

生态文明视角下的伊犁河谷绿洲土地 生态安全评价及障碍因子诊断

刘志有¹, 曲秀武¹, 魏冉¹, 闵廷冬¹, 宁静²

[1. 新疆农业大学 公共管理学院(法学院), 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业大学 MPA 教育中心, 新疆 乌鲁木齐 830000]

摘要: [目的] 基于生态文明视角对伊犁河谷绿洲生态安全问题进行研究, 揭示影响土地生态安全的主要因素, 为实现区域土地可持续利用提供合理化建议, 促进生态文明建设。 [方法] 采用 PSR—熵权 TOPSIS 模型对 2000—2018 年伊犁河谷绿洲土地生态安全进行评价, 结合评价结果, 建立障碍因子诊断模型, 进行障碍度诊断分析。 [结果] ① 总体来看伊犁河谷绿洲土地生态安全呈现缓慢提升态势, 提升幅度较小, 土地生态安全等级为Ⅲ级, 土地生态安全为一般状态, 期间存在波动变化, 部分年份出现了小幅度下降; ② 准则层土地生态安全状况变化显著, 压力层面土地生态安全状况整体呈现下降趋势, 状态与响应层面土地生态安全状况整体呈现上升趋势; ③ 土地生态压力层面障碍度呈现升高趋势, 对土地生态安全水平提升的阻力逐渐增大, 主要障碍因子有人均林草地面面积、人口密度、人均耕地面积、农业化肥施用量。 [结论] 伊犁河谷绿洲土地生态安全整体呈现向好趋势发展, 但主要障碍因子影响显著, 阻碍了提升速度, 需要采取相应对策加以解决, 促进伊犁河谷绿洲土地实现可持续利用。

关键词: 土地生态安全评价; 障碍因子诊断; PSR—熵权 TOPSIS 模型; 伊犁河谷绿洲

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)01-0137-07

中图分类号: S181, X826

文献参数: 刘志有, 曲秀武, 魏冉, 等. 生态文明视角下的伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 137-143. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.019; Liu Zhiyou, Qu Xiuwu, Wei Ran, et al. Evaluation of land ecological security and diagnosis of obstacle factors for oasis land in Yili River valley from perspective of ecological civilization [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 137-143.8

Evaluation of Land Ecological Security and Diagnosis of Obstacle Factors for Oasis Land in Yili River Valley from Perspective of Ecological Civilization

Liu Zhiyou¹, Qu Xiuwu¹, Wei Ran¹, Min Tingdong¹, Ning Jing²

(1. School of Public Administration School of Law, Xinjiang Agricultural University, Urumqi,

Xinjiang 830052, China; 2. MPA Education Center, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: [Objective] The ecological security of oasis land in Yili River valley was studied from the perspective of ecological civilization, and the main factors influencing the ecological security of land in this area were analyzed, in order to promote the construction of ecological civilization. [Methods] The PSR—entropy weight TOPSIS model was used to evaluate the ecological safety of oasis land in the Yili River valley from 2000 to 2018. The study results were used to establish a barrier factor diagnosis model to determine the ecological safety of oasis land in Yili River valley. [Results] ① Overall, the ecological safety of oasis land in the Yili River valley showed a slow upward trend with a slight increase. The ecological security level of land was grade Ⅲ, and the ecological security of land was in a general state, during which there have been fluctuations and changes, with a small decline in some years. ② The land ecological security situation in the standard layer changed significantly. In general, the situation concerning the ecological safety of soil in the pressure layer decreased, and the land ecological security at state and response levels showed an overall upward trend. ③ The barrier

收稿日期: 2021-06-29

修回日期: 2021-08-24

资助项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划项目“基于生态文明视角的伊犁河谷绿洲土地生态功能演变及管控研究”(XJEDU2019SY011)

第一作者: 刘志有(1986—), 男(汉族), 河南省浚县人, 博士后, 副教授, 主要研究方向为区域经济与土地资源利用管理、国土空间规划、土地生态。Email: liuzhiyou@xjau.edu.cn.

degree of land ecological pressure level showed an increasing trend, and resistance to the improvement of land ecological security level gradually increased. The main barrier factors included per capita forest and grass area, population density, per capita cultivated land area, application amounts of agricultural chemical fertilizer, and other indicators. [Conclusion] Overall, ecological security of oasis land in the Yili River valley showed a good trend, but the main obstacle factors have had a bad impact on improvement speed. Corresponding countermeasures should be taken to promote sustainable utilization of oasis land in the Yili River basin.

Keywords: land ecological security evaluation; diagnosis of obstacle factors; PSR-entropy TOPSIS model; oasis land in the Yili Valley

土地生态安全包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全^[1],其中自然生态安全是保障,经济生态安全是动力,社会生态安全是目标。土地生态安全评价,以坚持可持续发展为评价原则,以研究区域土地生态系统与社会经济发展的协调性作为立脚点,综合评价土地生态安全问题^[2]。诸多学者对土地生态安全评价问题展开了深入的研究,其中在评价指标的建立、评价方法的选取、评价尺度的衡量等方面有所差异。评价指标主要从经济、社会、生态等方面通过 PSR, DPSIR, EES 等模型构建指标体系^[3-4]。目前的评价方法较为多元化,主要有主成分分析法、层次分析法、生态足迹法、灰色关联度法、熵权物元评价法以及 TOPSIS 评价法等方法^[5-8]。评价的尺度,时间尺度方面主要以长时间序列的评价为主^[9],空间尺度上研究区域较为广泛,城市群落、乡镇农村、河流域、高原山区、沿海地区、农牧林区等研究地域均有涉及^[10-14],但对于河谷绿洲地区的土地生态安全研究较少。伊犁河谷作为新疆北部绿洲重要的生态屏障区,对其土地生态安全问题研究,有利于区域绿洲土地生态环境屏障建设,促进绿洲生态文明可持续发展建设。本研究以新疆伊犁河谷地区为研究区域,从生态文明视角对区域土地生态安全进行研究,采用 PSR—熵权 TOPSIS 模型对 2000—2018 年伊犁河谷绿洲土地生态安全进行评价分析,审视伊犁河谷绿洲土地生态安全演变情况,建立障碍因子诊断模型,揭示影响土地生态安全的主要因素,提出对策建议,科学合理开发利用土地,促进区域土地生态环境的改善,以期于干旱区绿洲土地的可持续利用和生态文明建设提供参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

伊犁河谷地处伊犁哈萨克自治州行政辖区,位于新疆维吾尔自治区西北角,地理范围为 80°09′—84°56′E, 42°14′—44°50′N,西与哈萨克斯坦接壤,是“丝绸之路”的要冲关隘,战略地理位置重要。地形复杂,东、南、北三面环山,地势东高西低,自东向西为河

谷,总体上呈现出“三山夹两谷”的特殊地形特征。2018 年末,伊犁河谷地区总人口为 2.64×10^6 人,民族组成包括汉族、哈萨克族、维吾尔族等 47 个民族,少数民族人口占总人口的 71.30%;伊犁河谷所辖县市 GDP 为 7.98×10^{10} 元,人均 GDP 为 30 243 元;农牧业发展水平较高,农林牧渔业产值为 2.75×10^{10} 元,农牧民人均纯收入为 13 212 元。随着社会经济的发展,伊犁河谷地区土地利用情况具有明显的变化,城镇化率为 42.21%,建设用地与耕地不断扩张,耕地与建设用地面积与 2000 年相比分别增加了 19.94% 和 30.05%,土地生态安全的压力不断加大,土地生态安全状况不容乐观。

1.2 数据来源

本研究中的社会经济原始数据主要源于《伊犁哈萨克自治州统计年鉴》(2001—2018 年),《新疆统计年鉴》(2001—2019 年),伊犁哈萨克自治州国民经济社会发展和统计公报等。土地利用现状数据来源于新疆国土资源调查统计数据。

2 研究方法

2.1 指标体系

2.1.1 指标体系构建 土地生态安全是一个结构复杂的综合系统,是自然、经济和社会因素影响综合作用下的稳定状态。自然是土地生态安全的基础,保证了土地生态系统的正常运行。经济是土地生态系统和谐发展的主要动力,为土地生态安全提供了良好的经济保障和经济支持。社会因素主要反映了土地安全保障社会和谐发展所能应对的人口与土地资源承载状况^[15]。因此本研究选择 PSR 框架模型构建伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因素指标体系,综合自然、经济、社会因素指标从土地生态安全压力、土地生态安全状态和土地生态安全响应 3 个层面对指标进行筛选分类。结合伊犁河谷地区 2000—2018 年的经济发展状况、生态环境状况、社会发展状况以及土地利用状况方面的数据,依据科学性、系统性、层次性、可计量性等原则,选取了 18 项指标构建伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因素指标体系(表 1)。

表 1 伊犁河谷绿洲土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	序号	指标层	指标性质	权重
土地生态安全评价	压 力 (P)	X ₁	人口密度/(km ²)	负向	0.067 9
		X ₂	人口自然增长率/%	负向	0.042 8
		X ₃	人均林地面积/(hm ² ·人)	正向	0.083 0
		X ₄	人均耕地面积/(hm ² ·人)	正向	0.079 7
		X ₅	农业化肥施用量/t	负向	0.057 8
		X ₆	工业废水排放量/10 ⁴ t	负向	0.038 5
		X ₇	工业固体废弃物产生量/10 ⁴ t	负向	0.021 6
		X ₈	城镇化率/%	正向	0.050 7
		X ₉	固定资产投资总/10 ⁸ 元	正向	0.088 0
		X ₁₀	农林牧渔业总产值/10 ⁸ 元	正向	0.084 8
		X ₁₁	第一产业就业人口比例/%	负向	0.040 8
		X ₁₂	建设用地面积/hm ²	负向	0.011 2
	X ₁₃	其他未利用地面积/hm ²	正向	0.011 1	
	响 应 (R)	X ₁₄	人均 GDP(元/人)	正向	0.080 4
		X ₁₅	农牧民人均纯收入/元	正向	0.083 6
		X ₁₆	第三产业占 GDP 比例/%	正向	0.050 9
		X ₁₇	当年造林面积/hm ²	正向	0.055 3
		X ₁₈	工业固体废弃物综合利用率/%	正向	0.052 1

2.1.2 指标性质解析 本研究指标性质的选取主要从研究的整体性、系统性、层次性角度考虑,按照对土地生态安全影响的最大可能性进行选取设定。其中压力层面指标反映了人口与土地资源承载压力以及生态环境压力。综合来看,其中人口密度、人口自然增长率、人均林地面积、人均耕地面积反映土地资源承载的人口压力以及人地供需水平,依据最大影响程度分别确定其正负指向;农业化肥施用量、工业废弃物排放等指标体现了对土地生态环境的污染程度,值越大污染越严重,指标设为负向(表 1)。

状态层面指标反映了经济社会发展对于土地生态安全的影响程度。其中城镇化率、固定资产投资总额以及农林牧渔业产值是社会经济发展水平的重要指标,体现出经济发展状态对土地生态安全的支撑程度,属正向指标;第一产业就业人口比例指从事农业生产活动人口的比例,以此反映农业用地的利用效率,依据指标影响结果设为负向指标;建设用地面积与未利用地面积从正反两方面体现了土地开发利用程度,土地开发利用一定程度上会影响土地生态环境,因此将其分别设为负向与正向指标(表 1)。

响应层面指标反映了提升土地生态安全的经济、社会、生态响应状况。人均 GDP、农牧民纯收入、第三产业占 GDP 比例是经济高质量发展,产业结构完善的重要表象,设为正向指标,体现了土地生态安全提升的经济与社会响应;当年造林面积与工业固体废弃物综合利用率指标代表提升植被覆盖水平,减少污

染排放做出的生态响应,设为正向指标(表 1)。

2.1.3 指标标准化处理 由于指标量纲与性质指向存在差异,采用极差法进行指标标准化处理。

$$\text{正向指标处理: } x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标处理: } x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中: x_{ij} 指第 j 项指标第 i 年的指标值; x'_{ij} 表示 x_{ij} 的标准化值; x_{\max} 、 x_{\min} 分别表示第 j 项指标的最大值和最小值。

2.1.4 指标权重确定 为减小主观赋权的人为干扰,本研究采用客观赋权法中的熵权法对指标进行赋权。

(1) 计算第 j 项指标在第 i 年的比重 f_{ij} :

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (0 \leq f_{ij} \leq 1) \quad (2)$$

(2) 计算第 j 项指标的熵 e_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (f_{ij} \ln f_{ij}) \quad (3)$$

式中:当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

(3) 计算第 j 项指标的权重 W_j :

$$W_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

2.2 熵权 TOPSIS 模型

TOPSIS 模型在多因素评价决策中运用广泛,通过找出各项指标的“最优解”与“最劣解”,计算各指标与理想解距离,对比找出最优解^[16]。本文基于熵权法对 TOPSIS 模型进行了改进,对伊犁河谷地区土地生态安全进行测度评价。

(1) 计算加权规范化决策矩阵 Z_{ij} :

$$Z_{ij} = (Z_{ij} |_{m, n} = W_j \cdot x'_{ij}) \quad (5)$$

(2) 计算正、负理想解 A^+ 和 A^- :

$$A^+ = \{\max Z_{ij} | i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (6)$$

$$A^- = \{\min Z_{ij} | i = 1, 2, 3, \dots, m\}$$

(3) 计算正、负理想解距离 L_i^+ 和 L_i^- :

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - A^+)^2} \quad (7)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - A^-)^2}$$

(4) 计算指标贴进度 C :

$$C = \frac{L_i^-}{(L_i^+ + L_i^-)} \quad (0 < C < 1) \quad (8)$$

依据本研究,指标贴进度值越大,该年份地土地生态安全状况越好,反之则越差。参考张洪等^[17]研究成果,结合伊犁河谷绿洲土地生态评价情况,对指

标贴进度 C 值按照等间距划分法将土地生态安全评价标准分为 5 个等级(表 2)。

表 2 伊犁河谷绿洲土地生态安全评价等级标准

土地生态安全等级	分级标准	土地生态安全状况
V	[0.8,1.0)	安全
IV	[0.6,0.8)	较安全
III	[0.4,0.6)	一般
II	[0.2,0.4)	较危险
I	(0,0.2)	危险

2.3 障碍因子诊断模型

设置障碍因子诊断模型^[18],分别对准则层与指标层指标进行障碍度测算,揭示阻碍伊犁河谷绿洲土地生态安全状况改善提升的主要障碍因子。

$$N_{ij} = \frac{Q_{ij} \times V_{ij}}{\sum_{i=1}^i (Q_{ij} \times V_{ij})} \quad (9)$$

$$M_{ij} = \sum N_{ij} \quad (10)$$

式中: $V_{ij} = 1 - X_{ij}$, $Q_{ij} = W_i$, V_{ij} 为指标偏离度; Q_{ij} 为因子贡献度; N_{ij} 为指标层障碍度; M_{ij} 为准则层障碍度。

3 结果与分析

3.1 伊犁河谷绿洲土地生态安全整体状况

根据熵权 TOPSIS 模型计算结果得出如图 1—3,依次从整体角度与子系统角度反映了伊犁河谷绿洲土地生态安全状况的演变趋势。

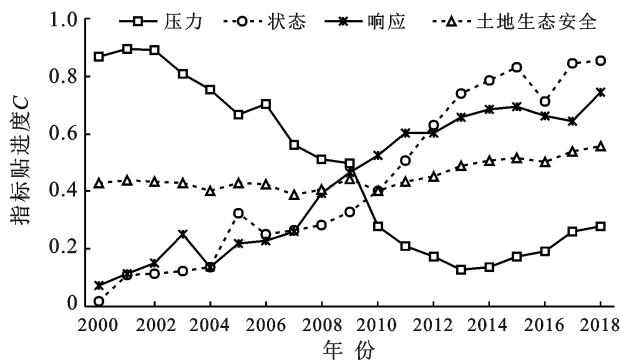


图 1 2000—2018 年伊犁河谷绿洲指标贴进度 C 变化趋势

从图 1 可以看出伊犁河谷土地生态安全等级基本上都处于 III 级,土地生态安全为一般的情况,仅有 2007 年指标贴进度低于 0.4,处于 II 级,土地生态安全较危险的情况。整体上来看伊犁河谷土地生态安全状况呈现缓慢上升趋势,指标贴进度 C 由 2000 年的 0.429 上升到 2018 年的 0.559,增长了 0.13。具体来看 2000—2001,2004—2005,2007—2009,2010—2015,2016—2018 年均呈现上升趋势,在 2001—

2004,2005—2007,2009—2010,2015—2016 年均有小幅度的下降。

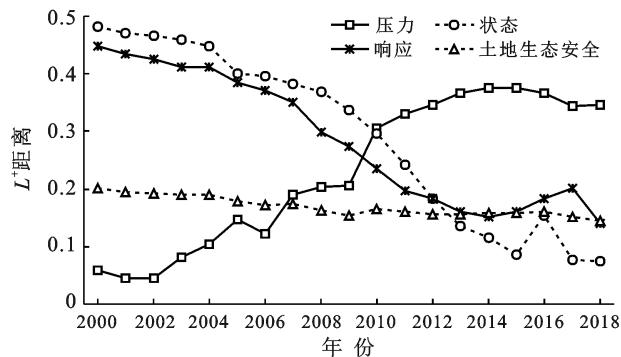


图 2 2000—2018 年伊犁河谷绿洲正理想距离 L^+ 变化趋势

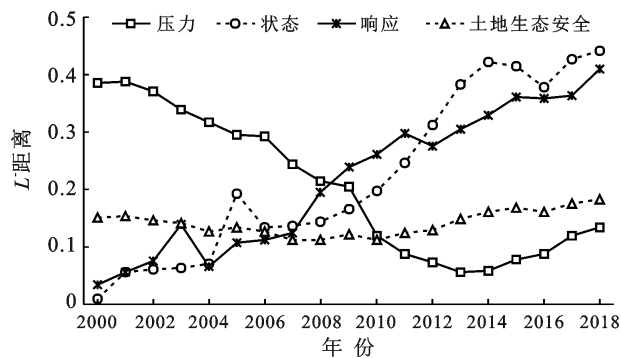


图 3 2000—2018 年伊犁河谷绿洲负理想距离 L^- 变化趋势

3.2 伊犁河谷绿洲土地生态安全准则层状况

3.2.1 土地生态安全压力层面 由图 1—3 可知,2000—2018 年伊犁河谷绿洲压力层面土地生态安全整体状况呈现下降趋势,具体来看, L^+ 数值波动增加,偏离正理想解, L^- 数值逐渐减少,趋近负理想解,指标贴进度 C 由 2000 年的 0.867 下降为 2018 年的 0.280,土地生态安全等级由 V 级降为 II 级,土地生态安全状况由安全变为较危险。2002—2005 年和 2006—2013 年压力层面土地生态安全状况呈现快速下降趋势,首先由 V 级降为 IV 级,然后由 IV 级降为 I 级,土地生态安全处于危险状态。主要是由于人口大量增加,林草地面积减少,农业化肥不合理施用,建设用地增加等影响加剧了土地生态负荷,致使土地生态安全压力逐年增加。2013—2018 年,压力层面的土地生态安全状况有了小幅度持续性地改善,土地生态安全等级由 I 级提升为 II 级,一定程度上,土地生态安全压力有了小幅度的减轻。其主要原因是随着社会的进一步发展,人口增速开始放缓,政府不断加强生态环境建设力度,2013 年,伊犁州被确定为全国第六批生态文明建设试点地区,退耕还林还草力度进一步加大,土地覆被状况逐渐改善,但是土地生态安全压力状况仍然不容乐观。

3.2.2 土地生态安全状态层面状况 由图 1—3 可知,2000—2018 年伊犁河谷绿洲状态层面土地生态安全等级整体上呈现上升趋势,其中,正理想距离 L^+ 数值波动下降,向正理想解靠拢,负理想距离 L^- 数值增大,远离负理想解,指标贴适度 C 由 2000 年的 0.019 上升为 2018 年的 0.855,土地生态安全等级由 I 级提升为 V 级,土地生态安全状况由危险提升到安全状态。2000—2005 年,状态层面土地生态安全呈现上升趋势,土地生态安全等级由 I 级上升到 II 级,主要原因是经济发展增速明显,城市化率的迅速提升,加快了土地的集约化利用。到了 2006—2015 年和 2016—2018 年土地生态安全状况开始快速提升,土地生态安全状态等级由 II 级上升为 V 级,土地生态安全由较危险变为安全状态。该阶段是经济飞速发展的时期,固定资产投资总额、农林牧渔业产值增长迅速,第一产业比重人口逐渐减少,由 2006 年的 58.84% 下降为 2018 年的 40.85%,经济发展水平逐渐趋向高质量方向发展,农业规模化水平不断提升,进一步提高了土地利用效率,促进了土地生态安全水平的提升。

3.2.3 土地生态安全响应层面状况 由图 1—3 可知,2000—2018 年伊犁河谷地区响应层面土地生态安全等级整体上呈现上升趋势,其中,正理想距离 L^+ 数值总体上减少,倾近于正理想解,负理想距离

L^- 数值呈现增加趋势,逐渐脱离负理想解,指标贴适度 C 由 2000 年的 0.072 上升为 2018 年的 0.745,土地生态安全等级由 I 级提升为 IV 级,响应层面土地生态安全状况由危险提升为较安全。2000—2003 年,响应层面土地生态安全呈现上升趋势,土地生态安全响应等级由 I 级上升到 II 级,原因主要是造林规模不断扩大,2000—2003 年植树造林共计 41 992 hm^2 ,植被覆盖面积不断增大对土地生态安全的维护具有积极作用。2004—2015 年和 2017—2018 年响应层面土地生态安全呈现快速上升趋势,土地生态安全响应等级由 I 级上升为 IV 级,响应层面土地生态安全状况由危险提升为较安全。该阶段经济朝向高质量高水平方向发展,产业结构不断完善,减少了农业发展对土地的过度损耗以及工业发展对生态环境造成的污染破坏,另一方面,生态文明建设成果初步展现,2018 年伊犁州已创建国家生态文明建设示范县 1 个(昭苏县)、自治区级生态县 2 个(巩留县和特克斯县),多个自治区级生态乡镇村落,伊犁河谷绿洲土地生态环境质量不断提升。

3.3 障碍因子诊断分析

3.3.1 准则层障碍度分析 通过障碍因子诊断模型计算得出 2000—2018 年伊犁河谷绿洲土地生态安全准则层指标障碍度。具体如图 4 所示。

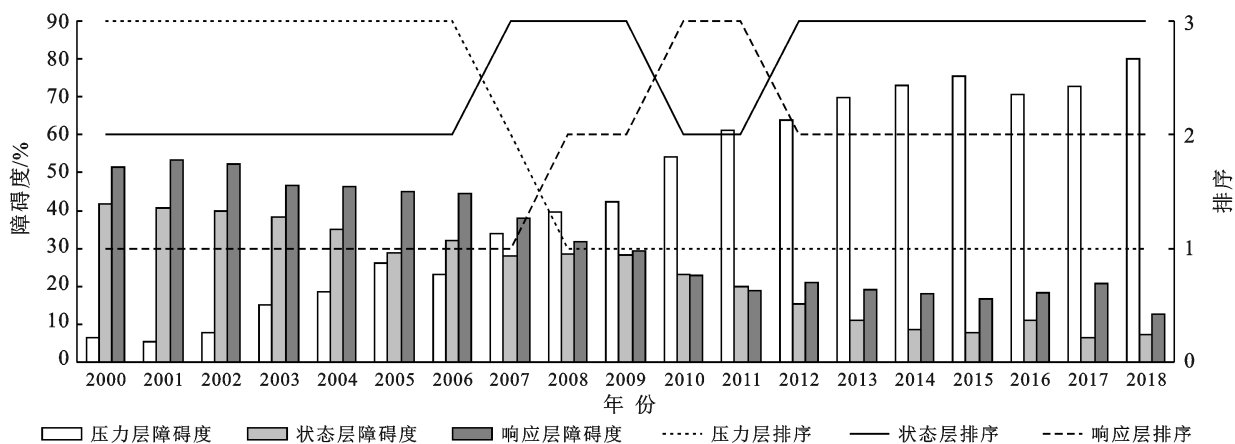


图 4 2000—2018 年伊犁河谷绿洲土地生态安全准则层指标障碍度

由图 4 可以看出,伊犁河谷绿洲土地生态安全准则层障碍度变化较为显著。总体上压力层障碍度呈现出不断增大趋势,状态层与响应层障碍度呈现下降趋势。2000—2018 年,压力层指标障碍度增长了 73.48%,状态层与相应层指标障碍度分别减少了 34.51%,38.96%。具体来看,2000—2007 年,土地生态安全的提升受状态层与响应层的影响较大,在 2007 年以前,响应层指标障碍度一直高于 40%,状态层指标障碍度处于波动下降的趋势,而压力层指标障

碍度处于不断上升的趋势。2008 年之后压力层指标障碍度成为土地生态安全的主要影响因素,增至 39.61%,且呈现向上增加趋势,而状态层与响应层障碍度开始波动下降,对于土地生态安全的影响逐渐变小。

总体来说,土地生态安全障碍度随着经济社会的发展,由响应层、状态层向压力层转移,符合土地生态安全影响因素发展的态势。①社会经济不断发展,人口数量增长过快,人口密度逐年增大,过载的人类活动使得土地生态负荷压力逐年加大,影响了土地生态

安全的提升速度;②生态文明发展理念逐渐深入人心,政府出台了一系列生态环境建设调控政策,人们也越加重视土地生态问题,对于保护土地生态安全采取了一定的行动,土地生态响应层面障碍度不断减小。

3.3.2 指标层障碍因子分析 由于指标较多,本研究选取 2000—2018 年每年指标障碍度排名前 5 的指标作为伊犁河谷绿洲土地生态安全的主要障碍因子。具体如表 3 所示。

表 3 2000—2018 年伊犁河谷绿洲土地生态安全主要障碍因子

年份	障碍因子(障碍度)排序				
	1	2	3	4	5
2000	X ₁₅ (13.87%)	X ₁₄ (13.33%)	X ₉ (12.98%)	X ₁₀ (12.51%)	X ₁₇ (9.17%)
2001	X ₁₅ (14.68%)	X ₁₄ (14.22%)	X ₉ (13.82%)	X ₁₀ (13.22%)	X ₁₇ (9.66%)
2002	X ₁₅ (14.46%)	X ₁₄ (14.07%)	X ₉ (13.68%)	X ₁₀ (13.18%)	X ₁₆ (8.35%)
2003	X ₁₅ (13.74%)	X ₁₄ (13.39%)	X ₉ (13.02%)	X ₁₀ (12.36%)	X ₁₈ (9.01%)
2004	X ₁₅ (12.63%)	X ₁₄ (12.23%)	X ₉ (12.02%)	X ₁₀ (11.29%)	X ₁₈ (7.80%)
2005	X ₁₅ (13.13%)	X ₁₄ (12.85%)	X ₉ (12.40%)	X ₁₀ (11.86%)	X ₂ (9.03%)
2006	X ₁₅ (13.18%)	X ₉ (12.33%)	X ₁₄ (12.29%)	X ₁₀ (11.90%)	X ₁₇ (8.41%)
2007	X ₁₅ (11.27%)	X ₉ (10.90%)	X ₁₄ (10.42%)	X ₁₀ (10.02%)	X ₂ (8.10%)
2008	X ₁₅ (11.15%)	X ₉ (11.09%)	X ₁₄ (10.11%)	X ₁₀ (10.06%)	X ₄ (8.43%)
2009	X ₉ (10.96%)	X ₁₅ (10.76%)	X ₁₄ (10.10%)	X ₄ (9.72%)	X ₁₀ (9.62%)
2010	X ₄ (13.97%)	X ₃ (12.95%)	X ₁ (8.73%)	X ₉ (8.36%)	X ₁₅ (8.09%)
2011	X ₄ (14.78%)	X ₃ (14.41%)	X ₁ (10.54%)	X ₅ (8.19%)	X ₂ (6.96%)
2012	X ₃ (14.66%)	X ₄ (14.31%)	X ₁ (11.10%)	X ₅ (8.27%)	X ₆ (7.59%)
2013	X ₃ (16.29%)	X ₄ (15.24%)	X ₁ (13.09%)	X ₅ (8.94%)	X ₆ (7.32%)
2014	X ₃ (17.36%)	X ₄ (16.96%)	X ₁ (14.32%)	X ₅ (10.32%)	X ₂ (6.60%)
2015	X ₃ (18.75%)	X ₄ (17.65%)	X ₁ (15.34%)	X ₅ (12.12%)	X ₁₇ (8.68%)
2016	X ₃ (17.29%)	X ₄ (16.35%)	X ₁ (13.94%)	X ₅ (12.47%)	X ₁₇ (8.49%)
2017	X ₃ (18.30%)	X ₄ (16.07%)	X ₁ (14.05%)	X ₅ (12.79%)	X ₁₈ (10.14%)
2018	X ₃ (19.77%)	X ₄ (17.36%)	X ₁ (15.19%)	X ₅ (13.90%)	X ₁₇ (8.58%)

注: X₁—X₁₈为土地生态安全主要障碍因子,具体含义见表 1;括号内数字为其障碍度比例。下同。

由表 3 可以发现,2000—2008 年农牧民人均纯收入(X₁₅)居于障碍因子首位,到 2010 年障碍度下降为 8.09%,退居障碍因子第 5 位,此后逐渐退出主要障碍因子行列,而人均 GDP(X₁₄)和固定资产投资总额(X₉)则是在此期间波动位列第 2,3 位,农林牧渔业产值(X₁₀)处于第 4 位,均在 2010 年之后逐渐退出了主要障碍因子行列。伊犁州直政府出台了一系列生态农业发展政策,不断扩展高效农业面积,农牧民人均收入水平提升,土地的经济效益逐年升高,经济因素逐渐不是影响土地生态安全的主要障碍因素。2010—2018 年,人均林草地面积(X₃)、人均耕地面积(X₄)、人口密度(X₁)、农业化肥施用量(X₅)则是占据了主要障碍因子的前 4 位,这四项指标均属于准则层中的压力层指标,进一步印证了土地生态压力负荷不断增大,影响到了土地生态安全的提升。主要原因是人口激增,土地的人口承载压力不断加大,再加上不合理的农业生产活动,土地集约化利用程度不高等因素对土地生态安全影响较大。从 2000—2018 年,当年造林面积(X₁₇)和工业固体废弃物综合利用率(X₁₈),在主要障碍因子第 5 位上出现频率较多,说明植树造林工作和工业污染问题对于土地生态安全的

提升影响长远,属于长期存在的障碍因子,需要采取持续性的措施加以解决。

总体上看,随着时间的推移,伊犁河谷绿洲土地生态安全的障碍因子呈现出阶段性的演变,2000—2010 年,主要障碍因子有农牧民人均纯收入(X₁₅)、人均 GDP(X₁₄)、固定资产投资总额(X₉)和农林牧渔业产值(X₁₀);2010—2018 年,主要障碍因子变为了人均林草地面积(X₃)、人均耕地面积(X₄)、人口密度(X₁)和农业化肥施用量(X₅);2000—2018 年,持续存在的障碍因子有当年造林面积(X₁₇)和工业固体废弃物综合利用率(X₁₈)。综合来看土地生态安全的主要障碍因素不再是经济发展水平,而是转移到了人口增长、工农业污染、土地植被覆盖减少等方面,这些因素加剧了土地生态安全压力,阻碍了土地生态安全水平的提升,须采取针对性的措施加以改进。

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 2000—2018 年,总体上伊犁河谷绿洲土地生态安全呈现缓慢变好趋势,但是提升幅度较小,土地生态安全数值由 0.429 仅提升到了 0.559,土地生态

安全等级基本上都处于Ⅲ级,土地生态安全一般状态。期间有些许的波动变化,2001—2004,2005—2007,2009—2010,2015—2016年出现了小幅度下降。

(2) 准则层土地生态安全状况变化显著,其中压力层面土地生态安全状况整体上呈现下降趋势,由Ⅴ级降位Ⅱ级,土地生态安全处于较危险状态;状态与响应层面土地生态安全状况整体呈现上升趋势,分别由Ⅰ级提升到了Ⅴ级与Ⅳ级,土地生态安全处于安全与较安全状态。

(3) 准则层土地生态安全障碍度变化与其土地生态安全状况变化基本一致,总体上压力层障碍度呈现出不断增大趋势,状态层与响应层障碍度呈现下降趋势。从指标层障碍因子诊断情况来看,呈现出阶段化趋势,由农牧民人均纯收入、人均GDP、固定资产投资总额等经济层面的障碍因素向人均林草地面积、人均耕地、人口密度、农业化肥施用量等土地承载压力层面转移,持续性存在的障碍因子有当年造林面积与工业固体废弃物综合利用率等生态环境因素指标。

4.2 建议

(1) 缓解伊犁河谷绿洲土地资源承载压力。科学合理分流人口数量,均衡布局产业,鼓励劳动力转移,引导城乡人口的合理流动,减轻人口过多和过于聚集对土地生态环境的负载压力,促使人口数量、经济发展、土地资源在区域形成最优匹配。

(2) 大力发展河谷绿洲生态经济。科学引导河谷绿洲生态农业发展,提升耕地质量与集约化利用程度,坚持科学配比、绿色高效地使用化肥农药,做到土地用养结合,实现土地的可持续利用;从生态文明视角出发,加大技术资金投入,优化产业结构,发展绿色循环经济与生态旅游,减少污染排放物对生态环境的影响。

(3) 加大河谷绿洲土地生态保护力度。加大封山育林与退耕还林还草力度,多途径促进生态用地的合理流转;政府要不断完善相关法律政策,激励与惩治措施并举,提升土地生态安全水平。

(4) 铸牢河谷绿洲土地生态安全监管机制。完善河谷绿洲土地生态安全预警体系,利用“3S”技术,实现伊犁河谷绿洲土地生态安全的全方位预警监测;其次划定土地生态安全管制红线,综合调控土地生态空间开发需求。

[参 考 文 献]

[1] Fu Jianchun. Literature review of land ecological security [J]. *Advanced Materials Research*, 2015, 1065/1066/

1067/1068/1069:3161-3167.

- [2] 马轩凯,高敏华.西北干旱地区绿洲城市土地生态安全动态评价:以新疆库尔勒市为例[J].*干旱区地理*,2017,40(1):172-180.
- [3] Xiao Xiao, Chen Yong, Ruan Jinghua, et al. Land ecological security evaluation of underground iron mine based on PSR model [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018,111:012004.
- [4] 吕广斌,廖铁军,姚秋昇,等.基于DPSIR-EES-TOPSIS模型的重庆市土地生态安全评价及其时空分异[J].*水土保持研究*,2019,26(6):249-258,266.
- [5] 谢玲,严土强,高一薄.基于PSR模型的广西石漠化地区土地生态安全动态评价[J].*水土保持通报*,2018,38(6):315-321.
- [6] 李子君,王硕,马良,等.基于熵权物元模型的沂蒙山区土地生态安全动态变化及其影响因素研究[J].*土壤通报*,2021,52(2):425-433.
- [7] 刘时栋,徐丽萍,张婕.新疆土地生态安全时空变化[J].*生态学报*,2019,39(11):3871-3884.
- [8] 肖丽群,邓群钊,林永钦,等.基于熵权TOPSIS模型的江西省土地利用多功能及其障碍因素动态分析[J].*水土保持通报*,2020,40(1):176-183.
- [9] 张焱文,王枫.2000—2018年广东省土地生态安全与经济发展耦合协调分析[J].*水土保持研究*,2021,28(1):242-249.
- [10] 苏迎庆,刘庚,赵景波,等.2006—2018年汾河流域土地生态安全预警测度及时空格局演变[J].*水土保持通报*,2021,41(1):144-151.
- [11] 曲衍波,齐伟,商冉,等.基于GIS的山区县域土地生态安全评价[J].*中国土地科学*,2008,22(4):38-44.
- [12] 王耕,王佳雯.丹东沿海地区土地利用变化对生境质量的影响研究[J].*生态环境学报*,2021,30(3):621-630.
- [13] 于海洋,张飞,曹雷,等.基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].*生态学报*,2017,37(19):6355-6369.
- [14] 常虹,翟琇,石磊,等.基于土地利用的内蒙古牧区生态系统服务时空变化(2000—2015)[J].*草地学报*,2021,29(3):583-592.
- [15] 李智国,杨子生.中国土地生态安全研究进展[J].*中国安全科学学报*,2007,17(12):5-12,197.
- [16] 马雪莹,邵景安,徐新良.基于熵权-TOPSIS的山区乡镇通达性研究:以重庆市石柱县为例[J].*地理科学进展*,2016,35(9):1144-1154.
- [17] 张洪,王安琦,宋贝扬.基于OWA的大理市土地生态安全评价研究[J].*地理科学*,2017,37(11):1778-1784.
- [18] 李春燕,南灵.陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J].*中国土地科学*,2015,29(4):72-81.