1</sup>属于沙化风险区域,年日照时间大于 3 063 h 的区域沙化风险概率增大,土壤类型为初育土、水成土、人为土、养殖场的土地属于沙化风险区,容易发生沙化。海拔 733~1 127 m 也易成为沙化区。植被稀少(0.079<NDVI<0.109)地区更易发生沙化,土壤湿度 0.1~0.23 的地区也易发生沙化。从人类活动来看,1980—2000 年沙化风险区分布在人烟稀

少地区,2000年以后沙化区人口出现明显增长,人类活动对沙地分布产生了一定影响(表8)。

表 8 阿拉善盟 1980—2015 年沙化风险区域驱动因子特点  
Table 8 Sandy land distribution risk area of the Alxa League from 1980 to 2015

驱动因子	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	2015 年
年均气温( $X_1$ )/ $^{\circ}\text{C}$	8.25~8.65	8.6~8.82	8.96~9.28	9.05~9.58	10.04~10.18
年降水量( $X_2$ )/mm	67.28~92.09, 102.16~130.45	88.84~106.47, 147.88~172.41	119~135.6	125.06~143.69	108.27~122.58
年平均风速( $X_3$ )/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	2.97~3.45	2.5~2.93	2.7~3.24	2.56~3.34	2.31~2.57
年日照时间( $X_4$ )/h	3263.4~3379.5	2948.8~3111, 3173~3226.6	3063~3174	2907~3006, 3059~3163	3160~3410.9
距水域的距离( $X_5$ )/km	0~34.7	0~34.7	0~34.7	0~34.7	0~34.7
土壤类型( $X_6$ )	初育土、水成土、人为 土、河流、盐场/养殖场	初育土、水成土、 盐场/养殖场	初育土、水成土、人为 土、河流、盐场/养殖场	初育土、水成土、人为 土、河流、盐场/养殖场	初育土、水成土、盐碱 土、河流、盐场/养殖场
海拔( $X_7$ )/m	733~1127	733~1127	733~1127	733~1127	733~1127
NDVI( $X_8$ )	0.079~0.102	0.078~0.102	0.079~0.102	0.08~0.108	0.082~0.109
土壤湿度( $X_9$ )/( $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ )	0.108~0.236	0.122~0.22	0.133~0.215	0.16~0.212	0.166~0.189, 0.199~0.231
人口密度( $X_{10}$ )/(人 $\cdot\text{km}^{-2}$ )	0.117~1.96	0.117~1.96	0.135~2.27	0.136~6.47	0.241~3.96

3.5 沙地变化驱动因子影响力

2000—2015 年,影响阿拉善盟沙地变化的驱动因子影响力从大到小依次排列为人口密度(2.9%)、土壤类型(1.95%)、土壤湿度(1.66%)、NDVI(1.26%)、年降水量(1.04%)、年均气温(0.65%)、海拔(0.65%)、距水域的距离(0.56%)、年平均风速(0.46%)、年日照时间(0.38%)。研究时段沙地变化是人为因子和自然因子共同作用的结果,人口密度对沙地变化具有较强的影响力,土壤类型、土壤湿度、NDVI、年降水量影响力略低于人口密度,海拔、

距水域的距离、年平均风速、年日照时间等对沙地变化的影响力微弱(表9)。

从交互探测的结果来看,影响2000—2015年沙地变化的驱动因子之间的交互作用也均大于各因子独立作用(表10)。人为因子与自然因子交互作用对沙地变化的影响力明显增强。其中人口密度与年降水量、土壤湿度、NDVI、土壤类型呈双因子增强,年均气温、年日照时间、年平均风速、海拔、距水域的距离的交互作用呈非线性增强。综上,2000—2015 年沙地的变化是人为与自然因子共同作用的结果。

表 9 阿拉善盟 2000—2015 年沙地变化驱动因子影响力的  $q_{D,U}$  值  
Table 9  $q_{D,U}$  value of driving factors influencing the degree of sandy land change in the Alxa League from 2000 to 2015

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$q_{D,U}$	0.0065	0.0104	0.0046	0.0038	0.0056	0.0195	0.0065	0.0126	0.0166	0.0290
$P$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

4 结论

1980—2000 年,阿拉善盟沙地以转入为主,沙地增量大于减量。2000—2015 年,阿拉善盟沙地转入转出活动活跃,但减量大于增量,沙化趋势得到了遏制。转移区域集中在各大沙漠边缘,结合万炜

等<sup>[11]</sup>和周建秀等<sup>[31]</sup>的研究结果,人类活动如建设锁边林、退耕还林、禁止放牧等是影响变化的主因。2000 年后影响沙地转移的主要驱动因子是人为因子(人口密度),自然因子(土壤类型、土壤湿度、NDVI、年降水量等)的影响略低于人文因子,沙地的变化是人为与自然因子共同作用的结果。



表 10 阿拉善盟 2000—2015 年沙地变化驱动因子交互作用影响

Table 10 The influence of Interaction of driving factors of sandy land change in the Alxa League from 2000 to 2015

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$X_1$	0.0065									
$X_2$	0.0251	0.0104								
$X_3$	0.0144	0.0272	0.0046							
$X_4$	0.0101	0.0237	0.0072	0.0038						
$X_5$	0.0319	0.0252	0.0305	0.0234	0.0056					
$X_6$	0.0313	0.0279	0.0280	0.0338	0.0308	0.0195				
$X_7$	0.0066	0.0251	0.0144	0.0101	0.0319	0.0313	0.0065			
$X_8$	0.0238	0.0206	0.0230	0.0199	0.0258	0.0296	0.0238	0.0126		
$X_9$	0.0257	0.0236	0.0251	0.0226	0.0268	0.0319	0.0257	0.0281	0.0166	
$X_{10}$	0.0455	0.0357	0.0386	0.0388	0.0506	0.0464	0.0455	0.0408	0.0389	0.0290

2000 年以前土壤湿度为阿拉善盟沙地空间分布的首要影响因子,NDVI、土壤类型、年平均风速、年均气温、年日照时间、年降水量为次级影响因子。2000 年后除年日照时间的影响力增加、年平均风速的影响力略微下降外,其余因子与 2000 年前相似。沙地空间分布驱动单因子影响力中自然因子影响较大,但自然因子、人为因子的独立作用弱于彼此间交互作用的影响力,说明该区域沙地的空间分布是自然因子与人为因子协同作用下形成的。

风险探测器探测出了沙地空间分布概率大于 50% 的区域,后续的沙地防治区域划定与防护政策实施应该优先考虑沙化风险区域。

本文讨论了阿拉善盟 1980—2015 年沙地变化情况,使用地理探测器分析了影响该地区沙地空间分布、沙地变化的驱动因子。将地理探测器引入到沙地的驱动机制研究中,实现了定量分析各驱动因子影响、厘清沙地驱动机制的可能,其双因子探测器也提供了各因子交互作用下的影响力,提供了一种新的研究思路。受数据收集难度,本文选用的驱动因子缺少了放牧因子,阿拉善盟放牧对沙地产生的影响未能考虑。后期研究可以考虑纳入放牧因子,完善人为因子的选择。

参考文献:

[1] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治[J]. 第四纪研究, 1998, 18(2): 145–155.

[2] 齐雁冰, 常庆瑞, 刘梦云, 等. 陕北农牧交错带 50 年来土地沙漠化的自然和人为成因定量分析[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(5): 104–109.

[3] 郭瑞霞, 管晓丹, 张艳婷. 我国荒漠化主要研究进展[J]. 干旱

气象, 2015, 33(3): 505–513.

[4] 王涛, 吴薇. 我国北方的土地利用与沙漠化[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 355–358.

[5] Slimani H, Aidoud A, Roze F. 30 years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(6): 685–691.

[6] 朱震达, 刘恕. 我国北方地区沙漠化过程及其治理区划[M]. 北京: 林业科学出版社, 1986.

[7] 董玉祥, 陈克龙. 长江上游地区土地沙漠化现状及其驱动力的研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 84–88.

[8] 贾宝全, 慈龙骏, 高志刚, 等. 鄂尔多斯高原土地沙化过程中自然与人为因素的定量分析[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 15–20.

[9] 李晓英, 姚正毅, 王宏伟, 等. 若尔盖盆地沙漠化驱动机制[J]. 中国沙漠, 2015, 35(1): 51–59.

[10] 李森, 李凡, 孙武, 等. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 61–67.

[11] 万炜, 颜长珍, 肖生春, 等. 1975—2015 年阿拉善高原沙漠化过程、格局与驱动机制[J]. 中国沙漠, 2018, 38(1): 17–29.

[12] 董玉祥. 我国半干旱地区现代沙漠化驱动因素的定量辨识[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 412–417.

[13] Xu D Y, Kang X W, Zhuang D F, et al. Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification: a case study of the Ordos Plateau, China[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(4): 498–507.

[14] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 63–70.

[15] 章子舒, 王立新, 张红旗, 等. 疏勒河流域土地利用变化驱动因素分析: 以安西县为例[J]. 地理科学进展, 2003, 22(3): 270–278.

[16] 许端阳, 李春蕾, 庄大方, 等. 气候变化和人类活动在沙漠化过程中相对作用评价综述[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 68–76.

[17] 刘京会, 武建军, 武志涛, 等. 沙漠化驱动因子及定量辨识方法研究综述[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(1): 295–299.

[18] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural



- tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107–127.
- [19] 蔡芳芳, 濮励杰. 南通市城乡建设用地演变时空特征与形成机理[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 731–740.
- [20] Luo W, Jasiewicz J, Stepinski T, et al. Spatial association between dissection density and environmental factors over the entire conterminous United States[J]. Geophysical Research Letters, 2016, 43(2): 692–700.
- [21] 李俊刚, 闫庆武, 熊集兵, 等. 贵州省煤矿区植被指数变化及其影响因子分析[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3): 374–378.
- [22] 于佳, 刘吉平. 基于地理探测器的东北地区气温变化影响因素定量分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(19): 4682–4687.
- [23] 肖生春, 颜长珍, 田永祯, 等. 阿拉善高原沙漠化土地防治区划与治理对策[J]. 中国沙漠, 2019, 39(5): 182–192.
- [24] 马文瑛, 何磊, 赵传燕. 2000–2012年阿拉善盟荒漠化动态[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(1): 55–60, 71.
- [25] Pinzon J E, Tucker C J. A non-stationary 1981–2012 AVHRR NDVI3G time series[J]. Remote Sensing, 2014, 6(8): 6929–6960.
- [26] Gruber A, Scanlon T, Der Schalie R V, et al. Evolution of the ESA CCI soil moisture climate data records and their underlying merging methodology [J]. Earth System Science Data, 2019, 11(2): 717–739.
- [27] Gruber A, Dorigo W, Crow W T, et al. Triple collocation-based merging of satellite soil moisture retrievals[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017, 55(12): 6780–6792.
- [28] Dorigo W, Wagner W, Albergel C, et al. ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: state-of-the art and future directions [J]. Remote Sensing of Environment, 2017: 185–215.
- [29] 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.
- [30] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643–650.
- [31] 周建秀, 谷雨, 达来, 等. 阿拉善地区荒漠化遥感监测及动态变化[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(1): 126–130.
- [32] 新华社. 遏制三大沙漠握手, 内蒙古阿拉善盟是怎么做的? DB/OL. [2017-01-05]. [www.xinhuanet.com/2017-01/05/c\\_1120253251.htm](http://www.xinhuanet.com/2017-01/05/c_1120253251.htm).

## Sandy land change from 1980 to 2015 in Alxa League, China and its driving factors

Chang Yabin<sup>1</sup>, Zhu Rui<sup>1</sup>, Xiao Shengchun<sup>2</sup>, Li Yapei<sup>1</sup>

(1. 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 730000, China; 2. Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Land desertification is an important eco-environment problem in arid and semi-arid regions. It is the basis of preventing and controlling land desertification to explore the influencing factors of land desertification and clarify its driving mechanism. In this paper, we assessed spatial distribution characteristics of sandy land by analysis of land use change from 1980 to 2015 in the Alxa League, and analyzed the natural and human driving factors of sandy land distribution by Geodetector, and explored the interaction between the driving factors, and quantitatively described the degree of the driving factors influence on the sand distribution in the Alxa League. At the same time, the influence of driving factors on sandy land transformation in Alxa League from 2000 to 2015 was detected. The results show that: (1) The sandy land first increased before 2000 and then decreased. (2) The influence of natural factors affecting the spatial distribution of sandy land are greater than human factors, and the independent influence of each driving factor is less than the interaction between the two factors. (3) The area with desertification probability greater than 50% was desertification risk area. (4) From 2000 to 2015, the single factor influence of the driving factors of the transformation of sandy land was slightly dominated by human factors, but the transformation of sandy land was the result of the joint action of human and natural factors.

**Key words:** sandy land; driving factor; GeoDetector; Alxa League; land use change