

“丝绸之路经济带”中国段土地利用系统安全性评价及阻力分析

姜长军, 李贻学, 王一鸣

山东农业大学 资源与环境学院, 泰安 271000

摘要: 在构建土地利用系统安全性评价指标体系的基础上, 结合基于 TOPSIS 算法的 DPSIR 模型对 2006—2015 年“丝绸之路经济带”范围内中国九个地区进行土地利用系统安全性分析。同时借助障碍度诊断模型分析影响区域系统安全性提升的阻碍因子, 并运用最小方差法 (LSE) 对区域土地利用系统进行系统阻力类型划分。结果表明: (1) 研究区域土地利用系统安全指数全部位于 0.20—0.60, 即处于不安全状态和临界状态, 距离安全状态仍有一定差距。(2) 不同阻碍因子对不同地区影响作用有所不同, 阻碍因子由经济发展、社会投资、技术等基础方面转向土地资源和环境生态等方面, 未来应针对不同地区的不同阻碍因子制定具有差别化的缓解土地资源环境压力的政策。(3) 研究期初和期末的区域土地利用系统阻力主要分为四系统阻力模式、五系统阻力模式, 大部分研究地区由期初的 D-S-I-R 阻力型转变为期末的 D-P-S-I 阻力型, 压力子系统阻力作用越来越突出。

关键词: 安全性评价; TOPSIS 算法; DPSIR 模型; 障碍度诊断; 最小方差法; 阻力类型

Research on safety evaluation and resistance of land use ecosystem in China section of “Silk Road Economic Belt”

JIANG Changjun, LI Yixue, WANG Yiming

College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China

Abstract: Background, aim, and scope At present, the evaluation of land use system at home and abroad mainly focuses on the natural resources and environment of regional land. The impact of human socio-economic construction activities on the security of the system and the related factors are not enough to study the degree of system obstruction. Therefore, a comprehensive study of land use system security and system factors on the impact of system security is of great significance. **Materials and methods** In this paper, the DPSIR model based on TOPSIS algorithm is used to study the safety of land use system in nine regions of China in the economic belt of the Silk Road, and the safety evaluation index system of land use system is constructed. **Results** The result shows: (1) the safety index of land use system in the study area is between 0.20 and 0.60, there is still a certain gap from the security status. (2) Different hindering factors have different

收稿日期: 2017-08-13; 录用日期: 2017-10-27

Received Date: 2017-08-13; Accepted Date: 2017-10-27

通信作者: 李贻学, E-mail: lyxland@163.com

Corresponding Author: LI Yixue, E-mail: lyxland@163.com

引用格式: 姜长军, 李贻学, 王一鸣. 2018. “丝绸之路经济带”中国段土地利用系统安全性评价及阻力分析 [J]. 地球环境学报, 9(2): 200–209.
Citation: Jiang C J, Li Y X, Wang Y M. 2018. Research on safety evaluation and resistance of land use ecosystem in China section of “Silk Road Economic Belt” [J]. *Journal of Earth Environment*, 9(2): 200–209.

effects on different regions, barrier factors are shifted to land resources, environment and ecology from the basic aspects of economic development, social investment and technology. (3) At the beginning and end of the study, the regional land use system resistance is mainly divided into four system resistance model and five system resistance model, most of the research areas changed from the initial D-S-I-R type to the end of the D-P-S-I resistance type, and the pressure subsystem became more and more resistant. **Discussion** The land use system of the nine regions of China in the economic belt of the Silk Road is less secure. Although the overall land use system safety index shows an increasing trend during the study period, the increase is low. **Conclusions** Land use system is a dynamic integrated system, so the safety research of land use system should also be continuous, and the detailed research on the various components of land use system is also the focus of the next step. **Recommendations and perspectives** Based on the evaluation of the safety evaluation of the land use system in the study area, the main obstacle factors in different regions are analyzed, and the unfavorable factors of the safety development of the land use system are further found. On the use of land resources and land ecological protection of the key and difficult to break through, and continuously improve the level of comprehensive utilization of land.

Key words: security evaluation; TOPSIS algorithm; DPSIR model; obstacle diagnosis; minimum variance method; resistance type

土地系统自身具有一定的恢复功能,但这个功能是有限的,超过了这个限度将很难恢复(唐华俊等,2015)。在现代化社会经济建设中,由于粗犷的利用方式,用地需求量不断增加,土地质量也出现不同程度下降,高效合理地利用土地迫在眉睫,土地利用系统安全仍是当今研究热点(刘纪远等,2014;孙丕苓等,2014)。目前对土地利用系统评价主要集中在区域土地自然资源与环境生态方面:张军以等(2011)基于PSR框架模型,运用土地生态安全综合模型,对该三峡库区生态经济区的土地生态安全综合指数进行研究;刘晓娜等(2014)基于Landsat TM/ETM遥感数据,采用决策树分类方法对西双版纳土地利用/土地覆被时空变化率进行研究;张利等(2015)基于GIS和CA-Markov模型,采用景观安全格局理论,构建了曹妃甸新区综合生态安全格局,并对曹妃甸新区2021年的土地利用结构和布局进行了预测和模拟;Rosa et al(1996)提出了模拟气候、生物变化情景的农用地土壤侵蚀和污染风险的定性预测方法;Antonellini et al(2014)利用新型集成模型,研究气候和土地利用变化对河流水资源的影响。其中对人类的社会经济建设活动对系统的安全的影响和相关因素对系统阻碍程度研究不足。由于土地系统是一个由土地、自然环境、技术、政策、人等因子组合而成的有机整体,系统内各部分的变化都会对系统的安全性造成影响。因此,全面地研究土地利用系统安全性及系统因子对

系统安全性的影响具有十分重要的意义。

在构建评价体系方面,国内外学者主要用“压力(P)-状态(S)-响应(R)”模型(黄海等,2016)。本文以“丝绸之路经济带”中国段九个地区为例,为了更加准确协调系统的复杂性、理顺所选因子之间的关系,采用DPSIR模型从“驱动力(D)-压力(P)-状态(S)-影响(I)-响应(R)”角度构建土地利用生态安全评价指标体系,从本质把握住系统结构和决策过程,强调人与环境的关系,把资源、发展、环境与人类健康问题有效地整合起来。此外,在土地利用生态系统安全性评价的基础上,利用障碍度诊断模型和最小方差法,对不同区域的障碍因子和阻力模式深入剖析,旨在有效提高土地利用生态系统的安全性,为研究区域的土地资源综合利用提供政策启示和科学依据。

1 研究区概况及数据来源

“丝绸之路经济带”中国段包括西北陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆五省区,西南重庆、四川、云南、广西四省市。2015年底,研究区域总人口约为3亿人,地区生产总值达到11.57万亿元。该地区区域面积约占全国土地面积的45%,土地资源丰富,但土地总体利用水平较低,同时土地利用生态系统安全性有待提高。

本研究数据主要来源于《中国统计年鉴(2007—2016)》、2007—2016年各地区统计年

鉴和统计公报以及国家统计局官网等。

2 研究方法

2.1 构建 DPSIR 土地利用系统评价体系

本文在总结相关学者研究成果（王宏等，

2010；张继权等，2011；陈广等，2014；陆威等，2016）的基础上，结合土地利用系统的驱动力、压力、状态、影响、响应五个方面收集指标，综合考虑人类活动等指标对土地利用系统的影响，构建土地利用系统安全评价指标体系，如表 1。

表 1 土地利用系统安全性评价体系
Tab.1 Safety evaluation system of land use system

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	指标层 Index layer	安全趋向 Security Trends
土地利用系统 Land use system	驱动力子系统 Drive sub-system	C1 人均 GDP Per capita GDP	+
		C2 地区 GDP 年增长率 Regional GDP annual growth rate	+
		C3 人口自然增长率 Natural population growth rate	-
		C4 城市化水平 Urbanization level	+
		C5 全社会住宅投资规模 Scale of residential investment in the whole society	-
	压力子系统 Pressure sub-system	C6 人口密度 Population density	-
		C7 单位农作物播种面积地膜使用量 Unit sown area of crops plastic film usage	-
		C8 单位农作物播种面积化肥使用量 Unit sown area of crops chemical fertilizer usage	-
		C9 单位农作物播种面积农药使用量 Unit sown area of crops pesticide usage	-
		C10 废水排放总量 Total wastewater discharge	-
		C11 农业受灾面积 Agricultural affected area	-
	状态子系统 State sub-system	C12 人均粮食产量 Per capita grain output	+
		C13 人均水资源拥有量 Per capita water resources	+
		C14 自然保护区面积 Nature Reserve Area	+
		C15 城市人均公园绿地面积 Urban per capita park green area	+
		C16 城市建设用地面积 Urban construction land area	-
		C17 土地有效灌溉面积 Effective irrigated area of land	+
		影响子系统 Influence sub-system	C18 居民消费水平 Resident consumption level
	C19 农业机械化水平 Level of agricultural mechanization		+
	C20 农产品生产价格指数 Producer price index of agricultural products		+
	C21 第三产业增加值 Third industry added value		+
	C22 林业投资 Forestry investment		+
	C23 电力消耗量 Power consumption		-
	响应子系统 Response sub-system	C24 水土流失治理面积 Soil erosion control area	+
		C25 工业污染治理完成投资 Industrial pollution control to complete investment	+
		C26 城市污水日处理能力 Daily treatment capacity of urban sewage	+
		C27 城市生活垃圾无害化处理率 Harmless treatment rate of municipal solid waste	+
		C28 当年人工造林面积 Artificial afforestation area that very year	+

2.2 基于熵权的 TOPSIS 算法

TOPSIS 法是多目标决策分析中一种常用的有效方法,又称为优劣解距离法(Hwang and Yoon, 1981)。本文将传统的 TOPSIS 法进行优化,主要是将熵值法与 TOPSIS 计算公式相结合,熵值法在科学研究中应用广泛(袁久和和祁春节, 2013; Zhang et al, 2015)。采用熵值法确定权重客观性更强,精度更高,可有效避免主观性误差,能够更好地解释所得到的结果(王媛等, 2013)。基于熵权的 TOPSIS 算法具体步骤如下。

2.2.1 原始数据标准化

由于数据量纲不同,在此需要对原始数据矩阵进行标准化和归一化处理。

$$\text{正向指标 } r_{ij} = \frac{R_{ij} - \min(R_{ij})}{\max(R_{ij}) - \min(R_{ij})} \quad (1)$$

$$\text{负向指标 } r_{ij} = \frac{\max(R_{ij}) - R_{ij}}{\max(R_{ij}) - \min(R_{ij})} \quad (2)$$

公式中: r_{ij} 表示第 j 年、第 i 个指标的标准化后数值; R_{ij} 表示第 j 年、第 i 个指标的原始值。其中, $i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n; m, n$ 分别表示指标数、年份数。

2.2.2 熵值法确定指标权重

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (3)$$

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (4)$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, 如果 $f_{ij} = 0$, 则定义 $\lim_{f_{ij} \rightarrow 0} f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

w_i 为指标权重; H_i 为信息熵。

根据 w_i , 构建土地利用系统安全性评价矩阵:

$$Y = |y_{ij}|_{m \times n} = |w_i \times r_{ij}|_{m \times n}$$

2.2.3 确定正负理想解及贴近程度

矩阵 Y 的指标值 Y_{ij} 的最大值和最小值表示正理想解 Y^+ 和负理想解 Y^- , 正理想解是各指标的最优解,即指标最大值;负理想解是各指标的最劣解,即指标的最小值。

$$Y^+ = [\max y_{ij}], Y^- = [\min y_{ij}] \quad (5)$$

($i=1, 2, 3, \dots, m$)

计算各指标评价向量到正、负理想解的距离:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^+ - y_{ij})^2}, D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^- - y_{ij})^2} \quad (6)$$

2.2.4 计算各分析指标与理想解的贴近程度 C (即安全性指数)

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (7)$$

安全指数 C 的取值范围为 $[0, 1]$ 。 C 越大,表明该区域在该年的土地利用系统安全性越高。鉴于该区域土地利用系统安全等级划分的重要性和准确性,本文总结相关学者的研究成果(李巧云等, 2015; 王燕辉等, 2017),采用传统的等距方式划分等级。根据土地利用系统贴近度的发展状况,划分成五个安全程度状态:危险状态(0—0.2)、不安全状态(0.2—0.4)、临界状态(0.4—0.6)、亚安全状态(0.6—0.8)、安全状态(0.8—1)。

2.3 障碍度计算及阻力模式划分

2.3.1 障碍度诊断模型

为了更准确分析指标对该区域土地利用系统发展状况的影响,本文运用障碍度诊断模型,分别计算出系统准则层和指标层障碍度。其公式为:

$$a_i = \frac{b_{ij} w_i}{\sum_{i=1}^m b_{ij} w_i} \times 100\% \quad (8)$$

$$A_i = \sum a_i \quad (9)$$

式中: $b_{ij} = 1 - r_{ij}$, 即指标偏移度; a_{ij} 、 A_{ij} 分别表示第 j 年指标层与准则层障碍度。

2.3.2 最小方差法

本文在分析土地利用系统障碍度时,将 LSE 模型引入障碍评价。对土地利用子系统进行阻力模式划分。公式如下:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

式中: S^2 表示方差; x_i 、 \bar{x} 分别表示样本数据、平均值; n 为样本数。具体测算方法见张耀光(1986),当方差最小时,则表示与理论分布最接近(孙才志等, 2014)。

3 结果与分析

3.1 土地利用生态系统安全综合分析

根据 TOPSIS 算法计算出 2006—2015 年九个研究区的土地利用生态系统的安全性指数,如图 1。2006 年九省市区安全性指数全部位于 0.20—0.40,即该区域土地利用系统处于不安全状态。其中宁夏土地利用安全性指数最高,达到 0.37,而云南安全性指数最低,为 0.21。2006 年研究区域的土地利用系统安全指数具体排序为:宁夏 > 新疆 >

广西 > 陕西 > 四川 > 青海 > 重庆 > 甘肃 > 云南。

2007—2014年,各地区土地利用安全性指数变化较大,但是均在0.40上下波动。2011年云南安全性指数达到0.56,为研究期间各地域土地利用系统安全指数最大值。与研究初期相比,2011年云南省土地利用安全指数涨幅最大。2011年除陕西、新疆、宁夏安全指数出现下降外,其他地区均出现不同程度增长。

2015年研究区域的土地利用系统安全指数具体排序为:重庆 > 云南 > 四川 > 陕西 > 新疆 > 甘肃 > 青海 > 宁夏 > 广西。研究区域安全性指数主要分布在0.20—0.40,处于不安全状态,而重庆、云南、四川地区处于临界安全状态。其中,土地利用系统安全指数最大值为0.44,出现在重庆市。

与研究初期相比,只有宁夏、新疆、广西的土地利用安全指数出现下降,总体安全性呈上升趋势,但是上升的程度较低。

总的来看,在研究期间九个地区土地利用系统安全性并未得到根本好转,距离土地利用安全状态等级仍有一定的差距。九个地区是国家的新经济战略的重心,土地合理利用在经济建设中具有很高的潜力。在有关社会基础建设、工业污染治理投资、减少农业面源污染、提高耕地质量,防止生态灾害、水土流失治理等方面有更大的提升空间。今后的一段时间,随着“一带一路”经济战略的提出,加大土地安全的保护力度,促进人地关系协调,减少土地资源浪费、保护土地生态环境,应成为促进该区域经济发展的重点措施。

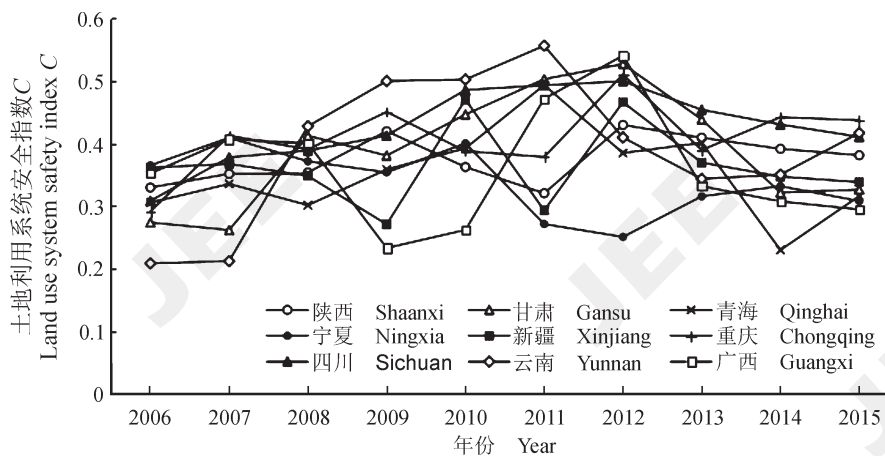


图1 土地利用系统安全性曲线
Fig.1 Safety curve of land use system

3.2 指标阻碍度分析

根据障碍度模型分别计算出九个研究区域28个指标的障碍度,下文仅列出每个研究地区在研究期间的最大阻碍因子及阻碍度。根据表2可知各个区域的最大阻碍因子存在明显差异。(1)研究期间陕西省单位农作物播种面积地膜使用量较大,十年间内增长56.7%;四川作为粮食生产大省,农用化肥施用折纯量达到249.83万吨,地膜和化肥使用量的增加,破坏了当地土地生态环境,阻碍土地利用系统安全性的提高。(2)研究期初甘肃、重庆、云南的自然保护区面积较大,研究期末自然保护区面积都出现不同程度的减少,其中云南省的自然保护区面积由422.7万公顷下降至287.3万公顷。(3)近几年青海和宁夏工业污染

治理完成投资规模不断增加,但是距离最佳投资规模仍有一定差距,同时在研究后期青海省全社会住宅投资增加较快,房地产业发展迅速,这也在一定程度上影响该地区土地利用系统的安全性。(4)新疆地区的水土流失治理面积不断增加,缓解了该因子对系统的阻碍作用,但是后期人工造林面积减少幅度较大。(5)研究期间广西地区土地有效灌溉面积和城市污水日处理能力变化不大,在农业现代化发展和环境治理水平方面,仍有较大上升空间。

为了明确主要阻碍因子类型,结合各指标的阻碍度,本文筛选出阻碍度大于2%的阻碍因子,同时绘制研究初期和末期包含28个具体指标的区域频数分布直方图(图2、图3)。

表2 各地区主要障碍因子及障碍度/%
Tab.2 Main obstacle factors and obstacle degree/%

年份 Year	指标障碍度 Obstacle degree								
	陕西 Shaanxi	甘肃 Gansu	青海 Qinghai	宁夏 Ningxia	新疆 Xinjiang	重庆 Chongqing	四川 Sichuan	云南 Yunnan	广西 Guangxi
2006	C22	C15	C25	C25	C28	C2	C24	C25	C17
	9.04	9.67	11.74	14.12	11.22	7.12	8.61	10.23	14.17
2007	C22	C12	C25	C25	C24	C24	C8	C25	C17
	9.32	7.41	13.63	13.96	10.93	7.68	8.76	11.82	14.23
2008	C14	C14	C25	C14	C24	C3	C8	C14	C17
	9.37	16.57	12.89	13.56	10.58	7.51	10.10	22.02	13.95
2009	C20	C14	C25	C25	C24	C14	C8	C14	C17
	8.10	15.78	8.34	12.81	10.98	9.12	11.08	21.04	15.20
2010	C7	C14	C25	C25	C24	C14	C8	C14	C17
	10.75	18.02	13.17	16.22	11.70	14.00	12.60	20.36	16.12
2011	C7	C14	C5	C25	C24	C14	C8	C14	C17
	12.25	17.25	11.64	16.36	11.66	10.33	13.83	21.87	15.80
2012	C8	C14	C5	C25	C28	C14	C8	C14	C17
	11.23	17.94	12.28	14.30	12.25	9.33	13.01	24.62	13.99
2013	C7	C14	C5	C8	C28	C14	C8	C14	C26
	11.16	16.42	8.75	8.38	14.94	10.33	10.97	26.71	18.07
2014	C7	C9	C5	C8	C28	C14	C8	C14	C26
	11.40	13.09	11.18	7.41	14.14	10.68	10.34	25.27	16.06
2015	C7	C9	C5	C25	C28	C14	C8	C14	C26
	11.70	12.84	10.63	12.07	12.24	12.19	10.38	25.06	18.05

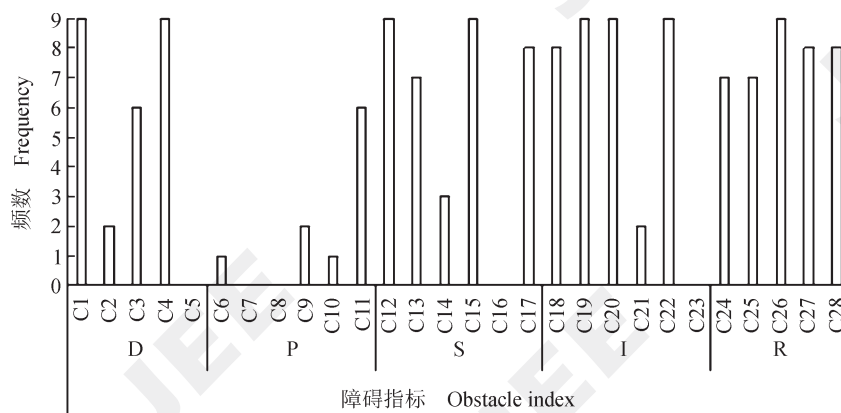


图2 2006年土地利用系统安全性指标阻碍频率分布
Fig.2 Obstacle frequency distribution of Land use system in 2006

(1) 在2006年的众多障碍因子中,人均GDP(C1)、城市化水平(C4)、人均粮食产量(C12)、城市人均公园绿地面积(C15)、农业机械化水平(C19)、农产品生产价格指数(C20)、林业投资(C22)、城市污水日处理能力(C26)出现频数均为9,这意味这8种障碍因子在所研究区均具有普遍阻碍作用。这说明社会经济和城市发展水

平不高、相关产业建设性的投资较少、科学技术的落后成为制约该地区的土地利用系统安全发展的主要因素。

(2) 与2006年相比,在2015年农产品生产价格指数(C20)频数依然为9,仍然覆盖全部研究区域,其他障碍因子出现变化,阻碍研究区域的范围减少。同时也有部分障碍因子的阻碍

范围扩大至全部研究区域，频数同样达到9：地区GDP年增长率（C2）、全社会住宅投资规模（C5）、人口密度（C6）、单位农作物播种面积地膜使用量（C7）、单位农作物播种面积化肥使用量（C8）、城市建设用地面积（C16）、第

三产业增加值指数（C21）、电力消耗量（C23）。这说明随着经济的发展和人口的增加，加剧了资源消耗和环境污染，障碍因子由经济发展、社会投资、技术等基础方面转向土地资源和环境生态方面。

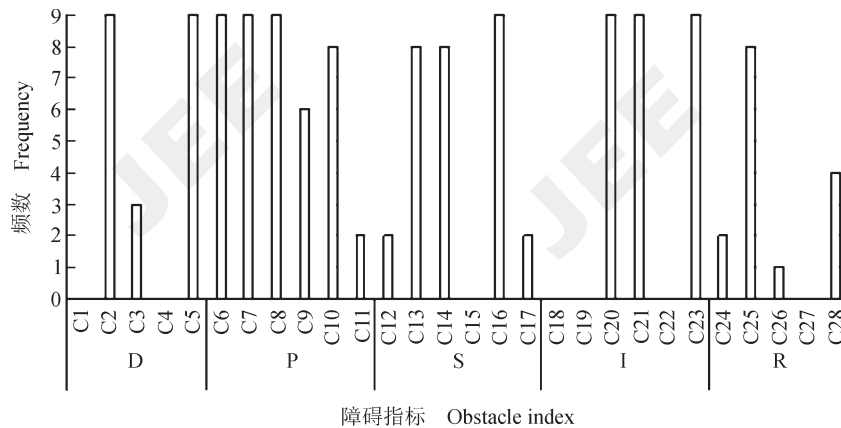


图3 2015年土地利用系统安全性指标阻碍频率分布

Fig.3 obstacle frequency distribution of Land use system in 2015

(3) 从准则层来看，2006年阻力指标主要集中在土地利用系统的驱动力（D）、状态（S）、影响（I）、响应（R）四个方面。而在2015年，阻碍因子由以上四个方面转为集中在土地利用系统的压力（P）方面。这也说明了随着社会经济的不断进步，特别是“丝绸之路经济带”提出以来，土地资源和环境压力不断加大，成为阻碍该地区发展的主要因素之一。

3.3 阻力类型划分

利用最小方差法（LSE），结合DPSIR模型，计算出研究区域在研究初期和研究末期的驱动力、压力、状态、影响、响应五个子系统阻碍度，划分出不同的空间阻力类型。理论上，该地区土地利用系统阻力模式分为五种：单系统阻力模式、双系统阻力模式、三系统阻力模式、四系统阻力模式和五系统阻力模式。但在计算过程中，研究地区只出现四系统阻力模式和五系统阻力模式（表3、表4）。

(1) 四系统阻力模式。在2006年，陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、云南、广西七个区域为D-S-I-R的阻力类型，即土地利用系统的驱动力、状态、影响、响应四个子系统的综合作用产生的阻力类型。研究初期上述地区与东部地区相比，社会和经济水平不高，受制于经济的发展，

社会基础设施建设不完善，人民消费水平较低，在土地利用方面投资不足，造成了土地利用系统的响应子系统和状态子系统阻力程度较高，同时由于在研究初期社会发展水平不高，人口和土地资源利用等因素还未对土地利用系统造成较大程度的影响。随着经济水平的提高，陕西、甘肃、青海、云南四个地区在2015年转化为D-P-S-I阻力类型。与2006年相比，土地利用系统的驱动力、状态、影响依然是阻碍该地区发展的重要因素，但是土地利用系统的压力子系统逐渐成为阻碍土地发展的最重要的因素。人口的增长和经济的发展越来越需要土地资源的配合，单位农作物播种面积地膜使用量、化肥用量、农药用量不断增加，生活和工业废水排放也对土地生态造成了破坏，这就增大了土地利用系统的压力。在新的经济形势下，陕西、甘肃、青海、云南四个区域应制定更有针对性的政策，引进高技术企业，促进产业升级，同时鼓励绿色农业发展，减少化肥、农药使用量，降低资源消耗和环境污染。

(2) 五系统阻力模式。五系统阻力模式即D-P-S-I-R型。在研究初期处于D-P-S-I-R阻力类型的地区是重庆、四川。与其他研究区域相比，重庆、四川两个地区最明显的特点是土地利用压

力子系统阻碍度明显较高,这是由于两地区经济发展水平较高,人口密度相对较大,对土地资源需求程度也随之增加,化肥、农药的过度使用,造成了环境破坏,加剧了人地矛盾。与重庆、四川土地利用系统的其他子系统阻力相比,研究初期压力子系统不是阻碍土地利用系统安全发展的最主要的因素。在研究末期,宁夏、新疆、广西三个地区由研究初期的D-S-I-R阻力类型转化为D-P-S-I-R型,这是由于本地自然条件和经济条件

的制约,水土流失的治理依然存在困难,地区农业发展较为滞后,工业污染治理投资和林业投资水平与其他区域相比,存在明显不足,还需要进一步提高环境治理水平,拓宽资金投资渠道,加大对土地环境生态方面的投入。随着经济发展、资源消耗,五系统阻力模式的地区发展特点仍是阻力效率从其他子系统向压力子系统转移为主,状态子系统、响应子系统对土地利用系统安全性的阻碍力度会进一步减弱。

表3 2006年各子系统阻力效率及阻力类型
Tab.3 Resistance efficiency and resistance type in each subsystem in 2006

阻力模式 Resistance model	类型 Type	地区 Region	阻力效率 Resistance efficiency/%				
			驱动力 Drive	压力 Pressure	状态 State	影响 Impact	响应 Response
四系统阻力模式 Four system resistance model	D-S-I-R	陕西 Shaanxi	20.65	2.07	25.77	29.44	22.07
		甘肃 Gansu	15.80	3.64	27.09	32.06	21.41
		青海 Qinghai	13.99	5.82	26.61	24.49	29.09
		宁夏 Ningxia	15.55	4.62	27.48	21.96	30.39
		新疆 Xinjiang	13.46	0.35	17.09	27.19	41.91
		云南 Yunnan	20.74	0.73	24.23	27.12	27.18
五系统阻力模式 Five system resistance model	D-P-S-I-R	广西 Guangxi	15.32	4.63	26.12	22.2	31.73
		重庆 Chongqing	21.33	13.93	16.77	21.66	26.31
		四川 Sichuan	17.04	11.68	21.41	23.90	25.97

表4 2015年各子系统阻力效率及阻力类型
Tab.4 Resistance efficiency and resistance type in each subsystem in 2015

阻力模式 Resistance model	类型 Type	地区 Region	阻力效率 Resistance efficiency/%				
			驱动力 Drive	压力 Pressure	状态 State	影响 Impact	响应 Response
四系统阻力模式 Four system resistance model	D-S-I-R	陕西 Shaanxi	15.07	34.45	19.17	22.04	9.27
		甘肃 Gansu	12.32	40.15	16.71	24.01	6.81
		青海 Qinghai	19.11	26.82	28.85	19.32	5.90
		重庆 Chongqing	24.89	28.56	25.55	14.69	6.31
		四川 Sichuan	20.10	34.01	15.47	26.09	4.33
		云南 Yunnan	14.67	32.35	35.45	13.26	4.27
五系统阻力模式 Five system resistance model	D-P-S-I-R	宁夏 Ningxia	12.92	28.83	17.81	21.84	18.60
		新疆 Xinjiang	16.91	29.81	16.14	18.31	18.83
		广西 Guangxi	20.81	25.64	11.20	20.27	22.08

4 讨论与结论

(1) 本文采用基于TOPSIS算法的DPSIR模型,对“丝绸之路经济带”中国段的九个区域的土地利用系统安全性进行研究,构建了土地利用

系统安全性评价指标体系。结果表明在研究期间,研究区域土地利用系统安全指数全部位于0.20—0.60,即处于不安全状态和临界状态。研究结果反映了“丝绸之路经济带”中国段的土地利用系统

安全性较低,虽然在研究期间土地利用系统安全指数总体呈现增长趋势,但是涨幅较低。因此,合理利用土地仍是该地区下一步建设的重点之一。

(2)在对研究区域土地利用系统安全性评价的基础上,为进一步发现土地利用系统安全发展的不利因素,本文采用障碍度模型对28个指标进行障碍度计算,同时对不同地区主要障碍度因子进行分析。结果发现,经济的发展和人口的增加,加剧了研究地区土地资源消耗和土地生态污染,障碍因子由研究初期的经济发展、社会投资、技术等基础方面转向研究末期的土地资源利用和环境保护等方面。另外,不同的障碍因子也对不同地区起到不同的阻碍作用,未来应针对不同地区的不同障碍因子制定具有差别化的缓解土地资源环境压力的政策。

(3)利用最小方差法(LSE)对土地利用系统进行系统类型阻力分析,将研究期初和期末的区域土地利用系统阻力主要分为两种模式:四系统阻力模式、五系统阻力模式。各地区相关部门应根据本地的土地利用系统阻力发展模式,理清思路,制定更具针对性的措施,同时对土地资源利用和土地生态保护的重点和难点进行突破,不断提高土地综合利用水平。

(4)土地利用系统是一个具有动态性的综合系统,因此土地利用系统的安全性研究也要具有持续性,同时针对土地利用系统各个组成因素的细化研究也是下一步研究的重点。

参考文献

- 陈广,刘广龙,朱端卫,等. 2014. DPSIR模型在流域生态安全评估中的研究[J]. *环境科学与技术*, 32(6N): 464-470. [Chen G, Liu G L, Zhu D W, et al. 2014. Study on DPSIR model in ecological security assessment of watershed [J]. *Environmental Science & Technology*, 32(6N): 464-470.]
- 黄海,谭晶今,陈春,等. 2016. 基于TOPSIS方法的山东省土地生态安全动态评价[J]. *水土保持研究*, 23(3): 220-224. [Huang H, Tan J J, Chen C, et al. 2016. Dynamic evaluation of land ecological security in Shandong Province based on TOPSIS method [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 23(3): 220-224.]
- 李巧云,杨鑫荣,关欣. 2015. 长沙市莲花镇土地生态质量分区研究[J]. *中国农业资源与区划*, 36(6): 30-35. [Li Q Y, Yang X R, Guan X. 2015. Study on regionalization

of land ecological quality in Lianhua Town, Changsha [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 36(6): 30-35.]

- 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 2014. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. *地理学报*, 69(1): 3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. 2014. The basic characteristics and spatial pattern of land use change in China since the end of 1980s [J]. *Journal of Geography*, 69(1): 3-14.]
- 刘晓娜,封志明,姜鲁光,等. 2014. 西双版纳土地利用/土地覆被变化时空格局分析[J]. *资源科学*, 36(2): 233-244. [Liu X N, Feng Z M, Jiang L G, et al. 2014. Spatial-temporal pattern analysis of land use and land cover change in Xishuangbanna [J]. *Resources Science*, 36(2): 233-244.]
- 陆威,赵源,冯薪霖,等. 2016. 土地资源生态安全研究综述[J]. *中国农学通报*, 32(32): 88-93. [Lu W, Zhao Y, Feng X L, et al. 2016. Review of Ecological Security Research on land resources [J]. *China Agricultural Science Bulletin*, 32(32): 88-93.]
- 孙才志,董璐,郑德凤. 2014. 中国农村水贫困风险评价、障碍因子及阻力类型分析[J]. *资源科学*, 36(5): 895-905. [Sun C Z, Dong L, Zheng D F. 2014. Risk assessment of water poverty in China's rural areas, analysis of barriers and types of resistance [J]. *Resources Science*, 36(5): 895-905.]
- 孙丕苓,许月卿,王数. 2014. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. *农业工程学报*, 30(14): 277-288. [Sun P L, Xu Y Q, Wang S. 2014. Analysis of topographic gradient effects of land use change in the poverty belt around Beijing and Tianjin [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(14): 277-288.]
- 唐华俊,吴文斌,余强毅,等. 2015. 农业土地系统研究及其关键科学问题[J]. *中国农业科学*, 48(5): 900-910. [Tang H J, Wu W B, Yu Q Y, et al. 2015. Study on agricultural land system and its key scientific problems [J]. *Chinese Journal of Agricultural Sciences*, 48(5): 900-910.]
- 王宏,李晓兵,乔云伟. 2010. 青海湖流域生态安全评价[J]. *地球环境学报*, 1(3): 230-238. [Wang H, Li X B, Qiao Y W. 2010. Evaluation of ecological security in Qinghai Lake basin [J]. *Journal of Earth Environment*, 1(3): 230-238.]
- 王燕辉,陈卓,曹禺,等. 2017. 河北省近20年耕地生

- 态安全动态变化及阻力分析[J]. *水土保持研究*, 24(1): 194–199. [Wang Y H, Chen Z, Cao Y, et al. 2017. Dynamic change and resistance analysis of ecological security of cultivated land in Hebei province in recent 20 years [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 24(1): 194–199.]
- 王媛,程曦,殷培红,等. 2013. 影响中国碳排放绩效的区域特征研究——基于熵值法的聚类分析[J]. *自然资源学报*, 28(7): 1106–1116. [Wang Y, Cheng X, Yin P H, et al. 2013. Study on the regional characteristics affecting the performance of China's carbon emissions—Cluster analysis based on entropy method [J]. *Journal of Natural Resources*, 28(7): 1106–1116.]
- 袁久和,祁春节. 2013. 基于熵值法的湖南省农业可持续发展能力动态评价[J]. *长江流域资源与环境*, 22(2): 152–157. [Yuan J H, Qi C J. 2013. Dynamic evaluation of agricultural sustainable development ability in Hunan Province based on entropy method [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 22(2): 152–157.]
- 张继权,伊坤朋, Hiroshi Tani, 等. 2011. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价[J]. *应用生态学报*, 22(1): 189–195. [Zhang J Q, Yi K P, Hiroshi T, et al. 2011. Ecological security assessment of Jilin Province, Baishan City based on DPSIR [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(1): 189–195.]
- 张军以,苏维词,张凤太. 2011. 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*, 31(6): 1039–1044. [Zhang J Y, Su W C, Zhang F T. 2011. Evaluation of land ecological security in the ecological economic zone of the Three Gorges Reservoir Area based on PSR model [J]. *China Environmental Science*, 31(6): 1039–1044.]
- 张利,周亚鹏,门明新,等. 2015. 基于不同类型生态安全的土地利用情景模拟[J]. *农业工程学报*, 31(5): 308–326. [Zhang L, Zhou Y P, Men M X, et al. 2015. New door, simulation of land use scenarios of different types of ecological security based on [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(5): 308–326.]
- 张耀光. 1986. 最小方差在农业类型(或农业区划分)中的应用——以我国粮食作物结构类型划分[J]. *经济地理*, 6(1): 49–55. [Zhang Y G. 1986. The application of minimum variance in agricultural types (or agricultural division)—the division of the structure types of grain crops in China [J]. *Economic Geography*, 6 (1): 49–55.]
- Antonellini M, Dentinho T, Khattabi A, et al. 2014. An integrated methodology to assess future water resources under land use and climate change: an application to the Tahadart drainage basin (Morocco)[J]. *Environmental Earth Sciences*, 71(4): 1839–1853.
- Hwang C L, Yoon K. 1981. Multi-attribute decision making: methods and applications [M]. New York: Springer-Verlag: 12–34.
- Rosa D, Crompvoets J, Mayol F, et al. 1996. Land vulnerability evaluation and climate change impacts in andalucia, spain: soil erosion and contamination [J]. *International Agrophysics*, 10(3): 225–238.
- Zhang X Q, Zhang H Y, Wang C B, et al. 2015. TOPSIS model of conservancy project Bidding-Evaluating based on Information Entropy [J]. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 18(1/2): 149–158.