

引用格式:张永利,吴宜进,王小林,等.内蒙古贫困地区生态安全评价及空间格局分析[J].地球信息科学学报,2016,18(3):325-333. [Zhang Y L, Wu Y J, Wang X L, *et al.* 2016. The evaluation and spatial pattern characteristics of ecological safety in the poor areas of inner Mongolia. *Journal of Geo-information Science*, 18(3):325-333.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00325

内蒙古贫困地区生态安全评价及空间格局分析

张永利¹, 吴宜进^{1*}, 王小林³, 毛婧瑶⁴, 张家其⁵, 陈跃红²

1. 华中师范大学 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 3. 国务院扶贫办信息中心, 北京 100028; 4. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 5. 衡阳师范学院资源环境与旅游管理系, 衡阳 421008

The Evaluation and Spatial Pattern Characteristics of Ecological Safety in the Poor Areas of Inner Mongolia

ZHANG Yongli¹, Wu Yijin^{1*}, WANG Xiaolin³, MAO Jingyao⁴, ZHANG Jiaqi⁵ and Chen Yuehong²

1. Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Poverty Alleviation Office of the State Council Information Center, Beijing 100028, China; 4. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 5. Resources Environment and Tourism Management Department, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China

Abstract: On the basis of establishing the index-system using the pressure-state-response model, we combined the gray correlation degree analysis with the entropy weighting method to calculate the ecological safety indices of the comprehensive, pressure, state, and response factors, and made a comprehensive evaluation for the poor areas of Inner Mongolia in 2012. And we used the geographical spatial analysis method and spatial analysis software of GeoDA to analyze the spatial correlation of index on the comprehensive safety for the research area. Meanwhile, by combining the physical geographical characteristics and the socioeconomic status of the research area, we diagnostically analyzed the ecological safety status of the research area. In this research, we made the following conclusions: comprehensively, the ecological safety in the poor areas of Inner Mongolia is in the general state condition, and the ecological safety level distribution has presented characteristics of majorly concentrated, and a few scattered. The distribution of ecological safety status was not completely random, it shows a spatial aggregation pattern within values that have similarity, and indicate a positive correlation. The ecological safety level distribution presents the regional difference, that the west and east poor areas were in the general state condition, and the poor areas of the central Inner Mongolia is in the good state condition overall. The ecological safety level has revealed obvious internal differences among counties. There are obvious contrasts on the ecological safety level between cities in the better state and the general state, which is reflected in the indicators of pressure, state, and response, and the effects are different regarding to different factors.

Key words: ecological safety; poor area; gray correlation degree analysis; spatial autocorrelation

***Corresponding author:** WU Yijin, E-mail: wuyijin@mail.ccnu.edu.cn

摘要: 在压力-状态-响应(Pressure-State-Response, PSR)模型确立指标体系的基础上,采用灰色关联度分析和熵值赋权相结合的方法,测算出2012年内蒙古贫困地区生态安全综合、压力、状态和响应指数,对研究区生态安全状况进行综合评价;并利用地理空间分析方法和空间分析软件GeoDA对生态安全综合状况进行空间相关性分析,同时结合研究区自然地理特征和社会经济状况,对其生态安全空间格局特征及成因进行诊断性分析。研究发现:(1)内蒙古贫困地区生态安全水平整体处于一

收稿日期 2015-07-15;修回日期:2015-12-11.

基金项目 国家科技支撑计划项目课题“贫困地区资源环境监测评估与生态价值评价技术”(2012BAH33B01)。

作者简介 张永利(1989-),男,河南周口人,硕士生,主要从事区域资源开发与利用方面研究。E-mail: 1064349622@qq.com

*通讯作者 吴宜进(1963-),男,江西九江市,教授,主要从事自然地理学研究。E-mail: wuyijin@mail.ccnu.edu.cn

般状态,等级布局具有大聚集、小分散的特点;(2)生态安全状况分布并非完全随机性,而是表现出空间相似值之间的空间聚集,具有正相关性;(3)生态安全等级分布状况呈现出区域分异的特点,总体表现为内蒙古西部和东部贫困地区处于一般状态,而中部贫困地区生态安全水平整体处于良好状态,区域内部生态安全水平具有明显的县域差异;(4)生态安全水平较好的县域和生态安全处于一般水平的县域,压力、状态、响应指标方面差距明显,且影响因素各异。

关键词 生态安全;贫困地区;灰色关联度分析;空间自相关

1 引言

自 21 世纪以来,贫困和环境作为“3P”(Poverty、Pollution、Population)问题的 2 个关键因素,在发展中国家受到越来越多的关注^[1]。环境的脆弱性往往会引发区域贫困,反之贫困又是引起环境恶化的重要因素之一。扶贫与生态环境保护研究已经成为共同关注的焦点^[2],消除贫困是国家实施可持续发展战略面临的严峻挑战之一^[3],经济的可持续发展要以生态环境的良性循环为基础^[4]。因此,注重保障贫困地区生态安全,摆脱单纯追求经济发展的开发模式,必须把生态环境的保护作为扶贫开发要考虑的重要问题之一^[5]。

生态安全研究从生态风险分析发展而来^[6],成为 21 世纪可持续发展所面临的一个新的主题。国外的生态安全研究始于 20 世纪 70 年代末^[7],莱斯特·R·布朗最早将环境变化含义明确引入安全概念^[8],引起了全世界对生态安全的关注。中国生态安全研究始于 20 世纪 90 年代,2000 年《全国生态环境保护纲要》首次明确提出了“维护国家生态环境安全”的目标,使中国的生态安全研究进入一个新的热潮,其中以生态安全评价研究为主^[9-12]。生态安全评价研究的方法较多,主要有生态学方法、模拟模型法、景观分析法、目标评价和指标体系构建等^[6]。其中,在众多的目标评价和指标体系构建的方法中,层次分析法和综合指数法主观性较强,而生态足迹法受限于进出口数据较难获取,导致评价结果与事实存在一定误差^[4]。鉴于生态安全是一个复杂的自然生态系统反映出的整体状况,受诸多因素影响,且各因素间的相互关系和影响程度具有不确定性和模糊性,故本研究采用灰色关联度分析和权重赋值较为客观的熵权法对内蒙古贫困区生态安全进行评价研究,并运用空间分析软件 GeoDA 对其空间布局特征进行关联性分析。

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

据内蒙古 2011 年扶贫标准调整方案,全区城镇

化水平在 80% 以下的 80 多个农牧业旗县(市、区)被划为贫困地区,主要位于中国北部边疆内蒙古境内(图 1),横跨东北、华北、西北 3 大区域,面积约 93.87 万 km²,占全省国土面积的 79.35%。其地势较高,平均海拔 1000 m 左右,属于典型的高原地貌,高原四周分布着大兴安岭、阴山、贺兰山等山脉,海拔最高点贺兰山主峰 3556 m,区域内部结构上差异明显,分布着山地、丘陵、高原、平原、滩川、沙地、沙漠、戈壁、湖泊等地形。由于内蒙古距离海洋较远,山脉阻隔,大部分地区在东亚季风的影响下,属于温带大陆性季风气候,气候复杂多样,呈现出由湿润到半湿润、半干旱到干旱的气候特征,西部区域沙漠广布。

2.2 数据来源

研究区主要数据类型及来源如表 1 所示。

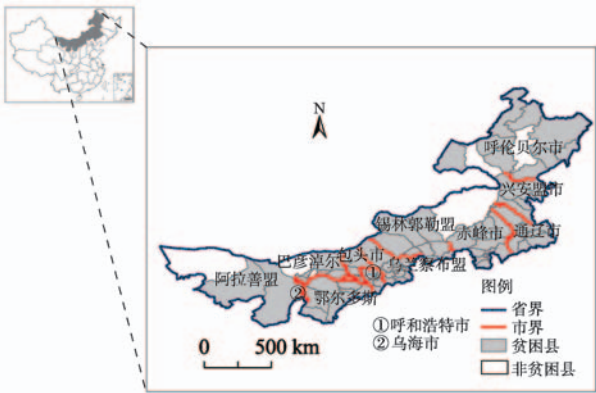


图 1 研究区

Fig. 1 The study area

表 1 研究区主要数据类型及来源

Tab. 1 Main data types and sources

| 数据类型 | 来源 |
|----------|---|
| 社会经济数据 | 2012 年《内蒙古自治区国民经济和社会发展统计公报》、2013 年各县市《统计年鉴》 |
| 环境状况数据 | 各县市 2012 年《环境质量状况公报》、《内蒙古自治区水资源公报》、水土保持监测站《遥感调查数据》、《水土保持公报》 |
| 土地类型数据 | 研究区国土局提供的土地利用类型数据 |
| 贫困数据 | 国务院扶贫办提供的贫困指标等数据资料 |
| 类比标准参考数据 | 《国家级生态县、生态市、生态省建设指标》、国家、行业和地方通用分类标准参考值、研究区环境背景值 |

3 研究方法

3.1 评价指标体系的构建

压力-状态-响应(Pressure-State-Response, PSR)模型由加拿大统计学家Rapport和Friend^[13]最先提出,并于20世纪八九十年代由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)共同发展起来,用来研究环境问题的框架体系^[14-15]。压力指标表示人类活动所造成的发展不可持续,表征人类的经济和社会活动对环境的作用,如各种产业运作过程所产生的对环境造成的破坏;状态指标反映生态系统的状况,包括生态系统与自然环境现状,以及人类的生活状况等;响应指标体现人类为实现可持续发展所采取的措施,以及对不利于人类生存发展的生态环境变化进行补救的措施^[13]。因此,本研究结合内蒙古贫困区特殊的自然地理条件和社会经济发展状况以及研究区贫困现状等特点,根据PSR模型确定指标的科学性、典型性、操作简单性、易获得性、整体性等原则,参考前人研究^[9,13,16-18],初步制定出能够代表该区特点的生态安全综合性指标,结合主成分分析法进行指标提取,建立了生态安全评价指标体系(表2)以便对内蒙古地区生态安全进行综合评价。

3.2 权重的计算

熵值赋权法是一种常用的确定指标权重的方法^[19]。其基于“差异驱动”原理,突出局部差异,避免人为主观影响。采用归一化方法对数据进行无量纲化处理,指标权重更具客观性^[20-22]。基本步骤如下:

(1)数据标准化。假设给定了 k 个指标 x_1, x_2, \dots, x_k ,其中 $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,各指标标准化后值为 Y_1, Y_2, \dots, Y_k ,则:

$$Y_{ij} = \left\{ \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \right\} \quad (1)$$

(2)求各指标的信息熵。一组数据的信息熵 $E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$ 。其中, $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$, 如果 $p_{ij} = 0$, 则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

(3)确定各指标权重。根据上述信息熵计算公式,求出各指标信息熵为 E_1, E_2, \dots, E_k , 则各指标权重 W_i 如式(2)所示。

$$W_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i} \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

3.3 生态安全指数的计算

由于生态安全是一个复杂的自然生态系统所反映出的整体状况,因此受诸多因素影响(如自然条件、社会状况、经济因素等之间的复杂关系)。然

表2 内蒙古贫困区生态安全评价指标体系

Tab. 2 Ecological safety evaluation index system in the poor areas of Inner Mongolia

| 层次 | 指标代码 | 指标含义 | 类比标准 | 类比标准值 |
|------|-----------------|---------------------------------|--------------------|-------|
| 压力指标 | X ₁ | 人口密度/(人/km ²) | 地方标准 ^① | 200 |
| | X ₂ | 人口自然增长率/(%) | 国家标准 ^② | 8 |
| | X ₃ | 人均耕地面积(hm ² /人) | 国际标准 ^③ | 0.08 |
| | X ₄ | 人均GDP/(万元/人) | 国家标准 | 2.5 |
| | X ₅ | 经济密度/(万元/km ²) | 地方标准 | 430 |
| | X ₆ | 路网密度/(km/km ²) | 地方标准 | 1.41 |
| | X ₇ | 城市化水平/(%) | 国家标准 | 50 |
| | X ₈ | 单位面积化肥使用量/(kg/hm ²) | 国家标准 | 250 |
| | X ₉ | 单位面积农药使用量/(kg/hm ²) | 国家标准 | 10 |
| | X ₁₀ | 人均粮食产量/(kg/人) | 国家标准 | 400 |
| 状态指标 | X ₁₁ | 有效灌溉面积占耕地比重/(%) | 国家标准 | 50 |
| | X ₁₂ | 空气优良率/(%) | 国家标准 | 90 |
| | X ₁₃ | 水质达标率/(%) | 国家标准 | 100 |
| | X ₁₄ | 森林覆盖率/(%) | 环境背景值 ^④ | 40 |
| | X ₁₅ | 水土流失比重/(%) | 环境背景值 | 30 |
| | X ₁₆ | 人均牧草面积(hm ² /人) | 环境背景值 | 27.5 |
| | X ₁₇ | 人均居住面积(m ² /人) | 国家标准 | 30 |
| | X ₁₈ | 卫生技术人员/(人/万人) | 地方标准 | 43.7 |
| | X ₁₉ | 教师数/(人/万人) | 地方标准 | 93 |
| | X ₂₀ | 床位数/(张/万人) | 地方标准 | 35.6 |
| | X ₂₁ | 荒漠化面积占国土比重/(%) | 环境背景值 | 5.73 |
| | X ₂₂ | 恩格尔系数/(%) | 国家标准 | 45 |
| | X ₂₃ | 贫困人口比例/(%) | 环境背景值 | 7.6 |
| 响应指标 | X ₂₄ | 固废无害化处理率/(%) | 国际标准 | 100 |
| | X ₂₅ | 废水处理率/(%) | 国际标准 | 100 |
| | X ₂₆ | 工业烟尘排放达标率/(%) | 国际标准 | 100 |
| | X ₂₇ | 科教支出占GDP比/(%) | 国家标准 | 6 |
| | X ₂₈ | 第三产业比重/(%) | 国家标准 | 45 |
| | X ₂₉ | 环保投入占GDP比重/(%) | 国家标准 | 3.5 |
| | X ₃₀ | 退耕还林完成率/(%) | 国家标准 | 30 |
| | X ₃₁ | 人均造林面积(hm ² /人) | 环境背景值 | 0.045 |
| | X ₃₂ | 生活垃圾处理率/(%) | 国家标准 | 100 |
| | X ₃₃ | 生活污水处理率/(%) | 国家标准 | 60 |

注:① 地方标准指区域生态文明建设要求及“十二五”规划、国家、区域均值标准等;② 国家标准指国家已发布的环境质量标准,如国家级生态县、生态市、生态省建设指标,水污染,土地污染分类标准等;③ 国际标准指国际上通用的标准值;④ 环境背景基准是以区域生态环境背景值或本底值作为评价基准,如森林覆盖率、水土流失本底值等

而,各因素间的相互关系和影响程度具有不确定性和模糊性,因此可以看成是一个灰色系统^[23-24]。在系统因素不完全明确、因素关系不完全清楚、系统结构不完全明了的背景下,采用灰色关联度分析法对研究区生态安全进行测算。

3.3.1 评价指标数值标准化

假设 x_n 为第 n 个指标实际值, S_n 为第 n 个指标类比标准值, C_n 为第 n 个评价指标标准化数值,则正向指标和负向指标如式(3)、(4)所示。

$$\begin{cases} C_n = 1 & x_n > S_n \\ C_n = x_n / S_n & x_n < S_n \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} C_n = S_n / x_n & x_n > S_n \\ C_n = 1 & x_n < S_n \end{cases} \quad (4)$$

评价指标标准化后为 $\{C\} = [C_1^i, C_2^i, \dots, C_n^i]$ 。数值标准化后,增强了指标的可比性^[25]。

3.3.2 求取关联系数

根据灰色系统理论,将最优向量 $\{C^*\} = [C_1^*, C_2^*, \dots, C_n^*]$ 作为参考数列,将 $\{C\} = [C_1^i, C_2^i, \dots, C_n^i]$ 作为被比较数列,则用关联分析法分别求得第 i 个被评价对象的第 k 个指标与第 k 个指标最优指标的关联系数 $\zeta_i(k)^*$,如式(5)所示。

$$\zeta_i(k)^* = \frac{\min_i \min_k |C_k^* - C_k^i| + \rho \max_i \max_k |C_k^* - C_k^i|}{|C_k^* - C_k^i| + \rho \max_i \max_k |C_k^* - C_k^i|} \quad (5)$$

式中: $\rho \in (0, \infty)$ 为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$, ρ 越小,分辨力越大。当 $\rho \leq 0.563$ 时,分辨力最好,一般取 $\rho = 0.5$ ^[26]。

3.3.3 生态安全指数的计算

关联度 R 的大小能够反映区域生态安全等级的优劣,即评价对象 i 的生态安全指数。计算方法如式(6)所示。

$$R = \sum_{i=1}^n W_i \times \zeta_i(k) \quad (6)$$

式中: $\zeta_i(k)$ 为第 i 个被评价对象的第 k 个指标与 $\{C\}$ 的关联系数; W_i 表示第 i 个评价指标的权重。

3.4 生态安全等级划分

在参考相关科研成果的基础上^[4,27-29],结合内蒙古贫困地区生态环境现状、依据实际值和基准值分别参与生态安全指数计算得出的结果进行对比分析,以及通过咨询相关方面的专家,本文设计了内蒙古贫困地区生态安全分级标准(表3)。同时,在生态安全分级标准确定时,把基准值作为理想状态

表3 生态安全分级标准

Tab. 3 Classification standard of ecological safety

| 分值 | 等级 | 评价 | 特征 |
|-----------|-----|----|-------------------|
| <0.45 | I | 恶劣 | 生态环境恶劣,不能满足生存发展需求 |
| 0.45-0.55 | II | 较差 | 生态环境较差,勉强满足生存发展需求 |
| 0.55-0.65 | III | 一般 | 生态环境一般,能够满足生存发展需要 |
| 0.65-0.75 | IV | 良好 | 生态环境良好,适合人类生存发展 |
| >0.75 | V | 优 | 生态环境较好,适宜人类生存发展 |

下的生态安全基础数值参与计算,和实际值参与计算的结果进行对比,为生态安全等级的划分提供合理的参考依据。该分级标准的制定最大程度地反映了内蒙古贫困地区生态安全的区域差异,尽量在保持贫困片区内部一致性的前提下,凸显整体区域的变化差异。

3.5 空间关联性分析

空间关联性分析借助于 GeoDA 软件,主要方法有:

(1)获取全局空间自相关指标。Moran's I 指数反映了空间邻接或空间邻近区域单元属性值的相似程度^[30],其取值范围为 $[-1, 1]$,其中大于 0 表示正相关,等于 0 表示不相关,小于 0 表示负相关。通过 GeoDA 分析各县生态安全综合状况之间的空间关联性,研究内蒙古贫困地区生态安全的空间分布状况。

(2)获取局域空间自相关指标(Local Indicators of Spatial Association, LISA)^[31]。LISA 反映了贫困地区与邻近区域的生态安全之间的相关程度,进一步揭示“领域空间”的自相关性,指标 LISA 的求取可以通过 GeoDA 实现。

4 结果与分析

4.1 生态安全评价

通过采用熵权法和灰色关联度分析法计算得出 2012 年内蒙古贫困地区生态安全综合、压力、状态和响应指数。运用 ArcGIS 软件根据生态安全等级标准绘制出内蒙古贫困地区各生态安全状况图(图2)。

通过统计分析可知,内蒙古贫困地区 2012 年生态安全水平整体处于一般状态,以 III 级为主。从县域个数上来看,全区 85 个贫困县中,III 和 IV 级的县域个数分别为 50 和 34,1 个县域处于 II 级水平,III 级、IV 级和 II 级分别占全区的 58.82%、40% 和 1.18%

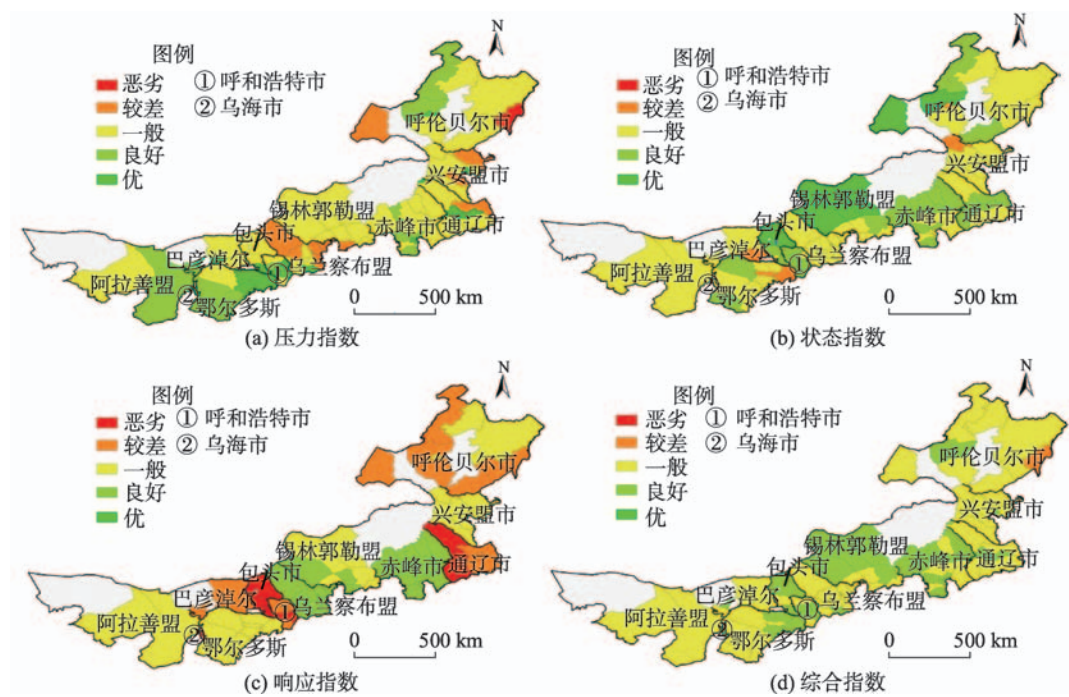


图2 研究区生态安全状况

Fig. 2 The ecological safety status in the study area

(表4)。从等级分布面积来看,93.87万km²的贫困区,Ⅲ级和Ⅳ级的区域面积分别为68.6万km²和24.23万km²,分别占贫困区总面积的73.08%和25.81%,而Ⅱ级仅占到全区的1.11%。由此可知该区生态安全水平处于Ⅲ级县域个数最多,面积最大,全区2012年生态安全水平处于一般状态。

从生态安全综合等级各市分布情况来看,呼和浩特市、包头市和赤峰市生态安全等级处于Ⅳ级的县域个数高于Ⅲ级所处的县域个数;而通辽市、鄂尔多斯市、呼伦贝尔市、巴彦淖尔市、乌兰察布市、兴安盟及阿拉善盟生态安全水平处于Ⅲ级的县域个数高于Ⅳ级的县域个数;乌海市、锡林郭勒盟二者等级所属的县域个数持平。从生态安全综合指数状况图上可看出,内蒙古贫困地区生态安全等级呈现复杂的空间布局特征,生态安全等级分布具有大聚集、小分散的特点。在区域上,内蒙古东部贫

表4 生态安全等级分布

Tab. 4 Distribution of the ecological safety level

| | V级 (优) | Ⅳ级 (良好) | Ⅲ级 (一般) | Ⅱ级 (较差) | I级 (恶劣) | 总和 |
|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 县域数/个 | 0 | 34 | 50 | 1 | 0 | 85 |
| 比例/(%) | 0 | 40.00 | 58.82 | 1.18 | 0 | |
| 面积/万km ² | 0 | 24.23 | 68.60 | 1.04 | 0 | 93.87 |
| 比例/(%) | 0 | 25.81 | 73.08 | 1.11 | 0 | |

困地区生态安全处于一般状态,中部地区(除乌兰察布市)生态安全水平处于良好状态,而内蒙古西部的鄂尔多斯高原地带生态安全水平处于一般状态;小分散主要表现在一些区域内部出现个别县域生态安全较周围县域呈现分异的现象,例如,呼伦贝尔市的陈巴尔虎旗生态安全等级处于良好状态,而莫力达瓦达斡尔族自治县则处在较差水平,其他县域皆处在一般水平。从市域划分来看,生态安全水平处于一般状态的主要有呼伦贝尔市、兴安盟市、通辽市、乌兰察布盟、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市和阿拉善盟,而生态安全水平表现良好的主要是锡林郭勒盟和赤峰市,呼和浩特市和包头市。

4.2 空间关联性结果

4.2.1 全局空间自相关

首先,使用ArcGIS对内蒙古贫困地区进行矢量化;然后,运用GeoDA对区域内的85个市县建立基于空间距离关系的权重矩阵,并利用空间权重矩阵制出(R,W_R)为坐标的Moran's I散点图;最后,通过GeoDA软件对生态安全综合指数进行全局空间自相关分析,结果如图3所示。

由图3可看出,具有空间正相关的数据点主要分布于第一象限和第三象限,表明内蒙古贫困区生态安全状况分布具有空间相似值间的空间聚集特

征。具体表现为:大部分县域位于第一和第三象限(热点和冷点区域),生态安全值较高的县域之间相邻(高-高集聚),生态安全值较低的县域之间相邻(低-低集聚)。在GeoDA中采用蒙特卡罗模拟的方法检验Moran's I是否显著(图4), $P < 0.001$,说明在99.9%置信度下的空间自相关显著。

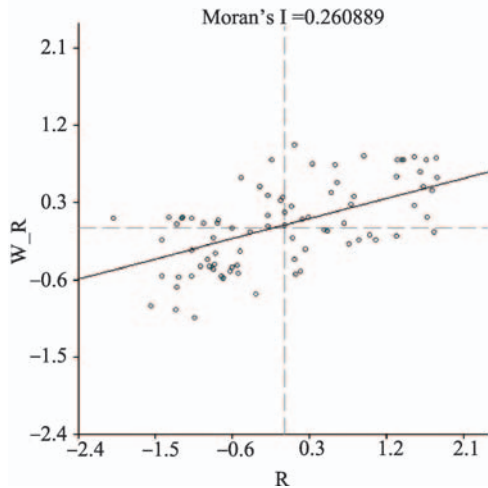


图3 Moran's I散点图

Fig. 3 Scatter diagram of Moran's I

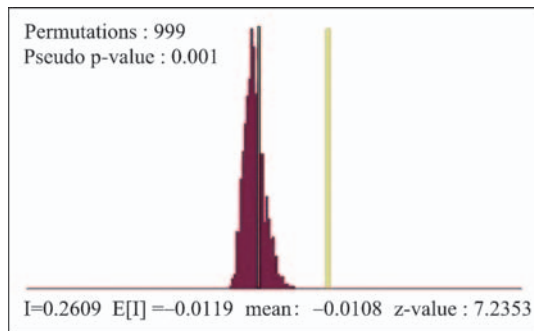


图4 Moran's I指数显著性检验

Fig. 4 Significance test of Moran's I

4.2.2 局域空间自相关

为了更直观的研究内蒙古贫困地区生态安全空间布局状况,揭示“领域空间”的自相关性,利用GeoDA生成生态安全综合指数热点探测(LISA)空间集聚图(图5)。其中,红色表示高-高集聚区域,说明这些县域和周围的县域生态安全综合值都较高;蓝色表示低-低集聚区域,说明这些县域和周围的县域生态安全综合值都较低;淡蓝色区域表示该县域生态安全综合值低于周围县域,黄色区域则与之相反,而灰色则为不显著。从图5可看出,内蒙古贫困地区生态安全综合值呈现高低值集聚的特点:高值集聚区域主要集中在包头市、呼和浩特市、锡

林郭勒盟和鄂尔多斯市东部区域,这些区域表现出高高集聚的特征;而低值区域主要集中在乌兰察布盟、呼伦贝尔盟东部、兴安盟和赤峰-通辽交界的南部狭长区域,依据局域空间自相关原理,这些区域虽然生态安全分级多属于一般状态,但在(0.55-0.65)值域范围内仍处于低值区域,且低值集聚状态呈连片布局,造成低-低集聚现状明显,因此蓝色(低-低集聚区域)分布较为集中。整体上,内蒙古贫困地区生态安全状况的布局具有明显地域性特征。

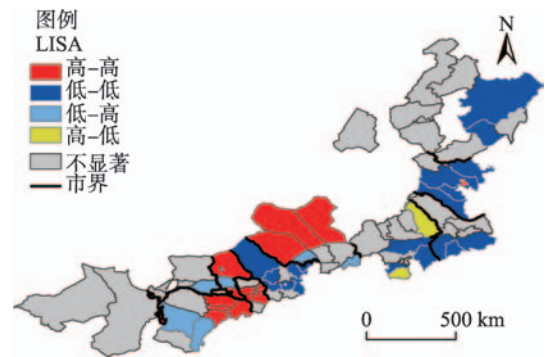


图5 LISA空间集聚图

Fig. 5 LISA aggregation map

通过对内蒙古贫困地区生态安全空间相关性分析可知:内蒙古贫困地区生态安全综合指数多分布于第一象限和第三象限,具有正相关性,说明其分布并非完全随机性,而是表现出空间相似值之间的空间聚集;生态安全综合值呈现高低值集聚的特点,且具有明显地域性分布的特征,低值集聚区多集中于东部地区,高值集聚多集中在中部地区,这与内蒙古东、中、西部地区各自的自然地理环境特征和社会经济发展状况存在一定的联系。因此,对于内蒙古贫困地区生态安全空间关联性的分析,有助于从区域自然地理环境特征和社会经济发展状况差异角度来探究生态安全布局呈现区域分异的具体原因,从而对其空间布局特征进行诊断分析。

4.3 生态安全空间格局成因分析

关于影响区域生态安全状况空间分布的成因,可以结合内蒙古贫困地区自然地理特征和社会经济状况,分区域对其空间分布特征进行诊断分析。结合区域地形图和行政区划来看,该区域横跨西北、华北、东北3大区域。生态安全等级分布状况呈现区域分异的特点,总体表现为西部和东部贫困地区处于一般状态,而中部贫困地区生态安全水平处于良好状态;区域内部生态安全水平具有市域差异。

4.3.1 西部贫困地区

西部贫困地区(阿拉善盟、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、乌海市)生态安全处于一般水平,据统计,西部贫困地区总面积约28.09万 km^2 ,其中Ⅳ级县域面积3.62万 km^2 ,Ⅲ级县域面积24.47万 km^2 ,Ⅲ级县域面积最广,约占全区的87.11%。这些区域多属于沙漠地带,其中包括腾格里沙漠、毛乌素沙地、乌兰布和沙漠,区内降雨较少,属于干旱气候区,森林覆盖率较低,生态环境比较脆弱,贺兰山位于该区域的阿拉善盟境内,海拔相对较高,交通条件受限制。从荒漠化面积占国土面积比重来看,本区的巴彦淖尔市和阿拉善盟的阿拉善左旗所占比例最高,荒漠化面积较大是影响该区生态安全水平的重要因素之一。从经济密度来看,西部贫困地区除了鄂尔多斯市东部小部分区域外,其他县域经济密度普遍较低。而在鄂尔多斯市东部小部分区域,生态环境属于良好状态,这些区域位于黄河岸边,地势相对地平,人口较为集中,城市化水平较高,土壤肥沃,降水较多,水资源丰富,灌溉农业发达,森林覆盖较好,因此生态安全水平相对较高。

4.3.2 中部贫困地区

中部贫困地区(包头市、呼和浩特市、乌兰察布盟、锡林郭勒盟)生态安全水平整体处于良好状态,仅乌兰察布盟生态安全水平处于一般状态。中部贫困地区总面积约21万 km^2 ,其中,Ⅳ级和Ⅲ级县域面积分别为12.72和8.28万 km^2 ,Ⅳ级面积较广,约占全区的61%,若不考虑乌兰察布盟,Ⅳ级县域面积约占该区的82%。该区域以锡林郭勒高原和乌兰察布高原为主体,草原分布较广,人均耕地面积较多,人均牧草面积较广,畜牧业发达,矿产资源较为丰富,人均收入水平较高,城市化水平高,贫困人口比例较低,使得该区生态安全水平整体较好,从图2可看出,该区域响应指数、状态指数高于其他地区,说明人们环境保护意识较强,该区生态环境状况较好。乌兰察布盟位于阴山东北麓,处于山地和高原的交界地带,过渡性比较明显,森林覆盖率较低,水土流失较严重,荒漠化面积占国土比重较高,土地退化较明显,风大沙多,自然灾害频发,生态整体功能脆弱,农牧业抵御自然灾害的能力较弱。虽然乌兰察布高原有草场分布,但地下水系不发达,使畜牧业受到影响;特别是东南部人口较为密集,贫困人口比例较高,农民人均收入水平较低,压力和状态方面表现较差,因此成为该区域生态安全水平处于一般状况的市域。

4.3.3 东部贫困地区

东部贫困地区(呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市、赤峰市)生态安全水平处于一般状态,而西南部的赤峰市生态安全水平高于其他3个市域。东部贫困地区总面积约44.79万 km^2 ,其中,Ⅳ级、Ⅲ级和Ⅱ级县域面积分别为9.11、34.64和1.04万 km^2 ,分别占东部贫困地区的20.33%、77.36%和2.31%,以Ⅲ级为主。虽然大兴安岭东部属于湿润地区,但是该区域纬度位置较低,多处于大兴安岭向平原、农耕区向畜牧业过渡区域,地形高低起伏大,分布着众多丘陵、盆地、谷底,不利于耕作,水土流失严重,山区人口素质较低,生态环保意识较差,毁林开荒现象严重,人口密度较为集中,经济密度较低,贫困人口较多,通辽市和呼伦贝尔市水质达标率仅为59.1%和50%,严重影响当地生活,加强该区的生态环境保护任重道远。从3大指标(压力指数、状态指数、响应指数)状况来看,该区域在响应和压力方面表现较差,落后于其他地区。虽然该区自然资源丰富,但是由于开发利用水平有限,使自然资源没有转化为经济优势,人均GDP、农村人均收入和经济密度依然低于其他地区。赤峰市生态安全水平高于其他地区的原因主要缘于该市在状态指标和响应指标方面较好,人均GDP、经济水平高于全区平均水平,科技教育投入比例高、人均造林面积大,水质达标率高达96.8%。

5 讨论与结论

贫困地区生态安全综合评价及空间特征分析对于贫困区生态环境问题诊断、生态环境改善及扶贫开发具有重要的参考价值。研究发现:内蒙古贫困地区生态安全水平整体处于一般状态,等级布局具有大聚集、小分散的特点;生态安全状况分布并非完全随机性,而是表现出空间相似值之间的空间聚集,具有正相关性;生态安全等级分布状况呈现出区域分异的特点,总体表现为西部和东部贫困地区处于一般状态,而中部贫困地区生态安全水平整体上处于良好状态,区域内部生态安全水平具有明显的县域差异;生态安全水平较好的县域和生态安全处于一般水平的县域压力指数、状态指数、响应指数3方面指标差距明显,影响因素各异。因此,今后应该结合区域的自然环境特征和社会发展现状,针对各区域关键的限制性因素进行改造,推进贫困

区扶贫工作,实现内蒙古贫困地区经济和环境的可持续发展。

内蒙古贫困地区生态安全评价是针对该区生态安全状况问题进行的综合评价,如何针对影响各区域生态安全健康的限制性因素进行改造,寻求合理的对应措施,探究如何促进扶贫开发最大限度地发挥区域推动作用等将成为今后扶贫工作的主要研究方向。

参考文献(References):

- [1] 吕晨光.发展中国家贫困问题研究——基于环境与人口增长的视角[J].经济问题探索,2013(12):144-148. [Lv C G. Study on the poverty in developing countries: on the view of environment and population growth[J]. Inquiry into Economic Issues, 2013,12:144-148.]
- [2] 祁新华,林荣平,程煜,等.贫困与生态环境相互关系研究述评[J].地理科学,2013,33(12):1498-1505. [Qi X H, Lin R P, Cheng Y, *et al.* The review of the relationship between poverty and environment[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013,33(12):1498-1505.]
- [3] 刘英,闫慧珍.生态移民:西部农村地区扶贫的可持续发展之路[J].北方经济,2006(6):37-38. [Liu Y, Yan H Z. Ecological migration: The road of sustainable development in rural areas of western poverty alleviation[J]. Northern Economy, 2006,6:37-38.]
- [4] 张家其,吴宜进,葛咏,等.基于灰色关联模型的贫困地区生态安全综合评价——以恩施贫困地区为例[J].地理研究,2014,33(8):1457-1466. [Zhang J Y, Wu Y J, Ge Y, *et al.* Eco-security assessments of poor areas based on gray correlation model: a case study in Enshi[J]. Geographical Research, 2014,33(8):1457-1466.]
- [5] 陶然.生态安全与国防安全同样重要[N].经济视点报,2005-02-03(1). [Tao R. Ecological security and national security are equally important[N]. The Economic View, 2005-02-03(1).]
- [6] 陈星,周成虎.生态安全:国内外研究综述[J].地理科学进展.2005,24(6):8-20. [Cheng X, Zhou C H. Review of the studies on ecological security[J]. Progress in Geography, 2005,24(6):8-20.]
- [7] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展[J].生态学报,2005,25(4):861-868. [Cui S H, Hong H S, Huang Y F, *et al.* Progress of the ecological security research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(4):861-868.]
- [8] 莱斯特·R·布朗.建设一个持续发展的社会[M].北京:科学技术文献出版社,1984. [Brown L R. Building a sustainable society[M]. Beijing: Science and Technology Literature Publishing, 1984.]
- [9] 邱微,赵庆良,李崧,等.基于“压力-状态-响应”模型的黑龙
- 龙江省生态安全评价研究[J].环境科学,2008,29(4):1148-1152. [Qiu W, Zhao Q L, Li S, *et al.* Ecological security evaluation of Heilongjiang province with Pressure-State-Response model[J]. Environmental Science, 2008, 29(4):1148-1152.]
- [10] 张军以,苏维词,张凤太.基于PSR模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J].中国环境科学,2011,31(6):1039-1044. [Zhang J Y, Su W C, Zhang F T. Regional land ecological security evaluation in the case of Chongqing Three Gorges Reservoir ecological economy area based on the PSR model[J]. China Environmental Science, 2011,31(6):1039-1044.]
- [11] 陶晓燕.基于模糊物元和熵权法的土地生态安全评价[J].统计与决策,2012(6):55-57. [Tao X Y. Land ecological security evaluation based on fuzzy matter element and the entropy weight method[J]. Statistics and Decision, 2012,6:55-57.]
- [12] 肖荣波,欧阳志云,韩艺师,等.海南岛生态安全评价[J].自然资源学报,2004,9(6):769-775. [Xiao R B, Ouyang Z Y, Hang Y S, *et al.* Ecological security assessment of Hainan Island[J]. Journal of Natural Resources, 2004,9(6):769-775.]
- [13] 魏兴平.基于PSR模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价[J].地理科学进展,2010,29(9):1095-1099. [Wei X P. Ecological safety evaluation of Three Gorges Reservoir area in Chongqing with the Pressure-State-Response model[J]. Progress in Geography, 2010,29(9):1095-1099.]
- [14] Rapport D J, Singh A. An eco-health based frame work for status of environment reporting[J]. Ecological Indicators, 2006,6(2):409-428.
- [15] 仝川.环境指标研究进展与分析[J].环境科学研究,2000,13(4):53-55. [Tong C. Review on environmental indicator research[J]. Research on Environmental Science, 2000,13(4):53-55.]
- [16] 郭旭东,邱扬,连纲,等.基于“压力-状态-响应”框架的县级土地质量评价指标研究[J].地理科学,2005,25(5):579-583. [Guo X D, Qiu Y, Lian G, *et al.* Land quality evaluation indicators at county scale based on "Press-State-Response" framework[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(5):579-583.]
- [17] 左伟.基于RS、GIS的区域生态安全综合评价研究:以长江三峡库区忠县为例[M].北京:测绘出版社,2004. [Zuo W. Based on the RS, GIS comprehensive assessment of the regional ecological security in Three Gorges Reservoir area of Yangtze River in Zhongxian as an example [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press Publishing, 2004.]
- [18] 左伟,王桥,王文杰,等.区域生态安全评价指标与标准研

- 究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 61-67. [Zuo W, Wang Q, Wang W J, *et al.* Study on regional ecological security assessment index and standard[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2002, 18(1): 61-67.]
- [19] 章穗, 张梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报, 2010, 7(1): 34-42. [Zhang S, Zhang M, Chi G T. The science and technology evaluation model based on entropy weight and empirical research[J]. *Chinese Journal of Management*, 2010, 7(1): 34-42.]
- [20] 邱菀华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. [Qiu K H. Management decisions and entropy application[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing, 2002.]
- [21] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安全评价——以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 1003-1008. [Jia Y H, Zhao J, Nan Z R, *et al.* Ecological safety assessment of grassland based on entropy-weight method: a case study of Gansu pastoral area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 1003-1008.]
- [22] 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552-556. [Zou Z H, Sun J N, Ren G P. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4): 552-556.]
- [23] 周伟灿, 魏伟. 基于灰色关联度法的雾灾损失评估模型研究[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 12-15. [Zhou W C, Wei W. Study on fog disaster loss evaluation on model based on grey relational analysis[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2010, 26(1): 12-15.]
- [24] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004. [Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, *et al.* Grey system theory and its application[M]. Beijing: Science Publishing, 2004.]
- [25] 郭秀云. 灰色关联法在区域竞争力评价中的应用[J]. 统计与决策, 2004, 5(11): 55-56. [Guo X Y. Application of gray correlation method in evaluation of regional competitiveness[J]. *Statistics and Decision*, 2004, 5(11): 55-56.]
- [26] 张凤太, 苏维词, 周继霞. 基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1249-1254. [Zhang F T, Su W C, Zhou J X. Assessment of urban ecological security based on entropy-weighted gray correlation analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7): 1249-1254.]
- [27] 葛京风, 梁彦庆, 冯忠江, 等. 山地生态安全评价、预警与调研研究——以河北山区为例[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Ge J F, Liang Y Q, Feng Z J, *et al.* Mountain ecological security evaluation, early warning and survey research: a case study of Hebei mountain area[M]. Beijing: Science Publishing, 2011.]
- [28] 刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价: 以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 69-75. [Liu Y, Liu Y Z, Xu P. Evaluation on ecological security of regional land resources: a case study of Jiaxing city, Zhejiang province[J]. *Resources Science*, 2004, 26(3): 69-75.]
- [29] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(5): 705-710. [Xie H L, Li B. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2004, 40(5): 705-710.]
- [30] 刘聪粉, 柯大钢, 张瑞荣. 基于Geoda 095i的陕西省人口分布空间统计分析[J]. 西北人口, 2008, 29(6): 7-15. [Liu C F, Ke D G, Zhang R R. A spatial statistical analysis on population distribution of Shan'xi Province with Geoda 095i[J]. *Northwest Population*, 2008, 29(6): 7-15.]
- [31] Anselin L. Local indicators of spatial association — LISA [J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27: 93-115.